

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения
(наименования института полностью)

Кафедра «Промышленная электроника»
(наименование)

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Интеллектуальные энергетические системы
(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему ПЕРЕДАЧА ЗВУКА ПО ЛАЗЕРНОМУ КАНАЛУ

Студент

К.М. Мусоев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

д.т.н., проф. В.П. Певчев

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2021

Аннотация

Объем 43 с., 23 рис., 5 табл., 27 источников
ПЕРЕДАЧА ЗВУКА, СВЯЗЬ ПО ЛАЗЕРУ

Объектом исследования является устройство передачи звуковой информации по лазерному каналу.

Цель работы: разработка устройства передачи звука по оптическому (лазерному) каналу.

Задачи работы:

1. Обзор состояния вопроса
2. Анализ исходных данных и существующих решений
3. Разработка передатчика сигнала
4. Разработка приемника сигнала
5. Разработка усилителя звукового сигнала
6. Математическое моделирование

Данные задачи решены в 2 главах работы.

Степень внедрения: теоретически рассчитаны параметры системы, разработаны схемы и выбраны элементы, произведено математическое моделирование.

В данной работе происходит разработка устройства передачи звукового сигнала (голоса) по лазерному каналу. Устройство может быть применено в случае сильных электромагнитных помех или с целью затруднения перехвата передаваемой информации посторонними. Необходимым условием для организации передачи является прямая видимость.

Областью применения являются системы передачи голосовой информации.

Актуальность разрабатываемой системы обуславливается возможностью работы системы в условиях сильных электромагнитных помех.

Abstract

The title of the graduation work is «Sound transmission via laser channel».

The senior paper consists of an introduction, 2 parts, a conclusion, 8 picture, 5 tables, list of references including 6 foreign sources and the graphic part on 6 A1 sheets.

The object of research is device for transmitting sound information via a laser channel.

The aim of the work is to develop a device for transmitting sound through an optical (laser) channel.

The tasks of the work are

1. Overview of the issue status
2. Analysis of source data and existing solutions
3. Development of a signal transmitter
4. Development of the signal receiver
5. Development of an audio signal amplifier
6. Mathematical modeling

Degree of implementation: the system parameters are theoretically calculated, schemes are developed and elements are selected, and mathematical modeling is performed.

The scope of this work is voice information transmission systems.

The relevance of the developed system is determined by the possibility of operating the system in conditions of strong electromagnetic interference.

The work is of interest for narrow circle of readers.

Содержание

Введение.....	5
1 Состояние вопроса	6
1.1 формулировка актуальности, цели и задач работы.....	6
1.2. Анализ исходных данных и существующих решений	7
2 Разработка устройства.....	8
2.1 разработка интерфейса передачи.....	9
2.2 разработка передатчика сигнала	15
2.3 разработка приемника сигнала.....	28
2.4. Математическое моделирование.....	32
2.5. Разработка усилителя звукового сигнала.....	36
Заключение	40
Список используемой литературы	41

Введение

Оптическое устройство передачи звуковой информации это один из способов использования света в беспроводных коммуникациях, предназначенное для передачи звуковой информации в реальном времени.

Применение света в беспроводных коммуникациях в пределах помещения более оправдано, чем радиоволн. Такие решения обеспечивают быструю и безопасную передачу данных с полосой пропускания шире, чем в случае с радиосвязью. Кроме того, такой вид связи может применяться в местах с ограничениями на применение радиокommunikаций, как больницы, самолеты и производственные помещения.

Помимо традиционных способов передачи звуковой информации по радио или проводам существует возможность передачи по оптическому каналу. Мною выбрана передача с помощью лазера, более дальнбойного по сравнению со светодиодами и не требующее проведения оптоволокну. Передачу по лазеру сложнее перехватить по сравнению с радиосигналом и не требуется проведения проводов. Из недостатков – необходимость прямой видимости между приемником и передатчиком.

Устройство состоит из передатчика и приемника сигнала.

1 Состояние вопроса

1.1 формулировка актуальности, цели и задач работы

Целью данной работы является разработка устройства передачи звука по оптическому (лазерному) каналу.

Задачи работы

1. Обзор состояния вопроса
2. Анализ исходных данных и существующих решений
3. Разработка передатчика сигнала
4. Разработка приемника сигнала
5. Разработка усилителя звукового сигнала
6. Математическое моделирование

Задача передачи информации (в том числе и звуковой) является актуальной. Чаще всего она решается посредством проводного соединения, по радиоканалу или оптическим способом (оптоволокну или луч лазера) [13]. Каждый из этих способов имеет свои достоинства и недостатки. В данной работе рассматривается передача информации по лазерному каналу.

1.2. Анализ исходных данных и существующих решений

В качестве питания предполагается использовать последовательно составленные гальванические элементы, номинал источника составляет 15В. Решено не использовать трансформаторы для упрощения работы [19,26].

В качестве источника питания разрабатываемого устройства предполагается использовать гальванический элемент 3336 (также 3R12), выходное напряжение которого 4,5 В, в количестве трех штук, получаемый источник 13,5 В; либо гальванический элемент АА (также: R6, 316, А316, Mignon) выходное напряжение которого 1,5 В, в количестве десяти штук, получаемый источник 15 В.

Сигнал на входе передающего устройства: звуковой, воспроизводимый человеком. Предполагается использовать микрофон, для снятия сигнала из среды. Сигнал на выходе принимающего устройства: звуковой, воспринимаемый человеческим ухом. В качестве воспроизводимого диапазона частот задались промежутком от 100 Гц до 10 кГц.

Способ передачи сигнала: оптический. В качестве источника светового сигнала, предполагается использовать маломощный лазер. В качестве приемника светового сигнала, предполагается использовать фотодиод.

Для передачи звуковой информации широко применяется радиоканал и проводные системы.

Разрабатываемое устройство будет обладать достоинствами:

1. Самодостаточность.
2. Отсутствие проводов.
3. Защищенность канала.
4. Отсутствие заполнения радио эфира, что позволяет применять в больницах, самолетах и производственных помещениях.
5. Не нужно приобретать лицензию на радио частоту.
6. Отсутствие абонентских платежей.

2 Разработка устройства

Для получения представления о работе устройства и его составе приведем блок - схему Рисунок 1 – блок схема работы разрабатываемого устройства.

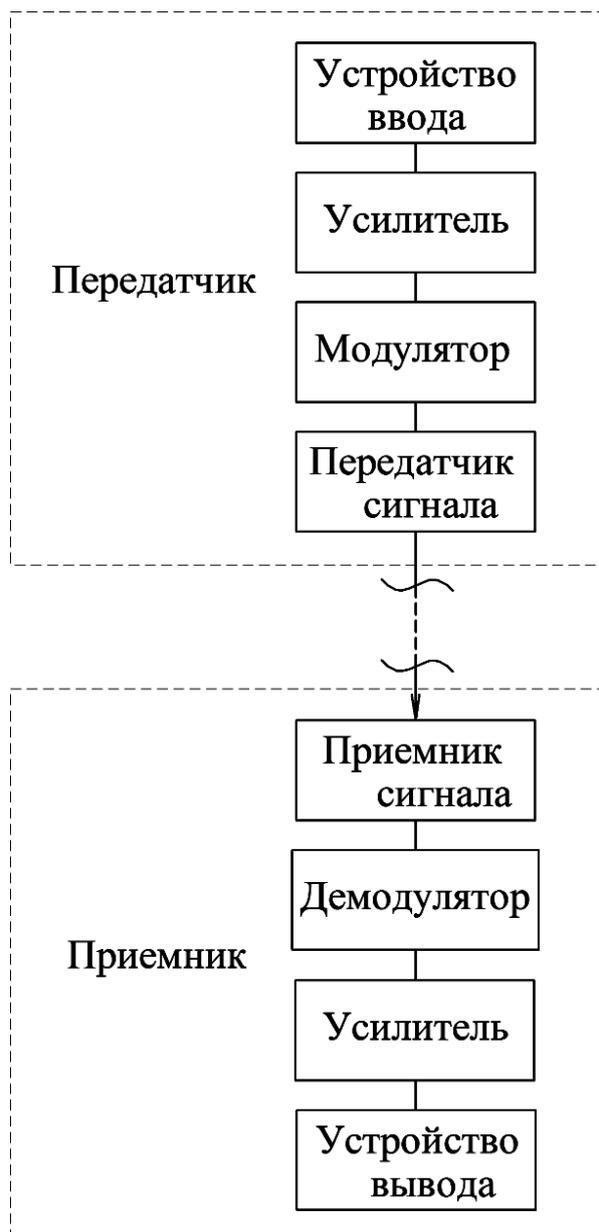


Рисунок 1 – блок - схема работы разрабатываемого устройства

2.1 разработка интерфейса передачи

Для передачи исходного сигнала на расстояние его необходимо преобразовать в несущий сигнал, который может быть передан. Такая процедура называется модуляцией. Существуют различные виды модуляции. Рассмотрим их.

Виды модуляции:

Амплитудная модуляция

В амплитудной модуляции (рис. 2) модулируемый сигнал модулируется амплитудой несущего сигнала. При этом частота несущего сигнала должна быть в 2 и более раз больше частоты наибольшей гармоники модулируемого сигнала (рис. 3).

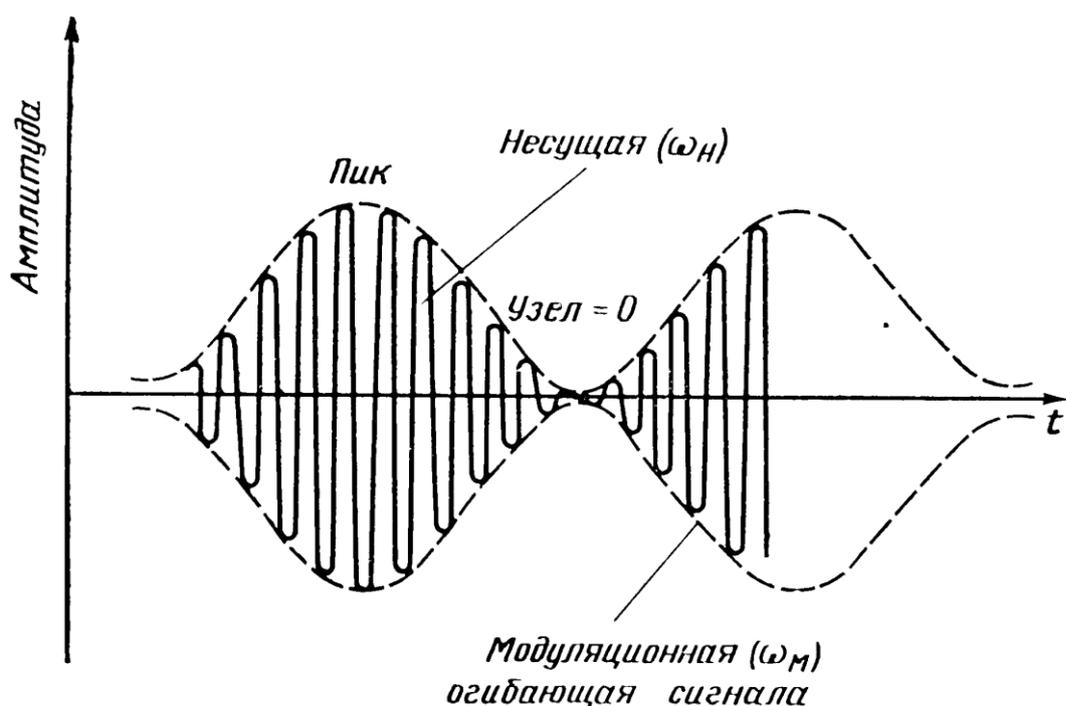


Рисунок 2 – Амплитудная модуляция форма сигнала.

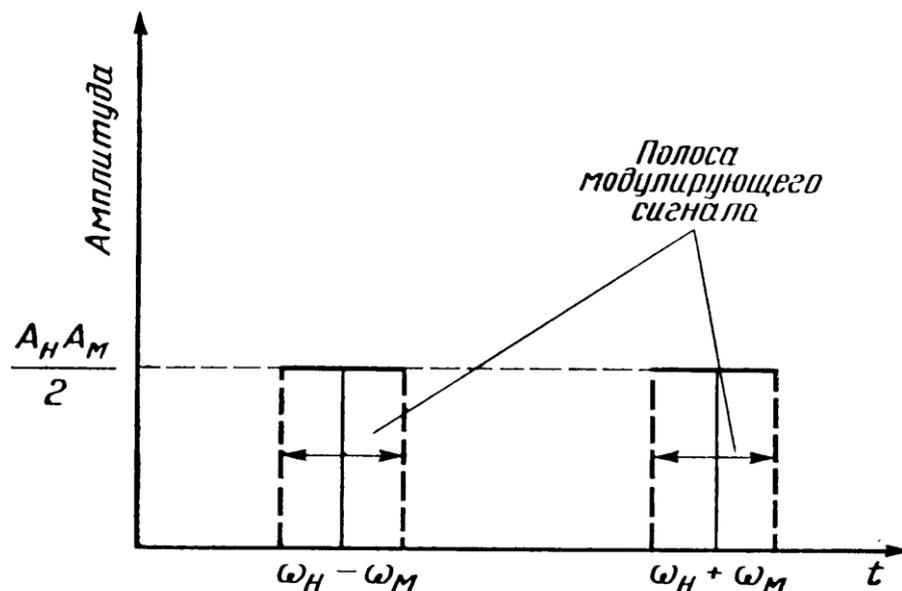


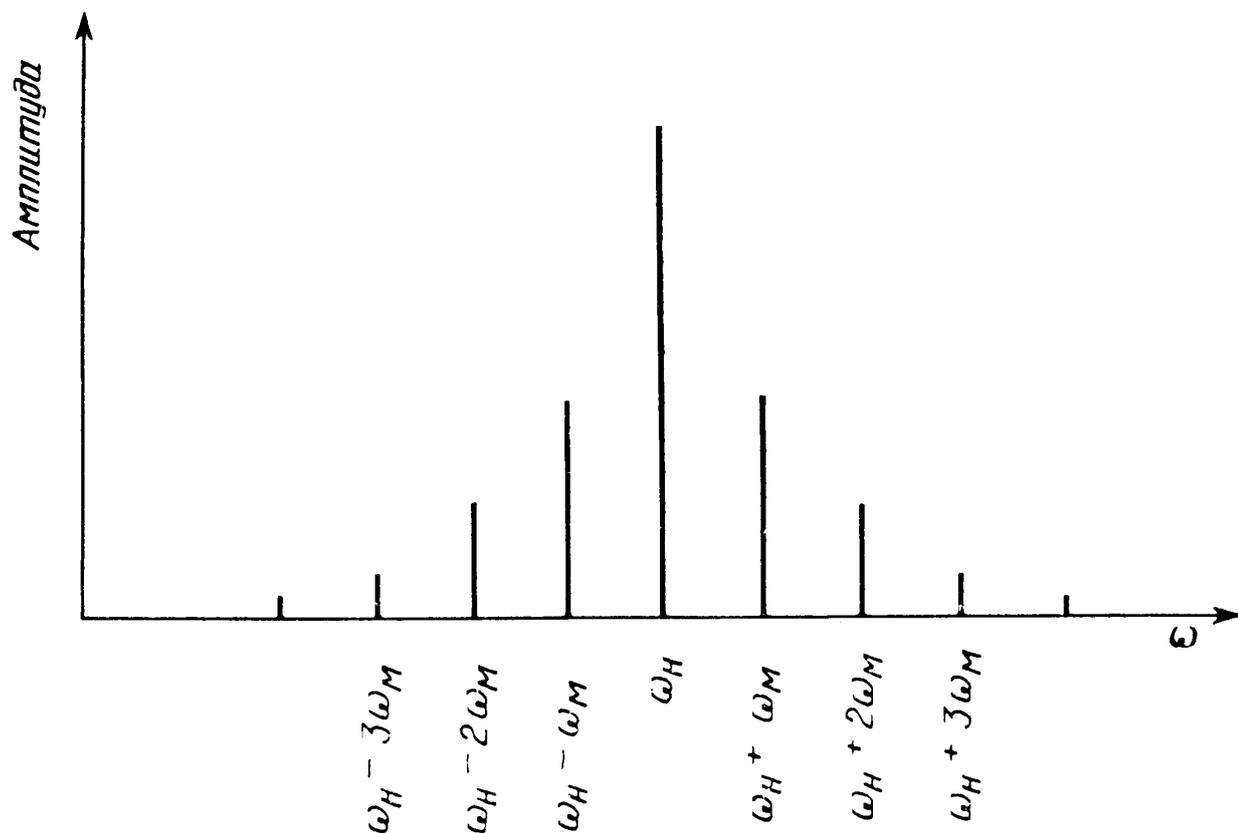
Рисунок 3 – Амплитудная модуляция ($\omega_M \ll \omega_H$) спектр частот.

Частотная модуляция, фазовая модуляция.

В методе частотной модуляции (ЧМ) амплитуда модулирующего сигнала управляет мгновенной частотой несущей. Идеальная ЧМ не вносит изменений в амплитуду несущей. [1].

«Может быть показано, что ЧМ – колебания состоят из несущей и боковых полос аналогично АМ с одним лишь существенным различием: при ЧМ существует множество боковых полос Рисунок 4. Амплитуды боковых полос связаны весьма сложным образом с индексом модуляции. Отметим, что частоты боковых полос связаны лишь с частотой модулирующего сигнала ω_M , а не с девиацией частоты $\Delta\omega_H$.

Частотная модуляция требует значительной ширины полосы частот и, как следствие, используется только при несущих с частотами 100 МГц и выше.»[1]



ω_H - несущая частота; ω_M - частота модуляции.

Рисунок 4 – Боковые полосы ЧМ.

Импульсная модуляция (ИМ)

«Импульсная модуляция (ИМ) не является в действительности каким - то особым типом модуляции. Этот термин характеризует скорее вид модулирующего сигнала. Далее различают импульсную амплитудную и импульсную частотную модуляции. Можно рассматривать в качестве модулируемой величины амплитуду импульса, или его ширину, или его положение в последовательности импульсов и т. д. Следовательно, существует большое разнообразие методов импульсной модуляции. Все они используют в качестве формы передачи или АМ, или ЧМ (рис. 5)» [1].

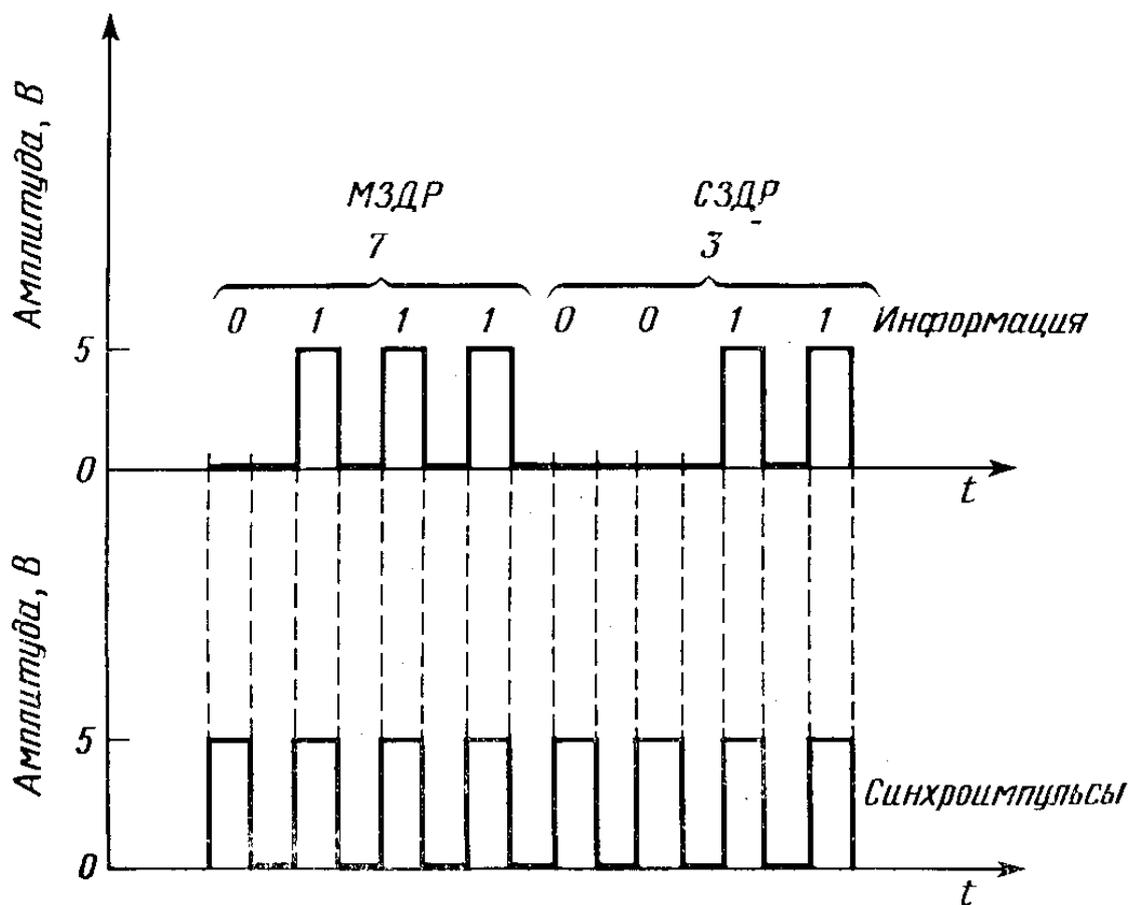


Рисунок 5 Последовательность импульсов, отображающих число 37 в двоично - десятичном коде (младший значащий разряд первый).

«При использовании импульсных методов для передачи аналоговых сигналов необходимо сначала преобразовать аналоговые данные в импульсную форму. Это преобразование также относится к модуляции, так как аналоговые данные используются для модулирования (изменения) последовательности импульсов или импульсной поднесущей. На рисунок 6 показана модуляция синусоидальным сигналом амплитуд последовательности импульсов.»[1]

Импульсные методы чаще всего реализуются с помощью микроконтроллеров [22, 23, 27, 2, 3, 5, 20].

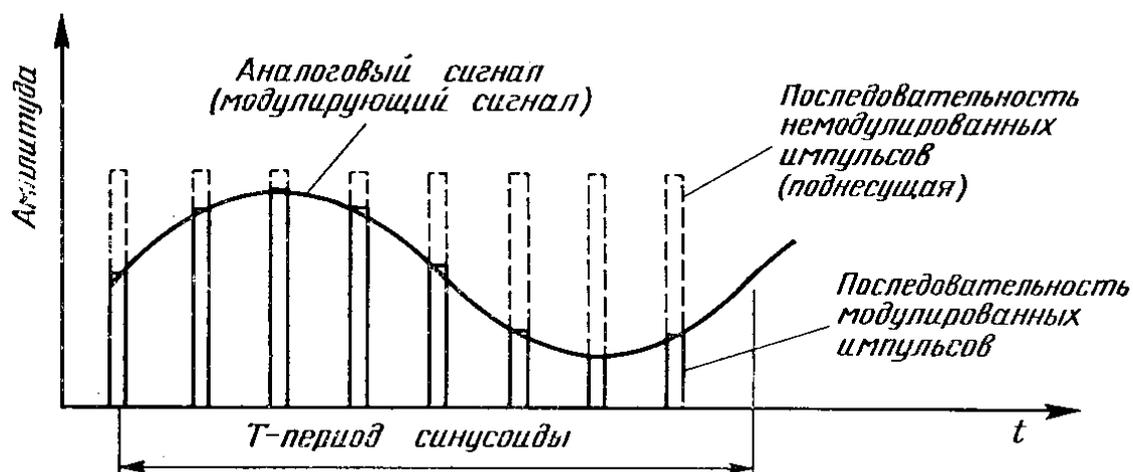


Рисунок 6 Форма сигналов амплитудно - импульсной модуляции.
Форма модулированного сигнала.

На рисунке 7 графически показан процесс восстановления первоначального сигнала путем соединения вершин импульсов прямыми линиями.

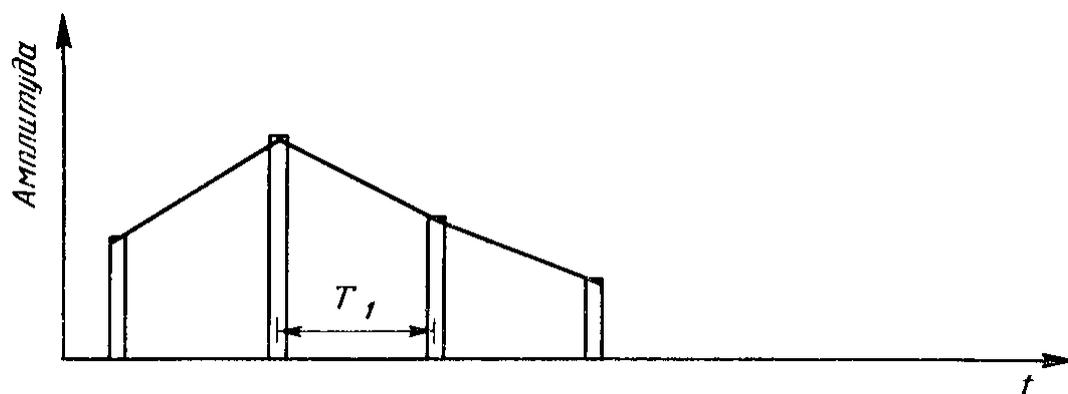


Рисунок 7 Форма сигналов амплитудно - импульсной модуляции.

Воспроизведенная форма сигнала при низкой частоте следования импульсов, T_1 — период последовательности импульсов.

Рисунок 8. Этот процесс амплитудно - импульсной модуляции (АИМ), относящийся к модуляции поднесущей последовательности импульсов

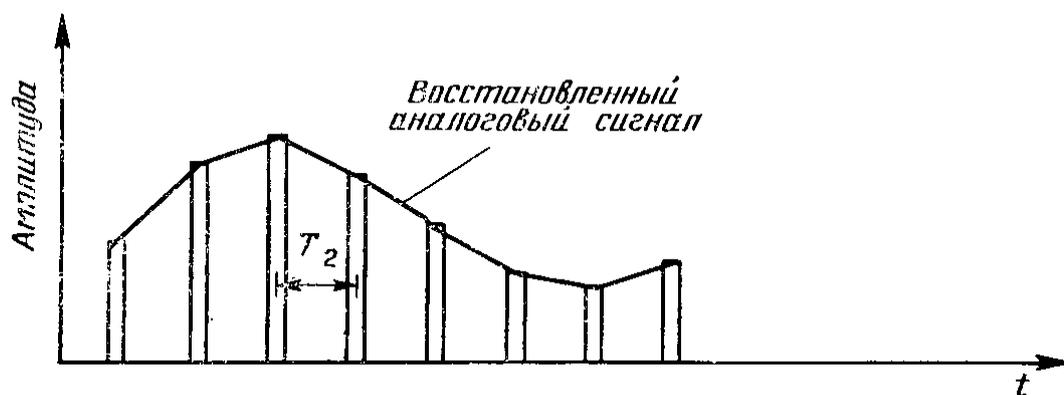


Рисунок 8 Форма сигналов амплитудно - импульсной модуляции. Воспроизведенная форма сигнала при высокой частоте следования импульсов, T_2 — период последовательности импульсов

АИМ является только одним типом импульсной модуляции. Кроме него существуют:

ШИМ — широтно - импульсная модуляция (модуляция импульсов по длительности);

ЧИМ — частотно - импульсная модуляция;

КИМ — кодово - импульсная модуляция.

«Широтно - импульсная модуляция преобразует уровни выборок напряжений в серии импульсов, длительность которых прямо пропорциональна амплитуде напряжений выборок Рисунок 9. Отметим, что амплитуда этих импульсов постоянна; в соответствии с модулирующим сигналом изменяется лишь длительность импульсов. Интервал выборки — интервал между импульсами — также фиксирован.»[1]

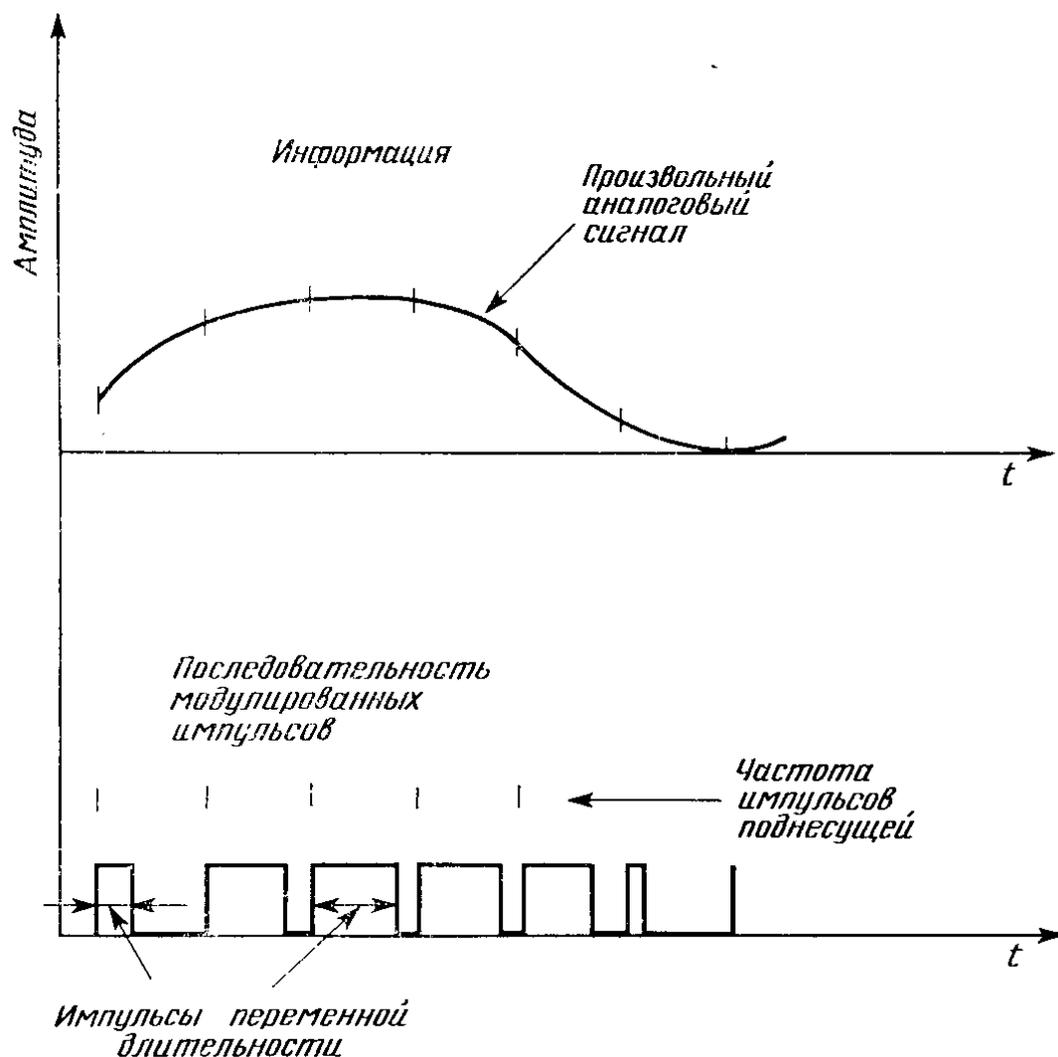


Рисунок 9 Широтно - импульсная модуляция.

При разработке устройства качестве используемого вида модуляции выбрали ШИМ (широтно - импульсная модуляция).

2.2 разработка передатчика сигнала

Передатчик сигнала состоит из устройства ввода, усилителя сигнала, поступившего с устройства ввода, модулятора усиленного сигнала и источника светового излучения Рисунок 10.

Расчет производили согласно [4, 17].

Элементы выбирали из онлайн магазинов [7, 8, 9]

В качестве устройства ввода выбрали микрофон:

BM1 - МКЭ - 3;

Характеристики микрофона указаны в таблице 1.

Таблица 1 – характеристики МКЭ - 3

Чувствительность (мВ)	Диапазон (Гц)	Питание (В)
4 - 20	50 – 15000	5

Микрофон подключили по схеме Рисунок 10

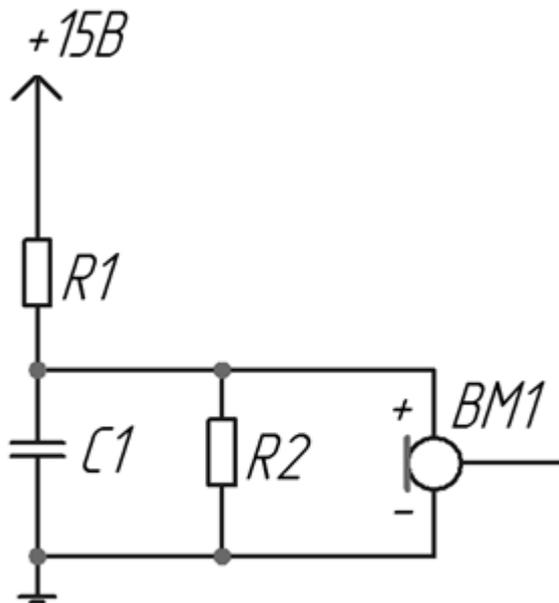


Рисунок 10 – Схема подключения микрофона МКЭ - 3.

Чтобы обеспечить микрофон питанием, организован делитель напряжения, позволяющий получить - одну третья напряжения питания передатчика, резисторами R1 и R2. Задаем их номиналы равными 10кОм и 5кОм соответственно.

Рассчитали напряжение питания, подаваемого на микрофон по формуле:

$$U_{R2} = \frac{U_n}{R1+R2} \cdot R2 = \frac{15В}{10 \cdot 10^3 \text{Ом} + 5 \cdot 10^3 \text{Ом}} \cdot 5 \cdot 10^3 \text{Ом} = 5В \quad (1)$$

где $U_{\text{п}}$ – напряжение питания передатчика, В.

Выбрали [18]:

R1 – МЛТ - 0,125 - 10к±10%;

R2 – МЛТ - 0,125 - 5к±10%;

Для стабилизации напряжения питания микрофона подобрали конденсатор [10]:

C1 – К10 - 17Б - Н90 - 0,068 мкФ;

Для усиления выходного сигнала микрофона используем схему усиления Рисунок 11.

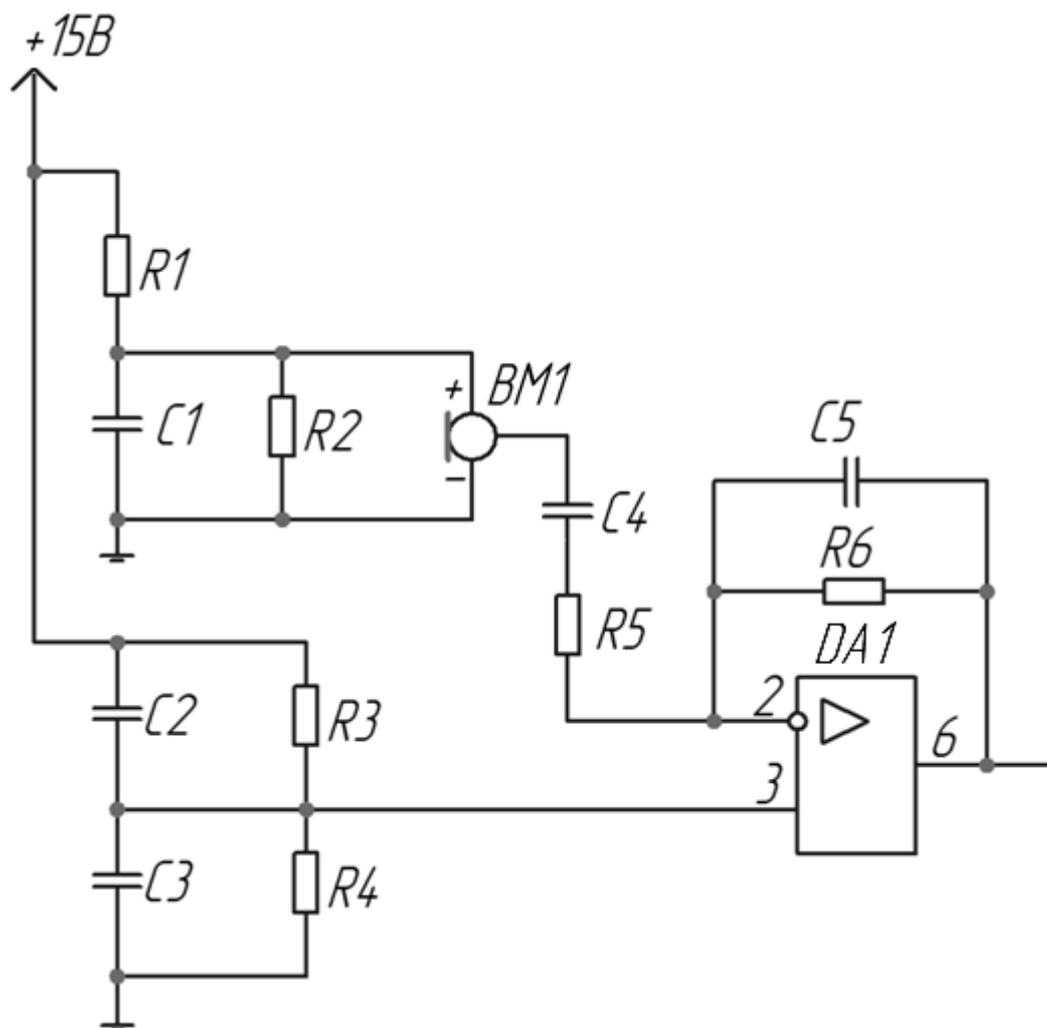


Рисунок 11 – Схема усиления сигнала микрофона.

В качестве усилителя выбрали операционный усилитель:

DA1 – КР140УД17.

КР140УД17 - прецизионный усилитель с малым напряжением смещения. Имеет внутреннюю частотную коррекцию. Обладает отличным сочетанием параметров входных напряжений и тока шума. Предназначен для применения в высокоточных измерительных цепях с большим коэффициентом усиления. [6].

Характеристики DA1 приведены в таблице 2

Таблица 2 – характеристики КР140УД17

Питание (В)	Максимальное выходное напряжение (В)	Коэффициент усиления напряжения	Частота единичного усиления
$\pm 15 \pm 10\%$	не менее ± 12	не менее 200000	не менее 0,4МГц

Задались значением R5 равным 5кОм, задались коэффициентом усиления Ku равным 30.

Сопротивление резистора R6 рассчитаем по формуле:

$$R6 = Ku \cdot R5 = 30 \cdot 5\text{кОм} = 150\text{кОм} \quad (2)$$

Выбрали:

R5 – МЛТ - 0,125 - 5к \pm 10%;

R6 – МЛТ - 0,125 - 150к \pm 10%;

Для фильтрации частот ниже 400Гц ставим конденсатор C4 и рассчитываем его по формуле:

$$C4 = \frac{1}{R5 \cdot f} = \frac{1}{5\text{кОм} \cdot 400\text{Гц}} = 0.5\text{мкФ} \quad (3)$$

где f – выбранный порог низкой частоты 400Гц.

Выбрали:

C4 – К10 - 17Б - Н90 - 0,47 мкФ;

Для фильтрации частот выше 20000Гц ставим конденсатор C5 и считываем его по формуле:

$$C5 = \frac{1}{R6 \cdot f} = \frac{1}{150\text{кОм} \cdot 20000\text{Гц}} = 332\text{пФ} \quad (4)$$

где f – выбранный порог высокой частоты 20000Гц.

Выбрали:

C5 – К10 - 17Б - М47 - 360пФ±5%;

Для усиления переменной составляющей сигнала с микрофона подключаем его выход последовательно через резистор R5 и конденсатор C5 на инвертирующий вход операционного усилителя DA1.

DA1 будет усиливать разность напряжений между инвертирующим входом, подключенным к микрофону, и не инвертирующего входа, подключенного к средней точке, образованной резисторами R3 и R4.

Выберем:

R3 – МЛТ - 0,125 - 10к±10%;

R4 – МЛТ - 0,125 - 10к±10%;

Для стабилизации напряжений на средней точке, параллельно резисторам R3 и R4 подключили конденсаторы C2 и C3 соответственно. Выбрали конденсаторы:

C2 – К10 - 17Б - Н90 - 0,068 мкФ;

C3 – К10 - 17Б - Н90 - 0,068 мкФ;

Для организации ШИМ, получения прямоугольных импульсов, длительность которых зависит от величины напряжения на выходе DA1, выбра-

ли схему генератора несущей частоты Рисунок 12. Схема построена на основе таймера: DA2 – LM555CN.

Внутреннее строение DA2 изображено внутри блока микросхемы.

Микросхема DA2 представляет собой таймер для формирования импульсов напряжения длительностью $T=f(R,C)$ (R и C - внешние времязадающие элементы) от нескольких микросекунд до десятков минут.

Предназначена для применения в стабильных датчиках времени, генераторах импульсов, широтно - импульсных, частотных и фазовых модуляторах, преобразователях напряжения и сигналов, ключевых схемах, исполнительных устройствах в системах управления, контроля и автоматики. Содержит 51 интегральный элемент. [25]

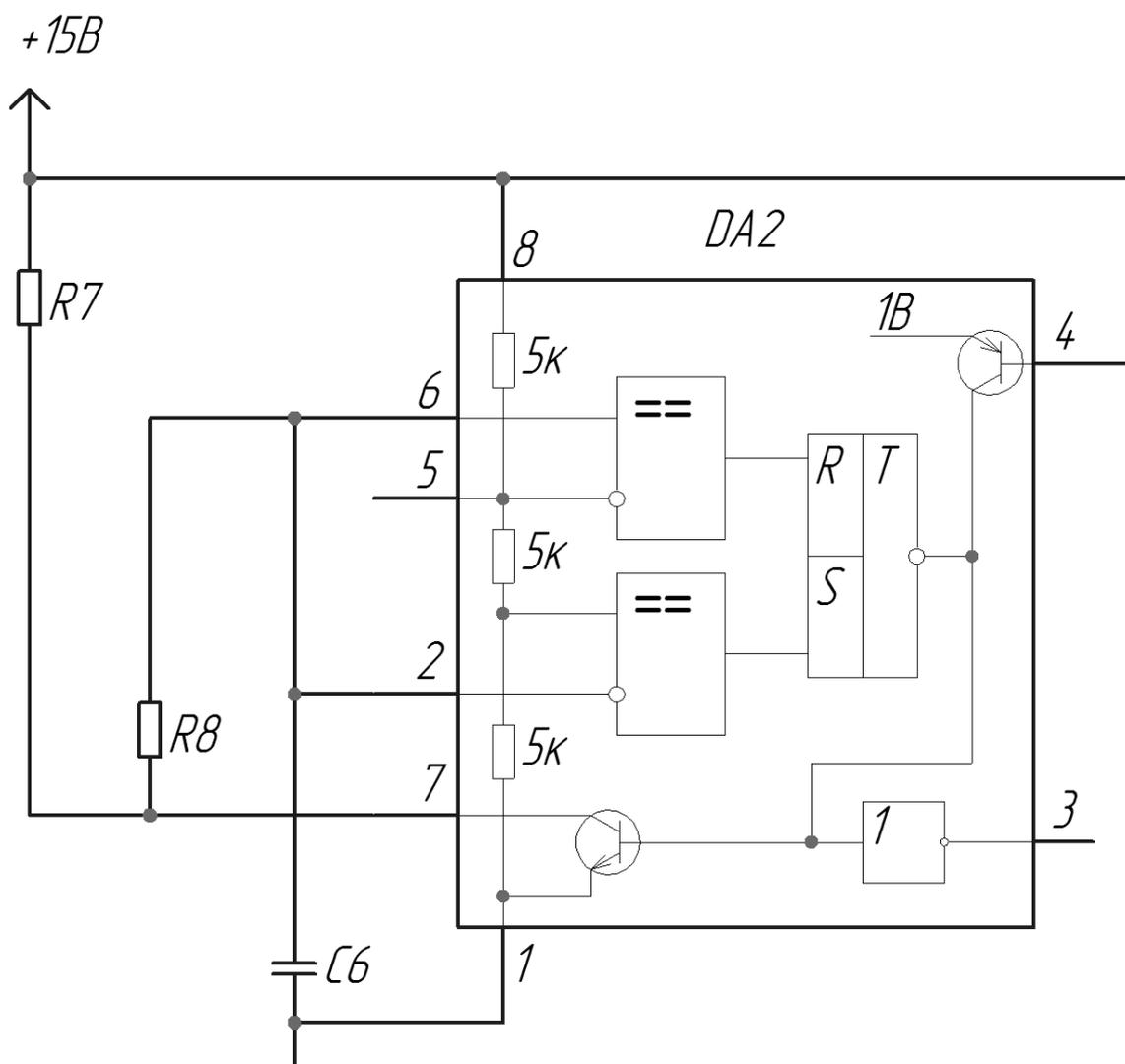


Рисунок 12 – Генератор несущей частоты.

Шестая ножка DA2 подключена к неинверсному входу первого внутреннего компаратора, который сравнивает величину напряжения на ней с величиной в две трети питания, образованной внутренним делителем напряжения.

Выход первого внутреннего компаратора подключен к входу «R» внутреннего RS - триггера.

Вторая ножка DA2 подключена к инверсному входу второго внутреннего компаратора, который сравнивает величину напряжения на ней с величиной в одну третью питания, образованной внутренним делителем напряжения.

Выход второго внутреннего компаратора подключен к входу «S» внутреннего RS - триггера.

Выход RS триггера инверсный и подключен к транзисторному ключу, который при открытии разряжает конденсатор С6 по цепочке (С6, R8, седьмая ножка DA2, «земля», С6).

В начальный момент времени, при подаче напряжения питания на схему, конденсатор С6 разряжен полностью. Потенциал на неинверсном входе первого компаратора больше чем на инверсном входе, с выхода первого компаратора на «R» вход триггера поступает потенциал нуля. Потенциал на инверсном входе второго компаратора больше чем на неинверсном входе, с выхода второго компаратора на «S» вход триггера поступает потенциал единицы. Что приводит к получению на инверсном выходе триггера потенциала нуля, транзисторный ключ закрывается, начинается зарядка конденсатора С6 по цепочке (плюс источника питания, R7, R8, С6, «земля»).

Когда конденсатор С6 заряжается до величины большей одной третьей питания, состояние первого компаратора не изменяется, но на инверсный вход второго компаратора подается потенциал больший, чем на его неинверсный вход. На выходе второго компаратора получаем потенциал нуля, ко-

торый подается на «S» вход триггера. Триггер запоминает состояние, потенциал выхода не изменяется, и конденсатор С6 продолжает заряжаться.

В момент времени, когда конденсатор С6 заряжается до потенциала большего двух третей питания, состояние второго компаратора не изменяется, но на неинверсный вход первого компаратора подается потенциал больший, чем на его инверсный вход, что приводит к изменению потенциала на выходе первого компаратора на потенциал единицы, который подается на «R» вход триггера. Триггер сбрасывается и на его инверсном выходе устанавливается потенциал единицы, транзисторный ключ открывается и конденсатор С6 начинает разряжаться по цепочке (С6, R8, седьмая ножка DA2, «земля», С6).

Потенциал конденсатора С6 становится меньше двух третей питания, состояние второго компаратора не изменяется, но на инверсный вход второго компаратора подается потенциал больше, чем на его неинверсный вход. Потенциал на выходе первого компаратора становится равным нулю и подается на «R» вход триггера. Триггер запоминает состояние, потенциал на выходе триггера не изменяется. Конденсатор С6 продолжает разряжаться.

Когда конденсатор С6 разряжается до уровня ниже одной третьей питания, состояние первого компаратора не изменяется, но потенциал на инверсном входе второго компаратора больше чем на неинверсном входе, на «S» вход триггера поступает потенциал единицы. Что приводит к получению на инверсном выходе триггера потенциала нуля, происходит закрытие транзисторного ключа и начинается зарядка конденсатора С6 по цепочке (плюс источника питания, R7, R8, С6, «земля»).

Далее повторяются циклы заряда и разряда конденсатора. Напряжение на конденсаторе не изменяется мгновенно, благодаря чему, получаем «пилообразный» сигнал, снимаемый с него.

Задались частотой несущего сигнала 50кГц. Задались номиналами резисторов R7 и R8, 5кОм и 2,4кОм соответственно. Выбрали R7, R8 [24,11] :

R7 – МЛТ - 0,125 - 5к±10%;

R8 – МЛТ - 0,125 - 2,4к±10%;

Время заряда конденсатора С6 определяется по формуле (2.5), время разряда конденсатора С6 определяется по формуле (2.6), период заряда и разряда конденсатора С6 определяется по формуле (2.7).

$$t1 = 0,693 \cdot (R7 + R8) \cdot C6 \quad (5)$$

где t1 – время заряда конденсатора С6

$$t2 = 0,693 \cdot R8 \cdot C6 \quad (6)$$

где t2 – время разряда конденсатора С6

$$T = t1 + t2 \quad (7)$$

где T – период заряда и разряда конденсатора С6

По формуле (2.8) определим длительность периода.

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50\text{кГц}} = 20\text{мкс} \quad (8)$$

где f - заданная нами частота несущего сигнала.

Для определения времени заряда и разряда конденсатора С6 поделим выражение (2.5) на (2.6), подставив номиналы резисторов R7 и R8.

$$\frac{t1}{t2} = \frac{0,693 \cdot (R7+R8) \cdot C6}{0,693 \cdot R8 \cdot C6} = \frac{0,693 \cdot (5\text{кОм}+2,4\text{кОм}) \cdot C6}{0,693 \cdot 2,4\text{кОм} \cdot C6} = 3,08 \approx 3 \quad (9)$$

Из (2.9) видно, что время заряда конденсатора С6 в три раза дольше разряда. Следовательно:

$$t_1 = 3 \cdot t_2 \quad (10)$$

Воспользовавшись (2.7) получим:

$$T = t_1 + t_2 = 3 \cdot t_2 + t_2 = 4 \cdot t_2 \quad (11)$$

$$t_2 = \frac{T}{4} = \frac{20\text{мкс}}{4} = 5\text{мкс} \quad (12)$$

Подставим значение t_2 в (2.6) найдем номинал конденсатора C_6 :

$$C_6 = \frac{t_2}{0,693 \cdot R_8} = \frac{5\text{мкс}}{0,693 \cdot 2,4\text{кОм}} \approx 2,8\text{нФ} \quad (13)$$

Выбрали времязадающий конденсатор C_6 :

C_6 – К10 - 17Б - Н50 - 0,0022 мкФ $\pm 5\%$

ШИМ модуляция основана на сравнении компаратором уровня выходного сигнала с усилителя, усиливающего сигнал микрофона, и пилообразного сигнала, снимаемого с конденсатора C_6 , генератора несущей частоты. Рисунок 13.

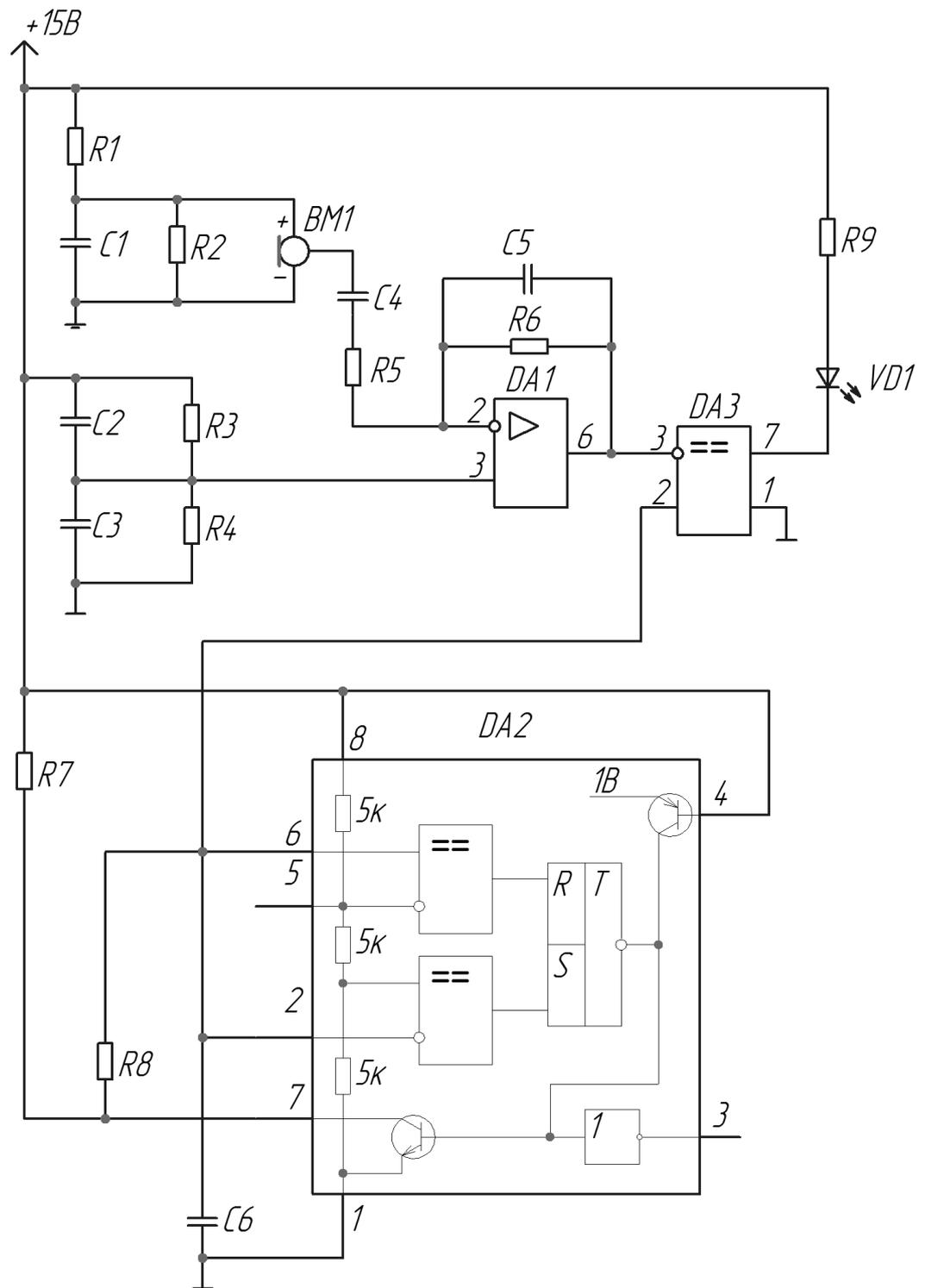


Рисунок 13 – Схема передатчика

Выбрали компаратор LM311N, чьи параметры сведены в таблице 3:
DA3 – LM311N

Таблица 3 – Параметры DA3

Питание (В)	Максимальное выходное напряжение (В)	Коэффициент усиления напряжения	Втекающий ток входа
$\pm 15 \pm 10\%$	не менее ± 12	не менее 100000	не более 35мА

Выход DA3 представляет собой схему с открытым коллектором, поэтому на вход подаётся питание через токоограничивающий резистор R9. Ток, втекающий во вход DA3 не должен превышать 35мА. Рассчитаем минимальный номинал R9:

$$R9_{min} = \frac{U_{п}}{I_{вых.мах}} = \frac{15В}{35мА} = 482 \text{ Ом} \quad (14)$$

Выбрали резистор R9 больше минимального номинала:

R9 – МЛТ - 0,125 - 620 Ом $\pm 10\%$;

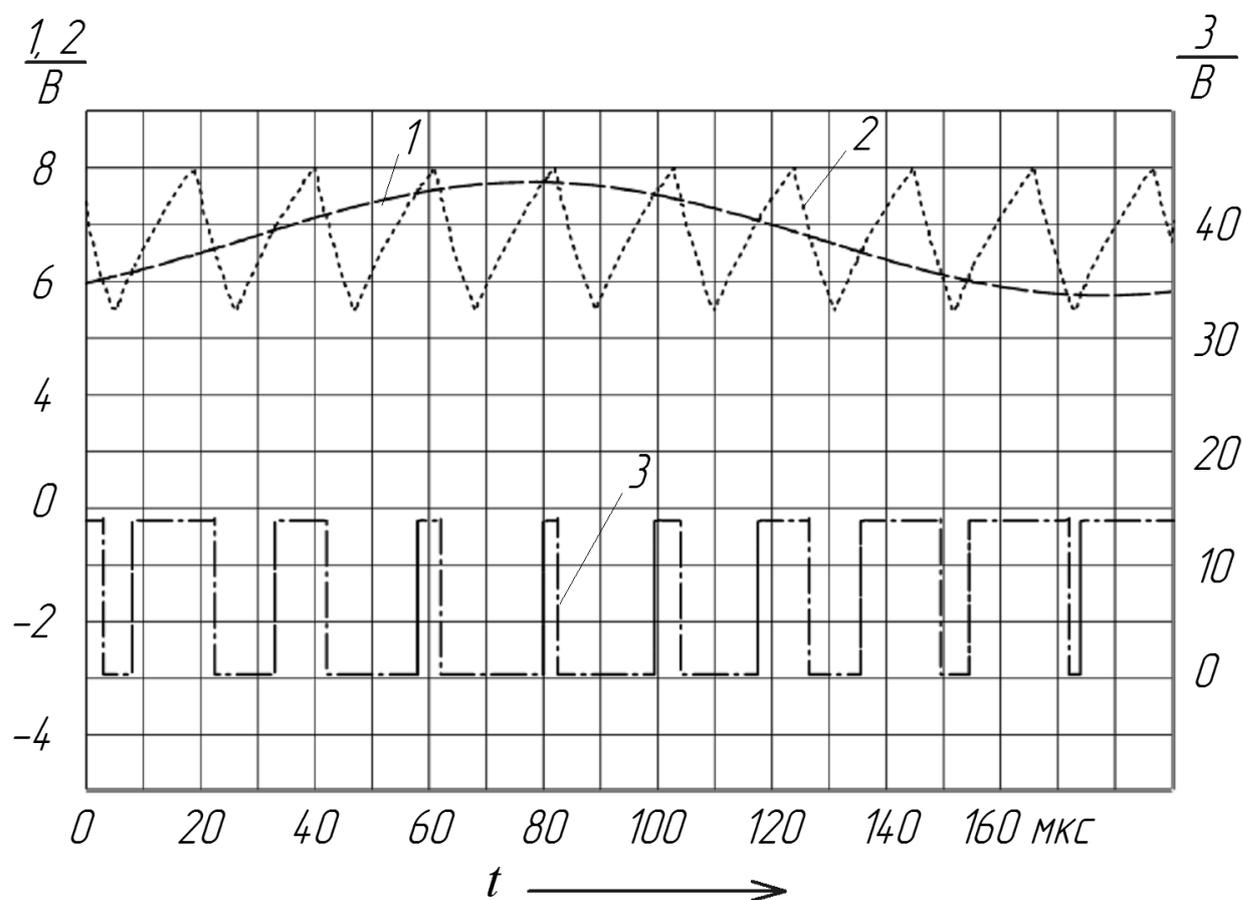
Последовательно с R9 подключили источник светового излучения VD1:

VD1 – laser diode (MAX OUTPUT<1mw, CLASS^{II} LASER PRODUCT)

При поступлении на инвертирующий вход DA3 усиленного сигнала с микрофона, он сравнивается с потенциалом пилообразного сигнала с генератора несущей частоты, поступающего на неинвертирующий вход. Если потенциал усиленного сигнала меньше, потенциала пилообразного сигнала генератора несущей частоты, то на выходе DA3 высокий потенциал, через источник светового излучения VD1 ток не протекает и излучение отсутствует. Когда потенциал пилообразного сигнала становится меньше, усиленного сигнала с микрофона, на выходе DA3 низкий потенциал, что приводит к протеканию тока по цепочке (плюс источника питания, R9, VD1,DA3), происходит световое излучение VD1.

Для уверенности в работе схемы и простоты понимания ее функционирования было проведено математическое моделирование в программе Proteus. Для упрощения процесса вместо усиленного сигнала с микрофона на инвертирующий вход DA3 подавали с генератора синусоиду частотой 5кГц, амплитудой 2В и постоянной составляющей сигнала в половину питания – 7,5В. В качестве результата мы получили смоделированные осциллограммы демонстрирующие работу схемы Рисунок 14.

Рисунок 14 демонстрирует, как изменяется продолжительность импульсов от уровня напряжения на инвертирующем входе DA3.



1 – синусоида, подаваемая на инвертирующий вход DA3.

2 – пилообразный сигнал, снимаемый с конденсатора $C6$ генератора несущей частоты, подаваемый на неинвертирующий вход DA3.

3 – результат модуляции, сигнал с выхода DA3

Рисунок 14– Результат математического моделирования передатчика.

2.3 разработка приемника сигнала

Основой приемника является фотодиод [15].

Фотодиод может работать в фотодиодном и гальваническом режиме.

В фотодиодном режиме р - n переход смещается обратным напряжением величина которого зависит от конкретного фотодиода от единиц до сотни вольт, чем больше смещение тем быстрее он будет работать, и больше токи через него будут течь. Недостаток фотодиодного режима в том, что с ростом обратного тока, в последствии увеличения напряжения или освещения, увеличивается уровень шумов, а уровень полезного сигнала в целом остается постоянным, считается, что в этом режиме диод имеет меньшую постоянную времени.

В фотогальваническом режиме к диоду не прикладывается ни какое напряжение, он сам становится источником ЭДС с большим внутренним сопротивлением. Недостаток фотогальванического режима заключается в ослаблении полезного сигнала с ростом уровня паразитной засветки, но уровень шумов не растет, остается постоянным. [1]

В схеме реализовали фотодиодный способ включения фотодиода

Выбрали фотодиод VD2:

VD2 - ФД345А

Параметры фотодиода VD2 сведены в таблице 4

Таблица 4 – Параметры VD2

Пик чувствительности (нм)	Область спектра (нм)	То короткого замыкания (А)	Темновой ток (мкА)	Обратное напряжение (В)
660	620..700	0,6	0,2	15

Схема детектора светового излучения, Рисунок 15.

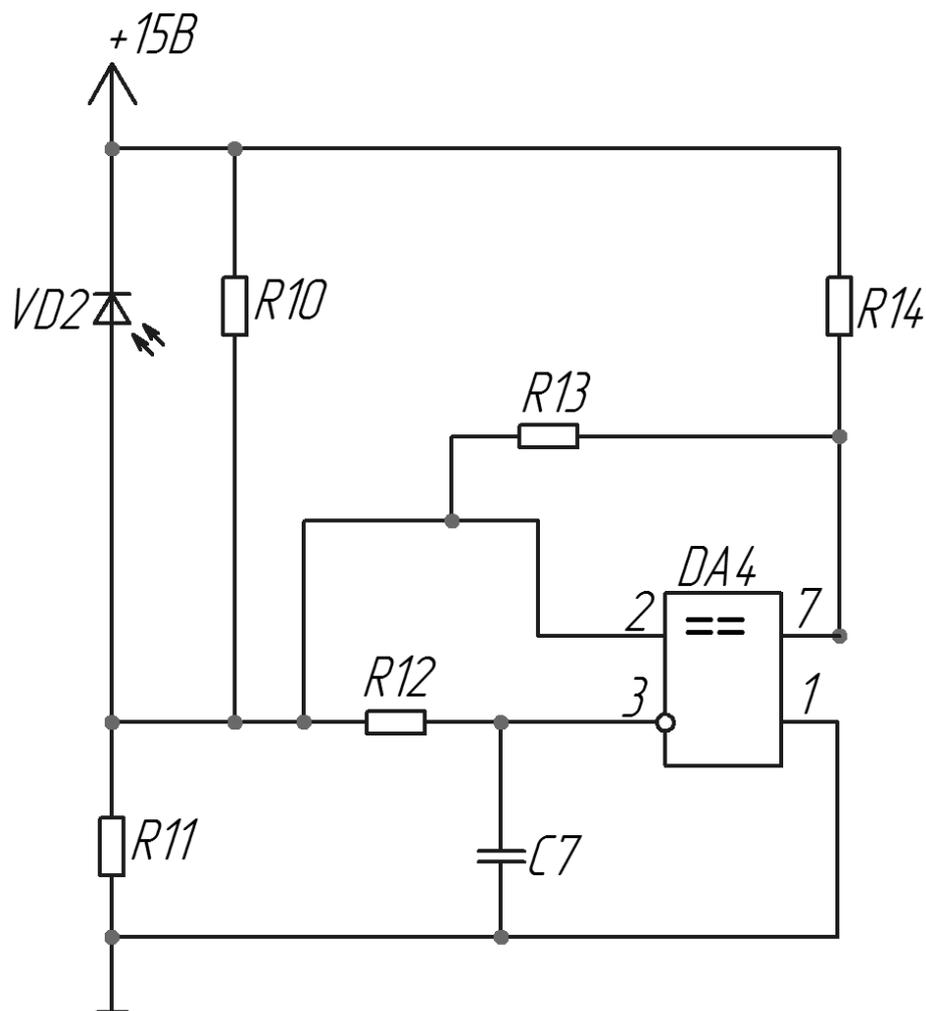


Рисунок 15 – Схема детектирования светового излучения.

Сигнал на R11 пропорционален току VD2.

Компаратор DA4 сравнивает потенциал сигнала с R11, поступающий на неинверсный вход компаратора и потенциал сигнала с C7 являющийся усредненным значением сигнала с R11, в результате чего при снятии на фотодиоде положительного импульса, мы получаем на выходе компаратора прямоугольный импульс чей потенциал приблизительно равен потенциалу питания схемы.

Выбрали DA4 компаратор LM311N; параметры сведены в таблице 3:

DA4 – LM311N

Задались значениями R10, R11 и R12 номиналами 120кОм, 20кОм и 300кОм соответственно.

Выбрали R10, R11 и R12:

R10 – МЛТ - 0,125 - 120 кОм±10%

R11 – МЛТ - 0,125 - 20 кОм±10%

R12 – МЛТ - 0,125 - 300 кОм±10%

Задались частотой фильтра высоких частот (R12, C7) 250Гц.

Рассчитали номинал конденсатора C7 по формуле:

$$C7 = \frac{1}{R12 \cdot f} = \frac{1}{300\text{кОм} \cdot 250} = 0,013 \text{ мкФ} \quad (15)$$

где f – заданная нами частота фильтра высоких частот

Выбрали конденсатор C7:

C7 - К10 - 17Б - Н90 - 0,015мкФ;

Резистор R14 предназначен, для ограничения, втекающего в выход DA4 тока. Его номинал выбран больше рассчитанного нами ранее минимального значения по формуле (2.14):

R14 – МЛТ - 0,125 - 1,0 кОм±10%

С помощью резистора R13 организована положительная обратная связь, что ускоряет реакцию DA4 на изменение входного сигнала. Задались значением R13 1Мом. Выбрали R13:

R13 – МЛТ - 0,125 - 1 МОм±10%

Для демодуляции полученного сигнала с выхода DA4, отфильтровываем его низкочастотную и высокочастотную составляющую. Рисунок 16.

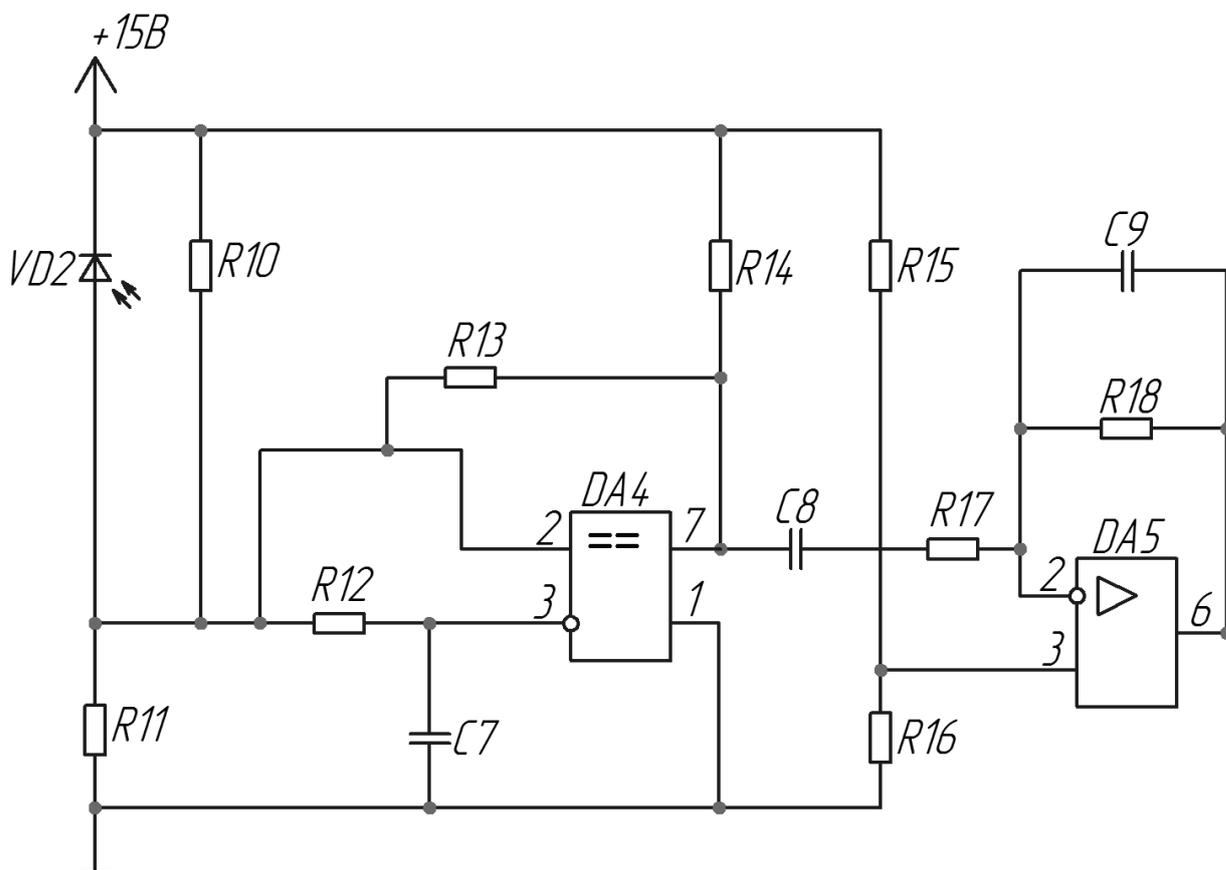


Рисунок 16 - Схема демодулирования сигнала с выхода DA4

Выбрали операционный усилитель DA5:

DA5 - КР140УД17.

Характеристики DA5 приведены в таблице 2

На неинвертирующий вход DA5 подали сигнал, равный половине питания, для этого организовали среднюю точку из резисторов (R15, R16).

Задались значениями резисторов R15 и R16 по 51кОм каждый. Выбрали R15 и R16:

R15 – МЛТ - 0,125 - 51 кОм \pm 10%;

R16 – МЛТ - 0,125 - 51 кОм \pm 10%;

Задались значениями резисторов R17 и R18 по 10кОм каждый. Выбрали R17 и R18:

R17 – МЛТ - 0,125 - 10к \pm 10%;

R18 – МЛТ - 0,125 - 10к \pm 10%;

Задались частотой фильтрации низкочастотного фильтра 100Гц и частотой фильтрации фильтра высоких частот 10кГц.

Рассчитали С8 по формуле:

$$C8 = \frac{1}{R17 \cdot f} = \frac{1}{10кОм \cdot 100} = 1 \text{ мкФ} \quad (16)$$

где f – заданная нами частота фильтрации для низких частот

Выбрали конденсатор С8:

С8 - К10 - 17Б - Н90 - 1,0мкФ;

Рассчитали С9 по формуле:

$$C9 = \frac{1}{R18 \cdot f} = \frac{1}{10кОм \cdot 10кГц} = 0,01 \text{ мкФ} \quad (17)$$

где f – заданная нами частота фильтрации для высоких частот

Выбрали конденсатор С9:

С9 - К10 - 17Б - Н90 - 0,01мкФ;

2.4. Математическое моделирование

Схема математического моделирования приведена на рисунке 17.

В результате математического моделирования видно, что сигнал подаваемый на вход устройства, инверсно приближенно одинаковой формы с сигналом на выходе DA5.

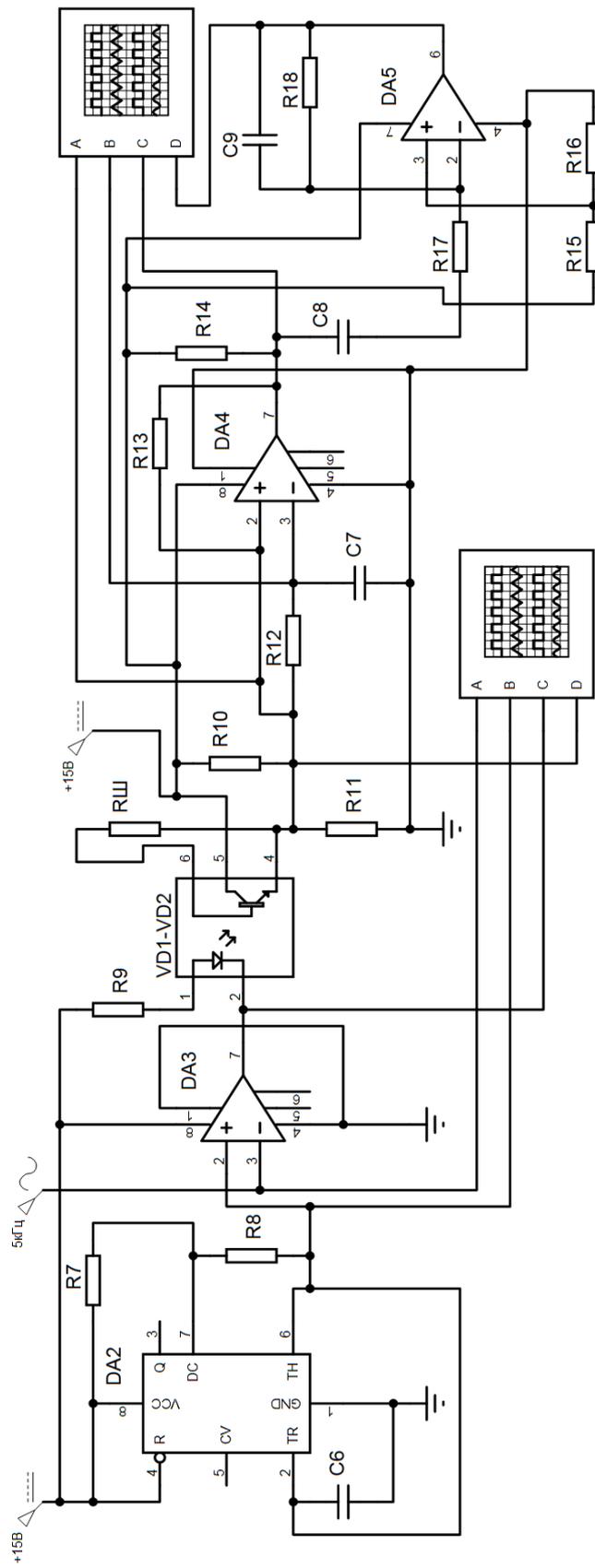
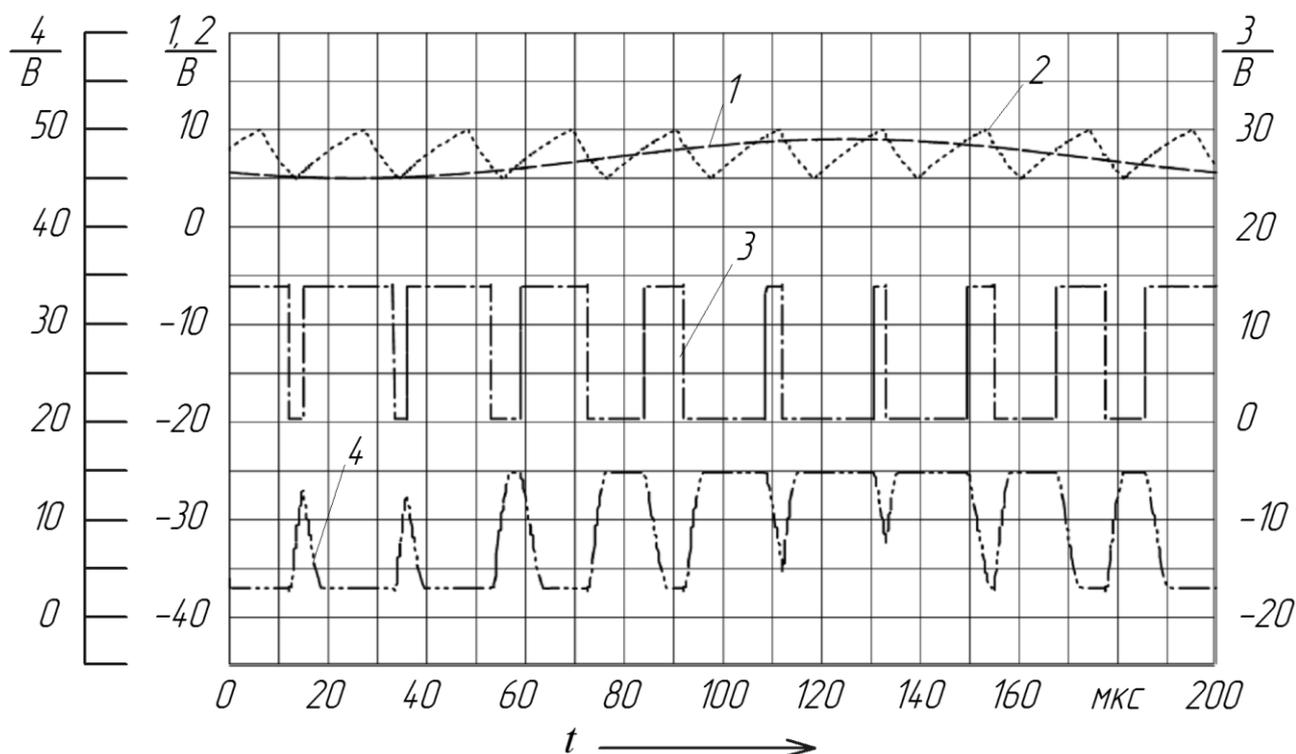


Рисунок 17 – Схема математического моделирования

Воспользовавшись математическим моделированием в программе Proteus, получили следующие осциллограммы, Рисунок 18 и Рисунок 19.

При моделировании использовались следующие упрощения: вместо усиленного сигнала с микрофона на инвертирующий вход DA3 подавали с генератора синусоиду частотой 5кГц, амплитудой 2В и постоянной составляющей сигнала в половину питания – 7,5В, вместо фотодиода в моделировании использовался фототранзисторный ключ.



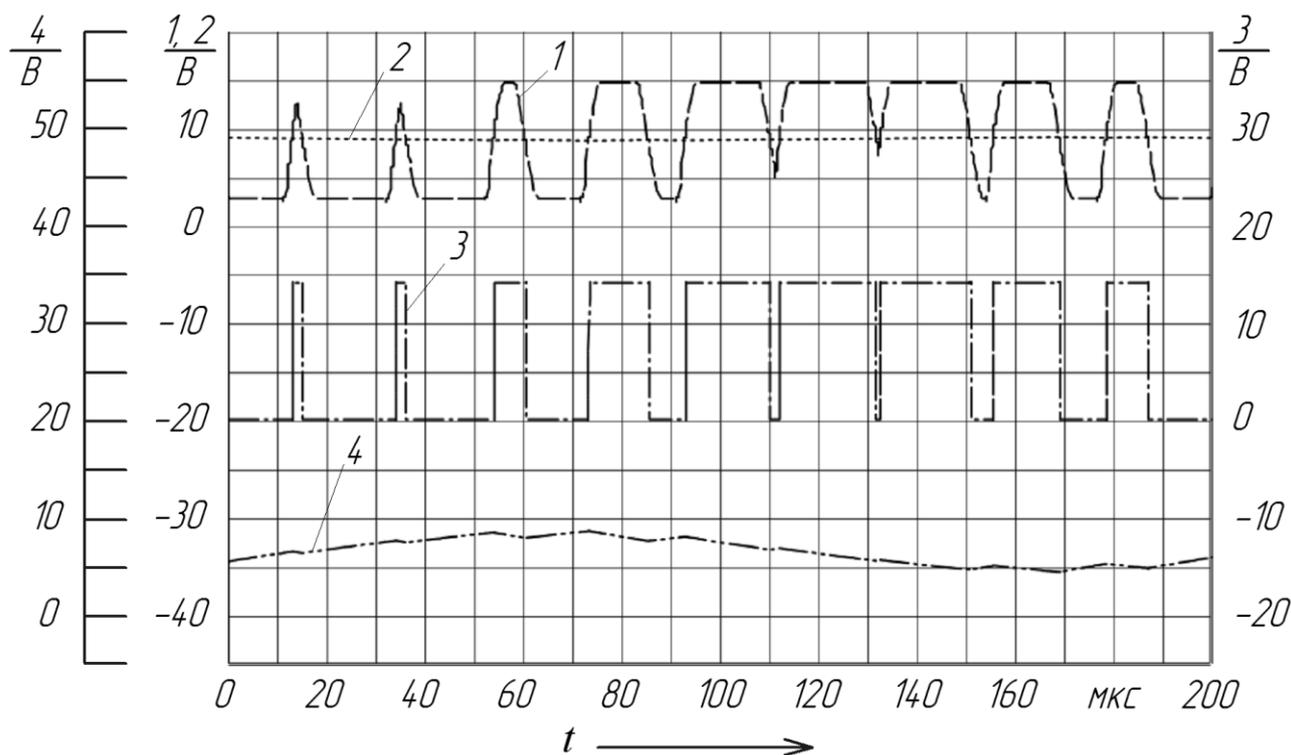
1 – синусоида, подаваемая на инвертирующий вход DA3.

2 – пилообразный сигнал, снимаемый с конденсатора С6 генератора несущей частоты, подаваемый на неинвертирующий вход DA3.

3 – результат модуляции, сигнал с выхода DA3

4 – сигнал, снимаемый с датчика оптического излучения (VD2 – в схеме)

Рисунок 18 – Результат математического моделирования передатчика и сигнал, снимаемый с датчика оптического излучения.



1 – сигнал, снимаемый с датчика оптического излучения (VD2 – в схеме)

2 – сигнал, поступающий на инверсный вход DA4.

3 – сигнал, снимаемый с выхода DA4.

4 – демодулированный сигнал, снимаемый с выхода DA5.

Рисунок 19 – Результат математического моделирования приемника.

В результате математического моделирования получили временные диаграммы работы передатчика и приемника. Усиленный сигнал с микрофона U1 (рис.18) сравнивается компаратором с пилообразным сигналом U2, формируемым интегральным таймером (DA2). Результирующий ШИМ сигнал U3 подается на светодиод VD1. С фотодиода VD2 снимается сигнал U4.

Для демодуляции этот сигнал сравнивается с опорным U2 (рис. 19) и формируется ШИМ сигнал U3. Далее он сглаживается до U4 и через конденсатор C10 подается на динамик.

Полученный сигнал U4 является инверсным исходному сигналу U1, что нормально для передачи звуковой информации.

2.5. Разработка усилителя звукового сигнала

Для вывода получившегося сигнала на динамик необходимо воспользоваться следующим схмотехническим решением.

В эмиттерном повторителе Рисунок 20, мощность в нагрузке ограничена конечным значением тока, протекающего через резистор $R_э$. Существенно большей мощности в нагрузке и более высокого коэффициента полезного действия можно достигнуть, заменив резистор $R_э$ дополнительным эмиттерным повторителем (Рисунок 2.21).

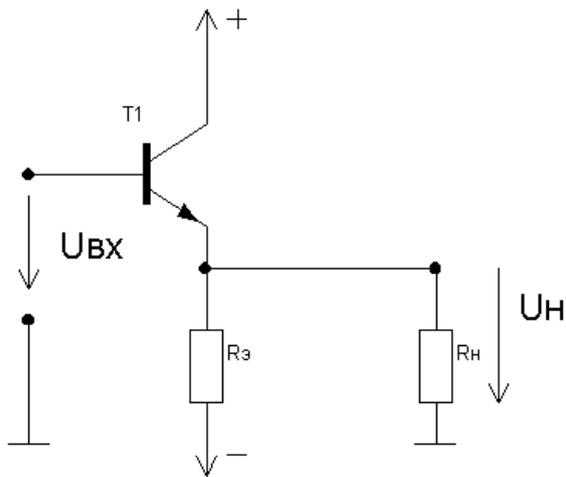


Рисунок 20 – Эмиттерный повторитель в качестве усилителя мощности

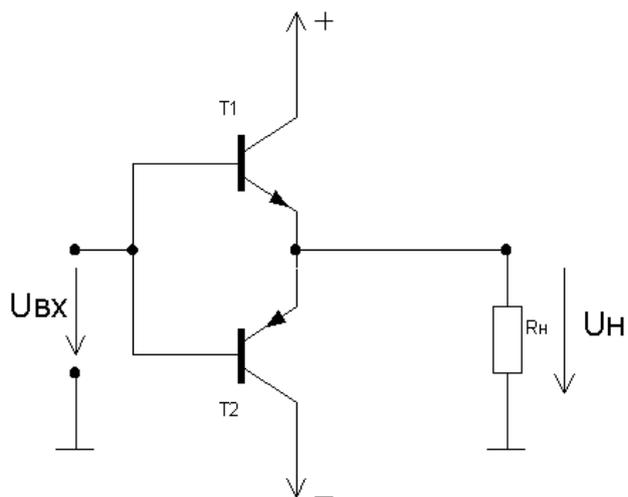


Рисунок 21 – Комплементарный эмиттерный повторитель

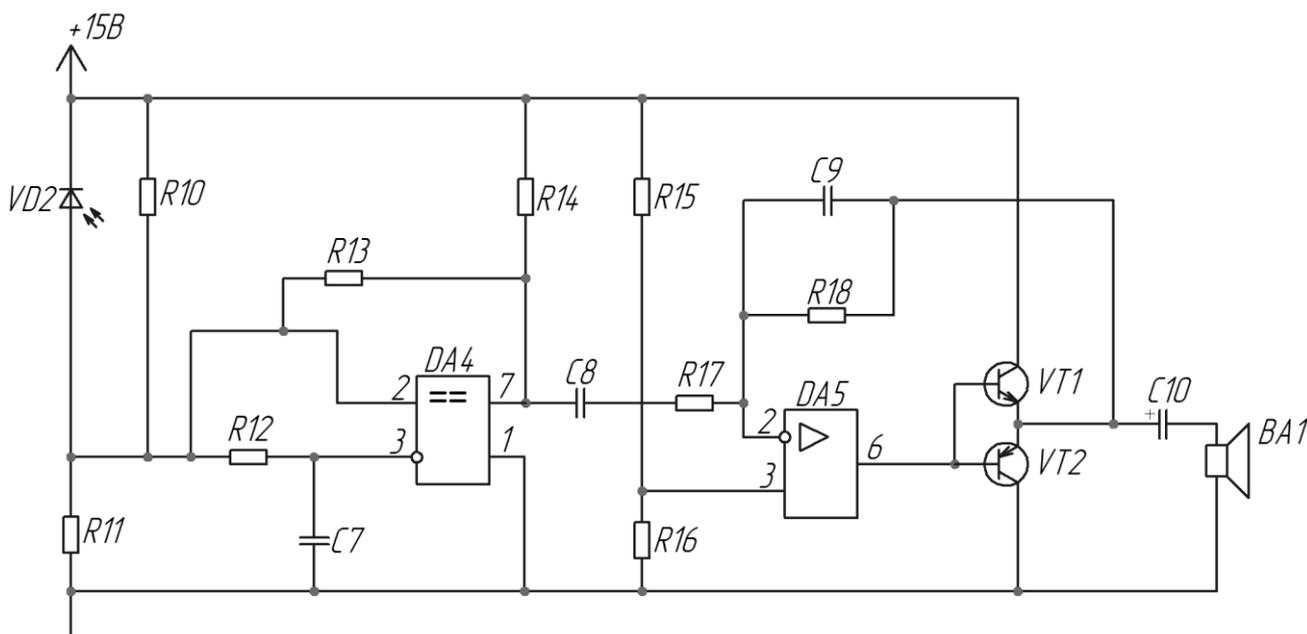


Рисунок 22 – Схема приемника сигнала.

Выбрали пару комплементарных транзистора:

VT1 – КТ3102

VT2 – КТ3107

Параметры транзисторов занесли в таблицу 5.

При положительных входных сигналах транзистор VT1 работает как эмиттерный повторитель, а транзистор VT2 заперт. При отрицательных входных напряжениях - наоборот. Таким образом, транзисторы работают попеременно, каждый в течение одного полупериода входного напряжения.

При $U_{вх}=0$ оба транзистора заперты; следовательно, для открытия какого либо из транзисторов понадобится приложить, потенциал порядка 0,6 В на базы транзисторов, из - за чего происходит смещение сигнала. Чтобы этого избежать завели обратную связь (R18, C9) с выхода DA5 на эмиттеры транзисторов VT1 и VT2. Задались значением конденсатора C10 номиналом 470мкФ.

Выбрали конденсатор C10:

C10 - К50 – 35 - 470мкФ, электролитический конденсатор.

Таблица 5 – Параметры транзисторов КТ3102 и КТ3107

	КТ3102	КТ3107
Тип проводимости	n - p - n	p - n - p
Максимально допустимое импульсное напряжение коллектор - база (В)	50	50
Максимально допустимое импульсное напряжение коллектор - эмиттер (В)	50	45
Максимально допустимый импульсный ток коллектора (импульсный) (мА)	100 (200)	100 (200)
Максимально допустимая постоянная рассеиваемая мощность коллектора (Вт)	0,25	0,3
Статический коэффициент передачи тока биполярного транзистора в схеме с общим эмиттером	120 - 220	100 - 200
Обратный ток коллектора (мкА)	$\leq 0,05$	$\leq 0,1$

Амплитудно-частотная характеристика разработанного устройства изображена на рисунке 23.

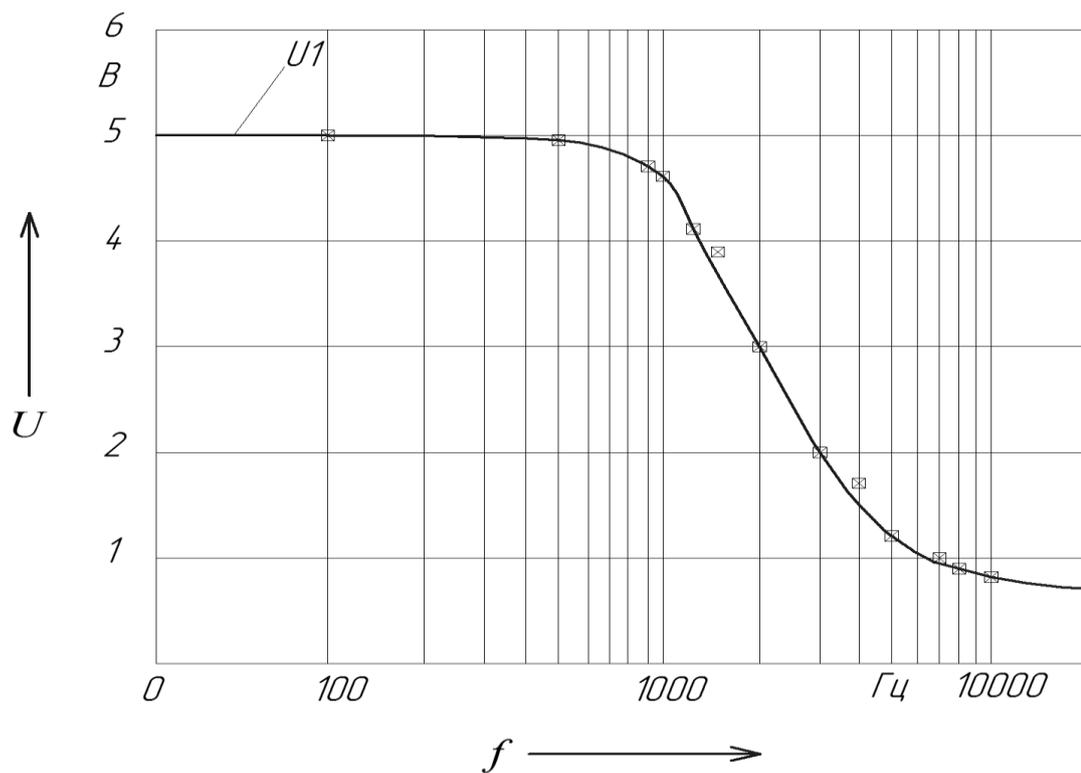


Рисунок 23 – Амплитудо - частотная характеристика устройства.

На рисунке 23 видно влияние отрицательной обратной связи, заведенной с выхода двухтактного эмиттерного повторителя (VT1, VT2) на вход операционного усилителя DA5, на сигнал получаемый с выхода двухтактного эмиттерного повторителя.

Для двусторонней связи каждая из сторон оборудуется приемником и передатчиком, располагающимися на одной плате, либо отдельно.

Для удобства настройки улавливания передаваемого сигнала, устройство можно выполнить на подставки с регулирующимся положением по высоте каждого из краев.

Заключение

В данной ВКР было спроектировано оптическое устройство передачи звуковой информации, предназначенное для передачи звуковых сообщений в реальном времени и проведено математическое моделирование его работы.

Для достижения цели работы были решены следующие задачи:

1. Обзор состояния вопроса
2. Анализ исходных данных и существующих решений
3. Разработка передатчика сигнала
4. Разработка приемника сигнала
5. Разработка усилителя звукового сигнала
6. Математическое моделирование

В первом разделе рассматривается состояние вопроса, формулируется цель и задачи ВКР, приводятся достоинства и недостатки оптического способа передачи.

Во втором разделе производится разработка приемника и передатчика оптического устройства передачи звуковой информации. Приводится выбор принципиальной схемы, расчет элементов устройства и математическое моделирование.

Таким образом, в данной ВКР было спроектировано оптическое устройство передачи звуковой информации, предназначенное для передачи звуковых сообщений в реальном времени и проведено математическое моделирование его работы.

Работа оформлена согласно требованиям [12,13,14,16, 21].

Список используемой литературы

1. Виды модуляции [Электронный ресурс] URL:<http://rushkolnik.ru> (Дата обращения: 18.04.2021)
2. Голубцов М.С. Микроконтроллеры AVR: от простого к сложному. –М.:Солон-Пресс.2005.-304с.:ил.
3. Гребнев В.В. Микроконтроллеры семейства AVR.– М.:РадиоСофт, 2002. -176с.:ил.
4. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. Пособие для приборостроит. Спец. Вузов. –М.: Высш. шк.1991.- 622 с.
5. Евстифеев А.В. Микроконтроллеры AVR семейства Classic фирмы ATMEЛ.–М.:Додэка, 2004.-288 с.:ил.
6. Забродин Ю.С. Промышленная электроника: Учебник для вузов. –М: Высш. школа, 1982. -496 с.: ил.
7. Интернет магазин электронных компонентов «Импульс» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.impulsi.ru> (дата обращения 04.06.2021).
8. Каталог электронных компонентов [Электронный ресурс]. URL: <http://www.platan.ru> (дата обращения: 17.05.2021)
9. Каталог электронных компонентов [Электронный ресурс]. URL: <http://www.chip-dip.ru> (дата обращения: 17.05.2021)
10. Конденсаторы: Справочник / Четверков И.И., Дьяконов М.Н, Присняков В.И. и др.: Под ред. Четверкова И.И., Дьяконова М.Н.-М.: Радио и связь. -1993. -392с.: ил.
11. Масленников М.Ю. Справочник разработчика и конструктора РЭА. –М.: Радио и связь, 1988.-300с.: ил.
12. Методические указания по оформлению выпускных квалификационных работ по программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры : [Электронный ресурс]. URL: [https://yadi.sk/d/Fs-9ts_VInrE3Q/BKP_\(Diplom\)](https://yadi.sk/d/Fs-9ts_VInrE3Q/BKP_(Diplom)) / Оформление ВКР (Дата обращения: 18.02.2021)

13. Орлов Д.Ю. Беспроводные оптические линии связи с криптографической защитой [Электронный ресурс] URL:<http://masters.donntu.org> (Дата обращения: 18.04.2021)
14. Положение о выпускной квалификационной работе: утв. решен. учен. совет. от 21.11.2019 решение №254 : [Электронный ресурс]. URL: [https://yadi.sk/d/Fs-9ts_VInrE3Q/BKP_\(Diplom\)](https://yadi.sk/d/Fs-9ts_VInrE3Q/BKP_(Diplom)) / Положение о ВКР (Дата обращения: 18.02.2021)
15. Полупроводниковые приборы: Справочник / Гитцевич А.Б.-М.: Радио и связь, 1988.-528с.:ил.
16. Порядок обеспечения самостоятельности выполнения письменных работ в ТГУ : [Электронный ресурс]. URL: [https://yadi.sk/d/Fs-9ts_VInrE3Q/BKP_\(Diplom\)](https://yadi.sk/d/Fs-9ts_VInrE3Q/BKP_(Diplom)) / Положение о Антиплагиате (Дата обращения: 18.02.2021)
17. Расчет модулятора [Электронный ресурс] URL: <http://otherreferats.allbest.ru> (Дата обращения: 18.04.2021)
18. Резисторы: Справочник / В.В. Дубровский, Д.М. Иванов, Н.Я. Пратусевич и др. Под ред. И.И. Четверткова и В.М. Т
19. Сидоров И.Н. и др. Малогабаритные трансформаторы и дроссели: Справочник / И.Н. Сидоров, В.В. Мукосеев.-М.: Радио и связь, 1985. – 416с., ил.
20. Фрунзе А.В. Микроконтроллеры это же просто. –М.:Скимен, 2002.-336с.ил
21. Электроника и наноэлектроника, управление в технических системах, электроэнергетика и электротехника. Выполнение бакалаврской работы / сост. Позднов М.В., Прядилов А.В. - Тольятти: ТГУ, 2019. - 41 с.
22. AT89S8252 Datasheet (PDF) - ATMEL Corporation [Электронный ресурс]. URL: <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/175000/ATMEL/AT89S8252.html> (дата обращения: 27.05.2021)

23. AT89S8252 Primer [Электронный ресурс]. URL: <http://www.shrubbery.net/~heas/willem/PDF/ATMEL%20Flash%20Microcontroller/8051-Architecture/Application%20Notes/AT89S8252%20Primer.pdf> (дата обращения: 27.05.2021)

24. Electrical resistance and conductance [Электронный ресурс]. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Electrical_resistance_and_conductance (дата обращения: 17.05.2021)

25. Electronic Components Datasheets [Электронный ресурс] URL: <http://www.datasheets.ru> (дата обращения: 17.02.2021)

26. LM78XX / LM78XXA 3-Terminal 1 A Positive Voltage Regulator [Электронный ресурс]. URL: <https://static.chipdip.ru/lib/164/DOC001164647.pdf> (дата обращения: 17.05.2021)

27. S. A. Prasad, B. S. Kariyappa, R. Nagary, S. K. Thakur, Microcontroller Based AC Power Controller, Wireless Sensor Network, Vol. 1, Issue 2, Jul 2009, pp. 76-81.