

Министерство образования и науки Российской Федерации
Филиал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего
профессионального образования
«Южно-Уральский государственный университет»
(национальный исследовательский университет)
в г. Нижневартовске

Кафедра «Информатика»

РАБОТА ПРОВЕРЕНА

Рецензент

« ____ » _____ 2016 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

И.о. зав.кафедрой «Информатика»

к.т.н., доцент

«31» _____ 2016 г.

Микроконтроллерный полифункциональный фазовый преобразователь перемещения

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ-200100.2016.171. ПЗ ВКР

Консультанты

Экономическая часть

к.э.н., доцент

«22» _____ 2016 г.

Безопасность жизнедеятельности

к.т.н., доцент

«28» _____ 2016 г.

Руководитель работы

к.т.н., доцент

«30» _____ 2016 г.

Автор работы

студент группы НвФл-431

«30» _____ 2016 г.

Нормоконтролер

старший преподаватель

«30» _____ 2016 г.

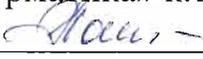


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФИЛИАЛ ЮЖНО-УРАЛЬСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА
В Г.НИЖНЕВАРТОВСКЕ
КАФЕДРА «ИНФОРМАТИКА»

Направление 200100.62 Приборостроение

УТВЕРЖДАЮ

И.о. заведующего кафедрой
«Информатика» к.т.н., доцент

 /С.Г Пономарева /
/личная подпись/

« 5 » февраля 2016 г.

ЗАДАНИЕ

на выпускную квалификационную работу студента

Ханжина Ильи Алексеевича

1. Тема работы: Микроконтроллерный полифункциональный фазовый преобразователь перемещения

Утверждена приказом ректора университета от «15» апреля 2016 г. № 661

2. Срок сдачи студентом законченной работы «30» мая 2016 г.

3. Исходные данные к работе:

1. Методы построения электромехатронных преобразователей

2. Традиционная структура электромехатронных преобразователей

3. Перечень первичных преобразователей информационного обеспечения электромехатронных преобразователей

4. Описание микросхемы 1310НМ025

5. Описание микроконтроллера К1986ВЕ92QI

4. Содержание пояснительной записки

1 Аналитический обзор

2 Разработка функциональной схемы

3 Разработка принципиальной схемы устройства

4 Алгоритм работы контроллера

5 Расчет метрологических характеристик устройства

6 Организационно – экономический раздел

7 Безопасность жизнедеятельности

7. Дата выдачи задания «15» января 2016г.

Задание выдал руководитель Е.В. Юрасова

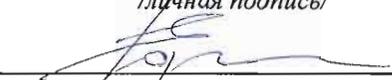
Задание принял к исполнению студент-дипломник И.А Ханжин

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Наименование этапов выпускной квалификационной работы	Срок выполнения этапа	Отметки о выполнении этапа
Введение	02.02 – 05.02.16	выполнено
Аналитический обзор	06.02 – 26.02.16	выполнено
Разработка функциональной схемы	27.02 – 17.03.16	выполнено
Разработка принципиальной схемы устройства	18.03 – 30.03.16	выполнено
Алгоритм работы контроллера	31.03 – 05.04.16	выполнено
Расчет метрологических характеристик устройства	06.04 – 16.04.16	выполнено
Организационно – экономический раздел	17.04 – 21.04.16	выполнено
Безопасность жизнедеятельности	22.04 – 27.04.16	выполнено
Заключение	27.04 – 30.05.16	выполнено
Библиографический список	1.05 – 8.05.16	выполнено
Приложения	9.05 – 14.05.16	выполнено
Презентация доклада защиты работы	14.05 – 17.05.16	выполнено
Оформление ВКР	18.05 – 25.05.16	выполнено
Защита работы	10.06.2016	

И.о. заведующего кафедрой  / С.Г Пономарева /

/личная подпись/

Руководитель работы  / Е.В. Юрасова /

/личная подпись/

Студент-дипломник  / И.А Ханжин /

/личная подпись/

АННОТАЦИЯ

Ханжин И.А., Микроконтроллерный
полифункциональный фазовый преобразователь
перемещения - Нижневартовск: филиал ЮУрГУ,
Информатика: 2016, 107 с., 19 ил., 18 табл., библиогр.
список – 40 наим., 1 прил.

Рассмотрено понятие мехатроники и мехатронных систем. Показаны и описаны структурные схемы мехатронных систем. Рассмотрены современные этапы развития мехатроники.

Проведен аналитический обзор первичных преобразователей перемещения, после чего сделан вывод о том, что в качестве первичного датчика целесообразней использовать резольвер.

Рассмотрен принцип работы полифункционального фазового преобразователя перемещения. На основе этого были разработаны функциональная, структурная и принципиальная схемы микроконтроллерного полифункционального фазового преобразователя перемещения.

Разработано метрологическое обеспечение устройство, включающее в себя – расчет погрешности устройства, методика выполнения измерения, разработка методики поверки.

Разработан алгоритм работы контроллера.

Охарактеризована безопасность жизнедеятельности при работе с устройством. Рассчитан экономический эффект.

					200100.2016.171ПЗ			
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	Микроконтроллерный полифункциональный фазовый преобразователь перемещения	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
Разраб.	Ханжин И.А	Ханжин И.А	30.05.16	40		6	107	
Проверил	Юрасова Е.В	Юрасова Е.В	30.05.16					
Н.контр.	Буйлушкана Л.Н	Буйлушкана Л.Н	30.05.16					
Утвердил	Пономарева С.Г	Пономарева С.Г	30.05.16					
						Филиал ФГБОУ ВПО «ЮУрГУ» (НИИ) в г. Нижневартовск, кафедра «Информатика»		

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	9
1 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР.....	10
1.1 Понятие, типовые структуры мехатронных систем.....	10
1.1.1 Понятие мехатронной системы.....	10
1.1.2 Структурные схемы мехатронных систем.....	12
1.2 Первичные измерительные преобразователи перемещения.....	15
1.2.1 Оптические сенсоры.....	16
1.2.2 Магнитные датчики угла.....	16
1.2.2.1 Датчики Холла.....	17
1.2.2.2 Магниторезистивные датчики.....	18
1.2.3 Резольверы.....	20
1.3 Перспективные разработки в области измерительных систем мехатронных модулей.....	23
2 РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ.....	26
2.1 Принцип действия полифункционального фазового преобразователя перемещения.....	26
2.2 Микроконтроллерный вариант полифункционального фазового преобразователя перемещения.....	31
2.3 Выбор микроконтроллера.....	31
2.4 Описание микросхемы резольвера.....	37
3 РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ УСТРОЙСТВА.....	42
4 АЛГОРИТМ РАБОТЫ КОНТРОЛЛЕРА.....	45
5 РАСЧЕТ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК УСТРОЙСТВА....	50
5.1 Расчет погрешности устройства.....	50
5.2 Методика выполнения измерения.....	56

					200100.2016.171 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

5.3	Разработка методики поверки.....	62
6	ОРГАНИЗАЦИОННО – ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ.....	80
6.1	Сетевое планирование	80
6.2	Построение сетевого графика.....	80
6.3	Расчет параметров событий сетевого графика.....	82
6.4	Расчет параметров работ сетевого графика.....	84
7	БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	91
7.1	Основные нормы безопасности на буровой.....	93
7.1.1	Освещенность.....	93
7.1.2	Шум и вибрация.....	94
7.1.3	Электробезопасность.....	94
7.1.4	Чрезвычайные ситуации.....	96
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	99
	БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	101
ПРИЛОЖЕНИЯ		
	ПРИЛОЖЕНИЕ А. ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНОГО ФАЗОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ	105

ВВЕДЕНИЕ

Современные методы изготовления измерительной аппаратуры, оптических изделий, механической и лучевой обработки материалов, сборочные и манипуляционные процессы в робототехнике требуют управления движением с высокой точностью при больших перемещениях [1]. Эти факторы приводят к внедрению в сферы производства мехатронных систем (далее – МС).

Актуальность выпускной квалификационной работы заключается в повышении эффективности информационного обеспечения мехатронных систем за счет применения современных первичных измерительных преобразователей и конвертеров, построенных на отечественной элементной базе.

Современный подход к построению информационного обеспечения электромехатронных преобразователей предусматривает единое информационное обеспечение от одного первичного преобразователя, в качестве которого используется синусно-косинусный датчик угла, работающий в фазовом или амплитудном режимах.

Целью данной выпускной квалификационной работы является разработка микроконтроллерного варианта цифрового фазового преобразователя угла с использованием современной отечественной элементной базы.

Задачи выпускной квалификационной работы:

1. Провести аналитический обзор современных первичных преобразователей перемещения.
2. Разработать функциональную схему цифрового фазового преобразователя угла.
3. Разработать принципиальную электрическую схему устройства.
4. Описать алгоритм работы контроллера.
5. Разработать метрологическое обеспечение устройства.
6. Обосновать экономическую целесообразность проекта.
7. Охарактеризовать безопасность жизнедеятельности при работе с устройством.

1 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

1.1 Понятие, типовые структуры мехатронных систем

1.1.1 Понятие мехатронной системы

Мехатроника – это новая область науки и техники, посвященная созданию и эксплуатации машин и систем с компьютерным управлением движением, которая базируется на знаниях в области механики, электроники и микропроцессорной техники, информатики и компьютерного управления движением машин и агрегатов. Отображение структурных и функциональных особенностей областей мехатроники, обладающей интеллектом и синергией представлена на рисунке 1.1 [25].



Рисунок 1.1 – Структурные и функциональные особенности
электромехатронных преобразователей

Мехатроника изучает синергетическое объединение узлов точной механики с электронными, электротехническими и компьютерными компонентами с целью проектирования и производства качественно новых модулей, систем, машин и комплексов машин с интеллектуальным управлением их функциональными движениями.

В настоящее время существуют актуальные проблемы развития науки и техники, обусловленные необходимостью модернизации российской промышленности, в том числе в области электромехатронных преобразователей, преобразующих аналоговую или цифровую информацию в перемещение и угол поворота, которые в свою очередь непосредственно являются первичными преобразователями в информационно-измерительной системе (далее – ИИС).

Автором термина мехатроника является Тецуро Мориа – старший инженер компании «Yaskawa Electric». Термин появился в 1969 году и состоит из двухчастей – «меха-», от слова механика, и «-роника», от слова электроника. Поначалу данный термин был торговой маркой (зарегистрирована в 1972 году), но после его широкого распространения компания отказалась от его использования в качестве зарегистрированного торгового знака [27].

Мехатронная система – единый комплекс электромеханических, электрогидравлических, электронных элементов и средств вычислительной техники, между которыми осуществляется постоянный динамически меняющийся обмен энергией и информацией, объединенный общей системой автоматического управления, обладающей элементами искусственного интеллекта. Область применения мехатроники – «компьютерное управление механическим движением».

Принципиальной для мехатроники является интеллектуализация, как отдельных функциональных компонентов, так и общесистемных функций, что соответствует общетехническим тенденциям. Точнее говорить не об искусственном, а о гибридном интеллекте, т.е. о его симбиозе с естественным интеллектом, участвующим в управлении человека-оператора. Человек в системе в основном требуется для привлечения не столько его сознательных формализуемых интеллектуальных способностей, сколько подсознательной интуиции и творческих способностей [19].

Современный этап развития мехатроники характеризуется усилением интегральной тенденции, призванной в определенном смысле воссоединить отдельные ее направления. Дело в том, что многие принципы построения МС, методы их исследования и проектирования и, особенно, их алгоритмическое и про-

граммное обеспечение являются инвариантными к предметной области различных направлений мехатроники [6].

1.1.2 Структурная схема мехатронных систем

В качестве первичных преобразователей перемещения в МС широко используются кинестетические устройства [7], формирующие непрерывный аналоговый выходной сигнал, пропорциональный перемещению. К таким устройствам относятся потенциометры, сельсины и синусно-косинусные вращающиеся трансформаторы (далее – СКВТ). Они обладают высокой разрешающей способностью, хорошей помехозащищенностью и имеют небольшие габаритные размеры.

Диапазон погрешности позиционирования для большинства промышленных роботов с позиционным или контурным управлением составляет 0,2 мм, что эквивалентно относительной погрешности 2^{-15} по отношению к используемым диапазонам перемещения. Обычно в них используются аналоговые первичные преобразователи.

Промышленные роботы, оснащенные аналоговыми первичными преобразователями, обычно не уступают по точности аналогам, в которых использованы цифровые датчики с прямым преобразованием. Это объясняется не только тем, что на основе аналоговых первичных преобразователей успешно реализуются аналого-цифровые преобразователи (далее – АЦП) перемещений, не уступающие кодирующим преобразователям [8, 9], но и возможностью применения обучения при программировании промышленного робота.

При всем разнообразии принципов управления и конкретных технических решений система автоматизированного управления (далее – САУ) движением промышленного робота может быть представлена обобщенной структурной схемой, показанной на рисунке 1.2.

Блок задания программы формирует в определенном темпе последовательность заданий по положению, составляющих траекторию перемещения. Частота выдачи заданий должна быть такой, чтобы дискретность не отражалась на плавности механизма и устойчивости работы МС. Блок формирования воздействий обеспечивает управление положением с заданной скоростью и коэффициентом усиления. При контурном управлении находят применение и более сложные законы регулирования положения.

Ряд трудностей, возникающих с непрерывными исполнительными элементами при прямом цифровом управлении, может быть реализован в МС в виде традиционных разомкнутых или замкнутых структур, что не позволило им составить должную конкуренцию непрерывным МС по эффективности преобразования энергии.

Введение в дискретные МС дополнительных контуров регулирования, то есть выход на аналогичный с непрерывными МС уровень информационного обеспечения, позволяет с дискретным исполнительным структурам конкурировать с непрерывными и по энергетическим показателям. При этом происходит важный структурный переход от МС к микросистемной технике. Это осуществляется реализацией микросистемой технике на основе самоорганизующейся структуры. Получаемый при этом синергетический эффект не только повышает энергоэффективность, но и способствует росту быстродействия и точности.

При этом не следует забывать о том, что повышение эффективности достигается совершенствованием не только структурного и программного обеспечения, но и ИО, обладающего соответствующими показателями [9].

Анализ известных построений [10] свидетельствует о том, что в промышленном роботе высокой точности и производительности следует использовать построение МС с подчиненными контурами регулирования. Это обеспечивает широкий диапазон регулирования по скорости и положению в сочетании с высокими динамическими показателями в условиях значительного изменения момента нагрузки. Такой принцип построения позволяет настраивать отдельные контуры независимо и более точно, добиваясь необходимого качества работы. Управ-

ление такими МС от микропроцессорной системы и применение в них цифровых регуляторов и средств коррекции предопределяет дальнейшее расширение их возможностей.

1.2 Первичные измерительные преобразователи перемещения

Основой любой информационной измерительной системы является первичный преобразователь, источником информации в любых технических системах являются датчики, в которых, как правило, осуществляется преобразование различных форм энергии в электрический сигнал.

В качестве первичных преобразователей перемещения в цифровых преобразователях угла широко используются кинематические устройства [8], формирующие непрерывный аналоговый выходной сигнал, пропорциональный перемещению. К таким устройствам относятся потенциометры, сельсины и синусно – косинусные вращающиеся трансформаторы. Они обладают высокой разрешающей способностью, хорошей помехозащищенностью и имеют небольшие габаритные размеры.

В соответствии с физическим принципом, положенным в основу преобразования информации, различают следующие основные типы чувствительных элементов:

- 1) Оптические
- 2) Магнитные:
 - датчики Холла
 - магниторезистивные датчики
- 3) Резольверы

1.2.1 Оптические измерительные устройства

Оптический энкодер [11] (рисунок 1.3) имеют жёстко и закреплённый соосно валу стеклянный диск с прецизионной оптической шкалой. При вращении объекта оптопара считывает информацию, а электроника преобразовывает её в последовательность дискретных электрических импульсов. К оптическим энкодерам следует отнести и абсолютные энкодеры. Абсолютные оптические энкодеры — это датчики угла поворота, где каждому положению вала соответствует уникальный цифровой выходной код, который наряду с числом оборотов является основным рабочим параметром датчика.

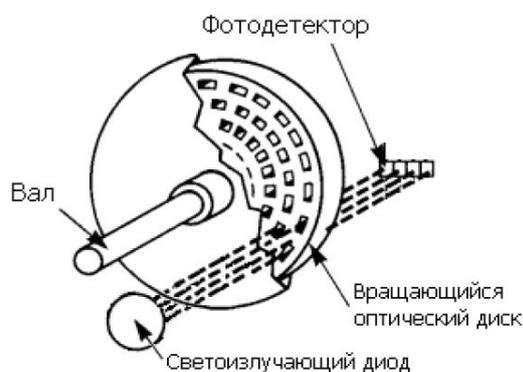


Рисунок 1.3 – Устройство оптического энкодера

Примером служит фирма, которая производит оптические энкодеры, может служить компания «SICK AG». Данная компания выпускает множество различных оптических энкодеров. Линейный энкодер марки КН 53. Абсолютный энкодер: однооборотный с валом или с полным ротором ARS 60; многооборотный с валом или с полным ротором АТМ60[12].

1.2.2 Магнитные датчики угла

Такие энкодеры с высокой точностью регистрируют прохождение магнитных полюсов вращающегося магнитного элемента непосредственно вблизи чувствительного элемента, преобразуя эти данные в соответствующий цифровой код

или сигнал. В настоящее время подобные энкодеры являются наиболее распространенными в автомобильной промышленности.

По принципу действия наиболее широкое распространение получили магнитные, основанные на эффекте Холла, и магниторезистивные энкодеры, основанные на эффектах анизотропного (далее – АМР) и гигантского (далее – ГМР) магнитного резонанса.

1.2.2.1 Датчики Холла

Э. Холл в 1897 г. в университете Д. Гопкинса (США) впервые наблюдал эффект, носящий его имя, – появление поперечного напряжения в проводнике с током при воздействии на него магнитного поля. Причиной эффекта Холла [9] является отклонение заряженных частиц, движущихся в магнитном поле под действием силы Лоренца.

Одно из применений датчиков Холла – измерение угла поворота (рисунок 1.4). В этом случае система измерения угла будет представлять собой датчик Холла (НС) и расположенный над ним диаметрально поляризованный магнит. Вращение вала с установленным на нем магнитом будет изменять магнитную индукцию над датчиком Холла, а по величине магнитного поля делается вывод об угле поворота вала. Для обеспечения устойчивости необходимо использовать 4 датчика Холла, расположенных парами под углом 90° относительно оси вращения. При небольших смещениях магнита в горизонтальной плоскости падение сигнала на одном датчике будет компенсироваться ростом сигнала на противоположном датчике.

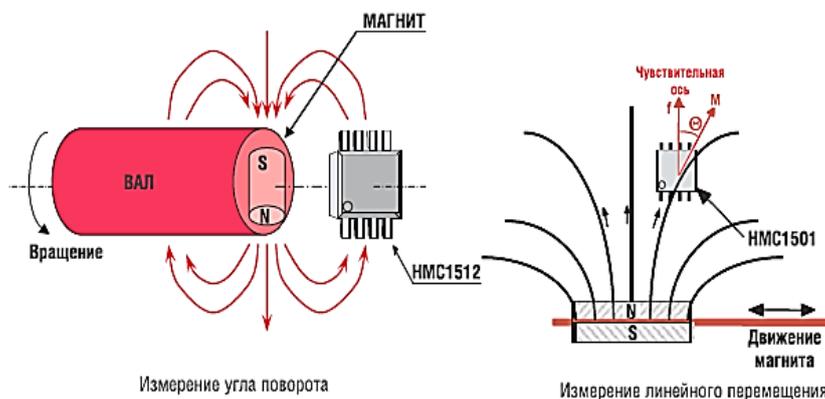


Рисунок 1.4 – Схема расположения магниторезистивных датчиков при измерении

В наше время множество фирм выпускают различные датчики и измерительные устройства, основанные на эффекте Холла. Например, компания «Non-euwell» выпускает бесконтактные датчики угла поворота на эффекте Холла HRS100. Данный датчик применяется для управления и контроля положения дроссельной заслонки, для контроля положения педалей и рычагов, рулевые механизмы, положение подвесок и подвесных систем и т.д.[13]

1.2.2.2 Магниторезистивные датчики

Анизотропные магниторезистивные датчики изготавливаются из тонких пленок пермаллоя (сплава NiFe) в виде резистивных полос, которые могут размещаться в отдельном интегральном корпусе или на кремниевой подложке.

Принцип действия АМР-датчиков основан на применении анизотропного магнитного эффекта, то есть на способности магниторезистивного материала, например пермаллоевой (NiFe) пленки, изменять сопротивление в зависимости от взаимной ориентации протекающего тока и вектора преимущественной намагниченности магнитных доменов пленки.

Сопротивление пермаллоевой полосы зависит от угла ϕ между вектором намагниченности M доменов под влиянием внешнего магнитного поля с индукцией B (или напряженностью H) и направлением тока I в полосе.

$$R = R_0 + \Delta R > \cos^2 \phi, \quad (1.1)$$

где R_0 – сопротивление пленки в отсутствие поля;

ΔR – изменение сопротивления при воздействии поля.

В настоящее время на рынке представлены АМР – датчики многих производителей, которые применяются в автомобилестроение, автоэлектронике, для измерения слабых полей в навигационных системах и т.д. Компания «Philips Semiconductors» выпускает датчики частоты вращения КМ115 и КМ116. Для измерения углового положения в диапазоне 180° компания «Philips» предлагает датчики КМЗ41, КМЗ43 и КМА200. КМА200 рекомендуется для контроля углового положения дросселя и педалей в автомобиле. Данный датчик содержат не только чувствительные элементы, но и сигнальный процессор.

Впервые гигантское магнитосопротивление было обнаружено в искусственно созданной магнитной сверхрешетке Fe/Cr в 1988 г [15].

Этот эффект объясняется зависимостью рассеяния электронов от их спина и поляризацией спинов электронов электропроводности в ферромагнитных металлах.

Эффект основывается на увеличении сопротивления проводящих слоев меди под действием магнитного поля, если их толщина уменьшается до нескольких атомных слоев. Электроны электропроводности в меди имеют большой средний свободный путь до своего рассеяния или изменения направления вследствие столкновения с другой частицей. При минимальной толщине медного слоя длина свободного пробега электронов уменьшается, а сопротивление увеличивается.

Благодаря высокой чувствительности и температурной стабильности ГМР, улучшенной функциональности и помехоустойчивости, основное внимание мировых лидеров рынка ГМР-датчиков направлено на их применение в автомобильных системах ABS, ESP, системах управления двигателем, коробкой передач и динамикой автомобиля.

Компания «Honeywell» представляет самую широкую номенклатуру, включая датчики угла поворота НМС1501/НМС1512 и омниполярные датчики 2SS52М/2SS52МТ для различных применений [14].

Технологию ГМР в датчиках скорости применяют компании «SSI Technologies» и «Cherry Electricals Products». Компания «Honeywell Sensing and Control» обосновала ее применение в датчиках коленчатого вала. На применении данной технологии сфокусировано внимание компаний «Chen Yang», «Piher Nacesa» и других.

1.2.3 Резольверы

Синусно-косинусный вращающийся трансформатор, резольвер (angle-componentsolver) – синусно-косинусный датчик угла, представляющий трансформатор, состоящий из ротора и статора, несущих по паре взаимно – перпендикулярных обмоток. При повороте ротора в зависимости от режима работы изменяются амплитуды (пропорционально синусу и косинусу угла поворота) или фаза напряжения вторичных обмоток [16].

Резольвер работает по принципу вращающегося трансформатора. У вращающегося трансформатора ротор состоит из катушки (обмотки), которая вместе с обмоткой статора образует трансформатор. Принципиально резольвер устроен точно так же с той лишь разницей, что статор выполнен не из одной, а из двух расположенных под углом 90° друг к другу обмоток.

Резольвер (рисунок 1.5,а) – это четырех обмоточная двух – и более полюсная машина с индукционным взаимодействием роторных и статорных обмоток. В зависимости от формы выходного сигнала различают синусно – косинусные, линейные и резольверы – построители. Для получения резольверов различных типов можно использовать одну и ту же машину с двумя обмотками на статоре и двумя на роторе при различных способах их включения. Конструктивно резольвер выполнен подобно асинхронному двигателю с фазным ротором, который, как и статор, представляет собой многополюсный сердечник из листов электротех-

нической стали или пермаллоя. В пазах ротора и статора размещены по две распределительные обмотки, сдвинутые на 90° одна относительно другой. В общем случае пазов может быть больше, чем полюсов. Концы обмоток выведены на разъем, причем статорные непосредственно, а роторные с помощью четырех токосъемных колец ротора и щеток.

Рассмотрим принцип работы резольвера по принципу вращающегося трансформатора. Вращающиеся трансформаторы (рисунок 1.5,б) представляют собой индукционные электрические машины, у которых выходное напряжение является функцией входного напряжения и угла поворота ротора.

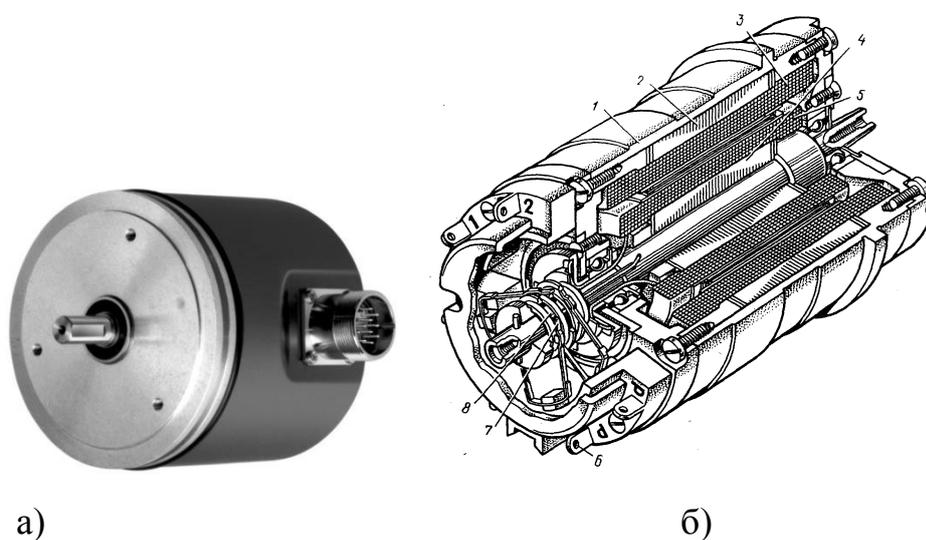


Рисунок 1.5 – Резольвер (а) и вращающийся трансформатор (б): 1 – корпус; 2 – статор; 3 – обмотка статора; 4 – ротор; 5 – обмотка ротора; 6 – контактные кольца; 7 – щетки

При этом зависимость выходного напряжения от входного – линейная, а от угла поворота ротора это напряжение пропорционально $\sin \alpha$, $\cos \alpha$ или самому углу поворота α .

В зависимости от того, какая из обмоток используется, получаем синусный или косинусный, а при использовании обеих обмоток ротора – синусно-косинусный вращающийся трансформатор (рисунок 1.6):

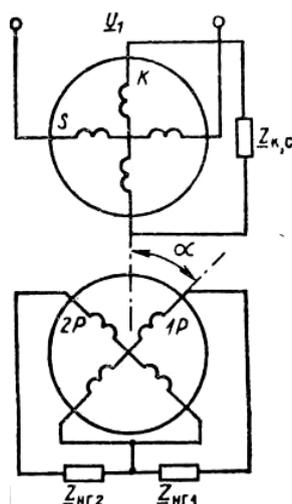


Рисунок 1.6 – Синусно-косинусный вращающийся трансформатор

Обмотка S статора включается в сеть переменного тока со стабилизированным напряжением U_1 . Эта обмотка является обмоткой возбуждения.

Пульсирующий магнитный поток, обусловленный током этой обмотки, индуцирует в обмотках ротора электродвижущая сила (далее – ЭДС), значения которых зависят от угла поворота ротора Θ .

Угол Θ отсчитывается от положения ротора, когда ось его обмотки 1P перпендикулярна оси обмотки S статора. В этом случае в обмотке 1P индуцируется ЭДС, пропорциональная $\sin(\Theta)$, а в обмотке 2P - пропорциональная $\cos(\Theta)$.

При нагрузке по обмоткам ротора потечет ток, который создает магнитные потоки, направленные вдоль осей этих обмоток.

Потоки каждой обмотки можно разложить на две составляющие - продольную, совпадающую с осью обмотки возбуждения, и поперечную, перпендикулярно этой оси.

Продольная составляющая потока обмотки ротора вместе с потоком обмотки возбуждения создают основной рабочий поток вращающегося трансформатора, который, как в трансформаторе, зависит от подведенного напряжения и при $U_1 = \text{const}$ постоянен.

Поперечная составляющая потока – $\Phi_q = \Phi \cos\Theta$ индуцирует в обмотках ротора электродвижущую силу, искажающую синусную или косинусную зависимость напряжения от угла поворота.

По отношению к поперечному потоку Φ_q , обмотка 1Р является косинусной обмоткой, и поэтому ЭДС, индуцированная в ней этим потоком, пропорциональна $\Phi \sin 2\Theta$.

Важным достоинством резольвера является высокий уровень выходного сигнала $U_{\text{ВЫХ}}$, достигающий 100% от напряжения возбуждения $U_{\text{В}}$. В зависимости от характеристик обмоток и способа их соединения различают синусно-косинусную и линейную схемы включения резольвера.

Резольверы широко используются в качестве датчиков положения и перемещения в системах управления оборудованием, роботами и манипуляторами. Японская компания «Tamagawa Seiki» выпускает резольверы под марками: Singlsyn, Smartsyn, FA-SOLVER, Synchro и LVDT применяются в реализации зарубежных промышленных проектов автомобилестроения, электронной промышленности и т.д. Российская компания «СКБИС» выпускает резольверы для тяжелых условий эксплуатации маркой ЛИР-ДР158А и ЛИР-ДР250А, которые применяются в приводах в качестве датчика углового перемещения.

1.3 Перспективные разработки в области измерительных систем мехатронных модулей

В [17, 18] представлена МС строительства асфальтобетонного покрытия дорог, структура которой сформирована с применением традиционного структурно-параметрического синтеза регуляторов локальных САУ в детерминированной постановке.

В настоящее время при создании подобных МС должны использоваться передовые технологии управления, обеспечивающие интеллектуальные свойства и существенный синергетический эффект. Применение в этих МС систем прямого

привода и высоких уровней информационного обеспечения управления рабочим механизмом позволяет создать агрегаты с повышенными функциональными возможностями и продолжительным сроком безаварийной работы.

В работе [5] представлена математическая модель автоматизированной системы управления мобильным агрегатом повышенной энергоэффективности. На основе этого мобильного агрегата предлагается построить более эффективную МС. Для этого мобильный агрегат следует придать вышеуказанные интеллектуальные и информационные свойства, приводящие к возникновению синергетического эффекта.

Магниторезистивные датчики компании «Honeywell» предназначаются для решения различных задач магнитометрии, определения курса объекта по магнитному полю Земли, измерения бесконтактным способом угла поворота и линейного перемещения, детектирования скорости и направления вращения зубчатых колес, распознавания образа ферромагнитных объектов и работы в составе датчиков тока с гальванической развязкой.

В основе принципа этих датчиков лежит анизотропный магниторезистивный эффект. Большинство АМР – датчиков «Honeywell» предназначено для работы в линейном режиме. Одноосевые (одномостовые) линейные датчики чаще всего применяются просто для определения присутствия магнитного поля и оценки его величины.

Для построения электронного компаса «Honeywell» выпускают специальный компасный набор НМС1055, включающий двух и одноосевой датчики магнитного поля, а так же М – датчик ускорения для определения крена объекта.

Линейка датчиков «Honeywell» включает два прибора (НМС1501 и НМС1512), которые предназначены для работы в сильном магнитном поле (80 Гаусс и более) в режиме насыщения без деградации характеристики. Эти датчики предназначены для высокоточного бесконтактного измерения угла поворота оси в пределах $\pm 45^\circ$ и $\pm 90^\circ$, а также линейного перемещения в пределах нескольких сантиметров [24].

В таблице 1.1 приведен перечень всех выпускаемых на данный момент АМР – датчиков «Honeywell» [20].

Таблица 1.1 – Основные технические характеристики АМР датчиков «Honeywell»

Наименование	Число осей	Диапазон, Гаусс	Чувствительность, мВ/Гаусс	Разрешение, мкГаусс	Полоса частот, МГц	Рабочая температура, °С
HMC1001	1	±2	3,20	27,0	5	-55...+150
HMC1002	2	±2	3,21	27,0	5	-55...+150
HMC1021S	1	±6	1,00	85,0	5	-55...+150
HMC1021Z	1	±6	1,00	85,0	5	-55...+150
HMC1021D	1	±6	1,00	85,0	5	-55...+150
HMC1022	2	±6	1,00	85,0	5	-55...+150
HMC1023	3	±6	1,00	85,0	5	-55...+150
HMC1051Z	1	±6	1,00	85,0	5	-55...+150
HMC 1051ZL	1	±6	1,00	85,0	5	-55...+150
HMC1052	2	±6	1,00	85,0	5	-55...+150-
HMC1052L	2	±6	1,00	85,0	5	-55...+150
HMC1053	3	±6	1,00	85,0	5	-55...+150
HMC1055	3	±6	1,00	85,0	5	-55...+150

Выводы по главе один:

1) Несмотря на то, что мехатроника является одной из самых молодых областей технической науки XX века, можно констатировать, что уже в настоящее время происходит мехатронизация техносферы, связанная с решительным поворотом развития производственной и бытовой техносреды в направлении широкого внедрения мехатронных систем.

3) В качестве первичных измерительных преобразователей в МС используются – оптические сенсоры, магнитные (датчики Холла и магниторезистивные датчики) и резольверы.

4) Применение резольверов, в качестве сенсоров МС, является наиболее функциональным, потому что они работают в 2 режимах – фазовом и амплитудном, в отличие от магниторезистивных датчиков, которые работают только в амплитудном режиме.

ма, сопряженного с ротором фазовращателя (далее – ФВ). Это достигается выполнением формирователя опорного напряжения на основе постоянного запоминающего устройства синусно-косинусной прошивкой, обеспечивающего формирование из линейного кода N_{Θ} делителя частоты (далее – ДЧ) f формирование кодов N_S и N_C . Их дальнейшее преобразование в квазигармонические напряжения U_s и U_c осуществляется цифро – аналоговыми преобразователями (далее – ЦАП) ЦАП1 и ЦАП2, запитываемые через усилители тока (далее – УТ) УТ1 и УТ2 обмотки ФВ. Осуществление съема информации по методу «бегущей стробирующей метки» позволяет с незначительными аппаратными затратами получить коды $\Phi_{S\Theta}$ и $\Phi_{C\Theta}$ [21].

Цифровой эквивалент угла поворота Θ формируется из сдвига фазы между опорным напряжением фазовращателя и его выходным сигналом $U_{\Theta} = U_{\max} \sin(\omega_0 t - \Theta)$, где ω_0 – частота опорного напряжения. Процесс формирования N_{Θ} не отличается от классического [2]. В канале преобразования угла имеются компаратор (далее – КР), преобразующий входное напряжение ФВ U_{Φ} в прямоугольные импульсы, D-триггер, тактируемый фронтом импульса генератора импульсов G и стробирующий выходной сигнал КР, с тем чтобы момент записи кодов в выходные регистры RG1 и RG2 не попал на переходные процессы ДЧ, накапливающих сумматорах (далее – НС) НС1 и НС2.

Сигнал на выходе триггера Т:

$$U_x = \text{sign}(\sin(\omega_0 t - \Theta)) \quad (2.1)$$

В делителе частоты записывается значение линейно нарастающего кода:

$$X = f \cdot t \quad (2.2)$$

соответствующее фронту сигнала U_x .

В соответствии с (2.2) и (2.3) $N_{\Theta} = f \Theta \omega_0^{-1}$, т.е. выходной код RG3 является цифровым эквивалентом угла Θ .

Особенностью ПФП является построение каналов преобразования скорости Ω и ускорения ε , сопряжение которых с угловым производится через формирователь узких импульсов и двоичный суммирующий счетчик (далее – СТ2), имеющий вход установки в нулевое состояние. Цифровой эквивалент скорости формируют без методической погрешности.

Это достигается тем, что код отклонения периода выходного сигнала ФВ не принимается в качестве эквивалента угловой скорости N_Ω , а подвергается преобразованию замкнутой цифровой системой. Она содержит в контуре последовательно соединенные НС1, НС2, блок инверторов и полный сумматор (далее – SM). Накапливающие сумматоры НС1 и НС2, в свою очередь, построены на замкнутых в кольцо полных двоичных сумматорах и регистрах, запись информации в которые происходит по фронту импульса, поступающего на их тактовые входы С. Накапливающий сумматор НС1 с числом разрядов r выполняет роль цифрового интегратора, придавая ПФП астатизм первого порядка. Его работа описывается разностным уравнением $N_\Omega[n+1] = N_\Omega[n] + N_3[n]$, где $N_\Omega[n+1]$ – выходной код НС1 после прихода $(n+1)$ -го импульса; $N_\Omega[n]$ и $N_3[n]$ – соответственно выходной и входной коды НС1 после прихода n -го импульса.

Накапливающий сумматор НС2 построен на сумматоре и регистре, но отличается от НС1 тем, что регистр имеет вход установки в нулевое состояние выходным импульсом формирователя узких импульсов. В статике, при неподвижном роторе ФВ, период его выходного сигнала $T_x = T_0 = 2\pi\omega_0^{-1}$. При вращении ротора ФВ с частотой Ω период:

$$T_x = 2\pi(\omega_0 - \Omega)^{-1} = 2^r f^{-1}(1 - \bar{\Omega}), \quad (2.3)$$

где $\bar{\Omega} = \Omega \cdot \omega_0^{-1}$ – относительная частота вращения.

Все дальнейшие положения справедливы для малых Ω , т.е. для случая, когда:

$$|\Omega| \ll \omega_0 \quad (2.4)$$

Для определения скорости и ускорения перемещения первоначально измеряется приращение периода $\Delta T = T_x - T_0$ выходного сигнала T_x относительно опорного T_0 . Для этого СТ2 фронтом U_x устанавливается в нулевое состояние и к приходу следующего фронта на выходе СТ2 формируется дополнительный код, пропорциональный разности периодов:

$$N_1[n] = f(T_x - T_0) = 2\pi\bar{\Omega}f(\omega_0 - \Omega)^{-1} \quad (2.5)$$

Одновременно, в НС2 происходит суммирование импульсов G:

$$N_2[n] = N_{\Omega}fT_x = 2\pi N_{\Omega}f(\omega_0 - \Omega)^{-1} \quad (2.6)$$

Таким образом, НС2 производится умножение выходного кода N_{Ω} НС1 на период T_x выходного сигнала ФВ. Разрядность НС2 $k > m$. Выходной код НС1 разрядностью t поступает на вход НС2, на остальные $(k - m)$ НС2 подается знаковый (старший) разряд НС1. За счет сдвига разрядной сетки между НС, НС2 и SM3 реализуется коэффициент передачи $K_{nop} = 2^{m-k}$. Накопитель НС2 работает только в режиме суммирования дополнительного кода N_{Θ} , формируя код N_2 , который вычитается с помощью блока инверторов и сумматора SM3 из кода N_1 приращения периода. При вычитании этих кодов образуется код N_3 , который в момент прихода фронта сигнала U_x корректирует содержимое НС1 (код N_{Ω}) таким образом, чтобы рассогласование $N_3[n]$ стремилось к нулю. В установившемся режиме $N_1[n] = N_2[n]$, т.е. $N_{\Omega} = \Omega$.

Рассогласование $N_{\varepsilon} = N_3[n]$, к моменту прихода фронта сигнала U_x , формируемое на выходе SM3, записывается в RG2. Поскольку N_{ε} является входным кодом цифрового интегратора НС1, выходной код N_{Ω} которого пропорционален Ω , то $N_{\varepsilon} \sim \varepsilon = \Omega$. Покажем это для установившегося режима, когда $\varepsilon = const$.

Можно записать разностное уравнение:

$$\Omega[n+1] = \Omega[n] + \varepsilon T_x[n], \quad (2.7)$$

где $\Omega[n+1]$ – значение скорости в $(n+1)$ -ом периоде;

$\Omega[n]$ – значение скорости в n -ом периоде;

$T_x[n]$ – значение периода T_x сигнала U_x в n -ом периоде.

Из (2.5) и (2.6) следует:

$$N[n+1] = \frac{2\pi f \Omega[n+1]}{\omega_0(\omega_0 - \Omega)[n+1]} \quad (2.8)$$

$$N_2[n+1] = \frac{2\pi f N_\Omega[n]}{\omega_0 - \Omega[n+1]} \quad (2.9)$$

Поскольку рассматриваем установившийся режим, то для системы с астатизмом первого порядка рассогласование $N_3[n] = N_\varepsilon = const$, т.е.:

$$N_\Omega[n] = \Omega[n] \omega_0^{-1} + N_\varepsilon \quad (2.10)$$

В соответствии с (2.7-2.10) находим, что:

$$N_3[N+1] = \frac{4\pi^2 f \varepsilon}{\omega_0(\omega_0 - \Omega[n+2])(\omega_0 - \Omega[n])} - \frac{2\pi f N_\varepsilon}{\omega_0 - \Omega[n+1]} \quad (2.11)$$

С учетом (2.4) и ряда упрощений $N_\varepsilon \approx \bar{\varepsilon}$, где $\bar{\varepsilon} = 2\pi \varepsilon \omega_0^{-2}$, т.е. код N_ε на выходе RG4 в первом приближении пропорционален ускорению ε . Чем выше ω_0 , тем строже это выполняется.

Работа ПФП (см. рисунок 2.1) поясняется временными диаграммами на рисунке 2.2.

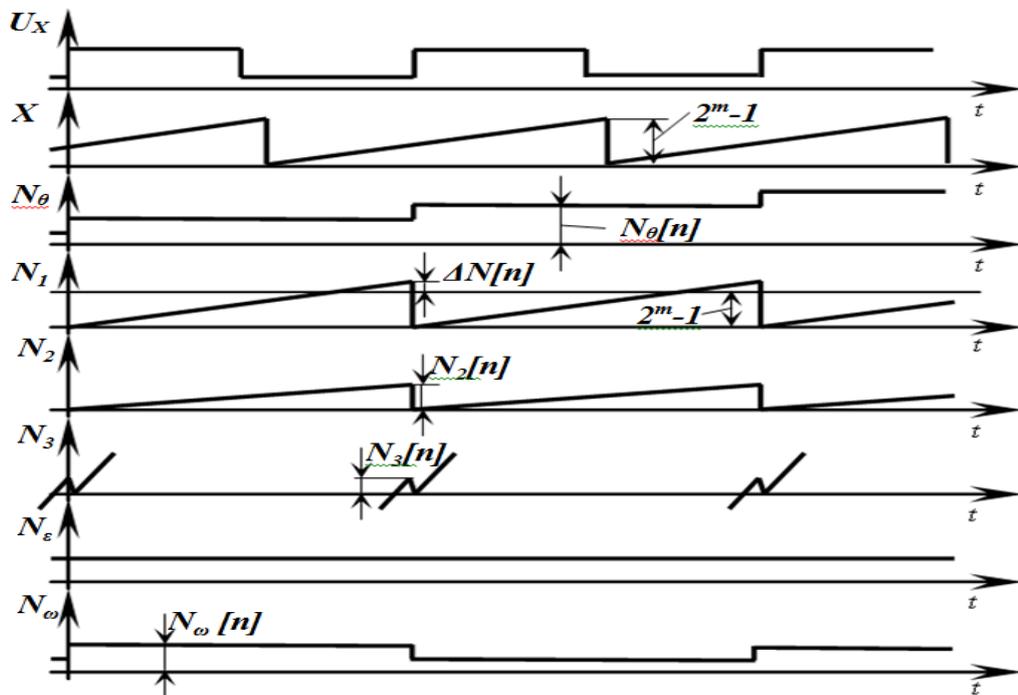


Рисунок 2.2 – Временные диаграммы работы ПФП

2.2 Микроконтроллерный вариант полифункционального фазового преобразователя перемещения

Функциональная схема ПФП с использованием микроконтроллера (далее – МК) представлена на рисунке 2.3.

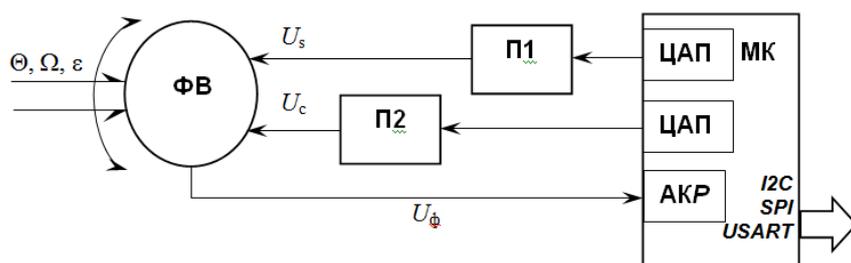


Рисунок 2.3 – Функциональная схема ПФП с МК

Тактирование работы МК осуществляется внутренним тактовым генератором, импульсы которого являются тактирующими для двух таймеров-счетчиков. Внутренняя память программ МК содержит прошивку, формирующую опорные сигналы U_s и U_c , которые с выхода модулей ЦАП передаются через преобразо-

ватели П1 и П2 на ФВ. Время полного счета опорного таймера-счетчика TMR1 от 0 до переполнения соответствует периоду опорного сигнала. Выходное напряжение ФВ U_ϕ поступает на вход аналогового компаратора АК, выявляющего моменты перехода его через ноль. Опорным напряжением, подаваемым на инвертирующий вход АК, является напряжение, соответствующее нулевому уровню напряжения U_ϕ . Выход компаратора U_0 формирует сигнал, равный 1 на положительной полуволне U_ϕ и сигнал, равный 0 на отрицательной полуволне U_ϕ . Временные диаграммы работы ПФП представлены на рисунке 16. Таймер TMR2 применяется для отслеживания сигнала U_ϕ с выхода ФВ. Если опорный таймер TMR1 является полным 16-разрядным таймером-счетчиком, то при скорости ФВ большей скорости опорного сигнала произойдет переполнение таймера TMR2. Поэтому для определения параметров ФВ таймер TMR2 целесообразно использовать с коэффициентом предварительного деления, равным 2.

Полагая тактовую частоту равной f_{OSC} , время одного отсчета таймера TMR1:

$$t_{TMR1} = f_{OSC}^{-1} \quad (2.12)$$

Время отсчета таймера TMR2 с коэффициентом предварительного деления, равным 2:

$$t_{TMR2} = 2f_{OSC}^{-1} \quad (2.13)$$

Период сигнала U_ϕ определяется по переднему фронту сигнала U_0 с выхода АК. Обработку указанного сигнала целесообразно осуществлять по прерыванию при переходе сигнала выхода компаратора из 0 в 1. В этот момент времени фиксируется значение CNT2 таймера TMR2, определяющее временной интервал:

$$T2 = CNT2 \cdot t_{TMR2} \quad (2.14)$$

Фазовый сдвиг определяется значением CNT1 таймера TMR1 в момент переднего фронта сигнала с выхода компаратора:

$$\Theta = CNT1 \cdot t_{TMR1} \quad (2.15)$$

Временные диаграммы работы полифункционального преобразователя с микроконтроллером представлены на рисунке 2.4.

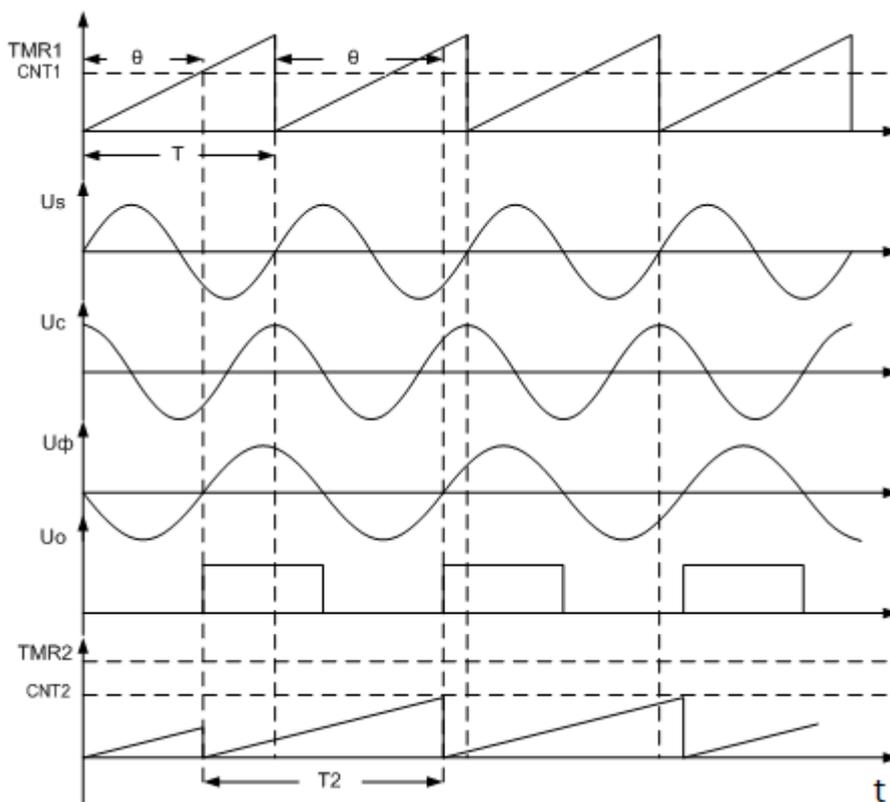


Рисунок 2.4 – Временные диаграммы работы ПФП с МК

Модуль пересчета 16-разрядного полного таймера-счетчика $N = 2^{16}$, что определяет период T опорной частоты:

$$T = N \cdot t_{TMR1} \quad (2.16)$$

Опорная частота определяется как:

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi \cdot f_{OSC}}{N} \quad (2.17)$$

Частота вращения ФВ:

$$\omega = 2\pi(T2 - T)^{-1} \quad (2.18)$$

Подставляя в (2.18) значения (2.16) и (2.17), получим:

$$\Omega = \frac{2\pi \cdot f_{osc}}{CNT2 \cdot 2 - N} \quad (2.19)$$

Значение скорости в (2.19) является знаковой величиной, определяющей направление вращения ФВ.

Угловое ускорение определяется разностным уравнением:

$$\varepsilon = \frac{\omega_k - \omega_{k-1}}{T2_k - T2_{k-1}} \quad (2.20)$$

Функциональная схема цифрового фазового преобразователя угла будет состоять из первичного датчика, преобразователя и микроконтроллера. Функциональная схема представлена на рисунке 2.5.

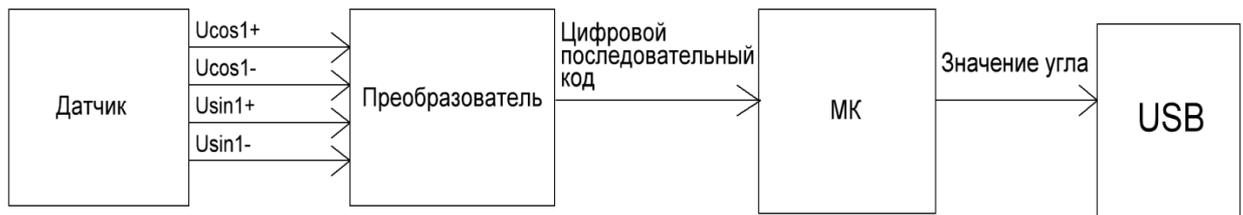


Рисунок 2.5 – Функциональная схема цифрового фазового преобразователя угла

2.3 Выбор микроконтроллера

К выбору МК предъявляются следующие требования:

- наличие модуля аналогового компаратора (АК);
- наличие двух 16-битных таймеров;
- наличие требуемых интерфейсов связи;

Наличие двух модулей цифра – аналоговых преобразователей не требуется, так как питание датчиков будет производиться помощью микросхемы резольвера.

По данным характеристикам нам подходит два микроконтроллера:

- 1) Микроконтроллер фирмы STM:STM8L152C6 семейства STM8L15X
- 2) Микроконтроллер отечественной фирмы «Миландр»: K1986BE92QI семейства 1986BE9X.

Оба микроконтроллера обладают похожими параметрами, но в связи с экономической ситуацией в мире и с начавшимся процессом импортозамещения в нашей стране, целесообразней будет применить отечественный микроконтроллер K1986BE92QI.

Основные характеристики микроконтроллеров серии 1986BE9X:

1) Ядро:

— ARM 32-битное RISC-ядро Cortex™-M3 ревизии 2.0, тактовая частота до 80 МГц, производительность 1.25 DMIPS/МГц (Dhrystone 2.1) при нулевой задержке памяти;

— блок аппаратной защиты памяти MPU;

— умножение за один цикл, аппаратная реализация деления.

2) Память:

— встроенная энергонезависимая Flash – память программ размером 128 Кбайт;

— встроенное ОЗУ размером 32 Кбайт;

— контроллер внешней шины с поддержкой микросхем памяти с ОЗУ, ПЗУ, NAND Flash.

3) Питание и тактовая частота:

— внешнее питание 2,2 ÷ 3,6 В;

— встроенный регулируемый стабилизатор напряжения на 1,8 В для питания ядра;

— встроенные схемы контроля питания;

— встроенный домен с батарейным питанием;

— встроенные подстраиваемые RC генераторы 8 МГц и 40 кГц;

— внешние кварцевые резонаторы на 2 ÷ 16 МГц и 32 кГц;

— встроенный умножитель тактовой частоты PLL для ядра;

— встроенный умножитель тактовой частоты PLL для USB.

4) Режим пониженного энергопотребления:

— режимы Sleep, Deep Sleep и Standby;

— батарейный домен с часами реального времени и регистрами аварийного сохранения.

5) Аналоговые модули:

- два 12-разрядных АЦП (до 16 каналов);
- температурный датчик;
- двухканальный 12-разрядный ЦАП;
- встроенный компаратор.

6) Периферия:

- контроллер DMA с функциями передачи Периферия-Память, Память-Память;
- два контроллера CAN интерфейса;
- контроллер USB интерфейса с функциями работы Device и Host;
- контроллеры интерфейсов UART, SPI, I2C;
- три 16-разрядных таймер-счетчика с функциями PWM и регистрации событий;
- до 96 пользовательских линий ввода-вывода.

Микроконтроллеры серии 1986BE9x, K1986BE9x и K1986BE92QI, K1986BE92QC (далее 1986BE9x) [23], построенные на базе высокопроизводительного процессорного RISC ядра ARM Cortex – M3, содержат встроенную 128 Кбайт Flash – память программ и 32 Кбайт ОЗУ. Микроконтроллеры работают на тактовой частоте до 80 МГц. Периферия микроконтроллера включает контроллер USB интерфейса со встроенным аналоговым приемопередатчиком со скоростями передачи 12 Мбит/с (Full Speed) и 1,5 Мбит/с (Low Speed), стандартные интерфейсы UART, SPI и I2C, контроллер внешней системной шины, что позволяет работать с внешними микросхемами статического ОЗУ и ПЗУ, NAND Flash – памятью и другими внешними устройствами. Микроконтроллеры содержат три 16-разрядных таймера с 4 каналами схем захвата и PWM с функциями формирования «мертвой зоны» и аппаратной блокировки, а также системный 24-х разрядный таймер и два сторожевых таймера. Кроме того, в состав микроконтроллера

леров входят: два 12-разрядных высокоскоростных (до 0,5 М выборок в сек) АЦП с возможностью оцифровки информации от 16 внешних каналов и от встроенных датчиков температуры и опорного напряжения; два 12-разрядных ЦАП; встроенный компаратор с тремя входами и внутренней шкалой напряжений.

Таким образом, у микроконтроллеров серии 1986BE9X характерной особенностью является сверхнизкое потребление и 32-битная RISK архитектура. Низкое электропотребление контроллера позволяет питать его от токовой петли или от аккумуляторных батарей небольшой емкости в течение длительного срока. Это позволяет применять приборы на его основе в условиях, при которых важна длительная автономность прибора.

2.4 Описание микросхемы резольвера

В настоящее время в промышленности и в мехатронике широко применяется микросхема AD2S1210 производство США. В 2015 году российская компания «Миландр» выпустила аналог американской микросхемы, микросхему 1310HM025[24]:

Основные параметры микросхемы:

- Двухканальный преобразователь угол код для использования вместе с датчиками типа СКВТ, ЛДТ и Сельсин.
- Встроенный генератор опорного напряжения с частотой от 40 Гц до 40 кГц.
- Настраиваемая разрядность от 10 до 16 бит.
- Точность преобразования ± 1 угловая минута (после калибровки, в режиме СКВТ).
- Максимальная скорость вращения вала датчиков до 200000 об./мин. (старт возможен только при разрядности 12 бит).
- Напряжение питания 3.0...5.5В.

Микросхема 1310НМ025 предназначена для измерения угла поворота вала датчиков типа СКВТ. Микросхема содержит программируемый генератор возбуждающего напряжения и два следящих контура производящих вычисление угла поворота вала.

Микросхема используется с СКВТ, включенным по схеме с пульсирующим магнитным полем. При подаче сигнала переменного напряжения U_{ex} на первичную обмотку в СКВТ создается электромагнитное поле перпендикулярное ротору, которое наводит ЭДС во вторичных обмотках СКВТ. Амплитуда напряжения во вторичных обмотках зависит от угла положения ротора θ относительно каждой из вторичных обмоток и определяется по формулам:

$$U_{\sin} = k \cdot U_{ex} \cdot U_{\sin}(\theta) \quad (2.21)$$

$$U_{\cos} = k \cdot U_{ex} \cdot U_{\cos}(\theta) \quad (2.22)$$

Напряжение U_{ex} обычно выбирается синусоидальной формы с частотой, лежащей в полосе пропускания СКВТ известной из спецификации.

При подключении СКВТ к микросхеме преобразование координат не производится. Блок преобразования координат отключается. К микросхеме можно подключить один или два СКВТ одновременно. При подключении двух СКВТ, возможна как их независимая работа, так и совместная (СКВТ расположены на валу). При совместной работе СКВТ номер 2 может иметь количество полюсов большее, чем СКВТ номер 1, за счет чего достигается повышенная разрядность и точность преобразования [24].

Функциональная схема микросхемы 1310НМ025 представлена на рисунке 2.6.

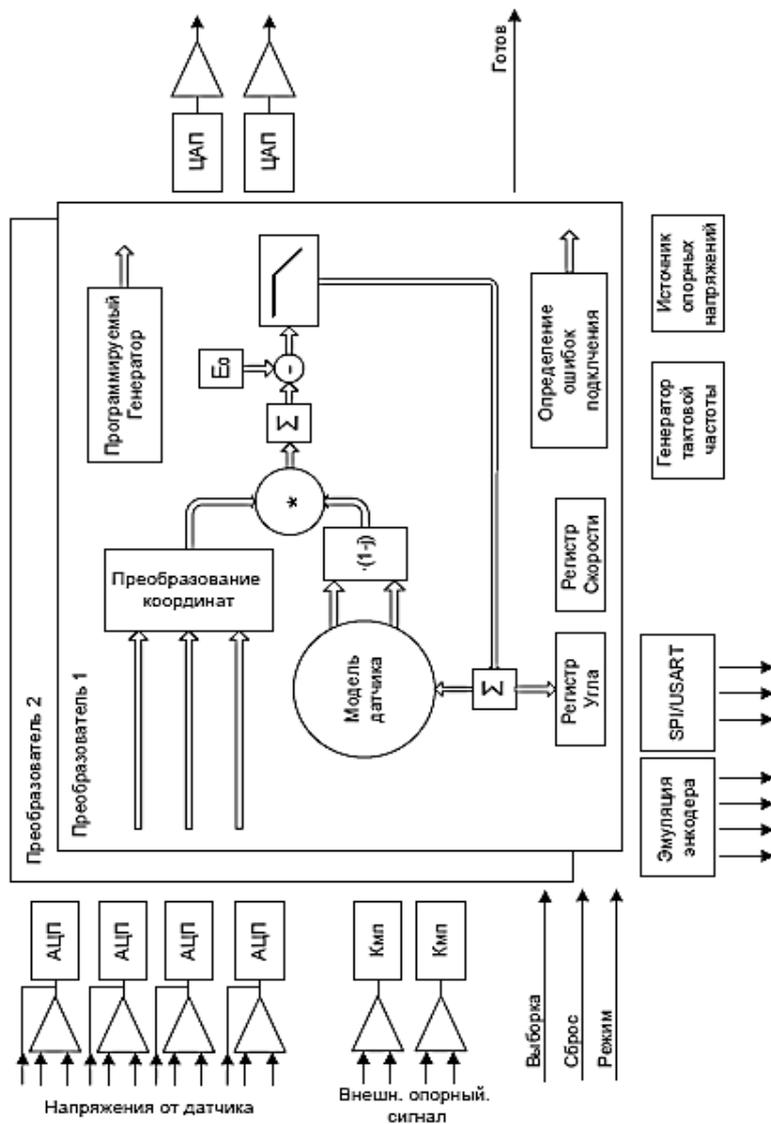


Рисунок 2.6 – Функциональная схема микросхемы 1310NM025

Учитывая важность и широкую применяемость преобразователей угол-код в различных системах управления (от морской и наземной техники до космических аппаратов), в мире выпускается широкая номенклатура микросхем для обработки сигналов угол-код и модулей на их основе. Для сравнения взяты лучшие образцы (см. таблицу 2.1): RD – 19220 и RD – 19230, производимые Data Device Corporation, AD2S1200 и AD2S1210 от Analog Devices и ACT5028 от Aeroflex [3].

Таблица 2.1 – Сравнение характеристик микросхемы 1310НМ025 с зарубежными аналогами

Параметр	1310НМ0253АО «ПКК Миландр», Россия	RD-19230 DDC, США	AD2S1210 AnalogDevices, США	ACT5028 AeroFlex, США
Питание, В	Однополярное, 3,0...5,5	Двухполярное, ±5	Однополярное, 4,75...5,25	Однополярное, 4,5...5,5
Ток потребления, мА	40	25	35	20
Опорная частота, Гц	0...30000	0...10000	3000...20000	45...30000
Максимальная скорость вращения, об/с	5000	1152	3125	1024
Максимальная точность, бит	16	16	16	16
Полоса пропускания сигнала, Гц	25...6400	300...1200	125...6500	2...7500
Способ	Цифровой	Аналоговый	Цифровой	Аналоговый

Для преобразователей угол–код необходимо различать понятия разрядности преобразования и точности преобразования. Точность преобразования обусловлена конструктивными погрешностями изготовления датчика, такими как различие усиления по каналам X и Y, смещение центра вращения и эксцентриситет датчика и так далее. Несмотря на то, что сама микросхема практически не вносит погрешности в измерение за счёт использования при вычислениях мантиссы длиной не менее 20 разрядов, точность системы в целом может оказаться недостаточной. Для устранения систематических погрешностей датчика и погрешностей, обусловленных внешней электрической схемой, микросхема 1310НМ025 позволяет выполнять компенсацию погрешностей внешней схемы и механических погрешностей датчиков путём записи корректирующих коэффициентов в регистры преобразователя.

По основным параметрам микросхема 1310НМ025, разрабатываемая ЗАО «ПК МИЛАНДР», не уступает лучшим зарубежным аналогам и позволяет реализовать на её основе преобразователи угол–код, соответствующие современным требованиям [3].

Таким образом, после выбора аппаратного обеспечения структурная схема будет выглядеть следующим образом (рисунок 2.7)

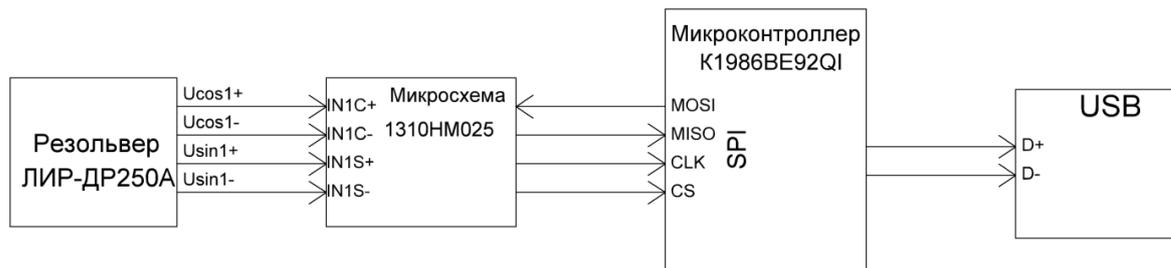


Рисунок 2.7 – Структурная схема цифрового фазового преобразователя угла

Выводы по главе два:

1) Полифункциональный преобразователь обладает наибольшими функциональными возможностями с точки зрения единого информационного обеспечения и отсутствием методической погрешности формирования эквивалентов перемещения

2) Рассмотрена структурная схема полифункционального преобразователя. Получены теоретические зависимости для оценки составляющих перемещения. Представлены временные диаграммы работы ПФП.

3) Осуществлен выбор аппаратного обеспечения ПФП. В качестве микроконтроллера будем применять отечественный микроконтроллер K1986BE92QI, микросхема для резольвера: 1310НМ025.

4) Построена функциональная и структурная схемы цифрового фазового преобразователя угла.

3 РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ УСТРОЙСТВА

По разработанной функциональной схеме, в предыдущей главе, соберем электрическую принципиальную схему.

Основные элементы:

- 1) В качестве датчика используем резольвер марки ЛИР-ДР250А.
- 2) Микросхема 1310НМ025 предназначенная для измерения угла поворота вала датчиков типа СКВТ.
- 3) Для управления микросхемой и обработки полученных данных используется микроконтроллер К1986ВЕ92QI.

Микросхема 1310НМ025 представляет собой двухканальный АЦП переменной разрядности для синусно-косинусных вращающихся трансформаторов. Будем использовать двенадцати разрядное АЦП, напряжение питания 3,0 – 5,5В.

На дифференциальные аналоговые входы IN1C+, IN1C-, N1S+, IN1S-(входы операционного усилителя) микросхемы через развязку по постоянному напряжению и дополнительные делители на входе поступают составляющие напряжения углов первичного датчика (т.е гнезда резольвера XP2) Ucos1+, Ucos1-, Usin1+, Usin1- соответственно.

На выходы AVDD подаем напряжение питания 5В.

С помощью входов vref1p25 задаем напряжение средней точки для входов АЦП.

С выхода Ready подавая логическую единицу, обозначим отсутствие ошибок в регистре.

Тактовая частота микросхемы задается кварцевым резонатором ZQ1 номинальной частотой 10 МГц. Для правильной работы резонатора рекомендовано пользоваться конденсаторами C2 и C3 емкостью 20пФ [24]: К10 – 17А М47 20пФ, 10%.

Конденсаторы C1, C4 – C6, C9, C10, C11 – C13, C15 – C20 согласно описанию микросхемы [24] следует ставить емкость 0,1 мкФ. Поэтому выбраны конденсаторы: К10-17А Н50 0,1мкФ, 10%.

Конденсаторы C7, C8, C11, C14 выбраны согласно [24] емкостью 330 пФ: К10-17Б NPO 330 пФ, 5%.

Резисторы согласно рекомендации производителя микросхемы выбраны:

- R1, R2, R8 и R14 сопротивлением 12 кОм: МЛТ-0,125 12 кОм, 5%.
- R3-R7, R9-R13 сопротивлением 10 кОм: МЛТ-0,25 10 кОм, 5%.
- R15 сопротивлением 375 кОм: МЛТ-0,25 375 кОм, 5%.

Выход DIR 1 это выход направления движения датчика, канал 1: 0 положительное вращение координаты, 1 – отрицательное приращение координаты.

Связь между микроконтроллером и микросхемой осуществляется через интерфейс SPI, у микросхемы это выводы: SPI_SS, SPI_DO, SPI_CK, SPI_DI, у микроконтроллера – PF3, PF1, PF2, PF0, соответственно.

Тактовая частота микроконтроллера задается внешним кварцевым резонатором ZQ2 номиналом 10 МГц, подключенным к входам OSC_IN и OSC_OUT. Для правильной работы резонатора рекомендовано пользоваться конденсаторами C26 и C27 емкостью 30 пФ: К10 – 17В М47 30пФ, 10%. Подаваемое напряжение питания 2,2 – 3,6В. Так как, используется интерфейс USB, то, согласно рекомендации производителя [23], напряжение питания U_{сс} должно быть в пределах от 3,0 до 3,6 В.

Напряжения питания подается через фильтры на выводы U_{сс}, AU_{сс} и AU_{сс1} которые соединены между собой. С помощью вывода BU_{сс} подаем напряжение питания на батарею. Вывод AU_{сс} отвечает за подачу напряжения на аналоговые блоки АЦП, ЦАП и компаратора. Питание аналоговых блоков АЦП, ЦАП и компаратора выведено на отдельные выводы для уменьшения помех, создаваемых работой других блоков.

Для того чтобы микроконтроллер работал в нормальном режиме, а не в режиме пониженного энергопотребления вывод Standby заземляем. Так же что выйти из режима Standby, на вывод Wakeup подаем функцию логического нуля.

Выводы DP и DN отвечают за USB интерфейс, с помощью них передается информация на шину USB. Это дает возможность подключать цифровой фазо-

вый преобразователь угла к персональному компьютеру или другим устройствам.

По рекомендации производителя микроконтроллера [23] стоят следующие конденсаторы:

— С21 22мкФ: К50-35 22мкФ 400В 85гр, 20%.

— С22-С25 0,1 мкФ: К10-17А Н50 0,1мкФ, 10%.

Принципиальная схема полифункционального фазового преобразователя перемещения изображена в приложении А.

Вывод по главе три:

— подобрана схема подключения первичного датчика (резольвера) к микросхеме 1310НМ025;

— исходя из выбранных элементов (микросхемы и микроконтроллера) были подобраны остальные элементы – конденсаторы и резисторы;

— разработана принципиальная схема цифрового фазового преобразователя угла.

4 АЛГОРИТМ РАБОТЫ КОНТРОЛЛЕРА

Алгоритм работы контроллера показан на рисунке 4.1.

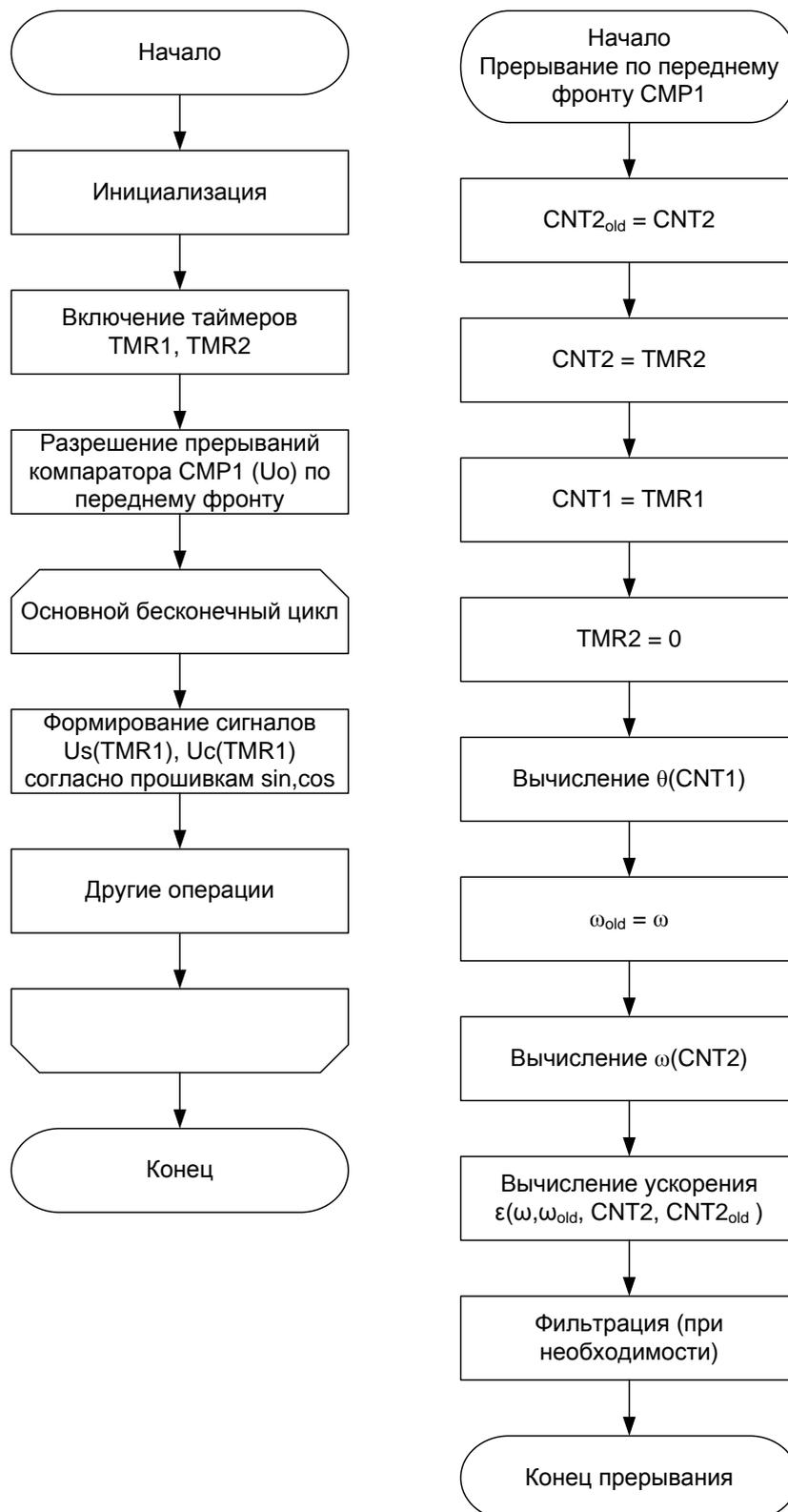


Рисунок 4.1 – Алгоритм работы контроллера

Для хранения, чтения, записи и обмена информацией между микросхемой и микроконтроллером используется интерфейс SPI. Интерфейс SPI может использоваться в двух режимах, чтение/запись регистров микросхемы и режим непрерывной выдачи кода (координаты и/или скорости).

Для обмена данными интерфейс использует 4 сигнала: SPI_CK, SPI_SS, SPI_DO, SPI_DI, SPI_CK – сигнал синхронизации. Микросхема защелкивает входные данные (вход SPI_DI) по переднему фронту SPI_CK и выставляет выходные данные SPI_DO по заднему фронту SPI_CK. Ведущее устройство должно принимать данные с входа SPI_DO по переднему фронту, и передавать SPI_DI по заднему фронту SPI_CK. Временная диаграмма обмена по интерфейсу SPI микросхемы 1310HM025 представлена на рисунке 4.2.

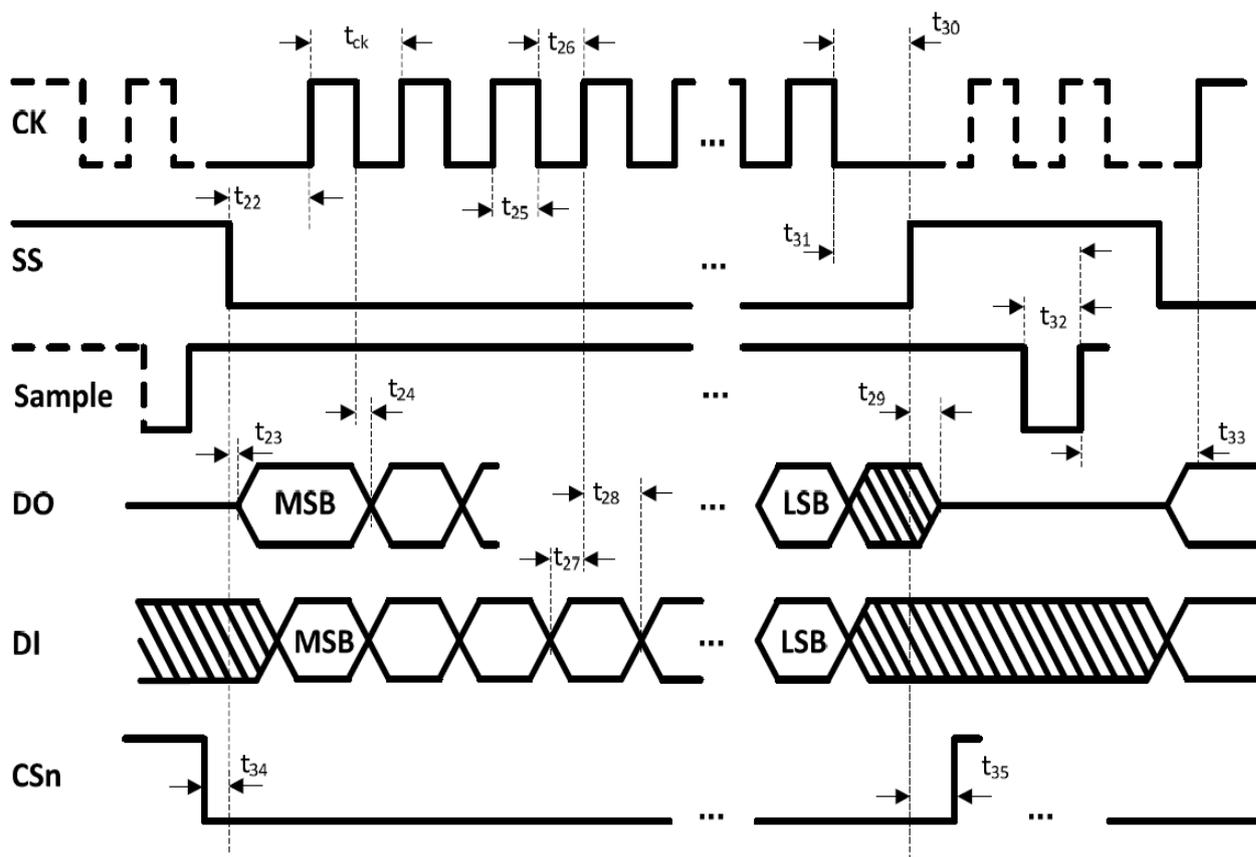


Рисунок 4.2 – Временные диаграммы обмена данными микросхемы 1310HM025

По заднему фронту сигнала SPI_SS данные из соответствующего регистра переписываются в регистр данных интерфейса и в процессе передачи не изменя-

ются. При запросе на передачу будет передана координата, вычисленная в момент прихода заднего фронта SPI_SS. Дополнительно может использоваться вывод CSn. Так как обмен по интерфейсу будет осуществляться только с этой микросхемой, то вывод CSn подтягиваем к нулю.

В таблице 4.1 приведена спецификация к временной диаграмме микросхемы 1310NM025.

Таблица 4.1 – Спецификация к временной диаграмме

Параметр	Описание
f_{ck}	Тактовая частота сигнала СК
t_{ck}	Период сигнала СК ($1/f_{ck}$)
t_{22}	Задержка от заднего фронта SS до переднего фронта СК
t_{23}	Задержка от заднего фронта SS до занятия микросхемой линии DO
t_{24}	Задержка от заднего фронта СК до переключения в новое состояние линии DO
t_{25}	Длительность лог. 1 на линии СК
t_{26}	Длительность лог. 0 на линии СК
t_{27}	Задержка от выставления новых данных на линию DI до переднего фронта СК (DISetup time)
t_{28}	Задержка от переднего фронта СК до выставления новых данных на линию DI (DI Hold time)
t_{29}	Задержка от заднего фронта SS до освобождения микросхемой линии DO
t_{30}	Задержка от заднего фронта СК до переднего фронта SS
t_{31}	Задержка от заднего фронта СК при SS=0 до переднего фронта Sample
t_{32}	Длительность лог. 0 на линии Sample
t_{33}	Задержка от переднего фронта Sample до первого переднего фронта СК при SS в состоянии логического 0
t_{34}	Задержка от заднего фронта CSn до заднего фронта SS.
t_{35}	Задержка от переднего фронта SS до переднего фронта CSn.

Временные диаграммы синхронного последовательного обмена микроконтроллера K1986BE92QI приведены на рисунке 4.3.

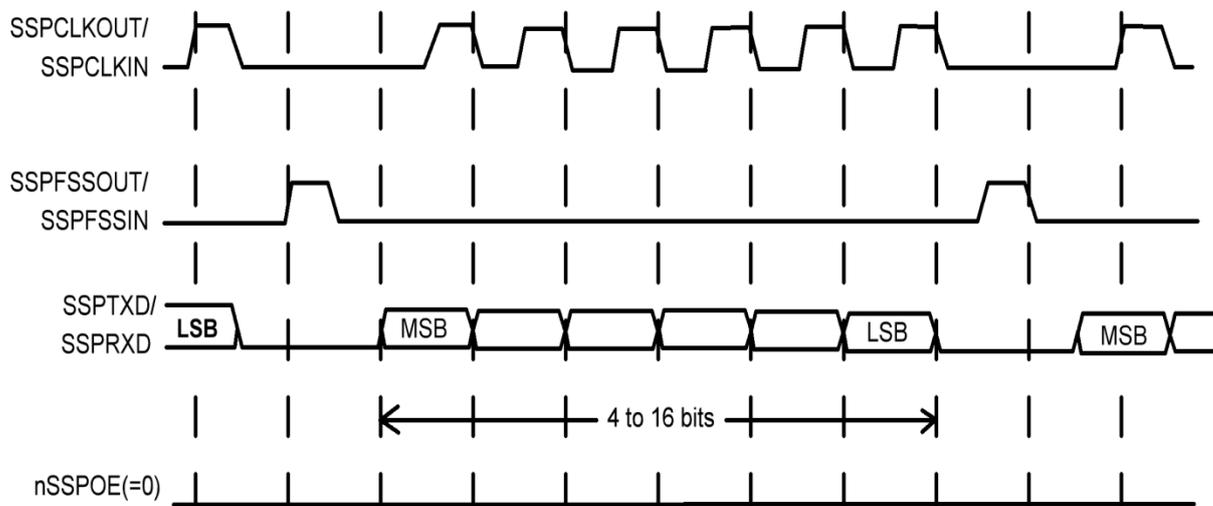


Рисунок 4.3 – Временные диаграммы синхронного последовательного обмена микроконтроллера K1986BE92QI

В этом режиме обмена во время ожидания приемопередатчика:

- сигнал SSP_CLC имеет низкий логический уровень;
- сигнал SSP_FSS высокий логический уровень;
- сигнал SSP_TXD переводится в высокоимпеданское состояние.

Если работа модуля разрешена и в буфере FIFO передатчика содержатся корректные данные, сигнал SSP_FSS переводим в низкий логический уровень, чем указываем на начало обмена данными и разрешаем передачу данных от ведомого устройства на входную линию SSP_RXD ведущего. Контакт передатчика SSPTXD переходит из высокоимпедансного в активное состояние.

По истечении полутакта сигнала SSP_CLK на линии SSP_TXD формируется значение первого бита передаваемых данных. К этому моменту уже сформированы данные на линиях обмена устройств. По истечении следующего полутакта сигнал SSP_CLK переводим в высокий логический уровень.

Далее данные регистрируются по переднему фронту и выдаются в линию по заднему фронту сигнала SSP_CLK.

В случае передачи одного слова данных после приема его последнего бита линию SSP_FSS переводим в высокий логический уровень по истечении одного периода тактового сигнала SSP_CLK.

На линии SSP_FSS должны формироваться импульсы высокого логического уровня между передачами каждого из слов данных. Это связано с тем, что в режиме SPH=0 линия выбора ведомого устройства в низком уровне блокирует запись в сдвиговый регистр. Поэтому переводим линию SSP_FSS ведущего устройства в высокий уровень по окончании передачи каждого кадра, разрешая, таким образом, запись новых данных. По окончании приема последнего бита блока данных линию SSP_FSS переводим в состояние, соответствующее режиму ожидания, по истечении одного такта сигнала SSP_CLK.

Выводы по главе четыре:

- построен алгоритм работы контролера;
- построены временные диаграммы обмена данными по интерфейсу SPI микроконтроллера K1986BE92QI и микросхемы резольвера 1310HM025.

5 РАСЧЕТ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК УСТРОЙСТВА

5.1 Расчет погрешности устройства

В соответствии с требованиями МИ 222-80 [26], расчет погрешности произведен в номинальных условиях эксплуатации. Номинальная статическая характеристика измерительного канала $f_{ni}(x)$ рассчитывается по (5.4) для линейных функций преобразования отдельных звеньев:

$$A^i = \prod_{j=i+1}^N A_j, \text{ при } i=1, 2, \dots, N-1 \quad (5.1)$$

$$A^N = 1, \quad (5.2)$$

$$a = \sum_{i=1}^N A^i a_i, \quad (5.3)$$

$$f_{ni}(x) = A_i x + a_i, \quad (5.4)$$

где N — количество компонентов в канале;

$f_{ni}(x)$ — номинальные статические характеристики преобразования каждого компонента ($i=1, 2, \dots, N$);

A_i и a_i — мультипликативная и аддитивная составляющие номинального преобразования компонента соответственно.

Рассчитаем характеристики систематической и случайной составляющих погрешности. Определим следующие метрологические характеристики измерительного канала цифрового преобразователя угла:

$M [\Delta_{ci}(x)]$ — математическое ожидание систематической составляющей погрешности измерительного канала данного типа (для всех измерительных каналов ИИС $i = 1, 2, \dots, m$);

$\sigma[\Delta_{ci}(x)]$ — среднее квадратическое отклонение (далее - СКО) систематической составляющей погрешности измерительного канала данного типа (для всех измерительных каналов ИИС $i = 1, 2, \dots, m$).

$M[\Delta_{cij}(x)]$ – математическое ожидание систематической составляющей погрешности одного канала каждого компонента, входящего в измерительный канал цифрового преобразователя угла ($j= 1, 2, \dots, N$);

$M[\Delta_{cij}(x)]$ является линейной комбинацией всех входных сигналов компонента:

$$M[\Delta_{cij}(x)] = \sum_{k=1}^m B_{kij} x_k + b_{ij}, \quad (5.5)$$

где i – номер какого-либо выделенного канала;

$\sigma[\Delta_{cij}(x)]$ – среднее квадратическое отклонение систематической составляющей погрешности по одному каналу каждого компонента ($j=1,2,\dots,N$).

$\sigma[\Delta_{cij}(x)]$ – является функцией всех входных сигналов компонентов x_k ($k=1,2,\dots,m$):

$$\sigma[\Delta_{cij}(x)] = \sum_{k=1}^m (G_{kij}^2 x_k^2 + g_{kij}^2)^{1/2}, \quad (5.6)$$

где i — номер какого-нибудь выделяемого канала.

Исходя из (5.6), среднеквадратическое отклонение составляющей систематической погрешности на выходе цифрового преобразователя угла будем находить:

$$\sigma(\Delta) = \sqrt{\sigma^2(\Delta c_1) \cdot (A_2 \cdot A_3 \cdots A_N)^2 + \sigma^2(\Delta c_2) \cdot (A_3 \cdots A_N)^2 + \sigma^2(\Delta c_{N-1}) \cdot A_N^2 + \sigma^2(\Delta_N)} \quad (5.7)$$

а среднеквадратическое отклонение составляющей случайной погрешности на выходе ИИС будем находить:

$$\sigma(\dot{\Delta}) = \sqrt{\sigma^2(\dot{\Delta}_1) \cdot (A_2 \cdot A_3 \cdots A_N)^2 + \sigma^2(\dot{\Delta}_2) \cdot (A_3 \cdots A_N)^2 + \sigma^2(\dot{\Delta}_{N-1}) \cdot A_N^2 + \sigma^2(\dot{\Delta}_N)}, \quad (5.8)$$

где A_N – функция преобразования.

Полная погрешность ИИС представляет собой сумму систематической $|\Delta_c|$ и случайной $\delta|\dot{\Delta}|$ погрешностей

$$\Delta = |\Delta_c| + \gamma \cdot \delta \left| \dot{\Delta} \right| \quad (5.9)$$

Полная систематическая погрешность:

$$\Delta = M|\Delta_c| + k \cdot \delta|\Delta_c|, \quad (5.10)$$

где $M|\Delta_c|$ – математическое ожидание погрешностей на выходе элементов,
 k – коэффициент Стьюдента,
 $\delta|\Delta_c|$ – среднеквадратическое отклонение систематической составляющей погрешности на выходе цифрового преобразователя угла.

На рисунке 5.1 представлен измерительный канал цифрового фазового преобразователя угла.

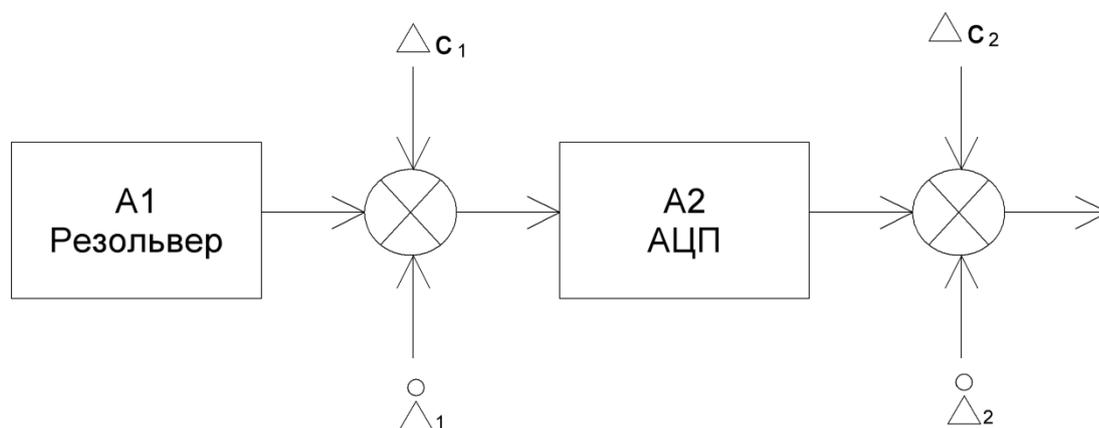


Рисунок 5.1 – Измерительный канал цифрового фазового преобразователя угла

Характеристики АЦП для расчета:

- 12 разрядный
- время преобразования отсчета $5 \cdot 10^{-7} c$
- частота преобразования 333,33 Гц

В вольтах:

Рассчитаем функции преобразования для каждого элемента:

$$A_1 = \frac{3}{360} = 0,0083B \cdot \text{градус}^{-1}$$

$$A_2 = \frac{3}{2^{12}} = 0,000732B \cdot \text{разряд}^{-1}$$

Математическое ожидание $M|\Delta_c|$ всех элементов измерительного канала равно 0.

Рассчитаем среднеквадратическое отклонение систематической погрешности:

1) Резольвера

$$\Delta_{осч1} = \pm 5\% = \pm 0,05B$$

Предполагая равномерный вид закона распределения, найдем дисперсию систематической составляющей погрешности:

$$D_1 = \frac{(x_в - x_н)^2}{12} \quad (5.11)$$

$$D_1 = \frac{(0,05 + 0,05)^2}{12} = 0,000833B^2$$

Найдем среднеквадратическое отклонение резольвера:

$$\sigma_1 = \sqrt{D} \quad (5.12)$$

$$\sigma_1 = \sqrt{0,000833} = 0,029B$$

2) Аналого – цифровой преобразователь

Рассчитаем пределы основной погрешности АЦП:

$$\Delta_{осч2} = \frac{U_{вх}}{2^n}, \quad (5.13)$$

где n – количество разрядов АЦП.

$$\Delta_{осч2} = \frac{3}{2^{12}} = 0,00073B \cdot \text{разряд}^{-1}$$

Из (5.11) найдем дисперсию систематической составляющей погрешности АЦП:

$$D_2 = \frac{(0,00073 + 0,00073)^2}{12} = 0,18 \cdot 10^{-6} B^2 \text{разряд}^{-2}$$

Из (5.12) найдем среднеквадратическое отклонение систематической составляющей погрешности АЦП:

$$\sigma_2 = \sqrt{0,18 \cdot 10^{-6}} = 0,00042B \cdot \text{разряд}^{-1}$$

Рассчитаем среднеквадратическое отклонение систематической составляющей погрешности измерительного канала по (5.7):

$$\sigma(\Delta) = \sqrt{0,029^2 \cdot 0,000732^2 + 0,00042^2} = 0,00042B$$

Исходя из (5.10) определим полную систематическую погрешность:

$$\Delta c = 0 + 1,96 \cdot 0,00042 = 0,00082B$$

Рассчитаем среднеквадратическое отклонение случайной погрешности:

1) У первичного датчика (резольвера) среднеквадратическое отклонение случайной погрешности $\delta(\Delta)$ будет равно нулю.

2) Аналога – цифровой преобразователь

$$n = 12$$

$$T = 5 \cdot 10^{-7} c$$

$$F = 333,33 \text{Гц}$$

Корреляционная функция вида:

$$R_x(\tau) = \delta_x^2 (1 + \alpha|\tau|) e^{-a|\tau|}$$

Приведённое значение дисперсии случайной погрешности АЦП с равномерной шкалой квантования для случайного сигнала с нормальным распределением спектра с $M|\Delta_c| = 0$

Приведенное значение дисперсии результирующей случайной погрешности:

$$\sigma^2(\Delta_{АЦП}) = \frac{1}{12 \cdot 2^n} + \frac{\sigma_x T_{np}^2}{9} \quad (5.14)$$

$$\text{Время преобразования: } T_p = a \cdot 2^n \quad (5.15)$$

$$\text{Дисперсия производной процесса } \sigma_x = |R_x(\tau)|_{\tau=0} \quad (5.16)$$

Вторая производная корреляционной функции: $\ddot{R}_x(\tau)$

$$a = \left(\sqrt{1 + \sqrt{2}} \right) \cdot 2\pi \cdot F_{max} \quad (5.17)$$

Приведенное значение дисперсии результирующей случайной погрешности:

$$\sigma^2(\Delta_{АЦП}) = \frac{1}{12 \cdot 2^n} + \frac{\sigma_x T_{np}^2}{9} \quad (5.18)$$

Рассчитаем по (5.14) приведенное значение дисперсии результирующей случайной погрешности АЦП:

$$\sigma^2(\Delta_{АЦП}) = \frac{1}{12 \cdot 2^{12}} + \frac{((\sqrt{1+\sqrt{2}}) \cdot 2 \cdot \pi \cdot 333,33 \cdot 5 \cdot 10^{-7})^2}{9} = 2,035 \cdot 10^{-5} c^2$$

Из полученного найдем среднеквадратическое отклонение случайной составляющей погрешности АЦП:

$$\sigma(\Delta_{АЦП}) = \sqrt{2,035 \cdot 10^{-5}} = 0,0045c$$

Рассчитаем среднеквадратическое отклонение случайной составляющей погрешности измерительного канала по (5.8):

$$\delta(\Delta) = \sqrt{0 \cdot 0,000732^2 + 0,0045^2} = 0,0045c$$

Исходя из (5.9) определим полную погрешность измерительного канала:

$$\Delta = 0,0082 + 1,96 \cdot 0,0045 = 0,017B$$

В градусах:

Рассчитаем функции преобразования для каждого элемента:

$$A_1 = \frac{3}{360} = 0,0083B \cdot \text{градус}^{-1}$$

$$A_2 = \frac{360}{2^{12}} = 0,088^\circ \cdot \text{разряд}^{-1}$$

Математическое ожидание $M|\Delta_c|$ всех элементов измерительного канала равно 0.

Рассчитаем среднеквадратическое отклонение систематической составляющей погрешности:

1) Резольвера

$$\Delta_{осн1} = \pm 10' = \pm 0,17^\circ$$

Исходя из (5.11) и (5.12) найдем среднеквадратическое отклонение систематической составляющей погрешности резольвера:

$$\sigma_1 = \sqrt{\frac{(0,17 + 0,17)^2}{12}} = 0,098^\circ$$

2) Аналога – цифровой преобразователь

$$\Delta_{осн2} = \pm 316,406'' = \pm 0,088^\circ$$

Исходя из (5.11) и (5.12) найдем среднеквадратическое отклонение систематической составляющей погрешности АЦП:

$$\sigma_2 = \sqrt{\frac{(0,088 + 0,088)^2}{12}} = 0,051^\circ$$

Рассчитаем среднеквадратическое отклонение систематической составляющей погрешности измерительного канала по (5.7):

$$\delta(\Delta) = \sqrt{0,098^2 \cdot 0,088^2 + 0,051^2} = 0,052^\circ$$

Исходя из (5.10) определим полную систематическую погрешность:

$$\Delta_c = 0 + 1,96 \cdot 0,052 = 0,102^\circ$$

Среднеквадратическое отклонение случайной погрешности АЦП:

$$\sigma(\Delta_{слп}) = \sqrt{2,035 \cdot 10^{-5}} = 0,0045c$$

По (5.8) рассчитаем среднеквадратическое отклонение случайной составляющей погрешности измерительного канала:

$$\delta(\Delta) = \sqrt{0 \cdot 0,088^2 + 0,0045^2} = 0,0045c$$

Определим полную погрешность измерительного канала исходя из 5.9:

$$\Delta = 0,102 + 1,96 \cdot 0,0045 = 0,111^\circ$$

5.2 Методика выполнения измерения

Методика выполнения измерения (далее – МВИ) цифрового преобразователя перемещения с первичным сенсором резольвером типа ЛИР-ДР158А.

Методика выполнения измерения составлена в соответствии с требованиями ГОСТ Р 8.563–2009[4].

1) Область применения

Данная методика применяется для измерения угла поворота и линейных перемещений.

2) Требования к погрешности измерений

Погрешность измерений соответствует характеристикам, приведенным при расчете погрешности при измерении перемещения и угла поворота цифровым фазовым преобразователем угла.

Полная систематическая погрешность:

$$\Delta c = 0,00082B$$

$$\Delta c = 0,102^\circ$$

Среднеквадратическое отклонение случайной составляющей погрешности:

$$\delta(\Delta) = 0,0045c$$

Полная погрешность цифрового фазового преобразователя угла в вольтах и градусах соответственно:

$$\Delta = 0,017B$$

$$\Delta = 0,111^\circ$$

Погрешности, вносимые оператором (субъективные погрешности) отсутствуют, так как прибор автоматизирован.

3) Средства измерений, вспомогательные устройства, материалы, растворы

Цифровой фазовый преобразователь угла с сенсором типа резольвер. Диапазон измерения сенсора $0^\circ - 360^\circ$. Максимальная скорость вращения вала 10000 об/мин. Допустимое осевое смещение вала $\pm 0,5$ мм. Допустимое радиальное смещение вала $\pm 0,2$ мм. Ток через обмотку возбуждения < 50 мА. Степень защиты от внешних воздействий IP65. Напряжение на выходе: $3 \pm 5\%$ В. Точность: $\pm 10'$.

4) Метод измерения

Основным методом измерения угла и перемещения являются прямые однократные измерения. Данная методика применима при выполнении следующих условий: составляющие погрешности известны, случайные составляющие распределены по нормальному закону, а не исключенные систематические, заданные своими границами — равномерно.

Составляющими погрешности прямых однократных измерений являются:

— погрешности средства измерения (далее – СИ), рассчитываемые по их метрологическим характеристикам;

— погрешность используемого метода измерений, определяемая на основе анализа в каждом конкретном случае;

— личная погрешность, вносимая конкретным оператором. Если последние две составляющие не превышают 15% погрешности СИ, то за погрешность результата однократного измерения принимают погрешность используемого СИ.

5) Условия проведения измерений и характеристика измеряемой среды

Для достижения наилучшей точности результата измерения, измерения следует проводить при следующих условиях:

— температура окружающей среды, °С (от –40 до +80);

— относительная влажность при температуре 25°С, % (не более 80);

6) Подготовка к выполнению измерений

Подготовка к выполнению измерений заключается в осуществлении комплекса мероприятий по вводу измерительной системы в эксплуатацию, основными из которых являются:

— проведение поверки СИ;

— проведение внешнего осмотра датчика давления и наличия полной комплектации;

— проверка правильности монтажа в соответствии с проектной документацией;

— проведение наладочных работ;

— введение системы измерений в эксплуатацию.

В первую очередь необходимо проверить целостность конструкции цифрового фазового преобразователя угла, проверить осевое и радиальное смещение вала, чтобы они не превышали допустимых значений $\pm 0,5$ мм и $\pm 0,2$ мм соответственно. Далее необходимо подключить цифровой фазовый преобразователь угла непосредственно к объекту измерения. При подключении проверить, чтобы все контакты, разъемы и поверхности были без технических загрязнений, это необходимо для наилучшего контакта преобразователя и объекта измерения, чтобы не создавались дополнительные помехи при вращении вала.

7) Выполнение измерений

Подключить цифровой фазовый преобразователь угла к измеряемому объекту и зафиксировать результат измерения, отображенный в цифровом виде. Диапазон измерения: 0° - 360° .

8) Обработка результатов измерений

За результат однократного измерения принимать значение величины, полученное при измерении. Составляющие погрешности результата измерения считать известными до проведения измерения. Предполагать, что известные систематические погрешности исключены.

Считать, что распределение случайных погрешностей не противоречит нормальному распределению, а не исключенные систематические погрешности, представленные заданными границами $\pm \Theta$, распределены равномерно.

Неопределенность результата измерений учитывать как неполное знание значения измеряемой величины, и для количественного выражения этой неполноты ввести распределение вероятностей возможных значений измеряемой величины - параметр, который количественно характеризует точность результата измерений. Полагая, что распределение вероятностей возможных значений измеряемой величины не противоречит нормальному распределению.

Выполнение однократных измерений обосновывают следующими факторами:

- производственной необходимостью (разрушение образца, невозможность повторения измерения, экономическая целесообразность и т.д.);
- возможностью пренебрежения случайными погрешностями;
- случайные погрешности существенны, но доверительная граница погрешности результата измерения не превышает допускаемой погрешности измерений;
- стандартная неопределенность, оцениваемая по типу А, существенна, но расширенная неопределенность не превышает заданного предела.

При определении доверительных границ погрешности или расширенной неопределенности для уровня доверия Р результата измерения принимать вероятность, равную 0,95.

При вычислениях следует пользоваться правилами округления в соответствии с МИ1317-2004[28].

Составляющими погрешности результата однократного измерения являются погрешности СИ, метода, оператора, а также погрешности, обусловленные изменением условий измерения.

Неопределенность результата однократного измерения может быть представлена стандартными неопределенностями, оцениваемыми по типу А.

Характеристикой не исключенной систематической погрешности могут быть:

- границы $\pm\Theta$;
- доверительные границы $\pm\Theta(P)$.

Характеристикой случайных погрешностей могут быть:

- СКО S;
- доверительные границы $\pm e(P)$

Погрешность результата однократного измерения чаще всего представлена не исключенными систематическими погрешностями и случайными погрешностями.

Погрешность СИ определять на основании их метрологических характеристик, которые должны быть указаны в нормативных и технических документах, и в соответствии с РД50-453-84 «Методические указания. Характеристики погрешности средств измерений в реальных условиях эксплуатации. Методы расчета» [29].

Погрешности метода и оператора определены при разработке и аттестации конкретной МВИ.

Доверительные границы случайной погрешности и стандартную неопределенность, оцениваемую по типу А, результата измерения вычислять следующим образом.

а) Если случайные погрешности представлены несколькими СКО S_i , то СКО результата однократного измерения $S(\tilde{A})$ вычисляют по (5.19)

$$S(\tilde{A}) = \sqrt{\sum_{i=1}^m S_i^2} \quad (5.19)$$

Стандартную неопределенность, оцениваемую по типу А, результата однократного измерения u_A вычислять по (5.20):

$$u_A = \sqrt{\sum_{i=1}^m u_{i,A}^2}, \quad (5.20)$$

где m – число составляющих случайных погрешностей.

Из (5.21) вычислять доверительную границу случайной погрешности результата измерения:

$$\varepsilon(P) = Z_{P/2} \cdot S(\tilde{A}), \quad (5.21)$$

где $Z_{P/2}$ – $P/2$ точка нормированной функции Лапласа, отвечающая вероятности P .

б) Если случайные погрешности представлены в виде доверительных границ $\varepsilon_i(P)$, соответствующими одной и той же вероятности, доверительную границу случайной погрешности результата однократного измерения вычислять по (5.22):

$$\varepsilon(P) = \sqrt{\sum_{i=1}^m \varepsilon_i^2(P)} \quad (5.22)$$

в) Если случайные погрешности заданы в виде доверительных границ, соответствующими разными вероятностями, сначала определить среднеквадратическое отклонение результата измерения по (5.23):

$$S(\tilde{A}) = \sqrt{\sum_{i=1}^m \varepsilon^2(P_i) / Z_{P_i/2}^2} \quad (5.23)$$

А затем вычислить доверительные границы случайной погрешности результата измерения по (5.21).

Форма представления результатов однократных измерений должна соответствовать МИ1317-2004 [28].

При симметричной доверительной погрешности результат однократного измерения представлять в форме $\tilde{A}; \pm D(P); P$ или $\tilde{A}; \pm D(P)$, или $\tilde{A}; U(P)$.

9) Контроль точности результатов измерений

Для проведения контроля точности результатов измерения необходимо воспользоваться более точными цифровыми фазовыми преобразователями угла с предельной погрешностью $\pm 0,01 \dots 0,16$ В или $\pm 0,033 \dots 0,038^\circ$.

5.3 Разработка методики поверки

Поверка средств измерений - совокупность операций, выполняемых органами Государственной метрологической службы (другими уполномоченными органами, организациями) с целью, определения и подтверждения соответствия средств измерений установленным техническим требованиям.

Разработка методики поверки микроконтроллерного полифункционального преобразователя перемещения Разработана в соответствии с требованиями МИ 1202-86 [30].

По решению федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт) право поверки средств измерений предоставляется

только аккредитованным метрологическим службам. Деятельность данных служб ведется в соответствии с действующим в настоящее время законодательством и нормативными документами по обеспечению единства измерений Росстандарта.

1.Операции поверки

При проведении поверки цифрового фазового преобразователя угла должны выполняться операции, приведенные в таблице 5.1

Таблица 5.1 – Операции необходимые при проведении поверки

Наименование операции	Номер пункта методических указаний	Обязательность проведения операции при	
		первичной поверке	эксплуатации и хранения
Внешний осмотр	6.1	Да	Да
Проверка электрической прочности и сопротивления изоляции	6.2	Да	Нет
Проверка осевого смещение вала	6.3	Да	Да
Проверка радиального смещение вала	6.4	Да	Да
Проверка СКО случайной составляющей основной инструментальной погрешности	6.5	Да	Да
Проверка времени задержки запуска	6.6	Да	Да
Опробование	6.7	Да	Да
Проверка систематической составляющей основной погрешности	6.8	Да	Да
Проверка основной погрешности	6.9	Да	Да

2. Средства поверки

В качестве средства контроля для преобразователей угловых перемещений 5, 6, 7, 8 и 10 классов точности используется энкодер фирмы HEIDENHAIN ROD-800 (точность $\pm 1''$).

Для опробования входного сигнала АЦП и выходного напряжения первичного датчика следует пользоваться мультиметрами в режиме измерения напряжения:

а) APPA 303, $\delta = \pm 0,1\%$,

б) FLUKE 107, $\delta = \pm 0,1\%$

Для проверки осевого смещения вала рекомендуется использовать прибор ИП 107, $\delta = \pm 2\%$.

Для проверки радиального смещения вала следует использовать прибор MarStand 818, $\delta = \pm 2\%$.

3 Требования к квалификации поверителя и других исполнителей

Согласно РМГ 51-2002 [31] или разделу Технического описания и инструкции по эксплуатации (паспорта), регламентирующих методику поверки цифровых измерительных устройств, работу по поверки микроконтроллерного полифункционального фазового преобразователя перемещения должен выполнять специалист, имеющий достаточную подготовку в области метрологии и испытаний электронных измерительных устройств. Специалист, проводящий поверку, должен быть ознакомлен с техникой безопасности.

4. Требования безопасности

При проведении поверки необходимо соблюдать требования безопасности, предусмотренные «Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей» (Зарегистрировано в Минюсте РФ 22 января 2003 г. № 4145), ГОСТ 12.2.007.0-75 [32], ГОСТ 22261-94 [33] и указаниями по технике безопасности, приведенными в эксплуатационной документации на образцовые средства измерения и вспомогательные устройства.

5. Условия поверки и подготовка к ней

Пользователь, сдающий цифровой фазовый преобразователь угла на поверку должен представлять Техническое описание, паспорт прибора и нормативно-техническую документацию на методику проверки данного цифрового измерительного устройства. Перед поверкой необходимо произвести ознакомление со всеми представленными документами на данное цифровое измерительное устройство.

Перед поверкой цифровой фазовый преобразователь должен быть выдержан при температуре от $+15^{\circ}\text{C}$ до $+25^{\circ}\text{C}$ не менее трех часов и в нормальных условиях не менее 2 часов, в соответствии с эксплуатационной документацией.

Цифровой фазовый преобразователь угла и средства поверки должны быть подготовлены согласно эксплуатационной документации.

6. Проведение поверки

6.1 Внешний осмотр

Проверить маркировку цифрового фазового преобразователя угла и наличие необходимых надписей на наружных панелях прибора.

Проверить комплектность цифрового фазового преобразователя угла. Если отсутствует или поврежден кабель подключения сети питания, кабель подключения входного сигнала, то прибор не допускается к поверке.

Также прибор не допускается к поверке если есть: трещины на корпусе, имеется люфт вала первичного преобразователя, незакрепленные предметы внутри прибора, повреждения изоляции.

6.2 Проверка электрической прочности и сопротивления изоляции.

Электрическую прочность и сопротивление изоляции следует проверять в соответствии с ГОСТ 22261-94 [33].

6.3 Проверка осевого смещение вала

Для проверки осевого смещения вала рекомендуется использовать прибор ИП 107. Подключить оборудования в соответствии технической документации прибора ИП 107. При измерении осевое смещение не должно превышать $\pm 0,5$

мм. Если осевое смещение превысило допустимого значения, то цифровой фазовый преобразователь бракуют.

6.4 Проверка радиального смещение вала

Для проверки осевого смещения вала рекомендуется использовать прибор MarStand 818. Подключить оборудования в соответствии технической документации прибора MarStand 818. При измерении осевое смещение не должно превышать $\pm 0,2$ мм. Если осевое смещение превысило допустимого значения, то цифровой фазовый преобразователь бракуют.

6.5 Проверка СКО случайной составляющей основной инструментальной погрешности

Проверку СКО случайной составляющей основной погрешности ЦИУ при $\sigma_{op} > 0,3q_{sf}$ проводить на каждом диапазоне измерений.

По данным таблицы 5.2, в зависимости от a вычисляемой по (5.3), выбрать число отсчетов n , относительный контрольный допуск γ и требования к погрешности образцовых средств измерения.

Установить значение X_0 входного сигнала цифрового фазового преобразователя угла, удовлетворяющее неравенству:

$$0,9|X_k| \leq |X_0| \leq |X_k| - (3\sigma_{op} + q_{sf}),$$

где X_k – значение измеряемой величины, соответствующее верхнему пределу Y_k проверяемого диапазона измерений;

σ_{op} – предел допускаемого среднеквадратического отклонения случайной составляющей основной инструментальной погрешности;

q_{sf} – номинальное значение ступени квантования проверяемого диапазона измерений.

Считать n показаний Y_j ($j=1, \dots, n$) цифрового фазового преобразователя угла при неизменном входном сигнале (n выбирать в соответствии с таблицей 1).

Вычислить оценку среднеквадратического отклонения случайной составляющей основной инструментальной погрешности σ_{oin} по (5.24) или (5.25)

при $\sigma_{op} > 0,3q_{sf}$:

$$\tilde{\sigma}_{oin} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (Y_j - \bar{Y})^2}{n-1} + \frac{q_{sf}^2}{12}} \quad (5.24)$$

при $\sigma_{op} = 0,3q_{sf}$

$$\tilde{\sigma}_{oin} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (Y_j - \bar{Y})^2}{n-1}}, \quad (5.25)$$

где:

$$\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n Y_j. \quad (5.26)$$

Если подкоренное выражение в (5.24) получается меньше нуля, принимать $\sigma_{oin} = 0$

Если выполняется неравенство $\sigma_{oin} > \gamma\sigma_{op}$, считать, что значение СКО случайной составляющей инструментальной основной погрешности превышает предел допускаемых значений, и поверяемый цифровой фазовый преобразователь угла браковать.

Если указанное неравенство не выполняется, то переходят к проверке среднеквадратическое отклонение случайной составляющей основной инструментальной погрешности на других диапазонах.

Число отсчетов n , относительный контрольный допуск γ и требования к погрешности образцовых средств измерения по данной методике выбрать по данным из таблицы 5.2, в зависимости от вспомогательной величины, вычисляемой по (5.27)

$$a = \frac{\sqrt{\sigma_{ep} + \bar{U}_n^2}}{\sigma_{op}}, \quad (5.27)$$

где σ_{ep} – СКО случайной составляющей погрешности образцового средства измерений SM или SI;

\bar{U}_n – СКО (эффективное) значение пульсаций измеряемой величины, подаваемые на цифровой фазовый преобразователь угла.

Таблица 5.2–Число отсчетов n и относительный контрольный допуск γ

σ_{op}	$0,3q_{sf}$		$0,5q_{sf}$		q_{sf}	
	n	γ	n	γ	n	γ
0,1	20	0,8	16	0,85	12	0,8
0,2	20	0,8	16	0,8	15	0,8
0,25	20	0,8	18	0,85	15	0,8
0,33	21	0,8	22	0,9	19	0,9
0,5	24	0,95	29	1,0	22	1,0

6.6 Проверка задержки запуска

Проверку времени задержки запуска $t_{з,n}$ при нормировании пределов Δ_{op} допускаемой погрешности поверяемого ЦИУ, а также при отдельном нормировании систематической и случайной составляющих погрешности в случаях, когда $\sigma_{op} \leq 0,5q_{sf}$, проводить в соответствии следующей методики.

Собрать схему измерений, как изображено на рисунке 5.2.

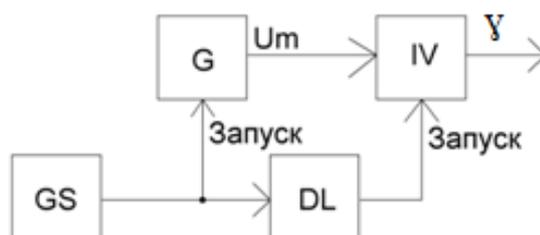


Рисунок 5.2 – Схема измерений для проверки времени задержки запуска АЦП

Проверку времени задержки запуска цифрового фазового преобразователя угла при любом показании каждого диапазона измерений, лежащем в пределах $(0,9 - 1,0)Y_k$, где Y_k – показания прибора, соответствующее верхнему пределу диапазона.

Установить параметры импульсов, вырабатываемых генератором GS, соответствующие требованиям нормативно – технической документации на цифровой фазовый преобразователь угла. Частоту следования импульсов генератора

ГС установить не превышающей максимальной частоту запуска цифрового фазового преобразователя угла.

Установить время задержки линии задержки DL не менее $1,5t_{3.n}$.

Регулируя амплитуду импульсов генератора G, установить такое ее значение U_{m1} , при котором в группе из десяти следующих друг за другом циклов измерений цифрового фазового преобразователя угла с равной частотой появляются показания, меньшие или большие, или равные $(0,9 - 1,0)Y_k$.

Изменять время задержки линии DL, устанавливая ее равным $t_{3.n}$. Регулируя амплитуду импульсов генератора G, установить такое же значение U_{m2} , при котором выполняется условие, описанное в предыдущем пункте.

Если выполняется неравенство $|U_{m1} - U_{m2}| \geq q_{sf}$, то проверяемый цифровой фазовый преобразователь угла браковать. Иначе переходить к следующей проверяемой точке.

6.7 Опробование

Проверяемый цифровой фазовый преобразователь угла и образцовые средства измерения должны быть прогреты, после подключения, в течение 20 минут.

После прогрева провести все необходимые подстройки и калибровку, согласно эксплуатационной документации. Если это окажется невозможным, то цифровой фазовый преобразователь угла забраковать.

Опробовать выходной сигнал на выходе первичного преобразователя и входное напряжения на АЦП с помощью одного из мультиметров представленных в пункте 2. Если напряжения не будут соответствовать паспортным, то цифровой фазовый преобразователь угла забраковать.

Проверить цифровой фазовый преобразователь угла на всех диапазонах измерений, подавая входные сигналы, соответствующие начальному и конечному диапазону измерений. Прибор забраковать, если будет установлена его неработоспособность на одном из диапазонов или в одном из режимов.

6.8 Проверка систематической составляющей основной погрешности

Проверку систематической составляющей основной погрешности проводить при значениях входного сигнала

$$X_1 = (0,05 - 0,1)X_k$$

$$X_2 = (0,2 - 0,3)X_k$$

$$X_3 = (0,4 - 0,6)X_k$$

$$X_4 = (0,7 - 0,8)X_k$$

$$X_5 = (0,9 - 1,0)X_k$$

на каждом диапазоне измерений.

На нижнем пределе измерений проверить дополнительно систематическую составляющую основной погрешности на одном из показаний в пределах младшего десятичного разряда.

Проверку систематической составляющей основной погрешности цифрового фазового преобразователя угла проводить в изложенной ниже последовательности.

Для каждой i -ой проверяемой точки Y_i ($i = 1, \dots, r$) рассчитывают контрольные уровни X_{1i} , X_{2i} измеряемой величины по (5.28):

$$\begin{aligned} |X_{1i}| &= |Y_i| - 0,5q_{sf} - \gamma\Delta_{ospi}, \\ |X_{2i}| &= |Y_i| - 0,5q_{sf} + \gamma\Delta_{ospi}, \end{aligned} \quad (5.28)$$

где Y_i – показание цифрового фазового преобразователя угла, соответствующее проверяемой точке;

Δ_{ospi} – предел допускаемой систематической составляющей основной погрешности для показания Y_i ;

γ – относительный контрольный допуск;

q_{sf} – номинальное значение ступени квантования проверяемого диапазона измерений.

Установить входной сигнал X равным X_{1i} . При $X = X_{1i}$ наблюдать n показаний Y_{1j} ($j = 1, \dots, n$). Подсчитать число m появления показаний, удовлетворяющих неравенству $|Y_{1j}| \geq |Y_i|$. Если число m получится большим $0,5n$, то считать, что систематическая составляющая основной погрешности превышает предел допус-

каемых значений, и поверяемый цифровой фазовый преобразователь угла признать бракованным.

Иначе:

- если $i \neq r$, выполнять операции для следующей проверяемой точки; где r – число проверяемых точек в диапазоне;
- если $i = r$, переходить к проверке систематической составляющей погрешности на следующем пределе измерений (r - число проверяемых точек для данного диапазона измерений прибора);
- если проверены все пределы измерений, переходить к оформлению результатов поверки.

Значения коэффициента γ и число отсчетов n при проверке систематической составляющей основной погрешности выбирать по таблице 5.3 в зависимости от значений (5.29):

$$a = \frac{d}{\Delta_{osp}}, \quad (5.29)$$

где d – предел Δ_{eop} допускаемой основной погрешности или предел Δ_{eosp} допускаемой систематической составляющей основной погрешности (в зависимости от того, что нормировано) образцового средства измерений СИ (меры SM);

Δ_{osp} – предел допускаемой систематической составляющей основной погрешности поверяемого прибора.

Вспомогательную величину b , вычислять по следующим выражениям:

при нормировании пределов допускаемой погрешности по (5.30):

$$b = \frac{\sqrt{\sigma_{op}^2 + \sigma_{ep}^2}}{q_{sf}}, \quad (5.30)$$

где σ_{ep} – предел допускаемого СКО случайной составляющей погрешности образцового средства измерений;

q_{sf} – номинальное значение ступени квантования поверяемого диапазона измерений; отношения Δ_{osp} / q_{sf} предела допускаемой систематической состав-

ляющей основной погрешности поверяемого прибора к номинальному значению его ступени квантования на проверяемом диапазоне измерений.

Таблица 5.3 – Таблица выбора n и γ

Δ_{osp} / q_{sf}	a	$b \leq 0,3$		$0,3 < b \leq 0,5$		$0,5 < b \leq 1$	
		n	γ	n	γ	n	γ
1	0,1	4	0,80	16	0,80		
	0,2	6	0,80	18	0,80		
	0,25	8	0,80	28	0,80		
	0,33	18	0,85	(32)	(0,80)		
	0,5	(12)	(0,70)	-	-		
2	0,1	2	0,90	4	0,85	14	0,80
	0,2	2	0,90	4	0,85	24	0,85
	0,25	2	0,90	6	0,85	26	0,80
	0,33	2	0,85	14	0,85	(16)	(0,70)
	0,5	(10)	(0,80)	(10)	(0,70)	-	-
3	0,1	2	0,95	2	0,9	6	0,80
	0,2	2	0,95	2	0,85	10	0,80
	0,25	2	0,90	2	0,80	14	0,85
	0,33	2	0,85	6	0,85	30	0,85
	0,5	(2)	(0,80)	(2)	(0,70)	(16)	(0,70)
4	0,1	2	0,95	2	0,90	4	0,85
	0,2	2	0,95	2	0,90	4	0,80
	0,25	2	0,95	2	0,90	8	0,85
	0,33	2	0,90	2	0,80	24	0,85
5 и более	0,1	2	0,95	2	0,95	2	0,85
	0,2	2	0,95	2	0,95	2	0,80
	0,25	2	0,95	2	0,90	2	0,80
	0,33	2	0,90	2	0,90	2	0,80
	0,5	(2)	(0,80)	(6)	(0,80)	(6)	(0,70)

6.9 Проверка основной погрешности

Проверку систематической составляющей основной погрешности проводить при значениях входного сигнала

$$X_1 = (0,05 - 0,1)X_k$$

$$X_2 = (0,2 - 0,3)X_k$$

$$X_3 = (0,4 - 0,6)X_k$$

$$X_4 = (0,7 - 0,8)X_k$$

$$X_5 = (0,9 - 1,0)X_k$$

на каждом диапазоне измерений.

На нижнем пределе измерений проверить дополнительно систематическую составляющую основной погрешности на одном из показаний в пределах младшего десятичного разряда.

Проверку основной погрешности цифрового фазового преобразователя угла проводить в изложенной ниже последовательности.

На основном диапазоне измерений устанавливают значение измеряемой величины в пределах $(0,9 - 1,0)X_k$.

Если, регулируя измеряемую величину, можно установить такое ее значение, при котором не наблюдаются изменения показаний в младшем значащем разряде отсчетного устройства поверяемого фазового преобразователя угла, то отношение пределов допускаемых погрешностей образцового средства измерений и поверяемого прибора, число отсчетов n , относительный контрольный допуск γ выбирают по таблице 5.4 и 5.5.

Если при любом неизменном значении измеряемой величины в младшем значащем разряде отсчетного устройства наблюдается от 2 до 3 соседних показаний, то отношение пределов допускаемых погрешностей образцового средства измерений и поверяемого ЦИУ, число отсчетов n , относительный контрольный допуск γ выбирают по таблице 8.

Если будет обнаружено, что при каком-либо значении измеряемой величины в младшем значащем разряде отсчетного устройства могут появляться пока-

зания, разность которых превышает $2q_{sf}$, поверяемый преобразователь угла браковать.

Рассчитать контрольные значения X_{1i} и X_{2i} для каждой проверяемой точки Y_i ($i= 1, \dots, n$) по (5.31):

$$\begin{aligned} |X_{1i}| &= |Y_i| - \gamma \Delta_{ospi}, \\ |X_{2i}| &= |Y_i| + \gamma \Delta_{ospi}, \end{aligned} \quad (5.31)$$

где Y_i – показание цифрового фазового преобразователя угла, соответствующее проверяемой точке;

Δ_{ospi} – предел допускаемой систематической составляющей основной погрешности для показания Y_i ;

γ – относительный контрольный допуск.

Установить входной сигнал X равным X_{1i} . При каждом значении $X = X_{1i}$ наблюдать n показаний Y_{1j} ($j = 1, \dots, n$) цифрового фазового преобразователя угла. Подсчитать число m появления показаний, удовлетворяющих неравенству $|Y_{1j}| \geq |Y_j|$. Если число m получится не равным нулю, то прибор забраковать.

Иначе, установить значение $X = X_{2i}$. При каждом значении $X = X_{1i}$ наблюдать n показаний T_{2ij} ($j = 1, \dots, n$) цифрового фазового преобразователя угла. Подсчитать число m появления показаний, удовлетворяющих неравенству $|T_{2ij}| \geq |T_j|$. Если число m получится не равным нулю, то прибор забраковать.

В противном случае:

— если $i = r$, перейти к проверке основной погрешности на следующем диапазоне измерений; после проверки основной погрешности на последнем диапазоне измерений переходят к оформлению результатов поверки.

где r – число проверяемых точек в диапазоне

— если $i < r$, установить значение измеряемой величины равным X_{1i} для следующей проверяемой точки и выполнить операции заново.

Требование к погрешности образцового средства измерения, числу отсчетов n и относительному контрольному допуску γ при проверке основной погрешности установить по таблице 5.4 и 5.5 в зависимости от результата проверки пределов Δ_{op} допускаемой основной погрешности цифрового фазового преобразователя угла и значения вспомогательной величины a , рассчитываемой по (5.32)

$$a = \frac{\Delta_{eop}}{\Delta_{op}}, \quad (5.32)$$

где Δ_{eop} – пределы допускаемой погрешности образцового средства измерений.

Таблица 5.4 – Таблица выбора n и γ

Δ_{osp} / q_{sf}	2		3		4		5 и более	
	n	γ	n	γ	n	γ	n	γ
0,1	17	0,90	1	0,80	1	0,85	1	0,90
0,2	(17)	(0,90)	1	0,80	1	0,85	1	0,90
0,25	(3)	(0,80)	3	0,85	1	0,85	1	0,90
0,33	(5)	(0,80)	3	0,80	1	0,80	1	0,90
0,5	-	-	(15)	(0,80)	(10)	(0,75)	(5)	(0,75)

Таблица 5.5 – Таблица выбора n и γ

Δ_{osp} / q_{sf}	2		3		4		5 и более	
	n	γ	n	γ	n	γ	n	γ
0,1	(5)	(0,80)	3	0,80	1	0,85	3	0,85
0,2	(5)	(0,80)	3	0,80	1	0,85	3	0,85
0,25	(5)	(0,80)	3	0,80	1	0,85	3	0,85
0,33	(9)	(0,75)	10	0,85	1	0,80	5	0,80
0,5	-	-	(20)	(0,70)	(10)	(0,75)	(10)	(0,70)

7 Оформление результатов поверки

После проведения первичной поверки, если она оказалась успешной, то на корпус цифрового фазового преобразователя угла нанести оттиск поверительного клейма, в паспорт прибора произвести запись о прохождении поверки.

После проведения государственной периодической поверки оформлять с помощью нанесения на прибор поверительного клейма, если поверка оказалась положительной.

Допускается по желанию потребителя вместо нанесения поверительного клейма, выдавать свидетельство о поверке на рабочие приборы.

Если цифровой фазовый преобразователь угла не прошел поверку, то прибор не допускать к дальнейшему применению, в паспорт внести отметку о его непригодности к работе, клейма предыдущих поверок считать недействительными, ранее выданное свидетельство аннулировать. Так же следует выдать извещение о непригодности.

8 Достоверность методики выполнения поверки измеряемой величины

Установление допускаемой погрешности поверки, а также выбор эталонного средства измерения по точности осуществляется по параметрам методики поверки цифрового фазового преобразователя угла.

В качестве исходных данных для установления значений параметров методик поверки используем критерии достоверности поверки.

Основными критериями достоверности поверки:

— наибольшая вероятность ошибочного признания годным любого в действительности дефектного экземпляра средств измерения P_{bam}

— отношение наибольшего возможного модуля контролируемой характеристики погрешности средств измерения, которое может быть ошибочно признано годным к пределу ее допускаемых значений $\{(\delta_M)_{\text{ba}}\}$.

Допустимые значения:

$$\{(\delta_M)_{\text{ba}}\}_p = 1,15$$

$$\{P_{\text{bam}}\}_p = 0,45$$

На основании указанных критериев достоверности поверки определим отношение предела допускаемого значения погрешности поверки к пределу допускаемого значения основной погрешности средств измерения $-a_p$, и допускаемую погрешность поверки Δ_{op} .

Предельные значения a_p выбираем из ряда: 1/10; 1/5; 1/4; 1/3; 1/2,5; 1/2.

В частном случае a_p является отношением погрешностей эталонного и поверяемого средства измерения.

При поверке необходимо установить соотношение a_p , которое обеспечивает неравенство (5.33):

$$P_{\text{bam}} \leq \{P_{\text{bam}}\}_p \text{ и } \{(\delta_M)_{\text{ba}}\} \leq \{(\delta_M)_{\text{ba}}\}_p \quad (5.33)$$

Это возможно лишь при условии сравнения полученного при поверке значения погрешности не с пределом допускаемого значения погрешности средств измерения Δ_{op} , а с контрольным допуском $\Delta_{o\gamma}$, который определяется по (5.34)

$$|\Delta_{o\gamma}| = \gamma |\Delta_{op}|, \quad (5.34)$$

где γ – абсолютное значение отношения границ поля контрольного допуска к модулю допускаемого значения характеристики.

Значение γ устанавливается на основании критериев достоверности поверки и выбранного значения a_p .

Для заданных значений $\{(\delta_M)_{\text{ba}}\}_p = 1,15$ и $\{P_{\text{bam}}\}_p = 0,45$ по таблице 5.5, согласно МИ 188-86 [34], проведем границу области, внутри которой лежат значения γ и a_p , обеспечивающие выполнение требований $P_{\text{bam}} \leq \{P_{\text{bam}}\}_p$ и $\{(\delta_M)_{\text{ba}}\} \leq \{(\delta_M)_{\text{ba}}\}_p$.

Таблица 5.5 – Значения γ и $(\delta_M)_{\text{вa}}$

a_p	Значения γ и $(\delta_M)_{\text{вa}}$ при $P_{\text{вaм}}$, равном										
	0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
1/10	0,90	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00
	1,00	1,04	1,05	1,06	1,07	1,08	1,09	1,09	1,09	1,10	1,10
1/5	0,80	0,88	0,91	0,93	0,94	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99	1,00
	1,00	1,08	1,11	1,13	1,14	1,16	1,17	1,18	1,19	1,19	1,20
1/4	0,75	0,85	0,88	0,91	0,93	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1,00
	1,00	1,10	1,13	1,16	1,18	1,20	1,21	1,22	1,23	1,24	1,25
1/3	0,67	0,80	0,85	0,88	0,91	0,93	0,94	0,96	0,98	0,99	1,00
	1,00	1,13	1,18	1,21	1,24	1,26	1,27	1,29	1,31	1,32	1,33
1/2,5	0,60	0,76	0,82	0,86	0,89	0,91	0,93	0,95	0,97	0,98	1,00
	1,00	1,16	1,22	1,26	1,29	1,31	1,33	1,35	1,37	1,38	1,40
1/2	0,50	0,70	0,77	0,82	0,86	0,89	0,92	0,94	0,96	0,98	1,00
	1,00	1,20	1,27	1,32	1,36	1,39	1,42	1,44	1,46	1,48	1,50

Полученную границу перенесем в таблицу 5.6.

Таблица 5.6 – Значение γ и $(P_{\text{gr}})_{\text{mg}}$

a_p	Значения γ и $(\delta_M)_{\text{вa}}$ при $P_{\text{вaм}}$, равном										
	0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
1/10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1/5	0,028	0,005	0,002	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1/4	0,067	0,016	0,009	0,005	0,003	0,002	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000
1/3	0,140	0,047	0,027	0,018	0,012	0,009	0,007	0,005	0,004	0,003	0,002
1/2,5	0,207	0,079	0,047	0,032	0,023	0,019	0,015	0,012	0,009	0,007	0,006
1/2	0,305	0,133	0,087	0,062	0,045	0,035	0,027	0,023	0,019	0,016	0,013

Двигаясь по границе области, установим значения γ , a_p , $(P_{\text{gr}})_{\text{mg}}$ (таблица 5.7), при которых выполняется требование.

Таблица 5.7 – Значения γ , a_p , $(P_{gr})_{mg}$

a_p	1/10	1/5	1/4	1/3	1/2,5	1/2
γ	1	0,94	0,88	0,80	0,60	0,50
$(P_{gr})_{mg}$	0	0,001	0,009	0,047	0,207	0,305

Для поверки цифрового преобразователя угла рекомендовано использовать значение минимум $a_p = 1/3$, отсюда полученного ряда следует:

— средняя вероятность ошибочного признания дефектным годного цифрового фазового преобразователя угла составляет 4,7% (т.к. $(P_{gr})_{mg} = 0,047$)

— контрольный допуск составляет 0,80 допускаемой погрешности поверяемого цифрового фазового преобразователя угла, т.е. $\Delta_{o\gamma} = 0,80\Delta_{op}$

Выводы по главе пять:

- рассчитана погрешность цифрового фазового преобразователя угла
- составлена методика выполнения измерения
- составлена методика поверки, рассчитаны средняя вероятность ошибочного признания дефектным годного цифрового фазового преобразователя угла и контрольный допуск погрешности.

6 ОРГАНИЗАЦИОННО – ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

6.1 Сетевое планирование

Сетевые методы планирования и управления как разновидность экономико-математического направления получили признание и распространение в промышленности.

Планирование работ производится сетевым методом, так как он позволяет увидеть весь комплекс работ как единый процесс, определить наиболее трудоемкие виды работ, работы, которые могут выполняться одновременно, и спланировать их выполнение таким образом, чтобы обеспечить оптимальные сроки выполнения работ, более равномерную занятость персонала, а, следовательно, и лучшее качество выполнения работ. Данный метод позволяет также корректировать каждый из вышеназванных факторов в процессе выполнения работ. В результате это ведет к наиболее эффективному решению поставленной задачи. Конечной целью построения сетевого графика является получение информации о плановых сроках выполнения работ, находящихся на критическом пути

6.2 Построение сетевого графика

Ожидаемая продолжительность работы t_{ij} в сетевом графике рассчитывается по двух оценочной методике исходя из минимальной $t_{ij\min}$ и максимальной $t_{ij\max}$ оценок продолжительности, определяемых по экспертным оценкам, основанным на личном опыте руководителя выпускной квалификационной работы.

Ожидаемая продолжительность каждой работы найдем по (6.1):

$$t_{ож} = (3t_{\min} + 2t_{\max}) / 5, \quad (6.1)$$

где $t_{ож}$ – ожидаемая продолжительность работ, дн.;

t_{\min} – минимальная продолжительность работ, дн.;

t_{\max} – максимальная продолжительность работ, дн.

С дальнейшим округлением до ближайшего целого числа. При этом предполагается, что минимальная оценка соответствует наиболее благоприятным условиям работы, а максимальная – наиболее неблагоприятным.

Среднеквадратическое отклонение продолжительности по двух оценочной методике рассчитывается по (6.2):

$$\sigma = 0,2 \cdot (t_{\text{макс}} - t_{\text{мин}}) \quad (6.2)$$

Дисперсия определяется по(6.3):

$$D = 0,04 \cdot (t_{\text{макс}} - t_{\text{мин}})^2 \quad (6.3)$$

Все работы осуществляет группа в составе:

1. научный руководитель– 1 человек;
2. консультант по БЖД– 1 человек;
3. консультант по экономике – 1 человек;
4. нормоконтролер – 1 человек;
5. студент – 1 человек.

Описание работ и их продолжительности, необходимое количество исполнителей по каждой из них, а также среднеквадратичное отклонение и дисперсия приведены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Перечень и параметры работ сетевого графика

Код работы	Наименование работы	Продолжит.дн.			Исполнители, чел.				
		мин	макс	ожд	Н.Р.	Кон. бжд	Кон.э кон	Нормк	Студ.
0,1	Разработка и утверждение ТЗ на проектирование	2	3	2	1	0	0	0	0
1,2	Подбор необходимой литературы	15	25	19	0	0	0	0	1
1,3	Сбор технической документации	7	13	9	0	0	0	0	1
1,5	Оформление аналитического обзорамехатронных систем	8	13	10	0	0	0	1	1
3,4	Обзор существующих первичных преобразователей перемещения	2	4	3	0	0	0	0	1
4,6	Обзор современного измерительно-го оборудования при угловых перемещений	2	6	4	0	0	0	0	1

Продолжение таблицы 6.1

Код работы	Наименование работы	Продолжит.дн.			Исполнители, чел.				
		мин	макс	ожд	Н.Р.	Кон.бжд	Кон.экон	Нормк	Студ.
4,11	Разработка мероприятий по охране труда и технике безопасности	4	6	5	0	1	0	1	1
5,10	Анализ структуры полифункционального фазового преобразователя	6	8	7	0	0	0	0	1
6,7	Согласование структуры	1	3	2	1	0	0	0	0
6,8	Анализ микроконтроллерного варианта полифункционального преобразователя	1	3	2	0	0	0	0	1
7,8	Разработка микроконтроллерного полифункционального фазового преобразователя перемещения	22	26	24	0	0	0	0	1
8,9	Разработка алгоритма программы микроконтроллера	3	5	4	0	0	0	0	1
8,12	Составление сетевого графика	5	7	6	0	0	1	0	1
9,13	Вывод о полученных результатах	2	4	3	0	1	0	1	1
13,14	Защита ВКР	1	1	1	0	0	0	0	1

6.3 Расчет параметров событий сетевого графика

Важнейшими параметрами любой сетевой модели являются ранние и поздние сроки наступления ее событий.

Ранний срок свершения исходного (нулевого) события сетевого графика принимается равным нулю. Ранний срок свершения данного промежуточного события рассчитывается путем сравнения сумм, состоящих из раннего срока свершения события, непосредственно предшествующего данному и длительности работы.

Расчет раннего срока (T_{pj}) ведется по(6.4):

$$T_{pj} = \max\{T_{pi} + t_{ij}\}, \quad i \in H(j), \quad j \in K, \quad (6.4)$$

где $H(j)$ – множество начальных событий тех работ, которые имеют своим конечным событием одно и то же событие j ;

K – множество конечных событий сетевого графика, которое включает все события сетевого графика, кроме исходного.

Расчитанный таким способом ранний срок свершения завершающего события всего сетевого графика принимается в качестве его же позднего срока свершения. Это означает, что завершающее событие сетевого графика никаким резервом времени не располагает.

Поздний срок свершения данного промежуточного события определяется при просмотре сетевого графика в обратном направлении. Для этого сопоставляются разности между поздним сроком свершения события, непосредственно следующего за данным, и продолжительности работы, соединяющей соответствующее событие с данным. Так как ни одна из непосредственно следующих за данным событием работ не может начаться, пока не свершится само данное событие, очевидно, его поздний срок свершения равен минимуму из подсчитанных разностей.

Расчет позднего срока (T_{ni}) наступления ведется по (6.5):

$$T_{ni} = \min\{T_{nj} - t_{ij}\}, \quad i \in H(j), \quad j \in K, \quad (6.5)$$

где $K(i)$ – множество конечных событий тех работ, которые имеют своим начальным событием одно и то же событие i ;

H – множество во всех начальных событий сетевого графика, которое включает все события сетевого графика, кроме завершающего.

Резерв времени образуется у тех событий, для которых поздний срок свершения больше раннего, и он равен их разности. Если же эти сроки равны, событие резервом времени не располагает и, следовательно, лежит на критическом пути. Результаты расчетов представлены в таблице 6.2. Сетевой график представлен на рисунке 6.1.

Таблица 6.2 – Параметры событий сетевого графика

№ события	Срок свершения		Резерв времени
	ранний	поздний	
0	0	0	0
1	2	2	0
2	21	51	30
3	11	11	0
4	14	14	0
5	12	44	32
6	18	18	0
7	20	20	0
8	44	44	0
9	48	48	0
10	19	51	32
11	19	51	32
12	50	51	1
13	51	51	0
14	52	52	0

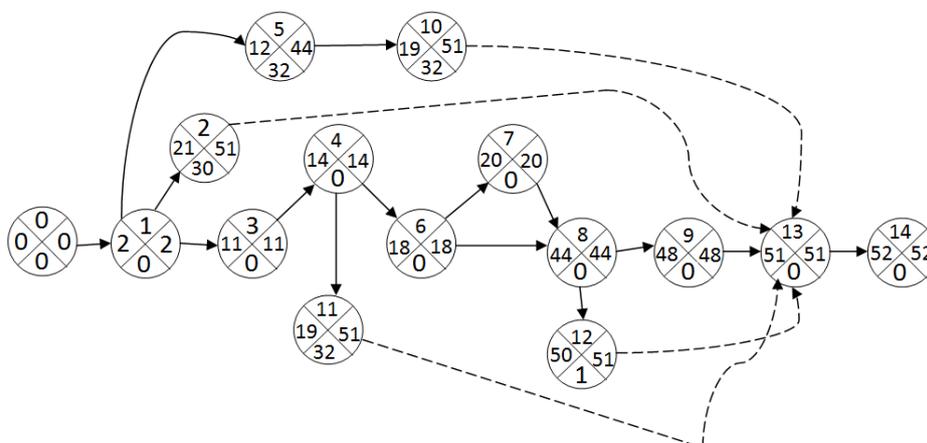


Рисунок 6.1 – Сетевой график

6.4 Расчет параметров работ сетевого графика

Важнейшими параметрами любой сетевой модели являются ранние и поздние сроки начала и окончания его работ, по которым определяем резервы времени: полные, частные 1-го и 2-го рода, свободный.

Ранний срок начала работы $T_{p_{nij}}$ совпадает с ранним сроком свершения ее начального события, в соответствии с (6.6):

$$T_{p_{nij}} = T_{pj} \quad (6.6)$$

Поздний срок начала работы $T_{n_{nij}}$ равен разности между поздним сроком свершения ее конечного события и ожидаемой продолжительности работы получим по (6.7):

$$T_{n_{nij}} = T_{nj} - t_{ij} \quad (6.7)$$

Ранний срок окончания работы $T_{p_{oij}}$ образуется прибавлением ее продолжительности к раннему сроку свершения ее начального события, в соответствии с (6.8):

$$T_{p_{oij}} = T_{pij} + t_{ij} \quad (6.8)$$

Поздний срок окончания работы $T_{n_{oij}}$ совпадает с поздним сроком свершения ее конечного события:

$$T_{n_{oij}} = T_{nj} \quad (6.9)$$

Работы, не лежащие на критическом пути, обладают резервами времени.

Полный резерв времени работы R_{nij} образуется вычитанием из позднего срока свершения ее конечного события раннего срока свершения ее начального события и ее ожидаемой продолжительности, в соответствии с (6.10):

$$R_{nij} = T_{nj} - T_{pij} - t_{ij} \quad (6.10)$$

Частный резерв времени первого рода R^1_{nij} равен разности поздних сроков свершения ее конечного и начального событий за вычетом ее ожидаемой продолжительности, по (6.11):

$$R^1_{nij} = T_{nj} - T_{ni} - t_{ij} \quad (6.11)$$

Частный резерв времени второго рода R^2_{nij} равен разности ранних сроков свершения ее конечного и начального событий за вычетом ее ожидаемой продолжительности, из (6.12)

$$R^2_{nij} = T_{pj} - T_{pi} - t_{ij} \quad (6.12)$$

Свободный резерв времени работы R_{cij} образуется вычитанием из раннего срока свершения ее конечного события позднего срока свершения ее начального события и ее ожидаемой продолжительности, в соответствии с (6.13):

$$R_{cij} = T_{pj} - T_{ni} - t_{ij} \quad (6.13)$$

Правильность расчетов резервов времени работы проверяем по следующим соотношениям:

- сумма полного и свободного резерва времени работы равна сумме двух частных ее резервов;
- поздний и ранний сроки начала работы, а также поздний и ранний сроки отличаются на величину ее полного резерва.

Для работ, лежащих на критическом пути, никаких резервов нет и, следовательно, коэффициент напряженности K_{nij} таких работ равен единице. Если работа не лежит на критическом пути, она располагает резервами времени и ее коэффициент напряженности меньше единицы. Его величина подсчитывается как отношение суммы продолжительностей отрезков максимального пути, проходящего через данную работу, не совпадающих с критическим путем, проходящим через эту работу.

В зависимости от коэффициента напряженности все работы попадают в одну из 3-х зон напряженности:

- критическую $K_{nij} > 0,8$
- промежуточную $0,5 \leq K_{nij} \leq 0,8$
- резервную $K_{nij} < 0,5$

Результаты расчетов параметров работ сетевого графика сведены в таблицу 6.3.

Таблица 6.3 – Параметры работ сетевого графика

Код работы	Ожид. Продолж., дн.	Срок начала, дн.		Срок окончания, дн.		Резервы времени, дн.				Коэфф. напр.
		ранний	поздний	ранний	поздний	полный	частный 1-го рода	частный 2-го рода	свободный	
0,1	2	0	0	2	2	0	0	0	0	1
1,2	19	2	32	21	51	30	30	0	0	0,3
1,3	9	2	2	11	11	0	0	0	0	1
1,5	10	2	34	12	44	32	32	0	0	0,4
3,4	3	11	11	14	14	0	0	0	0	1
4,6	4	14	14	18	18	0	0	0	0	1
4,11	5	14	46	19	51	32	32	0	0	0,4
5,10	7	12	44	19	51	32	32	0	0	0,4
6,7	2	18	18	20	20	0	0	0	0	1
6,8	2	18	42	20	44	24	24	0	0	0,3
7,8	24	20	20	44	44	0	0	0	0	1
8,9	4	44	44	48	48	0	0	0	0	1
8,12	6	44	45	50	51	1	1	0	0	0,3
9,13	3	48	48	51	51	0	0	0	0	1
13,14	1	51	51	52	52	0	0	0	0	1

Рассчитаем коэффициент сложности K_c сетевого графика по (6.14):

$$K_c = \frac{n_p}{n_c} \quad (6.14)$$

где n_c – количество событий сетевого графика, включая исходные;

n_p – количество работ сетевого графика.

Продолжительность критического пути $T_{кр} = 51$ день.

Рассчитаем вероятность свершения завершающего события. Расчет произведем с помощью функции распределения нормального отклонения производится по (6.15):

$$P_k = F(U), \quad (6.15)$$

где U – нормальное отклонение, вычисляется по (6.16) и равно разности между директивным сроком и сроком критического пути, отнесенной к сумме дисперсий продолжительности критического пути.

$$U = (T_{дир} - T_{кр}) / \sigma_{кр}, \quad (6.16)$$

где $T_{дир}$ – директивный срок, равный календарному, за вычетом выходных и праздничных дней, $T_{дир} = 63$ дня.

Среднеквадратическое отклонение $\sigma_{кр}$ продолжительности критического пути определим по(6.17):

$$\sigma_{кр} = \sqrt{\sum_{L_{rh}} (0,2 \cdot (t_{макс} - t_{мин}))^2} \quad (6.17)$$

Вероятностные характеристики работ, лежащих на критическом пути, представлены в таблице 6.4 и вероятность свершения завершающего события в таблице 6.7.

Таблица 6.4 – Вероятностные характеристики работ сетевого графика

Код работы	Продолжительность, дн.			СКО, σ	Дисперсия, D
	мин	макс	ожд		
0,1	2	3	2	0,2	0,04
1,2	15	25	19	2	4
1,3	7	13	9	1,2	1,44
1,5	8	13	10	1	1
3,4	2	4	3	0,4	0,16
4,6	2	6	4	0,8	0,64
4,11	4	6	5	0,4	0,16
5,10	6	8	7	0,4	0,16
6,7	1	3	2	0,4	0,16
6,8	1	3	2	0,4	0,16
7,8	22	26	24	0,8	0,64
8,9	3	5	4	0,4	0,16
8,9	3	5	4	0,4	0,16
8,12	5	7	6	0,4	0,16
9,13	2	4	3	0,4	0,16
13,14	1	1	1	0	0

Таблица 6.5 – Сводная таблица вероятности завершающего события

Наименование	Величина
Критический срок, дни	52
Коэффициент сложности	1,07
Среднеквадратическое отклонение, дни	2,07
Директивный срок, дни	63
Нормальное отклонение	5,31
Вероятность свершения	0,9

Для расчета экономического эффекта проекта [35] сравним стоимость реализации цифрового фазового преобразователя угла на основе аналогов оборудования используемых в промышленности, представленную в таблице 6.8и на основе выбранного оборудования представленную в таблице 6.6.Так же сравним стоимость проектируемого устройства на выбранных элементах российского производства и на элементах иностранного производства таблица 6.7.

Таблица 6.6 – Материальная стоимость проектируемого цифрового фазового преобразователя угла на элементах российского производства

Наименование	Единица измерения	Цена за единицу, руб.	Кол – во	Стоимость, руб.
Резольвер: ЛИР-ДР158А	шт.	4400,00	1	4400
Микроконтроллер: MDR32F9Q2I	шт.	407,10	1	407,10
Микросхема: 1310НМ25	шт.	1600,50	1	1600,50
Конденсаторы: К10 – 17А М47	шт.	18,00	2	36,00
Конденсаторы: К10-17А Н50	шт.	27,00	19	567
Конденсаторы: К10-17Б НР0	шт.	7	4	28
Конденсаторы: К50-35	шт.	11	1	11
Резисторы: МЛТ-0,125 12 кОм	шт.	0,33	4	1,32
Резисторы: МЛТ-0,25 10 кОм	шт.	8,00	10	80,00
Резисторы: МЛТ-0,25 375 кОм	шт.	1,95	1	1,95
Итого:				5548,48

Таблица 6.7 – Материальная стоимость оборудования аналогов на элементах иностранного производства.

Наименование	Единица измерения	Цена за единицу, руб.	Кол – во	Стоимость, руб.
Резольвер: V23401-T2009-B202	шт.	7200,53	1	7200,53
Микроконтроллер: STM32F103RBT7	шт.	782,15	1	782,15
Микросхема: AD2S1200	шт.	2505,63	1	2505,63
Конденсаторы: K10 – 17A M47	шт.	18,00	2	18,00
Конденсаторы: K10-17A H50	шт.	27,00	20	540
Конденсаторы: K10-17B NPO	шт.	7	4	28
Конденсаторы: K50-35	шт.	11	1	11
Резисторы: МЛТ-0,125 12 кОм	шт.	0,33	4	1,32
Резисторы: МЛТ-0,25 10 кОм	шт.	8,00	10	80,00
Резисторы: МЛТ-0,25 375 кОм	шт.	1,95	1	1,95
Итого:				10551,59

Таблица 6.8 – Стоимость оборудования аналогов применяемых в производстве

Наименование	Цена за 1 шт.	Количество, шт.	Стоимость, руб.
Тахогенератор	8550,00	1	8550,00
Тахометр	3760,00	1	3760,00
ИТОГО:			12310,00

Выводы по разделу шесть:

Получен сетевой график и рассчитаны параметры работ графика. В результате расчетов вероятностных характеристик сетевого графика получена вероятность свершения завершающего события равная единице.

Из сравнения полученных результатов видно, что экономический эффект составляет 6707,52 рублей. Таким образом затраты на разрабатываемое оборудование сократились на 55% в отличие от аналогов применяемых на производстве. Выгода в использовании отечественной элементной базы составляет 5003,11 рублей (52%), в отличии от проектирования на элементной базе иностранного производства. Исходя из этого, разрабатываемый измерительный преобразователь экономически более выгоден в сравнении с аналогами.

7 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Основной целью безопасности жизнедеятельности является обеспечение безопасности и создание комфортных условий жизнедеятельности, что на данном этапе развития техносферы не всегда осуществимо. Вероятность осуществления трудовой деятельности в опасных и даже чрезвычайно опасных условиях техносферы достаточно высока. Отклонения от допустимых условий деятельности всегда сопровождаются воздействием негативных факторов на человеческий организм, что отрицательно влияет на производительность труда, ухудшает самочувствие людей, приводит к травмам и заболеваниям, а иногда и гибели людей; вызывают отказы и аварии производственного оборудования и приводят к ухудшению экологии.

Проектированное устройство является преобразователем угла в код на основе синусно-косинусного преобразования. Преобразователь используется в комплексе с оборудованием и совокупности с ним может оказывать влияние на состояния человека.

Преобразователь угла как электротехническое устройство соответствует требованиям [32]. Изделия электротехнические Общие требования безопасности. Внутри цепях используется безопасное сверхнизкое напряжение $U = 30\text{В}$. По способу защиты человека от поражения электрическим током изделия относятся к I классу.

Рассмотрим применение цифрового фазового преобразователя угла в бурении. Поэтому данный раздел будет посвящен рассмотрению следующих вопросов:

- Характеристика условий труда;
- Освещенность;
- Шум и вибрация;
- Электробезопасность;
- Чрезвычайные ситуации.

Данный прибор является встроенным в другой механизм. Контакта между устройством и человеком не предполагается. По сути дела, человек изолирован от нее.

Характеристики устройства:

- возможность работы в большом диапазоне температур (- 40...+85);
- пылезащищенность;
- влагозащищенность;
- защита от электростатического разряда > 4кВ (НВМ)
- соответствие требованиям директивы RoHS (корпус, не содержащий свинца)

Т.к. использовать данный прибор предполагается при бурении, то целесообразно рассмотреть безопасность жизнедеятельности при бурении скважин.

В настоящее время существующие технологии и оборудование для установки буровых установок обуславливает проведение работ на улице (вне помещения). Отсюда следует, что нужно установить профилактические меры охлаждения и переохлаждения, а также обморожения: предоставить работникам теплую одежду и обувь, а также создать паузы для обогрева рабочих.

Ермаковское месторождение располагается в Нижневартовском районе. Климат района характеризуется, как влажный– средняя влажность 73%. Здесь в течении года выпадает 400-620 мм осадков, основное количество которых выпадает в мае-августе.

Весна и осень в районе очень короткие, для весны характерны поздние заморозки, для осени — ранние. Заморозки с отрицательной температурой могут проявляться до середины июня. В октябре — первой половине ноября образуется снежный покров, который окончательно исчезает во второй половине апреля-первой половине мая. Весна более холодная, чем осень. Нижневартовская погода демисезонная нестабильная.

Так как, климат холодный и влажный, с коротким летом, то наиболее эффективным решением в холодное время года является формирование искус-

ственного микроклимата с помощью отопительной установки в пределах рабочего и поселка и буровой площадке. Проблемой создания на буровой искусственного микроклимата является невозможность сооружения замкнутых пространств, для мест работы персонала буровой.

7.1 Основные нормы безопасности на буровой

7.1.1 Освещенность

В действующих на сегодняшний день нормах по проектировки искусственного освещения минимальную освещенность на рабочих местах устанавливают с учетом размеров объектов размещения, разряда работы, контраста объекта различия с фоном и светлоты фона. Отраслевые нормы освещенности рабочих мест на буровой и нормы освещенности согласно СНиП 23-05-95[36].

Следовательно, исходя из данного СНиПа, работа персонала относящаяся к 2-3 разряду, имеет освещенность не менее 200-300 лк. В других местах буровой площадки работа относится к 4-5разряду с освещенностью 50-80 лк.

Рассматривая отраслевые нормы освещенности приходим к выводу, что они занижены в 3 – 5 раз по сравнению со СНиП 23-05-95[36]. Это связано с тем, что буровая площадка рассматривается не как производственное помещение, а как строительная площадка.

Недостаток света и не рационально устроенное производственное освещение затрудняет деятельность работающих, ухудшает их ориентировку в пространстве, координированию движения, снижению ответных реакций, что снижает производительность и качество труда, нередко приводят к авариям и травмам.

Чтобы недостаток света не приводил к происшествиям, следует применять комбинированное освещение с мощными источниками света.

7.1.2 Шум и вибрации

При бурении скважин используются различные машины и механизмы, при работе которых, при не исправности увеличивается уровень шума и вибраций, к ним относятся: электромоторы, лебедки, вибросита, буровые насосы, ротор и др. Эти 2 фактора оказывают негативное воздействие на организм человека. Сильный шум нарушает нормальную деятельность нервной, сердечно-сосудистой и пищеварительной системы, вызывает переутомление. Вредное воздействие вибрации выражается в возникновении вибрационной болезни.

Для того, чтобы снизить вредное воздействие шумов и вибраций на буровой необходимо производить своевременный профилактический осмотр и ремонт, подтягивание ослабевших соединений, своевременно смазывать вращающиеся детали.

Если подавить шум в источнике возникновения невозможно, то следует применять звукопоглощающие и звукоизолирующие экраны ПП-80, ПА/О, ПА/С.

Для борьбы с вибрацией применяют следующие методы:

1. подавление в источнике возникновения (центровка, регулировка);
2. изменение в конструкции;
3. использование пружинных амортизаторов, виброизоляционных прокладок.

Основными источниками шума на буровой являются: роторный стол до 120 дБ, буровая лебедка до 89 дБ, вибросита 85 дБ. При бурении ротором шум составляет до 130дБ, при спускоподъемных операциях до 110 дБ.

7.1.3 Электробезопасность

На буровых площадках используются электроустановки как низкого напряжения до тысячи вольт, так и высокого выше тысячи вольт.

Основным источником электротравматизма в бурении являются установки с номинальным напряжением до тысячи вольт. Персонал, работающий на электроустановках, проходит соответствующее обучение, им присваивается классификационная группа I - IV по технике безопасности. Бурильщики и помощники должны иметь группу не ниже II. Согласно «Правилам техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей», работники второй группы должны иметь техническое знакомство с электроустановками, четко представлять угрозу электрического тока и приближение к токоведущим частям, знать основные меры предосторожности при работах в электроустановках, а также уметь оказывать пострадавшим от электрического тока первую медицинскую помощь.

Основными мерами защиты при эксплуатации электроустановок являются: надежная изоляция пускорегулирующих аппаратов, контактов магнитных пускателей, автоматов, цепей автоматического электропривода.

Категория взрывоопасности – ВІг. Маркировка электрооборудования согласно ГОСТ 12.2.020-76 [37] – 2ExdІІАТЗ. Недоступность токоведущих частей достигается правильным их расположением, применением ограждений и блокировок. В установках ниже 1000 В применяют сплошное ограждение в виде кожухов и крышек. Сетчатое ограждение используется в установках свыше тысячи вольт. Защитное заземление является самым массовым средством защиты в электроустановках. Не токоведущие части электрооборудования в случае аварии могут оказаться под напряжением, прикосновение человека к таким частям электрооборудования становится опасным. Для снижения опасности прикосновения создается защитное заземление – соединение металлических и токоведущих частей оборудования с землей. В качестве защитного заземления при строительстве скважин на Ермаковском месторождении используется контурное заземление.

7.1.4 Чрезвычайные ситуации

Опасность пожаров и взрывов на производственных объектах нефтегазодобывающей промышленности характерна для всех технологических процессов начиная от добычи нефти, газа или конденсата и заканчивая их переработкой. Вероятность возникновения этих явлений, возможные масштабы и последствия их воздействия на здоровье и жизнь работающих зависят от объемов и свойств горючих материалов и веществ, условий поступления, распространения и накопления их в воздухе. По взрыво- и пожароопасности объекты нефтяной и газовой промышленности относятся к категории «А» согласно СНиП 21-01-97[38]. К взрывоопасности категории «А» относятся производства на которых применяются:

1. вещества, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой, воздухом и друг с другом;
2. горючие газы, нижний предел воспламенения которых равен 10% и меньше по отношению к объему воздуха;
3. жидкости, с температурой вспышки паров до 28 °С, исключительно при условии, что указанные газы и жидкости могут образовывать взрывоопасные смеси в объеме, превышающем объем помещения на 5 %.

Причины взрывов и пожаров могут быть различны:

1. пропуски дизельного топлива, разливы нефтепродуктов и горючих веществ;
2. нарушение герметичности выхлопных коллекторов двигателей, неисправность искрогасителей;
3. применение открытого огня, курение, проведение сварочных работ вблизи мест хранения нефти, горюче-смазочных материалов, сгораемых конструкций и горючих веществ;
4. неисправности электрооборудования, вызывающие искрение, короткое замыкание, нагрев проводов;
5. прокладка силовой осветительной сети с нарушениями;

б. перегрузка электрических приборов, оборудования.

Во избежание возникновения взрывов и пожаров необходимо выполнять следующие требования:

1. территория вокруг буровой площадки в радиусе 50 м должна быть очищена от травы, валежника, листьев;

2. площадки вокруг наземных сооружений должны быть выровнены и не иметь препятствий для передвижения людей и пожарного транспорта;

3. топливная емкость для двигателей внутреннего сгорания, а также смазочные материалы должны располагаться не ближе 15 м от буровой;

4. запрещается пользоваться на буровой факелами, спичками, свечами, керосиновыми факелами. На территории буровой запрещается разведение костров, сжигание мусора, выжигание травы. Курение разрешается только в специально отведенных для этого местах, оборудованных емкостью с водой и надписью «Место для курения»;

5. электрические машины, оборудование, приборы, применяемые во взрывоопасных местах, должны отвечать требованиям "Правил изготовления взрывозащищенного и рудничного электрооборудования;

6. во избежание разрушений, загораний и взрывов при прямых ударах молнии должна устанавливаться молниезащита в соответствии с СО 153-34.21.122-2003 [22]. Запрещается во время грозы производить работы на буровой вышке, а также находиться на расстоянии ближе 10 м от заземляющих устройств молниезащиты;

7. для борьбы с проявлениями вторичных воздействий молний, а также статического электричества технологическая аппаратура и трубопроводы, содержащие горючие пары и газы, должны заземляться. Сопротивление заземляющих устройств допускается до 100 Ом. Кроме того, для предупреждения возможности возникновения пожара при установке нефтяных ванн проводят тщательную работу по подготовке всего оборудования для безопасных работ, обращая особое внимание на устранение очагов пожара под полом буровой, в зоне ствола скважины и в лебедке. Под ведущей трубой обязательно должен быть

установлен шаровой или обратный клапан, при этом категорически запрещается отвинчивать ведущую трубу с клапаном. Бурильная колонна должна быть разъединена выше клапана. При использовании нефтяных ванн должны соблюдаться меры, исключающие возможность выбора и разлива нефти. Если нефтяная вышка устанавливается в ночное время, то место проведения работ освещается прожекторами. Трубы, по которым нефть наливается в емкость и перекачивается в скважину, надежно заземляются, пролитая нефть засыпается песком. Около подъездных путей к буровой установке и около нее устанавливаются щиты с надписями о необходимости строгого соблюдения правил пожарной безопасности. Дизельное топливо и нефтепродукты для приготовления раствора хранятся не ближе 40 м от буровой. Буровая установка должна быть оборудована следующими средствами пожаротушения:

— двумя пожарными стояками диаметром 50-60 мм, установленными в 15-20м от помещений насосной и со стороны мостков буровой в 75-100м от водопровода;

— тремя пожарными рукавами и двумя переводниками диаметром 50 - 60 мм (длина одного рукава не менее 20 м);

— огнетушителями ОП-10 в количестве 6шт, ящиками с песком емкостью 0,5м³ (4шт), пожарными щитами, оборудованными лопатами, ломами топорами, баграми, ведрами.

Вывод по главе семь:

Применяемые технические решения в данной выпускной квалификационной работе соответствуют экологическим нормам в данном округе и выполняют все условия в обеспечении безопасности и жизнедеятельности рабочих при бурении, освоении, эксплуатации и закачивании.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью данной выпускной квалификационной работы являлось разработать микроконтроллерный вариант цифрового фазового преобразователя угла с использованием отечественной элементной базы.

В ходе работы был произведен аналитический обзор в котором были рассмотрены следующие вопросы: понятие, типовые структуры мехатронных систем; первичные измерительные преобразователи; перспективные разработки в области измерительных систем мехатронных модулей.

Повышение эффективности измерения составляющих перемещения достигается совершенствованием не только структурного обеспечения измерительной системы, на него так же влияют программное и информационное обеспечение. Использование новейших разработок в области информационного обеспечения электромехатронных преобразователей перемещения актуально для управления производственными процессами практически во всех отраслях производства.

В соответствии с физическим принципом, положенным в основу преобразования информации, различают следующие основные типы первичных преобразователей перемещения: оптические энкодеры, магнитные датчики угла, резольверы. В работе в качестве датчика использовали резольвер, т.к. он работает в амплитудном и фазовом режимах.

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы рассмотрена структурная и функциональная схемы полифункционального преобразователя. Получены теоретические зависимости для оценки составляющих перемещения. Представлены временные диаграммы работы полифункционального преобразователя. Осуществлен выбор его аппаратного обеспечения. Разработаны функциональная, структурная и принципиальная схемы микроконтроллерного фазового преобразователя угла на основе резольвера. Разработано метрологическое обеспечение устройства, включающее в себя – расчет погрешности устройства, методику выполнения измерения, разработка методики поверки. Разработан алгоритм программы контроллера.

За счет внедрения программной и аппаратной составляющих нового поколения, разработанный микроконтроллерный фазовый преобразователь угла стал обладать рядом достоинств:

1. высокая точность и высокое быстродействие;
2. слабое влияние температуры;
3. широкий диапазон рабочих температур ($-40..+150$);
4. ультранизкое энергопотребление;
5. работа от батареи.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Балковой, А.П. Прецизионный электропривод с вентильными двигателями / А.П. Балковой, В.К. Цаценкин. – М.: ИД МЭИ, 2011. – 328 с.

2 Смирнов, Ю.С. Аналого-цифровые преобразователи составляющих перемещения на основе электромеханических первичных преобразователей / Ю.С. Смирнов, Т.А. Козина, П.Б. Серебряков // Измерительная техника. – 2013. – Вып. 28. – №9. – С. 40 – 43.

3 Ануфриев, В., Лужбинин, А., Шумилин, С. Микросхема преобразователя угол-код для индуктивных датчиков / В. Ануфриев, А. Лужбинин, С. Шумилин // Современная электроника №3 – 2015.

4 ГОСТ Р 8.563–2009. Государственная система обеспечения единства измерений. Методики (методы) измерений. – М.: Стандартинформ, 2011. – 20 с.

5 Кацай, Д.А. Математическая модель автоматизированной системы управления мобильным агрегатом повышенной энергоэффективности // Труды научно-практической конференции «Актуальные проблемы автоматизации и управления». – Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2013. – С. 35–39.

6 Готлиб, Б.М. Введение в мехатронику: учебное пособие / Б.М. Готлиб. – Екатеринбург: Изд-во Уральского государственного университета путей сообщения, 2007. – 782 с.

7 Воротников, С.А. Информационные устройства робототехнических систем: учебное пособие / С.А. Воротников. – М.: Изд. МГТУ им Н.Э. Баумана, 2005. – 384 с.

8 Домрачев, В.Г. Схемотехника цифровых преобразователей перемещений / В.Г. Домрачев, В.Р. Матвеевский, Ю.С. Смирнов. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 392 с.

9 Домрачев, В.Г. Цифроаналоговые системы позиционирования (Электромехатронные преобразователи) / В.Г. Домрачев, Ю.С. Смирнов. — М.: Энергоатомиздат, 1990. — 240 с.

10 Балковой, А.П. Прецизионный электропривод с вентильными двигателями / А.П. Балковой, В.К. Цаценкин. – М.: ИД МЭИ, 2010. – 328 с.

11 ОАО «СКБ ИС», «Абсолютные датчики углового положения»: <http://www.skbis.ru/index.php?p=16>.

12 «Научно – техническое предприятие индустриальные системы»: <http://www.is-com.ru/catalog.html?id=1254>

13 Иванов, Е. Бесконтактный датчик угла поворота на эффекте Холла/ Е. Иванов// Новости электроники №15 – 2006.

14 Борисов, А. Современные АМР – датчики для детектирования скорости, положения и слабых магнитных полей / А. Борисов // Компоненты и технологии №7 – 2006.

15 Colossal Magnetoresistance, Charge Ordering and Related Properties of Manganese Oxides / Ed. by C. N. R. Rao and B. Raveau. — World Scientific Publishing Co, 1998. — P. 2. — 356 p. — ISBN 978-981-02-3276-4.

16 Крауиныш, Д.П. Автоматизированный привод. Лекция 6. «Датчики автоматизированных электроприводов» — http://arm.tpu.ru/docs/UMO/krauinjsh_dp/aep/lk_6_aep.pdf

17 Загороднюк, В.Т. Мехатронная система асфальтобетонного покрытия дорог / В.Т. Загороднюк, А.Е. Грошев // Мехатроника, 2001. – № 8. – С. 28–30.

18 Грошев, А.Е. Мехатронный комплекс строительства асфальтобетонного покрытия дорог. Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.10.2000 / Грошев Александр Евгеньевич. Новочеркасск, 2000. 15 с.

19 Пупков, К.А. Интеллектуальные системы / К.А. Пупков, В.Г. Коньков – М.: Изд. МГТУ им Н.Э. Баумана, 2003. – 348 с.

20 Маргелов, А. Магниторезистивные датчики положения компании Honeywell / А. Маргелов // ChipNews№3(96) – 2005.

21 Бесекерский, В.А. Цифровые автоматические системы /А.В. Бесекерский. – М.: Наука, 1976. – 371 с.

22 СО 153-34.21.122-2003. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций. – М.:ЦПТИ ОРГРЭС, 2003. – 59 с.

23 ЗАО «ПКК Миландр», «Спецификация микросхем серии 1986ВЕ9ху, К1986ВЕ9ху, К1986ВЕ9хуК, К1986ВЕ92QI, К1986ВЕ92QC, 1986ВЕ91Н4, К1986ВЕ91Н4, 1986ВЕ94Н4, К1986ВЕ94Н4» Версия 3.8.0 от 08.09.2015 – 518 с.

24 ЗАО «ПКК Миландр», «Руководство пользователя 1310НМ025» Версия 1.52 – 105 с.

25 Смирнов, Ю.С. Образовательная, научная и прикладная составляющие мехатроники / Ю.С. Смирнов, Е.В. Юрасова, Д.А. Кацай, И.С. Никитин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – Изд. центр ЮУрГУ, 2014. – Т. 14. – №1. – С. 81–89

26 МИ 222-80. Методика расчета метрологических характеристик измерительных каналов информационно – измерительных систем по метрологическим характеристикам компонентов. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 26с.

27 Мехатроника[Электронный ресурс].Режим доступа.– <http://mehatronus.ru/>. Дата обращения 15 апреля 2016 года.

28 МИ 1317-2004. Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Результаты и характеристики погрешности измерений. Формы представления. Способы использования при испытаниях образцов продукции и контроле их параметров. – М.:ФГУП ВНИИМС, 2004. – 53 с.

29 РД50-453-84.Методические указания. Характеристики погрешности средств измерений в реальных условиях эксплуатации. Методы расчета. – М.:Изд-во стандартов, 1984. – 21 с.

30 МИ 1202-86. Методические указания. Государственная система обеспечения единства измерений. Приборы и преобразователи измерительные напряжения, тока, сопротивления цифровые. Общие требования к методике поверки. – М.:ВНИИМС, 1986. – 50 с.

31 РМГ 51-2002.Государственная система обеспечения единства измерений. Документы на методики поверки средств измерений. Основные положения. –

Минск:Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2002. – 9 с.

32 ГОСТ 12.2.007.0-75. Система стандартов безопасности труда. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности. – М.: Изд-во стандартов, 1975. – 11 с.

33 ГОСТ 22261-94. Средства измерений электрических и магнитных величин. Общие технические условия. – Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1994 – 35 с.

34 МИ 188-86. Методические указания. Государственная система обеспечения единства измерений. Достоверность и требования к методикам поверки средств измерений. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 32 с.

35 Ишниязова, А.Р. Методическое пособие по разработке экономической части дипломного проектирования для не экономических специальностей / А.Р. Ишниязова. – Нижневартовск, 2005. – 29 с.

36 СНиП 23-05-95. Строительные нормы и правила. Естественное и искусственное освещение. – М.: Госстрой, 1995. – 59 с.

37 ГОСТ 12.2.020-76-II. Система стандартов безопасности труда. Электрооборудование взрывозащищенное. Термины и определения. Классификация. Маркировка. – М.: Изд-во стандартов, 1976. – 9 с.

38 СНиП 21-01-97-II. Строительные нормы и правила. Пожарная безопасность зданий и сооружений. – М.: Госстрой, 1997. – 22 с.

39 Кувшинов, Н.С, Хейфец А.Л Схемы электрические принципиальные в инженерной графике: учебное пособие. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2010. – 74 с.

40 СТО ЮУрГУ 04-2008. Стандарт организации. Курсовое и дипломное проектирование. Общие требования к содержанию и оформлению / составители: Т.И. Парубочая, Н.В. Сырейщикова, В.И. Гузеев, Л.В. Винокурова. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. – 56 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А. ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА
ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНОГО ФАЗОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ
ПЕРЕМЕЩЕНИЯ.

Смотри рисунок А1.

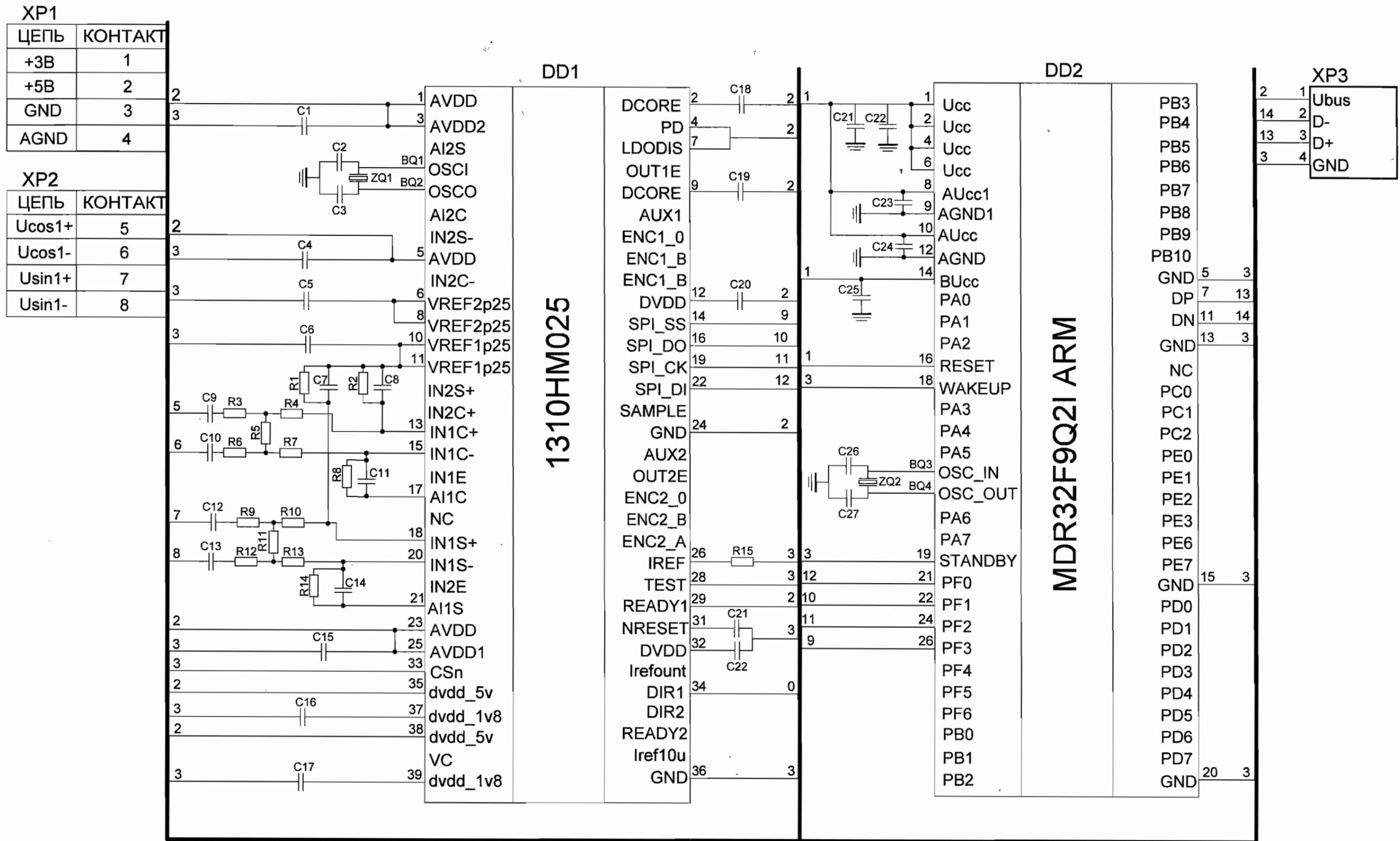


Рисунок А1 - Принципиальная схема полифункционального фазового преобразователя перемещения

					200100.2016.171 ПЗ		
					Микроконтроллерный полифункциональный фазовый преобразователь перемещения		
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лит	Масса	Масштаб
Разраб.		Ханжсин И.А.	<i>[Signature]</i>	30.05.16			
Провер.		Юрасова Е.В.	<i>[Signature]</i>	30.05.16			
Т. контр.							
Реценз.							
Н. контр.		Буйлушкина Л.Н.	<i>[Signature]</i>	30.05.16			
Утверд.		Пономарева С.Г.	<i>[Signature]</i>	31.05.16			
					Лист 106 Листов 107		
					Филиал ФГБОУ ВПО "ЮУрГУ" (НИУ) в г. Нижнеартовске кафедра "Информатика"		

Поз. обозн.	Наименование	Кол.	Примечание
<i>Резонаторы</i>			
ZQ1, ZQ2	Кварцевый резонатор НС-49U-10МГц	2	
<i>Микросхемы</i>			
DD1	1310HM025	1	АЦП
DD2	MDR32F9Q2I	1	Микроконтроллер
<i>Конденсаторы</i>			
C1, C4 - C6, C9 - C13, C15 - C20, C22-C25	K10-17A H50 0,1мкФ, 10%.	19	
C2, C3	K10 - 17A M47 20пФ, 10%	2	
C7, C8, C11, C14	K10-17B NPO 330 пФ, 5%	4	
C26, C27	K10 - 17B M47 30пФ, 10%	2	
C21	K50-35 22мкФ 400В 85гр, 10%	1	
<i>Резисторы</i>			
R1, R2, R8, R14	MЛТ-0,125 12 кОм, 5%	4	
R3-R7, R9-R13	MЛТ-0,25 10 кОм, 5%	10	
R15	MЛТ-0,25 375 кОм, 5%	1	
<i>Вилки</i>			
XP1	Вилка СНП - 24	1	Входная
XP2	Гнездо резольвера	1	Выходное
XP3	Разъем USB	1	

200100.2016.171 ПЗ					
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	
Разраб.		Ханжин И.А.		30.05.16	
Провер.		Юрасова Е.В.		30.05.16	
Реценз.					
Н. Контр.		Буцлущина Л.Н.		30.05.16	
Утверд.		Панамарева С.Г.		31.05.16	
Микроконтроллерный полифункциональный фазовый преобразователь перемещения					
			Лит.	Лист	Листов
			40	107	107
Филиал ФГБОУ ВПО «ЮУрГУ» (НИУ) в г. Нижневартовске кафедра «Информатика»					