

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

Кафедра «Информатика»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

И.о. зав. кафедрой «Информатика»
к.ф-м.н, доцент

_____ / А.В.Ялаев

« ____ » _____ 2018 г.

Беспроводной цифровой датчик перемещения

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ ЮУрГУ-12.03.01.2018.451.ПЗ ВКР

Консультанты
Экономическая часть

к.э.н., доцент

_____ /А. В. Прокопьев/

« ____ » _____ 2018г.

Безопасность жизнедеятельности

к.ф-м.н., доцент

_____ /А. В. Ялаев /

« ____ » _____ 2018 г.

Руководитель работы

зам. ген. дирек. по произв. ООО

_____ /«Северэнергосервис»

_____ /К. Г. Майфат/

« ____ » _____ 2018 г.

Автор работы

обучающийся группы НвФл-431

_____ /В. Д. Шевцов/

« ____ » _____ 2018г.

Нормоконтролер

старший преподаватель

_____ /Л. Н. Буйлушкина/

« ____ » _____ 2018г.

Нижневартовск 2018

АННОТАЦИЯ

Шевцов В. Д. Беспроводной цифровой датчик перемещения – Нижневартонск: филиал ЮУрГУ, Информатика: 2018, 101 с., 29 ил., 19 табл., библиогр. список – 31 наим., 3 прил.

Данная выпускная квалификационная работа представляет собой описание разработки беспроводного цифрового датчика перемещения.

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 преобразователя целесообразнее использовать резольвер.

Рассмотрен принцип работы резольвера. На основе этого были разработаны функциональная, структурная и принципиальная схемы.

Разработан алгоритм работы микроконтроллера.

Разработано метрологическое обеспечение прибора, включающее в себя расчет погрешности устройства, методику выполнения измерения и разработку методики поверки.

Рассчитан экономический эффект.

Охарактеризована безопасность жизнедеятельности при работе с прибором.

					1 2 0 2 0 1 2 0 1 8 1 5 1 П 2							
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпис</i>	<i>Дата</i>				<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>		
<i>Разработал</i>	Шевцов В. Д.				Беспроводной цифровой датчик перемещения			<i>В</i>	<i>К</i>	<i>Р</i>	5	101
<i>Проверил</i>	Майфат К. Г.											
<i>Н. контр.</i>	Быллинкина Л.											
<i>Утвердил</i>	Ялаев А. В.											
								Филиал ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)»				

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	8
1 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР.....	10
1.1 Понятие мехатронной системы	10
1.2 Первичные преобразователи перемещения	14
1.3 Выходные беспроводные интерфейсы цифровых датчиков	26
1.4 Методы АЦП преобразования и их реализация	35
1.5 Перспективные разработки в области проектирования цифровых устройств.....	43
2 ПРОЕКТИРОВАНИЕ БЕСПРОВОДНОГО ДАТЧИКА	47
2.1 Разработка функциональной схемы.....	47
2.2 Выбор и обоснование микроконтроллера для цифрового датчика перемещения.....	48
2.3 Выбор и обоснование модуля беспроводной передачи данных	50
2.4 Выбор первичного измерительного преобразователя.....	52
2.5 Проектирование принципиальной схемы устройства.....	53
2.6 Программное обеспечение для модуля беспроводной передачи данных	54
2.7 Условие завершения измерений.....	55
3 МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЦИФРОВОГО ДАТЧИКА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ.....	57
3.1 Расчет погрешности измерительного канала цифрового датчика перемещения.....	57
3.2 Методика выполнения измерения.....	62
3.3 Разработка методики поверки	67
4 ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ	85
4.1 Расчет себестоимости	85
4.2 Экономическое обоснование работы.....	87

5 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ	89
5.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	89
5.2 Соответствие проектируемого прибора требованиям безопасности .	92
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	93
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	94
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	98
ПРИЛОЖЕНИЕ А. ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА БЕСПРОВОДНОГО ЦИФРОВОГО ДАТЧИКА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ.....	98
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. ЛИСТИНГ ФАЙЛА SERVER1.LUA	101
ПРИЛОЖЕНИЕ В. КОМПАКТ-ДИСК.....	102

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.

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.

Основным преимуществом передачи в беспроводной системе является то, что она может быть установлена эффективно, оперативно и без значительных затрат. Датчики с автономным питанием не требуют проводной инфраструктуры. Они также могут быть установлены в таких местах, где организация питания или прокладка кабеля будут слишком затратными или опасными. Беспроводные решения приобретают все большую популярность благодаря возможности контроля из любой точки.

В качестве беспроводной сети передачи данных актуальнее всего использовать стандарт Wi-Fi. Это одна из наиболее простых для организации сетей, требует минимума дополнительной аппаратуры и к тому же известна пользователям. При необходимости можно с любого гаджета (смартфона, компьютера, планшета) без каких-либо дополнительных средств, в режиме реального времени контролировать и регулировать все необходимые параметры.

Целью данной выпускной квалификационной работы является разработка беспроводного цифрового датчика перемещения с использованием современной отечественной элементной базы.

Задачи выпускной квалификационной работы:

- провести аналитический обзор современных первичных преобразователей перемещения;
- осуществить выбор элементной базы проектируемого цифрового беспроводного датчика;
- разработать функциональную схему цифрового фазового преобразователя угла;
- разработать принципиальную электрическую схему устройства;
- описать алгоритм работы контроллера;
- разработать метрологическое обеспечение устройства;
- обосновать экономическую целесообразность работы;
- описать безопасные методы работы с проектируемым датчиком.

1 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

1.1 Понятие мехатронной системы

Мехатроника – это новая область науки и техники, посвященная созданию и эксплуатации машин и систем с компьютерным управлением движения, которая базируется на знаниях в области механики, электроники и микропроцессорной техники, информатики и компьютерного управления движением машин и агрегатов [2].

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.

С развитием электрических приводов и возможностей их применения в индустриально-производственных и транспортных системах, стала очевидна необходимость полной интеграции составляющих элементов электропривода: механики, электрических машин, силовой электроники, микропроцессорной техники и программного обеспечения для наиболее полного использования возможностей электропривода и обеспечения им прецизионного движения.

Так как наиболее полное развитие данные тенденции получили в Японии, а с термином «электрический привод» как самостоятельной технической системой там знакомы не были, для описания данных систем в Японии был введен термин «мехатроника». Непосредственным автором является японец Тецууро Мори, старший инженер компании Yaskawa Electric, а сам термин появился в 1969 году.

Первое определение мехатроники в России было дано в 1995 году: «Мехатроника – это новая область науки и техники, посвященная созданию и эксплуатации машин и систем с компьютерным управлением движения, которая базируется на знаниях в области механики, электроники и микропроцессорной

техники, информатики и компьютерного управления движением машин и агрегатов».

Структура (Рисунок 1.1, а) раскрывает сущность мехатронных систем (далее – МС), представляющих глубокую взаимосвязь механических, электронных и компьютерных элементов, системная интеграция которых является необходимым условием их построения.

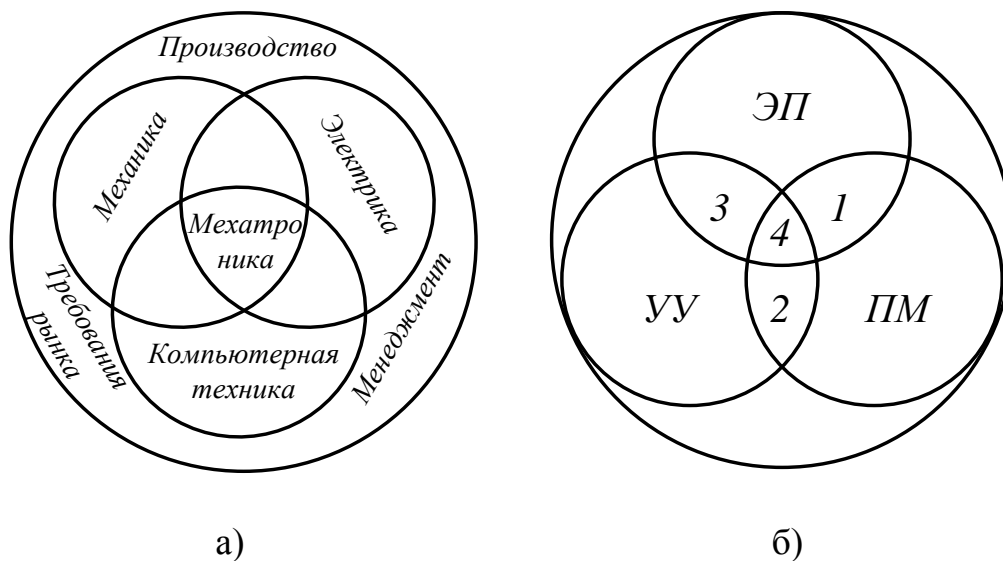


Рисунок 1.1 – Структуры мехатроники и электромехатроники

Известен вариант представления электромехатроники как единства 3-х составляющих (Рисунок 1.1, б): электропривода ЭП, передаточного механизма ПМ и устройства управления УУ. При этом формируются области: 1 – электромеханики, 2 – автоматике, 3 – автоматизированного электропривода и 4 – ядро направления, то есть электромехатроника. К сожалению, в этой структуре не нашла отражения информатика, которая является неотъемлемой частью процессов преобразования информации. Определение мехатроники из ФГОС ВО РФ по направлению подготовки 15.03.06 «Мехатроника и робототехника»: «Мехатроника – область науки и техники, основанная на системном объединении узлов точной механики, датчиков состояния внешней среды и самого объекта,

источников энергии, исполнительных механизмов, усилителей, вычислительных устройств (ЭВМ и микропроцессоры).

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. Предмет мехатроники – компьютерное управление механическим движением».

В формуле ВАК по направлению «Роботы, мехатроника и робототехнические системы» дается определение: «Мехатроника как отдельная область науки и техники основана на синергетическом объединении узлов точной механики с электронными, электротехническими и компьютерными компонентами, обеспечивающими проектирование и производство качественно новых модулей, систем и машин с интеллектуальным управлением их функциональными движениями».

Из представленных официальных определений следует, что МС является комплексом устройств различной природы, осуществляющих одновременно преобразование вида энергии и форм информации. Поскольку обе эти задачи эффективно решаются на основе использования в качестве носителя электроэнергии, то базовым элементом в таких МС становится электромехатронный или электромехатронный преобразователь (далее – ЭМТП).

На рисунке 1.2, а представлен логотип ЭМТП, раскрывающий его структуру и функции его составляющих. Логотип учитывает неперенное наличие интеллектуальных способностей и синергетических возможностей, которые служат необходимыми и достаточными условиями к отнесению устройства к мехатронике [3].



а)



б)

Рисунок 1.2 – Логотипы ЭМТП и МС

При этом следует учитывать, что обязательным является:

1. Синергетический характер интеграции, который определяется тем, что составляющие ее части не просто дополняют друг друга, а создают устройство, обладающее качественно новыми свойствами и возможностями. Вместо термина «синергетическое» за рубежом используются понятия «органичное» или «системное».

2. Мехатроника изучает новый методологический подход («парадигму») в построении механизмов с качественно новыми характеристиками. Непременным свойством МС является интеллект.

При этом преобразовании информации в перемещение не зависит от ее формы: аналоговая или цифровая, и вида преобразуемой энергии: электрическая, тепловая, гидравлическая или пневматическая.

С учетом представленных выше современных мнений в теоретическом и прикладном секторах логотип МС можно отобразить в варианте, представленном на рисунке 1.2, б. В нем механика объединяет все ее разновидности; электроника помимо аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств, включает силовую полупроводниковую технику в интегральном и модульном исполнении; к информатике относятся цифровые и сигнальные микропроцессорные системы, программируемые микроконтроллеры; включает в себя кинестетические и

генераторные первичные преобразователи на любой физической основе и стандартные интегральные интерфейсы.

Мехатронная система является замкнутой системой автоматического управления (далее – САУ), обладающей адаптацией и искусственным интеллектом. При этом структурное, алгоритмическое и информационное обеспечение САУ предусматривает получение в процессе функционирования синергетического эффекта, проявляющегося в повышении эффективности МС или ее важных показателей. Совершенствование МС предусматривает ее электронизацию за счет уменьшения механической компоненты [4].

1.2 Первичные 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 широкое применение находят электромагнитные первичные преобразователи перемещений. К таким устройствам относятся потенциометры, сельсины и синусно-косинусные вращающиеся трансформаторы [5].

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

- 1) Оптические.
- 2) Электромагнитные:
 - резистивные;
 - чувствительные элементы, основанные на эффекте Холла.
- 3) Резольверы.

1.2.1 Оптические измерительные устройства

Оптические энкодеры на сегодня получили наибольшее распространение в промышленности. Это обусловлено тем, что технология их изготовления понятна, хорошо отработана и давно шагнула в страны третьего мира.

Главные плюсы оптических энкодеров – цена и хорошее разрешение. У недорогих моделей этот показатель равен 500 - 1000 - 2000 физических рисок на оборот. В лучших образцах разрешение доведено до 10 000 рисок на оборот.

Энкодер – это сложное, высокоточное устройство, внешне представляющее из себя корпус, преимущественно, цилиндрической формы с выходящим из него валом. Внутри корпуса энкодера находится электроника, ИК-излучатель и ИК-приемник (датчик), между которыми вращается диск со специально-нанесенными метками. Диск энкодера отцентрован и установлен на вал. В конструкции высококачественных энкодеров используются прецизионные подшипники, в некоторых моделях энкодеров используются по два подшипника на вал [6].

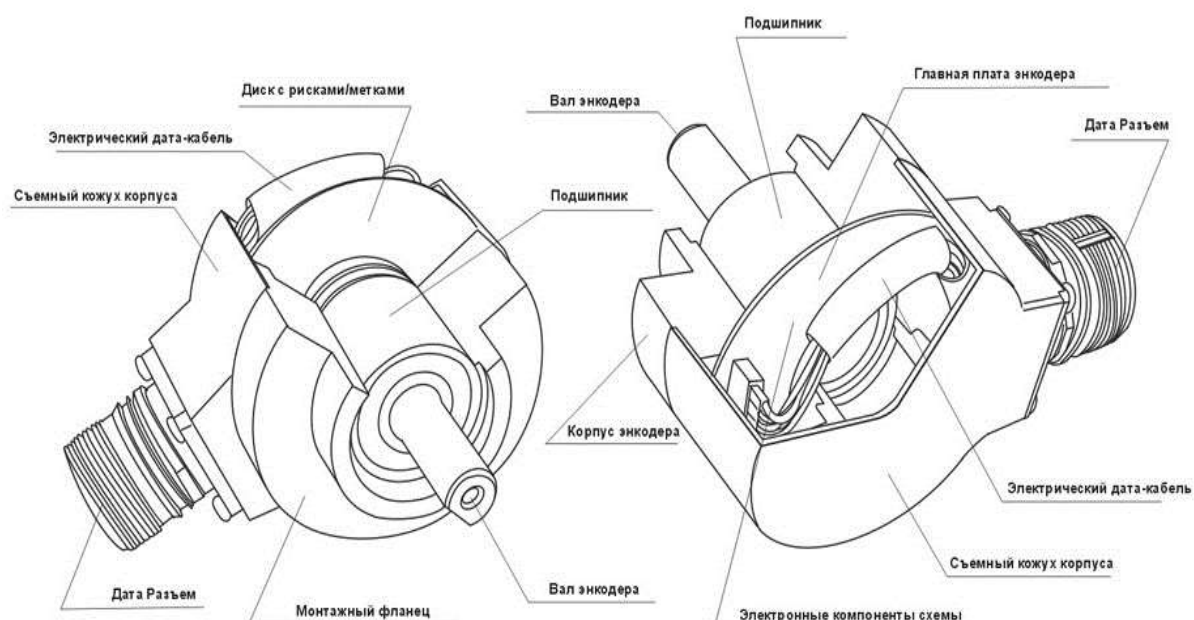


Рисунок 1.3 – Устройство оптического энкодера

Примером служит фирма, которая производит оптические энкодеры, может служить компания «Kubler». Данная компания выпускает множество различных оптических энкодеров. Линейный магнитный энкодер серии LIMES. Абсолютный энкодер: однооборотный с валом или с полным ротором Sendix absolut 3650; многооборотный с валом или с полным ротором Sendix absolut F3668.

1.2.2 Электромагнитные датчики угла

Развитие методов бесконтактного съема информации привело к широкому внедрению электромагнитных принципов преобразования. Именно электромагнитные чувствительные элементы в настоящее время являются основой большинства промышленных датчиков разного назначения. Принцип действия электромагнитных чувствительных элементов основан на том, что в измеряемый параметр (например, перемещение) «вовлекается» один из элементов магнитного контура (обычно – индуктивность). Изменение индуктивности вызывает изменение магнитного потока через измерительную обмотку, и, следовательно, электрический сигнал.

При построении электромагнитных датчиков наиболее известны два подхода: индуктивный и индукционный. В первом случае, информативным параметром является индуктивность чувствительных элементов катушки L или коэффициент взаимной индукции M нескольких чувствительных элементов, во втором – ЭДС индукции. Параметр L называется также коэффициентом самоиндукции, а параметр M – коэффициентом связи между обмотками.

Чувствительные элементы могут включаться по дроссельной или трансформаторной схемам. Дроссельная схема обычно содержит одну или две катушки, в которой изменяется коэффициент самоиндукции L . Трансформаторная схема использует несколько катушек. В ней изменяется коэффициент взаимной индукции M . Одна из катушек, обычно первичная, неподвижна.

Магнитные энкодеры с высокой точностью регистрируют прохождение магнитных полюсов вращающегося элемента, преобразуя эти данные в соответствующий код или сигнал. В настоящее время подобные энкодеры являются наиболее распространенными в автомобильной промышленности.

1.2.2.1 Магниторезистивные энкодеры

В настоящее время все большее применение находят анизотропные магниторезистивные датчики, предназначенные для решения различных задач – бесконтактного измерения скорости и направления вращения зубчатых колес и многополюсных магнитных роторов энкодеров, определения угла поворота или величины линейного перемещения, бесконтактного измерения тока (мощности), а также для определения курса объекта по магнитному полю Земли в магнитометрии.

Анизотропные магниторезистивные датчики характеризуются высокой чувствительностью, обеспечивают высокие уровни первичного сигнала, широкий рабочий температурный диапазон, прочность, надежность и точность работы. Кроме того, они отличаются малым смещением и значительной нечувствительностью к магнитным и механическим допускам, что используется для создания разнообразных датчиков различных сфер применения, в частности, для автоэлектроники, промышленности и навигационных систем.

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. Внешнее магнитное поле H поворачивает вектор намагниченности пленки M на угол α , значение которого зависит от направления и значения такого поля. При этом сопротивление пленки изменяется по формуле $R = R_0 + \Delta R \cos^2 \alpha$. Согласно этой формуле углу $\alpha = 90^\circ$

соответствует минимальное сопротивление пленки, углу $\alpha = 0^\circ$ (в отсутствие поля) – максимальное значение сопротивления, равное базовому сопротивлению (R_0), к которому прибавляется максимальное ΔR , составляющее обычно 2–3%. (В отсутствие магнитного поля направление тока и направление вектора намагниченности пермаллоя параллельны друг другу, а при увеличении напряженности поля H угол α увеличивается, а сопротивление R уменьшается на максимальную величину ΔR , зависящую от свойств материала пленки).

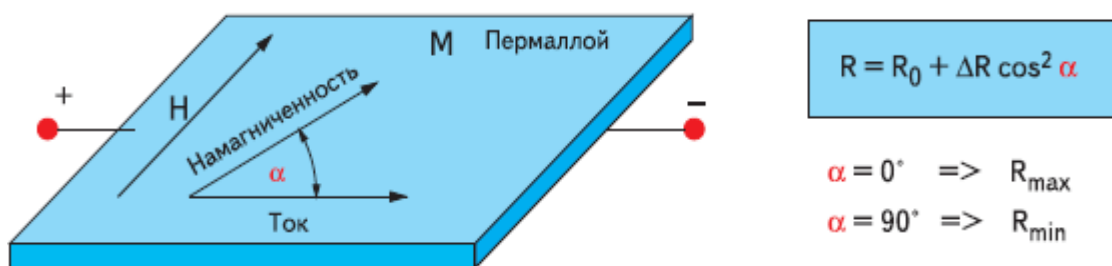


Рисунок 1.4 – Принцип магниторезистивного эффекта

Данная характеристика зависимости сопротивления нелинейна и неуникальна, другими словами, она не зависит от направления действия поля напряженностью H в плане датчика.

Рассмотрим упрощенную схему конструктива такого датчика.

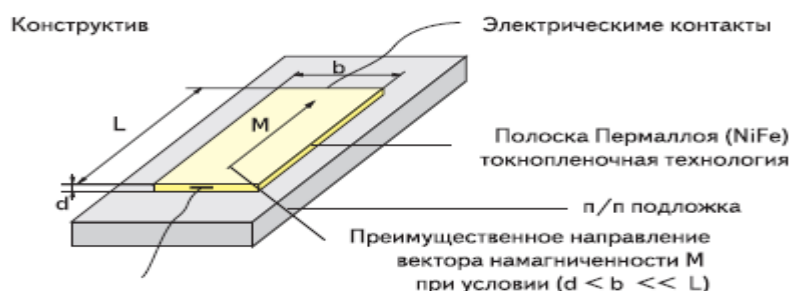


Рисунок 1.5 – Упрощенная схема конструктива АМР-датчика

На полупроводниковую подложку по тонкопленочной технологии наносят слой чувствительного материала (пермаллоя) в виде полоски так, чтобы ее

геометрические размеры удовлетворяли следующему условию: $d < b \ll l$, где d – толщина, b – ширина и l – длина полоски. При выполнении этого условия вектор намагниченности пленки M будет иметь преимущественное направление вдоль полоски, совпадающее с направлением тока в отсутствие внешнего поля или достижимое за счет приложения внешнего смещающего и насыщающего поля (например, от обмотки или постоянного магнита).

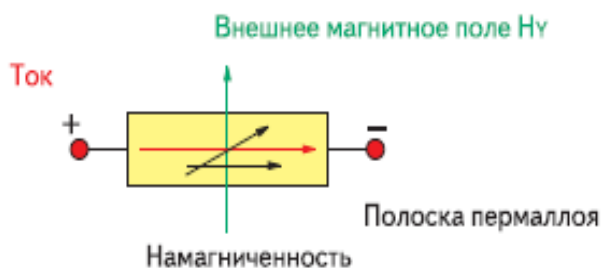


Рисунок 1.6 – Пример использования сплошной полоски пермаллоя

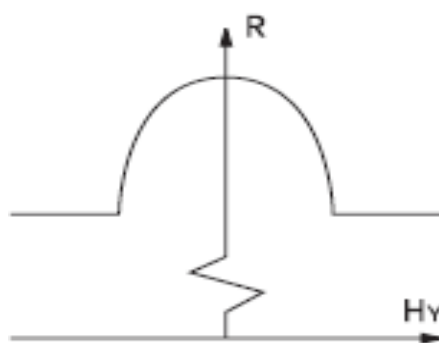


Рисунок 1.7 – Функция $R = f(H_y)$ для сплошного слоя пермаллоя

При использовании сплошной чувствительной полоски пермаллоя сопротивление датчика в зависимости от направления намагниченности будет меняться нелинейно (Рисунок 1.7). Хотя схема и позволяет детектировать углы поворота дипольного магнита, датчик такой конструкции не рекомендуется для измерений, особенно для слабых полей и в магнитометрии, поскольку имеет следующие основные недостатки:

- низкая чувствительность;
- нелинейность;

– не позволяет определить направление поля.

Для избавления от этих недостатков, используют чувствительные элементы, состоящие из магниторезистивных пленок пермаллоя, осажденных на кремниевую пластину в виде полосок (Рисунок 1.8). Четыре резистора, каждый из которых выполнен, как показано на рисунке 1.8, включаются в мостовую схему. Сопротивление резистора в зависимости от направления намагниченности будет меняться линейно (Рисунок 1.9). Это достигается за счет метода, называемого смещением зазубренных участков. Согласно этому методу на пути тока замещаются шунтирующие полосы с низким сопротивлением – из алюминия или серебра. Причем начальная ориентация вектора намагничивания M сформирована параллельно длине мостового резистора. Благодаря расположению полос под углом 45° к длине пленки, ток, выбирая кратчайший путь, на пермалловых участках течет также под углом 45° .

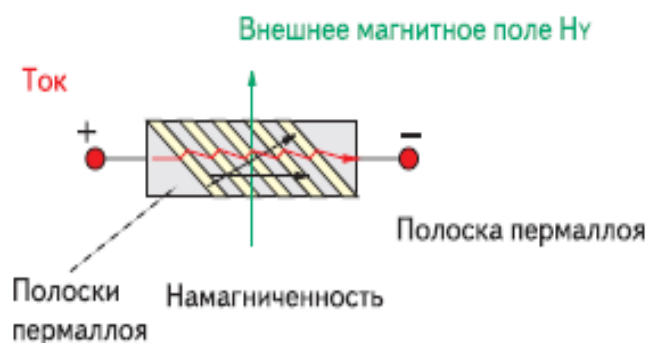


Рисунок 1.8 – Технология с включением шунтирующих полос в слой пермаллоя

В результате применения данного метода выполняется поворот тока и достигается изменение в сопротивлении под действием внешнего магнитного поля, зависящее от его направления в пределах ярко выраженного линейного участка (Рисунок. 1.9).

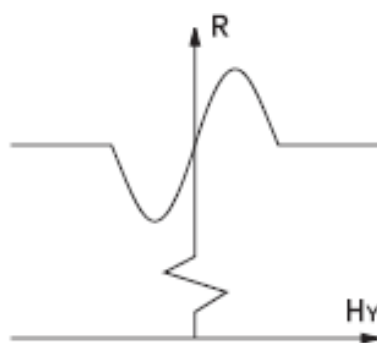


Рисунок 1.9 – Функция $R = f(H_y)$ для не сплошного слоя пермаллоя

В мостовой схеме одна пара диагональных элементов моста включает шунтирующие полосы, которые расположены под углом $+45^\circ$ к оси полосы, другая пара – под углом -45° . Увеличение сопротивления одной пары резисторов под влиянием поля соответствует равному уменьшению второй пары. Результирующий дифференциальный сигнал является линейной функцией амплитуды внешнего магнитного поля, нормального к оси полосы в ее плоскости.

Для увеличения чувствительности датчика каждое плечо моста с алюминиевыми перемычками формируют из нескольких магниторезистивных пленок, параллельно ориентированных на подложке наподобие лабиринта.

Поэтому мостовые датчики в исполнении с зазубренными полосами рекомендуются для многих измерений – скорости, углов, тока, а также подходят для измерений слабых полей. Их основные характеристики:

- высокая чувствительность;
- линейность;
- возможность определить направление поля.

Конкурентами АМР-датчиков в задачах измерений скорости, положения и тока являются датчики Холла. Если сравнивать эти датчики, окажется, что магниторезистивные имеют ряд основных преимуществ:

- действует направление поля вместо величины поля, как в эффекте Холла
- широкий выбор магнитов для измерений, независимо от их остаточной намагниченности (но в пределах насыщающих значений поля);

- действие в зоне насыщенности напряженности поля датчика означает:
- независимость от магнитного дрейфа во времени и под действием температуры;
- независимость от механических допусков (расстояния между магнитом и датчиком);
- независимость от температурных эффектов за счет вычисления функции арктангенса в угловых измерениях;
- малое смещение мостовых магниторезисторов;
- магниторезистивные мостовые датчики после компенсации температурно стабильны и имеют расширенный температурный диапазон (-40...160 °С).

Указанные преимущества магниторезистивных датчиков особенно полезны в автомобильных применениях, в условиях жесткой эксплуатации, которая характеризуется повышенной загрязненностью, перепадами температур, повышенными механическими вибрациями.

Высокая чувствительность позволяет также использовать АМР-датчики для измерения слабых полей в навигационных системах, где эффект Холла обычно не применяется [7].

1.2.2.2 Датчики Холла

Датчик Холла – это датчик магнитного поля. Он был так назван из-за принципа своей работы – эффекта Холла. Причиной эффекта Холла [8] является отклонение заряженных частиц, движущихся в магнитном поле под действием силы Лоренца. В какую именно сторону будут отклоняться электроны, зависит от полярности магнитного поля.

Датчики с линейным выходом обычно применяются для определения небольших перемещений или построения более сложных датчиков, например, в составе датчиков тока с гальванической развязкой. Они состоят из

полупроводникового элемента Холла, стабилизатора питания, дифференциального усилителя и выходного каскада. В зависимости от модели, выходной каскад датчика может представлять собой усилитель на биполярном транзисторе, включенном по схеме с открытым коллектором (p-n-p) или по двухтактной схеме (p-n-p + n-p-n). Выходное напряжение этих датчиков находится в линейной зависимости от величины вектора магнитной индукции. За пределами рабочей области датчик входит в насыщение. При отсутствии внешнего магнитного поля напряжение на выходе равно половине напряжения питания. Размах выходного напряжения и чувствительность датчиков находятся также в линейной зависимости от напряжения источника питания (пропорциональный выход).

Этот тип датчиков характеризуется высокой нагрузочной способностью, линейной характеристикой преобразования в рабочем диапазоне магнитных полей, широким диапазоном рабочих температур и питающих напряжений, долговременной стабильностью параметров и малым током потребления.

Таблица 1.1 – Линейные датчики магнитного поля на эффекте Холла

Наименование	B, Гс	Чувст., МВ/Гс	U _{пит.} , В	I _{пит.} , мА	I _{вых.} макс., мА	T _{раб.} ,
SS49	±400	0,6...1,25	4...10	4	20	-25...85
SS495A1	±670	6...14	4,5...10,5	8,7	1,5	-40...150
SS94A1	±500	5	6,6...12,6	13	1	-40...125
91SS12-2	±400	7,5	8...16	19	10	-40...150

1.2.3 Резольверы

Резольвер – это электрический трансформатор, используемый для измерения угла поворота. Большинство похожи на электрические двигатели: у них медная обмотка на статоре и приточенный металлический ротор.

Индуктивная связь между обмотками трансформатора изменяется в зависимости от угла. Таким образом, если отправить на резольвер сигнал переменного тока и измерить выходной сигнал на обмотках трансформатора, в

результате будет получен сигнал переменного тока, амплитуда которого пропорциональна углу.

Хотя существует множество типов резольверов, обычно они имеют три обмотки – одну первичную и две вторичных. Эти обмотки выполнены из медной проволоки и обычно находятся на неподвижном элементе резольвера – статоре. Первичная обмотка используется для приема сигнала переменного тока, а вторичные обмотка – в качестве измерительной или принимающей обмотки. На приведенной ниже схеме выходной сигнал со вторичных обмоток будет представлен в виде синусоиды и косинусоиды. Соответственно, отношение сигналов изменяется пропорционально углу.

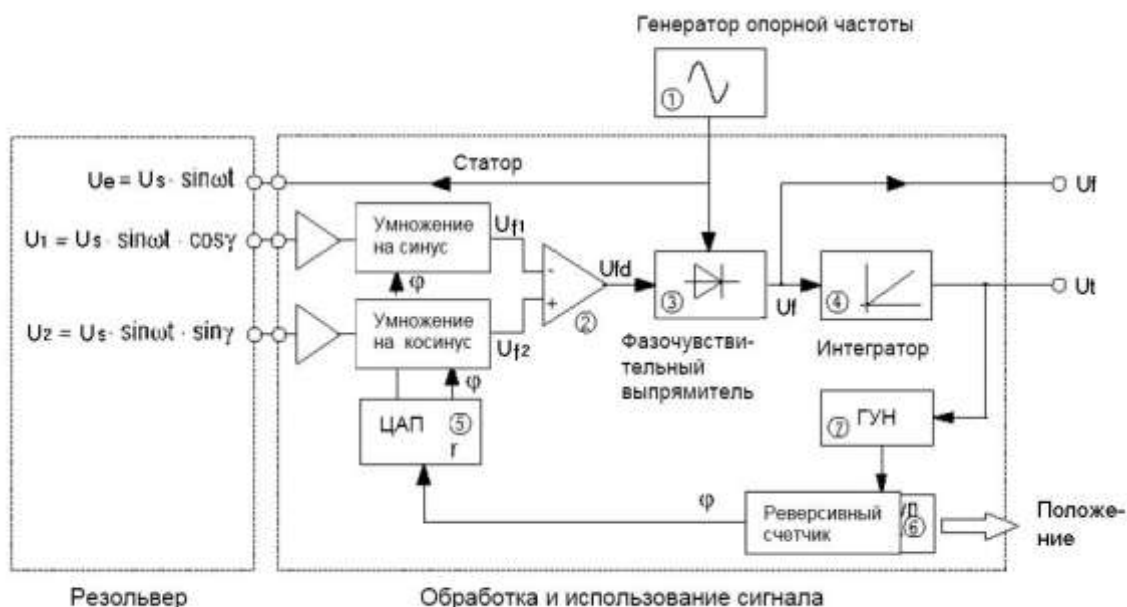


Рисунок 1.10 – Схема оцифровки сигналов резольвера

На приведенной ниже схеме ротор выполнен из железа или стали и сконструирован таким образом, чтобы передавать энергию разной величины на вторичные обмотки в зависимости от своего угла поворота.

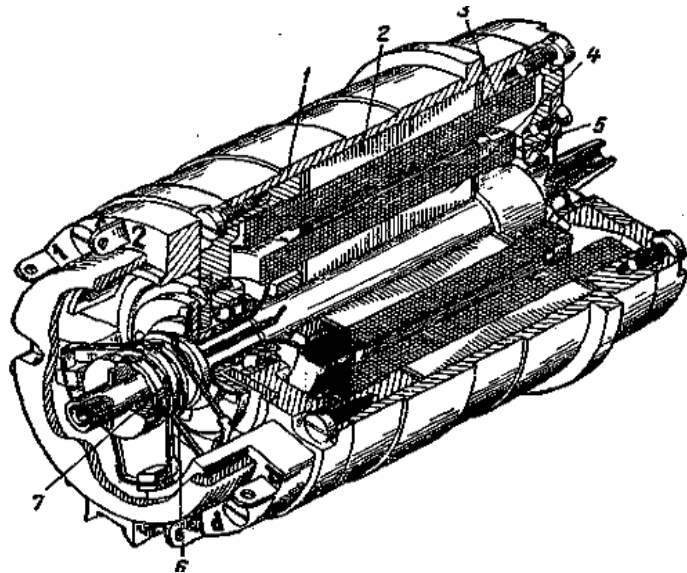


Рисунок 1.11 – Вращающийся трансформатор: 1 – корпус; 2 – статор;
3 – обмотка статора; 4 – ротор; 5 – обмотка ротора; 6 – контактные кольца;
7 – щетки

Рассмотрим принцип работы резольвера по принципу вращающегося трансформатора. Вращающиеся трансформаторы (Рисунок 1.11) представляют собой индукционные электрические машины, у которых выходное напряжение является функцией входного напряжения и угла поворота ротора.

В зависимости от того, какая из обмоток используется, получаем синусный или косинусный, а при использовании обеих обмоток ротора – синусно-косинусный вращающийся трансформатор (Рисунок 1.12):

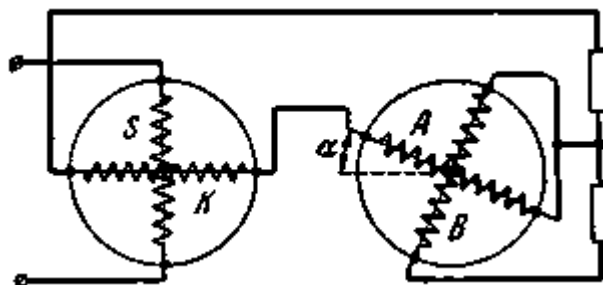


Рисунок 1.12 – Синусно-косинусный вращающийся трансформатор

При нагрузке по обмоткам ротора потечет ток, который создает магнитные потоки, направленные вдоль осей этих обмоток. Поток каждой обмотки можно разложить на две составляющие – продольную, совпадающую с осью обмотки возбуждения, и поперечную, перпендикулярно этой оси [9].

1.3 Выходные беспроводные интерфейсы цифровых датчиков

1.3.1 Стандарт IEEE 802.11

Комитет по стандартам IEEE 802 сформировал рабочую группу по стандартам для беспроводных локальных сетей 802.11 в 1990 году. Эта группа занялась разработкой всеобщего стандарта для радиооборудования и сетей, работающих на частоте 2,4 ГГц, со скоростями доступа 1 и 2 Mbps (Megabits-per-second). Работы по созданию стандарта были завершены через 7 лет, и в июне 1997 года была ратифицирована первая спецификация 802.11.

Стандарт IEEE 802.11 являлся первым стандартом для продуктов WLAN от независимой международной организации, разрабатывающей большинство стандартов для проводных сетей. Однако к тому времени заложенная первоначально скорость передачи данных в беспроводной сети уже не удовлетворяла потребностям пользователей. Для того, чтобы сделать технологию Wireless LAN популярной, дешёвой, а главное, удовлетворяющей современным жёстким требованиям бизнес-приложений, разработчики были вынуждены создать новый стандарт. В сентябре 1999 года IEEE ратифицировал расширение предыдущего стандарта. Названное IEEE 802.11b (также известное, как 802.11 High rate), оно определяет стандарт для продуктов беспроводных сетей, которые работают на скорости 11 Mbps (подобно Ethernet), что позволяет успешно применять эти устройства в крупных организациях.

Стандарт IEEE 802.11 определяет два режима работы сети – режим «Ad-hoc» и клиент/сервер (или режим инфраструктуры – infrastructure mode). В режиме

клиент/сервер (Рисунок 1.13) беспроводная сеть состоит из как минимум одной точки доступа, подключенной к проводной сети, и некоторого набора беспроводных оконечных станций. Такая конфигурация носит название базового набора служб (Basic Service Set, BSS). Два или более BSS, образующих единую подсеть, формируют расширенный набор служб (Extended Service Set, ESS). Так как большинству беспроводных станций требуется получать доступ к файловым серверам, принтерам, Интернет, доступным в проводной локальной сети, они будут работать в режиме клиент/сервер.

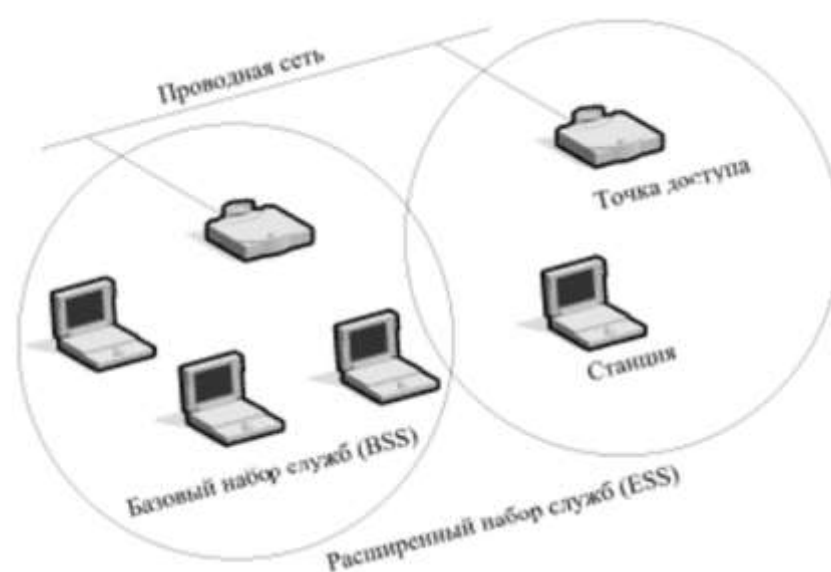


Рисунок 1.13 – Архитектура сети «клиент/сервер»

Режим «Ad-hoc» (также называемый точка-точка, или независимый базовый набор служб, IBSS) – это простая сеть, в которой связь между многочисленными станциями устанавливается напрямую, без использования специальной точки доступа (Рисунок 1.14). Такой режим полезен в том случае, если инфраструктура беспроводной сети не сформирована (например, отель, выставочный зал, аэропорт), либо по каким-то причинам не может быть сформирована.

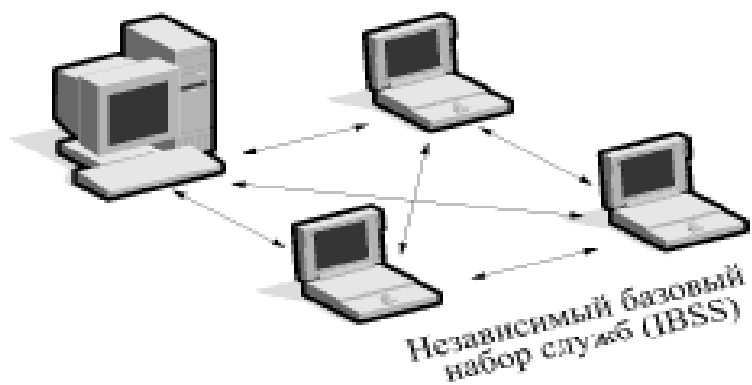


Рисунок 1.14 – Архитектура сети «Ad-hoc»

Стандарт 802.11 использует метод прямой последовательности Direct Sequence Spread Spectrum (далее – DSSS) и метод частотных скачков Frequency Hopping Spread Spectrum (далее – FHSS). Эти методы кардинально отличаются, и несовместимы друг с другом [10].

Для модуляции сигнала FHSS использует технологию Frequency Shift Keying (далее – FSK). При работе на скорости 1 Mbps используется FSK модуляция по Гауссу второго уровня, а при работе на скорости 2 Mbps – четвертого уровня.

Метод DSSS использует технологию модуляции Phase Shift Keying (далее – PSK). При этом на скорости 1 Mbps используется дифференциальная двоичная PSK, а на скорости 2 Mbps – дифференциальная квадратичная PSK модуляция.

1.3.2 Стандарт IEEE 802.11n

Разработка стандарта IEEE 802.11n официально началась 11 сентября 2002 года, то есть еще за год до окончательного принятия стандарта IEEE 802.11g. Во второй половине 2003 года была создана целевая группа (Task Group) IEEE 802.11n (802.11 TGn), в задачу которой входила разработка нового стандарта беспроводной связи на скорости свыше 100 Мбит/с. Этой же задачей занималась и другая целевая группа — 802.15.3a. К 2005 году процессы выработки единого решения в каждой из групп зашли в тупик. В группе 802.15.3a наблюдалось противостояние компании Motorola и всех остальных членов группы, а члены

группы IEEE 802.11n разбились на два примерно одинаковых лагеря: WWiSE (World Wide Spectrum Efficiency) и TGn Sync. Группу WWiSE возглавляла компания Aigro Networks, а группу TGn Sync — компания Intel. В каждой из групп долгое время ни один из альтернативных вариантов не мог набрать необходимые для его утверждения 75% голосов.

После почти трех лет безуспешного противостояния и попыток выработать компромиссное решение, которое устраивало бы всех, участники группы 802.15.3a практически единогласно проголосовали за ликвидацию проекта 802.15.3a. Члены проекта IEEE 802.11n оказались более гибкими — им удалось договориться и создать объединенное предложение, которое устраивало бы всех. В результате 19 января 2006 года на очередной конференции, проходившей в Конне на Гавайях, была одобрена предварительная (draft) спецификация стандарта IEEE 802.11n. Из 188 членов рабочей группы 184 выступили за принятие стандарта, а четверо воздержались.

Стандарт 802.11n для сетей Wi-Fi был утвержден организацией IEEE 11 сентября 2009 года.

В основе стандарта 802.11n:

- увеличение скорости передачи данных;
- увеличение зоны покрытия;
- увеличение надежности передачи сигнала;
- увеличение пропускной способности.

Таблица 1.2 – Сравнение скорости различных стандартов

Стандарт беспроводной связи	Скорость работы	Реальная скорость передачи данных
802.11b	11 Мбит/с	5 Мбит/с
802.11g	54 Мбит/с	25 Мбит/с
802.11a	54 Мбит/с	25 Мбит/с
802.11n	200+ Мбит/с	100 Мбит/с

Стандарт 802.11n включает в себя множество усовершенствований по сравнению с устройствами стандарта 802.11g. Устройства 802.11n могут работать в одном из двух диапазонов 2.4 или 5.0 ГГц. На физическом уровне реализована усовершенствованная обработка сигнала и модуляции, добавлена возможность одновременной передачи сигнала через четыре антенны [11].

Стандарт IEEE 802.11n основан на технологии OFDM-MIMO. Очень многие реализованные в нем технические детали позаимствованы из стандарта 802.11a, однако в стандарте IEEE 802.11n предусматривается использование как частотного диапазона, принятого для стандарта IEEE 802.11a, так и частотного диапазона, принятого для стандартов IEEE 802.11b/g. То есть устройства, поддерживающие стандарт IEEE 802.11n, могут работать в частотном диапазоне либо 5, либо 2,4 ГГц, причем конкретная реализация зависит от страны. Для России устройства стандарта IEEE 802.11n поддерживают частотный диапазон 2,4 ГГц.

Увеличение скорости передачи в стандарте IEEE 802.11n достигается, во-первых, благодаря удвоению ширины канала с 20 до 40 МГц, а во-вторых, за счет реализации технологии MIMO.

Технология MIMO (Multiple Input Multiple Output) предполагает применение нескольких передающих и принимающих антенн (Рисунок 1.15). По аналогии традиционные системы, то есть системы с одной передающей и одной принимающей антенной, называются SISO (Single Input Single Output).

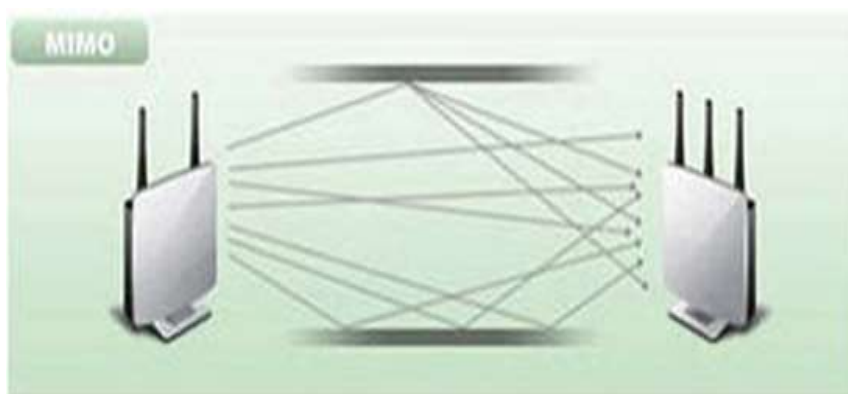


Рисунок 1.15 – Технология MIMO

1.3.2.1 Режимы работы 802.11n

Существуют три режима работы 802.11n: HT, Non-HT и HT Mixed.

- Режим с высокой пропускной способностью HT (High Throughput)

Точки доступа 802.11n используют режим High Throughput (HT), известный также как "чистый" режим (Greenfield-режим), который предполагает отсутствие поблизости (в зоне покрытия) работающих устройств 802.11b/g, использующих ту же полосу частот. Если же такие устройства существуют в зоне покрытия, то они не смогут общаться с точкой доступа 802.11n. Таким образом, в этом режиме разрешены к использованию только клиенты 802.11n, что позволит воспользоваться преимуществами повышенной скорости и увеличенной дальностью передачи данных, обеспечиваемыми стандартом 802.11n.

- Режим с невысокой пропускной способностью Non-HT

Точка доступа 802.11n с использованием режима Non-HT (известный также как наследуемый режим), отправляет все кадры в формате 802.11b/g, чтобы устаревшие станции смогли понять их. В этом режиме точка доступа должна использовать ширину каналов 20 МГц и при этом не будет использовать преимущества стандарта 802.11n. Для обеспечения обратной совместимости все устройства должны поддерживать этот режим. Нужно учитывать, что точка доступа 802.11n с использованием режима Non-HT не будет обеспечивать высокую производительность. При использовании этого режима передача данных осуществляется со скоростью, поддерживаемой самым медленным устройством.

- Смешанный режим с высокой пропускной способностью HT Mixed

Смешанный режим HT Mixed будет наиболее распространенным режимом для точек доступа 802.11n в ближайшие несколько лет. В этом режиме, усовершенствования стандарта 802.11n могут быть использованы одновременно с существующими станциями 802.11b/g. Режим HT Mixed обеспечит обратную совместимость устройств, но устройства 802.11n получат уменьшение пропускной

способности. В этом режиме точка доступа 802.11n распознает наличие старых клиентов и будет использовать более низкую скорость передачи данных, пока старое устройство осуществляет прием-передачу данных [12].

1.3.3 Стандарт IEEE 802.11ac

Чрезвычайный рост объема и типов различных Wi-Fi приборов, в сочетании с увеличением популярности потокового видео в высоком расширении, рождает спрос на более совершенные и производительные технологии. Стандарт связи 802.11ac – это новый стандарт Wi-Fi, который предназначен для удовлетворения данных потребностей.

За первую точку отсчета в истории 802.11ac можно считать начало 2011 года, в то время, когда Институт инженеров по электронике (IEEE) взял первую черновую редакцию очередной «версии» Wi-Fi. И уже через полгода компания Quantenna выбросила на рынок первый такой чипсет, который отлично совместим с роутерами, а также коммерческими приборами. За еще один важный рубеж в деле развития высокоскоростного Wi-Fi можно взять прошедшую в 2014 году выставку CES. На этой выставке новые контроллеры были анонсированы крупным изготовителем микросхем Broadcom, в то время как внедрить их в собственную продукцию решились компании: Lenovo, ZTE, Huawei, Comcast, а также другие известные игроки на современном рынке электроники.

IEEE 802.11ac относится к пятому поколению беспроводных сетей, и в разговорном языке за ним может закрепиться название 5G Wi-Fi, хотя официально оно неверно. При разработке этого стандарта одной из главных целей ставилось достижение гигабитной скорости передачи данных. В то время как использование дополнительных, как правило, еще не задействованных каналов, позволяет разогнать даже 802.11n до внушительных 600 Мб/с, гигабитную планку ему так и не суждено будет взять, и эта роль достанется его преемнику.

Указанную скорость (один гигабит) решено было брать не любой ценой, а с сохранением совместимости с более ранними версиями стандарта. Это значит, что в смешанных сетях все устройства будут работать независимо от того, какую версию 802.11 они поддерживают.

Для достижения этой цели 802.11ac будет по-прежнему работать на частоте до 6 ГГц. Но если в 802.11n для этого использовались сразу две частоты (2.4 и 5 ГГц), а в более ранних ревизиях только 2.4 ГГц, то в 802.11ac низкую частоту вычеркнут и оставят лишь 5 ГГц, так как именно она более эффективна для передачи данных.

Последнее замечание может показаться несколько противоречивым, поскольку на частоте 2.4 ГГц сигнал лучше распространяется на большие расстояния, эффективнее огибая препятствия. Однако этот диапазон уже занят огромным количеством «бытовых» волн (от устройств Bluetooth до микроволновых печей и другой домашней электроники), и на практике его применение только ухудшает результат.

Другой причиной для отказа от 2.4 ГГц стало то, что в этом диапазоне не хватит спектра для размещения достаточного количества каналов шириной в 80-160 МГц каждый.

Следует подчеркнуть, что, несмотря на разные рабочие частоты (2,4 и 5 ГГц), IEEE гарантирует совместимость ревизии 802.11ac с более ранними версиями стандарта. Новые чипы будут использовать 5 ГГц как базовую частоту, однако при работе со старыми устройствами, не поддерживающими этот диапазон, смогут переключаться на более низкие частоты.

1.3.3.1 Улучшения в 802.11ac

Заметный прирост скорости в 802.11ac будет получен за счет сразу нескольких изменений. В первую очередь, за счет удвоения ширины канала. Если

в 802.11n он уже был увеличен с 20 до 40 МГц, то в 802.11ac составит целых 80 МГц (по умолчанию), а в некоторых случаях и 160 МГц.

В ранних версиях 802.11 (до N спецификации) все данные передавались лишь в один поток. В N их число может составлять 4, хотя до сих пор чаще всего используются только 2 канала. На практике это значит, что суммарная максимальная скорость вычисляется как произведение максимальной скорости каждого канала на их количество. Для 802.11n получаем $150 \times 4 = 600$ Мб/с.

В 802.11ac пошли дальше. Теперь используется технология MU – MIMO, в которой число каналов увеличено до 8, и максимально возможную скорость передачи в каждом конкретном случае можно узнать в зависимости от их ширины. При 160 МГц получается 866 Мб/с, и, умножив эту цифру на 8, получаем максимальную теоретическую скорость, которую может обеспечить стандарт, то есть почти 7 Гб/с, что в 23 раза быстрее, чем дает 802.11n.

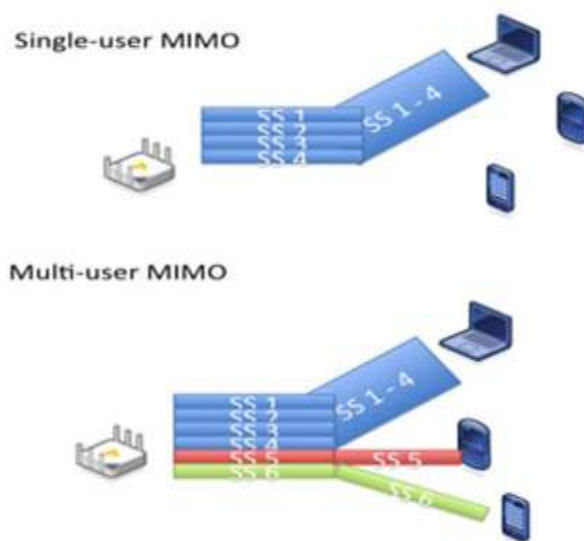


Рисунок 1.16 – Использование технологии MU – MIMO

Экономное расходование энергии станет одной из самых сильных сторон AC. Чипы на базе этой технологии уже пророчат во все мобильные устройства, утверждая, что это повысит автономность не только при равной, но и при более высокой скорости передачи данных [13].

К сожалению, до выхода первых устройств более точные цифры получить вряд ли удастся, а когда новые модели будут на руках, сравнить возросшую автономность можно будет лишь приблизительно, ввиду того, что на рынке вряд ли будет два одинаковых смартфона, отличающихся только беспроводным модулем.

По словам Broadcom, новые устройства до 6 раз энергоэффективней при сравнении с их аналогами на базе 802.11n. Скорее всего, производитель сетевого оборудования ссылается на некие экзотические условия тестирования, и средняя цифра экономии будет гораздо ниже приведенной, но все равно должна заметно проявляться в виде дополнительных минут, а возможно, и часов работы мобильных устройств.

1.4 Методы АЦП преобразования и их реализация

АЦП – функциональные модули, предназначенные для преобразования аналогового сигнала (напряжения или тока) в цифровой код. Это преобразование осуществляется за определенное конечное время. Используются различные методы АЦП-преобразования (Рисунок 1.17), отличающиеся друг от друга: точностью, скоростью преобразования, сложностью аппаратной реализации и т.д. Схемы АЦП могут содержать или не содержать ЦАП.

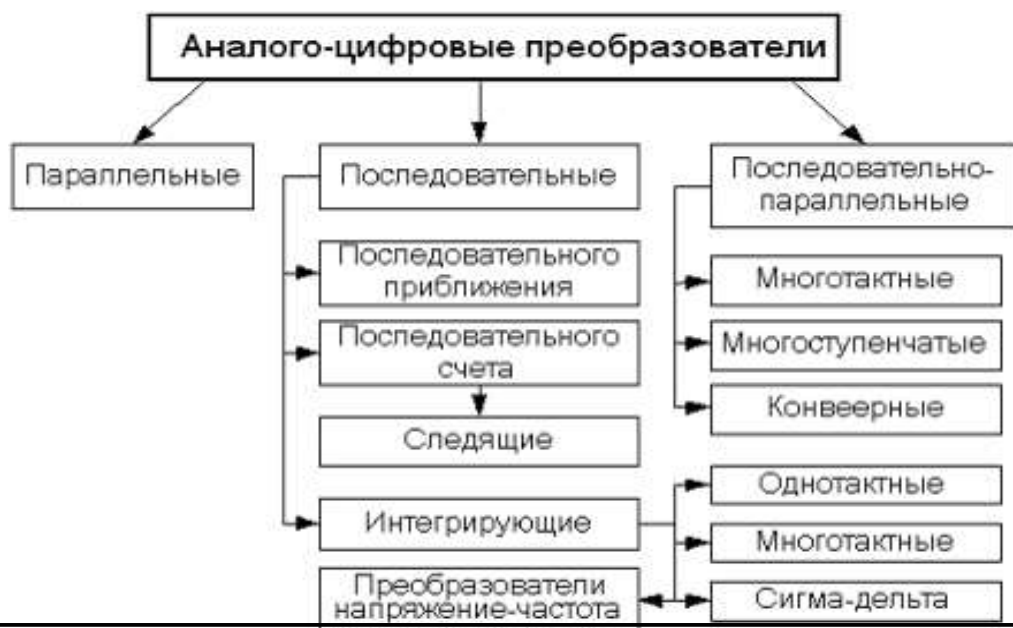


Рисунок 1.17 – Типы аналого-цифровых преобразователей

Выпускается множество самых разнообразных микросхем АЦП, различающихся скоростью работы (частота преобразования от сотен килогерц до сотен мегагерц), разрядностью (от 6 до 24), допустимыми диапазонами входного сигнала, величинами погрешностей, уровнями питающих напряжений, методами выдачи выходного кода (параллельный или последовательный), другими параметрами. Обычно микросхемы с большим количеством разрядов имеют невысокое быстродействие, а наиболее быстродействующие микросхемы имеют небольшое число разрядов. Область применения любой микросхемы АЦП во многом определяется использованным в ней принципом преобразования, поэтому необходимо знать особенности этих принципов. Существует несколько основных принципов построения АЦП.

1.4.1 АЦП последовательного приближения

В области систем сбора данных наиболее распространены АЦП последовательного приближения, особенно в тех случаях, когда требуется мультиплексирование нескольких входных сигналов. От модульных и гибридных устройств 1970-х гг. и до современных микромощных интегральных схем, АЦП

последовательного приближения – «рабочие лошади» систем сбора данных. Эта архитектура была впервые использована в экспериментальных системах фирмы Bell Labs в 1940-х гг. В 1954 г. Бернард Гордон из Epsco создал первый коммерческий АЦП последовательного приближения на лампах, 11-разрядный, с частотой преобразования 50 кГц и рассеиваемой мощностью 500 Вт. Современные АЦП последовательного приближения имеют разрядность от 8 до 18 бит и частоту преобразования до нескольких мегагерц.

Базовая схема АЦП последовательного приближения показана на рисунке 1.18. Чтобы иметь возможность обрабатывать быстро изменяющиеся сигналы, на входе АЦП имеется устройство выборки-хранения (далее – УВХ). На выходе этого устройства сигнал остаётся постоянным во время всего цикла преобразования. Преобразование начинается с установки выходного напряжения встроенного цифроаналогового преобразователя (далее – ЦАП) на середину диапазона. Компаратор сравнивает выходное напряжение УВХ с выходным напряжением ЦАП. Результат сравнения (он является старшим битом выходного кода) записывается в регистр последовательного приближения как 0 или 1. Затем, в зависимости от значения старшего бита, на выходе ЦАП устанавливается напряжение, равное 1/4 или 3/4 диапазона, и компаратор определяет значение следующего бита. Результат записывается в регистр, и процесс продолжается до тех пор, пока не будут определены значения всех битов. После окончания преобразования устанавливается логический сигнал готовности.



Рисунок 1.18 – Базовая схема АЦП последовательного приближения

Временная диаграмма работы типичного АЦП последовательного приближения представлена на рисунке 1.19. Показанные на ней сигналы присутствуют в большинстве таких АЦП, но в разных устройствах они могут называться по-разному. Обратите внимание, что результат преобразования текущей выборки доступен сразу по окончании преобразования, без какой-либо задержки или конвейера. Поэтому АЦП последовательного приближения удобно использовать в устройствах с однократной или пакетной выборкой, или с мультиплексированием. В большинстве современных микросхем АЦП последовательного приближения процесс преобразования управляется высокочастотным тактовым сигналом, при этом необязательно использовать синхронизацию от входа запуска преобразования.

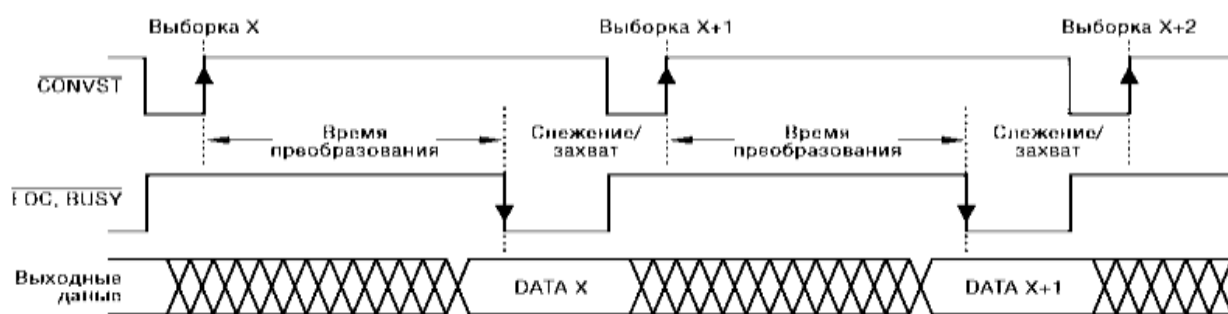


Рисунок 1.19 – Упрощенная временная диаграмма работы АЦП последовательного преобразования

Общая точность АЦП последовательного приближения определяется, в первую очередь, характеристиками внутреннего ЦАП. Раньше в прецизионных АЦП, таких как ставший промышленным стандартом AD574, для достижения требуемой точности и линейности использовались ЦАП с лазерной подгонкой тонкоплёночных резисторов. Однако процесс осаждения и подгонки тонкоплёночных резисторов увеличивает цену изделия, и кроме того,

сопротивление тонкоплёночного резистора может изменяться при механическом воздействии на корпус устройства.

1.4.2 Сигма-дельта АЦП

Современные сигма-дельта АЦП практически вытеснили интегрирующие АЦП (двойного, тройного интегрирования и пр.) в приложениях, требующих высокого разрешения (от 16 до 24 разрядов) и эффективной частоты преобразования до нескольких сотен герц. Высокое разрешение в сочетании со встроенным программируемым усилителем позволяет оцифровывать малые сигналы непосредственно с выходов датчиков, таких как тензодатчики или термопары. Правильный выбор частоты преобразования и полосы пропускания цифрового фильтра обеспечивает также прекрасное подавление помех от сети переменного напряжения частотой 50 и 60 Гц. Сигма-дельта АЦП представляют собой привлекательную альтернативу традиционному подходу с использованием инструментального усилителя и АЦП последовательного приближения. Основные концепции сигма-дельта АЦП зародились в Bell Labs в 1950-х гг. в ходе работ по созданию экспериментальных цифровых систем передачи данных с использованием дельта-модуляции и кодо-импульсной модуляции. К концу 1960-х гг. сигма-дельта архитектура была хорошо проработана. Однако, из-за малой доступности цифровых фильтров, которые являются неотъемлемой частью этой архитектуры, практические реализации интегральных схем смогли появиться только после 1980 г., когда получили широкое распространение КМОП-микросхемы цифровой обработки сигналов [14].

Основная схема сигма-дельта АЦП первого порядка и сигма-дельта модулятора показана на рисунке 1.20. «Сердцем» основной схемы модулятора являются одноразрядный АЦП (компаратор) и одноразрядный ЦАП (ключ). Многоразрядные сигма-дельта АЦП используют одноразрядный модулятор,

неотъемлемым преимуществом которого является его превосходная дифференциальная линейность.

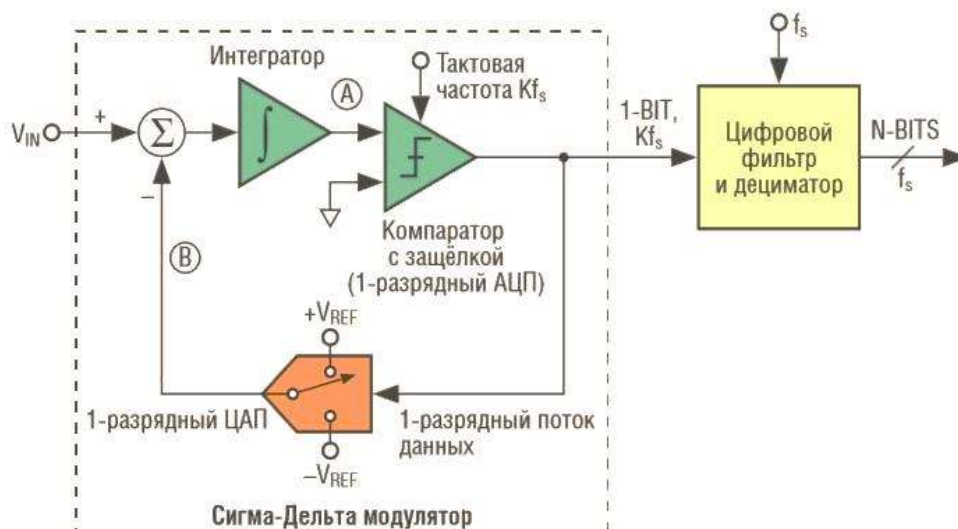


Рисунок 1.20 – Сигма-дельта АЦП первого порядка

На выходе модулятора образуется одноразрядный поток данных. Благодаря отрицательной обратной связи, которая охватывает интегратор, среднее значение сигнала в точке В должно быть равно входному напряжению V_{IN} . Если V_{IN} равно нулю, т.е. середине входного диапазона, количество нулей и единиц в выходном потоке данных одинаково. Если входной сигнал сдвигается вверх, количество единиц увеличивается, а количество нулей уменьшается. Аналогично, когда входной сигнал опускается, число единиц уменьшается, а число нулей увеличивается. Поэтому отношение числа единиц в выходном потоке к общему числу отсчётов на том же интервале – плотность единиц – должно быть пропорционально постоянной составляющей входного сигнала [14].

Сигма-дельта АЦП очень хорошо подходят для преобразования очень малых сигналов с большим разрешением. Но разработчик должен понимать, что в них используется гораздо более интенсивная цифровая обработка, чем в АЦП последовательного приближения и, кроме того, процесс разработки может занять несколько больше времени. Очень полезными могут оказаться оценочные платы и соответствующее программное обеспечение. И всё-таки, есть ещё много видов

оборудования и устройств сопряжения с датчиками, где можно использовать традиционные инструментальные усилители (для усиления сигнала и подавления синфазных помех) с мультиплексорами и АЦП последовательного приближения.

1.4.3 Параллельные АЦП

АЦП параллельного типа работает по более простому (чем в последовательных АЦП) принципу. Все разряды выходного кода вычисляются в них одновременно (параллельно), поэтому они гораздо быстрее, чем последовательные АЦП. Правда, они требуют применения большого количества компараторов ($2^n - 1$), что вызывает чисто технологические трудности при большом количестве разрядов (например, при 10-разрядном АЦП требуется 1023 компараторов).

Параллельный АЦП (Рисунок 1.21, для 3-разрядного числа) содержит по одному компаратору на каждый дискретный уровень $U_{вх}$. В любой момент времени только компараторы, соответствующие уровням, расположенным ниже уровня $U_{вх}$, выдадут на своём выходе сигнал превышения. Сигналы со всех компараторов поступают на логическую схему, которая выдаёт цифровой код, зависящий от того, сколько и какие компараторы показали превышение. Параллельные АЦП очень быстры, но обычно имеют разрешение не более 8 бит (256 компараторов), т.к. имеют большую и дорогую схему (большой размер кристалла микросхемы).

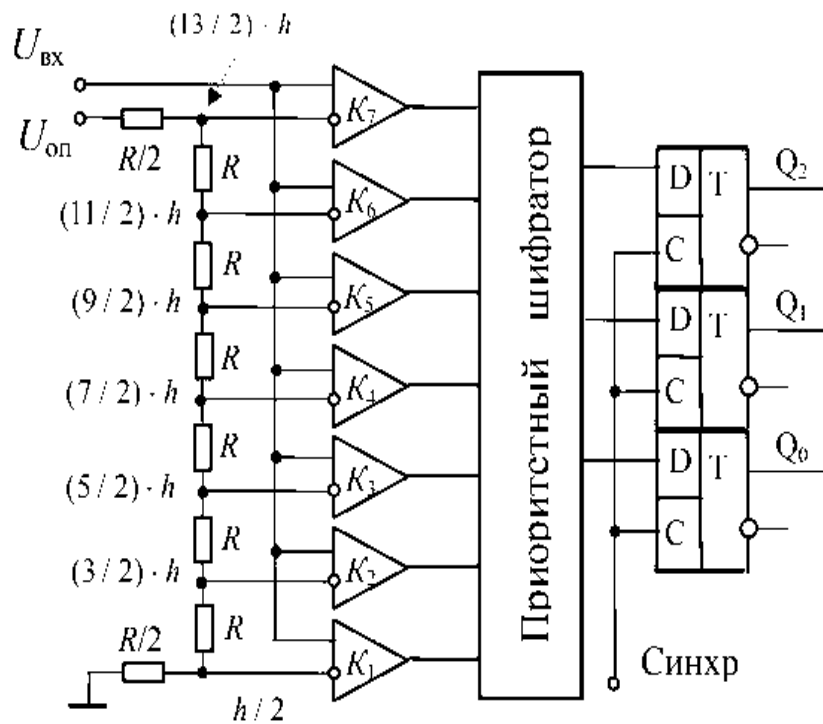


Рисунок 1.21 – Схема параллельного АЦП

Некоторые интегральные микросхемы параллельных АЦП, например, MAX100, снабжаются сверхскоростными УВХ, имеющими время выборки порядка 0,1 нс. В некоторых АЦП используется код Грея, характерной особенностью которого является изменение только одной кодовой позиции при переходе от одного кодового значения к другому.

Наконец, в некоторых АЦП (например, MAX1151) для снижения вероятности сбоев используется двухтактный цикл, когда сначала состояния выходов компараторов фиксируются, а затем, после установления состояния приоритетного шифратора, подачей активного фронта на синхровход выходного регистра в него записывают выходное слово АЦП.

Благодаря одновременной работе компараторов параллельный АЦП является самым быстрым. Например, 8-разрядный преобразователь типа MAX104 позволяет получить 1 млрд отсчетов в секунду при времени задержки прохождения сигнала не более 1,2 нс.

Недостатком этой схемы является высокая сложность. Действительно, n -разрядный параллельный АЦП содержит $2^n - 1$ компараторов и 2^n согласованных резисторов. Следствием этого является высокая стоимость и значительная потребляемая мощность. Тот же MAX104, например, потребляет около 4 Вт.

Преобразователи параллельного типа реально выпускаются с разрядностью, не превышающей 8. От всех прочих типов преобразователей они отличаются максимальным быстродействием, обусловленным принципом их работы. Время задержки преобразователя определяется временными параметрами срабатывания микросхем и у лучших преобразователей составляет порядка $1 / 10$ нс. Существенным недостатком таких преобразователей является значительная аппаратная сложность, которая геометрически возрастает с увеличением числа разрядов.

1.5 Перспективные разработки в области проектирования цифровых устройств

В работе Александра Гауфа и Анны Гусевой [15] представлены Магнитные датчики угла поворота EsoType новой серии, которые производит компания MEGATRON Elektronik AG&Co.

В основе датчика угла поворота на эффекте Холла – сенсорный массив элементов Холла, интегрированный вместе с электронными схемами в одной интегральной схеме. При взаимодействии с вращающимся магнитом датчик производит измерение его углового положения. По точности и разрешению магнитные датчики уступают, например, фотоэлектрическим, однако просты в реализации, менее требовательны к условиям эксплуатации и размерам конструкции. В связи с этим в настоящее время бесконтактные магнитные датчики угла поворота на эффекте Холла все больше заменяют оптические датчики и прецизионные потенциометры.

Одной из новейших разработок специалистов из группы компаний MEGATRON стала экономичная серия датчиков EcoTurn – бесконтактные программируемые абсолютные и инкрементальные магнитные датчики угла поворота. Современные интегральные схемы с датчиками Холла в сочетании с особыми магнитами и RISC-процессорами обеспечивают программируемую настройку выходных сигналов и интерфейса. Примененная в датчиках бесконтактная технология определения вращения магнитного поля предлагается в качестве достойной альтернативы потенциометрам на проводящем пластике: она более устойчива к воздействию вибрации и других неблагоприятных факторов.

Серия EcoTurn разделена на три группы:

ENA – абсолютные с аналоговым выходом (в качестве замены прецизионным потенциометрам);

ENI – с инкрементным выходом (в качестве замены оптоэлектронным датчикам);

ENS – абсолютные с SPI и SSI.

В своей статье И. Романова [16] описывает магнитные датчики компаний NXP, Honeywell и Murata на российском рынке.

В феврале 2012 года Honeywell расширила семейство микросхем линейных датчиков Холла, добавив новую серию SS39ET к уже выпускающимся сериям SS49E и SS59ET. Новые датчики поставляются в недорогом универсальном субминиатюрном корпусе SOT-23 для поверхностного монтажа. Они идеальны для компактных конструкций в условиях ограниченного пространства.

Датчики серии SS39ET предназначены для контроля магнитного поля постоянных или электромагнитов. В любом типе корпуса датчики могут поставляться в ленте для автоматического монтажа. Устройства чувствительны к обоим полюсам магнита.

Схема термокомпенсации гарантирует работу датчиков в диапазоне температур от -40 до 100°C. Тонкопленочные резисторы повышают точность и обеспечивают стабильность выходного сигнала. Приборы потребляют ток не

более 6 мА и могут работать в широком диапазоне питающих напряжений – от 2,7 до 6,5 В.

Магниторезистивные датчики фирмы NXP Semiconductors работают на основе эффекта изменения ориентации намагниченности внутренних доменов в слое пермаллоя (NiFe) под воздействием внешнего магнитного поля. Сопротивление пермаллоя зависит от угла между направлением тока и вектором намагниченности. Так, если угол равен 90°, то сопротивление датчика минимально. С уменьшением угла до 0° сопротивление возрастает. Магниторезистивные датчики могут с успехом применяться для измерения частоты вращения (управление двигателями и т.д.), а также для измерения угловой координаты (посудомоечные машины, робототехника, вилочные подъемники, регулируемые сидения).

Для измерения углового положения – KMZ41, KMZ43, KMA200 и KMA199E.

Таблица 1.3 – Датчики измерения углового положения NXP

Марка	Угол, град.	Выходной сигнал	Напряжение питания, В	Температурный диапазон, °C	Корпус
KMZ41	180	sin/cos	5 – 9	-40 – 150	SO8
KMZ43T	180	sin/cos	5 – 9	-40 – 160	SO8
KMA200	180	2 цифровых	4,5 – 5,5	-40 – 160	SIP5
KMA210	180	1 аналоговый	4,5 – 5,5	-40 – 160	SIP3
KMA199E	180	1 аналоговый	4,5 – 5,5	-40 – 150	SIP3
KMZ60	180	sin/cos	5 – 9	-40 – 150	SO8

Наиболее эффективными из датчиков углового положения компании NXP считаются программируемые сенсоры KMA200 и KMA199E. Они содержат не только чувствительные элементы, но и сигнальный процессор. Рекомендуются для автомобильных применений. Датчик серии KMA210 стал развитием версии магниторезистивного датчика KMA199. KMA210 содержит магниторезистивный датчик, сигнальный процессор и два выходных конденсатора. Наличие встроенных конденсаторов не требует введения в схему обработки навесных элементов. Основные характеристики датчика: защита от перенапряжения и

переплюсовки питания до 16 В, диагностика потери магнита и напряжения питания и энергонезависимая память.

Выводы по разделу один:

В данном разделе произведен обзор первичных измерительных преобразователей перемещения и рассмотрели аналогичные устройства.

В результате обзора были выбраны технические характеристики и параметры, которым должно соответствовать разрабатываемое устройство. В качестве чувствительного элемента проектируемого устройства был выбран резольвер, по причине того, что он может работать в фазовом и амплитудном режиме, в отличие от других датчиков, построенных на эффекте Холла.

2 ПРОЕКТИРОВАНИЕ БЕСПРОВОДНОГО ДАТЧИКА

2.1 Разработка функциональной схемы

Измеряемая физическая величина преобразуется на сенсоре в выходной сигнал тока или напряжения в соответствии с ГОСТ 24855-81 [17], ГОСТ 26.011-80) [18], который АЦП преобразует в цифровой код, передаваемый в микроконтроллер. Обработанный в микроконтроллере цифровой сигнал, поступает через интерфейс беспроводной передачи информации. Функциональная схема проектируемого прибора изображена на рисунке 2.1.

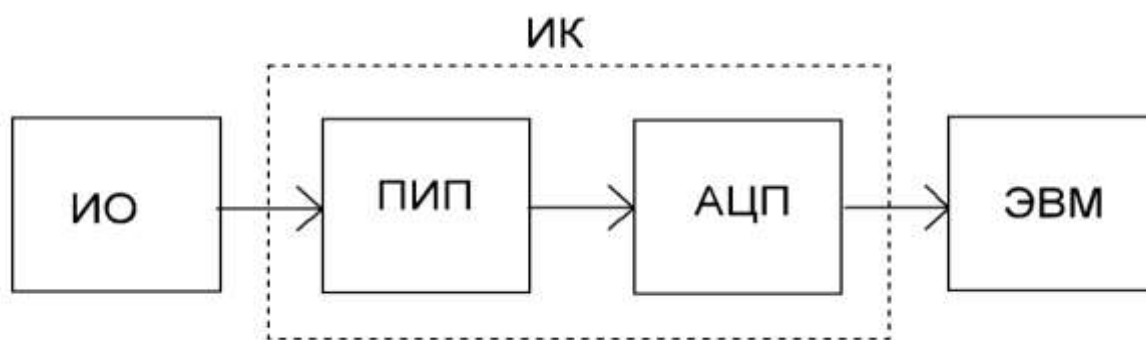


Рисунок 2.1 – Функциональная схема датчика перемещения: ИО – исследуемый объект, ПИП – первичный измерительный преобразователь, АЦП – аналого-цифровой преобразователь, ЭВМ – электронно-вычислительная машина, ИК – измерительный канал

Модуль АЦП производит обработку аналогового сигнала измерительного блока и преобразовывает его в цифровой код. Микроконтроллер принимает цифровые сигналы с АЦП, производит коррекцию и линеаризацию характеристики сенсора, рассчитывает скорректированное значение выходного сигнала датчика и посылает его по интерфейсу UART на модуль Wi-Fi. Модуль Wi-Fi предназначен для передачи измерений через беспроводной интерфейс на удаленную систему управления.

2.2 Выбор и обоснование микроконтроллера для цифрового датчика перемещения

Когда не требуется высокая скорость преобразования, при небольшой цене и низком энергопотреблении, обычно применяют АЦП последовательного приближения. Этот тип АЦП чаще всего используется в разнообразных измерительных приборах и в системах сбора данных. В настоящее время АЦП последовательного приближения позволяют измерять напряжение с точностью до 16 разрядов с частотой дискретизации от 100×10^3 до 1×10^6 отсчетов $\times c^{-1}$.

Для получения лучшей экономической выгоды с сохранением высоких метрологических параметров, разумнее использовать микроконтроллер с встроенным АЦП. Для измерения перемещения нужно использовать точные АЦП. Прецизионным встроенным АЦП обладают микроконтроллеры 1887BE4У и ATmega 8535 (Atmel).

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 1887BE4У.

1887BE4У – высокопроизводительный восьмиразрядный RISC-микроконтроллер с гарвардской архитектурой, выполненный по КМОП-технологии 0,6 мкм. Он предназначен для однокристалльной реализации систем передачи, обработки и хранения данных. Микроконтроллер может использоваться для организации вычислительных систем невысокого быстродействия и в качестве преобразователя различных типов интерфейсов. Ядро микроконтроллера совместимо с PIC17C756.

Особенности архитектуры микроконтроллера серии 1887BE4У:

- быстродействующая архитектура типа «регистр-регистр»;
- регистровое ОЗУ емкостью до 512 байт;

- последовательный периферийный интерфейс SPI;
- последовательный синхронно-асинхронный приемопередатчик UART;
- двухпроводной последовательный интерфейс TWI;
- 16-разрядный таймер/счетчик;
- два 8-разрядных таймер/счетчика;
- 8-разрядный сторожевой таймер;
- 8-канальный 10-разрядный АЦП;
- аналоговый компаратор;
- 4-канальный ШИМ;
- четыре 8-разрядных порта ввода-вывода;
- режимы холостого хода IDLE и хранения POWERDOWN;
- напряжение питания: 5 В ($\pm 10\%$);
- напряжение источника опорного напряжения от 2,0 В;
- диапазон рабочих температур: $-60/+85$ °С.

В режиме холостого хода ЦПУ не функционирует, в то время как функционируют СОЗУ, таймеры/счётчики, SPI порт и система прерываний. В микроконтроллере существует специальный режим подавления шума АЦП, при этом в целом в спящем режиме функционируют только АЦП и асинхронный таймер для исключения цифровых шумов в процессе преобразования АЦП. В режиме микропотребления процессор сохраняет содержимое всех регистров, останавливает генератор тактовых сигналов, приостанавливает все другие функции кристалла до прихода внешнего прерывания или поступления внешней команды RESET. В режиме ожидания работает генератор тактовых частот, в то время как остальные блоки находятся в спящем режиме. Благодаря этому переход в нормальный режим работы происходит гораздо быстрее.

У микроконтроллеров серии 1887BE4У характерной особенностью является его сверхнизкое потребление. Низкое электропотребление контроллера позволяет питать его от аккумуляторных батарей на протяжении долгого времени. Это

позволяет применять приборы на его основе в условиях, при которых нужна длительная автономная работа.

2.3 Выбор и обоснование модуля беспроводной передачи данных

В настоящее время, наиболее популярными приемопередатчиками, представленными на рынке, являются nRF24L01, MRF24WN0MA и ESP8266.

Беспроводной модуль nRF24L01 полностью удовлетворяет нашим требованиям в плане энергопотребления и стоимости, однако он не соответствует политике торговой марки Wi-Fi на базе стандарта IEEE 802.11. Данный модуль работает на частном, патентованном протоколе передачи данных, что делает невозможным использование в нашей разработке. Радиомодуль MRF24WN0MA несколько уступает nRF24L01 по своим характеристикам, однако может работать со стандартом Wi-Fi, но данный тип приемопередатчиков предназначен для работы исключительно с контроллерами компании Microchip, что так же не позволит использовать их в нашей системе.

Для разрабатываемого датчика мы выбрали беспроводной модуль ESP8266 фирмы Espressif Systems.



Рисунок 2.2 – Чип ESP8266

Модуль ESP8266 представляет собой чип SoC (System on Chip) с миниатюрным Wi-Fi передатчиком, который может функционировать в условиях полной автономии. У ESP8266 на плате имеются порты ввода-вывода (GPIO), с помощью которых можно объединять модуль с различными устройствами, нуждающимися в обеспечении связи решения с инфраструктурой Wi-Fi. На печатной плате расположены два основных чипа, это 32-битный процессор Tensilica's L106 Diamond series, flash-память на 1 Мб для сохранения настроек и антенна Wi-Fi сделанная печатным проводником.

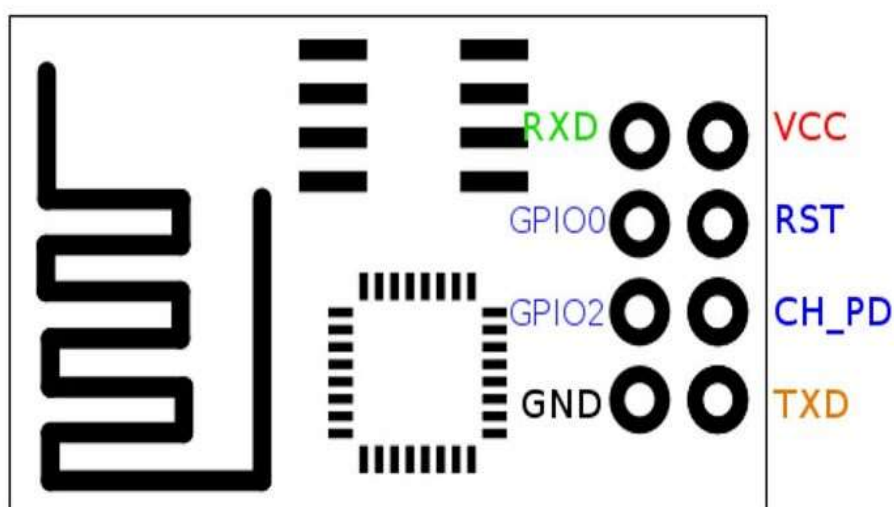


Рисунок 2.3 – Распиновка Wi-Fi модуля ESP8266 ESP-01

Для питания модулю требуется напряжение в 3,3 В. ESP8266 хорошо подходит для беспроводной электроники и мобильных приборов за счет достижения наименьшего энергопотребления с использованием нескольких проприетарных методов. Архитектура энергосбережения работает в трех режимах: активный режим, режим сна и режим глубокого сна. Используя предварительные методы управления питанием и логику для выключения, не требующую управления для переключения между спящим и активными режимами, ESP8266 потребляет меньше, чем 12 μA в режиме сна и менее 1,0 мВт (DTIM = 3) или менее 0,5 мВт (DTIM = 10), чтобы оставаться в режиме подключения к точке доступа.

Характеристики модуля ESP8266 ESP-01 приведены ниже.

- напряжение питания: 3,3В;
- ток в режиме передачи: до 215 мА;
- ток во время приема: до 62 мА;
- протокол: 802.11 b/g/n;
- мощность в режиме 802.11b: +20.5dBm;
- два вывода SDIO;
- режимы с охранения энергии и сна для экономии энергии;
- встроенный микроконтроллер;
- управление по средству AT-команд;
- диапазон рабочей температуры: от -40 до +125 °С;

Модуль ESP8266 ESP-01 является перспективным для беспроводной недорогой разработки с низким энергопотреблением, за счет малой стоимости и работе в двух режимах экономии энергии.

2.4 Выбор первичного измерительного преобразователя

В качестве первичного измерительного преобразователя будем использовать резольвер ЛИР-ДР250А выпускаемый Российской компанией «СКБ ИС».

Резольверы успешно используются в разных направлениях промышленности, а именно: в оборудовании для обработки металла, роботах и комплексах робототехники, в системах промышленного и технологического управления. Также они используются в оборудовании, лифтовых и крановых устройствах, в производстве серводвигателей и в различных измерительных устройствах, которые функционируют в сложных эксплуатационных условиях, требующих при этом высокой точности регистрации угловых перемещений объекта (наклон, поворот, вращение).

Отличительные особенности ЛИР-ДР250А:

- фотоэлектрический принцип действия;
- корпус диаметром 50 мм;
- тип датчика-инкрементный;
- разрешающая способность 320000 дискрет на оборот;
- вал полый.

2.5 Проектирование принципиальной схемы устройства

Принципиальная электрическая схема состоит из МК DD1, подключенного к нему резольвера и Wi-Fi модуля DD2.

МК 1887BE4У содержит встроенный 10-разрядный АЦП последовательного приближения, внутренний источник опорного напряжения на 2,56 В и встроенный операционный усилитель.

На дифференциальные аналоговые входы IN1C+, IN1C-, IN1S+, IN1S- (входы операционного усилителя) микросхемы поступают составляющие напряжения углов первичного датчика (т.е гнезда резольвера XP2) Ucos1+, Ucos1-, Usin1+, Usin1 – соответственно.

Вывод INT_REF должен быть соединен с землей через разделительный конденсатор 470 нФ. IREF – дополнительный опорный ток, резистор подключен для возбуждения источника тока. Опорный ток, используемый для источников тока возбуждения, должен быть с низким дрейфом, поэтому между контактом IREF и землей подключается внешний эталонный резистор 150 кОм.

Тактовая частота МК задается кварцевым резонатором ZQ1 номиналом 32.768 кГц, подключенного к входам XTAL0 и XTAL1. Емкость нагрузки кристалла должна быть 12 пФ в соответствии с типичной конфигурацией.

Связь между МК и модулем Wi-Fi осуществляется через интерфейс UART. Для подключения в схему этого модуль нужно подключить питание на VCC и GND, на TX и RX соответствующие выводы UART принимающего устройства (помните, что RX соединяется с TX, а TX с RX) и CH_PD (chip power-down) на

плюс питания. С выхода микроконтроллера P0.1 (TX) на вход трансивера UPRX передаются управляющие AT-команды и данные для передачи по беспроводной сети. А через порт P0.2 (RX) микроконтроллер принимает информацию от радиомодуля. Порт P0.3 МК подключен к входу RST, используется для сброса (перезагрузки) DD2. На вход VCC подается питание модуля (загорится красный диод). Пин CH_PD (chip powerdown) – пин включения/отключения модуля, при подаче на него логической единицы (3,3 В) модуль включается (мигнёт синий диод). Кратковременное подача нуля на пин RST перезагрузит модуль.

Принципиальная электрическая схема и перечень элементов к ней представлена в приложении А.

2.6 Программное обеспечение для модуля беспроводной передачи данных

Для передачи данных по беспроводной сети будем использовать модуль ESP8266 ESP-01. В данном модуле установлена прошивка, которая может интерпретировать команды скриптового языка Lua. Lua — это встраиваемый язык сценариев, который является простым и функциональным.

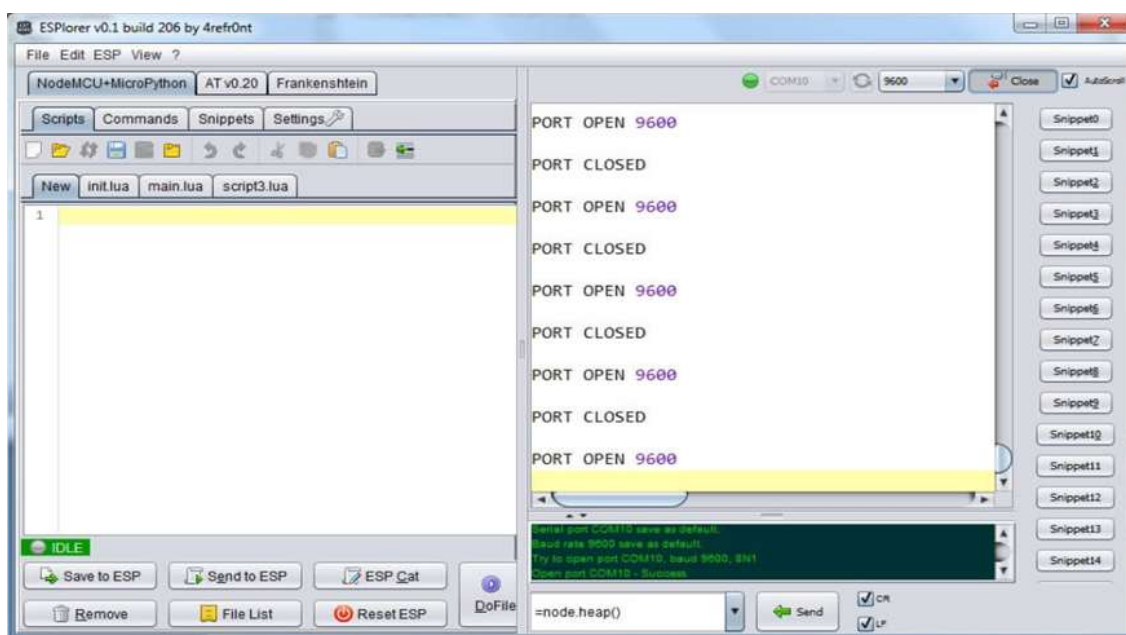


Рисунок 2.4 – Окно программы ESPlorer

Можно не только выполнять команды Lua в терминале, но и создавать файлы в flash-памяти ESP8266 и вызывать их на исполнение. Для этого будем использовать программу ESPlorer.

Напишем скрипт создания простейшего веб-сервера, чтобы при обращении к модулю по HTTP с него выдавалась информация. Создадим для этого файл server1.lua и запишем в него код, представленный в приложении Б.

Сохраним файл server1.lua в модуле и запустим. Для проверки работы сервера подключимся к точке доступа модуля и наберем в браузере ее адрес: `http://192.168.4.1`.



Рисунок 2.5 – Обращение к серверу на ESP-01

2.7 Условие завершения измерений

При отключении питания, МК перестает подавать сигналы считывания данных на АЦП, система завершает работу. Если питание не отключено, производится очистка и сброс внутренних регистров, измерения продолжают. Выполнение алгоритма продолжается с пункта 2 «прием сигнала». На рисунке 2.4 приведена блок-схема алгоритма работы МК при измерениях.

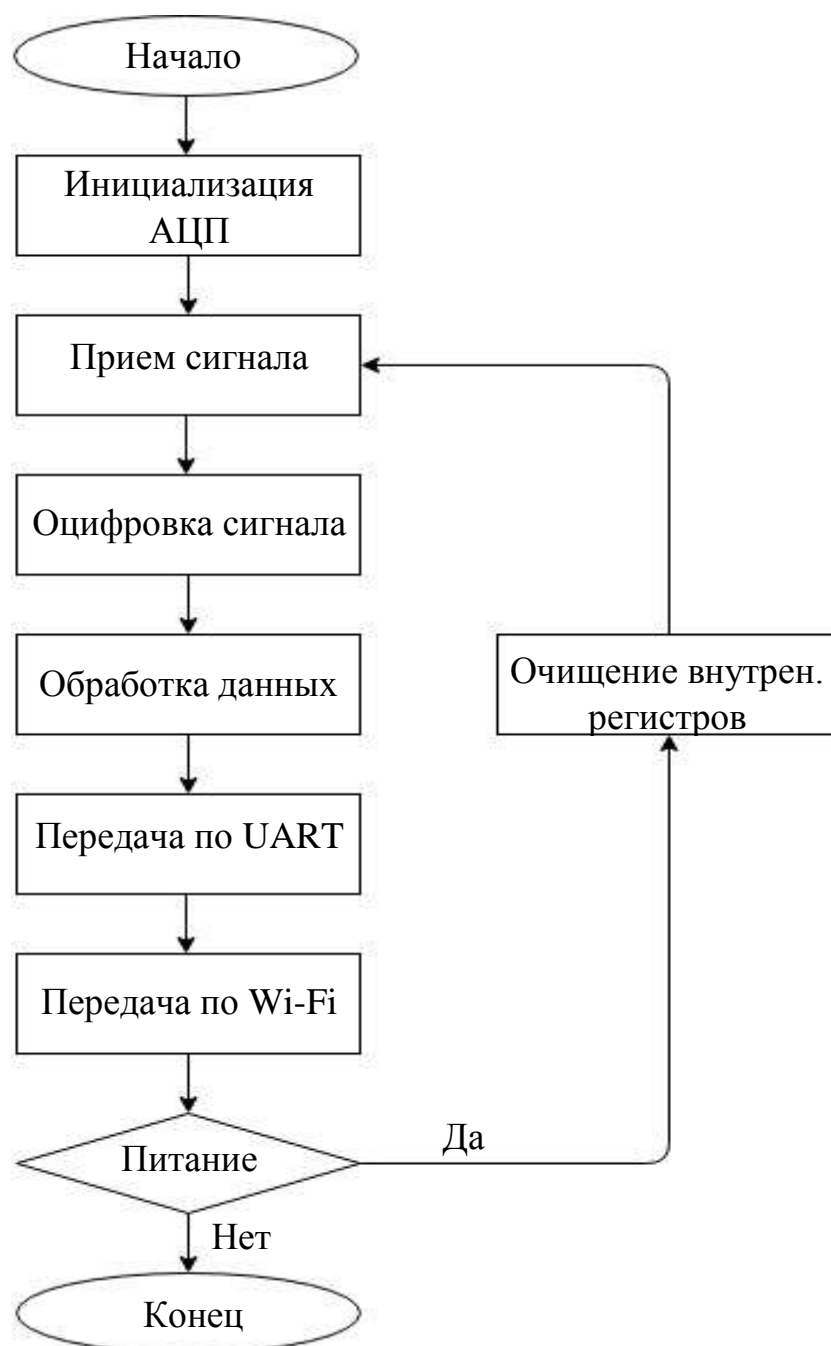


Рисунок 2.6 – Блок-схема алгоритма работы МК при измерениях

Выводы по разделу два:

Была разработана принципиальная электрическая схема. Исходя из выбранного микроконтроллера и приемопередатчика, были выбраны остальные элементы принципиальной электрической схемы, описан алгоритм работы микроконтроллера при измерениях в виде блок-схемы.

3 МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЦИФРОВОГО ДАТЧИКА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ

3.1 Расчет погрешности измерительного канала цифрового датчика перемещения

Измерительный канал нашей информационно-измерительной системы (далее – ИИС) состоит из первичного измерительного преобразователя (далее – ПИП) и АЦП. Измерительный канал представлен на рисунке 3.1.

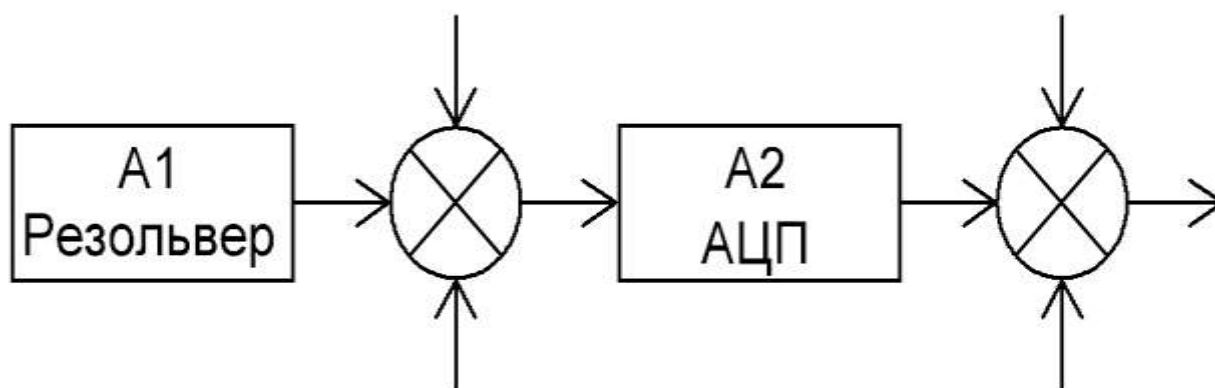


Рисунок 3.1 – Измерительный канал

Произведен расчет погрешности измерительного канала информационно-измерительной системы по метрологическим характеристикам компонентов, в соответствии с требованиями МИ 222-80 [19]. Расчет погрешности произведен в номинальных условиях эксплуатации.

Полная погрешность ИИС представляет собой сумму систематической $|\Delta_C|$ и случайной погрешностей $\delta|\Delta|$:

$$\Delta = |\Delta_C| + \gamma \times \delta|\Delta| \quad (1)$$

Полная систематическая погрешность:

$$\Delta_C = M|\Delta_C| + k \times \delta|\Delta_C|, \quad (2)$$

где $M|\Delta_C|$ – математическое ожидание погрешностей на выходе элементов;

k – коэффициент Стьюдента;

$\delta|\Delta_C|$ – среднеквадратическое отклонение (далее – СКО) систематической составляющей погрешности на выходе цифрового преобразователя угла.

СКО систематической погрешности на выходе цифрового преобразователя будем находить:

$$\sigma|\Delta| = \sqrt{\sigma^2(\Delta_{c_1}) \times (A_2 \times A_3 \dots A_N)^2 + \sigma^2(\Delta_{c_2}) \times (A_3 \dots A_N)^2 + \sigma^2(\Delta_{c_{N-1}}) \times A_N^2 + \sigma^2(\Delta_N)} \quad (3)$$

СКО случайной погрешности на выходе ИИС будем находить:

$$\sigma|\bar{\Delta}| = \sqrt{\sigma^2(\bar{\Delta}_{c_1}) \times (A_2 \times A_3 \dots A_N)^2 + \sigma^2(\bar{\Delta}_{c_2}) \times (A_3 \dots A_N)^2 + \sigma^2(\bar{\Delta}_{c_{N-1}}) \times A_N^2 + \sigma^2(\bar{\Delta}_N)} \quad (4)$$

Рассчитали функции преобразования на каждом элементе:

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

$$A_2 = \frac{3B}{2^{10}} = 0,0029B \times \text{разряд}^{-1}$$

В вольтах:

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

Рассчитаем СКО систематической погрешности:

1) Резольвера.

$$\Delta_{осн1} = \pm 5\% = \pm 0,05B$$

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

$$D_1 = \frac{(x_B - x_H)^2}{10} \quad (5)$$

$$D_1 = \frac{(0,05 + 0,05)^2}{10} = 0,001B$$

Найдем СКО резольвера:

$$\sigma = \sqrt{D} \quad (6)$$

$$\sigma_1 = \sqrt{0,001} = 0,032B$$

2) Аналого-цифрового преобразователя.

$$\Delta_{осн2} = \frac{U_{6x}}{2^{10}} = \frac{3B}{2^{10}} = 0,0029B \times \text{разряд}^{-1}$$

Из (5) найдем дисперсию систематической составляющей погрешности АЦП:

$$D_2 = \frac{(0,0029 + 0,0029)^2}{10} = 0,34 \times 10^{-5} B \times \text{разряд}^{-1}$$

Из (6) найдем СКО систематической составляющей погрешности АЦП:

$$\sigma_2 = \sqrt{0,34 \times 10^{-5}} = 0,0018B \times \text{разряд}^{-1}$$

Рассчитаем СКО систематической составляющей погрешности измерительного канала по (3):

$$\sigma(\Delta) = \sqrt{0,32^2 \times 0,0029^2 + 0,0018^2} = 0,002B$$

Исходя из (3.2) определим полную систематическую погрешность:

$$\Delta_C = 0 + 1,96 \times 0,002 = 0,00392B$$

Рассчитаем СКО случайной погрешности:

1) У ПИП (резольвера) СКО случайной погрешности $\sigma(\bar{\Delta})$ будет равно нулю.

2) Аналого-цифровой преобразователь.

Характеристики АЦП для расчета:

- 10 разрядный, $n = 10$;
- время преобразования отсчета $7 \times 10^{-5} \text{ с}$, $T = 7 \times 10^{-5}$;
- частота преобразования 250 Гц , $F = 250 \text{ Гц}$.

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:

$$\sigma^2(\bar{\Delta}_{\text{АЦП}}) = \frac{1}{12 \times 2^n} + \frac{\sigma_x T_{np}^2}{9} \quad (7)$$

Время преобразования:

$$T_{np} = a \times 2^n \quad (8)$$

Дисперсия производной процесса:

$$\sigma_x = |R_x(\tau)|_{t=0} \quad (9)$$

Вторая производная корреляционной функции $R_x''(\tau)$:

$$a = (\sqrt{1 + \sqrt{2}}) \times 2\pi \times F_{\max} \quad (10)$$

Рассчитаем по (7) приведенное значение дисперсии результирующей случайной погрешности АЦП:

$$\sigma^2(\bar{\Delta}_{\text{АЦП}}) = \frac{1}{12 \times 2^n} + \frac{\left((\sqrt{1 + \sqrt{2}}) \times 2\pi \times 250 \times 7 \times 10^{-5} \right)^2}{9} = 0,00332 \text{ с}^2$$

Найдем среднеквадратическое отклонение случайной составляющей погрешности АЦП:

$$\sigma(\bar{\Delta}_{АЦП}) = \sqrt{0,00332} = 0,057c$$

Рассчитаем среднеквадратическое отклонение случайной составляющей погрешности измерительного канала по (4):

$$\sigma|\bar{\Delta}| = \sqrt{0 \times 0,0029^2 + 0,057^2} = 0,057c$$

Исходя из (1) определим полную погрешность измерительного канала:

$$\Delta = 0,00392 + 1,96 \times 0,057 = 0,1156B$$

В градусах:

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

Рассчитаем СКО систематической составляющей погрешности:

1) Резольвер

$$\Delta_{осн1} = \pm 10' = \pm 0,166^\circ$$

Исходя из (5) и (6) найдем СКО систематической составляющей погрешности резольвера:

$$\sigma_1 = \sqrt{\frac{(0,166 + 0,166)^2}{10}} = 0,105^\circ$$

2) Аналого-цифровой преобразователь

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

Исходя из (5) и (6) найдем СКО систематической составляющей погрешности АЦП:

$$\sigma_2 = \sqrt{\frac{(0,088 + 0,088)^2}{10}} = 0,042^\circ$$

Рассчитаем среднеквадратическое отклонение систематической составляющей погрешности измерительного канала по (3):

$$\sigma(\Delta) = \sqrt{0,105^2 \times 0,088^2 + 0,042^2} = 0,043^\circ$$

Исходя из (2) определим полную систематическую погрешность:

$$\Delta_C = 0 + 1,96 \times 0,043 = 0,084^\circ$$

По (4) рассчитаем среднеквадратическое отклонение случайной составляющей погрешности измерительного канала:

$$\sigma_{|\Delta|} = \sqrt{0 \times 0,088^2 + 0,057^2} = 0,057c$$

Определим полную погрешность измерительного канала исходя из (1):

$$\Delta = 0,082 + 1,96 \times 0,057 = 0,193^\circ$$

3.2 Методика выполнения измерения

Методика выполнения измерения (далее – МВИ) – совокупность операций и правил, выполнение которых обеспечивает получение результатов измерений с известной погрешностью.

МВИ цифрового преобразователя перемещения с первичным сенсором СКВТ типа ЛИР-ДР250А.

МВИ составлена в соответствии с требованиями ГОСТ Р 8.563-2009 [20].

1) Область применения.

Данная методика применяется для измерения угла поворота и линейных перемещений.

2) Требование к погрешности измерений.

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

Полная систематическая погрешность:

$$\Delta_C = 0,00392B$$

$$\Delta_C = 0,084^\circ$$

Среднеквадратическое отклонение случайной составляющей погрешности:

$$\sigma_{|\Delta|} = 0,057c$$

Полная погрешность цифрового преобразователя угла в вольтах и градусах соответственно:

$$\Delta = 0,1156V$$

$$\Delta = 0,193^\circ$$

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

3) Средства измерений, вспомогательные устройства, материалы, растворы.

Цифровой 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.

При выполнении измерений соблюдают следующие рабочие условия эксплуатации:

- температура окружающей среды, С (от 0 до +70);
- относительная влажность при температуре 35 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.

При подготовке необходимо проверить целостность корпуса СИ. Далее необходимо подключить цифровой преобразователь угла к измеряемому объекту. При подключении проверить, чтобы все контакты и разъемы были без загрязнений, это нужно для лучшего контакта СИ с измеряемым объектом.

7) Выполнение измерений.

Подключить цифровой 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 которой количественно характеризует точность результата измерений. Полагая, что распределение вероятностей возможных значений измеряемой величины не противоречит нормальному распределению.

Обработка результатов измерения выполняется в соответствии с требованиями ГОСТ Р 50.2.038-2004 [21].

При вычислениях следует пользоваться правилами округления в соответствии с МИ 1317-2004 [22].

Составляющими погрешности прямых однократных измерений являются:

- основную погрешность средства измерений (СИ): Θ_1 ;
- дополнительная погрешность: Θ_2 .

При наличии двух систематических погрешностей доверительная граница НСП результата измерения рассчитывается по формуле:

$$\Theta(P) = k \sqrt{\sum_{i=1}^n \Theta_i^2}, \quad (11)$$

где k – поправочный коэффициент, зависящий от P , равный 1,1 при $P = 0,95$.

Случайные составляющие погрешности результата измерения выражаются либо СКО S_x , либо доверительными границами. В первом случае доверительная граница случайной составляющей погрешности результата прямого однократного измерения определяется через него СКО:

$$S_{\bar{x}} = \frac{\Theta}{\sqrt{3}}, \quad (12)$$

$$\varepsilon(P) = Z_{P/2} \times S_x, \quad (13)$$

где $Z_{P/2}$ – точка нормированной функции Лапласа, при вероятности РД. При доверительной вероятности РД = 0,95 $Z_{P/2}$ принимают равным 2.

Если СКО определены экспериментально при небольшом числе измерений ($n < 30$), то в данной формуле вместо коэффициента $Z_{P/2}$ следует использовать коэффициент Стьюдента, соответствующий наименьшему числу измерений.

Найденные значения Θ и $\varepsilon(P)$ используются для оценки погрешности результата прямого однократного измерения. Суммарная погрешность результата измерения определяется в зависимости от соотношения Θ и S_x .

Если $\Theta/S_x < 0,8$, то неисключенными систематическими погрешностями следует пренебречь и принять в качестве погрешности результата измерения доверительные границы случайных погрешностей. Если $\Theta/S_x > 0,8$, то случайными погрешностями пренебрегают и принимают в качестве погрешности результата измерения границы неисключенных систематических погрешностей. Если $0,8 \leq \Theta/S_x \leq 0,8$, то доверительная граница погрешности результата измерений вычисляется по формуле: $\Delta p = k[\Theta(p) + \varepsilon(p)]$, где k – коэффициент, значение которого для доверительной вероятности 0,95 равно 0,76.

9) Контроль точности результатов измерений.

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

3.3 Разработка методики поверки

Поверка средств измерений – совокупность операций, выполняемых Государственным метрологическим органом или другими уполномоченными организациями с целью определения и подтверждения соответствия средств измерений установленным техническим требованиям и установление их пригодности к применению.

Разработка методики поверки микроконтроллерного преобразователя перемещения разработана в соответствии с требованиями МИ 1202-86 [23].

По решению федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт) право поверки средств измерений предоставляется только аккредитованным метрологическим службам.

1) Операции поверки.

При проведении поверки цифрового преобразователя угла должны выполняться операции, приведенные в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – 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 смещения вала	6.3	Да	Да
Проверка радиального смещения вала	6.4	Да	Да
Проверка СКО случайной составляющей основной инструментальной погрешности	6.5	Да	Да
Проверка времени задержки запуска	6.6	Да	Да

Продолжение таблицы 3.1

Наименование операции	Номер пункта методических указаний	Обязательность проведения операции при	
		первичной поверке	эксплуатации и хранения
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 [24] или разделу Технического описания и инструкции по эксплуатации (паспорта), регламентирующих методику поверки цифровых измерительных устройств, работу по поверки микроконтроллерного 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 [25], ГОСТ 22261-94 [26] 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 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 преобразователь должен быть выдержан при температуре от +15°C до +25°C не менее трех часов и в нормальных условиях не менее 2 часов, в соответствии с эксплуатационной документацией.

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

б) Проведение поверки.

6.1) Внешний осмотр.

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

Проверить комплектность цифрового 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.

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 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 преобразователь бракуют.

6.5) Проверка СКО случайной составляющей основной инструментальной погрешности.

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

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

$$0,9|X_k| \leq |X_0| \leq |X_k| - (3\sigma_{op} + q_{sf}), \quad (14)$$

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 преобразователя угла при неизменном входном сигнале.~~

~~Вычислить оценку среднеквадратического отклонения случайной составляющей основной инструментальной погрешности σ_{oin} по (15) или (16)~~

~~при $\sigma_{op} > 0,3q_{sf}$:~~

~~$$\tilde{\sigma}_{oin} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (Y_j - \bar{Y})^2}{n-1} + \frac{q_{sf}^2}{12}}, \quad (15)$$~~

~~при $\sigma_{op} = 0,3q_{sf}$:~~

~~$$\tilde{\sigma}_{oin} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (Y_j - \bar{Y})^2}{n-1}}, \quad (16)$$~~

где:

$$\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n Y_j \quad (17)$$

Если подкоренное выражение в (15) получается меньше нуля, принимать $\sigma_{oin} = 0$.

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

Если указанное неравенство не выполняется, то переходят к проверке среднеквадратического отклонения 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 3.2, в зависимости от вспомогательной величины, вычисляемой по (18):

$$a = \frac{\sqrt{\sigma_{вр} + \bar{U}_n^2}}{\sigma_{op}}, \quad (18)$$

где σ_{op} – среднеквадратическое отклонение случайной составляющей погрешности образцового средства измерений SM или SI;

\bar{U}_n – среднеквадратическое отклонение (эффективное) значение пульсаций измеряемой величины, подаваемы на цифровой преобразователь угла.

Таблица 3.2 – 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 $t_{з.н}$ при нормировании пределов Δ_{op} допускаемой погрешности поверяемого ЦИУ, а также при отдельном нормировании систематической и случайной составляющих погрешности в случаях, когда $\sigma_{op} < 0,5q_{sf}$, проводить в соответствии следующей методики.

Собрать схему измерений, как изображено на рисунке 3.2.

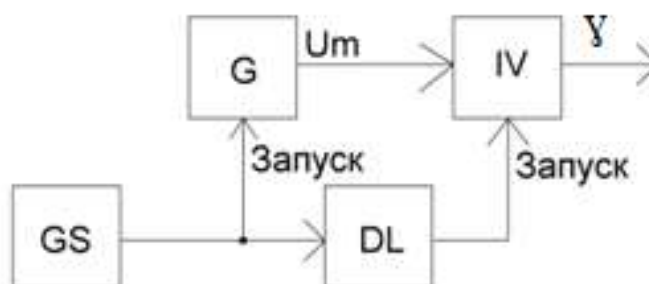


Рисунок 3.2 – Схема измерений для проверки времени задержки запуска АЦП

Проверку времени задержки запуска цифрового 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, соответствующие требованиям нормативно – технической документации на цифровой преобразователь угла. Частоту следования импульсов генератора установить не превышающей максимальную частоту запуска цифрового преобразователя угла.

Установить время задержки линии задержки DL не менее $1,5t_{з.н}$. Регулируя амплитуду импульсов генератора G, установить такое ее значение U_{m1} , при котором в группе из десяти следующих друг за другом циклов измерений

цифрового 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 значения U_{m2} , при котором выполняется условие, описанное в предыдущем пункте.

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

6.7) Опробование.

Проверяемый цифровой 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 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 преобразователь угла забраковать.

Проверить цифровой 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 на каждом диапазоне измерений.

$$\begin{aligned}
X_1 &= (0,05 - 0,1)X_k \\
X_2 &= (0,2 - 0,3)X_k \\
X_3 &= (0,4 - 0,6)X_k \\
X_4 &= (0,7 - 0,8)X_k \\
X_5 &= (0,9 - 1,0)X_k
\end{aligned}
\tag{19}$$

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 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:

$$\begin{aligned}
|X_{1i}| &= |Y_i| - 0,5q_{sf} - \gamma\Delta_{ospi} \\
|X_{2i}| &= |Y_i| - 0,5q_{sf} + \gamma\Delta_{ospi}
\end{aligned}
\tag{20}$$

где Y_i – показание цифрового 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 допускаемых значений, и поверяемый цифровой 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 3.3 в зависимости от значений (21):

$$a = \frac{d}{\Delta_{osp}}, \quad (21)$$

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 (22):

$$b = \frac{\sqrt{\sigma_{op}^2 + \sigma_{ep}^2}}{q_{sf}}, \quad (22)$$

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

q_{sf} – номинальное значение ступени квантования проверяемого диапазона измерений; отношения Δ_{osp}/q_{sf} предела допускаемой систематической составляющей основной погрешности поверяемого прибора к номинальному значению его ступени квантования на проверяемом диапазоне измерений.

Таблица 3.3 – Таблица выбора n и γ

Δ_{osp}/q_{sf}	а	$b \leq 0,3$		$0,3 < b \leq 0,5$		$0,5 < b \leq 1$	
		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 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 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 преобразователя угла, то отношение пределов допускаемых погрешностей образцового средства измерений и поверяемого прибора, число отсчетов n , относительный контрольный допуск γ выбирают по таблице 3.4 и 3.5.

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 3.3. Если будет обнаружено, что при каком-либо значении измеряемой величины в младшем значащем разряде отсчетного устройства могут появляться показания, 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 (23):

$$\begin{aligned} |X_{1i}| &= |Y_i| - \gamma \Delta_{ospi} \\ |X_{2i}| &= |Y_i| + \gamma \Delta_{ospi} \end{aligned} \quad (23)$$

где Y_i – показание цифрового 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 преобразователя угла. Подсчитать число m появления показаний, удовлетворяющих неравенству $|Y_{1j}| \geq |Y_i|$. Если число m получится не равным нулю, то прибор забраковать.

Иначе, установить значение $X = X_{2i}$. При каждом значении $X = X_{2i}$ наблюдать n показаний $T_{2ij} (j=1, \dots, n)$ цифрового преобразователя угла. Подсчитать число m появления показаний, удовлетворяющих неравенству $|T_{2ij}| \geq |T_i|$. 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 3.4 и 3.5 в зависимости от результата проверки пределов

Δ_{op} допускаемой основной погрешности цифрового преобразователя угла и значения вспомогательной величины a , рассчитываемой по (24):

$$a = \frac{\Delta_{eop}}{\Delta_{op}}, \quad (24)$$

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

Таблица 3.4 – Таблица выбора n и γ

Δ_{osp} / q_{sf}	2		3		4		5 и более	
a	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 3.5 – Таблица выбора n и γ

Δ_{osp} / q_{sf}	2		3		4		5 и более	
a	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 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 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 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 $\{(\delta_M)_{ba}\}$.

Допустимые значения:

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

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

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 (25):

$$P_{bам} < \{P_{bам}\}_p \text{ и } \{(\delta_M)_{ба}\} < \{(\delta_M)_{ба}\}_p, \quad (25)$$

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 Δ_{oy} , который определяется по (26):

$$|\Delta_{oy}| = \gamma |\Delta_{op}|, \quad (26)$$

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 .

Таблица 3.6 – Значения γ и $(\delta_M)_{ба}$

a_p	Значения γ и $(\delta_M)_{ба}$ при $P_{bам}$, 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	1,9	1,9	1,9	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 3.7.

Таблица 3.7 – Значение γ и $(P_{gr})_{mg}$

a_p	Значения γ и $(P_{gr})_{mg}$ при P_{bam} , 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

Для заданных значений $\{(\delta_M)_{ba}\}_p = 1,15$ и $\{P_{bam}\}_p = 0,45$ по таблице 3.6, согласно МИ 188-86 [27], проведем границу области, внутри которой лежат значения γ и a_p , обеспечивающие выполнение требований $P_{bam} \leq \{P_{bam}\}_p$ и $\{(\delta_M)_{ba}\} \leq \{(\delta_M)_{ba}\}_p$.

Двигаясь по границе области, установим значения γ , a_p , $(P_{gr})_{mg}$ (таблица 3.8), при которых выполняется требование.

Таблица 3.8 – 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 преобразователя угла составляет 4,7% (т.к. $(P_{gr})_{mg} = 0,047$);

– контрольный допуск составляет 0,80 допускаемой погрешности поверяемого цифрового преобразователя угла, т.е $\Delta_{oy} = 0,80\Delta_{op}$.

Выводы по разделу три:

Рассчитана погрешность беспроводного цифрового датчика перемещения, составлена методика выполнения измерения, составлена методика поверки, рассчитаны средняя вероятность ошибочного признания дефектным годного беспроводного цифрового датчика перемещения угла и контрольный допуск погрешности.

4 ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

4.1 Расчет себестоимости

Расчет сущности себестоимости сводится к тому, что прямые затраты на единицу продукции определяются путем нормативного расчета себестоимости проектируемого устройства по статьям калькуляции. По существующей классификации затрат принят следующий состав калькуляции:

- сырье и материалы;
- контрагентские расходы;
- заработная плата;
- покупные комплектующие изделия;
- отчисления на социальные нужды с заработной платы.

Пункт «Сырье и материалы» включает в себя затраты на основные материалы, расходуемые, в нашем случае, на соединение модулей и печать необходимой документации. Затраты на сырье приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Затраты на сырье, материалы и электроэнергию

Наименование	Единица измерения	Цена за единицу, руб.	Количество	Стоимость, руб.
Бумага для принтера, А4	шт	0,52	100	52,0
Картридж для принтера	шт	820	1	820,0
Электроэнергия	кВ×ч	2,68	480	1 286,4
			Итого:	2 158,4

К контрагентским расходам относится стоимость работ, выполненных сторонними организациями и предприятиями по заказу организации, проектируемой устройством. В нашем случае такими расходами являются только использование Интернета.

Таблица 4.2 – Контрагентские расходы

Наименование работы	Единицы измерения	Цена за единицу, руб.	Кол-во	Стоимость, руб.
Использование интернета	месяц	750	1	750
			Итого:	750

Покупные комплектующие изделия включает в себя затраты на приобретенные готовые изделия. Затраты по данной статье представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Стоимость комплектующих изделий

Наименование	Цена за единицу, руб.	Кол – во, шт.	Стоимость, руб.
Резольвер ЛИР-ДР250А	4 500,00	1	4 500,00
Микроконтроллер 1887BE4У	715,00	1	715,00
Wi-Fi модуль ESP8266 ESP-01	418	1	418,00
Конденсаторы: К10 – 17А Н50	30,00	7	210,00
Конденсаторы: К10 – 17Б	15,00	2	30,00
Конденсаторы: К73 – 17Б	15,00	1	15,00
Конденсаторы: К73 – 17С	42,00	2	84,00
Резисторы: МЛТ – 0,125 12 кОм	0,33	2	0,66
Резисторы: МЛТ – 0,25 10 кОм	8,00	10	80,00
Резисторы: 0,062 Вт 0402, 150 кОм	0,90	1	0,90
Итого:			6 053,56

Величина расходов по заработной плате определяется, исходя из действующей системы окладов, тарифных ставок и доплаты по поясному коэффициенту. В нашем случае оплата производится на контрактной основе, поэтому в расчетах отсутствуют поясной коэффициент и премия. Расчет заработной платы представлен в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Расчет заработной платы

Исполнитель	Стоимость одного часа, руб.	Количество часов	Заработная плата, руб.
Инженер	305,0	1	305,0
Консультант	200,0	1	200,0
Итого:			505,0

При расчете себестоимости также учитываются плановые отчисления на социальные нужды и в бюджет, которые представлены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Отчисления от заработной платы

Отчисления	% от заработной платы	Сумма, руб.
Отчисления в ПФР	22	111,1
Отчисления в ФСС	2,9	14,6
Отчисления в ФФОМС	5,1	25,8
Итого:	30	151,5

Расходы по всем пунктам и общая себестоимость разработки представлены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Калькуляция плановой себестоимости

Затраты	Сумма, руб.
Сырье и материалы	2 158,40
Контрагентские расходы	750,00
Покупные комплектующие изделия	6 053,56
Заработная плата	505,00
Отчисления с заработной платы	151,50
Итого:	9 618,46

4.2 Экономическое обоснование работы

Для расчета экономического эффекта проекта сравним стоимость датчиков на основе заводского исполнения и на основе разрабатываемой системы.

Таблица 4.7 – Стоимость проектируемого цифрового преобразователя угла с отечественными элементами

Затраты	Сумма, руб.
Сырье и материалы	2 158,40
Контрагентские расходы	750,00
Покупные комплектующие изделия	6 053,56
Заработная плата	505,00
Отчисления с заработной платы	151,50
Итого:	9 618,46

Таблица 4.8 – Стоимость датчиков на основе заводского исполнения

Наименование	Цена за единицу, руб.	Кол-во, шт.	Стоимость, руб.
Датчик угловых перемещений E80H30-360-3-V-24	11 670,0	1	11 670,0
Итого:			11 670,0

Выводы по разделу четыре:

Из сравнения полученных результатов видно, что экономический эффект составляет почти 2 051,54 рубля, что на 17,6 % меньше, чем готовые решения, при этом наша разработка нисколько не потеряла в точности. Исходя из этого, разрабатываемое устройство является экономически более выгодным по сравнению с готовым исполнением.

5 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.

5.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.

Все воздействующие на человека опасные и вредные производственные факторы (разбиты на группы в соответствии с классификацией, приведенной в ГОСТ 12.0.003-2015 [28]), подразделяются по природе действия на следующие группы:

- физические;
- химико-биологические;
- психофизиологические.

5.1.1 Физические

Этот прибор не вызывает вредных помех. Информация передается по беспроводной сети Wi-Fi, которая соответствует стандарту СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03 «Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических объектов» [29]. При работе с электроприбором может проявиться ряд опасных и вредных факторов. Электрические факторы, обусловленные:

- повышенным уровнем электромагнитных излучений;
- повышенным уровнем статического электричества;
- повышенной напряженностью электрического поля;
- повышенной напряженностью магнитного поля.

Электрические факторы появляются из-за электрических сетей, электроприборов, оборудования с электроприводом и т. п. Данные факторы могут повлечь за собой:

- механические травмы;
- психические травмы;

Для предотвращения возникновения перечисленных опасностей необходимо соблюдать меры безопасности при работе с электроприбором. Этот прибор следует устанавливать таким образом, чтобы минимальное расстояние от антенны до персонала составляло 20 см.

В процессе работы датчика нет физического влияния на окружающую среду и параметры рабочей зоны.

5.1.2 Химико-биологические

Не содержит токсических опасных веществ в составе, не вызывает раздражающего действия, материалы из которых изготовлены компоненты

датчика не вызывают воздействия на органы дыхания, кожу и слизистые оболочки глаз. Не содержит вещества:

- раздражающие токсических опасных веществ, которые действуют на поверхность тканей дыхательного тракта, слизистых оболочек, кожу, глаза;
- удушающие газы, разбавляющие содержание кислорода в воздухе;
- соматические яды, которые вызывают нарушение деятельности всего организма или отдельных его систем;
- оказывающие наркотическое действие.

Соблюдайте меры предосторожности при обращении с модулем питания. Корпус модуля питания может быть поврежден при падении с высоты более 6 метров. Как и для любой батареи следует соблюдать местные правила и нормы по защите окружающей среды при обращении с использованными батареями. Если специальных требований не существует, утилизация отходов выполняется специальными перерабатывающими установками. Проконсультируйтесь в листе технических данных по безопасности материалов.

5.1.3 Психофизические

Психофизиологические опасные и вредные производственные факторы по характеру действия подразделяются на следующие:

- 1) физические перегрузки:
 - статические;
 - динамические.
- 2) нервно-психические перегрузки.

Так как датчик автоматизирован, то контакта между устройством и человеком не предполагается. Человек изолирован от взаимодействия с датчиком. Психофизиологические факторы (такие как продолжительная работа с датчиком, работа в неудобном положении) обусловленные статическими физическими перегрузками отсутствуют. Прибор не имеет вредного воздействия

психофизиологических факторов (таких как: умственное перенапряжение, перенапряжение анализаторов, монотонность труда, эмоциональные перегрузки), обусловленные нервно-психическими перегрузками.

5.2 Соответствие проектируемого прибора требованиям безопасности

Электробезопасность – система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества (ГОСТ Р 12.1.009-2009. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Термины и определения) [30].

Источником опасности при монтаже и эксплуатации датчика являются электрический ток. По способу защиты человека от поражения электрическим током датчик относится к классу 01 по ГОСТ 12.2.007.0-75 [31].

Для обеспечения защиты от случайного прикосновения к токоведущим частям необходимо применять следующие способы и средства:

- защитные оболочки;
- безопасное расположение токоведущих частей;
- изоляция токоведущих частей;

Выводы по разделу пять:

В данном разделе была рассмотрена проблема безопасности жизнедеятельности, связанная с работой цифрового беспроводного датчика перемещения. Произведена классификация опасных и вредных производственных факторов. В связи с этим, были изучены различные нормы, сертификаты и правила, определялись пути решения проблем, для сокращения пагубного влияния на человека и обеспечения безопасных условий труда.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью данной выпускной квалификационной работы являлась разработка беспроводного цифрового датчика перемещения с использованием отечественной элементной базы.

В ходе работы был произведен аналитический обзор, в котором были рассмотрены следующие вопросы: понятие мехатронной системы, первичные преобразователи перемещения, выходные беспроводные интерфейсы цифровых датчиков, методы АЦП преобразования и их реализация, перспективные разработки в области проектирования цифровых устройств.

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы разработаны функциональная, структурная и принципиальная схемы беспроводного цифрового преобразователя угла на основе резольвера. Осуществлен выбор его аппаратного обеспечения. Разработано метрологическое обеспечение устройства, включающее в себя – расчет погрешности устройства по МИ 222-80, методику выполнения измерения по ГОСТ Р 8.563-2009, разработку методики поверки, в соответствии с требованиями МИ 1202-86. Описан алгоритм работы микроконтроллера при измерениях в виде блок-схемы. Представлено экономическое обоснование и соответствие стандартам безопасности проектируемого устройства.

За счет внедрения новейших аппаратных составляющих, разработанный беспроводной цифровой датчик перемещения стал обладать рядом достоинств:

- высокая точность и быстродействие;
- низкое энергопотребление;
- работы по беспроводной сети.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Балковой, А.П. Прецизионный электропривод с вентильными двигателями / А.П. Балковой, В. К. Цаценкин. – М.: ИД МЭИ, 2011. – 328 с.
- 2 Образовательная, научная и прикладная составляющие мехатроники. Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника» / Ю.С. Смирнов, Е.В. Юрасова, Д.А. Кацай, И.С. Никитин – Изд. центр ЮУрГУ, 2014. – 89 с.
- 3 Пупков, К.А. Интеллектуальные системы / К.А. Пупков, В.Г. Коньков – М.: Изд. МГТУ им Н. Э. Баумана, 2003. – 348 с.
- 4 Готлиб, Б.М. Введение в мехатронику: учебное пособие / Б.М. Готлиб. – Екатеринбург: Изд. Уральского государственного университета путей сообщения, 2007. – 782 с.
- 5 Домрачев, В. Г. Схемотехника цифровых преобразователей перемещений / В.Г. Домрачев, В.Р. Матвеевский, Ю.С. Смирнов. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 392 с.
- 6 ОАО «СКБ ИС» Абсолютные датчики углового положения. – <http://www.skbis.ru/index.php?p=16>. [Дата обращения 26.01.2018.]
- 7 Raveau, B. Colossal Magnetoresistance Charge Ordering and Related Properties of Manganese Oxides / B. Raveau. – World Scientific Publishing Co, 1998. – 356 p.
- 8 Домрачев, В.Г. Цифроаналоговые системы позиционирования / В.Г. Домрачев, Ю.С. Смирнов, – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 240 с.
- 9 Крауиныш, Д.П. Автоматизированный привод. Датчики автоматизированных электроприводов / Д.П. Крауиныш – http://arm.tpu.ru/docs/УМО/krauinjsh_dp/aep/lk_6_aep.pdf. [Дата обращения 02.02.2018.]
- 10 Кунегина, С.В. Развитие технологии беспроводных сетей: стандарт IEEE 802.11 / С.В. Кунегина. – М., 2008. – 24с.

- 11 Олифер, В.Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. Учебник для вузов / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. – СПб.: Питер, 2010. – 944 с.
- 12 Gutierrez, J.A. Low-rate wireless personal area networks: enabling wireless sensors with IEEE 802.15.4 / J.A. Gutierrez, E.H. Callaway, R.L. Barrett. – IEEE Standards Association, 2004. – 155 p.
- 13 Сингал, Т.Л. Вопросы совместимости гетерогенных беспроводных сетей / Т.Л. Сингал. – М.: International Journal of Computing and Business Research (IJCBR), 2013. – 6 с.
- 14 Вольфганг, Р.А. Компоненты и технологии / Р.А. Вольфганг // WBC GmbH. – 2005. – №3. – 16 с.
- 15 Гауф, А. Магнитные датчики угла поворота (энкодеры) EcoTurn. / А. Гауф, А. Гусева // Компоненты и технологии. – 2012. – №1. – 6 с.
- 16 Романова, И. Магнитные датчики компании NXP, Honeywell, Murata на российском рынке. / И. Романова // Электроника НТБ. – 2012. – Вып. 5. – 5 с.
- 17 ГОСТ 24855-81. Издания. Преобразователи измерительные тока, напряжения, мощности, частоты, сопротивления аналоговые. Общие технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 30 с.
- 18 ГОСТ 26.011-80. Издания. Средства измерений и автоматизации. Сигналы тока и напряжения электрические непрерывные входные и выходные. – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 6 с.
- 19 МИ 222-80. Издания. Методика расчета метрологических характеристик измерительных каналов информационно-измерительных систем по метрологическим характеристикам компонентов. – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 24 с.
- 20 ГОСТ Р 8.563-2009. Издания. Государственная система обеспечения единства измерений. Методики (методы) измерений. – М.: Изд-во стандартов, 2009. – 13 с.

21 ГОСТ Р 50.2.038-2004. Издания. ГСИ. Измерения прямые однократные. Оценивание погрешностей и неопределенности результата измерений. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 7 с.

22 МИ 1317-2004. Издания. Государственная система обеспечения единства измерений. Результаты и характеристики погрешности измерений. Формы представления. Способы использования при испытаниях образцов продукции и контроле их параметров образцов продукции и контроле их параметров. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 43 с.

23 МИ 1202-86. Издания. Методические указания. Государственная система обеспечения единства измерений. Приборы и преобразователи измерительные напряжения, тока, сопротивления цифровые. Общие требования к методике поверки. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 49 с.

24 РМГ 51-2002. Издания. ГСИ. Документы на методики поверки средств измерений. Основные положения. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 9 с.

25 ГОСТ 12.2.007.0-75. Издания. Система стандартов безопасности труда. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности. – М.: Изд-во стандартов, 1975. – 14 с.

26 ГОСТ 22261-94. Издания. Средства измерений электрических и магнитных величин. Общие технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1994. – 30 с.

27 МИ 188-86. Издания. ГСИ. Средства измерений. Установление значений параметров методик поверки. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 25 с.

28 ГОСТ 12.0.003-2015. Издания. Система стандартов по безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – М.: Изд-во стандартов, 2015. – 9 с.

29 СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03. Издания. Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических объектов. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 21 с.

30 ГОСТ Р 12.1.009-2009. Издания. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 2009. – 10 с.

31 Буйлушкина, Л.Н. Методические рекомендации по подготовке и оформлению выпускной квалификационной работы (проекта) для технических направлений подготовки 09.03.01 Информатика и вычислительная техника, 09.03.04 Программная инженерия, 12.03.01 Приборостроение, 23.03.01 Технология транспортных процессов / Л.Н. Буйлушкина. – Нижневартовск, 2017. – 35с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А. ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА БЕСПРОВОДНОГО ЦИФРОВОГО ДАТЧИКА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ

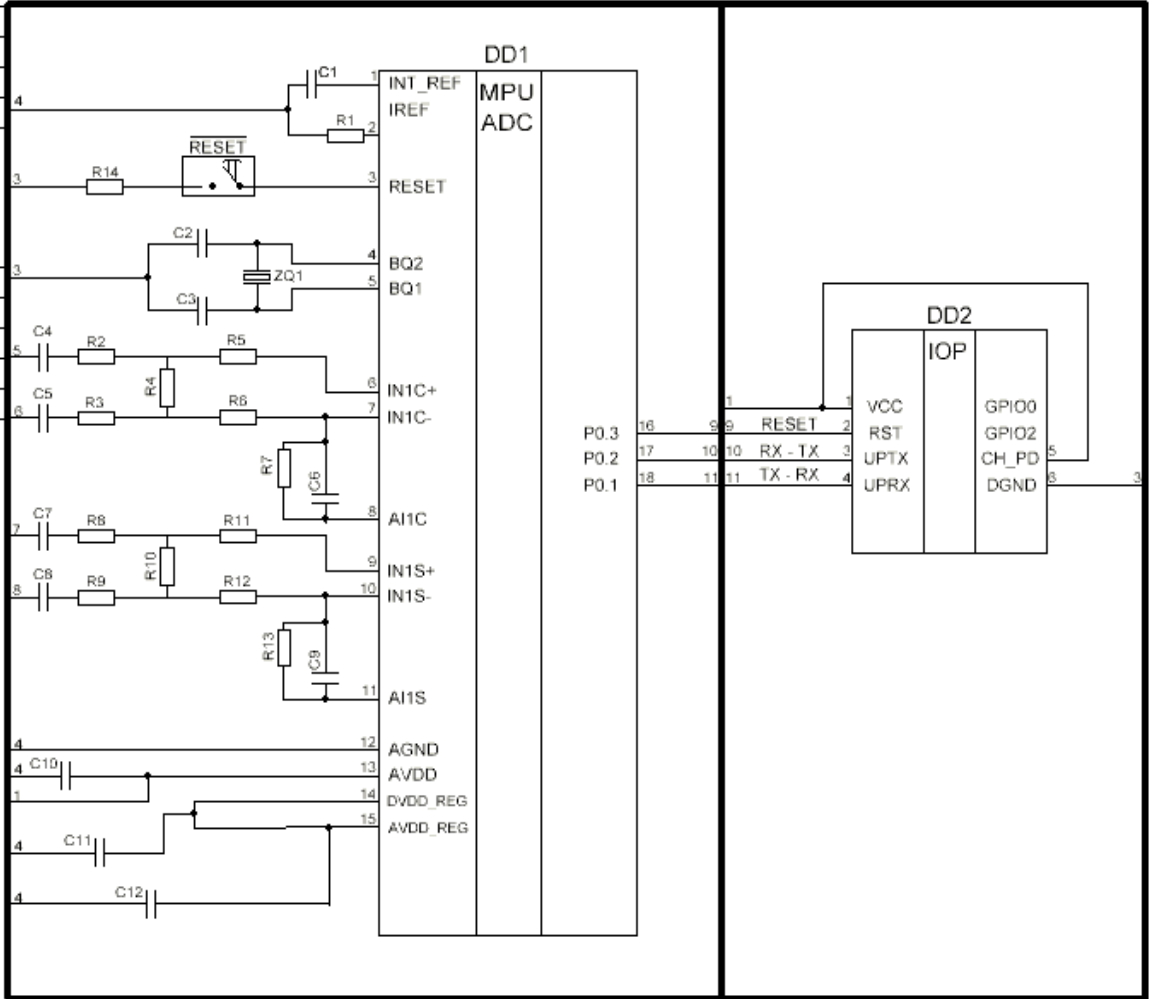
Принципиальная электрическая схема беспроводного цифрового датчика перемещения представлена на рисунке А1.

XP1

Цепь	Контакт
+3.3В	1
DGND	3
AGND	4

XP2

Цепь	Контакт
Ucos1+	5
Ucos1-	6
Usin1+	7
Usin1-	8



1 2 0 2 0 1 2 0 1 8 1 5 1 П 2

Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата
Разработал	Шевцов В. Л.			
Проверил	Майфат К. Г.			
Н. контр.	Быллинкина Л.			
Утвердил	Ялаев А. В.			

Беспроводной цифровой датчик перемещения

Лит.	Лист	Листов
Р К Д	98	101
Филиал ФГАОУ ВО «ЮрГУ (НИУ)»		

Перв. примен.	Поз. обозн.	Наименование			Кол.	Примечание
		<i>Кварцевые резонаторы</i>				
Справ. №	ZQ1	LFXTAL002996 32,768 кГц			1	
		<i>Микросхемы</i>				
	DD1	1887BE4У			1	Микроконтроллер
	DD2	ESP8266 ESP-01			1	Модуль Wi-Fi
		<i>Конденсаторы</i>				
	C1	K73-17Б 0,47 мкФ			1	
	C2, C3	K10-17Б 12 пФ			2	
	C4-C9,	K10-17А Н50 0,1 мкФ, 10%			7	
Подпись и дата	C11, C12	K73-17С 0,47 мкФ			2	
		<i>Резисторы</i>				
	R1	0,062 Вт 0402 150 кОм, 1%			1	
	R7, R13	МЛТ-0,125 12 кОм, 5%			2	
	R2-R6	МЛТ-0,25 10 кОм, 5%			5	
	R8-R12	МЛТ-0,25 10 кОм, 5%			5	
		<i>Вилки</i>				
	XP1	CR2032			1	
XP2	Гнездо резольвера			1		
Изм. инв. №	Инв. №					
Взам. инв. №	Инв. №	дубл.				
Подпись и дата	№					
Подпись и дата	Изм.	Лист	№ локвм	Подпис	Дата	17 02 01 2018 151 П2
Инв. №	подл.	Разработал	Шевцов В. Л.			Беспроводной цифровой датчик перемещения Лит. Лист Листов r k p 99 101 Филиал ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)»
		Проверил	Майфат К. Г.			
		Н. контр	Буйлушкина Л.			
		Утвердил	Ялаев А. В.			

ПРИЛОЖЕНИЕ Б. ЛИСТИНГ ФАЙЛА SERVER1.LUA

```
serverport = 80
server=net.createServer(net.TCP)
server:listen(serverport,
function(connection)
connection:send("HTTP/1.1 200 OK\nContent-Type: text / html
\nRefresh: 10\n\n" ..

"



" ..
"<html><body>" ..
"<b>Server </b></br>" ..
" ChipID : " .. node.chipid() .. "<br>" ..
" MAC : " .. wifi.sta.getmac() .. "<br>" ..
" Heap : " .. node.heap() .. "<br>" ..
" Timer Ticks : " .. tmr.now() .. "<br>" ..
"</html></body>")
connection:on("sent",function(connection) connection:close()
end)
end
)
```

ПРИЛОЖЕНИЕ В. КОМПАКТ-ДИСК

Содержание:

1. Пояснительная записка
2. Презентация