

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

---

Институт неразрушающего контроля  
Направление подготовки – 11.03.04 Электроника и микроэлектроника  
Кафедра промышленной и медицинской электроники

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Ультразвуковой радар</b>

УДК 681.128.001.6

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1A21	Ладыгина Ольга Олеговна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Солдатов А.А.	Кандидат физико – математических наук		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедрой	Чистякова Н.О.	Кандидат экономических наук		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева И.Л.			

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ПМЭ	Губарев Ф. А.	Кандидат физико – математических наук		

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
	<b><i>Профессиональные компетенции</i></b>
P1	Применять современные базовые и специальные естественнонаучные, математические и инженерные знания для разработки, производства, отладки, настройки и аттестации средств приборостроения с использованием существующих и новых технологий, и учитывать в своей деятельности экономические, экологические аспекты и вопросы энергосбережения
P2	Участвовать в технологической подготовке производства, подбирать и внедрять необходимые средства приборостроения в производство, предварительно оценив экономическую эффективность техпроцессов; принимать организационно-управленческие решения на основе экономического анализа
P3	Эксплуатировать и обслуживать современные средства измерения и контроля на производстве, обеспечивать поверку приборов и прочее метрологическое сопровождение всех процессов производства и эксплуатации средств измерения и контроля; осуществлять технический контроль производства, включая внедрение систем менеджмента качества
P4	Использовать творческий подход для разработки новых оригинальных идей проектирования и производства при решении конкретных задач приборостроительного производства, с использованием передовых технологий; критически оценивать полученные теоретические и экспериментальные данные и делать выводы; использовать основы изобретательства, правовые основы в области интеллектуальной собственности
P5	Планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования по своему профилю с использованием новейших достижений науки и техники, передового отечественного и зарубежного опыта в области знаний, соответствующей выполняемой работе
P6	Использовать базовые знания в области проектного менеджмента и практики ведения бизнеса, в том числе менеджмента рисков и изменений, для ведения комплексной инженерной деятельности; уметь делать экономическую оценку разрабатываемым приборам, консультировать по вопросам проектирования конкурентоспособной продукции
	<b><i>Универсальные компетенции</i></b>
P7	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности
P8	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, а также руководить командой, демонстрировать ответственность за результаты работы
P9	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инженерной деятельности
P10	Ориентироваться в вопросах безопасности и здравоохранения, юридических и исторических аспектах, а так же различных влияниях инженерных решений на социальную и окружающую среду
P11	Следовать кодексу профессиональной этики, ответственности и нормам инженерной деятельности

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

Институт неразрушающего контроля  
Направление подготовки – 11.03.04 Электроника и микроэлектроника  
Кафедра промышленной и медицинской электроники

УТВЕРЖДАЮ:  
Зав. кафедрой Губарев Ф.А.

\_\_\_\_\_  
(Подпись)      (Дата)      (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы
---------------------

Студенту:

Группа	ФИО
1А21	Ладыгиной Ольге Олеговне

Тема работы:

Ультразвуковой радар	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 2784/с от 11.04.2016 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p style="text-align: center;">Источник питания: +15В, 0.5А</p>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b> <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Провести аналитический обзор по литературным источникам на по темам:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Виды дальномеров</li><li>• Источники ультразвуковых колебаний</li></ul> <p>Спроектировать ультразвуковой дальномер, рассчитать принципиальные схемы приемника и излучателя ультразвуковых волн, разработка кода для микроконтроллера</p>

<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Структурная схема ультразвукового радара</li> <li>• Принципиальная схема приемника ультразвукового сигнала</li> <li>• Принципиальная схема излучателя ультразвуковых волн</li> <li>• Алгоритм работы микроконтроллера</li> </ul>
---	---

<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и реурсосбережение	Чистякова Наталья Олеговна
Социальная ответственность	Мезенцева Ирина Леонидовна

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

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Солдатов А. А.	Кандидат физико – математических наук		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1A21	Ладыгина Ольга Олеговна		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 79 с., 18 рис., 22 табл., 19 источников, 3 прил.

Ключевые слова: ультразвук, ультразвуковой радар, навигация роботов, излучатель ультразвуковых сигналов, приемник ультразвуковых сигналов.

Объектами исследования являются

Цель работы – разработка устройства, способного определять местоположение препятствий, относительно данного устройства

В результате исследования был разработан макет ультразвукового радара. Экспериментально была подтверждена работоспособность разработанного макета.

Степень внедрения: ??

Область применения: данное устройство может применяться в робототехнике, для навигации роботов, поиска преград и пути их обхождения.

## **Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки**

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. ГН 2.2.5.1313-03 «Предельно допустимые концентрации вредных веществ в рабочей зоне»
2. ГОСТ 12.2.003-91 «Оборудование производственное. Общие требования безопасности»
3. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий»
4. ГОСТ 12.1.030-81 «Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление»
5. СанПиН 2.2.2/2.4.2620-10 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы. Изменение N 2 к СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03»
6. ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность»

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

Генератор - схема, которые производят периодические колебания различных форм, например, прямоугольные, треугольные, пилообразные и синусоидальные.

### **«Обозначения и сокращения»:**

ОС – обратная связь

УЗ – ультразвуковой

У – усилитель

ОУ – операционный усилитель

ВИП – вспомогательный источник питания.

ИК- инфракрасный

МК- микроконтроллер

## **Оглавление**

Введение

Глава 1. Обзор литературы

1.1 Методы измерения расстояния

1.1.1 Лазерные дальномеры

1.1.2 Инфракрасные дальномеры

1.1.3 Ультразвуковые дальномеры

1.2 Источники ультразвуковых колебаний

Глава 2. Разработка структурной и принципиальной схем

2.1. Принцип работы ультразвукового радара

2.2. Выбор и обоснование структурной схемы

2.3. Выбор и обоснование принципиальной схемы

2.3.1. Схема приемника ультразвукового сигнала

Глава 3. Разработка алгоритма работы микроконтроллера

Глава 4. Финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение.

4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

4.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования.

4.1.2. Анализ конкурентных технических решений

4.1.3. SWOT – анализ

4.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации.

## 4.2.Инициация проекта

### 4.2.1. Цели и результат проекта

### 4.2.2. Цели и результат проекта

## 4.3. Планирование управления научно-техническим проектом

### 4.3.1. План проекта

### 4.3.2.Бюджет НИ

#### 4.3.2.1. Сырье, материалы, покупные изделия

#### 4.3.2.2. Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

#### 4.3.2.3. Основная заработная плата

#### 4.3.2.4. Дополнительная заработная плата персонала

#### 4.3.2.5. Отчисления на социальные нужды

#### 4.3.2.6. Научные и производственные командировки

### 4.3.3. Реестр рисков проекта

## 4.4. Оценка сравнительной эффективности исследования

## Глава 5. Социальная ответственность

### 5.1 Профессиональная социальная ответственность

#### 5.1.1 Повышенная запыленность и загазованность воздуха

#### 5.1.2 Электробезопасность

#### 5.1.3 Повышенный уровень электромагнитных излучений

#### 5.1.4 Недостаточная освещенность рабочей зоны

#### 5.1.5 Умственное перенапряжение. Статические перегрузки

#### 5.1.6 Движущиеся машины и механизмы производственного оборудования

#### 5.1.7 Повышенный уровень ультразвука



5.2 Экологическая безопасность

5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

5.4.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

5.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Заключение

Список публикаций

Перечень использованных источников

## **Введение**

В жизни человека роботы появились всего лишь пол века назад, но уже прошли путь от простейших механизмов до сложноустроенных автоматов, во многом опережая по своим возможностям человека. В ближайшее время всё более совершенные роботы станут незаменимыми для людей и смогут взять на себя обеспечение большей части потребностей цивилизации.

Мобильные роботы – это класс роботов, способных самостоятельно перемещаться. Такие роботы могут выполнять мониторинг труднодоступных или опасных для человека мест, таких как шахты или радиоактивные саркофаги. Также мобильные роботы используются для погрузочно-разгрузочных работ на складах, в сфере обеспечения безопасности, сфере обслуживания. Для мобильных роботов есть место и в сфере бытовых приборов, таких, например, как роботы-пылесосы.

В реальных ситуациях такие роботы сталкиваются с препятствиями, которые расположены произвольным образом и с перемещающимися объектами. В процессе своего движения мобильный робот должен иметь информацию обо всех объектах вблизи, чтобы в случае необходимости иметь возможность отреагировать на них.

Сбор, обработка и систематизация информации об объектах, находящихся в рабочем пространстве робота, называется составлением локальной карты окружающего пространства. Локальная карта требуется роботу для дальнейшего планирования маршрута своих перемещений.

Для составления локальной карты и дальнейших маневров роботу требуется знать расстояние до преграды, а также направление по которому она располагается.

## 1. Обзор литературы

Основными данными, которые требуются роботу, для составления локальной карты являются расстояние до объекта и направление, по которому он расположен, относительно текущего положения робота. Рассмотрим основные бесконтактные методы измерения расстояния.

### 1.1 Методы измерения расстояния

Устройства, осуществляющие бесконтактные метод измерения можно разделить на три группы:

#### 1.1.1. Лазерные

С помощью лазеров можно измерить расстояние двумя способами. Первый способ заключается в измерении времени за которое свет достигнет объекта и вернется назад. Этот метод применяют в основном в тех случаях, когда объект находится на достаточно большом расстоянии, так как из-за того, что скорость света достаточно велика, бывает достаточно сложно измерить время пролета света, и следовательно, расстояние. Чтобы измерить небольшие расстояния (до 1 м), понадобится точность измерения времени до десятков наносекунд.

Другой метод измерения расстояния – фазовый. В этом методе лазер работает в непрерывном режиме, но его излучение подвергается амплитудной модуляции сигналом определенной частоты (обычно меньше 500МГц). При этом длина волны лазера не меняется

Фаза сигнала, отраженного от объекта сравнивается с фазой опорного сигнала, фиксируется сдвиг фаз, с помощью которого происходит дальнейший расчет расстояния по формуле:

$$D = \frac{c}{2f} \cdot \frac{\varphi}{2\pi}, \text{ где}$$

D-расстояние в метрах, f — частота модуляции лазера, c — скорость света,  $\varphi$  — фазовый сдвиг.

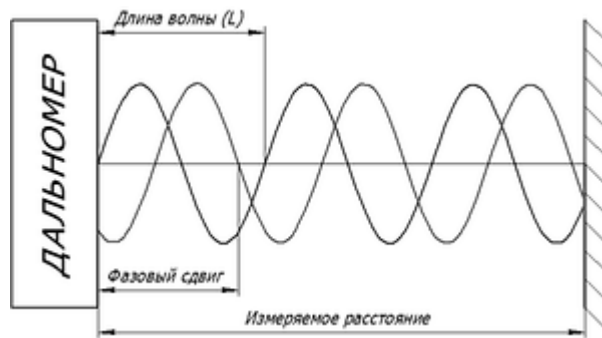


Рисунок 1.1 Диаграммы излучаемого и принимаемого сигналов при фазовом методе

Формула действует только в том случае, если измеряемое расстояние меньше половины длины волны сигнала, которая рассчитывается по формуле.

$$\lambda = c / 2f.$$

Точность измерения расстояния при фазовом способе измерения может достигать до 0.5 мм.

Метод имеет некоторые недостатки, например мощность излучения лазера, находящегося в непрерывном режиме работы заметно меньше, чем у импульсного лазера, что не позволяет использовать данный метод для измерения больших расстояний. Кроме того, быстродействие прибора ограничивается быстродействием измерения разности фаз с заданной точностью.

Наиболее важный процесс в таком дальномере — это измерение разности фаз сигналов, которая и определяет точность измерения расстояния. Существуют различные способы измерения разности фаз, как аналоговые, так и цифровые. Аналоговые значительно проще, цифровые дают большую точность. При этом цифровыми методами измерить разность фаз высокочастотных сигналов сложнее — временная задержка между сигналами измеряется наносекундами (эта задержка возникает также, как и в импульсном дальномере).

Также измерению расстояния лазерами может помешать яркий свет, в том числе и солнечный.

### 1.1.2. Инфракрасные

Данный способ измерения расстояния основан на триангуляции.

Световой импульс ИК диапазона (длина волны  $850\text{nm} \pm 70\text{nm}$ ) излучается и отражается обратно от препятствия. Расстояние до объекта определяется по углу возвращенного сигнала.

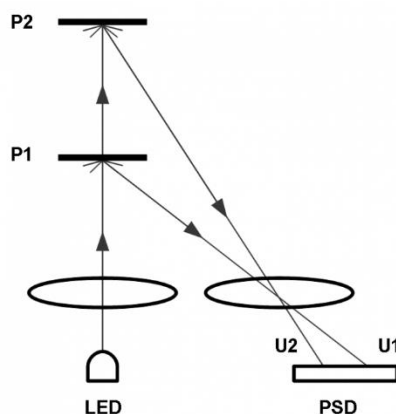


Рисунок 1.2 Путь светового луча инфракрасного измерителя расстояния

Датчик имеет специальный инфракрасный-объектив, который принимает отражённый луч на ПЗС-матрицу. На основе данных этой матрицы, определяется угол отражения возвращенного луча, который используется для дальнейшего расчета дальности

Поскольку в основе работы устройства используется свет, сенсор плохо подходит для определения расстояния до светопоглощающих объектов.

Инфракрасные дальномеры имеют перед собой «мертвую зону» величиной 10-30 см.

### 1.1.3. Ультразвуковые

Ультразвуковые дальномеры действуют по принципу эхолота: устройство посылает звуковые волны, улавливает их отражение от объекта и

фиксирует время возврата, с помощью которого затем, зная скорость прохождения звуковой волны через среду, можно вычислить расстояние.

Метод имеет некоторые недостатки: объект должен быть достаточно крупным, чтобы пучок звуковых волн отразился от него, некоторые материалы имеют свойство ослаблять звук, поэтому результат измерений будет искажен. К достоинствам можно отнести доступную цену.

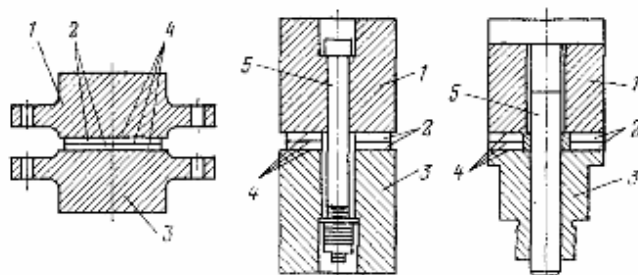
Таким образом, сравнив три метода измерения расстояния, выделим два способа, которые нам подходят: лазерный и ультразвуковой. Инфракрасные дальномеры не подходят для решения нашей задачи из-за наличия «слепой зоны»

Существенным недостатком лазерных дальномеров является их цена: почти в 10 раз выше, чем у ультразвуковых дальномеров. Главное достоинство измерения расстояния с помощью лазеров – дальность, но для нашей работы гораздо важнее измерение ближних объектов, что вполне может быть обеспечено с помощью ультразвукового дальномера. Таким образом остановимся на ультразвуковых измерителях расстояния.

## 1.2. Ультразвуковые пьезоэлектрические преобразователи

УЗ преобразователь - это устройство, обеспечивающее преобразование подводимой энергии какого-либо вида в энергию УЗ колебаний.

Пьезоэлектрические преобразователи (рис. 1.3) - обеспечивают преобразование энергии электрического поля в механические колебания УЗ частоты.



*Рисунок 1.3 – Конструкции составных пакетных пьезокерамических преобразователей*

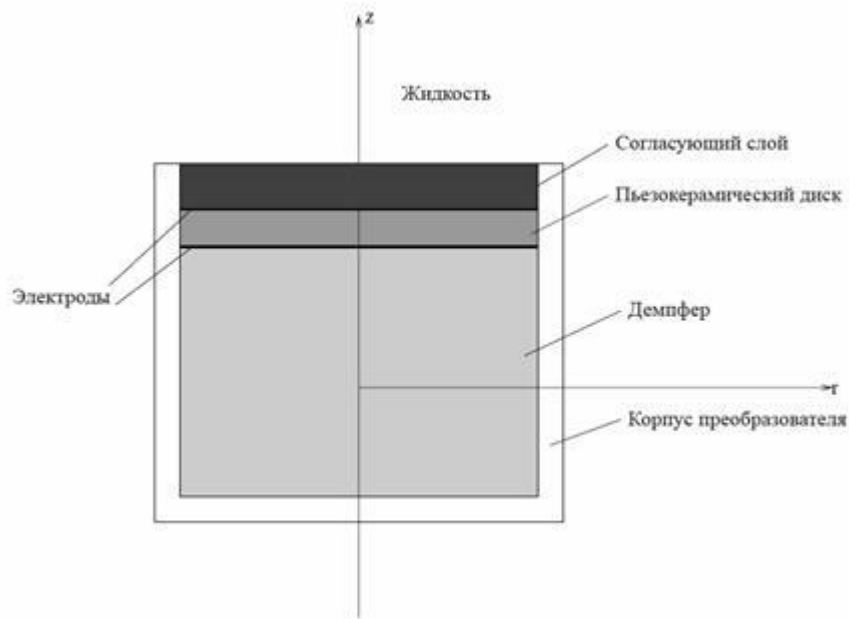
1 — излучающая накладка; 2 — пьезокерамические пластины; 3 — отражающая накладка; 4 — электроды; 5 — крепежный болт.

Пьезоэлектрические преобразователи — это устройства, использующие пьезоэлектрический эффект в кристаллах, керамике или плёнках и преобразующие механическую энергию в электрическую и наоборот.

Исходя из физического принципа действия пьезоэлектрические преобразователи делятся на три группы:

1. Преобразователи, использующие прямой пьезоэффект (измерение параметров механических процессов);
2. Преобразователи, использующие обратный пьезоэффект (излучатели ультразвука);
3. Преобразователи параметрического типа, использующие прямой и обратный пьезоэффект (пьезоэлектрические резонаторы).

На рисунке 1.7 представлена конструкция преобразователей, наиболее часто встречающаяся для излучения ультразвуковых волн в жидкую или твердую среду. Между демпфером и согласующим слоем находится пьезоэлемент (пьезокерамический диск). На верхней и нижней пластинах диска находятся электроды, которые соединяются с генератором сигналов. Согласно обратному пьезоэлектрическому эффекту, при подаче напряжения на электроды пьезоэлектрического диска будут происходить колебания, которые будут зависеть от частоты сигнала и размера диска.



*Рисунок 3 Конструкция пьезоэлектрического преобразователя*

Пьезоэлектрический материал с высоким коэффициентом электромеханической связи имеет большое волновое сопротивление по сравнению с водой. Поэтому, полоса пропускания частотной характеристики диска ниже. Неподходящее волновое сопротивление можно преодолеть, используя демпфер и согласующий слой между пьезоэлектрическим диском и жидкой средой.

Демпфер имеет высокую плотность материала, которая требуется для того чтобы контролировать колебания преобразователя путем поглощения энергии излучаемой пьезоэлементом назад, а так же высокий коэффициент затухания.

Если акустическое сопротивление задней части совпадает с волновым сопротивлением пьезокерамики, то получится преобразователь с широкой полосой частот обеспечиваемой передатчиком, но при этом он может иметь меньшую амплитуду сигнала. В обратном случае, когда акустический импеданс пьезоэлемента и демпфера не совпадает, преобразователь будет



иметь меньшее разрешение, но может иметь более высокую амплитуду сигнала и чувствительность.

Основная цель согласующего слоя преобразователя заключается в том, чтобы защитить пьезоэлемент от исследуемого вещества. Согласующий слой должен быть прочным и коррозионностойким к исследуемой жидкости. Дополнительно передний слой должен связывать высокое акустическое сопротивление пьезокерамики с низким акустическим сопротивлением жидкости.

Достоинствами пьезоэлектрического преобразователя является высокая линейность характеристик, широкие частотные и динамические диапазоны, надежность и простота исполнения.

## Глава 2 Разработка структурной и принципиальной схем

### 2.1. Принцип работы ультразвукового радара

Излучатель ультразвукового датчика формирует акустический сигнал, который отразившись от преграды, возвращается к датчику и регистрируется приемником. Зная скорость распространения ультразвука в воздухе и время запаздывания между излученным и принятым сигналом, легко рассчитать расстояние до акустической преграды.

Микроконтроллер формирует сигнал, длительностью не менее 10 мкс, который запускает излучатель, а после фиксирует длительность отраженного сигнала, вычисляет расстояние до ближайшего объекта по формуле:

$$l = \frac{t * v}{2}$$

Где  $v$  – скорость распространения ультразвука,

для воздушной среды  $v = 340$  м/с

$t$  – время прохождения волны до объекта и обратно в мкс

$l$  – расстояние до объекта

При вычислении расстояния в сантиметрах, данная формула преобразуется

В следующее выражение:

$$l = \frac{t}{58}$$

Длительность импульса, равного времени прохождения до объекта и обратно лежит в пределах 150 мкс – 25 мс

Микроконтроллер Arduino имеет встроенный контроллер для последовательной передачи данных, который может использоваться как для связи между Arduino устройствами, так и для связи с компьютером. На компьютере соответствующее соединение представлено либо обычным COM-портом либо USB COM-портом, который появляется в системе после установки необходимого драйвера.

Микроконтроллер проверяет, равна ли длительность выходного импульса, которую формирует датчик, 25 мс, и если да, то выводит на экран сообщение о том, что объекта нет. Если длительность импульса меньше 25 мс, микроконтроллер вычисляет расстояние до объекта по приведенной формуле и выводит его на экран.

После вывода значения расстояния на экран, микроконтроллер формирует задержку между измерениями, так как следующий импульс может быть излучён, только после исчезновения эха от предыдущего.

Далее микроконтроллер регистрирует и выводит на экран компьютера угол поворота сервопривода, после чего программа возвращается к запуску датчика и зацикливается.

## 2.2. Выбор и обоснование структурной схемы

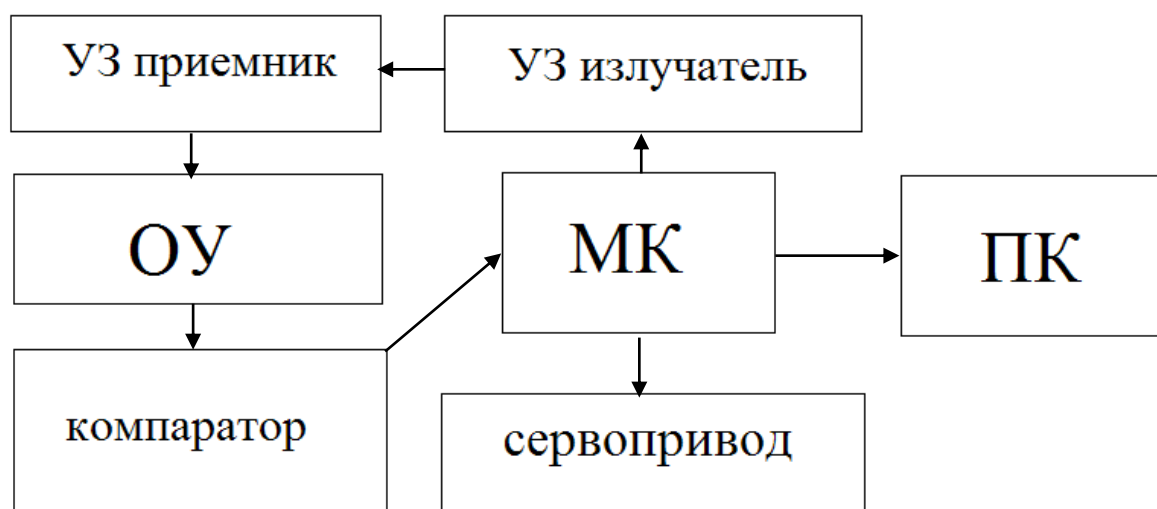


Рисунок 4 Структурная схема

В данном устройстве будут использоваться пьезоэлектрические преобразователи приемник MA40S4R и излучатель MA40S4S. Преобразователи данной серии обладают достаточно узким углом направленности 15 градусов и при этом сравнительно небольшой ценой. Резонансная частота датчиков 40 кГц, что обеспечит нам определение расстояния до 5 метров.

В роли генератора прямоугольных импульсов для УЗ излучателя выступит микроконтроллер. Нам потребуется сгенерировать импульсы с периодом 25 мкс.

Для увеличения амплитуды принятого сигнала в схеме используется операционный усилитель. Компаратор в схеме необходим для того, чтобы регистрировать отраженный сигнал без различных шумов и помех

Микроконтроллер производит арифметические операции, в результате которых, мы получаем значение расстояния до ближайшего объекта. Также Микроконтроллер регистрирует положение сервопривода, чтобы узнать направление, по которому расположен объект и выводит данные на ПК.

## 2.3. Выбор и обоснование принципиальной схемы

### 2.3.1 Схема приемника ультразвукового сигнала

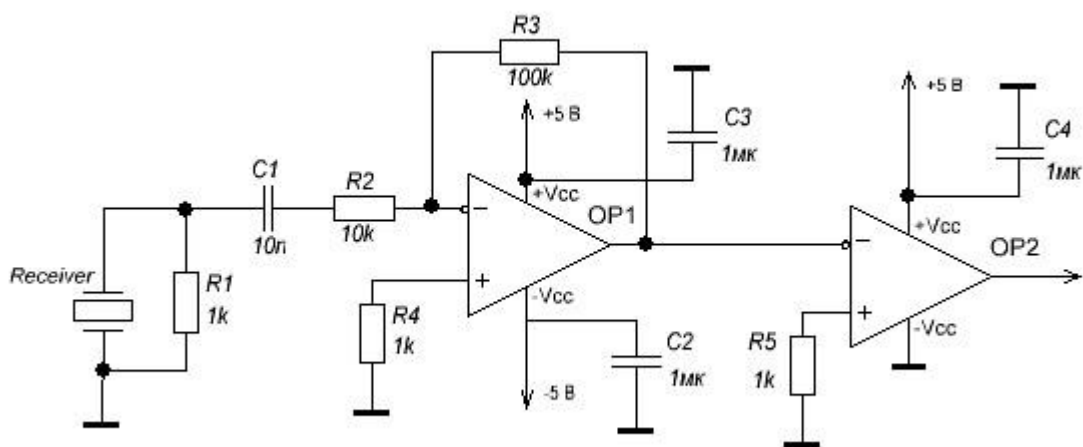


Рисунок 5 Принципиальная схема приемника УЗ сигнала

Схема приемника ультразвукового дальномера состоит из пьезоэлектрического преобразователя, частота резонанса которого составляет 40 кГц, операционного усилителя, обеспечивающего усиление в 10 раз и компаратора, который переключается, когда сигнал на его входе равен нулю.

После компаратора сигнал поступает непосредственно в МК, где таймер определяет длительность сигнала и далее рассчитывает расстояние.

AD8033 - ОУ, имеющий низкий уровень шума (11 нВ/кГц) и высокое быстродействие (ширина полосы 80 МГц, максимальная скорость нарастания 80 В/мкс).

ОУ находится в инвертирующем включении, следовательно коэффициент усиления определяется резисторами R3 и R2

$$Ku = \frac{R3}{R2} = \frac{100 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3} = 10$$

Компаратор, построенный на базе операционного усилителя переключается, когда напряжение на его входе равняется нулю.

Максимальная мощность рассеиваемая резистором R3:

$$P_{R3} = \frac{U_{пит}^2}{R} = 0.25 \text{ мВт}$$

Максимальная мощность рассеиваемая резистором R2:

$$P_{R2} = \frac{U_{пит}^2}{R} = 2.5 \text{ мВт}$$

Максимальная мощность рассеиваемая резистором R1, R4, R5:

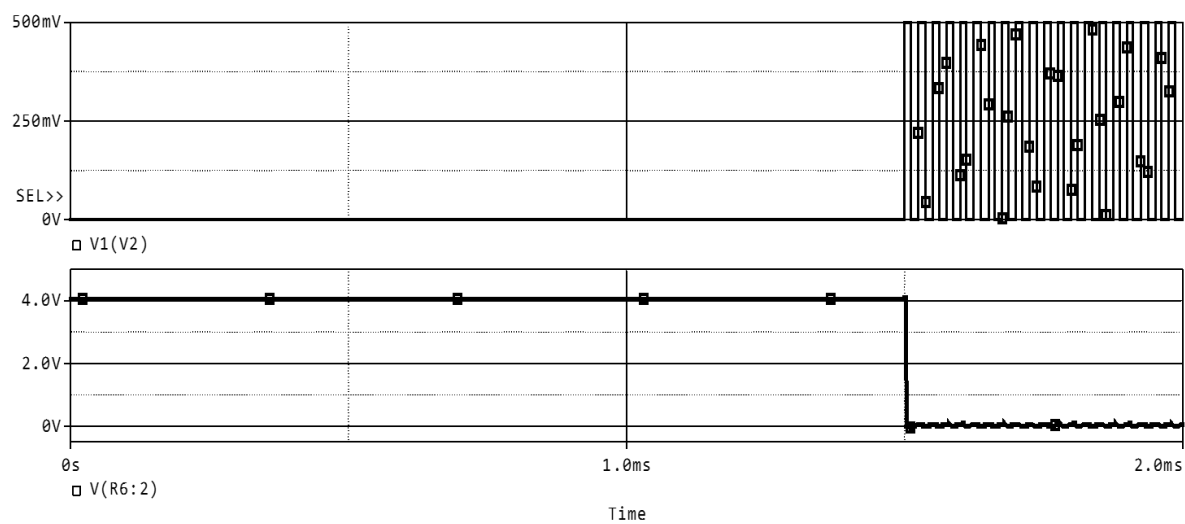
$$P_{R1} = \frac{U_{пит}^2}{R} = 25 \text{ мВт}$$

Выбираем резисторы из справочника[]:

R1, R4, R5: C1- 4 - 0,125 - 1 кОм ± 5%

R2: C1- 4 - 0,125 - 10 кОм ± 5%

R3: C1- 4 - 0,125 - 100 кОм ± 5%



*Рисунок 6 Диаграммы входного сигнала и сигнала с компаратора*

## **Глава 3. Разработка алгоритма работы микроконтроллера**