**«Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»**

**(БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова)**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | |  | |  | | ДОПУСКАЕТСЯ К ЗАЩИТЕ: | | | | | | | | | |
| **Факультет** | | И | | Заведующий кафедрой | | | | |  | | И4 | | |
|  | |  | |  | | | | |  | | шифр кафедры | | |
| **Выпускающая кафедра** | | И4 | | Страхов С.Ю. | | |  |  | | | | | |
|  | |  | | Фамилия И.О. | | |  | подпись | | | | | | |
| **Группа** | | И443 | | «\_\_\_\_\_» | |  | | | | | | 2018 г. | |
|  |  | |  | |  | |  | | | | |  | | |

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

|  |  |
| --- | --- |
| Сивовой Валентины Михайловны | |
| Фамилия, имя, отчество обучающегося | |
| **На тему** | Приемный модуль импульсного ультразвукового измерителя |
| дальности с индикацией результатов измерений | |
|  | |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Направление подготовки** | 11.03.01 |  | Радиотехника |
|  | индекс направления |  | полное наименование направления |
|  | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Консультант:** | | | | |  | | | |  | **Руководитель:** | | |  | | | | | | |
| при необходимости | | | | | подпись | | | |  |  | | | подпись | | | | | | |
|  | | |  | |  | | | |  | к.т.н. | | | | |  | | Аникин С.Н. | | |
| ученая степень, ученое звание | | | | | Фамилия ИО | | | |  | ученая степень, ученое звание | | | | | | Фамилия ИО | | | |
| « » |  |  | | | | |  | 201\_\_г. |  | « » |  |  | | | | | |  | 2018 г. |
|  | | | | | |  | | |  | **Обучающийся:** | | | |  | | | | | |
|  | | | |  | |  | | |  |  | | | | |  | | Сивова В.М. | | |
|  | | | | | |  | | |  | подпись | | | | |  | | Фамилия ИО | | |
|  |  |  | | | | |  |  |  | « » |  |  | | | | | |  | 2018 г. |

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

2018 г.

**РЕФЕРАТ**

Выпускная квалификационная работа содержит 62 страницы, 34 иллюстрации, 12 таблиц, 1 приложение.

В первом разделе рассмотрены методы измерения дальности до цели, в частности импульсный, фазовый и частотный. Так же описан принцип работы ультразвукового дальномера в общем виде.

Во втором разделе произведён обзор рынка дальномеров на примере трёх импортных устройств и приведены два метода реализаций ультразвуковых измерителей дальности.

В третьем разделе осуществлено проектирование приемного модуля ультразвукового измерителя дальности, а в частности разработана его структура и принципиальная схема. Так же был произведён расчёт надёжности, потребляемой мощности и была разработана рабочая конструкторская документация к устройству.

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДАЛЬНОМЕР, ИМПУЛЬСНЫЙ ДАЛЬНОМЕР, ИЗМЕРИТЕЛЬ, ДАЛЬНОСТЬ, УЛЬТРАЗВУК, ЧАСТОТА, СИГНАЛ

Оглавление

[ВВЕДЕНИЕ 4](#_Toc517037599)

[1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ 5](#_Toc517037600)

[1.1 Методы измерения дальности до объектов 5](#_Toc517037601)

[1.1.1 Импульсный или амплитудный метод 5](#_Toc517037602)

[1.1.2 Частотный метод 8](#_Toc517037603)

[1.1.3 Фазовый метод 11](#_Toc517037604)

[1.2 Принцип работы ультразвукового дальномера 17](#_Toc517037605)

[2 Дальномеры: обзор рынка и примеры реализаций 21](#_Toc517037606)

[2.1 Обзор рынка измерителей дальности 21](#_Toc517037607)

[2.2 Примеры реализации ультразвуковых дальномеров 22](#_Toc517037608)

[3 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРИЕМНОГО МОДУЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ ДАЛЬНОСТИ 25](#_Toc517037609)

[3.1 Разработка обобщенной структуры дальномера 25](#_Toc517037610)

[3.2 Разработка структуры приемного модуля дальномера 27](#_Toc517037611)

[3.3 Выбор элементной базы и разработка электрической принципиальной схемы 39](#_Toc517037612)

[3.4 Расчётная часть 52](#_Toc517037613)

[3.4.1 Расчёт надёжности 52](#_Toc517037614)

[3.4.2 Расчёт потребляемой мощности 53](#_Toc517037615)

[ЗАКЛЮЧЕНИЕ 56](#_Toc517037616)

[СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 57](#_Toc517037617)

[ПРИЛОЖЕНИЕ 1. КОНСТРУКТОРСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ 60](#_Toc517037618)

# ВВЕДЕНИЕ

Самый эффективный и быстрый способ измерения расстояний на сегодняшний день основывается на использовании дальномера. Вообще, дальномеры – это достаточно большая группа приборов для бесконтактного измерения дистанций, работающих по разному принципу и использующихся в геодезии, на охоте, при фотографировании, в строительстве и ремонте. Конкретно ультразвуковые дальномеры чаще используются при работе в помещении, так как они обладают высокой точностью в пределах 10-30 метров, что объясняет их некорректность результата при работе, например, на открытой местности, где ультразвуку будет попросту не от чего отразиться.

Причина, по которой был выбран ультразвук как способ измерения расстояния – его широкий спектр практического применения. Ультразвук применяется во многих сферах жизни: в медицине, на производстве, в науке, а также в повседневной жизни. В наше время ультразвук применяется в различных методах и технологиях, например, по скорости распространения звука в среде можно определить ее физические характеристики.

Таким образом, целью выпускной квалификационной работы является моделирование и создание устройства измерения расстояния.

# 1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

## 1.1 Методы измерения дальности до объектов

Определение дальности до объекта основано на измерении времени запаздывания излучаемых сигналов различного происхождения (не только электромагнитного). Классификация методов измерения дальности связана с параметрами сигнала, которые играют основную роль при измерении времени запаздывания. В соответствии с этим метод измерения может быть:

- импульсным (амплитудным);

- частотным;

-фазовым.

Рассмотрим данные методы на примере радиолокационных сигналов.

### 1.1.1 Импульсный или амплитудный метод

При амплитудном методе измерения определяется время запаздывания характерного изменения амплитуды принимаемого радиолокационного сигнала. Наиболее простым и распространенным видом модуляции излучаемых колебаний является импульсная.

Рассмотрим устройство импульсной дальномерной радиолокационной станции (РЛС) (рисунок 1 и 2). На рисунке 1,а показана трубка с электростатическим управлением.

Передатчик станции генерирует радиоимпульсы (2) длительностью с периодом повторения(напряжение u2 на рисунке 2). Антенный переключатель (АП) подключает антенну к передатчику на время генерации () и к приёмнику на всё остальное время. Отражённые импульсные сигналы запаздывают на время; на вход приёмника (3) поступают и колебания передатчика и отражённые сигналы (u3 на рисунке 2).

Время запаздывания отражённых сигналов мало (оно составляет тысячные или даже миллионные доли секунды), и обычные часовые механизмы для его измерения непригодны. Одним из наиболее подходящих приборов для измерения времени запаздывания является электронно-лучевая трубка [6].

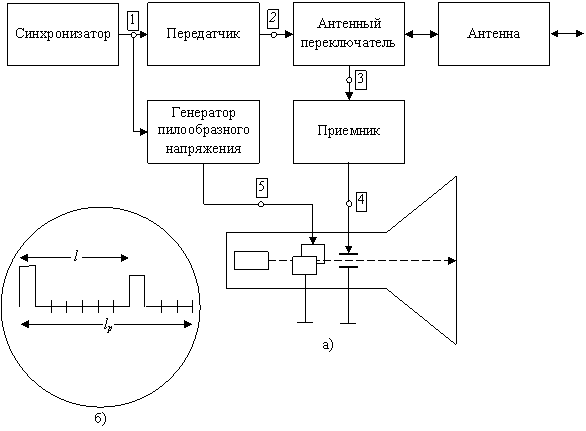


Рисунок 1–Структура импульсного измерителя дальности (*а*) и сигналы на экране электроннолучевого индикатора (*б*)

К вертикально отклоняющим пластинам трубки подводятся импульсы напряжения с выхода приёмника (4) (u4 на рисунке 2); к горизонтально отклоняющим пластинам от специальной схемы подводится пилообразное напряжение (5)  (u5 на рисунке 2). Передатчик и схема создания пилообразного напряжения запускаются одновременно импульсами синхронизирующего устройства (1), поэтому одновременно с излучением импульса передатчика начинается горизонтальное перемещение пятна по экрану трубки [6].

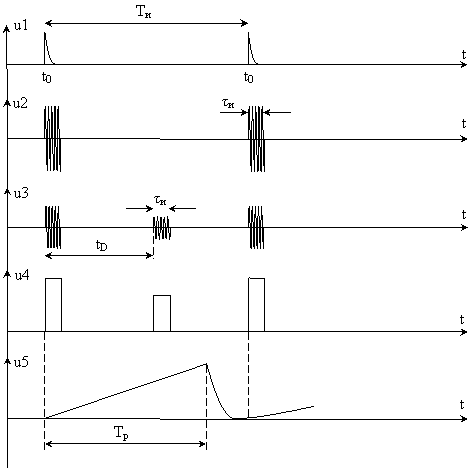


Рисунок 2 – Эпюры напряжений в точках 1-5 схемы импульсного дальномера на рисунке1

Картина, наблюдаемая на индикаторе, показана на рисунке 1,б. Пятно воспроизводит огибающие излучённого и отражённого импульсов, расстояние между которымипропорционально дальности обнаруженной цели:

(1)

где– скорость движения пятна по экрану индикатора, – дальность обнаруженной цели, – скорость света.

Отсюда мы получим формулу (2) для расчёта основной величины – дальности, которая является результатом работы дальномера [7].

(2)

Достоинства импульсных дальномеров:

* возможность построения РЛС с одной антенной;
* простота индикаторного устройства;
* удобство одновременного измерения дальности многих целей;
* простота разделения излучаемых импульсов, длящихся очень малое время, и принимаемых сигналов.

Недостатки импульсного метода:

* необходимость использования больших импульсных мощностей передатчиков;
* невозможность измерения малых дальностей;
* большая минимальная дальность станции (определяющаяся длительностью излучаемых импульсов и временем протекания переходных процессов в антенном переключателе), которая составляет сотни или даже тысячи метров.

### 1.1.2 Частотный метод

Частотный метод определения дальности основан на использовании частотной модуляции излучаемых непрерывных колебаний. Время запаздывания определяется путём измерения разности частот излучённых колебаний и отражённого сигнала. Структура РЛС с частотной модуляцией изображена на рисунке 4.

Генератор высокой частоты, управляемый модулятором, вырабатывает колебания с частотой, изменяющейся по периодическому закону, показанному на рисунке 3 сплошной линией. Частота сигнала, отражённого от неподвижной цели, будет изменяться по такому закону, но только со сдвигом по временной оси на время запаздывания [4].

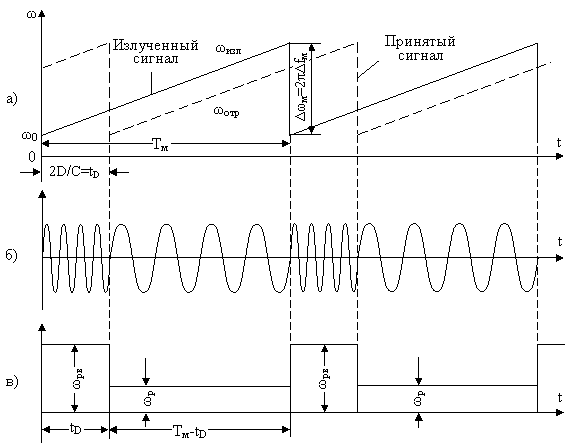


Рисунок 3 – Изменение частоты излучаемых и принимаемых колебаний:

а) частоты излучённого и принятого сигнала;

б) преобразованный сигнал (биения);

в) изменение частоты преобразованного сигнала

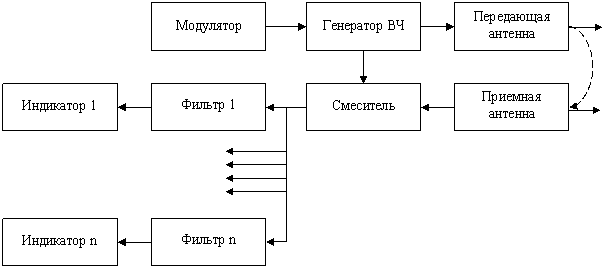


Рисунок 4– Структура измерителя дальности с частотной модуляцией

На рисунке 3,а частота отражённых колебаний показана штриховой линией. Отражённые сигналы и колебания генератора подводятся к смесителю [4]. Образующаяся на выходе смесителя разностная частота (рисунок 3,б) или частота биений пропорциональна дальности цели. Если круговая частота излучения в момент времени

, (3)

гдеи – несущая частота и девиация частоты передатчика, – период модулирующего колебания, то частота сигнала, отражённого от неподвижной цели, будет равна

(4)

Откуда

, (5)

где - разностная круговая частота.

Формулы (4) и (5) показывают зависимость между дальностью цели и разностной частотой и позволяют понять сущность метода [7].

Для измерения разностных частот используются фильтры и счётчики импульсов. При использовании фильтров возможны два варианта: применяется группа фильтров, настроенных на фиксированные частоты, или один фильтр с переменной настройкой. Попадание сигнала разностной частоты в тот или иной фильтр (на что укажет соответствующий индикатор, например неоновая лампочка) позволит определить дальность цели. Дальномеры данного типа позволяют определять очень малые дальности и использовать передатчики с малой мощностью излучения.

Недостатки дальномеров с частотной модуляцией:

* необходимость использования либо двух антенн, либо сложного устройства для разделения излучаемых и принимаемых сигналов;
* ухудшение чувствительности приёмника вследствие просачивания в приёмный тракт через антенну излучения передатчика, подверженного случайным изменениям;
* высокие требования к линейности изменения частоты.

### 1.1.3 Фазовый метод

Фазовый метод основан на измерении разности фаз излучённых синусоидальных колебаний и принятых радиосигналов. Структура простейшего фазового дальномера изображена на рисунке 5.

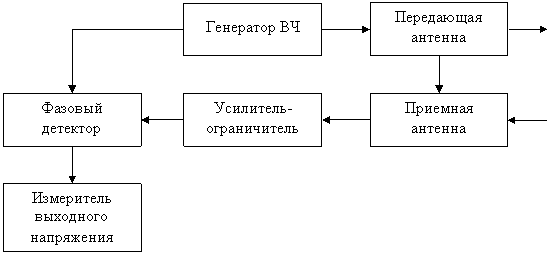


Рисунок 5 – Структура простейшего фазового

измерителя дальности

Генератор создаёт незатухающие колебания частоты, излучаемые в пространство. Фаза излучённых колебаний в момент времени :

(6)

где – начальное значение фазы.

Фаза принимаемого сигнала:

(7)

где– фазовый сдвиг, связанный с отражением радиоволны от цели; – фазовый сдвиг в цепях РЛС, который можно считать известным, так как он поддаётся измерению и может быть учтён [6].

Принятые колебания сравниваются с колебаниями высокочастотного генератора; разность фаз пропорциональна дальности цели

(8)

или

(9)

где – длина волны излучения [6].

Данный метод измерения практически не используют по двум обстоятельствам. Во-первых, очень мал диапазон однозначного измерения и, во-вторых, в формулу (9) входит неизвестная величина . Неоднозначность измерений определяется тем, что фазометрическое устройство позволяет определять фазовые сдвиги только в пределах от *0* до *2π*. Допустив, что , из формулы (9) получим, что диапазон однозначного измерения дальности не превышает половины длины волны [7].

В радиолокации используются ультракороткие волны и, следовательно, диапазон однозначно измеряемой дальности не превышает единиц метров. Что касается фазового сдвига , образующегося при отражении высокочастотных колебаний от цели, то, поскольку он весьма сложным образом зависит от конфигурации цели, её размеров и расположения относительно РЛС, то заранее знать нельзя и поэтому нельзя корректировать показания измерителя.

Указанные недостатки простейшего фазового дальномера устраняются при использовании более сложных схем, в которых применяется не менее двух частот.

На рисунке 6 изображена структура фазового дальномера с использованием низкой частоты , на которой осуществляется измерение фазового сдвига, и высокой , играющей роль переносчика информации.

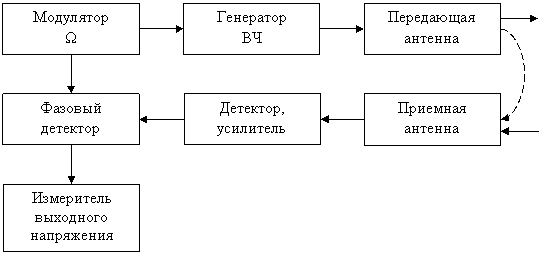


Рисунок 6 – Структура фазового измерителя

дальности с модулятором

Модулятор создаёт синусоидальное напряжение, модулирующее по амплитуде колебания генератора высокой частоты:

, (10)

где – амплитуда несущего колебания,– коэффициент модуляции, и – начальные фазы модулирующего и несущего колебаний [4].

Модулированные колебания излучаются в пространство. Принятые сигналы после усиления детектируются, и выделяется их огибающая, фаза которой сравнивается с фазой колебаний модулятора. Фаза огибающей принятых сигналов зависит от дальности цели

(11)

В формулу (11) не включён фазовый сдвиг огибающей колебаний при отражении , который пренебрежимо мал [6]. Фазовый сдвиг в цепях РЛС , может быть измерен и учтён при градуировке фазометрического устройства. Разность фаз низкочастотных колебаний позволяет определить дальность цели

(12)

Частота может быть выбрана достаточно низкой, что обеспечит большой диапазон однозначно измеряемых дальностей [5].

Данное дальномерное устройство характеризуется рядом достоинств:

* требуется малая мощность излучения, так как генерируются незатухающие колебания;
* точность измерения дальности практически не зависит от доплеровского сдвига частоты отражённого сигнала;
* просто само измерительное устройство.

Недостатки:

* отсутствует разрешение по дальности, так как при наличии одновременно двух целей их сигналы раздельно наблюдать нельзя;
* чувствительность приёмника ухудшается вследствие просачивания излучения передатчика;
* необходимы две антенны или система развязки излучаемых и принимаемых колебаний.

Известен другой вариант двухчастотного фазового дальномера (рисунок 7). РЛС включает два генератора высокочастотных колебаний и два приёмника, работающих соответственно на частотах ***1*** и ***2***. Колебания обоих генераторов подводятся к передающей антенне, а также к первому смесителю; с выхода приёмников два сигнала воздействуют на второй смеситель.

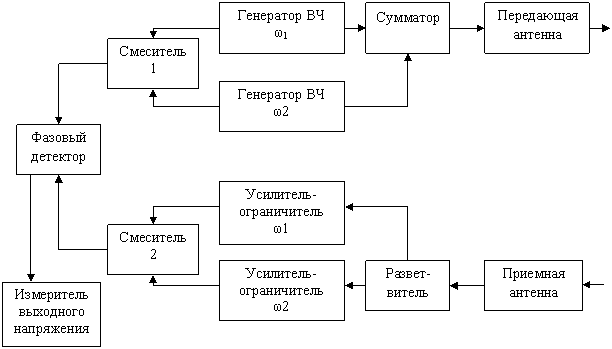


Рисунок 7 –Структура двухчастотного фазового

измерителя дальности

Пусть напряжение генераторов:

(12)

и

(13)

На выходе первого смесителя получим колебания первой разностной частоты

(14)

Если не учитывать фазовых сдвигов в цепях РЛС, то оба принятых сигнала могут быть записаны как

(15)

и напряжение второй разностной частоты на выходе второго смесителя

(16)

При условии, что излучаемые частоты мало отличаются друг от друга , фазовые сдвиги при отражении от цели на обеих частотах можно считать одинаковыми, т. е. [7].

Измерение фазового сдвига  позволяет определить дальность целипо формуле

(17)

Анализ формулы (17) показывает, что в рассмотренном дальномере может быть обеспечен большой диапазон однозначного измерения дальности (разность является малой величиной), а также исключается влияние на результат измерений фазового сдвига  Такому дальномеру присущи перечисленные выше достоинства и недостатки, свойственные всем РЛС с непрерывным излучением.

## 1.2 Принцип работы ультразвукового дальномера

Человек способен воспринимать звуковые волны, совершающие колебания в диапазоне от 20 до 20000 Гц. С возрастом диапазон воспринимаемых нами частот снижается, но в среднем, ребенок способен воспринимать звук именно в этом диапазоне. Если же колебания звуковых волн превысят этот диапазон, то человек перестает воспринимать их, но летучие мыши, собаки, дельфины, и мотыльки вполне могут их услышать. Такие колебания являются примерами ультразвука. Ультразвук – это упругие колебания и волны в диапазоне от 20 кГц до 1 ГГц.

Термин «упругие» подчеркивает неэлектромагнитную природу этих колебаний и волн. Длина волны находится в обратной зависимости от ее частоты, следовательно, ультразвуковые волны, по сравнению с обычным звуком имеют меньшую длину волны. Вследствие этого, ультразвуковые волны отражаются от различных препятствий гораздо лучше, чем обычные звуковые волны, что делает их весьма полезными на практике и дальномеры не исключение.

Принцип действия ультразвукового дальномера (рисунок 8): генератор (1) вырабатывает колебание определенной частоты, возбуждающее излучающий элемент (2), который посылает в свободное пространство зондирующий сигнал (ЗС) (3). Одновременно с этим начинается отсчет времени. ЗС в свою очередь отражается от препятствия (4), меняя свое направление. Отраженный сигнал (ОС) (5) принимается чувствительным элементом (6) и поступает в блок обработки сигнала (БОС) (7).

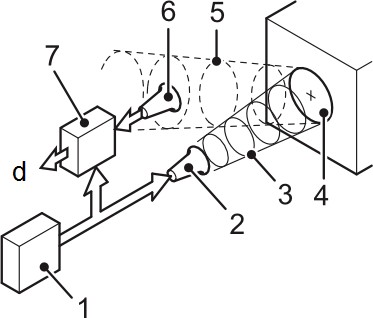


Рисунок 8–Принцип действия дальномера

При поступлении сигнала, счет времени прерывается, и полученный результатзапоминается. Далее по известной формуле вычислитель может определить расстояние от измерительной системы до препятствия:

(18)

где – скорость звука.

Иногда БОС совмещен с вычислительным устройством. Временные диаграммы, иллюстрирующие принцип действия импульсного дальномера, показаны на рисунке 9 [7].

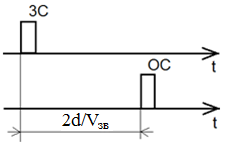


Рисунок 9– Временные диаграммы работы дальномера

Иначе излучение и отражение сигнала в ультразвуковом дальномере называют эхо-локацией. В общем случае локация – область, основанная на использовании электромагнитных, звуковых и других видов волн для обнаружения, определения координат и измерения параметров различных объектов. Объектом наблюдения принято считать тело или группу тел с электрическими и/или магнитными свойствами, отличными от свойств среды распространения волн или тело/тела, непосредственно осуществляющее излучение волн. Объекты наблюдения в радиолокации называются целями. Целью может быть статичный объект или группа объектов, а также движущийся относительно локатора объект.

Локация как наука основана на использовании ряда физических законов, связанных с распространением и рассеянием волн. Направление в локации, использующее в качестве зондирующего воздействия электромагнитные волны, называется радиолокацией. Важнейшим для радиолокации свойством электромагнитных волн является их рассеяние при падении на объекты. Прием и измерение параметров рассеянных объектом волн позволяет удостовериться в полезности объекта и определить его параметры и свойства.

# 2 Дальномеры: обзор рынка и примеры реализаций

В современном мире разнообразие приборов для измерения дальности очень велико и, следовательно, методов их разработки и реализации множество. В данной главе рассматривается три зарубежных ультразвуковых дальномера и два способа создания этого устройства.

## 2.1 Обзор рынка измерителей дальности

Рассмотрим несколько ультразвуковых дальномеров, которые представлены на рынке. Их внешний вид и основные технические характеристики приведены на рисунке 10 и в таблице 1 [10,11,12].



Рисунок 10– Внешний вид ультразвуковых дальномеров : Skil 0520 AD, Stanley intel limeasure 0-77-018 и СР 3009

Таблица 1 –Технические характеристики ультразвуковых дальномеров

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Параметр | Значение | | |
| Модель | Skil 0520 AD (F0150520AD) | Stanley intel limeasure 0-77-018 | СР 3009 |
| Страна производства | Китай | США | Германия |
| Диапазон измерений, м | 0,5 … 15 | 0,6 … 12 | 0,55 … 18 |
| Условия хранения, °С | от 0 до +40 | от 10 до +49 | от 0 до +43 |
| Вес, г | 200 | 180 | 112 |
| Размеры, мм | 112 x 43 x 25 | 252 x 145 x 55 | 115x75x45 |
| Точность, % | ± 0,5 | ± 0,5 | ± 0,5 |
| Цена, руб. | ≈ 2000 | ≈ 3000 | ≈ 1000 |

Как видно из технических характеристик этих измерителей дальности, заявленная точность у всех одинакова, однако она зависит от другой важной характеристики – диапазона измерений. Также есть различия по габаритам приборов и возможной температуре окружающей среды, при которой они могут быть использованы. Исходя из этого можно сделать вывод, что прибор, который будет наиболее практичен и удобен в использовании это ультразвуковой дальномер СР 3009.

## 2.2 Примеры реализации ультразвуковых дальномеров

1) LV-MaxSonar-EZ1 на базе микроконтроллера PIC16F676(рисунок 11)

Особенность модуля кроется в совмещении приемника и передатчика в один элемент –MaxSonar-UT, за счет чего получается очень компактный функциональный модуль. Дальномер представляет собой одноканальный измеритель расстояния от 0,15 до 6,45 м с разрешением примерно 2,5см [13].



Рисунок 11 – Внешний вид LV-MaxSonar-EZ1

Характеристики модуля:

* Установленный ультразвуковой сонар MaxSonar-UT;
* напряжение питания+2,5...+5В;
* ток потребления2…3мА;
* рабочаячастота42кГц;
* частота считывания показаний20Гц;
* постоянная работа с возможностью управления моментом считывания показаний.

1. HC-SR04

Простейший дальномерный УЗ-модуль (рисунок 12), используемый в робототехнике, системах сигнализации и охраны. Предполагается его подключение к управляющему модулю, например,Arduino [14].

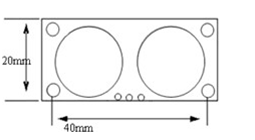
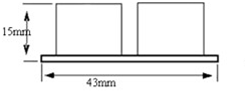


Рисунок 12– Общий вид HC-SR04

Его характеристики:

* Напряжение питания: +5В;
* Потребление в режиме тишины: 2мА;
* Потребление в рабочем режиме: 15мА;
* Диапазон измеряемых расстояний: 2–400см;
* Эффективный угол наблюдения: 15°;
* Рабочий угол наблюдения:30°.

На основе рассмотренных устройств, а также множества других, существующих в свободной продаже, можно сделать вывод о крайне широком распространении и проникновении в различные области жизни УЗ- систем. Поскольку использование инфракрасных и радиоволновых дальномеров в некоторых случаях может оказаться по разным причинам нецелесообразным (например, по надежности или стоимости), зачастую прибегают к использованию УЗ-локаторов. Это объясняется относительной простотой реализации и низкой ценой подобных устройств, а также низким уровнем энергопотребления при использовании излучателей и датчиков на пьезокерамике. По тем же причинам их часто применяют в качестве дополнительных или аварийных систем обзора на автономных и полуавтономных роботах, которые тоже присутствует в свободной продаже.

# 3 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРИЕМНОГО МОДУЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ ДАЛЬНОСТИ

Проектирование приёмного модуля ультразвукового импульсного измерителя дальности состоит из следующих частей:

* Разработка обобщенной структуры дальномера
* Разработка структуры приемного модуля дальномера
* Выбор элементной базы
* Построение электрической принципиальной схемы
* Расчёты

## 3.1 Разработка обобщенной структуры дальномера

В основе работы предполагается использовать стандартный импульсный дальномерный метод определения расстояния до объекта, описанный в разделе 1.1.1. Поскольку в качестве ЗС выступает ультразвуковое колебание, излучающий элемент и чувствительный элемент (датчик) будут представлять собой пьезоэлектрические преобразователи на основе керамики. Они наиболее распространены и обладают малой стоимостью, хорошими техническими характеристиками и большой надежностью. Номинальная скорость распространения в среде – в воздухе – однозначно определена: = 340м/с. Погрешность, связанная с влажностью, неоднородностью среды и другими переменными параметрами, незначительна и может быть опущена.

Для возбуждения ультразвукового излучателя необходим генератор колебаний. Измерение временного интервала между излучением и приемом сигнала будет осуществляться при помощи цепи измерения времени, которая входит в БОС. Помимо этого в БОС необходима схема усиления, поскольку отраженный от цели сигнал имеет малую мощность, и пороговое устройство для его обнаружения.

Для измерения времени распространения ультразвука требуется счётчик. Так как устройство по ТЗ должно информировать о результатах измерения, то его необходимо дополнить модулем индикации.

Исходя из вышесказанного, можно составить простейшую структуру дальномера, представленную на рисунке 13.

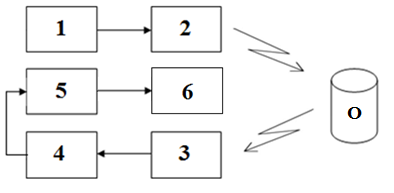


Рисунок 13 – Структура ультразвукового дальномера

Ниже приведена расшифровка нумерации блоков.

1. Блок генерации

2. Пьезоизлучатель

3. Пьезодатчик

4. БОС (включающий схему усиления, пороговое устройство, цепь измерения времени)

5. Счётчик

6. Модуль индикации

О – объект

Так как целью работы является проектирование приёмного модуля с индикацией, то далее будем рассматривать все блоки структуры, кроме 1 и 2, потому что они относятся к передающему модулю.

## 3.2 Разработка структуры приемного модуля дальномера

Отталкиваясь от обобщенной структуры дальномера, нарисуем и распишем функции блоков, входящих в приемный модуль; более подробно развернем БОС и тем самым составим структуру разрабатываемого модуля.

Как говорилось выше, одним из важных элементов приемного модуля любого ультразвукового измерителя является пьезопреобразователь, служащий датчиком для принятия отраженного сигнала от объекта.

После пьезодатчика необходимо обязательное применение входного усилителя, так как ультразвук теряет свою мощность как при распространении по воздуху, так и при отражении от любого объекта в результате поглощении части энергии волны материалом объекта.

Далее для удобства обработки принятого сигнала и выделения из него полезной информации о времени распространения необходимо осуществить преобразование частоты из области ультразвуковых частот в область более низких частот, т.е. использовать схему выделения огибающей сигнала.

Следующим шагом работы (уже с огибающей принятого сигнала) является применение порогового устройства для исключения возможных ложных срабатываний или приема переотраженных сигналов. С помощью сравнения мгновенного напряжения выделенной огибающей и заданного порога, в момент его превышения фиксируется момента прихода отраженного импульса от объекта.

Зная моменты излучения (по переднему фронту импульса синхронизации передатчика) и прихода ультразвукового сигнала от объекта, используем схему формирователя для получения импульса, длительность которого будет равна времени распространения, а значит, будет пропорциональна дальности до объекта.

Для измерения длительности сформированного импульса добавим в приемную часть дальномера генератор счетных импульсов и селектор, выполняющий функцию временных «ворот» для импульсов подлежащих счету.

Подсчет количества импульсов будет производиться счетчиком, для сброса и защелкивания показаний которого схему дополним дифференцирующей цепочкой, формирующей два импульса управления счетчиком: импульс сброса и импульс защелкивания.

Для наглядного представления результатов измерения длительности импульса в схему добавим блок индикации на базе одноцветных светодиодов.

Для преобразования выходного двоичного кода счетчика в форму, удобную для отображения на индикаторах, перед блоком индикации добавим дешифратор.

Последним важным блоком в схеме является блок питания, обеспечивающий питание всех узлов приемной части дальномера.

Предложенная структура приёмного модуля ультразвукового измерителя дальности представлена на рисунке 14.

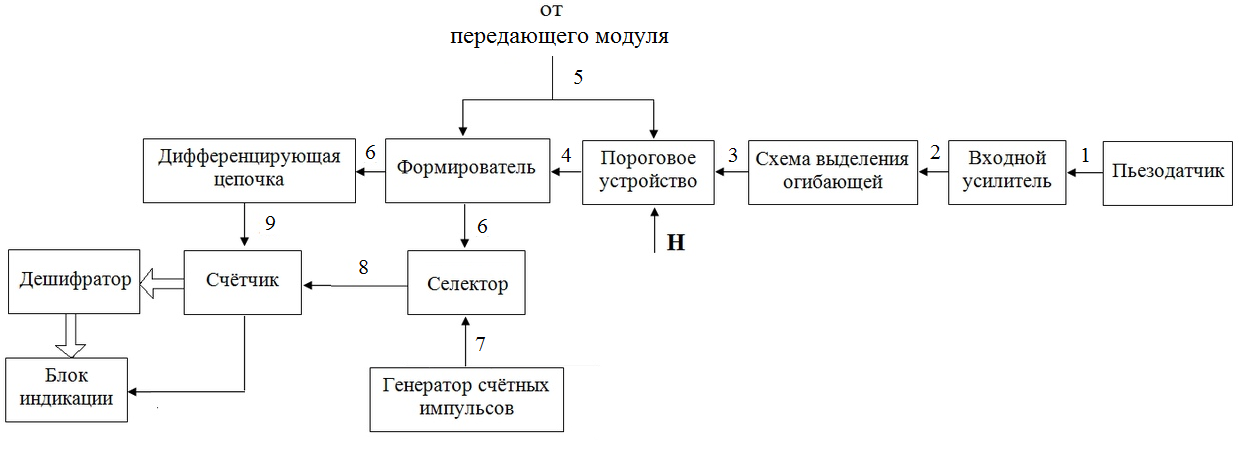


Рисунок 14 – Структура приёмного модуля импульсного ультразвукового дальномера

На рисунке 15 представлены временные диаграммы работы модуля, которые обозначены цифрами на рисунке 14.

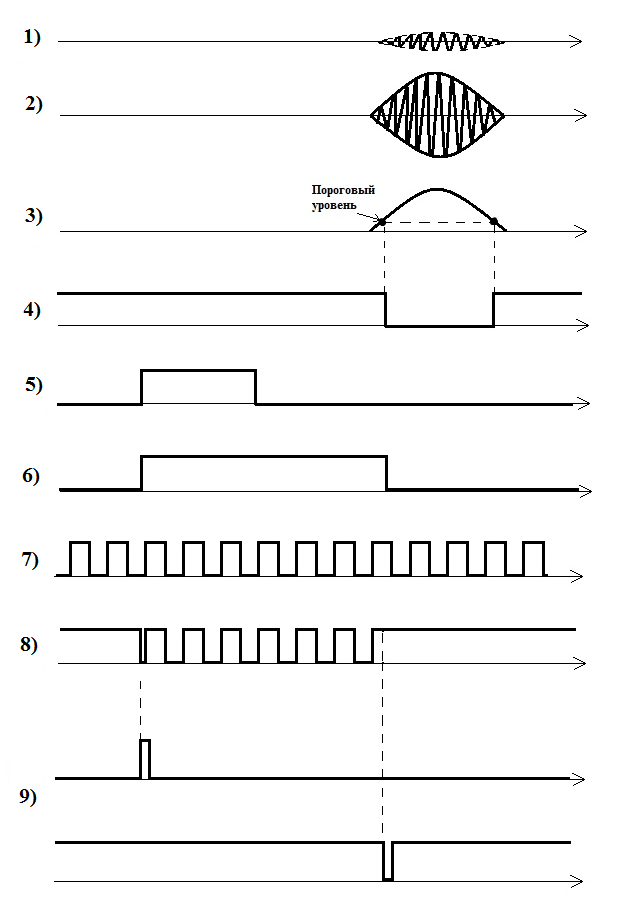


Рисунок 15 – Диаграммы работы приёмного модуля дальномера

Рассмотрим особенности построения некоторых функциональных узлов более подробно.

*Входной усилитель*

В качестве входного усилителя мной будет использован усилитель с коэффициентом усиления, равным 1000, собранный на двух операционных усилителях (ОУ): первый усиливает в 100 раз (40 дБ) и второй – в 10 раз (20 дБ) (рисунок 16).

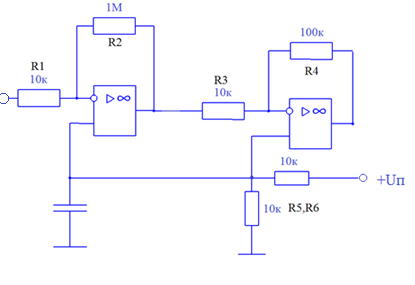


Рисунок 16–Входной усилитель

Для того, чтобы получить требуемые коэффициенты усиления, нужно правильно подобрать номиналы резисторов R1-R4 в цепях обоих ОУ. Коэффициент усиления ОУ равен отношению сопротивления резистора в цепи отрицательной обратной связи (R2 или R4) к сопротивлению резистора на инвертирующем входе (R1 или R3).

Путём подбора выбираем R1=R3=10кОм, R2=1МОм, R4=100кОм.

Проверим выбранные номиналы сопротивлений резисторов:

; .

При использовании в схеме ОУ отрицательной обратной связи потенциалы на неинвертирующем и инвертирующем входах стремятся уравняться. Как правило, для ОУ используют двухполярный источник напряжения. Данная схема работает с однополярным напряжением. Поэтому чтобы она при усилении разнополярного сигнала не вносила искажения в принятый сигнал, половина напряжения питания, полученная с помощью делителя (R5,R6 с одинаковым номиналом),подается в виде напряжения смещения на неинвертирующий вход. Благодаря этому напряжению смещения, части принятого сигнала и положительной, и отрицательной полярности усиливаются без искажений. Конденсатор Cв цепи неинвертирующего входа выполняет роль шунтирующего, чтобы снизить влияние перепадов напряжения питания на потенциал такой «искусственной» средней точки.

*Схема выделения огибающей*

Данная схема (рисунок 17) представляет собой однополупериодную схему выпрямления с использованием диодов Шоттки, которые из-за их низкой барьерной емкости (емкостью перехода) обладают малым временем восстановления и позволяют работать в выпрямителях на частотах в сотни кГц и выше, что вполне достаточно для решения моей задачи. На выходе схемы сопротивление второго диода, включенного в прямом направлении, и конденсатор за ним образуют своеобразный фильтр низких частот, благодаря чему на конденсаторе падает напряжение огибающей принятого сигнала. Номинал данного конденсатора лучше взять небольшим, но достаточным для того, чтобы, совместно с малым сопротивлением диода, полоса пропускания фильтра перекрыла нужный диапазон частот. Разделительный конденсатор в начале цепи служит для устранения постоянной составляющей. Оба этих конденсатора возьмём номиналом 1нФ, что достаточно для выполнения вышеперечисленных условий.

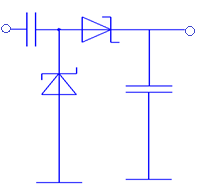


Рисунок 17–Выделение огибающей

*Пороговое устройство*

Данная схема (рисунок 18) используется для обнаружения момента прихода ультразвукового сигнала от объекта.

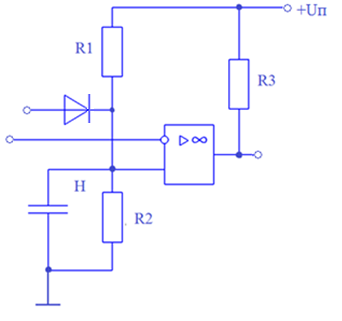


Рисунок 18–Пороговое устройство

Ее вход соединен с выходом схемы выделения огибающей. Момент появления отраженного сигнала от объекта с уровнем больше чем напряжение задаваемого порога H фиксируется с помощью компаратора (рисунок 18). Порог для схемы должен быть не очень большим, но и не нулевым, чтобы не пропустить полезный сигнал и не допустить ложные срабатывания. Для соблюдения этого условия, я подобрала номиналы элементов, которые определяют его величину. Это резисторы R1=1МОм и R2=116кОм, состоящий из двух последовательно соединённых резисторов постоянного номинала 16кОм (из стандартного ряда) и переменного номинала равного 100кОм.

Таким образом, для R2 при минимальном значении переменного резистора и исходя из ТЗ, для :

При максимуме номинала переменного резистора, входящего в R2 и учётом ТЗ получим:

Роль компаратора выполняет специализированный операционный усилитель с однополярным напряжением питания. Данный ОУ усиливает разницу между неинвертирующим и инвертирующим входами. В случае ОУ, не имеющего отрицательной обратной связи, даже при наличии небольшой разницы в потенциалах между входами на выходе получаем напряжение, близкое к напряжению питания (состояние насыщения), так как в большинстве случаев коэффициент усиления ОУ составляет десятки тысяч и более. Если же на неинвертирующем входе потенциал становится меньше чем на инвертирующем, то разница также усиливается, но так как у ОУ однополярный источник питания, то на выходе практически ноль. Данная микросхема может работать только как компаратор ввиду особого устройства выходного каскада, выполненного на транзисторе с открытым коллектором. Это требует обязательного применения внешнего нагрузочного резистора R3, без которого выходной сигнал физически не способен сформировать высокий (положительный) выходной уровень. Диод, на вход которого поступает импульс синхронизации передатчика (момента излучения), являющийся для приемника импульсом начала отсчета времени, благодаря своей односторонней проводимости, используется в качестве защиты от утечек токов в цепь передатчика во время отсутствия излучения. Кроме того, его выход включен в цепь неинвертирующего выхода, т.е. суммируется с напряжением H. Таким образом, в моменты излучения передатчика напряжение с него повышает уровень срабатывания компаратора, благодаря чему детектор не будет реагировать на возможные сигналы, приходящие напрямую от излучателя.

*Формирователь*

В качестве формирователя будет использован обычный RS-триггер (рисунок 19). Условием установки его выхода в состояние логической «1» является момент времени, когда передатчик излучает ультразвук – спад сигнала B (для этого предварительно инвертируем импульс запуска передатчика – сигнал A), а условием сброса в состояние логического «0», момент времени, когда произошло обнаружение ответного сигнала, т.е. поспаду выходного сигнала порогового устройства (сигнал С) из «1» в «0».

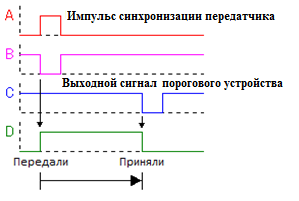
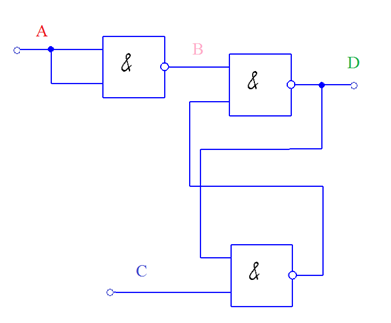


Рисунок 19–Формирователь и временные диаграммы его работы

*Генератор счетных импульсов*

Данная схема (рисунок 20) является широко распространенной схемой генератора импульсов, построенной на двух инверторах. Период повторения этих импульсов будет определять дискрет измерения интервала времени распространения ультразвукового сигнала до объекта и обратно, и соответственно, путем использования известных формул пересчета будет задавать точность оценки дальности.

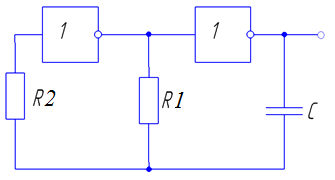


Рисунок 20–Генератор счетных импульсов

Данная схема вырабатывает импульсы с частотой, определяемой номиналами конденсатора Cи резистора R1,в соответствии с формулой:

(19)

Резистор R2 является ограничительным и, чтобы он не влиял на расчетную частоту, его номинал выбирают меньше номинала R1.

Требуемая частота колебаний данного генератора будет определяться скоростью распространения звуковой волны, в свою очередь, зависящей от температуры окружающей среды (таблица 2).

Таблица 2– Скорость звука при разной температуре

|  |  |
| --- | --- |
| Температура (°C) | Скорость звука (м/с) |
| -10 | 325,5 |
| 0 | 331,5 |
| 10 | 337,5 |
| 20 | 343,5 |
| 30 | 349,5 |
| 40 | 355,5 |
| 50 | 361,5 |

Например, в случае, когда ультразвук проходит расстояние в 2 м (1 м в одну сторону и,отразившись,1 м обратно) при температуре 20°C, ему для этого потребуется время, равное:

Поделим это время на 100 и получим время, за которое ультразвуковая волна пройдёт расстояние в 2 см (т.е. дальность до объекта будет соответствовать 1см).

Отсюда рассчитаем частоту, которую необходимо получить на выходе генератора, чтобы каждый счетный импульс, выходящий с него, соответствовал 1 см дальности до объекта:

Предположим, что выбран конденсатор емкостью 2.2 нФ (из стандартного ряда номиналов), тогда номинал резистора R1 будет равен:

Так как постоянных резисторов с таким номиналом не существует, то используем последовательное соединение резистора с сопротивлением 16кОм и переменного с изменяемым сопротивлением в диапазоне от 0 до 1 кОм. Осуществляя перестройку сопротивления переменного резистора от максимума до минимума, можем изменять частоту счетных импульсов для более точной оценки дальности до объекта при изменении температуры окружающей среды. В результате точность оценки по дальности будет 1-3 см (менее 5 см).

Так при Rпер=0 из (19) получаем частоту счетных импульсов, равную

период которых будет совпадать со временем прохождения ультразвуком расстояния в 2 см в воздухе при температуре 40°C, а при Rпер=1кОм

что соответствует скорости распространения при температуре воздуха около 0°C.

*Селектор*

В качестве селектора используем обычный элемент И-НЕ, на вход которого поступает импульс с формирователя и импульсы с генератора счетных импульсов. Соответственно, на его выходе появляются счетные импульсы только в момент наличия логической «1» на выходе формирователя, в любое другое время - постоянное напряжение высокого уровня.

*Дифференцирующая цепочка*

Схема дифференцирующей цепочки (рисунок 21) своей верхней частью цепи выделяет задний фронт или спад импульса формирователя, а нижняя – его передний фронт. В обеих частях цепи резистор и конденсатор образуют фильтр высоких частот. Диоды служат для того, чтобы пропускать только импульсы требуемой полярности, соответственно фиксировать только один из фронтов на каждом из входов.

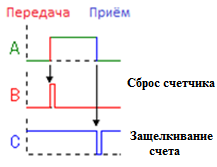
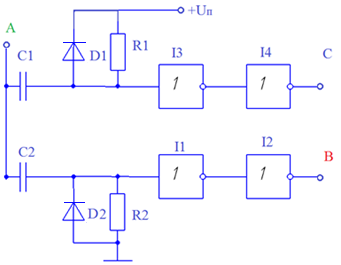


Рисунок 21–Дифференцирующая цепочка и принцип ее работы

## 3.3 Выбор элементной базы и разработка электрической принципиальной схемы

Следующим шагом, после составления структуры, является выбор элементной базы для разработки электрической принципиальной схемы приемного модуля дальномера. В данную схему приёмного модуля входят:

* Пьезопреобразователь (ультразвуковой датчик);
* Операционные усилители;
* Различные цифровые логические микросхемы (элементы НЕ, И-НЕ, счетчик, дешифратор, индикаторы);
* Резисторы, конденсаторы, диоды.

Исходя из требований ТЗ, в качестве подходящего датчика обнаружения ультразвукового сигнала был выбран пьезопреобразователь фирмы Murata MA40E7S-1(рисунок 22). В таблице 3 представлены его технические параметры[15].

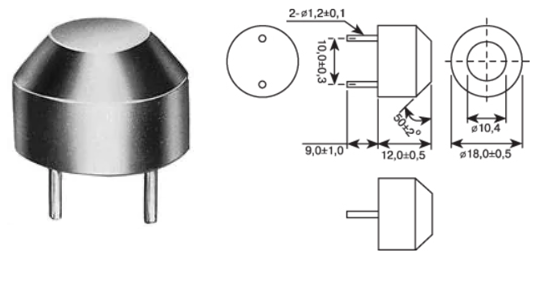


Рисунок 22 – Внешний вид датчика MA40E7S-1

Таблица 3 – Основные параметры датчика MA40E7S-1

|  |  |
| --- | --- |
| Наименование изделия | MA40E7S-1 |
| Номинальная рабочая частота | 40 кГц |
| Минимальная чувствительность | -72дБ |
| Диапазон рабочих температур | -30°C...+85°C |
| Диапазон измеряемых расстояний | 0,2 – 3 м |
| Ширина диаграммы направленности  (по уровню -10дБ) | 75° |
| Собственнаяѐмкость | 2200пФ |
| Максимальное входное напряжение | 100В |

Входной усилитель будет построен на микросхеме NJM4580, представляющей собой двойной операционный усилитель (рисунок 23). Благодаря бесшумной работе, более высокой ширине полосы пропускания, большому выходному току и низкому коэффициенту искажения, он наиболее подходит не только для акустических электронных частей аудио предусилителя и активного фильтра, но и для промышленных измерительных инструментов. Основные параметры данной микросхемы представлены в таблице 4[16].

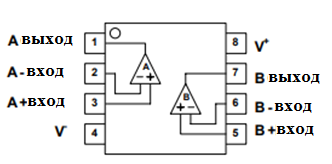


Рисунок 23–Структура и цоколевка микросхемы NJM4580

Таблица 4–Основные параметры микросхемы NJM4580

|  |  |
| --- | --- |
| Предельные значения параметров | |
| Напряжение питания Uп | ± 18 В |
| Входное напряжение | ± 15 В |
| Дифференциальное входное напряжение | ± 30 В |
| Выходной ток | ± 50 мА |
| Максимальный ток потребления при Uп=± 15 В | 9 мА |
| Мощность рассеяния на один корпусDIP8 | 800мВт |
| Диапазон рабочих температур | -40°C...+85°C |
| Электрические параметры | |
| Максимальная скорость нарастания выходного сигнала | 5 В/мкс |
| Дифференциальный коэффициент усиления по напряжению | 110 дБ |
| Частота единичного усиления (с температурной компенсацией) | 15 МГц |
| Размах выходного напряжения | 0 … Uп-1,5 В |
| Коэффициент гармонических искажений при Uп=± 15 В | 0,0005% |

Исходя из рабочей частоты, напряжения питания и потребляемого тока, указанных в ТЗ, подходящими являются КМОП интегральные микросхемы, обладающие и достаточным быстродействием, и низким энергопотреблением.

Для построения компаратора будем использовать микросхему LM258N (рисунок 24). Она содержит два независимых маломощных операционных усилителя с высоким коэффициентом усиления и частотной компенсацией. Отличается низким потреблением тока. Особенность данного усилителя – возможность работать в схемах с однополярным питанием от 3 до 32 вольт. Выход имеет защиту от короткого замыкания. Область применения – в качестве усилительного преобразователя, в схемах преобразования постоянного напряжения, и во всех стандартных схемах, где используются операционные усилители, как с однополярным питающим напряжением, так и двухполярным. Основные параметры данной микросхемы приведены в таблице 5[17]. Ее отечественным аналогом является микросхема КР1040УД1.

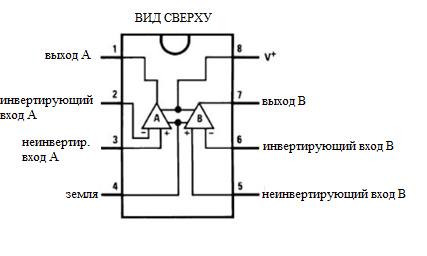


Рисунок 24–Структура и цоколевка микросхемы LM258N (КР1040УД1)

Таблица 5–Основные параметры микросхемы LM258N

|  |  |
| --- | --- |
| Предельные значения параметров | |
| Однополярное питание | +3В … +32 В |
| Двухполярное питание | ± 1,5В ... ± 16 В |
| Максимальная рассеиваемая мощность | 500мВт |
| Входное напряжение смещения | 2 мВ |
| Максимальный ток потребления при Uп=+ 30 В | 3 мА |
| Дифференциальное входное напряжение | 32 В |
| Входной ток смещения | 20 нА |
| Диапазон рабочих температур | -20°С …+85°С |
| Электрические параметры | |
| Дифференциальный коэффициент усиления по напряжению | 100 дБ |
| Размах выходного напряжения | 0 … Uп-1,5 В |
| Коэффициент гармонических искажений | 0,02% |
| Максимальная скорость нарастания выходного сигнала | 0,6 В/мкс |
| Частота единичного усиления (с температурной компенсацией) | 1,1 МГц |

Для построения RS-триггера и селектора была выбрана микросхема K176ЛА7, которая представляет собой четыре логических элемента 2И-НЕ (рисунок 25). Зарубежным аналогом этой микросхемы является микросхема CD4011 (рисунок 26).

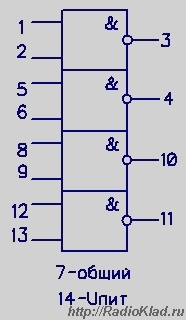


Рисунок 25–Условно-графическое обозначение микросхемы K561ЛА7

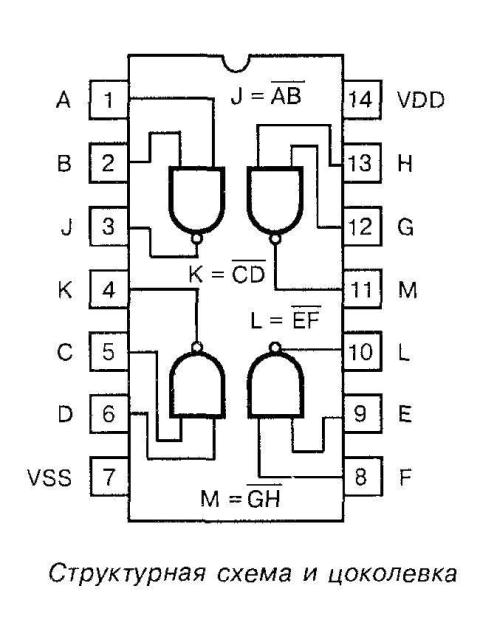


Рисунок 26– Структура и цоколевка микросхемы CD4011.

Основные параметры микросхемы CD4011приведены в таблице 6[18].

Таблица 6– Параметры микросхемы CD4011

|  |  |
| --- | --- |
| Предельные значения параметров | |
| Напряжение питания Uп | +3В...+20 В |
| Входное напряжение | +2,5В...+20,5В |
| Максимальный входной ток | 10 мА |
| Мощность рассеяния на один корпус | 500 мВт |
| Диапазон рабочих температур | -55°С...+125°С |
| Электрические параметры | |
| Выходное напряжение лог. "0" | < 0,05В |
| Выходное напряжение лог. "1" | >Uп-0,05В |
| Входной ток при Uп=+20В | -0,3 мкА |
| Максимальный ток потребления в состоянии покоя при Uп=+20В | 0,5 мкА |
| Выходной ток при Uп=+5В/+10В/+15В | 0,53/1,4/3,5 мА |
| Временные и частотные параметры | |
| Время задержки фронта импульса от входа до выхода при Uп=+5В | тип. – 250 нс  макс. – 338 нс |
| Длительность фронта импульса при Uп=+5В | тип. – 200 нс  макс. – 270 нс |

Для построения генератора счетных импульсов будет использована микросхема К1561ЛН4 (рисунок 27), которая представляет собой шесть логических элементов НЕ. Зарубежным аналогом данной микросхемы является микросхема CD4069.

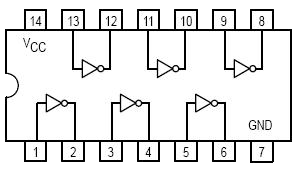


Рисунок 27– Структура и цоколевка микросхемы CD4069

Основные технические параметры микросхемы CD4069 представлены в таблице 7[19].

Таблица 7 –Основные параметры микросхемы CD4069

|  |  |
| --- | --- |
| Предельные значения параметров | |
| Напряжение питания Uп | +3В...+20,5В |
| Входное напряжение | +2,5В...+20,5В |
| Максимальный входной ток | 10 мА |
| Мощность рассеяния на один корпус | 500 мВт |
| Диапазон рабочих температур | -40°С...+85°С |
| Электрические параметры | |
| Выходное напряжение лог. "0" | < 0,05В |
| Выходное напряжение лог. "1" | >Uп-0,05В |
| Входной ток при Uп=+20В | -0,1 мкА |
| Максимальный ток потребления в состоянии покоя при Uп=+20В | 0,5 мкА |
| Выходной ток при Uп=+5В/+10В/+15В | 0,53/1,4/3,5 мА |
| Временные и частотные параметры | |
| Время задержки фронта импульса от входа до выхода при Uп=+5В | макс. – 110 нс |

В качестве счетчика была выбрана микросхема K561ИЕ22. Она представляет собой трёхдекадный счётчик, который включает в себя три двоично-десятичных счётчика соединённых между собой последовательно-параллельно (рисунок 28).

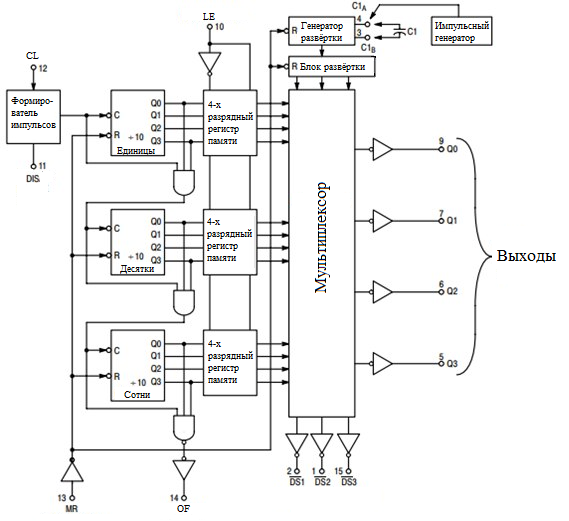


Рисунок 28– Структура микросхемы K561ИЕ22 (CD4553)

Данный счетчик начинает работу по спаду тактового импульса, поступающего на вход CL(Clock). При наличии логической «1» на входе разрешения такта DIS (Disable) тактовые импульсы на счётчик не поступают, и на выходе остаётся предыдущее состояние. Выходные импульсы каждого счётчика поступают в соответствующие 4-х разрядные регистры памяти для запоминания результатов счета. По фронту сигнала на входе записи LE (Latch Enable) в каждом регистре памяти запоминается состояние своей декады, а на входах регистров происходит накопление счёта.

Если на входе LE была логическая «1» в течение и после циклов сброса, информация из регистров памяти восстанавливается на выходах Q0-Q3 при подаче на вход начальной установки MR (Master Reset) логического «0». MR=1 переводит информационные выходы Q0-Q3 и выход сигнала переполнения QF на низкий уровень, а выходы выбора декад DS1-DS3 и выход генератора C1B на высокий уровень.

В счетчике есть мультиплексор, на вход которого подается информация с регистров памяти всех декад. Мультиплексор последовательно друг за другом с определенной частотой, которую можно изменять, выводит на информационные выходы Q0-Q3 код соответственно первой, второй и третьей декады. При этом на одном из выходов DS1-DS3 появляется соответствующий сигнал низкого уровня, указывающий на ту декаду, которая выводится.

Зарубежным аналогом данной микросхемы является микросхема CD4553 (рисунок 29). В таблице 8 представлены ее основные технические параметры [20].

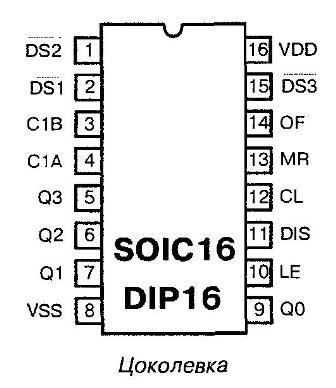


Рисунок 29–Цоколевка микросхемы CD4553

Таблица 8–Основные параметры микросхемы CD4553

|  |  |
| --- | --- |
| Предельные значения параметров | |
| Напряжение питания Uп | +3В...+18В |
| Входное напряжение | +2,5В...+18,5В |
| Мощность рассеяния на один корпус | 500 мВт |
| Диапазон рабочих температур | -55°С...+125°С |
| Электрические параметры | |
| Выходное напряжение лог. "0" | < 0,05В |
| Выходное напряжение лог. "1" | >Uп-0,05В |
| Входной ток | -0,1 мкА |
| Максимальный ток потребления в состоянии покоя при Uп=+5В/+10В/+15В | 5/10/20 мкА |
| Выходной ток при Uп=+5В/+10В/+15В | 0,88/2,25/8,8 мА |
| Временные и частотные параметры | |
| Время задержки фронта импульса от входа до выхода при Uп=+5В/+10В/+15В | тип. - 900/500/200 нс  макс. – 1800/1000/400 нс |
| Длительность фронта и спада импульса Uп=+5В/+10В/+15В | тип. - 100/50/40 нс  макс. – 200/100/80 нс |

В качестве дешифратора сигналов с микросхемы счетчика была выбрана микросхема К561ИК2. Она представляет собой регистр хранения с дешифратором двоично-десятичного кода в 7-сегментый. Зарубежным аналогом данной микросхемы является микросхема CD4511 (рисунок 30). Она имеет мощный выход (до 25мА), предназначенный для управления индикаторами (рисунок 31 и 32)различных типов. Двоично-десятичный код подается на входы A-B-C-D микросхемы CD4511. Загрузка данных в регистр происходит при низком уровне на стробирующем входе  LE, при высоком уровне на этом входе в регистре (и на подключенном индикаторе) сохраняется предыдущее состояние. Микросхема снабжена входом гашения BL и входом теста индикатора (зажигания всех сегментов). Активные уровни на входах управления низкие (рисунок 33).В таблице 9 расписаны назначения выводов данной микросхемы, а в таблице 10– ее технические параметры[21].

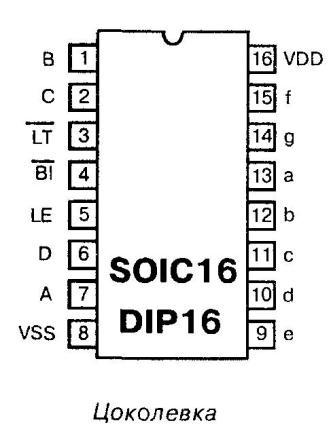


Рисунок 30–Цоколевка микросхемы CD4511

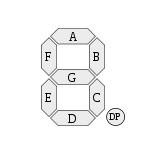


Рисунок 31– Расположение сегментов индикатора

Таблица 9– Назначение выводов микросхемы CD4511(К561ИК2)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Вход B | 9 | сегмент "е" |
| Вход C | 10 | сегмент "d" |
| Тест индикатора | 11 | сегмент "c" |
| Гашение | 12 | сегмент "b" |
| Разрешение загрузки | 13 | сегмент "a" |
| Вход D | 14 | сегмент "g" |
| Вход A | 15 | сегмент "f" |
| Общий | 16 | + Питание |

http://tec.org.ru/_bd/16/64589877.gif

Рисунок 32– Отображаемые 7-сегментным индикатором символы

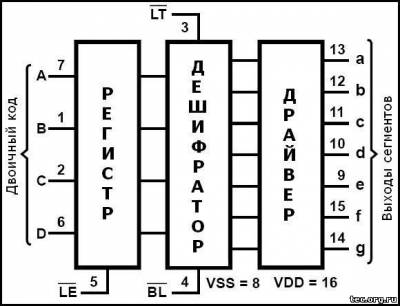


Рисунок 33– Структура микросхемы CD4511 (К561ИК2)

Таблица 10– Основные параметры микросхемы CD4511

|  |  |
| --- | --- |
| Предельные значения параметров | |
| Напряжение питания Uп | +3В...+18В |
| Входное напряжение | +2,5В...+18,5В |
| Мощность рассеяния на один корпус | 700 мВт |
| Диапазон рабочих температур | -40°С...+85°С |
| Электрические параметры | |
| Выходное напряжение лог. "0" | <0,05В |
| Выходное напряжение лог. "1" | >Uп-0,05В |
| Входной ток | 0,3 мкА |
| Максимальный ток потребления в состоянии покоя при Uп=+5В/+10В/+15В | 20/40/80 мкА |
| Временные и частотные параметры | |
| Время нарастания фронта импульса на выходе при Uп=+5В/+10В/+15В | тип. - 40/30/25 нс  макс. – 80/60/50 нс |
| Время задержки включения при Uп=+5В/+10В/+15В | тип. - 320/130/100 нс  макс. – 640/260/200 нс |

Результат измерения будем отображать на трех светодиодных семисегментных индикаторах (рисунок 34). Управление каждым индикатором со стороны катода осуществляется с помощью трёх инверсных выходов DS (Digit Select) двоично-десятичного счётчика, которые отвечают за разряд числа (единицы, десятки, сотни соответственно). Поэтому в качестве индикатора должен использоваться тот, у которого общий тип катода. Кроме того, транзистор для управления должен быть типа PNP .

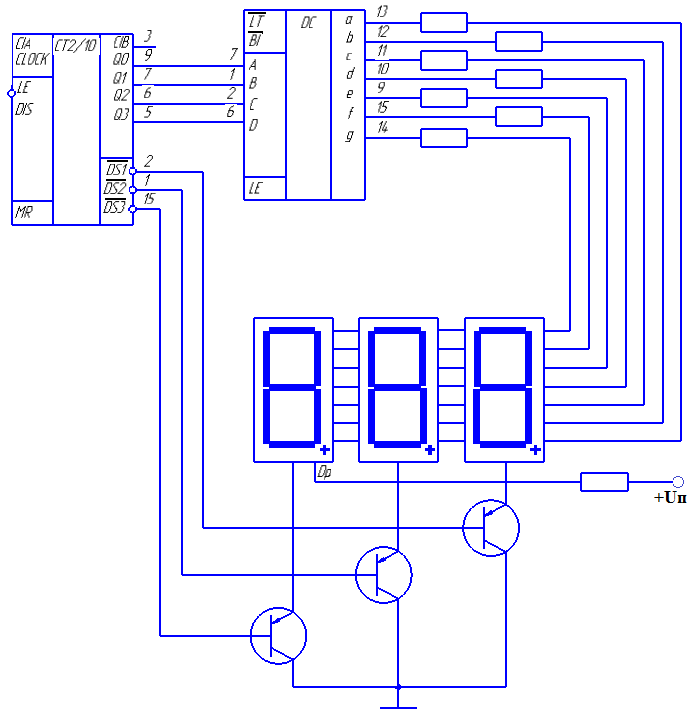


Рисунок 34 – Индикация результатов

Учитывая выбранные элементы и разработанную структуру, соберём схему электрическую принципиальную приёмного модуля ультразвукового импульсного измерителя дальности и составим перечень элементов к ней. Итог данного раздела представлен в приложении 1 [1,2,8].

## 3.4 Расчётная часть

### 3.4.1 Расчёт надёжности

Согласно ГОСТ 27002-83, под надежностью радиоэлектронной аппаратуры принято понимать ее способность выполнять свои функции в установленных режимах и при нормальных условиях применения.

При расчёте показателей надёжности будем считать, что отказ любого элемента схемы ведёт к отказу схемы в целом и что схема является невосстанавливаемой. Воспользуемся следующим алгоритмом расчёта надёжности:

1. выписываются все элементы, входящие в состав схемы;
2. для всех элементов по справочнику определяется интенсивность отказов *i*;
3. считается суммарная интенсивность отказов:

(19)

где ni – число элементов в i-й группе, – интенсивность отказов элемента в i-й группе, l- число групп [22,23].

Результаты расчётов по вышеуказанному алгоритму сведены в таблицу 11.

Суммарная интенсивность отказов блока:

1/час

Среднее время работы схемы до отказа определяется соотношением:

часов

Таблица 11– Расчёт интенсивности отказа

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Группа элементов | Количество элементов *ni* | Интенсивность отказа элементов  [ч-1] |  |
| Транзисторы | 3 | 0,0017 | 0,0051 |
| Диоды Шоттки | 2 | 0,039 | 0,078 |
| Конденсатор электролитический | 1 | 0,016 | 0,016 |
| Конденсатор керамический | 12 | 0,034 | 0,408 |
| Полупроводниковые диоды | 3 | 0,049 | 0,147 |
| Резистор переменный | 2 | 0,36 | 0,72 |
| Резистор плёночный | 22 | 0,013 | 0,286 |
| Контакты разъемов | 4 | 0,055 | 0,22 |
| ИМС | 6 | 0,027 | 0,162 |
| Индикаторы | 3 | 0,045 | 0,135 |
| Ручная пайка | 194 | 0,00014 | 0,0272 |

Вероятность безотказной работы за 10000 часов составила:

Как видно из расчётов, проектируемое устройство имеет высокие характеристики надёжности и длительный срок службы. Это связано с тем, что использованы простые элементы, имеющие высокую надежность и длительный срок эксплуатации.

### 3.4.2 Расчёт потребляемой мощности

Наиболее важный технический показатель любого электрического оборудования является, безусловно, его потребляемая мощность, которая измеряется в ваттах. Она зависит от того, сколько микросхем присутствует в схеме, какой они потребляют ток и какое используется напряжение питания для их работы. Кроме того, разделяют статическую и динамическую мощности потребления, т.е. мощность, потребляемую в пассивном состоянии и при переключениях соответственно.

Для расчёта статической потребляемой мощности всей схемы используется формула:

(20)

где – суммарный ток потребления всех микросхем в статическом режиме, Uп – напряжение питания.

Для расчёта динамической потребляемой мощности можно воспользоваться формулой [24]:

Соответственно она возрастает прямо пропорционально частоте и квадрату напряжения источника питания. Кроме того, данная мощность возрастает с увеличением емкости нагрузки системы.

Учитывая, что частоты переключения во всех блоках приемного модуля дальномера не превышают 100 кГц, то динамическая мощность потребления отдельных микросхем будет сопоставима с максимальной статической.

В таблице 12 приведены все микросхемы из структуры устройства и потребляемый ими ток.

Таблица 12–Потребляемые токи микросхем

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № | Название микросхемы | Макс. потребляемый ток |
| 1 | NJM4580D | 9 мА |
| 2 | LM358N | 3 мА |
| 3 | CD4011 | 0,5 мкА(в статике) |
| 4 | CD4069 | 0,5 мкА (в статике) |
| 5 | CD4553 | 10 мкА (в статике) |
| 6 | CD4511 | 40 мкА (в статике) |

Анализируя значения токов, видно, что наибольший вклад в суммарный потребляемый ток всей схемой будут вносить только две микросхемы ОУ, поэтому всеми оставшимися токами можно пренебречь.

Суммарный потребляемый ток всех микросхем составит не более:

Соответственно полная потребляемая мощность не превысит:

Исходя из полученных данных, можем рассчитать время Тисп, которое сможет работать схема от перезаряжаемого аккумулятора ёмкостью 2000мАч.

Для этого нужно поделить ёмкость батареи на потребляемый модулем ток в мА:

Таким образом, схема без перерыва может работать 167 часов (7 дней) без замены аккумулятора, который можно будет зарядить за пару часов с помощью специального зарядного устройства, обычно продающегося вместе с ним в комплекте. Перезаряжать аккумулятор в среднем можно 100 раз, что обеспечивает 16700 часов работы от одного источника питания.

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результатом работы стала конструкторская документация на изделие «Приёмный модуль импульсного ультразвукового измерителя дальности с индикацией результатов изменений», включающая в себя схему электрическую принципиальную Э3 и перечень элементов ПЭ3. Все характеристики разработанного измерителя соответствуют техническим требованиям задания, а именно:

* питание модуля производится от источника напряжения +9В;
* потребляемый ток не превышает 100мА (равен 12мА);
* был выбран датчик, работающий в диапазоне 0,2-3м;
* точность оценки дальности составляет менее 5 см;
* у всех элементов схемы рабочий диапазон температур шире, заявленного по заданию от 0°C до +40°C.

Работа над проектированием устройства состояла из нескольких этапов. Сначала была рассмотрена теория, описывающая различные методы измерения дальности, и на основе импульсного метода был обоснован принцип работы разрабатываемого дальномера. Затем были составлены обобщенная структура дальномера и структура его приемного модуля, после чего был произведён выбор элементной базы для необходимых частей. Далее, основываясь на выборе и произведенных расчетах номиналов компонентов, была собрана электрическая принципиальная схема и перечень элементов к ней.

# СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Зорин А.Ю. Условные графические обозначения на электрических схемах / под ред. А.И.Питолина.- М.: Издательский дом МЭИ, 2007.- 74 с.
2. С.В. Якубовский, Л.И. Ниссельсон, В.И. Кулешова и др. Цифровые и аналоговые интегральные микросхемы: Справочник; Под ред.С.В. Якубовского.-М.:Радио и связь,1990.- 496 с.
3. Колесников.А.Е. Ультразвуковые измерения[Текст]/А.Е.Колесников. –М: Издательство стандартов, 1970. – 236с.
4. Устройства и элементы систем автоматического регулирования и управления. Техническая кибернетика. Книга 1. Измерительные устройства, преобразующие элементы и устройства. Колл.авторов. Под.ред. засл. деятеля науки и техники РСФСР, д-ра техн. наук проф. В. В. Солодовникова. М., изд-во «Машиностроение», 1973, 671 с.
5. Белоцерковский Г.Б. Основы радиолокации и радиолокационные устройства.- М.: Сов. Радио, 1975.- 336 с.
6. П.А.Бакулев. Радиолокационные системы. Учебник для вузов / П.А.Бакулев.- М: Радиотехника, 2007.-375с.
7. Григорин-Рябов В.В. (ред.) Радиолокационные устройства (теория и принципы построения).- М.: Сов.радио, 1970. - 680 с.
8. 220 Вольт / Дальномер ультразвуковой SKIL 0520 AD [Электронный ресурс].URL: <https://cdnmedia.220-volt.ru/f/a0/ru/docs/178/178642.pdf>.Дата обращения 03.03.18. Формат доступа: свободный.
9. Все инструменты /Ультразвуковой дальномер Stanley INTELLIMEASURE 0-77-018 [Электронный ресурс]. URL: <http://spb.vseinstrumenti.ru/instruction/stanley-intellimeasure-0-77-018-765409.pdf>.Дата обращения 03.03.18. Формат доступа: свободный.
10. ГЕО-НДТ / Ультразвуковой дальномер СР 3009 [Электронный ресурс].URL: <https://www.geo-ndt.ru/pribor-9769-yltrazvykovoi-dalnomer-sr-3009.htm> .Дата обращения 03.03.18. Формат доступа: свободный.
11. Maxbotix / LV-MaxSonar-EZ1 [Электронный ресурс].URL: <https://www.maxbotix.com/Ultrasonic_Sensors/MB1010.htm> .Дата обращения 05.03.18. Формат доступа: свободный.
12. Амперка / Ультразвуковой дальномер HC-SR04 [Электронный ресурс]. URL: <http://amperka.ru/product/hc-sr04-ultrasonic-sensor-distance-module> .Дата обращения 05.03.18. Формат доступа: свободный.
13. Symmetron / Ультразвуковые датчики Murata, Пьезокерамические серии МА40 [Электронный ресурс].URL:<http://www.symmetron.ru/suppliers/sensors/ultrasonic.shtml> .Дата обращения 06.03.18. Формат доступа: свободный.
14. Alldatasheet /NJM4580 Datasheet (PDF) - NewJapanRadio[Электронный ресурс].URL:<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/7451/NJRC/NJM4580.html> Дата обращения 06.03.18. Формат доступа: свободный.
15. Alldatasheet / LM258NDatasheet (PDF) - Motorola, Inc[Электронный ресурс].URL:<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/3071/MOTOROLA/LM258N.html> Дата обращения 06.03.18. Формат доступа: свободный.
16. Microshemca/ Микросхема 4011 [Электронный ресурс].URL:<http://www.microshemca.ru/4011/> Дата обращения 06.03.18. Формат доступа: свободный.
17. Microshemca/ Микросхема 4069 [Электронный ресурс].URL:<http://www.microshemca.ru/4069/> Дата обращения 06.03.18. Формат доступа: свободный.
18. Microshemca/ Микросхема 4553 [Электронный ресурс].URL:<http://www.microshemca.ru/4553/> Дата обращения 10.03.18. Формат доступа: свободный.
19. Microshemca/ Микросхема 4511 [Электронный ресурс].URL:<http://www.microshemca.ru/4511/> Дата обращения 10.03.18. Формат доступа: свободный.
20. Сорокин, А.А. Оценка показателей надежности электронных устройств и систем: учебное пособие. Изд. 3-е, испр. и доп. / А.А. Сорокин, Н.В. Сотникова, Д.А. Хромихин; Балт. гос. техн. ун-т. – СПб., 2016. – 108 с.
21. ГОСТ 27.202-83 Надежность в технике. Технологические системы. Методы оценки надежности по параметрам качества изготовляемой продукции. Введ. 01.07.84.-36.
22. <https://www.rlocman.ru/shem/schematics.html?di=48945>

Микросхемы КМОП — идеальное семейство логических схем

# ПРИЛОЖЕНИЕ 1. КОНСТРУКТОРСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ