

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

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Промышленная электроника»

(наименование)

11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электроника и робототехника

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Лабораторный генератор прямоугольных импульсов на микроконтроллере

Студент

А.Х. Вахобзода

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент А.В. Прядилов

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

Консультант

к.т.н., доцент М.М. Бажутина

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

Тольятти 2022

Аннотация

Объем 42 с., 15 рис., 6 табл., 25 источников

Лабораторный генератор прямоугольных импульсов, микроконтроллер.

Объектом исследования является схема генератора прямоугольных импульсов.

Цель работы: разработка генератора знакопеременного напряжения прямоугольной формы.

Задачи работы:

- обзор состояния вопроса и аналогов изделия,
- разработка электрической принципиальной схемы генератора,
- расчет схемы и выбор элементов,
- разработка программной части.

Работа состоит из двух глав, в которых решены упомянутые задачи.

Степень внедрения: разработана функциональная схема генератора, разработана электрическая принципиальная схема, теоретически рассчитаны параметры системы, выбраны элементы, написана программа для микроконтроллера.

Для выявления необходимого функционала и параметров с использованием существующего генератора была проделана лабораторная работа «Исследование импульсных свойств диода» по дисциплине Полупроводниковые приборы.

Abstract

The title of the graduation work is «Laboratory rectangular pulse generator on a microcontroller ».

The senior paper consists of an introduction, 2 parts, a conclusion, 9 picture, 10 tables, list of references including 6 foreign sources and the graphic part on 6 A1 sheets.

The object of research is laboratory rectangular pulse generator on a microcontroller.

The aim of the graduation work is to develop of a laboratory rectangular pulse generator on a microcontroller.

We start with the statement of the problem and then logically pass over to its possible solutions. We then analyze the literature concerning our problem.

We give a review of possible solutions and choose the most suitable ones, develop an electrical circuit diagram, carry out theoretical calculations and select elements.

The key issue of the graduation work is development of a simple and cheap generator with minimal functionality sufficient for laboratory work.

In conclusion we'd like to stress that theoretically calculated system parameters, developed a scheme, selected elements and a program for the microcontroller was written.

This work is of interest to students and teachers of the Department of Industrial Electronics.

Nevertheless, more experimental data are required.

Содержание

| | |
|---|----|
| Введение..... | 5 |
| 1 Состояние вопроса | 6 |
| 1.1 Формулирование актуальности, цели и задач проекта..... | 6 |
| 1.2 Обзор аналогов изделия | 6 |
| 1.3. Назначение изделия..... | 9 |
| 2 Разработка и расчет генератора прямоугольных импульсов..... | 12 |
| 2.1 Структурная схема генератора..... | 12 |
| 2.2 Разработка электрической принципиальной схемы..... | 14 |
| 2.4. Блок питания | 25 |
| 2.5. Программа для микроконтроллера | 27 |
| Заключение | 39 |
| Список используемой литературы | 40 |
| Приложение А. Перечень элементов. | 43 |

Введение

Разрабатываемый генератор предназначен для использования при выполнении лабораторных работ. Например, лабораторной работы №8 по дисциплине «Полупроводниковые приборы».

Назначение генератора – создания двух полярных переменных импульсов с возможностью изменения частоты и амплитуды.

Актуальность работы заключается в возможности разработки недорогого микроконтроллерного генератора прямоугольных импульсов, пригодного для эксплуатации при проведении лабораторных работ.

«Современная элементная база позволяет создать очень простой и дешевый генератор прямоугольных импульсов, обладающий в то же время достаточно неплохими параметрами. Основными требованиями, которые ставились при разработке генератора для лабораторного стенда, были низкая стоимость и простота. Несмотря на это, возможности генератора вполне достаточны для исследования и настройки большинства цифровых и аналоговых схем.»[1].

Существует множество схем, пригодных для реализации на них генератора. Можно построить генератор как на аналоговых микросхемах (например, таймере КР1006), так и на микроконтроллере. В соответствии с общей тенденцией развития электроники был выбран вариант с использованием микроконтроллера. Микроконтроллер позволяет создать гибкое управление формой, амплитудой и частотой создаваемых импульсов. В нашем случае импульсы являются прямоугольными и их частота по умолчанию соответствует требованиям методических указаний по проведению лабораторных работ по полупроводниковым приборам.

Предполагается разработать недорогой генератор, удобный в изготовлении и использовании. При включении генератора автоматически устанавливаются значения амплитуды и частоты, необходимые для лабораторной работы.

1 Состояние вопроса

1.1 Формулирование актуальности, цели и задач проекта

Разрабатываемый генератор предназначен для использования при выполнении лабораторных работ. Например, лабораторной работы №8 по дисциплине «Полупроводниковые приборы».

Цель работы: разработка генератора знакопеременного напряжения прямоугольной формы.

Задачи работы:

- обзор состояния вопроса и аналогов изделия,
- разработка электрической принципиальной схемы генератора,
- расчет схемы и выбор элементов,
- разработка программной части.

Объектом исследования является схема генератора прямоугольных импульсов.

Актуальность проекта заключается в возможности разработки недорогого микроконтроллерного генератора прямоугольных импульсов, пригодного для эксплуатации при проведении лабораторных работ.

1.2 Обзор аналогов изделия

Одним из аналогов генератора являются Good Will SFG-71013 (рисунок 1) и Matrix MFG-8216A (рисунок 2). Они также предназначены для настольного использования, имеют собственный корпус и адаптер питания.



Рисунок 1- Генератор GW Instek SFG-71013



Рисунок 2- Генератор Matrix MFG-8216A

Данные генераторы (таблица 1) имеют хорошие параметры и высокую цену (порядка 15 тыс. рублей и более). Поэтому, возникает необходимость в дешевом и надежном лабораторном генераторе, который имеет достаточную функциональность для проведения лабораторных работ. В ВКР будет проведена разработка такого устройства.

Таблица 1 – Характеристики генераторов [16].

| Характеристики | Параметры | SFG-71003 | MFG-8216A |
|-----------------------------|--|--|--|
| Основные выходные параметры | Частотный диапазон (для синуса и меандра) | 0.1 Гц...3 МГц | 0.3 Гц...3 МГц |
| | Разрешение по частоте | 0.1 Гц | ±5%+1 Гц |
| | Число каналов | 1 | 1 |
| | Амплитуда | >10 В пик (на 50 Ом) | Двойная ≥10 В, (при нагрузке 50 Ом) |
| | Погрешн. установки напряжения | ±20% при макс. амплитуде | ±20% при макс. амплитуде |
| | Кэф. гармоник (при уровне сигн. от 0.1 МАХ до МАХ) | > -55 дБн, 0.1 Гц ...200 кГц > -40 дБн, 0.2 МГц ...2 МГц > -35 дБн, 2 МГц ...3 МГц | ≤1%, 0.3 Гц...200 кГц суммарный коэффициент гармоник ≤35 дБ |
| | Неравномерность АЧХ | ±0.3 дБ, 0.1 Гц ...1 МГц ±0.5 дБ, 1 МГц ...2 МГц ±1 дБ, 2 МГц ...3 МГц | <0.3 дБ, 0.3 Гц...300 кГц <0.5 дБ, 300 кГц...3 МГц |
| Синусоидальный сигнал | Асимметрия импульсов | ± (5% от периода + 4 нс), 0.1 Гц...100 кГц | ≤1%, 0.3 Гц...200 кГц суммарный коэффициент гармоник ≤35 дБ относительно основной гармоники для всего диапазона (при уровне сигнала от 1/10 до МАКСИМУМА). |
| | Время нарастания/спада | <100 нс (макс. уровень 50 Ом) | ≤100 нс при максимальной амплитуде (нагрузка 50 Ом) |
| Прямоугольный сигнал | Симметрия | ±2%, 0.3 Гц...100 кГц | ±2%, 0.3 Гц...100 кГц |

1.3. Назначение изделия

Разрабатываемый генератор предназначен для использования при выполнении лабораторных работ. Например, лабораторной работы №8 по дисциплине «Полупроводниковые приборы». Лабораторная посвящена исследованию импульсных свойств диода. Принципиальная схема лабораторной установки изображена на рисунке 3.

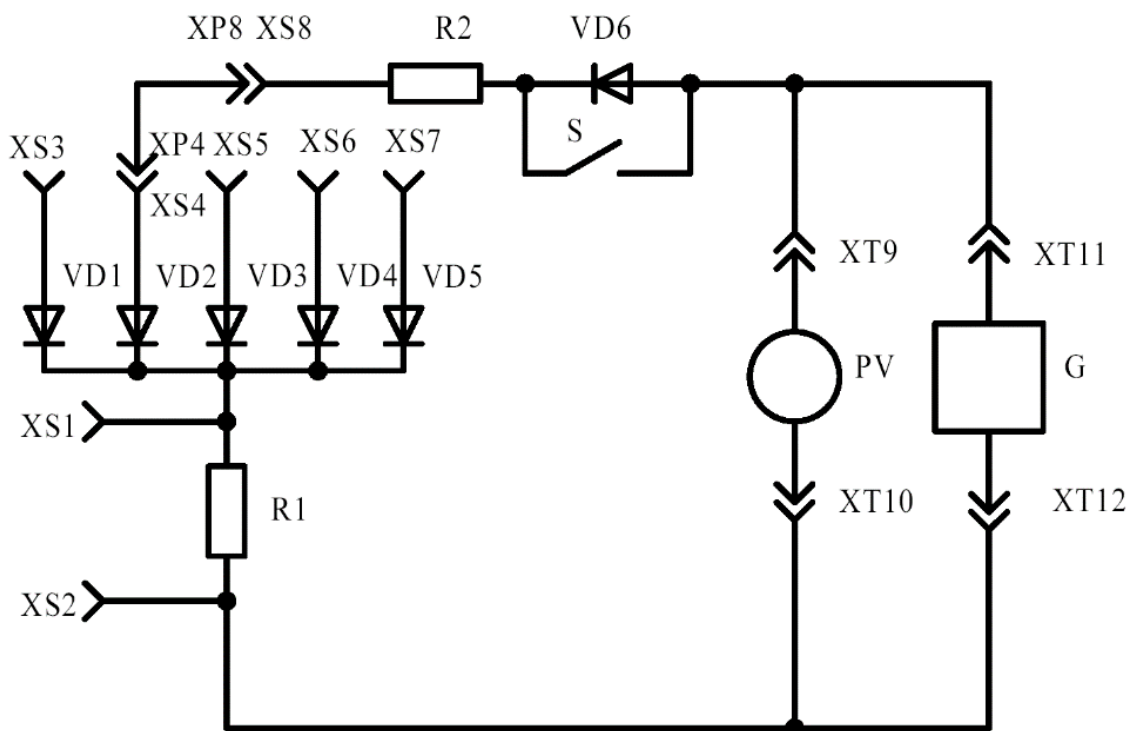


Рисунок 3 – Принципиальная схема лабораторной установки.

Генератора на стенде обозначен G, подключается к разъемам XT11, XT12. Он должен выдавать знакопеременное напряжение с частотой 1400 Гц и регулируемой амплитудой. Необходимое выходное напряжение представлено на рисунке 4.

Основные осциллограммы, снятые с реального стенда с помощью уже имеющегося генератора, приведены на рисунках 5-7

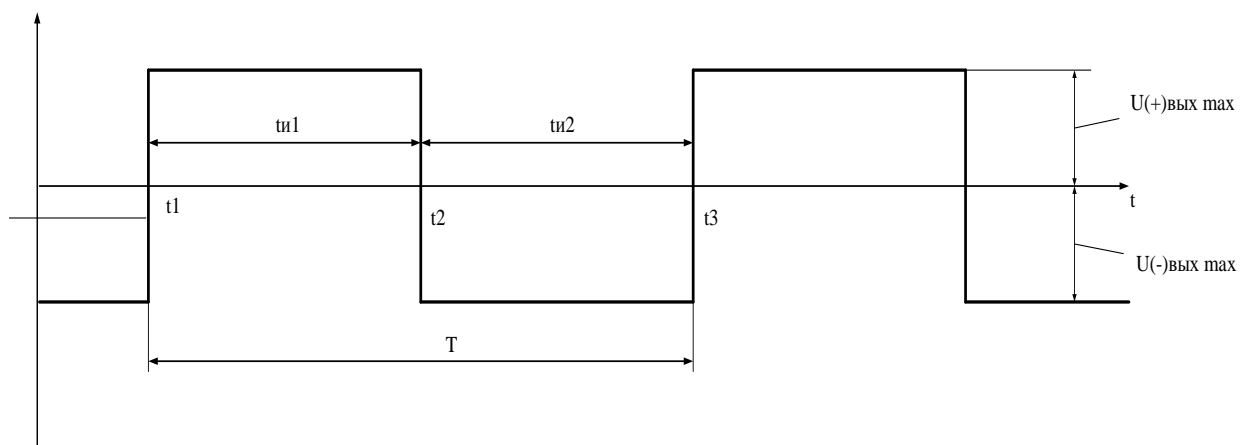


Рисунок 4 – Выходное напряжение генератора прямоугольных импульсов

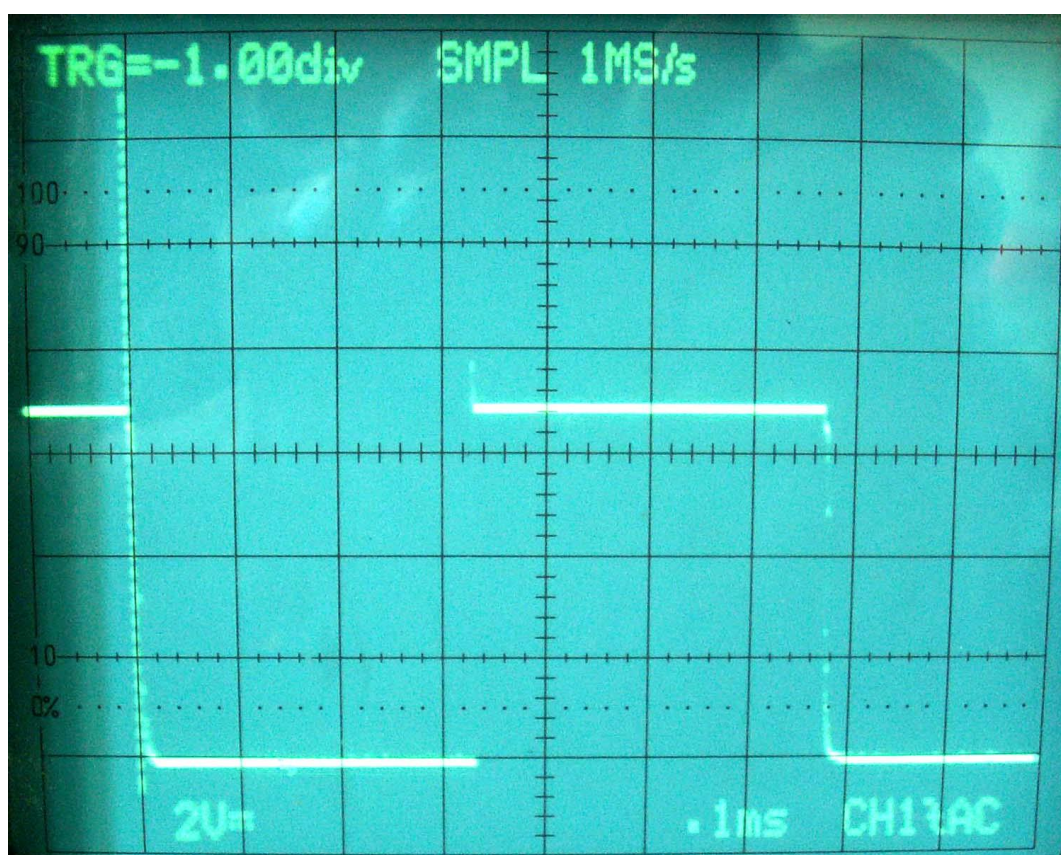


Рисунок 5 - Диаграмма напряжения на диоде при подаче обратного напряжения

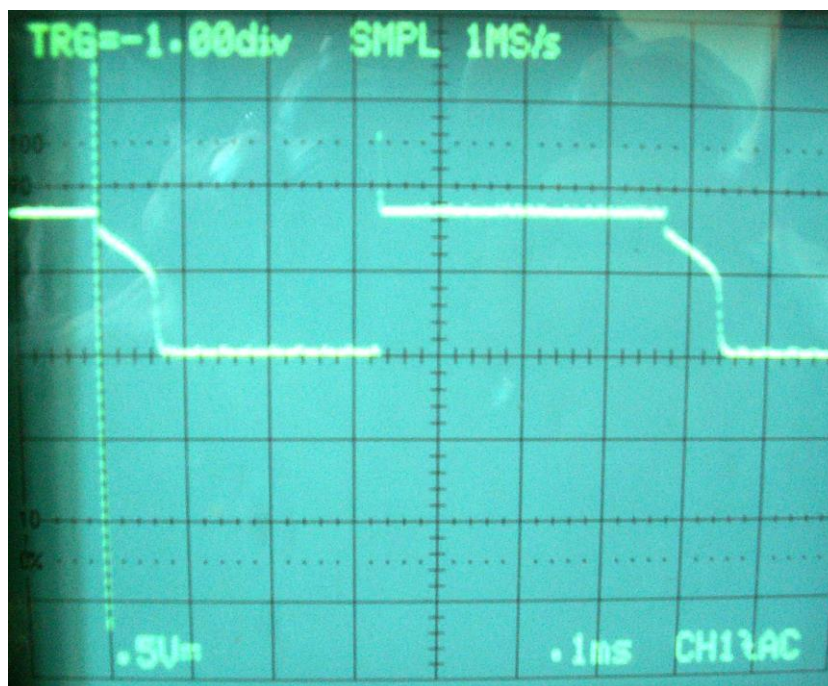


Рисунок 6 - Диаграмма напряжения на диоде при подаче скачком прямого напряжения

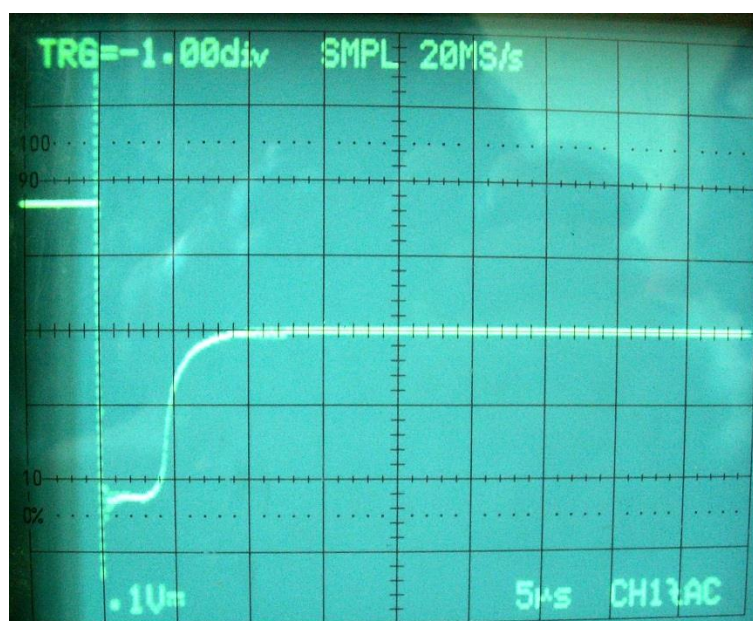


Рисунок 7 - Диаграмма «ступеньки» обратного тока

Выводы

В первой главе разделе рассмотрено состояние вопроса, существующие аналоги и описано предполагаемое применение разрабатываемого генератора.

2 Разработка и расчет генератора прямоугольных импульсов

2.1 Структурная схема генератора

Назначение генератора – создания двух полярных переменных импульсов с возможностью изменения частоты и амплитуды [1, 2,4].

Генератор прямоугольных импульсов можно реализовать на аналоговых элементах (рис. 8) или на микроконтроллере (МК). Общая тенденция развития электроники направлена в сторону использования микроконтроллеров. Поэтому именно этот вариант будет рассмотрен в данной ВКР [24, 25].

Структурная схема такого устройства изображена на рис. 9.

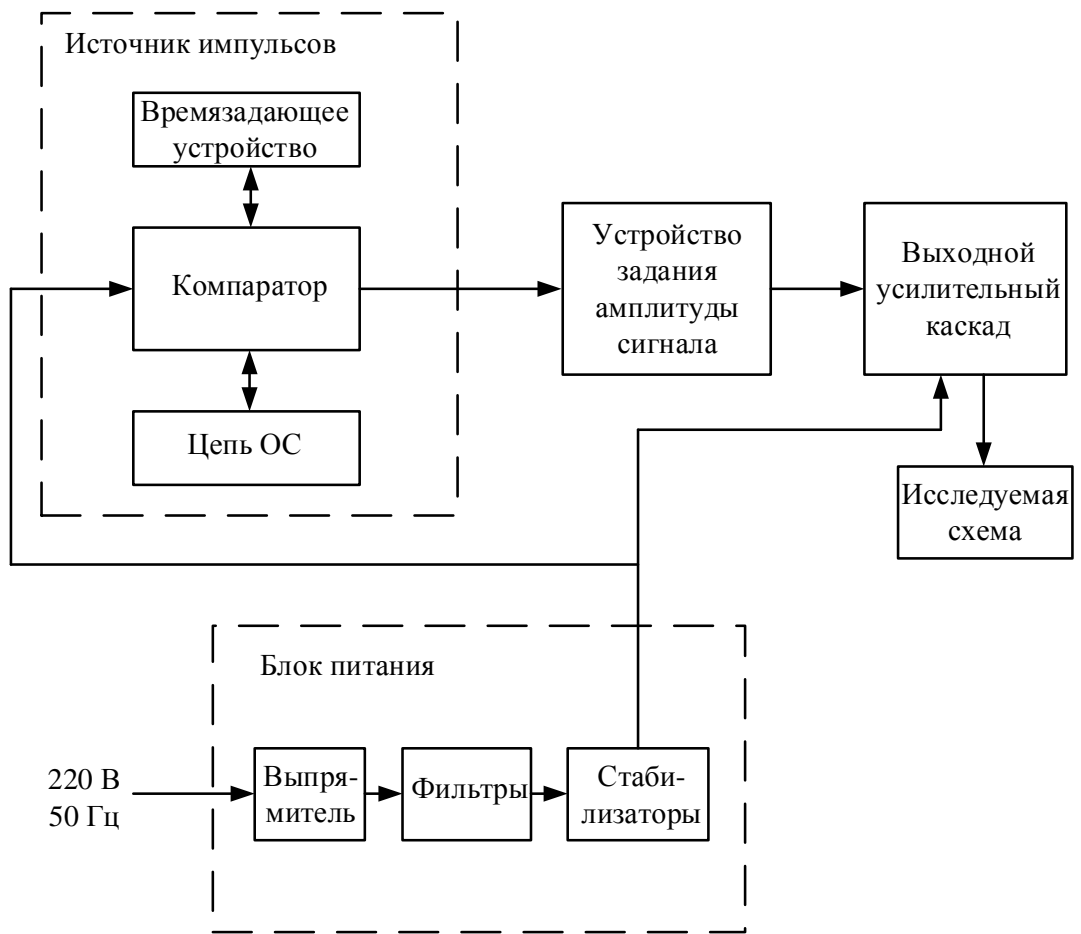


Рисунок 8 – Структурная схема генератора

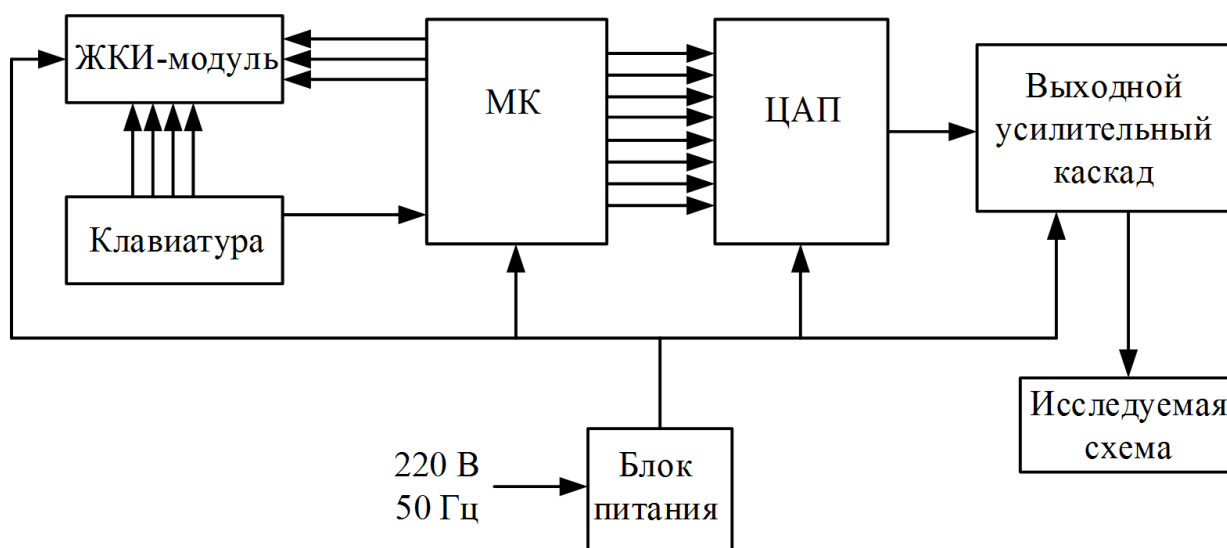


Рисунок 9 – Структурная схема генератора на микроконтроллере

Составные части прибора: МК, ЖКИ-модуль – для индикации выставляемых значений, клавиатура – для управления генератором, цифро – аналоговый преобразователь (ЦАП) и выходной усилительный каскад – служат для получения необходимых электрических параметров выходного сигнала, а также блок питания [6].

2.2 Разработка электрической принципиальной схемы

Принципиальная схема генератора на микроконтроллере изображена на рис.10. Основой генератора прямоугольных импульсов является микроконтроллер DD3 PIC16F84A, имеющий следующие характеристики [2, 5,17]:

- EEPROM данных, байт – 64.
- ОЗУ данных, байт – 68.
- максимальная тактовая частота, МГц - 20,
- напряжение питания – 5В.
- корпус – DIP-18.

Максимальный выходной ток PIC16F84A составляет 20 мА, входной – 25 мА [15]. Назначение выводов PIC16F84A приведено в табл. 2:

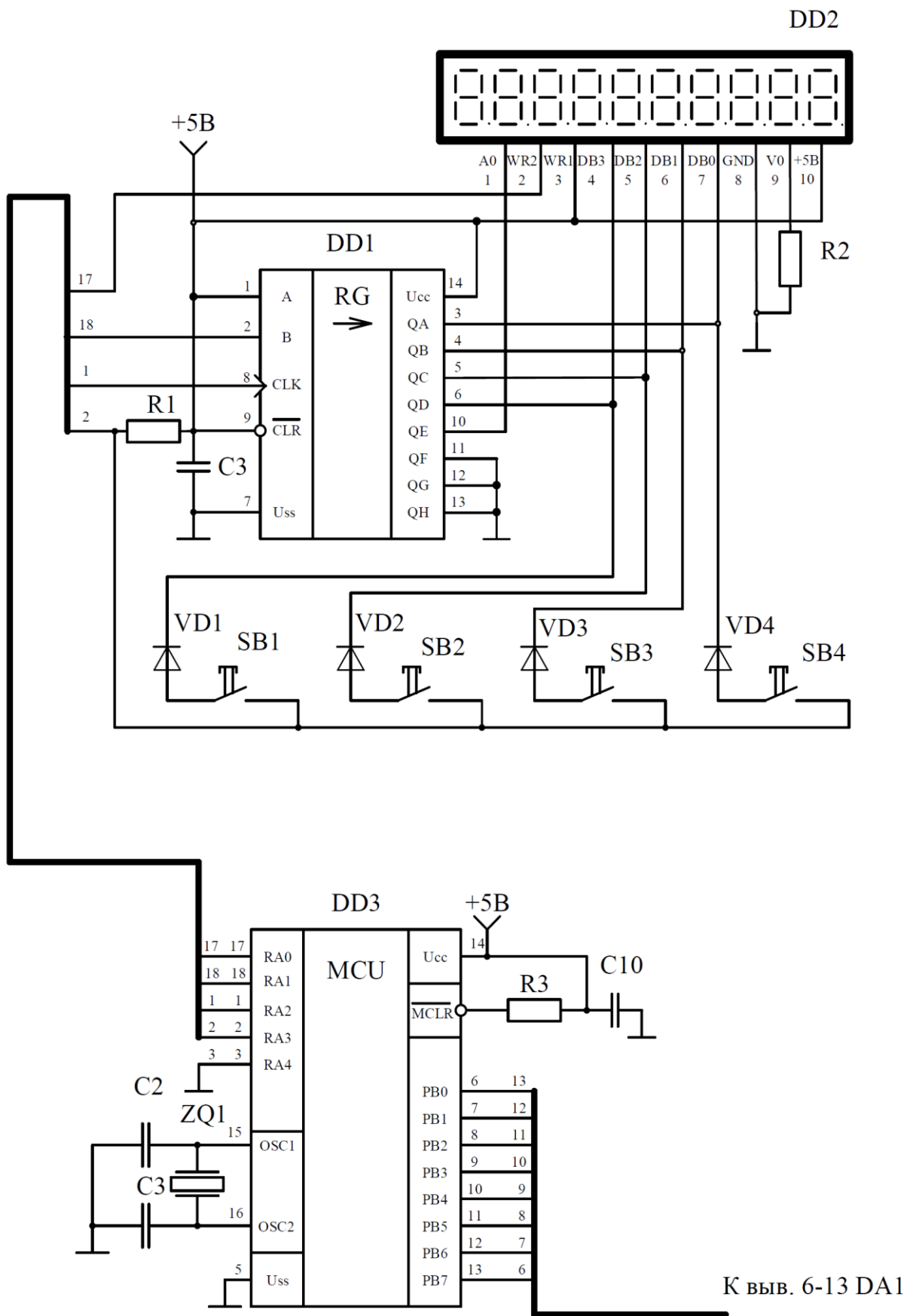


Рисунок 10 – Электрическая принципиальная схема генератора на микроконтроллере.

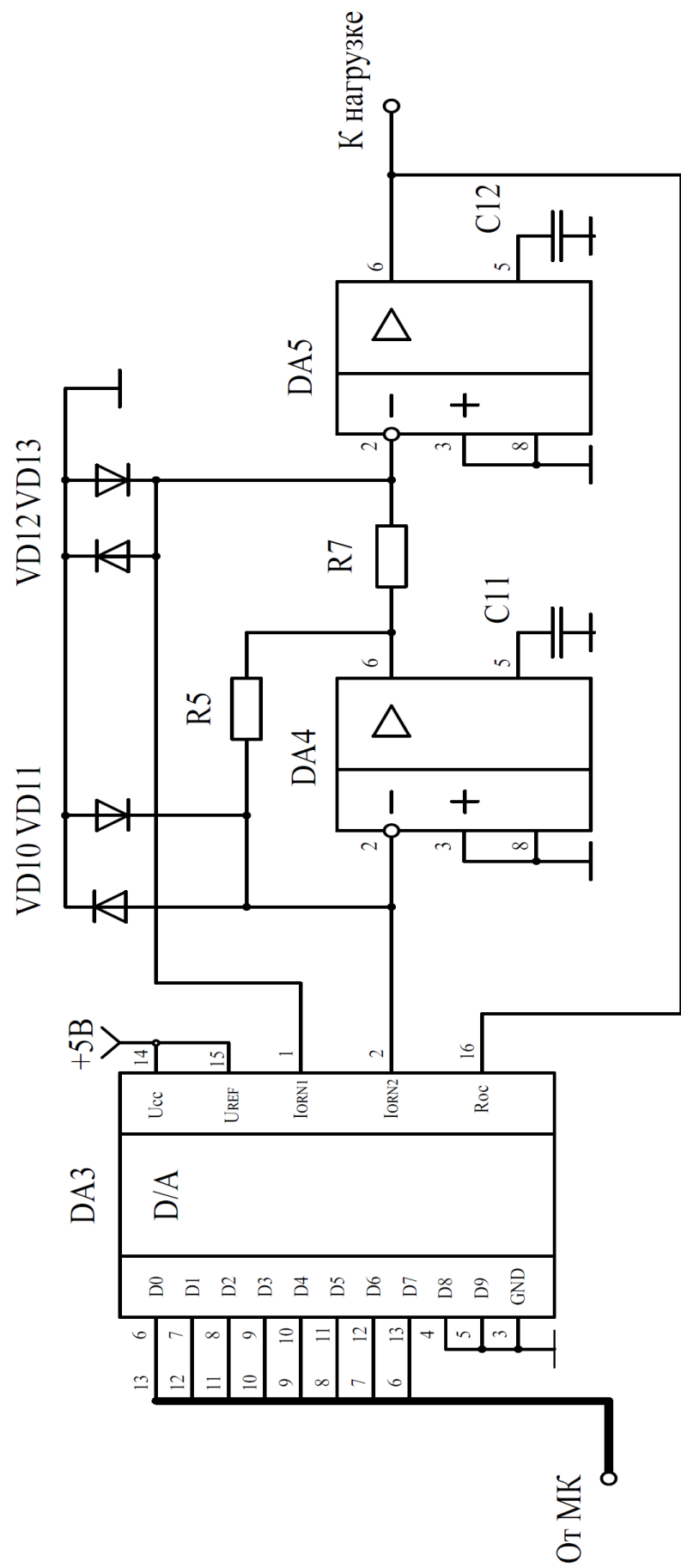


Рисунок 11 – Цифро-аналоговый преобразователь

Таблица 2 - Назначение внешних выводов PIC16F84A

| Номер вывода | Обозначение | Направление | Функциональное назначение |
|----------------|--------------------------|----------------------|---|
| 1, 2 | OSC1, OSC2 | Вх. | Входа для тактовых импульсов |
| 4 | $\overline{\text{MCLR}}$ | Вх. | Сброс |
| 17,18,1,2 3 | RA0-RA3 RA4/T0CKI | Вх./вых. Вх./вых. | Линии данных/адреса порта А Линия данных/адреса порта А, таймер/счетчик |
| 6 | RB0/INT | Вх./вых. | Линии данных/адреса порта В, вход прерывания |
| 7-13 | RB1-RB7 | Вх./вых. | Линии данных/адреса порта В |
| 5 | V _{SS} | - | Общий |
| 14 | V _{CC} | - | Напряжение питания |

«Кварцевый резонатор ZQ1, подключаемый к внешним выводам OSC1 и OSC2, управляет работой внутреннего генератора, который в свою очередь формирует сигналы синхронизации.». Выбрали резонатор типа Murata Erie CSA4,0MG с частотой синхронизации 4 МГц. Сдвигающие для генерации фазу конденсаторы C2 и C3 приняли типа: K10-7-1a-50B-30пФ±10%» [7, 8].

Цепь сброса построена по стандартной схеме [16]. Выбрали элементы: конденсатор C10 типа K50-6-10B-0,1мкФ±10%, резистор R3 МЛТ-0.125-47К±5% [21,22] .

Для отображения информации «использовали модуль индикации DD2 (рис.12), в качестве которого использован ЖКИ-модуль МТ10Т7-7 со встроенным контроллером производства компании «МЭЛТ» [9]. Модуль может отображать 10 знакомест, причем любой сегмент можно включать и выключать независимо от остальных. Индикатор DD2 имеет TTL уровни сигналов и приспособлен для подключения к микроконтроллеру. Управление

контрастностью не требуется, поэтому вывод V0 соединен с общим через R2 МЛТ-0,125-2К2±5% [16]. Назначение внешних выводов МТ10Т7-7 приведено в табл.3.

Таблица 3 - Назначение внешних выводов ЖКИ-модуля МТ10Т7-7

| «Номер вывода | Обозначение | Функциональное назначение |
|---------------|-------------------------|---|
| 1 | A0 | Выбор адрес/данные: A0="0" – адрес, A0="1" – данные |
| 2 | $\overline{\text{WR2}}$ | Запись в модуль. Активный уровень "1" |
| 3 | WR1 | Запись в модуль. Активный уровень "0" |
| 4-7 | DB3-DB0 | Шина адреса/данных |
| 8 | GND | Общий |
| 9 | V0 | Управление контрастностью |
| 10 | +E | Питание модуля»[23] |

Сначала на шине выставляется адрес необходимого знакоместа при низком уровне на A0 (рис. 13) Входы WR1 и WR2 защелкивают информацию, причем это произойдет при разных логических уровнях на них. Запись данных проходит при высоком уровне на A0 в два этапа: сначала в младшую тетраду, затем – в старшую. Запись происходит также по стробам WRx. После записи второй тетрады содержимое регистра адреса инкрементируется и можно записывать данные в следующее знакоместо без записи адреса.

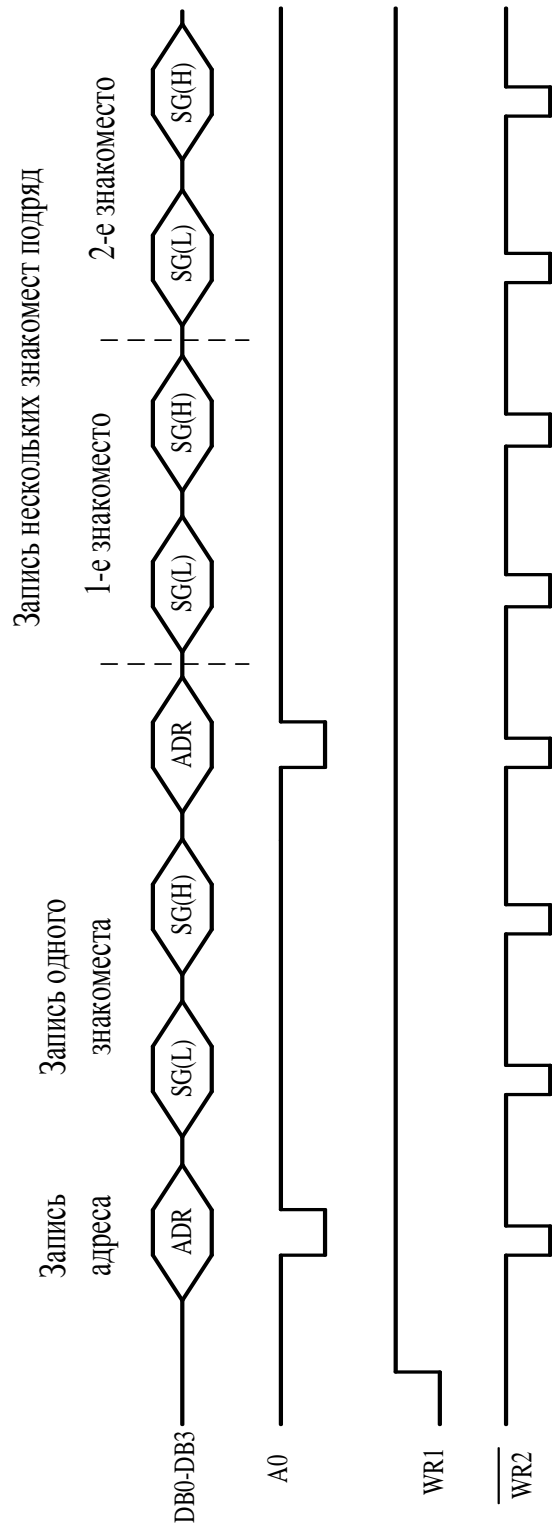


Рисунок 12 – Временные диаграммы работы ЖКИ модуля.

Недостаток модуля МТ10Т7 заключается в том, что он имеет параллельную шину управления. Модуль доработали установкой сдвигового регистра DD1 типа 74НС164, что преобразует интерфейс модуля из параллельного в последовательный (С1: К50-6-10В-0,1мкФ±10%). Согласно [16] логические уровни данной микросхемы совместимы с уровнями DD2 и DD3 и внешние подтягивающие резисторы не нужны. Стробирование осуществляется сигналом WR2 индикатора. Назначение внешних выводов 74НС164 приведено в табл.4.

Таблица 4 - Назначение внешних выводов сдвигового регистра 74НС164

| Номер вывода | Обозначение | Функциональное назначение |
|--------------|----------------------------|---------------------------|
| 1,2 | A,B | Информационные входы |
| 3-6 10-13 | QA,QB,QC,QD QE,QG,QG,QH | Выходы |
| 8 | CLK | Тактовый вход |
| 9 | $\overline{\text{MCLR}}$ | Сброс |
| 14 | Ucc | Напряжение питания |
| 10 | +E | Питание модуля |

В системе требуется не только индикатор, но и клавиатура управления SB1-SB4 (рис.10). Для того чтобы сэкономить порты микроконтроллера, для сканирования клавиатуры использовали сдвиговый регистр DD1 [16], который применяется для индикатора. Назначение кнопок: SB1 – “Увеличить частоту”, SB2 – “Уменьшить частоту”, SB3 – “Увеличить амплитуду”, SB4 – “Уменьшить амплитуду” (применили клавиатуру АК-1607-N-BBW-WP). По рекомендациям [16] применили диоды 4148 и подтягивающий резистор к линии возврата (без него уровень логической единицы достигался бы

слишком медленно, что требует введения дополнительных задержек в программу сканирования) R1 - МЛТ-0.125-2К2±5%.

Микроконтроллерная система функционирует следующим образом: на основании состояния клавиш SB1-SB4 МК в соответствии с программой выставляет на выходы RB0-RB7 цифровой код, который несет в себе информацию об амплитуде и полярности выходного импульса. Длительность импульса определяется задержкой кода на порте В, что задается также программным путем [24].

Для преобразования цифрового кода в аналоговый сигнал, применили цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) DA3, который подключили напрямую с МК (см. рис.11). Порт В имеет внутренние подтягивающие резисторы, а цифровым входам ЦАП достаточно нескольких мкА, поэтому их соединили напрямую.

«В качестве DA3 выбрали микросхему К572ПА1, выполненной по КМОП технологии, обладающей высоким быстродействием и малой потребляемой мощностью. Микросхема выполнена в герметичном корпусе DIP-16 и предназначена для преобразования 10-разрядного прямого параллельного двоичного кода на цифровых входах в ток на аналоговом выходе. В состав ИМС входит прецизионная поликремниевая резисторная матрица типа R-2R, усилители-инверторы для управления токовыми ключами, токовые двухпозиционные ключи, выполненные на КМОП транзисторах. Согласно [3], для работы с выходом по напряжению к К572ПА1 подключаются внешние источник опорного напряжения (ИОН) и ОУ с цепью ООС, работающей в режиме суммирования токов. Назначение внешних выводов К572ПА1 приведено в табл.5.»[3].

Таблица 5 – Функциональное значение выходов цифро-аналогового преобразователя К572ПА1

| «Номер вывода» | Обозначение | Функциональное назначение |
|----------------|-------------|---------------------------------|
| 1 | I1 | Аналоговый выход |
| 2 | I2 | Дополнительный аналоговый выход |
| 3 | GND | Общий |
| 4 | D0 | Цифровой вход (CP) |
| 5-12 | D1-D8 | Цифровые входы |
| 13 | D9 | Цифровой вход (MP) |
| 14 | Ucc | Напряжение источника питания |
| 15 | UREF | Опорное напряжение |
| 16 | Roc | Вывод резистора ОС»[6] |

Поскольку нам нужно только 8 цифровых входов, входы D8 и D9 не использовали. «При появлении на одном из входов ЦАП напряжения высокого уровня ($a_i=1$) ток поступает на выход 1, а при подаче напряжения низкого уровня ($a_i=0$) - на выход 2. Значения токов I1 и I2 на выходах 1 и 2 ИМС определяются из выражений» [1]:

$$I1 = \frac{U_{REF}}{R_{\text{ЭКВ}} \cdot \sum_{i=1}^8 2^{-i} \cdot a_i}, \quad (2.1)$$

$$I2 = \frac{U_{REF}}{R_{\text{ЭКВ}} \cdot \sum_{i=1}^8 2^{-i} \cdot \bar{a}_i}, \quad (2.2)$$

где $R_{\text{ЭКВ}}$ – эквивалентное сопротивление резистивной матрицы, равное 8 кОм;

a_i - значение двоичного кода на i -ом цифровом входе;

\bar{a}_i - инверсное значение двоичного кода на i -ом цифровом входе.

«Резистор R_{OC} определяет значение коэффициента преобразования и напряжения. В аналитической форме связь напряжения на выходе ОУ со значением двоичного кода на входе определяется выражением:»[1]

$$U_{ORN} = \frac{U_{REF} \cdot R_{OC} \cdot (2^{b-1} \cdot a_1 + 2^{b-2} \cdot a_2 + \dots + 2^{b-i} \cdot a_i + \dots + 2^0 \cdot a_b)}{2^b \cdot R}, \quad (2.3)$$

где b – число разрядов преобразования;

a_1 – код старшего разряда (СР);

a_b – код младшего разряда (МР);

R – значение сопротивления в резистивной матрице, 1,5 кОм[14].

Согласно [3] составили схему биполярного преобразователя код – напряжение, в которой используется два внешних ОУ: DA4 и DA5. Схема формирует выходной сигнал в пределах от $-U_{REF}$ до U_{REF} . Величину U_{REF} приняли равной напряжению питания, равной +5В. Режим биполярного преобразования реализуется вычитанием токов $I1$ и $\bar{I}2$. Инвертирование $I2$ производит DA3. На входе DA4 производится суммирование $I1$ и $\bar{I}2$.

Таким образом напряжение на выходе ЦАП определяется по формуле:

$$U_{ORN} = -(I1 - \bar{I}2) \cdot R_{ЭКВ}. \quad (2.4)$$

Зависимость напряжения на выходе ЦАП от цифрового кода на его входе однозначна:

$$0000\ 0000 - (1 - 2^{-8}) \cdot U_{REF}$$

$$\dots \dots$$

$$0111\ 1111 - 0,5\ МР$$

$$1000\ 0000 - -0,5\ МР$$

$$\dots \dots$$

$$1111\ 1111 - -(1 - 2^{-8}) \cdot U_{REF}.$$

По рекомендациям [3] в качестве DA3 и DA4 использовали быстродействующий ОУ К154УД1, параметры см в табл. табл.6.

Таблица 6 - Параметры К154УД1

| «Наименование параметра | Значение параметра |
|--|------------------------|
| Напряжение питания, $U_{ип}$, В | $\pm 4,5 \dots \pm 13$ |
| Входное сопротивление $R_{вх}$, МОм | 1 |
| Входной ток $I_{вх}$, нА | 40 |
| Ток потребления, $I_{пот}$, мА | 6 |
| Напряжение смещения нуля, $U_{см}$, мВ | 5 |
| Время установления (нарастания) выходного напряжения $t_{уст}$, мкс | 0,2»[6] |

«С11 и С12 применяются для частотной коррекции DA3 и DA4, из [3] выбрали конденсаторы типа КМ-56-ПЗЗ. Для защиты выводов 1 и 2 ЦАП от случайного попадания отрицательного напряжения их подключили через ограничители на диодах»[3] VD10 – VD13: КД514А [3].

По рекомендациям [3] выбрали R5 и R7 типа С2-29В-0,125 одного номинала: С2-29В-0,125-8К2 $\pm 5\%$.

2.4. Блок питания

Блок питания (рисунок 13) служит для питания схемы двухполярным напряжением плюс-минус 5В.

На входе стоит понижающий трансформатор ТПК-2-2×12В [15], затем диодный мост на диодах типа 1N4007 и два интегральных стабилизатора напряжения типа 7908 [8, 10]. Сглаживающие конденсаторы обеспечивают сглаженную форму напряжений.

Светодиод служит для визуальной индикации работы схемы [12].

Предохранители защищают от возможного короткого замыкания.

Все элементы сведены в приложение А.

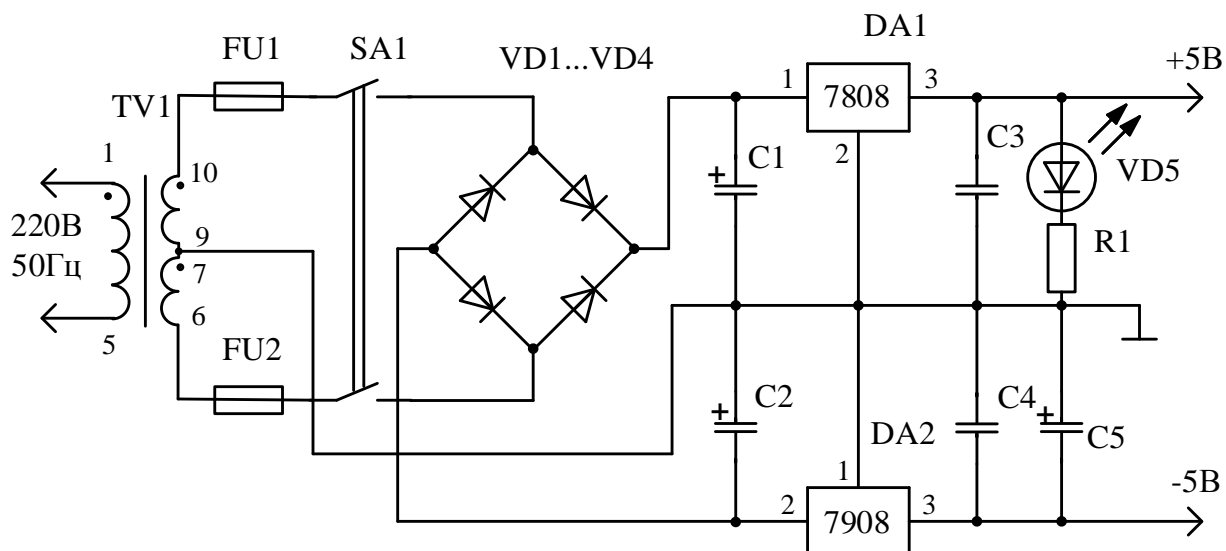


Рисунок 13 – Блок питания

Полная схема разработанного генератора изображена на рис. 14.

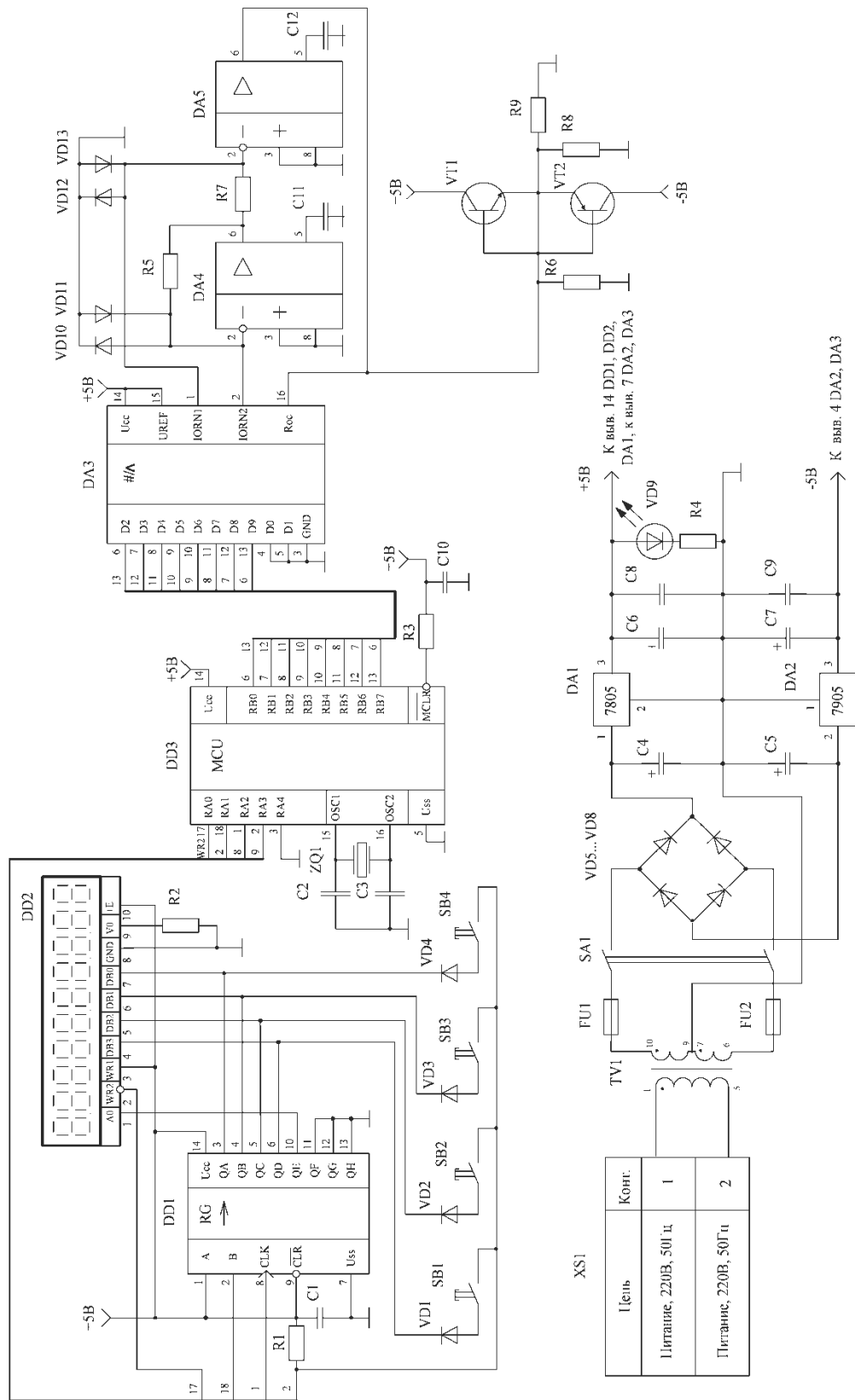


Рисунок 14 - Разработанная электрическая принципиальная схема

Полная схема состоит из разработанных ранее блоков.

2.5. Программа для микроконтроллера

На рис.15 изображена блок-схема программы функционирования устройства. В соответствии с ней разработали программу на языке ассемблера.

Назначаем в качестве выхода порт В. Следовательно, необходимо установить режим работы порта В - на выход. Порт А работает как на вход (линия возврата RET), так и на выход (информационный В и тактовый входы CLK для DD2, строб записи WR2 для DD1). Исходя из принципа работы автоколебательного мультивибратора, программа должна быть циклической и один полный ее цикл должен последовательно включать в себя группу команд формирования цифрового кода, соответствующего "+" импульсу напряжения и цифрового кода, соответствующего "-" импульсу напряжения на порте В. Форма сигнала "меандр" предполагает одинаковое время формирования этих уровней.

После команды Start, переводим порты А и В на соответствующие режимы работы. Далее загружаем в счетчики значения, соответствующие импульсам частотой 1400 Гц и максимальной амплитудой – 5 В. После опрашиваем клавиатуру и, если нужно, изменяем содержимое счетчиков, выводим на дисплей текущее значение параметра (в рабочей программе данная подпрограмма не разрабатывалась) и формируем на порте В байт данных, соответствующий определенной амплитуде и длительности импульса. После этого инвертируем байт данных для формирования импульса противоположной полярности, осуществляем сканирование клавиатуры, то есть переходим на новый цикл и так до "бесконечности" (пока питание не будет выключено).

Перед рабочим текстом программы (рабочими командами) расположена "шапка" программы, в которой указывается тип ПИКа (PIC16F84A) и значения битов конфигурации.

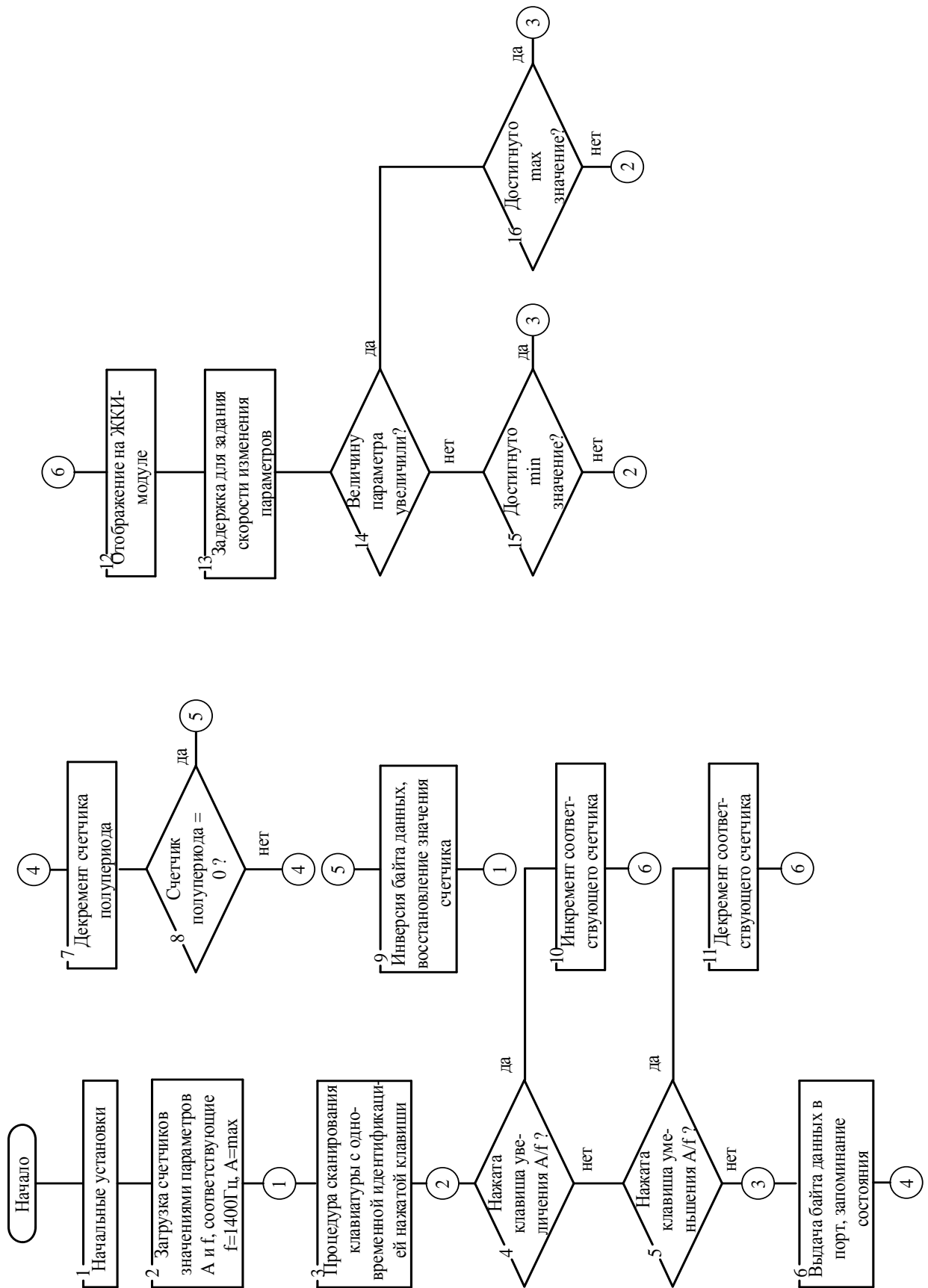


Рисунок 15 - БСА программы

«Устанавливаем эти биты: бит защиты CP выключен, сторожевой таймер WDT выключен, кварцевый генератор (используем кварц на 4МГц) работает в режиме стандартного генератора.

И тип ПИКа, и установленные биты конфигурации (а также "прописка" в программе регистров специального и общего назначения, разрешение на начало выполнения программы и ориентир конца программы) вводятся в работу программы так называемыми директивами. Далее в "шапке" программы "прописываются" адреса регистров специального назначения (область оперативной памяти).

Так как нам нужно только определить направления работы портов А и В, необходимо "прописать" адреса регистров TRISA (TRISB) - выбор направления работы выводов порта А (порта В), PORTA (PORTB) - работа с защелками порта А и STATUS (необходимо переключение банков, так как регистры TRISA и TRISB находятся в 1-м банке). Остальные регистры специального назначения "прописывать" не нужно, так как команды программы обращаться к ним не будут.

Далее в "шапке" программы "прописываются" адреса регистров общего назначения. Нам необходима задержка 350 мкс при начальных установках. Для обеспечения такой задержки достаточно емкости одного регистра общего назначения. Назвали его Sec и, директивой equ, определим ему адрес 0Ch в области оперативной памяти. Аналогичным образом прописали остальные регистры: A – задатчик амплитуды импульса, Scancode – сканкод клавиатуры, Scancounter - счетчик сканирования, Counter1 - счетчик программной задержки, Counter2 - вспомогательный счетчик.

В конце "шапки" располагается директива разрешения выполнения программы и команда перехода на начало программы (Start).»[19,20]

Перед телом основной программы расположена подпрограмма прерывания, формирующая программную задержку, равную мс. Она

необходима, чтобы при удержании клавиши частота изменялась в диапазоне от 1000Гц до 2000 Гц за 10 сек с шагом 10 Гц, а амплитуда от -5 В до 5 В с шагом 1 В также за это время. Получаем, что 10 Гц или 0,1 В должны изменяться за время 0,1 с, а по программе это происходит за 200 мкс (один инкремент/декремент счетчика выполняется примерно за 20 мкс за цикл), то есть необходима задержка 100 мс.

«Для определения требуемой временной задержки необходимо определить число X , загружаемое в Counter1. Определение числа X выполняется на основе расчета времени выполнения команд, образующих данную подпрограмму. При этом необходимо учитывать, что команды MOV и RET выполняются однократно, а число повторений команды decfsz равно числу X . Кроме того, обращение к подпрограмме временной задержки осуществляется командой CALL DELAY, время исполнения которой также необходимо учитывать при подсчете временной задержки. В описании команд МК указывается, за сколько машинных циклов (МЦ) исполняется каждая команда. На основании этих данных определяют суммарное число МЦ в подпрограмме: ACALL – 2МЦ, MOV – 1МЦ, decfsz – 2МЦ, RET – 2МЦ.

При тактовой частоте 4 МГц каждый МЦ выполняется за 1 мкс. Таким образом, программа выполняется за время $2 + 1 + 2X + 2 = 5 + 2X$ мкс. Для реализации временной задержки 500 мкс число X :

$$X = (500 - 5) / 2 = 247,5. \quad (2.5)$$

В данном случае при загрузке в Counter1 числа 247 мы получим задержку 499 мкс, для более точной подстройки добавлена команда NOP, время выполнения которой равно 1 мкс.»[6]. После этого загрузив в Counter2 число 200, 200 раз выполнится задержка в 500 мкс и таким образом реализуется общая задержка 100 мс. Она также обеспечивает защиту от дребезга контактов.

«После "срабатывания" команды goto Start, происходит переход на первую команду рабочей части программы (нулевой адрес в счетчике команд

PC). Она помечена словом Start, которое можно считать либо названием подпрограммы, либо меткой. Так как регистры TrisA и TrisB располагаются в первом банке, то переходим в первый банк. Для этого нужно установить в единицу 5-й бит регистра Status. Делаем это (bsf Status,5). Устанавливаем режимы работы выводов обоих портов: RB работает на выход, то есть, к нему подключились выходы защелок. Так как дальнейшие манипуляции будут производиться в нулевом банке, то возвращаемся в нулевой банк (устанавливаем 5-й бит регистра Status в 0: bcf Status,5).

Все перечисленные выше операции можно считать подготовительными и, в большинстве случаев, подпрограмма Start начинается именно с таких операций.

Для того, чтобы осуществить инкремент/декремент содержимого регистров Sec и A, необходимо сначала определить их, а затем заложить его в регистры. В A заложили число .0 (0000 0000): точка - атрибут десятичной системы исчисления, исходя из того, что оно соответствует $(1 - 2^{-8}) \cdot U_{REF}$ - максимальной амплитуде сигнала.

В Sec загрузили число .107, которое рассчитали следующим образом. С момента установки на порте В байта данных и до смены его на противоположный, должно пройти 350 мкс – 350 МЦ (частота 1400 Гц). Подпрограмма задержки Pause - циклическая. При неравенстве результата декремента содержимого регистра Sec нулю, один "виток" этой подпрограммы занимает 3 машинных цикла: команда DECFSZ выполняется за один МЦ, а команда GOTO - за два. Таким образом, уменьшение на 1 содержимого регистра Sec происходит за 3 МЦ (3мкс.)]

При равенстве результата декремента содержимого регистра Sec нулю, команда GOTO не выполняется, и выход из подпрограммы Pause происходит за 2 МЦ. Следовательно, константе 107 соответствует:»[6]

$$107 \cdot 3 - 1 = 320 \text{ мкс.}$$

$$(2.6)$$

Прибавили к 320-ти 2 МЦ двух команд NOP и 28 МЦ команд сканирования и проверок состояния клавиатуры, проверки на достижение максимума и минимума, получаем ровно 350мкс. «Если сделать константу равной 108, то получится неустранимый перебор (рабочие команды из программы не убираются). Если константа равна 107, то получается недобор в 2мкс., который устраняется добавлением двух NOPов. После того, как результат декремента содержимого регистра Sec станет равным нулю, программа исполняется циклически дальше.»[6]

Для выполнения сравнения текущего значения частоты с максимальным и минимальным аналогичным образом рассчитали величины .74 (1000Гц) и .157 (2000Гц). Для амплитуды сравнение вели с 0 – максимум, и с 1 – минимум. Текст программы приведен ниже.

Текст программы для микроконтроллера

```

;*****
; PIC16F84A    Кварц 4 МГц.
;=====
LIST    p=16F84A    ; Тип микроконтроллера.
__CONFIG  03FF1H    ; Бит защиты выключен, WDT выключен,
                ; стандартный ХТ - генератор.
;=====
; Определение положения регистров специального назначения.
;=====
Status    equ    03h    ; Регистр выбора банка.
TrisA     equ    85h    ; Регистр выбора направления работы выводов
                ; порта А.
TrisB     equ    86h    ; Регистр выбора направления работы выводов
                ; порта В.
PortA     equ    05h    ; Регистр управления защелками порта А.

```



```

PortB    equ    06h    ; Регистр управления защелками порта В.
;=====
; Определение названия и положения регистров общего назначения.
;=====
Sec      equ    0Ch    ; Счетчик времени полупериода.
A        equ    0Dh    ; Задатчик амплитуды импульса.
Scancode equ    0Eh    ; Скан-код.
Scancounter equ    0Fh    ; Счетчик сканирования.
Counter1 equ    10h    ; Счетчик программной задержки.
Counter2 equ    10h    ; Вспомогательный счетчик.
;=====
; Определение места размещения результатов операций.
;=====
F        equ    1      ; Результат направить в регистр.
;=====
org      0          ; Начать выполнение программы с адреса 0 РС.
goto    Start      ; Переход в ПП Start.

;*****
;
;           Формирование программной задержки
;*****
Delay    mov      Counter2,200; Загрузка в Counter2 числа .
Loop     mov      call 500mks ; Вызов задержки в 500 мкс.
         decfsz   Counter2,Loop; Декремент и цикл, если не 0.

500mks   mov      Counter1,.247; Загрузка в Counter1 числа 247.
Count    decfsz   Counter1, ; Декремент и цикл, если не 0.
         Count    ;
nop      ; Дополнительная микросекунда.

```

ret ; Возврат.

; Текст рабочей части программы.

; Установка направления работы RA, RB – на выход.

Start bsf Status,5 ; Перейти в 1-й банк (установить в 1 5-й бит
; регистра Status).

movlw b'00001000' ; и определить RA0, RA1, RA2 как выходы,

movwf TrisA ; а RA3 как вход.

movlw .0 ; Записать константу 0 в аккумулятор (W).

movwf TrisB ; Скопировать 0 из W в регистр TrisB.

bcf Status,5 ; Перейти в 0-й банк (установить в 0 5-й бит
; регистра Status).

; Определение времени полупериода, соответствующего 1400 Гц (закладка
константы в регистр Sec).

movlw .107 ; Записать в регистр W константу .107

movwf Sec ; Скопировать .107 из W в регистр Sec.

; Определение амплитуды импульса (закладка константы в регистр A).

movlw .0 ; Записать в регистр W константу .0

movwf A ; Скопировать .0 из W в регистр A.

; Опрос клавиатуры и идентификация нажатой клавиши.

Scan mov Scancode,.1 ; Загрузка в сканкод 1.

 mov Scancounter,.4 ; Загрузка счетчика сканирования.

 bsf c ; Загрузка бита переноса.

Scanbyte1 bsf PortA,1 ; Установка бита данных на выводе RA1 - 1.

 bsf PortA,2 ; Установка на выводе RA2 1 и снятие сигнала

 bcf PortA,2 ; ла с него (формирование строба для DD2).

 decfsz Scancounter,; Переход на метку Scanbyte1, если счетчик
 Scanbyte1 ; сканирования не=0.

 mov Scancounter,.4 ; Загрузка счетчика сканирования.

 bcf PortA,1 ; Установка на выводе RA1 0.

Scanbyte2 bsf PortA,2 ; Установка на выводе RA2 1 и снятие сигнала

 bcf PortA,2 ; ла с него (формирование строба для DD2).

 movc PortA,3 ; Ввод бита возврата с вывода RA3.

 jnc DBNC ; Если c=0, то клавиша нажата и переход
 ; на DBNC.

 rrf Scancode ; Сдвиг вправо сканкода.

 bsf PortA,1 ;

 decfsz Scancounter,; Переход на метку Scanbyte2, если счетчик
 Scanbyte2 ; сканирования не=0.

; Вызов задержки.

DBNC call Delay ; Задержка

; Проверка состояния кнопки «Увеличить частоту».

Push1 movw Sec ; Проверка достигнута ли максимальная
 sublw 0.74 частота.

 jz Push2 ; Если да, то переход на Push2.

 btfsc Scancode,0 ; Проверить бит 0 в Scancode, если он=1, то
 исполняется следующая инструкция; если =0

то не выполняется (пропускается).

 decf Sec,F ; Декремент содержимого регистра Sec с
 помещением результата в этот же регистр.

; Проверка состояния кнопки «Уменьшить частоту».

Push2 movw Sec ; Проверка достигнута ли минимальная
 sublw 0.157 частота.

 jz Push3 ; Если да, то переход на Push3.

 btfsc Scancode,1 ; Проверить бит 1 в Scancode, если он=1, то
 исполняется следующая инструкция; если =0

то не выполняется (пропускается).

 incf Sec,F ; Инкремент содержимого регистра Sec с
 помещением результата в этот же регистр.

; Проверка состояния кнопки «Увеличить амплитуду».

```

Push3    movw    A      ; Проверка достигнута ли максимальная
        jz      Push4    ; амплитуда. Если да, то переход на Push3.
        btfscc Scancode,2 ; Проверить бит 2 в Scancode, если он=1, то
                        ; исполняется следующая инструкция; если =0
то не выполняется (пропускается).
        decf   A,F      ; Декремент содержимого регистра A с
                        ; помещением результата в этот же регистр.

```

```

;-----

```

```

; Проверка состояния кнопки «Уменьшить амплитуду».
;-----

```

```

Push4    movw    A      ; Проверка достигнута ли минимальная
        comf   w, 0      ; амплитуда.
        jz      Pulse    ; Если да, то переход на Pulse.
        btfscc Scancode,3 ; Проверить бит 3 в Scancode, если он=1, то
                        ; исполняется следующая инструкция; если =0
то не выполняется (пропускается).

```

```

        incf   A,F      ; Инкремент содержимого регистра A с
                        ; помещением результата в этот же регистр.

```

```

;-----

```

```

; Формирование на RB импульса.
;-----

```

```

Pulse    movAF   PortB   ; Установить на выходе защелок RB значение
                        ; регистра A.

```

```

        nor    ; Калибровочный машинный цикл.

```

```

        nor    ; -----"-----

```

```

Pause    decfsz  Sec,F    ; Декремент содержимого регистра Sec с
        goto   Pause    ; помещением резуль-

```

```

; тата декремента в этот же регистр.
; Если этот результат не=0, то
; осуществляется переход
; в ПП Pause_1 ("закольцовка" в этой ПП).
; Если =0, то программа выполняется далее.
comf    A        ; Инвертировать содержимое регистра A.
movw    Sec      ; Восстановить Sec.

goto    Scan     ; Переход на новый полный цикл программы.
;*****
end      ; Директива конца программы.

```

Выводы

Во второй главе рассмотрена структурная схема генератора, разработана его электрическая принципиальная схема и составлена управляющая программа для микроконтроллера.

Заключение

В данной выпускной квалификационной работе был разработан генератор прямоугольных импульсов.

Назначение генератора – создания двух полярных переменных импульсов с возможностью изменения частоты и амплитуды.

Актуальность работы заключается в возможности разработки недорогого микроконтроллерного генератора прямоугольных импульсов, пригодного для эксплуатации при проведении лабораторных работ.

В первой главе разделе рассмотрено состояние вопроса, существующие аналоги и описано предполагаемое применение разрабатываемого генератора.

Во второй главе рассмотрена структурная схема генератора, разработана его электрическая принципиальная схема и составлена управляющая программа для микроконтроллера.

В приложении приведен перечень выбранных элементов.

Центральным элементом генератора является микроконтроллер. Управление режимами работы осуществляется посредством кнопок. Формируемый микроконтроллером цифровой сигнал превращается в аналоговое напряжение двухполюсным аналого-цифровым преобразователем. Полученное напряжение усиливается выходным усилительным каскадом. Вся схема запитана от разработанного двух полярного источника напряжения

Так же разработали блок-схему алгоритма работы программы и создали управляющую программу. При включении автоматически устанавливаются значения амплитуды и частоты, необходимые для лабораторной работы. При необходимости они изменяются нажатием клавиш.

Работа оформлена в соответствии с требованиями [9, 11, 13,18].

Список используемой литературы

1. Б. Уильямс. Силовая электроника.: Под ред. В.В. Попова. – М.: Энергоатомиздат, 1993. – 238 с.
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 ATMEL.–М.:Додэка, 2004.-288 с.:ил.
6. Забродин Ю.С. Промышленная электроника: Учебник для вузов. –М: Высш. школа, 1982. -496 с.: ил.
7. 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.
8. Масленников М.Ю. Справочник разработчика и конструктора РЭА. –М.: Радио и связь, 1988.-300с.: ил.
9. 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: 18.02.2022)
10. Мощные полупроводниковые приборы. Диоды: Справочник/ Под ред. А.В. Голомедова.-М.: Радио и связь, 1985. – 174с.
11. 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: 18.02.2022)

12. Полупроводниковые приборы: Справочник / Гитцевич А.Б.-М.: Радио и связь, 1988.-528с.:ил.

13. 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: 18.02.2022)

14. Резисторы: Справочник / В.В. Дубровский, Д.М. Иванов, Н.Я. Пратусевич и др. Под ред. И.И. Четверткова и В.М. Терехова. -2-е изд., перераб. И доп. – М.: Радио и связь, 1991.-528 с.:ил.

15. Сидоров И.Н. и др. Малогабаритные трансформаторы и дроссели: Справочник / И.Н. Сидоров, В.В. Мукосеев.-М.: Радио и связь, 1985. – 416с., ил.

16. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника: Справочное руководство. Пер. с нем. – М.: Мир,1982. – 512 с.,ил.

17. Фрунзе А.В. Микроконтроллеры это же просто. –М.:Скимен, 2002.-336с.ил

18. 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.

19. AT89S8252 Datasheet (PDF) - ATMEL Corporation [Электронный ресурс]. URL: <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/175000/ATMEL/AT89S8252.html> (дата обращения: 27.05.2022)

20. AT89S8252 Primer [Электронный ресурс]. URL: <http://www.shrubbery.net/~heas/willem/PDF/ATMEL%20Flash%20Microcontroller/8051-Architecture/Application%20Notes/AT89S8252%20Primer.pdf> (дата обращения: 27.05.2022)

21. Electrical resistance and conductance [Электронный ресурс]. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Electrical_resistance_and_conductance (дата обращения: 17.05.2022)
22. Electronic Components Datasheets [Электронный ресурс] URL: <http://www.datasheets.ru> (дата обращения: 17.02.2022)
23. LM78XX / LM78XXA 3-Terminal 1 A Positive Voltage Regulator [Электронный ресурс]. URL: <https://static.chipdip.ru/lib/164/DOC001164647.pdf> (дата обращения: 17.05.2022)
24. PIC 16F84A. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.microchip technology.com> (дата обращения: 17.05.2022)
25. 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.

**Приложение А.
Перечень элементов.**

| Позиц. обознач. | Наименование | Кол. | Примечание |
|--------------------|-----------------------|------|------------|
| | | | |
| | <u>Конденсаторы</u> | | |
| | | | |
| C1,C10 | K50-6-10В-0,1мкФ±10% | 2 | |
| C2,C3 | K10-7-1a-50В-30нФ±10% | 2 | |
| C4 | K50-6-25В-1000мкФ±20% | 1 | |
| C5 | K50-6-25В-470мкФ±20% | 1 | |
| C6,C7 | K50-6-16В-10мкФ±20% | 2 | |
| C8,C9 | K10-17Б-470нФ-У5V | 2 | |
| C11,C12 | KM-56-П33±10% | 2 | |
| | | | |
| | <u>Стабилизаторы</u> | | |
| DA1 | 7805 | 1 | |
| DA2 | 7905 | 1 | |
| | | | |
| | <u>Микросхемы</u> | | |
| | | | |
| DA4,DA5 | K154УД1 | 2 | |
| DA3 | K572ПА1 | 1 | |
| DD1 | 74НС164 | 1 | |
| DD3 | PIC 16F84A | 1 | |
| | | | |
| | <u>Индикаторы</u> | | |
| | | | |
| DD2 | MT10T7-7 | 1 | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

| | | | | | | | |
|----------|----------------|---------|-------|----------------------------|---------------|------|--------|
| | | | | 22-110304.45/09.339 | | | |
| Изм. | Лист | № докум | Подп. | Дата | | | |
| Разраб. | Вахобзода А.Х. | | | | Литер. | Лист | Листов |
| Пров. | Прядилов А.В. | | | | | 1 | 3 |
| Н.контр. | | | | | ГТУ ЭЛб-1802а | | |
| Утв. | Шевцов А.А. | | | | | | |

Генератор импульсов на
микронтроллере.
Перечень элементов.

Продолжение Приложения А

| <i>Позиц. обознач.</i> | <i>Наименование</i> | <i>Кол.</i> | <i>Примечание</i> |
|------------------------|-----------------------------|----------------|-------------------|
| | | | |
| | <u>Предохранители</u> | | |
| | | | |
| <i>FU1,FU2</i> | <i>ВП2Б-1</i> | <i>2</i> | |
| | | | |
| | <u>Резисторы</u> | | |
| | | | |
| <i>R1,R2</i> | <i>МЛТ-0,125-2К2±5%</i> | <i>2</i> | |
| <i>R3</i> | <i>МЛТ-0,125-47К±5%</i> | <i>1</i> | |
| <i>R4</i> | <i>МЛТ-0,125-300Е ±5%</i> | <i>1</i> | |
| <i>R5,R7</i> | <i>С2-29В-0,125-8К2 ±5%</i> | <i>2</i> | |
| <i>R6</i> | <i>МЛТ-0,125-22К ±5%</i> | <i>1</i> | |
| <i>R8</i> | <i>МЛТ-0,125-1К2 ±5%</i> | <i>1</i> | |
| <i>R9</i> | <i>МЛТ-0,25-22Е ±5%</i> | <i>1</i> | |
| | | | |
| | <u>Клавиатура</u> | | |
| | | | |
| <i>SB1-SB4</i> | <i>АК-1607-N-BBW-WP</i> | <i>1</i> | |
| | | | |
| | <u>Трансформаторы</u> | | |
| | | | |
| <i>TV1</i> | <i>Т1К-2-2×12В</i> | <i>1</i> | |
| | | | |
| | <u>Диоды</u> | | |
| | | | |
| <i>VD1-VD4</i> | <i>4148</i> | <i>4</i> | |
| <i>VD5-VD8</i> | <i>1N4007</i> | <i>4</i> | |
| <i>VD10-VD13</i> | <i>КД514А</i> | <i>4</i> | |
| | | | |
| | <u>Светодиоды</u> | | |
| | | | |
| <i>VD9</i> | <i>АЛ307А</i> | <i>1</i> | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум</i> | <i>Подп. Дата</i> |
| | | | |

Лист

2

Продолжение Приложения А

| <i>Позиц. обознач.</i> | <i>Наименование</i> | <i>Кол.</i> | <i>Примечание</i> |
|----------------------------|-----------------------------------|----------------|-------------------|
| | | | |
| | <u><i>Транзисторы</i></u> | | |
| <i>VT1</i> | <i>КТ972А</i> | <i>1</i> | |
| <i>VT2</i> | <i>КТ973А</i> | <i>1</i> | |
| | | | |
| | <u><i>Клеммники</i></u> | | |
| <i>XS1</i> | <i>ЕС350V-xxP</i> | <i>1</i> | |
| | | | |
| | <u><i>Кварцевый резонатор</i></u> | | |
| <i>ZQ1</i> | <i>Murata Erie CSA4,0 MG</i> | <i>1</i> | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | <i>Лист</i> |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум</i> | <i>Подп. Дата</i> |
| | | | 3 |