

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Инженерно-технологическая академия  
Институт радиотехнических систем и управления  
Кафедра АиРПУ

К защите ДОПУСТИТЬ:

зав. каф. д.т.н., профессор Ю.В. Юханов

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ  
БАКАЛАВРА**  
по направлению 110301 «Радиотехника»


на тему:

**РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО  
ГЕНЕРАТОРА НА МИКРОКОНТРОЛЛЕРЕ**

Руководитель выпускной  
квалификационной работы: \_\_\_\_\_

к.т.н., доцент каф. АиРПУ  
Демьяненко А.В.

Студент



Бакшун Дмитрий Иванович  
гр. РТбо4-1

Таганрог, 2020 г.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Инженерно-технологическая академия  
Институт радиотехнических систем и управления  
Кафедра Антенн и радиопередающих устройств  
Группа РТбо4-1

ЗАДАНИЕ

на выпускную квалификационную работу

Бакшун Дмитрия Ивановича

1 Тема работы: «Разработка функционального генератора на микроконтроллере» утверждена приказом по вузу № 4642-К от 15 апреля 2020 г.

2 Срок сдачи студентом законченной работы – 19.06.2020.

3 Исходные данные к работе:

Разработать функциональный генератор со следующими характеристиками:

3.1 Рабочий диапазон частот сигналов: 350 Гц–35 кГц.

3.2 Разрешение по напряжению: 8 бит.

3.3 Функция произвольного сигнала: имеется.

3.4 Размах выходного напряжения: до 5 В.

3.5 Форма генерируемого сигнала: синусоидальная, прямоугольная, треугольная, прямая и инверсная пила.

4 Содержание работы (перечень подлежащих разработке вопросов):

4.1 Обзор литературы по теме работы.

4.2 Разработка методов решения задачи.

4.3 Разработка схемы.

4.4 Написание программы.

4.5 Симуляция схемы

4.5 Заключение

5 Перечень графического материала

|  |            |
|--|------------|
| Титульная страница                                 | слайд (-а) |
| Техническое задание                                | слайд (-а) |
| Структурная схема                                  | слайд (-а) |
| Печатная плата                                     | слайд (-а) |
| Технико-экономическое обоснование дипломной работы | слайд (-а) |
| Безопасность и экологичность                       | слайд (-а) |
| Заключение   | слайд (-а) |

6 Консультации по работе (с указанием относящихся к ним разделов работы)

Технико-экономическое обоснование: \_\_\_\_\_ /А.В. Демьяненко/  
(подпись)

Безопасность и экологичность: \_\_\_\_\_ /А.В. Геворкян/  
(подпись)

7 Дата выдачи задания «21» март 2020 г.

Руководитель \_\_\_\_\_ /А.В. Демьяненко/  
(подпись)

Задание принял к исполнению (дата) «21» март 2020 г.

Студент \_\_\_\_\_ /Д.И. Бакшун/  
(подпись)

УДК 621.372.9

Бакшун Дмитрий Иванович

Группа РТбо4-1

«Разработка функционального  
генератора на  
микроконтроллере»

ВКР. – Таганрог: ИТА ЮФУ

ИРТСУ, 2020

### **Аннотация**

Данная дипломная работа посвящена проектированию устройства, позволяющего вырабатывать набор тестовых сигналов для проверки различных характеристик приборов. Составлен разбор характеристик уже готовых решений для этой задачи, которые будут учитываться при проектировании. Будет составлена структурная схемы работы устройства, показывающая основные принципы его работы, а также принципиальная схема и печатная плата. Выполнена симуляция работы с выходными сигналами разной формы на разных частотах. Рассмотрены вопросы экономической целесообразности самой работы.

UDC 621.372.9

Bakshun Dmitry Ivanovic

Group RTbo4-1

« Development of a functional  
generator on a microcontroller »

ETA SFEDU

Institute of radio engineering  
control systems, 2020

### **Annotation**

This thesis is devoted to the design of a device that allows you to produce a set of test signals to check various characteristics of devices. The analysis of the characteristics of ready-made solutions for this task, which will be taken into account when designing, is compiled. A block diagram of the device will be drawn up, showing the basic principles of its operation, as well as the schematic diagram and printed circuit Board. A simulation of working with output signals of different shapes at different frequencies was performed. The questions of economic feasibility of the work itself are considered.

## РЕФЕРАТ

Рассмотрена основная литература про МК семейства AVR. Разработана структурная схема, в соответствии с которой будет работать устройство. Для реализации структурной схемы были рассмотрены несколько вариантов компонентов для конкретных блоков и выбраны те, которые удовлетворяющие заявленным характеристикам и требованиям. После выбора компонентов составлена принципиальная схема.

Была написана программа для МК на языке Си, разобраны функции применяемые в процессе генерации сигнала, а также управление кнопками и вывода параметров сигнала на МД. Было установлено, что на выходе ЦАП получаются сигналы, соответствующие заданным параметрам, установленным с помощью блока управления. Получены графики с выхода ЦАП для каждого вида сигнала на двух частотах.

Учтены несколько важных требований при проектировании печатной платы. Выбран класс точности стандартный и для него установлена основная толщина дорожек и их максимальная длина.

Далее рассмотрена актуальность данной разработки, подсчитаны все затраты на проектирование, включающие в себя заработную плату сотрудникам, стоимость ПО и материалов. Произведена оценка условий труда по нескольким показателям и разработан план по улучшению работоспособности.

## СОДЕРЖАНИЕ

|  |    |
|--|----|
| ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ .....                                   | 8  |
| ВВЕДЕНИЕ .....   | 9  |
| 1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ ПО ТЕМЕ РАБОТЫ .....                          | 10 |
| 2 СТРУКТУРНАЯ СХЕМА .....  | 11 |
| 3 РАЗРАБОТКА УЗЛОВ .....   | 12 |
| 3.1 Выбор источника питания.....                                 | 12 |
| 3.3 Выбор ЦАП.....   | 16 |
| 4 ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ.....                                   | 18 |
| 4.1 Задачи. Формирование сигналов.....                           | 18 |
| 4.2 Описание таймера счетчика.....                               | 18 |
| 4.3 Описание SPI .....   | 21 |
| 4.4.1 Добавление библиотек, основных макросов и переменных.....  | 22 |
| 4.4.2 Функции для работы с кнопками .....                        | 28 |
| 4.4.3 Функции формирования сигналов .....                        | 31 |
| 4.4.4 Создание макросов и переменных для работы с дисплеем ..... | 33 |
| 4.4.5 Функции для работы с дисплеем.....                         | 38 |
| 4.4.6 Макросы и функции для работы с таймером .....              | 42 |
| 5 СИМУЛЯЦИЯ СХЕМЫ.....   | 45 |
| 6 РАЗРАБОТКА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ .....                                | 52 |
| 6.1 Толщина проводников.....                                     | 52 |
| 6.2 Длина проводников.....                                       | 52 |
| 6.3 Синхронизация шины.....                                      | 53 |
| 7 ТЕХНИКО – ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ДИПЛОМНОЙ РАБОТЫ .....     | 55 |
| 7.1 Назначение и области применения .....                        | 55 |
| 7.2 Актуальность применения в промышленных отраслях.....         | 55 |

|   |    |
|---|----|
| 6.3 Выбор уже готовых решений для сравнения .....   | 55 |
| 7.4 Трудоемкость выполнения проекта .....   | 57 |
| 7.5 Распределение заработной платы.....   | 58 |
| 7.6 Затраты на ПО для разработки проекта.....   | 60 |
| 7.7 Используемое оборудование .....   | 61 |
| 7.8 Подведем итоги всех затрат .....  | 62 |
| 8 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ.....   | 63 |
| 8.1 Потенциальные вредные и опасные факторы при эксплуатации<br>устройства и меры защиты..... | 63 |
| 8.2 Меры направленные на улучшение работоспособности .....                                    | 67 |
| 8.3. Анализ надежности на этапе эксплуатации .....  | 68 |
| 8.4 Пожарная безопасность в производственном помещении .....                                  | 69 |
| 8.5 Защита окружающей природной среды.....  | 70 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....   | 71 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....  | 72 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ 1 .....  | 74 |



## ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

ФГ – функциональный генератор;  
МК – микроконтроллер;  
ИП – источник питания;  
ПП – преобразователь напряжения;  
СП - супервизор питания;  
КР – кварцевый резонатор (или СЧ - стабилизация частоты);  
БС – блок синхронизации;  
УСИП – управление питанием и синхронизацией;  
ЦП – центральный процессор;  
FLASH – электрически стираемая и программируемая память;  
SRAM – статическая память с произвольным доступом;  
SPI – последовательный периферийный интерфейс;  
ТС – таймер счетчик;  
ПВВ – порты ввода/вывода;  
ЦАП – цифро – аналоговый преобразователь;  
МД – модуль дисплея;  
БУ – блок управления;  
ВБ – восьмибитный;  
ЛУ – логический уровень;  
ПК – персональный компьютер;  
ПО – программное обеспечение.

## ВВЕДЕНИЕ

ФГ являются одними из самых востребованных приборов и предназначены для формирования сигналов различной формы и частоты. Известна широкая область применения тестовых сигналов, соответствующих мировым стандартам АМ, ЧМ, а также цифровых сигналов, GPS и т. д. для проверки корректной работы каждого конкретного вида электронных приборов. Самыми распространёнными формами сигналов являются синусоидальный, пилообразный, треугольный и прямоугольный.

При разработке различных блоков или отдельных модулей ФГ может выступать как источник воздействующего сигнала, например источником опорного или модулирующего сигнала для различных видов модуляторов, источником смеси полезного сигнала с шумом, чтобы проверить корректность работы фильтров и т. д.

ФГ делятся на два класса: аналоговые и цифровые. Каждый из этих классов обладает своими преимуществами, которые мы кратко рассмотрим. Самое главное преимущество аналоговых – это то, что он не имеет «ступенек», в то время как цифровой имеет этот недостаток из-за дискретности сигнала. Преимущество цифровых – это реализация абсолютно любых форм сигнала, но очень ограниченных по максимальной частоте в зависимости от заданной частоты дискретизации (ЧД).

Исходя из всего выше сказанного, можно сделать вывод, что разработка цифровых функциональных генераторов является актуальной, так как имеет большой спрос продаж как у профессиональных разработчиков, так и любителей.

## 1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ ПО ТЕМЕ РАБОТЫ

Во время поиска литературы про микроконтроллеры я решил остановиться на двух книгах про семейства AVR, которые на мой взгляд оказались одними из самых удачных. Первая это «Применение микроконтроллеров AVR: схемы алгоритмы программы» [1] от автора Баранова В.Н. В ней рассказано, где можно найти необходимый пакет среды разработки и как происходит создание первого проекта. Поэтому в данной дипломной работе не будут поднимать подобные вопросы так как они уже изложены в [1]. Так же в [1] есть глава посвящённая генерации сигналов при написании кода на ассемблере, что является очень важным для проекта ФГ, но в ней идет речь о генерации через микросхемы ЦАП с использованием интерфейса SPI, что не является эффективным решением и в разделе 3 дипломной работы будет сказано почему и какие решения лучше.

Вторая книга называется «Микроконтроллеры AVR в радиолюбительской практике» [2] от автора Белова А.В. В ней подробно объясняется как устроен МК, какую он имеет периферию, принципы работы таймера, SPI и т.д. Тогда при работе с этими элементами можно опираться как на даташит к МК, так и на эту книгу.

## 2 СТРУКТУРНАЯ СХЕМА

В документе ТКГУ.110301.160103.Э1-20 приведена структурная схема устройства, основанная на [3, с.6][2, с.7].

а) ПН увеличивает входное напряжение от ИП до необходимого значения. После, это напряжение питания подается на МД и СП. СП в составе МК позволяет избежать непредсказуемого поведения ЦП в промежутки времени при подаче и снятии питания. Само назначение СП – это изменение состояния своего выходного сигнала при питании ниже определенного уровня.

б) КР стабилизирует частоту для БС, который вырабатывает тактирующие импульсы для синхронной работы всех внутренних элементов МК. Блок УСИП управляет режимами работы БС. В данном варианте используется режим тактирования от внешнего резонатора с номиналом 16 МГц.

в) Главной частью программируемого МК является ЦП. Он представляет собой интегральную схему, выполняющую команды машинного кода. По шинам данных ЦП контролирует обмен информацией между внутренними элементами МК. FLASH хранит массивы отсчеты сигналов. Длиной каждого массива является один период дискретного сигнала. В SRAM происходит обработка массивов сигналов.

г) Из SRAM блок SPI по шине PB[4:2] отправляет данные о сигнале (тип, амплитуда, частота, заполнение импульсов) на МД. ПВВ передает по шине PB[1:0] управляющие команды для МД и по шине PD[7:0] отсчеты сигналов для ЦАП, на выходе которого мы получаем непрерывный аналоговый сигнал. ТС через промежутки времени запускает прерывание, которое опрашивает состояние логических уровней на шине PC[6:0]. Логические уровни задает БУ.

## 3 РАЗРАБОТКА УЗЛОВ

### 3.1 Выбор источника питания

Выбор параметров ИП зависит от энергопотребления самого МК. На рисунке 3.1 изображен график [3, с.268], где показана зависимость потребляемого тока от частоты тактирования и напряжения питания.

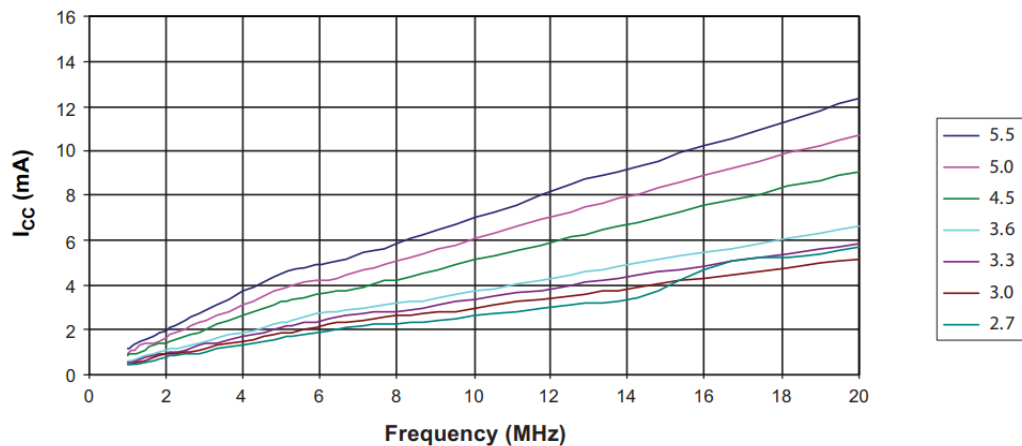


Рисунок 3.1 – Зависимость потребляемого тока от частоты тактирования

По графику видно, что для заявленной частоты тактирования 16 МГц МК потребляет 9 мА при напряжении 5 В. Габариты устройства не позволяют применять блоки питания т. к. это уменьшает удобство транспортировки. Поэтому было принято решение использовать литиевый аккумулятор с напряжением 3,7 В и с удельной энергоемкостью 600 мАч, которую хватит на долгую эксплуатацию устройства. Для повышения напряжения до 5 В применим повышающий преобразователь.

В качестве DC-DC преобразователя была выбрана распространённая микросхеме MC34063 [4]. Она обладает характеристиками: диапазон значений входных напряжений: от 3 В до 40 В; высокий выходной ток: до 1,5 А; регулируемое выходное напряжение с помощью делителя; максимальная частота преобразования 100 кГц; точность внутреннего источника опорного напряжения 2%; ограничение тока короткого замыкания; низкое потребление в спящем режиме. На рисунках 3.2 – 3.3 приведены структурная схема и схема

включения в режиме повышающего преобразователя соответственно.

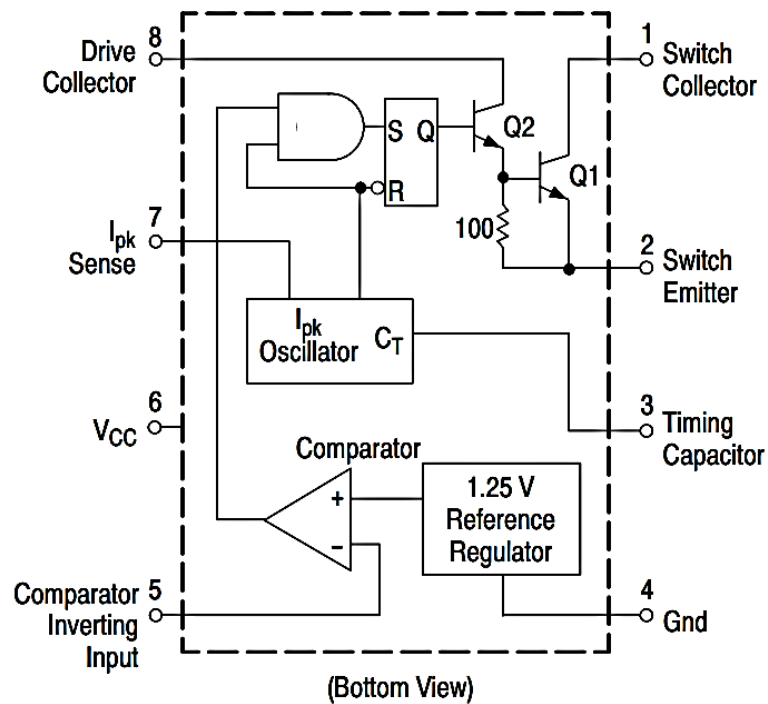


Рисунок 3.2 – Структурная схема MC34063

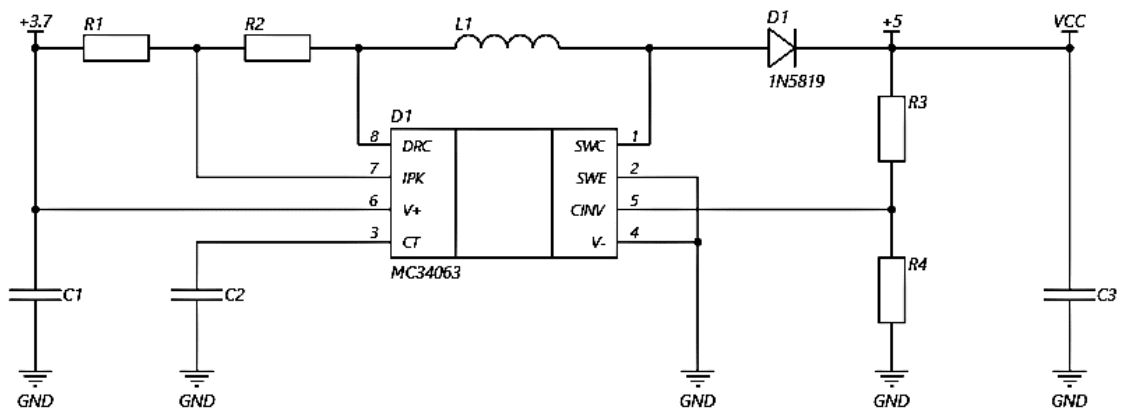


Рисунок 3.3 – Схема включения MC34063

$C1$ ,  $C3$  – фильтры для сглаживания пульсаций входного и выходного

$C2$  – задает время преобразования напряжения;

$L1$  – накопительный дроссель;

$R1$  – ограничительный резистор для внутреннего осциллятора;

$R_2$  – резистор, ограничивающий ток драйвера выходных транзисторов;  
 $R_3, R_4$  – определяют выходное напряжение;

Выходное напряжение рассчитывается по формуле

$$V_{out} = 1,25(1 + R_2/R_1). \quad (3.1)$$

Для результата в 5 В выразим  $R_2/R_1$ :

$$\begin{aligned} R_2/R_1 &= V_{out}/1,25 - 1; \\ R_2/R_1 &= 5/1,25 - 1 = 3. \end{aligned}$$

Тогда можно использовать номиналы резисторов 3 кОм и 1 кОм. Номиналы других компонентов выбираются из рекомендуемых в даташите.

### 3.2 Выбор отображающего устройства

Для отображения информации о сигнале выгодным решением служит использование уже готового модуля дисплея, имеющего «обвеску» для своего дисплея. Для отображения строк варианты с цветным изображением не рассматриваются. Из двухцветных модулей широкое применение нашли LCD1602 и SSD1306. На рисунке 3.4 изображен модуль LCD1602. Основные параметры: напряжения питания 5 В; интерфейс параллельный; тип дисплея ЖК; имеет две строки по шестнадцать символов стандарта 5×8 пикселей; диагональ экрана 2,6 дюймов. Работа с этим модулем осуществляется через шестнадцать контактов [5].

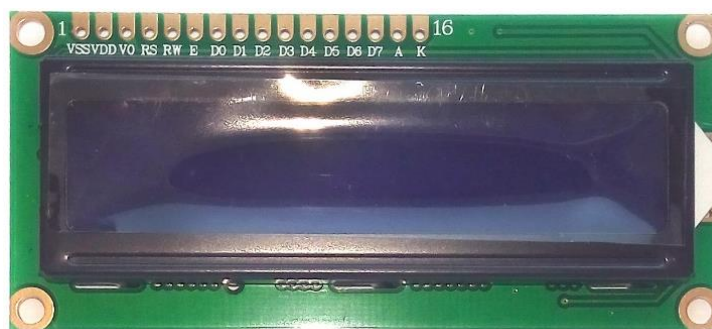


Рисунок 3.4 – Модуль дисплея LCD1602

VDD и VSS контакты питания модуля. Вывод VO отвечает за контрастность изображения и обычно регулируется внешним потенциометром. Логическим уровнем на RS определяется тип сигнала, который подаётся дисплею. Это может быть команда или данные. RW нужен для выбора режима чтения или записи. E строб по спаду. Через контакты DB0 – DB7 производится передача данных дисплею. Он может принимать данные как в четырехбитном, так и в восьмибитном режимах. А и К это контакты питания самого экрана.

На рисунке 3.5 изображен модуль SSD1306.



Рисунок 3.5 – Модуль дисплея SSD1306

Основные параметры [6]: напряжения питания от 2,8 В до 5,5 В; интерфейс SPI и I2C; тип дисплея OLED; имеет разрешение 128×64 (восемь строк по двадцать пять символов стандарта 5×8); диагональ экрана 0,96 дюймов. Работа с этим модулем осуществляется через семь контактов. VSS и VDD контакты питания модуля. SCLK(SCK) – контакт для синхронизации SPI.



Через SDN(MOSI) передаются сами данные; Вывод RES для сброса; DC – подается логический уровень для определения типа записи (команды или данные); CS – выбор устройства.

После перечисленных характеристик ясно, что первый дисплей (LCD1602) подходит для работ с малым числом строк и символов ввиду ограниченного числа пикселей, но отображении их изображения в высоком качестве за счет типа ЖК. Параллельный интерфейс передачи данных намного быстрее чем последовательный и поэтому данный модуль обладает более высокой скоростью обновления экрана, чем модуль с последовательным интерфейсом. Второй дисплей (SSD1306) имеет меньшую скорость обновления, но может воспроизвести большее число символов и строк. За счет типа OLED у него низкое энерго потребление, чем у ЖК.

Для отображения четырех строк наиболее подходящим решением будет использование SSD1306.

### **3.3 Выбор ЦАП**

Существует большое разнообразие видов ЦАП по типу интерфейса, выходного напряжения, количеству каналов и т.д. Последовательные интерфейсы такие как SPI и I2C не подходят так как последовательность битов поступает намного медленнее чем все биты одновременно, но не нуждаются в большом количестве выводов [1, с.214]. Из этих соображений решено использовать ЦАП с параллельным интерфейсом. Применение интегральных микросхем в качестве ЦАП для низких частот не рационально. Это объясняется их высокими характеристиками и за счет этого дорогой стоимостью. Для низких частот дешевым и эффективным вариантом служит матрица R2R, собранная на резисторах [7]. Поступающие с МК ЛУ проходят через делители напряжения из резисторов с коэффициентом деления равному 0,5 и суммируются, формируя выходной сигнал. Для восьмибитного ЦАП шаг квантования рассчитывается по формуле (3.2) [8, с.541].

$$d = E_{\pi}/2^n, \quad (3.2)$$

где  $n$  – разрядность ЦАП;  $E_{\pi}$  – напряжение питания.

$$d = \frac{5}{2^8} = 19,531 \text{ мВ.}$$

Это означает что выходное напряжение ЦАП может иметь 256 состояний с шагом 19,531 мВ.

Для уменьшения влияния выходных сопротивлений портов МК и погрешности номиналов резисторов рекомендуется выбор высокоомных резисторов порядка 10 кОм. В проекте для соблюдения точности и удобства конструирования будут использованы резисторные сборки. Принципиальная схема устройства приведена в документе ТКГУ.110301.160103.ЭЗ-20. Список компонентов находится в документе ТКГУ.110301.160103.ПЭЗ-20.

## **4 ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**

### **4.1 Задачи. Формирование сигналов**

Целью является написание программы для функционального генератора с сигналами синуса, прямоугольных импульсов, треугольника, прямой и инверсной пилы на кнопочном управлении частотой, амплитудой, типом сигнала и заполняемость импульсов. Возможны три варианта языков программирования МК: ассемблер, С, С++. Мной выбран язык С, так как он является оптимальным по соотношению затраченная память/удобство использования.

В FLASH памяти МК необходимо записать заранее рассчитанные массивы синусоиды [1, с.221] и прямой пилы [1, с.217] по 1024-ре отсчета периодов дискретных сигналов в шестнадцатеричной системе исчисления с размахом сигнала для 5 В, (т.е. минимальное значения элемента массива 0, максимальное FF). Для быстродействия выбранный массив отсчетов перемещается в массив, созданный в оперативной памяти SRAM. При выборе пользователем сигнала прямоугольных импульсов не требуется хранить в памяти массив отсчетов так как его можно создать прямо в оперативной памяти, присваивая значение размаха сигнала и ноль. Похожий принцип используется в формировании сигналов инверсная пила и треугольный. Для этого используем массив сигнала прямая пила. При выборе сигнала инверсная пила присваиваем значения массива в обратном порядке, а для треугольника первая половина сигнала равна массиву прямой пилы, прореженной в два раза и вторая массиву инверсной пилы, прореженной в два раза. Разберем отдельно компоненты МК, с которыми придётся работать.

### **4.2 Описание таймера счетчика**

ТС – это счетный модуль, предназначенный для формирования промежутков времени заданной длительности [3, с.74][2, с.101]. На рисунке 4.1 представлена блок-схема нулевого таймера/счетчика (TIMER0).

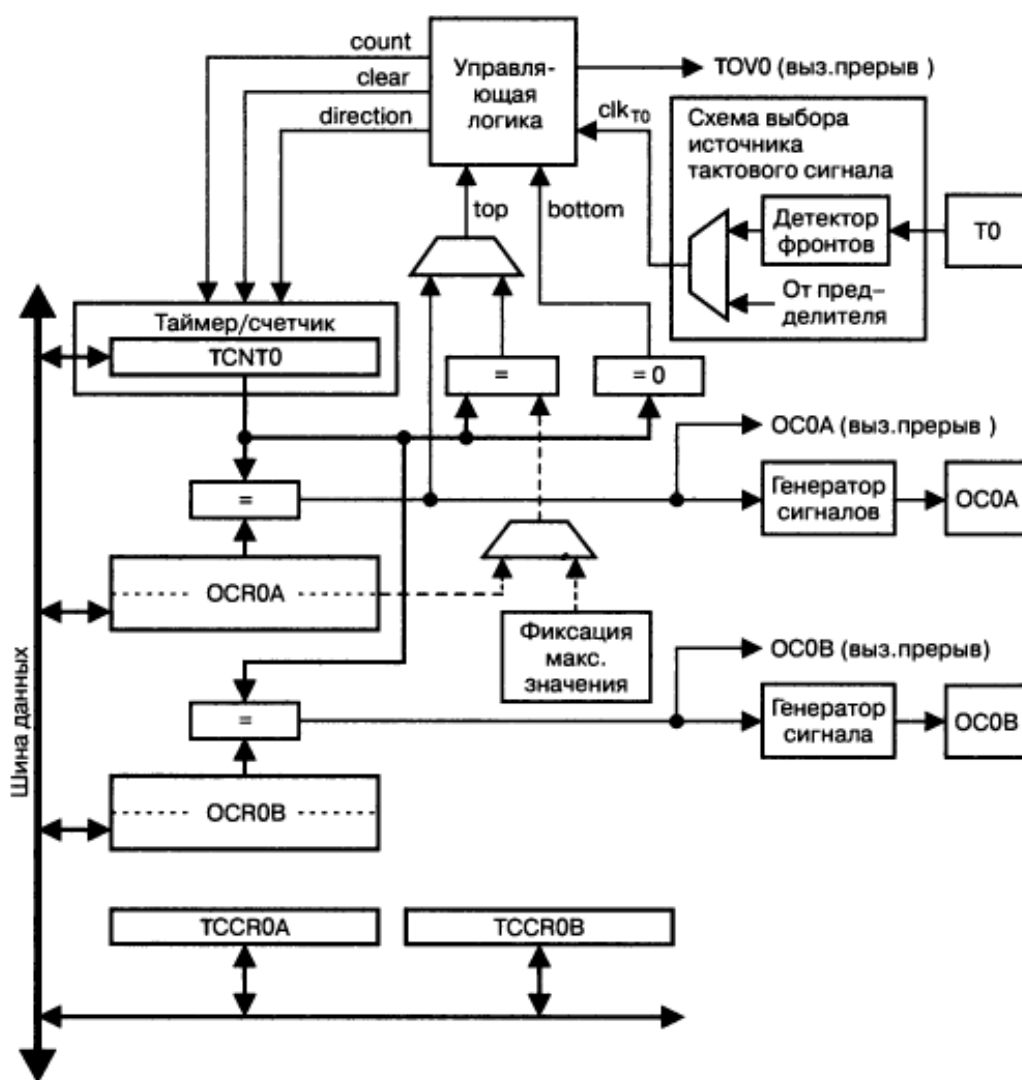


Рисунок 4.1 – Блок-схема TIMER0

Регистр TCNT0 хранит в себе число, до которого досчитал таймер. Управляющая логика отвечает за наращивание или сброс значения в TCNT0. Выбранный таймер является восьмибитным. Это значит, что он будет считать до своего максимального числа 255. Скорость, с которой наращивается таймер, определяется тактовой скоростью МК с использованием делителя частоты, который выбирается в соответствии с таблицей 4.1 [3, с.86].

Таблица 4.1 – Делитель частоты

| CA02 | CA01 | CS00 | Description   |
|------|------|------|---|
| 0    | 0    | 0    | No clock source (Timer/Counter stopped).                |
| 0    | 0    | 1    | clk <sub>I/O</sub> /1 (No prescaling)                   |
| 0    | 1    | 0    | clk <sub>I/O</sub> /8 (From prescaler)                  |
| 0    | 1    | 1    | clk <sub>I/O</sub> /64 (From prescaler)                 |
| 1    | 0    | 0    | clk <sub>I/O</sub> /256 (From prescaler)                |
| 1    | 0    | 1    | clk <sub>I/O</sub> /1024 (From prescaler)               |
| 1    | 1    | 0    | External clock source on T0 pin. Clock on falling edge. |
| 1    | 1    | 1    | External clock source on T0 pin. Clock on rising edge.  |

Регистры OCR0 используется для сравнения со значением в TCNT0. При совпадении значение в TCNT0 забрасывается в ноль и вызывается прерывание, которое мы будем обрабатывать.

Регистры TCCR являются управляющими настройками. В них задаются параметры, отвечающие за конфигурацию таймера. В таблице 4.2 представлены возможные режимы работы и соответствующие им биты в регистрах TCCR. Будет использоваться режим CTC (сброс по совпадению) [2, с.112].

**Name:** TCCR0A  
**Offset:** 0x44  
**Reset:** 0x00  
**Property:** When addressing as I/O Register: address offset is 0x24

| Bit    | 7      | 6      | 5      | 4      | 3 | 2 | 1     | 0     |
|--------|--------|--------|--------|--------|---|---|-------|-------|
|        | COM0A1 | COM0A0 | COM0B1 | COM0B0 |   |   | WGM01 | WGM00 |
| Access | R/W    | R/W    | R/W    | R/W    |   |   | R/W   | R/W   |
| Reset  | 0      | 0      | 0      | 0      |   |   | 0     | 0     |

Рисунок 4.2 – Нумерация и названия битов регистра TCCR0A

**Name:** TCCR0B  
**Offset:** 0x45  
**Reset:** 0x00  
**Property:** When addressing as I/O Register: address offset is 0x25

| Bit    | 7     | 6     | 5 | 4 | 3     | 2   | 1        | 0   |
|--------|-------|-------|---|---|-------|-----|----------|-----|
|        | FOC0A | FOC0B |   |   | WGM02 |     | CS0[2:0] |     |
| Access | R/W   | R/W   |   |   | R/W   | R/W | R/W      | R/W |
| Reset  | 0     | 0     |   |   | 0     | 0   | 0        | 0   |

Рисунок 4.3 – Нумерация и названия битов регистра TCCR0B

Таблица 4.2 – Режимы работы таймера

| Mode | WGM02 | WGM01 | WGM00 | Timer/Counter Mode of Operation | TOP  | Update of OCR0x at | TOV Flag Set on <sup>(1)(2)</sup> |
|------|-------|-------|-------|---------------------------------|------|--------------------|-----------------------------------|
| 0    | 0     | 0     | 0     | Normal                          | 0xFF | Immediate          | MAX                               |
| 1    | 0     | 0     | 1     | PWM, Phase Correct              | 0xFF | TOP                | BOTTOM                            |
| 2    | 0     | 1     | 0     | CTC                             | OCRA | Immediate          | MAX                               |
| 3    | 0     | 1     | 1     | Fast PWM                        | 0xFF | BOTTOM             | MAX                               |
| 4    | 1     | 0     | 0     | Reserved                        | -    | -                  | -                                 |
| 5    | 1     | 0     | 1     | PWM, Phase Correct              | OCRA | TOP                | BOTTOM                            |
| 6    | 1     | 1     | 0     | Reserved                        | -    | -                  | -                                 |
| 7    | 1     | 1     | 1     | Fast PWM                        | OCRA | BOTTOM             | TOP                               |

### 4.3 Описание SPI

Для использования интерфейса SPI, задействованы четыре вывода: PB2(SS), PB3(MOSI), PB4(MISO), PB5(SCK) [3, с.136]. PB2(SS) – служит для выбора устройства. Устройство может работать в двух режимах SLAVA (ведомый) и MASTER (ведущий) [3, с.138-139]. В режиме SLAVA вывод SS всегда работает как вход. При низком ЛУ на выводе SS, SLAVA активируется и считается выбранным. В режиме MASTER считается выбранным, когда SS принимает высокий ЛУ. В качестве MASTER будет МК, а SLAVA дисплейный модуль SSD1306. PB3(MOSI) – является выходом данных для MASTER и входом для SLAVA. PB4(MISO) – является выходом данных для SLAVA и входом для MASTER. Эта ножка не будет использована так как модуль SSD1306 лишь получает информацию, но не передает. PB5(SCK) – ножка для синхронизации по которой передаются тактовые импульсы с заданной частотой от MASTER к SLAVA.

Регистр SPCR является управляющим, где задаются настройки использования SPI. За включение шины SPI отвечает бит SPE. Для выбора режима Master включаем бит MSTR. Скорость тактов на выводе PB5(SCK) определяется включением и выключением битов SPR1 и SPR0.

**Name:** SPCR0  
**Offset:** 0x4C  
**Reset:** 0x00  
**Property:** When addressing as I/O Register: address offset is 0x2C

| Bit    | 7     | 6    | 5     | 4     | 3     | 2     | 1     | 0     |
|--------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|        | SPIE0 | SPE0 | DORD0 | MSTR0 | CPOL0 | CPHA0 | SPR01 | SPR00 |
| Access | R/W   | R/W  | R/W   | R/W   | R/W   | R/W   | R/W   | R/W   |
| Reset  | 0     | 0    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |

#### Рисунок 4.4 – Нумерация и названия битов регистра SPCR

В регистр SPDR заносится байт данных, который будет передаваться от MASTER к SLAVA. SPSR это статусный регистр. Бит SPIF включается, когда из регистра SPDR передан байт информации. В соответствии с таблицей 4.3 бит SPI2X, при включении, удваивает частоту тактирования, установленную в SPCR на выводе PB5(SCK).

**Name:** SPSR0  
**Offset:** 0x4D  
**Reset:** 0x00  
**Property:** When addressing as I/O Register: address offset is 0x2D

| Bit    | 7     | 6     | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0      |
|--------|-------|-------|---|---|---|---|---|--------|
|        | SPIF0 | WCOL0 |   |   |   |   |   | SPI2X0 |
| Access | R     | R     |   |   |   |   |   | R/W    |
| Reset  | 0     | 0     |   |   |   |   |   | 0      |

#### Рисунок 4.5 – Нумерация и названия битов регистра SPSR

Таблица 4.3 – Делитель частоты

| SPI2X | SPR01 | SPR00 | SCK Frequency |
|-------|-------|-------|---------------|
| 0     | 0     | 0     | $f_{osc}/4$   |
| 0     | 0     | 1     | $f_{osc}/16$  |
| 0     | 1     | 0     | $f_{osc}/64$  |
| 0     | 1     | 1     | $f_{osc}/128$ |
| 1     | 0     | 0     | $f_{osc}/2$   |
| 1     | 0     | 1     | $f_{osc}/8$   |
| 1     | 1     | 0     | $f_{osc}/32$  |
| 1     | 1     | 1     | $f_{osc}/64$  |

##### 4.4.1 Добавление библиотек, основных макросов и переменных

В самом начале основного заголовочного файла припишем библиотеки, с которыми мы будем работать:

```
#include <avr/io.h>
#include <avr/interrupt.h>
#include <util/delay.h>
```

```
#include <avr/pgmspace.h>
#include <stdint.h>
#include <stdlib.h>
```

Создаем в FLESH память МК массивы с рассчитанными в программе Excel сигналами синуса и прямой пилы

[illegible]



```

0x09,0x0A,0x0A,0x0A,0x0A,0x0B,0x0B,0x0B,0x0C,0x0C,0x0C,0x0D,0x0D,0x0E,0x0E,0x0E,
0x0F,0x0F,0x0F,0x10,0x10,0x11,0x11,0x11,0x12,0x12,0x13,0x13,0x13,0x14,0x14,0x15,
0x15,0x16,0x16,0x16,0x17,0x17,0x18,0x18,0x19,0x19,0x1A,0x1A,0x1B,0x1B,0x1C,0x1C,
0x1D,0x1D,0x1E,0x1E,0x1F,0x1F,0x20,0x20,0x21,0x21,0x22,0x22,0x23,0x23,0x24,0x24,
0x25,0x26,0x26,0x27,0x27,0x28,0x28,0x29,0x2A,0x2A,0x2B,0x2B,0x2C,0x2C,0x2D,0x2E,
0x2E,0x2F,0x30,0x30,0x31,0x31,0x32,0x33,0x33,0x34,0x35,0x35,0x36,0x36,0x37,0x38,
0x38,0x39,0x3A,0x3A,0x3B,0x3C,0x3C,0x3D,0x3E,0x3E,0x3F,0x40,0x40,0x41,0x42,0x42,
0x43,0x44,0x45,0x45,0x46,0x47,0x47,0x48,0x49,0x49,0x4A,0x4B,0x4C,0x4C,0x4D,0x4E,
0x4F,0x4F,0x50,0x51,0x51,0x52,0x53,0x54,0x54,0x55,0x56,0x57,0x57,0x58,0x59,0x5A,
0x5A,0x5B,0x5C,0x5D,0x5D,0x5E,0x5F,0x60,0x60,0x61,0x62,0x63,0x63,0x64,0x65,0x66,
0x67,0x67,0x68,0x69,0x6A,0x6A,0x6B,0x6C,0x6D,0x6D,0x6E,0x6F,0x70,0x71,0x71,0x72,
0x73,0x74,0x75,0x75,0x76,0x77,0x78,0x78,0x79,0x7A,0x7B,0x7C,0x7C,0x7D,0x7E,0x7F
};

```

```

const unsigned char sawArray[1024] PROGMEM =
{
    0x00,0x00,0x00,0x00,0x00,0x01,0x01,0x01,0x01,0x02,0x02,0x02,0x02,0x03,0x03,0x03,
    0x03,0x04,0x04,0x04,0x04,0x05,0x05,0x05,0x05,0x06,0x06,0x06,0x06,0x07,0x07,0x07,
    0x07,0x08,0x08,0x08,0x09,0x09,0x09,0x09,0x0A,0x0A,0x0A,0x0A,0x0B,0x0B,0x0B,0x0B,
    0x0C,0x0C,0x0C,0x0C,0x0D,0x0D,0x0D,0x0D,0x0E,0x0E,0x0E,0x0E,0x0F,0x0F,0x0F,0x0F,
    0x10,0x10,0x10,0x10,0x11,0x11,0x11,0x11,0x12,0x12,0x12,0x12,0x13,0x13,0x13,0x13,
    0x14,0x14,0x14,0x14,0x15,0x15,0x15,0x15,0x16,0x16,0x16,0x16,0x17,0x17,0x17,0x17,
    0x18,0x18,0x18,0x18,0x19,0x19,0x19,0x19,0x1A,0x1A,0x1A,0x1A,0x1B,0x1B,0x1B,0x1B,
    0x1C,0x1C,0x1C,0x1C,0x1D,0x1D,0x1D,0x1D,0x1E,0x1E,0x1E,0x1E,0x1F,0x1F,0x1F,0x1F,
    0x20,0x20,0x20,0x20,0x21,0x21,0x21,0x21,0x22,0x22,0x22,0x22,0x23,0x23,0x23,0x23,
    0x24,0x24,0x24,0x24,0x25,0x25,0x25,0x25,0x26,0x26,0x26,0x26,0x27,0x27,0x27,0x27,
    0x28,0x28,0x28,0x28,0x29,0x29,0x29,0x29,0x2A,0x2A,0x2A,0x2A,0x2B,0x2B,0x2B,0x2B,
    0x2C,0x2C,0x2C,0x2C,0x2D,0x2D,0x2D,0x2D,0x2E,0x2E,0x2E,0x2E,0x2F,0x2F,0x2F,0x2F,
    0x30,0x30,0x30,0x30,0x31,0x31,0x31,0x31,0x32,0x32,0x32,0x32,0x33,0x33,0x33,0x33,
    0x34,0x34,0x34,0x34,0x35,0x35,0x35,0x35,0x36,0x36,0x36,0x36,0x37,0x37,0x37,0x37,
    0x38,0x38,0x38,0x39,0x39,0x39,0x39,0x3A,0x3A,0x3A,0x3A,0x3B,0x3B,0x3B,0x3B,0x3C,
    0x3C,0x3C,0x3C,0x3D,0x3D,0x3D,0x3D,0x3E,0x3E,0x3E,0x3E,0x3F,0x3F,0x3F,0x3F,0x3F,
    0x40,0x40,0x40,0x40,0x41,0x41,0x41,0x41,0x42,0x42,0x42,0x42,0x43,0x43,0x43,0x43,
    0x44,0x44,0x44,0x44,0x45,0x45,0x45,0x45,0x46,0x46,0x46,0x46,0x47,0x47,0x47,0x47,
    0x48,0x48,0x48,0x48,0x49,0x49,0x49,0x49,0x4A,0x4A,0x4A,0x4A,0x4B,0x4B,0x4B,0x4B,
    0x4C,0x4C,0x4C,0x4C,0x4D,0x4D,0x4D,0x4D,0x4E,0x4E,0x4E,0x4E,0x4F,0x4F,0x4F,0x4F,
    0x50,0x50,0x50,0x50,0x51,0x51,0x51,0x51,0x52,0x52,0x52,0x52,0x53,0x53,0x53,0x53,
    0x54,0x54,0x54,0x54,0x55,0x55,0x55,0x55,0x56,0x56,0x56,0x56,0x57,0x57,0x57,0x57,
    0x58,0x58,0x58,0x58,0x59,0x59,0x59,0x59,0x5A,0x5A,0x5A,0x5A,0x5B,0x5B,0x5B,0x5B,
    0x5C,0x5C,0x5C,0x5C,0x5D,0x5D,0x5D,0x5D,0x5E,0x5E,0x5E,0x5E,0x5F,0x5F,0x5F,0x5F,
    0x60,0x60,0x60,0x60,0x61,0x61,0x61,0x61,0x62,0x62,0x62,0x62,0x63,0x63,0x63,0x63,
    0x64,0x64,0x64,0x64,0x65,0x65,0x65,0x65,0x66,0x66,0x66,0x66,0x67,0x67,0x67,0x67,
    0x68,0x68,0x68,0x68,0x69,0x69,0x69,0x69,0x6A,0x6A,0x6A,0x6A,0x6B,0x6B,0x6B,0x6B,
    0x6C,0x6C,0x6C,0x6C,0x6D,0x6D,0x6D,0x6D,0x6E,0x6E,0x6E,0x6E,0x6F,0x6F,0x6F,0x6F,
    0x70,0x70,0x70,0x70,0x71,0x71,0x71,0x71,0x72,0x72,0x72,0x72,0x73,0x73,0x73,0x73,
    0x74,0x74,0x74,0x74,0x75,0x75,0x75,0x75,0x76,0x76,0x76,0x76,0x77,0x77,0x77,0x77,
    0x78,0x78,0x78,0x78,0x79,0x79,0x79,0x79,0x7A,0x7A,0x7A,0x7A,0x7B,0x7B,0x7B,0x7B,
    0x7C,0x7C,0x7C,0x7C,0x7D,0x7D,0x7D,0x7D,0x7E,0x7E,0x7E,0x7E,0x7F,0x7F,0x7F,0x7F,
    0x7F,0x80,0x80,0x80,0x80,0x81,0x81,0x81,0x81,0x82,0x82,0x82,0x82,0x83,0x83,0x83,0x83,
    0x83,0x84,0x84,0x84,0x84,0x85,0x85,0x85,0x85,0x86,0x86,0x86,0x86,0x87,0x87,0x87,0x87,
    0x87,0x88,0x88,0x88,0x88,0x89,0x89,0x89,0x89,0x8A,0x8A,0x8A,0x8A,0x8B,0x8B,0x8B,0x8B,
    0x8B,0x8C,0x8C,0x8C,0x8C,0x8D,0x8D,0x8D,0x8D,0x8E,0x8E,0x8E,0x8E,0x8F,0x8F,0x8F,0x8F,
    0x8F,0x90,0x90,0x90,0x90,0x91,0x91,0x91,0x91,0x92,0x92,0x92,0x92,0x93,0x93,0x93,0x93,
    0x93,0x94,0x94,0x94,0x94,0x95,0x95,0x95,0x95,0x96,0x96,0x96,0x96,0x97,0x97,0x97,0x97,
    0x97,0x98,0x98,0x98,0x98,0x99,0x99,0x99,0x99,0x9A,0x9A,0x9A,0x9A,0x9B,0x9B,0x9B,0x9B,
    0x9B,0x9C,0x9C,0x9C,0x9C,0x9D,0x9D,0x9D,0x9D,0x9E,0x9E,0x9E,0x9E,0x9F,0x9F,0x9F,0x9F,
    0x9F,0xA0,0xA0,0xA0,0xA0,0xA1,0xA1,0xA1,0xA1,0xA2,0xA2,0xA2,0xA2,0xA3,0xA3,0xA3,0xA3,
    0xA3,0xA4,0xA4,0xA4,0xA4,0xA5,0xA5,0xA5,0xA5,0xA6,0xA6,0xA6,0xA6,0xA7,0xA7,0xA7,0xA7,
    0xA7,0xA8,0xA8,0xA8,0xA8,0xA9,0xA9,0xA9,0xA9,0xAA,0xAA,0xAA,0xAA,0xAB,0xAB,0xAB,0xAB,
    0xAB,0xAC,0xAC,0xAC,0xAC,0xAD,0xAD,0xAD,0xAD,0xAE,0xAE,0xAE,0xAE,0xAF,0xAF,0xAF,0xAF,
    0xAF,0xB0,0xB0,0xB0,0xB0,0xB1,0xB1,0xB1,0xB1,0xB2,0xB2,0xB2,0xB2,0xB3,0xB3,0xB3,0xB3,
    0xB3,0xB4,0xB4,0xB4,0xB4,0xB5,0xB5,0xB5,0xB5,0xB6,0xB6,0xB6,0xB6,0xB7,0xB7,0xB7,0xB7,
    0xB7,0xB8,0xB8,0xB8,0xB8,0xB9,0xB9,0xB9,0xB9,0xBA,0xBA,0xBA,0xBA,0xBB,0xBB,0xBB,0xBB,
    0xBB,0xBC,0xBC,0xBC,0xBC,0xBD,0xBD,0xBD,0xBD,0xBE,0xBE,0xBE,0xBE,0xBF,0xBF,0xBF,0xBF,
    0xBF,0xBF,0xC0,0xC0,0xC0,0xC0,0xC1,0xC1,0xC1,0xC1,0xC2,0xC2,0xC2,0xC2,0xC3,0xC3,
    0xC3,0xC3,0xC4,0xC4,0xC4,0xC4,0xC5,0xC5,0xC5,0xC5,0xC6,0xC6,0xC6,0xC6,0xC7,0xC7,
    0xC7,0xC7,0xC8,0xC8,0xC8,0xC8,0xC9,0xC9,0xC9,0xC9,0xCA,0xCA,0xCA,0xCA,0xCB,0xCB,

```

```

0xCB, 0xCB, 0xCC, 0xCC, 0xCC, 0xCC, 0xCD, 0xCD, 0xCD, 0xCD, 0xCE, 0xCE, 0xCE, 0xCE, 0xCF, 0xCF,
0xCF, 0xCF, 0xD0, 0xD0, 0xD0, 0xD0, 0xD1, 0xD1, 0xD1, 0xD2, 0xD2, 0xD2, 0xD2, 0xD3, 0xD3, 0xD3,
0xD3, 0xD4, 0xD4, 0xD4, 0xD5, 0xD5, 0xD5, 0xD5, 0xD6, 0xD6, 0xD6, 0xD6, 0xD7, 0xD7, 0xD7,
0xD7, 0xD8, 0xD8, 0xD8, 0xD8, 0xD9, 0xD9, 0xD9, 0xD9, 0xDA, 0xDA, 0xDA, 0xDA, 0xDB, 0xDB, 0xDB,
0xDB, 0xDC, 0xDC, 0xDC, 0xDC, 0xDD, 0xDD, 0xDD, 0xDD, 0xDE, 0xDE, 0xDE, 0xDE, 0xDF, 0xDF, 0xDF,
0xDF, 0xE0, 0xE0, 0xE0, 0xE0, 0xE1, 0xE1, 0xE1, 0xE1, 0xE2, 0xE2, 0xE2, 0xE2, 0xE3, 0xE3, 0xE3,
0xE3, 0xE4, 0xE4, 0xE4, 0xE4, 0xE5, 0xE5, 0xE5, 0xE5, 0xE6, 0xE6, 0xE6, 0xE6, 0xE7, 0xE7, 0xE7,
0xE7, 0xE8, 0xE8, 0xE8, 0xE8, 0xE9, 0xE9, 0xE9, 0xE9, 0xEA, 0xEA, 0xEA, 0xEA, 0xEB, 0xEB, 0xEB,
0xEB, 0xEC, 0xEC, 0xEC, 0xEC, 0xED, 0xED, 0xED, 0xED, 0xEE, 0xEE, 0xEE, 0xEE, 0xEF, 0xEF, 0xEF,
0xEF, 0xF0, 0xF0, 0xF0, 0xF0, 0xF1, 0xF1, 0xF1, 0xF1, 0xF2, 0xF2, 0xF2, 0xF2, 0xF3, 0xF3, 0xF3,
0xF3, 0xF4, 0xF4, 0xF4, 0xF4, 0xF5, 0xF5, 0xF5, 0xF5, 0xF6, 0xF6, 0xF6, 0xF6, 0xF7, 0xF7, 0xF7,
0xF7, 0xF8, 0xF8, 0xF8, 0xF8, 0xF9, 0xF9, 0xF9, 0xF9, 0xFA, 0xFA, 0xFA, 0xFA, 0xFB, 0xFB, 0xFB,
0xFB, 0xFC, 0xFC, 0xFC, 0xFC, 0xFD, 0xFD, 0xFD, 0xFD, 0xFE, 0xFE, 0xFE, 0xFE, 0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF
};

```

Добавим макросы для количества циклов проверки состояния кнопки:

```
#define CLICK_TIME 4
```

и для конкретных состояний логического уровня на порте PORTC:

```

#define BUT_UP          0b00111110
#define BUT_DOWN        0b00111101
#define BUT_RIGHT       0b00111011
#define BUT_LEFT        0b00110111
#define BUT_MODE        0b00101111
#define BUT_MIDDLE      0b00011111

```

Эти числа выбраны именно так, потому что весь PORTC подтянут к питанию и при нажатии на выбранную кнопку происходит изменение с положительного ЛУ на нулевой именно на том пине где она нажата, за исключением двух старших бит так как они не используются и всегда имеют низкий ЛУ.

Нужно создать переменные счетчика нажатия кнопок. Это поможет избежать ложных срабатываний или не срабатываний кнопки. Для этого создадим:

```

unsigned int butcount_up = 0;
unsigned int butcount_down = 0;
unsigned int butcount_right = 0;
unsigned int butcount_left = 0;
unsigned int butcount_mode = 0;
unsigned int butcount_middle = 0;

```

Для того чтобы при нажатии количество циклов `CLICK_TIME` повторялось только один раз при одном нажатии, а не столько сколько нажата кнопка создадим переменные их состояний.

```
unsigned char press_up =0;
unsigned char press_down =0;
unsigned char press_right =0;
unsigned char press_left =0;
unsigned char press_mode =0;
unsigned char press_middle =0;

unsigned int it = 0;
```

Последняя строка выступает в качестве счетчика отсчетов сигнала и будет наращиваться с каждым отчетом до размера массива, т. е. до 1024.

Далее нужно сделать макросы для строк о типе сигналов, которые будут отображаться на МД:

```
#define sig1 "Sinusoid"
#define sig2 "Pulse"
#define sig3 "Triangle"
#define sig4 "Saw"
#define sig5 "Saw Invert"
```

И сами названия параметров для отображения

```
#define str1 "Type      -"
#define str2 "Frequency -"
#define str3 "Amplitude -"
#define str4 "Fill      -"
char str[11];
```

Последняя строка представляет собой массив типа `char` который будет использован для преобразования чисел в строки. Это понадобится, когда станет необходимым преобразовать значение частоты амплитуды или

заполнения.

Макросы для определения типа сигналов:

```
#define MODE_SIN            0b00000000
#define MODE_PULSE         0b00000001
#define MODE_TRIANGLE      0b00000010
#define MODE_SAW           0b00000011
#define MODE_SAW_INV       0b00000100
```

При нажатии кнопки BUT\_MODE будет инкрементироваться значения, тем самым получая значение данных макросов подпорядку.

Теперь нужно создать переменные, которые будут представлять параметры сигналов

```
unsigned char update = 0; //требование обновления сигнала
float m_range = 5; //Размах
char str_a[4];
unsigned int m_freq = 350; //частота
unsigned int m_f = 1;
unsigned char mode_signal = MODE_SIN; //режим сигнала (стоит по
умолчанию MODE_SIN)
float m_fill = 0.5; //заполняемость импульса
unsigned int len_pulse=0; //длина импульса
float m_support = 5; //Опорное напряжение
unsigned char* p_signal = &arr_signal[0]; //Указатель на 0й элемент
массива
```

Переменная `update` является состоянием обновления, которая при значении 0, разрешает передачу отсчетов на ЦАП, а при состоянии 1 выходит из цикла передачи. `m_f` выступает в роли прореживания массива сигнала, о чем поговорим позже.

Макросы для ограничения максимальных и минимальных параметров сигнала:

```
#define RANGE_MAX    5
```

```
#define FREQ_MAX      100000
#define RANGE_MIN     0
#define FREQ_MIN      350
```

#### 4.4.2 Функции для работы с кнопками

Функции ниже выполняются, когда одна из кнопок нажата уже `CLICK_TIME` циклов. При нажатии определенной кнопки срабатывает ее персональная функция, инкрементирующая или декрементирующая один из параметров сигнала.

```
//изменение кнопки up
void setUp (void) //для увеличения размаха сигнала
{
    if ((press_up == 0)&&(m_range!=RANGE_MAX))
    {
        m_range = m_range + 1;
        update = 1;
        press_up = 1;
    }
}

//изменение кнопки down
void setDown (void)//для уменьшения размаха сигнала
{
    if ((press_down == 0)&&(m_range!=RANGE_MIN))
    {
        m_range = m_range - 1;
        update = 1;
        press_down = 1;
    }
}

//изменение кнопки down
void setRight (void) //для увеличения частоты сигнала
{
    if (press_right==0)
    {
```

```

        m_freq += 350;
        m_f++;
        display_update();
        press_right = 1;
    }
}

//изменение кнопки left
void setLeft (void)//для уменьшения частоты сигнала
{
    if ((press_left==0)&&(m_freq!=FREQ_MIN))
    {
        m_freq -= 350;
        m_f--;
        display_update();
        press_left = 1;
    }
}

//изменение кнопки mode
void setMode (void)//для изменения типа сигнала
{
    if (press_mode == 0)
    {
        if (mode_signal<4) mode_signal++;
        else mode_signal=0;
        update = 1;
        press_mode = 1;
    }
}

//изменение кнопки enter
void setMiddle (void)//для увеличения заполняемости импульсов
{
    if (press_middle == 0)
    {
        if (m_fill>1) m_fill=0.1;
    }
}

```

```

        else m_fill += 0.1;
        update = 1;
        press_middle = 1;
    }
}

```

Далее идет функция, которая принимает два параметра. Первый это уникальное состояние порта С для кнопки и к нему счетчик.

```

void pressButton(unsigned char type, unsigned int *count)
{
    if (PINC==(type)) {
        if((*count) < CLICK_TIME) {
            (*count)++;
        }
        else {
            switch(type) {
                case BUT_UP: setUp(); break;
                case BUT_DOWN: setDown(); break;
                case BUT_RIGHT: setRight(); break;
                case BUT_LEFT: setLeft(); break;
                case BUT_MODE: setMode(); break;
                case BUT_MIDDLE: setMiddle(); break;
                default: break;
            }
        }
    }
    else {
        if((*count) > 0) (*count)--;
        else {
            switch(type) {
                case BUT_UP:
                    if (press_up==1)press_up=0;          break;
                case BUT_DOWN:
                    if (press_down==1)  press_down=0;    break;

```

```

        case BUT_RIGHT:
            if (press_right==1) press_right=0;    break;
        case BUT_LEFT:
            if (press_left==1)    press_left=0;    break;
        case BUT_MODE:
            if (press_mode==1)    press_mode=0;    break;
        case BUT_MIDDLE:
            if (press_middle==1) press_middle=0; break;
        default:break;
    }
    if((press_up==0)&&(press_down==0)&&(press_right==0)&&(press_left==0)&&
    (press_mode==0)&&(press_middle==0)) {
        timer0_stop();
    }
}
}
}

```

И функция, применяющая предыдущую ко всем кнопкам по порядку.

```

void checkButton(void)
{
    pressButton(BUT_UP,      &butcount_up);
    pressButton(BUT_DOWN, &butcount_down);
    pressButton(BUT_RIGHT,   &butcount_right);
    pressButton(BUT_LEFT, &butcount_left);
    pressButton(BUT_MODE, &butcount_mode);
    pressButton(BUT_MIDDLE,   &butcount_middle);
}

```

#### 4.4.3 Функции формирования сигналов

Как было сказано в предыдущих разделах, при использовании двух массивов сигналов в FLESH памяти можно получить все остальные в SRAM. Для сигнала синус и прямой пилы идет обычное извлечение из памяти, перемножение на нормированный размах и присваивание инкрементирующему указателю длительностью 1024 отсчета. Для остальных



сигналов идет формирование прореживаниями из массивов первых сигналов.

//Синусоида

void procSin(void)

```
{
    for (int i; i<1024; i++) {
        *(p_signal+i) = pgm_read_byte(&(sinArray[i]))/5*m_range;
    }
}
```

//Импульс

void procPulse(void)

```
{
    len_pulse = m_fill*1024;
    for (int i=0; i < 1024; i++) {
        if (i < len_pulse)
            *(p_signal+i) = 0xFF/5*m_range;
        else
            *(p_signal+i) = 0x00;
    }
}
```

//Треугольник

void procTriangle(void)

```
{
    int j=0;
    for (int i=0; i<1024; i+=2) {
        *(p_signal+j) = pgm_read_byte(&(sawArray[i]))/5*m_range;
        j++;
    }
    for (int i=1023; i>=0; i-=2) {
        *(p_signal+j) = pgm_read_byte(&(sawArray[i]))/5*m_range;
        j++;
    }
}
```

//Пила

void procSaw(void)

```

{
    for (int i=0; i<1024; i++) {
        *(p_signal+i) = pgm_read_byte(&(sawArray[i]))/5*m_range;
    }
}

//Инверсная пила
void procSawInv(void)
{
    int j=0;
    for (int i=1023; i>=0; i--) {
        *(p_signal+j) = pgm_read_byte(&(sawArray[i]))/5*m_range;
        j++;
    }
}

```

#### 4.4.4 Создание макросов и переменных для работы с дисплеем

Чтобы при выводе на дисплей не прописывать пять восьмибитных чисел, соответствующих отдельно каждому символу, просто создадим во FLASH памяти массив со всеми знаками, цифрами и буквами латинского алфавита в кодировке ASCII 5x8.

```

const uint8_t font_5x8[] PROGMEM = {
    // Standard ASCII 5x8 font
    0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, // 0x20 32
    0x00, 0x00, 0x5F, 0x00, 0x00, // ! 0x21 33
    0x00, 0x07, 0x00, 0x07, 0x00, // " 0x22 34
    0x14, 0x7F, 0x14, 0x7F, 0x14, // # 0x23 35
    0x24, 0x2A, 0x7F, 0x2A, 0x12, // $ 0x24 36
    0x4C, 0x2C, 0x10, 0x68, 0x64, // % 0x25 37
    0x36, 0x49, 0x55, 0x22, 0x50, // & 0x26 38
    0x00, 0x05, 0x03, 0x00, 0x00, // ' 0x27 39
    0x00, 0x1C, 0x22, 0x41, 0x00, // ( 0x28 40
    0x00, 0x41, 0x22, 0x1C, 0x00, // ) 0x29 41
    0x14, 0x08, 0x3E, 0x08, 0x14, // * 0x2A 42
    0x08, 0x08, 0x3E, 0x08, 0x08, // + 0x2B 43
    0x00, 0x00, 0x50, 0x30, 0x00, // , 0x2C 44
    0x10, 0x10, 0x10, 0x10, 0x10, // - 0x2D 45
    0x00, 0x60, 0x60, 0x00, 0x00, // . 0x2E 46
    0x20, 0x10, 0x08, 0x04, 0x02, // / 0x2F 47
    0x3E, 0x51, 0x49, 0x45, 0x3E, // 0 0x30 48
    0x00, 0x42, 0x7F, 0x40, 0x00, // 1 0x31 49
    0x42, 0x61, 0x51, 0x49, 0x46, // 2 0x32 50
    0x21, 0x41, 0x45, 0x4B, 0x31, // 3 0x33 51
    0x18, 0x14, 0x12, 0x7F, 0x10, // 4 0x34 52
    0x27, 0x45, 0x45, 0x45, 0x39, // 5 0x35 53
    0x3C, 0x4A, 0x49, 0x49, 0x30, // 6 0x36 54
    0x01, 0x71, 0x09, 0x05, 0x03, // 7 0x37 55
    0x36, 0x49, 0x49, 0x49, 0x36, // 8 0x38 56

```

```

0x06, 0x49, 0x49, 0x29, 0x1E, // 9 0x39 57
0x00, 0x36, 0x36, 0x00, 0x00, // : 0x3A 58
0x00, 0x56, 0x36, 0x00, 0x00, // ; 0x3B 59
0x08, 0x14, 0x22, 0x41, 0x00, // < 0x3C 60
0x14, 0x14, 0x14, 0x14, 0x14, // = 0x3D 61
0x00, 0x41, 0x22, 0x14, 0x08, // > 0x3E 62
0x02, 0x01, 0x51, 0x09, 0x06, // ? 0x3F 63
0x32, 0x49, 0x79, 0x41, 0x3E, // @ 0x40 64
0x7E, 0x11, 0x11, 0x11, 0x7E, // A 0x41 65
0x7F, 0x49, 0x49, 0x49, 0x36, // B 0x42 66
0x3E, 0x41, 0x41, 0x41, 0x22, // C 0x43 67
0x7F, 0x41, 0x41, 0x22, 0x1C, // D 0x44 68
0x7F, 0x49, 0x49, 0x49, 0x41, // E 0x45 69
0x7F, 0x09, 0x09, 0x09, 0x01, // F 0x46 70
0x3E, 0x41, 0x49, 0x49, 0x7A, // G 0x47 71
0x7F, 0x08, 0x08, 0x08, 0x7F, // H 0x48 72
0x00, 0x41, 0x7F, 0x41, 0x00, // I 0x49 73
0x20, 0x40, 0x41, 0x3F, 0x01, // J 0x4A 74
0x7F, 0x08, 0x14, 0x22, 0x41, // K 0x4B 75
0x7F, 0x40, 0x40, 0x40, 0x40, // L 0x4C 76
0x7F, 0x02, 0x0C, 0x02, 0x7F, // M 0x4D 77
0x7F, 0x04, 0x08, 0x10, 0x7F, // N 0x4E 78
0x3E, 0x41, 0x41, 0x41, 0x3E, // O 0x4F 79
0x7F, 0x09, 0x09, 0x09, 0x06, // P 0x50 80
0x3E, 0x41, 0x51, 0x21, 0x5E, // Q 0x51 81
0x7F, 0x09, 0x19, 0x29, 0x46, // R 0x52 82
0x46, 0x49, 0x49, 0x49, 0x31, // S 0x53 83
0x01, 0x01, 0x7F, 0x01, 0x01, // T 0x54 84
0x3F, 0x40, 0x40, 0x40, 0x3F, // U 0x55 85
0x1F, 0x20, 0x40, 0x20, 0x1F, // V 0x56 86
0x3F, 0x40, 0x38, 0x40, 0x3F, // W 0x57 87
0x63, 0x14, 0x08, 0x14, 0x63, // X 0x58 88
0x07, 0x08, 0x70, 0x08, 0x07, // Y 0x59 89
0x61, 0x51, 0x49, 0x45, 0x43, // Z 0x5A 90
0x00, 0x7F, 0x41, 0x41, 0x00, // [ 0x5B 91
0x02, 0x04, 0x08, 0x10, 0x20, // \ 0x5C 92
0x00, 0x41, 0x41, 0x7F, 0x00, // ] 0x5D 93
0x04, 0x02, 0x01, 0x02, 0x04, // ^ 0x5E 94
0x40, 0x40, 0x40, 0x40, 0x40, // _ 0x5F 95
0x00, 0x01, 0x02, 0x04, 0x00, // ` 0x60 96
0x20, 0x54, 0x54, 0x54, 0x78, // a 0x61 97
0x7F, 0x48, 0x44, 0x44, 0x38, // b 0x62 98
0x38, 0x44, 0x44, 0x44, 0x20, // c 0x63 99
0x38, 0x44, 0x44, 0x48, 0x7F, // d 0x64 100
0x38, 0x54, 0x54, 0x54, 0x18, // e 0x65 101
0x08, 0x7E, 0x09, 0x01, 0x02, // f 0x66 102
0x0C, 0x52, 0x52, 0x52, 0x3E, // g 0x67 103
0x7F, 0x08, 0x04, 0x04, 0x78, // h 0x68 104
0x00, 0x44, 0x7D, 0x40, 0x00, // i 0x69 105
0x20, 0x40, 0x44, 0x3D, 0x00, // j 0x6A 106
0x7F, 0x10, 0x28, 0x44, 0x00, // k 0x6B 107
0x00, 0x41, 0x7F, 0x40, 0x00, // l 0x6C 108
0x7C, 0x04, 0x18, 0x04, 0x78, // m 0x6D 109
0x7C, 0x08, 0x04, 0x04, 0x78, // n 0x6E 110
0x38, 0x44, 0x44, 0x44, 0x38, // o 0x6F 111
0x7C, 0x14, 0x14, 0x14, 0x08, // p 0x70 112
0x08, 0x14, 0x14, 0x18, 0x7C, // q 0x71 113
0x7C, 0x08, 0x04, 0x04, 0x08, // r 0x72 114
0x48, 0x54, 0x54, 0x54, 0x20, // s 0x73 115
0x04, 0x3F, 0x44, 0x40, 0x20, // t 0x74 116
0x3C, 0x40, 0x40, 0x20, 0x7C, // u 0x75 117
0x1C, 0x20, 0x40, 0x20, 0x1C, // v 0x76 118
0x3C, 0x40, 0x30, 0x40, 0x3C, // w 0x77 119
0x44, 0x28, 0x10, 0x28, 0x44, // x 0x78 120

```

```

0x0C, 0x50, 0x50, 0x50, 0x3C, // y 0x79 121
0x44, 0x64, 0x54, 0x4C, 0x44, // z 0x7A 122
0x00, 0x08, 0x36, 0x41, 0x00, // 0x7B 123
0x00, 0x00, 0x7F, 0x00, 0x00, // | 0x7C 124
0x00, 0x41, 0x36, 0x08, 0x00, // 0x7D 125
0x08, 0x04, 0x08, 0x10, 0x08, // ~ 0x7E 126
0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF // 0x7F 127
};

```

Далее следуют макросы для определения выводов шины SPI и их нумерация в соответствии порядком порта В.

```

#define SCK_PORT PORTB // SCK(D0)
#define SCK_PIN 5

#define DAT_PORT PORTB // SDA(D1)
#define DAT_PIN 3

#define RST_PORT PORTB // RES
#define RST_PIN 0

#define DC_PORT PORTB // DC
#define DC_PIN 1

#define CS_PORT PORTB // CS
#define CS_PIN 2

```

Для удобства выполнения простейших операций с битами, происходящие много раз, можно сделать макрос, отражающий суть данных действий своим именем. Параметр `reg` принимает название регистра, а параметр `bit` принимает номер бита, с которым нужно провести заданную операцию, указанную в комментариях.

```

#define SET_BIT(reg, bit) reg |= (1<<bit) // делаем высокий ЛУ
#define CLR_BIT(reg, bit) reg &= (~(1<<bit)) // делаем низкий ЛУ
#define INV_BIT(reg, bit) reg ^= (1<<bit) // производим инверсию ЛУ
#define DDRX(x) (*(&x-1))

```

Макрос `DDRX(x)` выдаст значение бита, стоящего за аргументом `x`.

Далее идут макросы, приводящие регистр состояния порта в режим выход для указанного пина, видимого из названия.

```
#define SCK_DDR SET_BIT(DDRX(SCK_PORT), SCK_PIN)
#define DAT_DDR SET_BIT(DDRX(DAT_PORT), DAT_PIN)
#define RST_DDR SET_BIT(DDRX(RST_PORT), RST_PIN)
#define DC_DDR SET_BIT(DDRX(DC_PORT), DC_PIN)
#define CS_DDR SET_BIT(DDRX(CS_PORT), CS_PIN)
```

Для удобного установления ЛУ создадим макросы с префиксами H (high ЛУ) и L (low ЛУ) для каждого пина шины SPI.

```
#define SCK_H SET_BIT(SCK_PORT, SCK_PIN)
#define SCK_L CLR_BIT(SCK_PORT, SCK_PIN)

#define DAT_H SET_BIT(DAT_PORT, DAT_PIN)
#define DAT_L CLR_BIT(DAT_PORT, DAT_PIN)

#define RST_H SET_BIT(RST_PORT, RST_PIN)
#define RST_L CLR_BIT(RST_PORT, RST_PIN)

#define DC_H SET_BIT(DC_PORT, DC_PIN)
#define DC_L CLR_BIT(DC_PORT, DC_PIN)

#define CS_H SET_BIT(CS_PORT, CS_PIN)
#define CS_L CLR_BIT(CS_PORT, CS_PIN)
```

Осуществление управления дисплеем берется из документации к нему и от туда взят список команд. Создадим для этого списка массив, где назначение каждой команды указано в комментариях.

```
const uint8_t init[] PROGMEM =
{
    0xAE, // Выключить дисплей

    0xD5, // Настройка частоты обновления дисплея
```

```

0x80,
///+----- делитель 0-F/ 0 - деление на 1
///+----- частота генератора. по умолчанию 0x80
0xA8, // Установить multiplex ratio
0x3F, // 1/64 duty (значение по умолчанию)

0xD3, // Смещение дисплея (offset)
0x00, // Нет смещения

0x40, // Начала строки начала развёртки 0x40 с начала RAM

0x8D, // Управление внутренним преобразователем
0x14, // 0x10 - отключить (VCC подается извне) 0x14 - запустить
внутренний DC/DC

0x20, // Режим автоматической адресации
0x00, // 0-по горизонтали с переходом на новую страницу (строку)
// 1 - по вертикали с переходом на новую строку
// 2 - только по выбранной странице без перехода

0xA1, // Режим развёртки по странице (по X)
// A1 - нормальный режим (слева/направо) A0 - обратный
(справа/налево)

0xC8, // Режим сканирования озу дисплея
// для изменения системы координат
// C0 - снизу/верх (начало нижний левый угол)
// C8 - сверху/вниз (начало верхний левый угол)
0xDA, // Аппаратная конфигурация COM
0x12,

0x81, // Установка яркости дисплея
0x8f, // 0x8F..0xCF

```

```

0xD9, // Настройка фаз DC/DC преобразователя
0xF1, // 0x22 - VCC подается извне / 0xF1 для внутреннего

0x40, // Влияет на яркость дисплея 0x00..0x70

0xA4, // Режим нормальный

0xA6, // 0xA6 - нет инверсии, 0xA7 - инверсия дисплея

0xAF // Дисплей включен
};

```

#### 4.4.5 Функции для работы с дисплеем

Перед тем как работать с дисплеем, он должен пройти последовательность действий, направленных на его инициализацию.

```

void display_init(void)
{
    SCK_DDR; // Выводы настроены на выход
    DAT_DDR;
    RST_DDR;
    DC_DDR;
    CS_DDR;

    SPCR |= (1 << SPE) // Разрешаем SPI
    |(1 << MSTR) // Режим "мастер"
    |(1 << SPR1); // Скорость SPI fosc/64
    SCK_L; // На линии SCK низкий ЛУ
    CS_H; // выбор драйвера дисплея, неактивен
    RST_L; // Сброс дисплея
    _delay_us(3); // Небольшая задержка
    RST_H; // Дисплей в нормальном состоянии

    for(uint8_t i = 0; i < sizeof init; i++) disp_write(0,
pgm_read_byte(&init[i]));
}

```

```
}
```

Последней строкой мы отправляем команды в дисплей из массива инициализации, созданного ранее.

Следующая функция понадобится для записи данных или команды в дисплей. Она принимает аргумент `mode`, означающий режим и аргумент `data`, означающий передаваемую информацию

```
void disp_write(uint8_t mode, uint8_t data) // Режим: 1-данные, 0-
команда
{
    if(mode) DC_H; // Режим данных-
    else DC_L; // Режим команды
    CS_L; // выбор драйвера дисплея, активен
    SPDR = data; // Передаем данные в дисплей
    while(!(SPSR & (1<<SPIF))); // Ждем окончания передачи
    CS_H; // выбор драйвера дисплея, неактивен
}
```

Отчистка дисплея производится путем записи в него определенных команд назначения которых указаны в комментариях.

```
void screen_update(void)
{
    disp_write(0,0x21); // Установка столбца
    disp_write(0,0); // Начальный адрес
    disp_write(0,127); // Конечный адрес

    disp_write(0,0x22); // Установка строки
    disp_write(0,0); // Начальный адрес
    disp_write(0,7); // Конечный адрес

    for(uint16_t i = 0; i < 1024; i++) disp_write(1, 0);
}
```

Последняя строка делает для каждого пикселя низкий ЛУ, т.е. на экране



пропадают все изображения, сделанные на нем ранее.

Функция вывода символа 5x8 устроена так, что принимает три параметра первый и второй из которых – это столбец и строка соответственно, а третий символ. Каждый символ имеет своё значение в виде десятичного числа, с помощью него осуществляется поиск этого символа по массиву `font_5x8[]`.

```
void set_char_5x8(uint8_t sign)
{
    sign -= 32;
    for(uint8_t i = 0; i < 5; i++)
    {
        disp_write(1,pgm_read_byte(&font_5x8[5*sign + i]));
    }
}
```

Теперь передадим смысловую строку, состоящую из последовательности строк (максимальное количество 3) и их количества.

```
void set_string_5x8(char *s, char *s1, char *s2, unsigned char n)
{
    int len_s = 0;
    while(*s)
    {
        set_char_5x8(*s++);
        len_s++;
    }
    if(n>1)
    {
        set_char_5x8(32);len_s++;
        while(*s1) {
            set_char_5x8(*s1++);
            len_s++;
        }
    }
}
```

```

if(n>2) {
    set_char_5x8(32);len_s++;
    while(*s2) {
        set_char_5x8(*s2++);
        len_s++;
    }
}
for (unsigned int i; i<(128-len_s*5); i++)
{
    disp_write(1,0x00);
}
}

```

Для того чтобы смысловые строки не располагались вплотную друг над другом можно отделить их пустыми строками. Это сделает текст более читабельным.

```

void set_0_5x8(void)
{
    for(uint8_t i = 0; i < 128; i++) {
        disp_write(1,0x00);
    }
}

```

Обновление дисплея происходит путем последовательного формирования строк. В зависимости от типа сигнала, происходит определения типа первой строки, имеющая пять вариаций также, как и количество возможных сигналов. Последующие строки формируются с помощью преобразования численного параметра в строку, функцией *itoa()*.

```

void display_update(void)
{
    screen_update(); // Обновляем экран
    switch(mode_signal)
    {

```

```

        case 0: set_string_5x8(str1, sig1, "", 2); break;
        case 1: set_string_5x8(str1, sig2, "", 2); break;
        case 2: set_string_5x8(str1, sig3, "", 2); break;
        case 3: set_string_5x8(str1, sig4, "", 2); break;
        case 4: set_string_5x8(str1, sig5, "", 2); break;
    }

    set_0_5x8();
    set_string_5x8(str2, itoa(m_freq, str, 10), "HZ", 3);
    set_0_5x8();
    set_string_5x8(str3, itoa(m_range * 1000, str, 10), "mV", 3);
    set_0_5x8();
    set_string_5x8(str4, itoa(m_fill * 100, str, 10), "%", 3);
}

```

#### 4.4.6 Макросы и функции для работы с таймером

Для быстрого изменения делителя частоты таймера сделаем макросы с установкой необходимых битов для каждого варианта делителя.

```

#define FOSC_divider_1      (1<<CS10)           //16000k
#define FOSC_divider_8      (1<<CS11)           //2000k
#define FOSC_divider_64     (1<<CS11)|(1<<CS10)  //250k
#define FOSC_divider_256    (1<<CS12)           //62.5k
#define FOSC_divider_1024   (1<<CS12)|(1<<CS10)  //15.625k

```

Функция инициализации таймера с установкой делителя частоты равному 1024.

```

void timer0_init()
{
    TCCR0A |= (1<<WGM01); //Устанавливаем режим CTC
    TCCR0B |= FOSC_divider_8; //Делители частоты Fosc/64
    TIMSK0 |= (1<<OCIE0A); //Разрешения прерывания 0-го таймера
    OCR0A = 0xFF; //Число для сравнения
}

```

Следующая функция разрешает и запрещают прерывание таймера

```
void timer0_start()
{
    TIMSK0 |= (1<<OCIE0A);
}
void timer0_stop()
{
    TIMSK0 &= ~(1<<OCIE0A); //Разрешения прерывания 0-го таймера
}
```

Обработка прерывания [3, с.49].

```
ISR(TIMER0_COMPA_vect) {
    checkButton();
}
```

Завершающей функцией будет являться `main()`, которая включает в себя инициализацию всех необходимых устройств и портов ЦАП. После этого следует бесконечный цикл, где формируется выходной сигнала в зависимости от всех своих параметров. В этом же цикле после формирования сигнала образуется еще один цикл с условием, где происходит передача последовательности отсчётов сигнала ЦАП. Выход из этого цикла осуществляется при нажатии на кнопку типа сигнала, следовательно произойдёт перерасчет массива и снова вернется в цикл с условием.

```
int main(void)
{
    display_init(); // Инициализация дисплея
    timer0_init (); // Инициализация таймера
    timer0_start(); // Разрешение прерывания таймера

    DDRC = 0b00000000; //Все кнопки на вход
    PORTC = 0b00111111; //Включаем подтягивающий резистор на PD0-7

    DDRD=0xFF; //Все пины ЦАП установлены на выход
    PORTD=0x00; //Все пины ЦАП приняли нулевое значение (отчистились)
```

```

sei();// разрешает глобальные прерывания

while (1)
{

    switch(mode_signal)
    {
        case MODE_SIN:  procSin(); break;
        case MODE_PULSE:procPulse(); break;
        case MODE_TRIANGLE:  procTriangle(); break;
        case MODE_SAW:  procSaw(); break;
        case MODE_SAW_INV:  procSawInv(); break;
    }
    display_update();
    it = 0;//обнуление
    update = 0;//окончание обновления

    while (update==0)
    {
        if(it >= 1024) it = 0;
        PORTD = *(p_signal+it);
        it = it + m_f;
        if (PINC!=0b00111111);
    }
}
}

```

## 5 СИМУЛЯЦИЯ СХЕМЫ

Для получения предварительных результатов работы устройства произведем его симуляцию в программе Proteus 8, которая обладает встроенной библиотекой, включающую в себя все необходимые компоненты для данного проекта. Создадим файл схемы и соберем модель передачи данных от МК на ЦАП рисунок 5.1. Резисторы R1 - R16 формируют матрицу R2R, сигнал с которой поступает на цифровой осциллограф в канал А. Что бы произвести настройку модели МК Atmega328p откроем окно Edit Component рисунок 5.2 и в строке Program File выберем hex - файл, полученный после компиляции программы функционального генератора, а в строке Clock Frequency поставим частоту 16000000 . Для получения результатов работы ЦАП, установим размах сигнала 5 В, а у цифрового осциллографа в канале А поставим разрешение по амплитуде 1 В/к. Будем измерять все виды сигналов функционального генератора на частотах 1к и 10к.

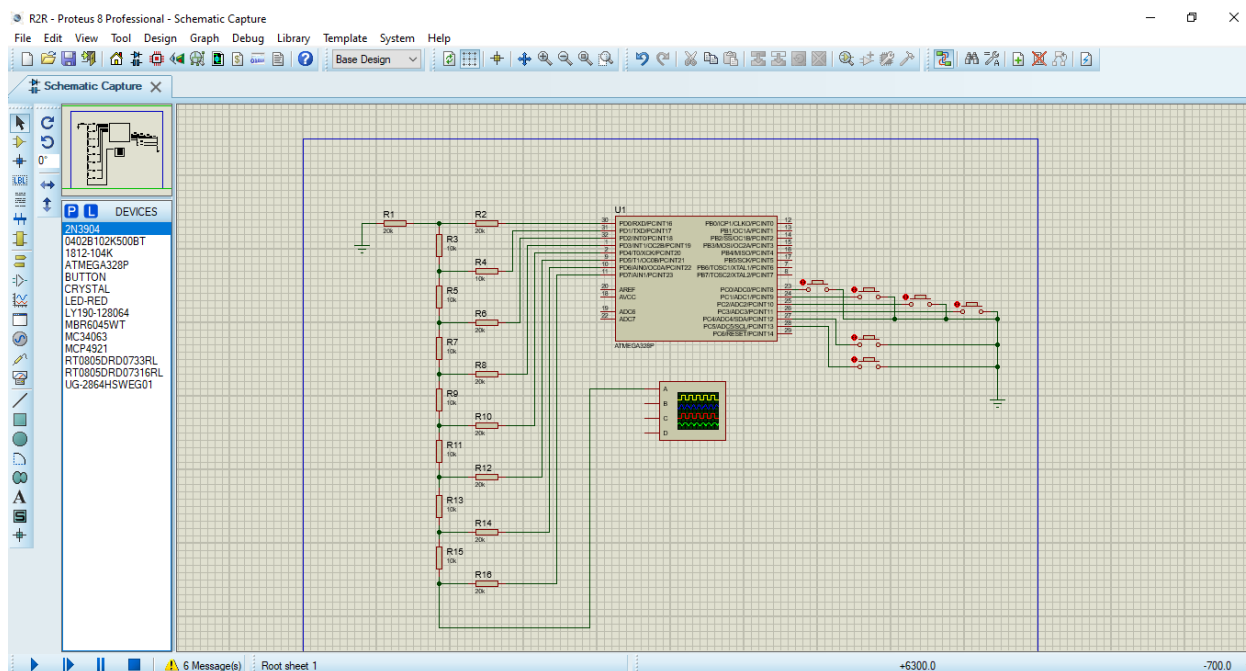


Рисунок 5.1 – Схема для симуляции функционального генератора

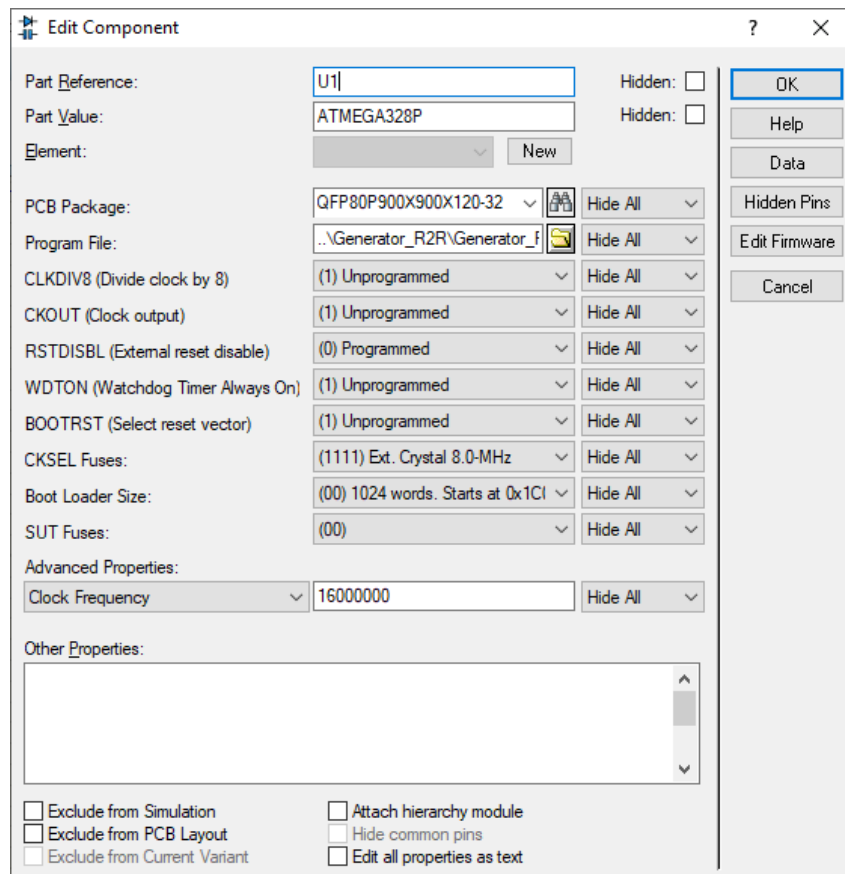


Рисунок 5.2 – Окно настроек МК

Осциллограммы, полученные с выхода ЦАП:

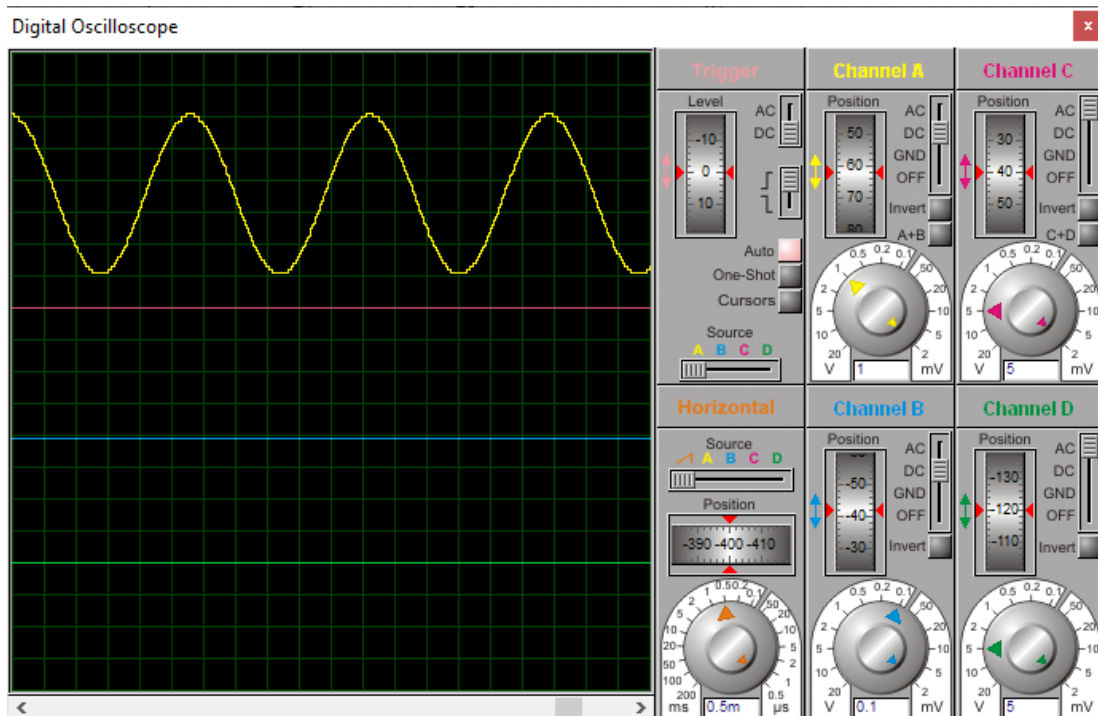


Рисунок 5.3 – Синусоида при частоте 1 кГц.

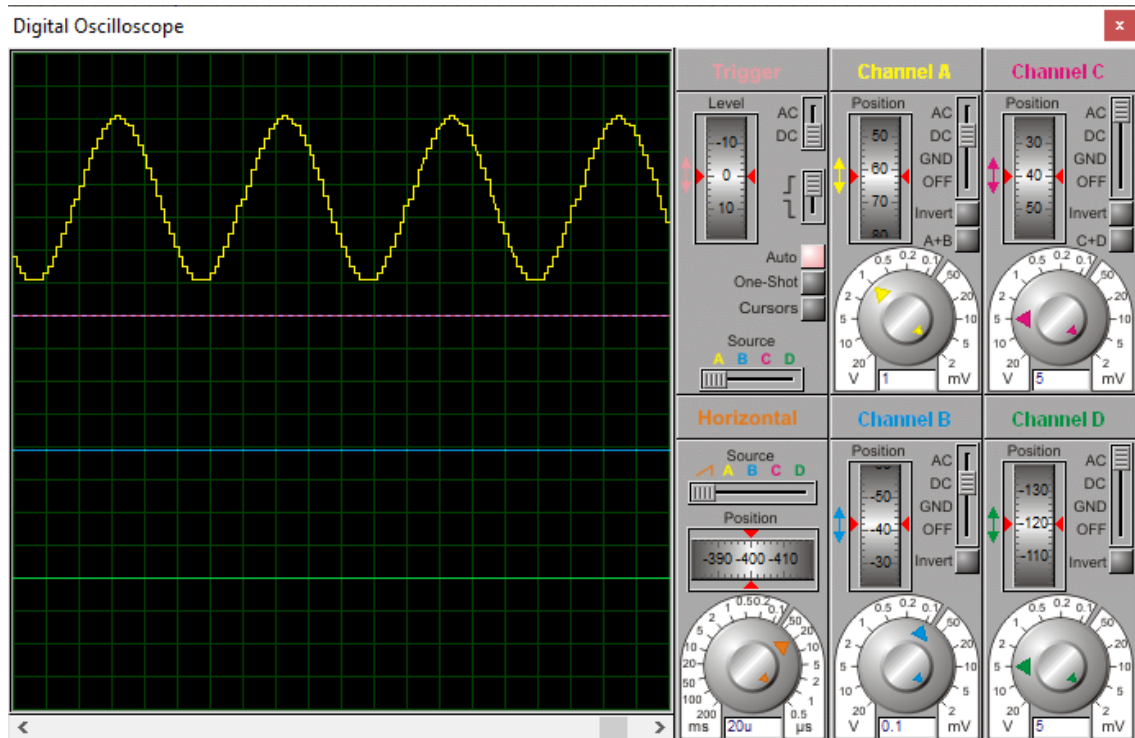


Рисунок 5.4 – Синусоида при частоте 10 кГц.

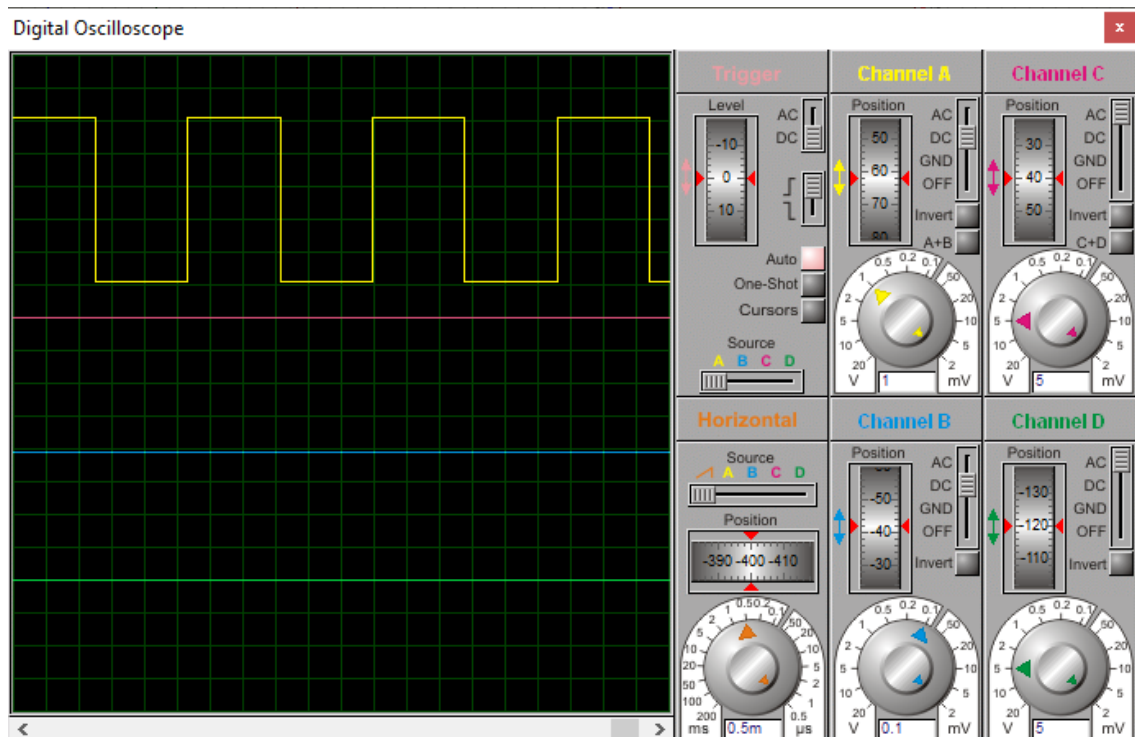
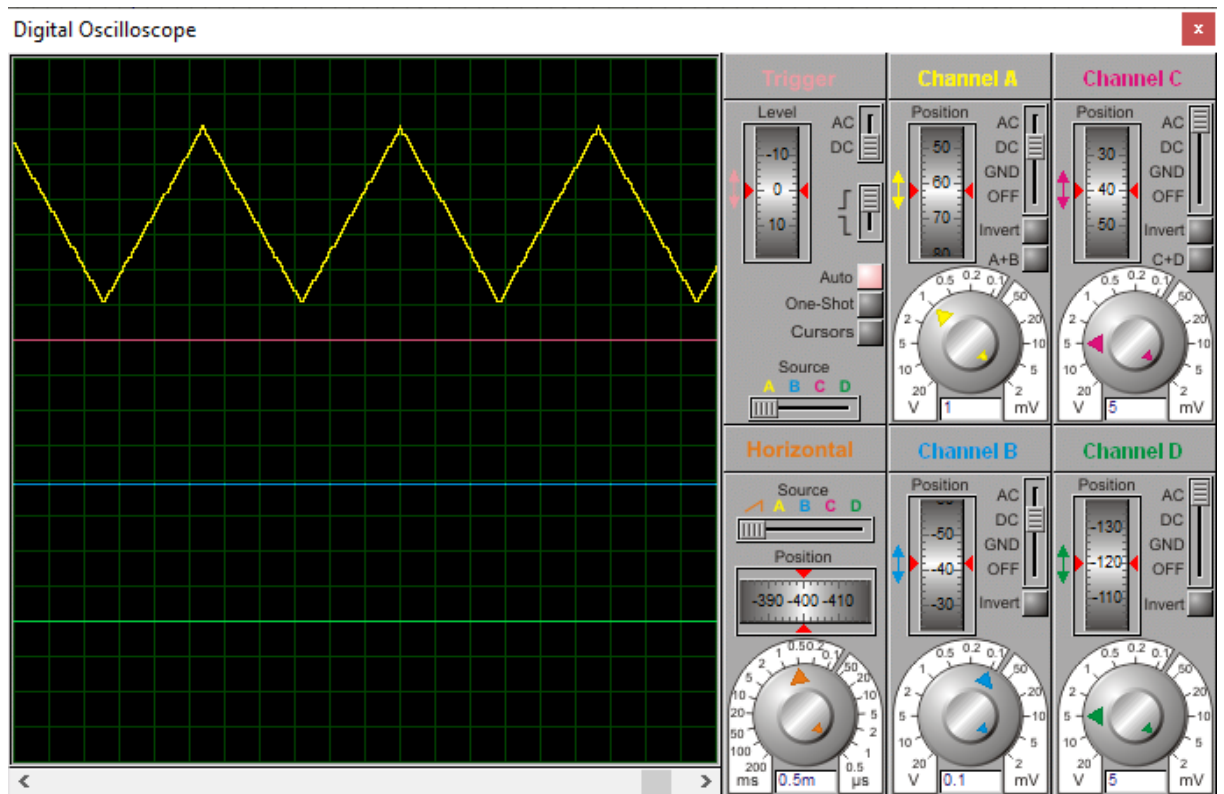
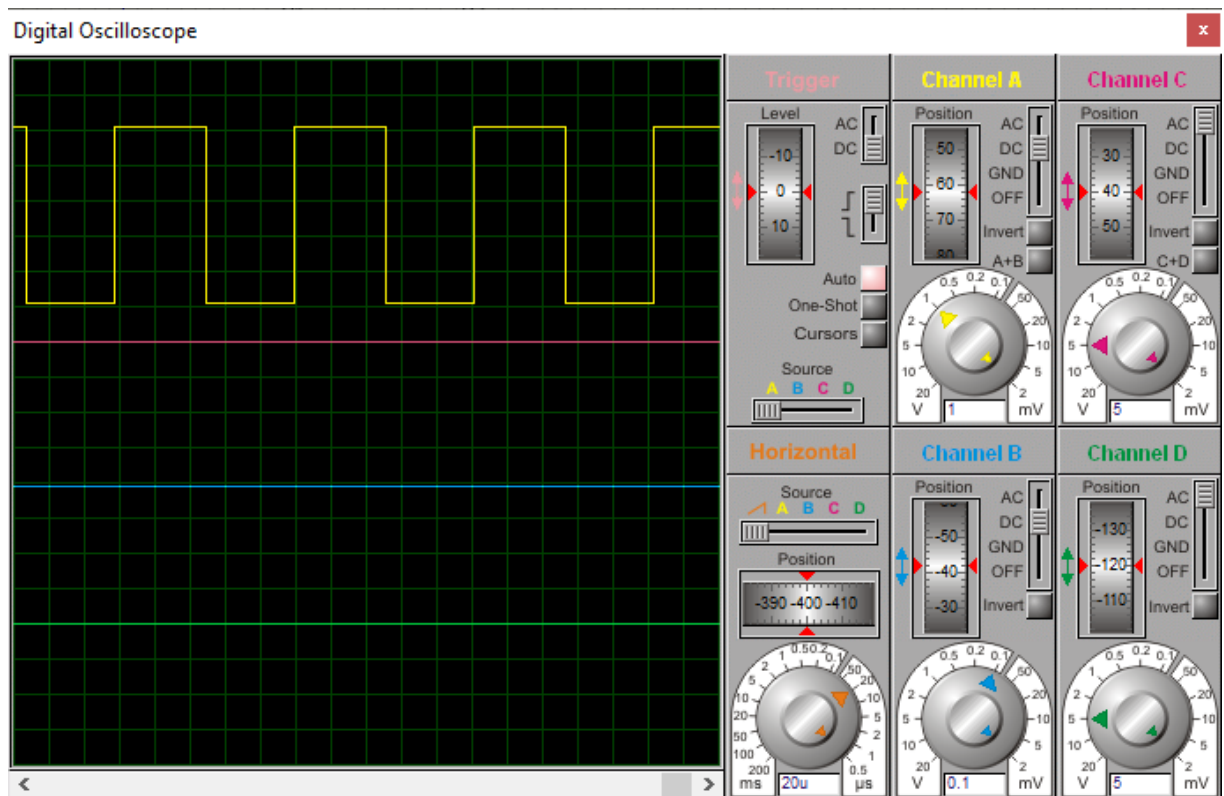


Рисунок 5.5 – Прямоугольные импульсы при частоте 1 кГц.





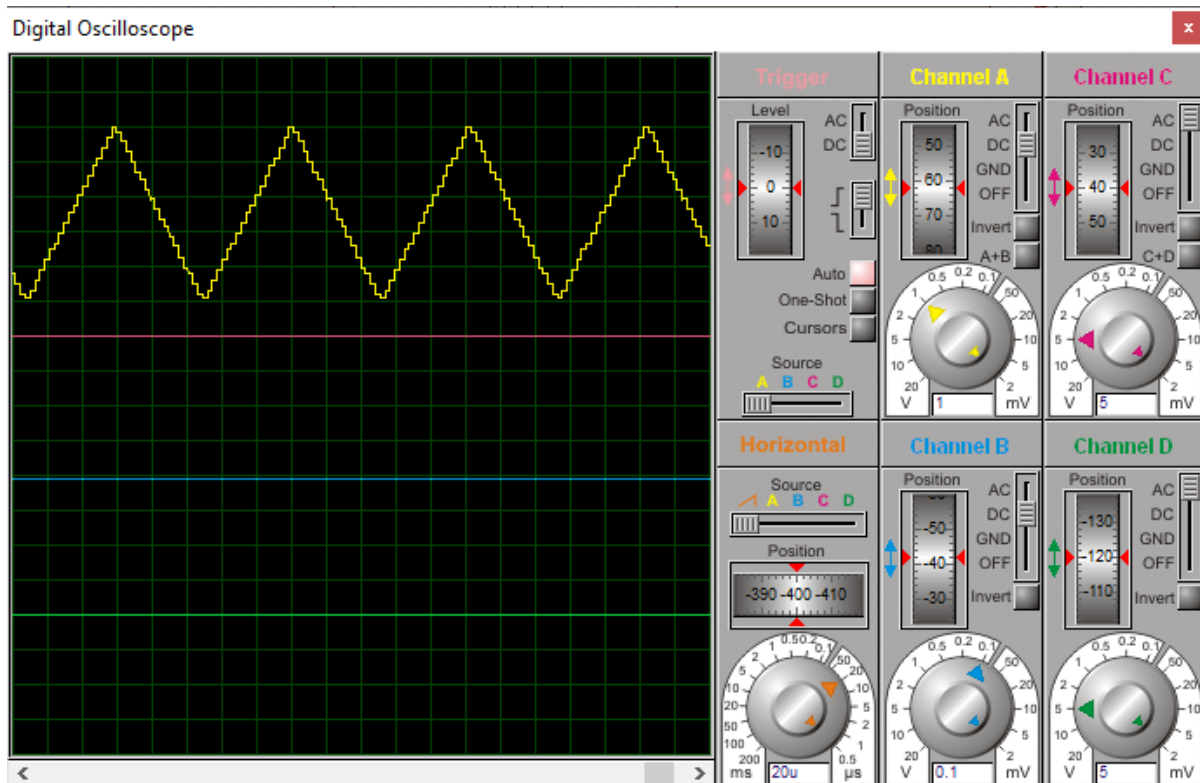


Рисунок 5.8 – Треугольный сигнал при частоте 10 кГц

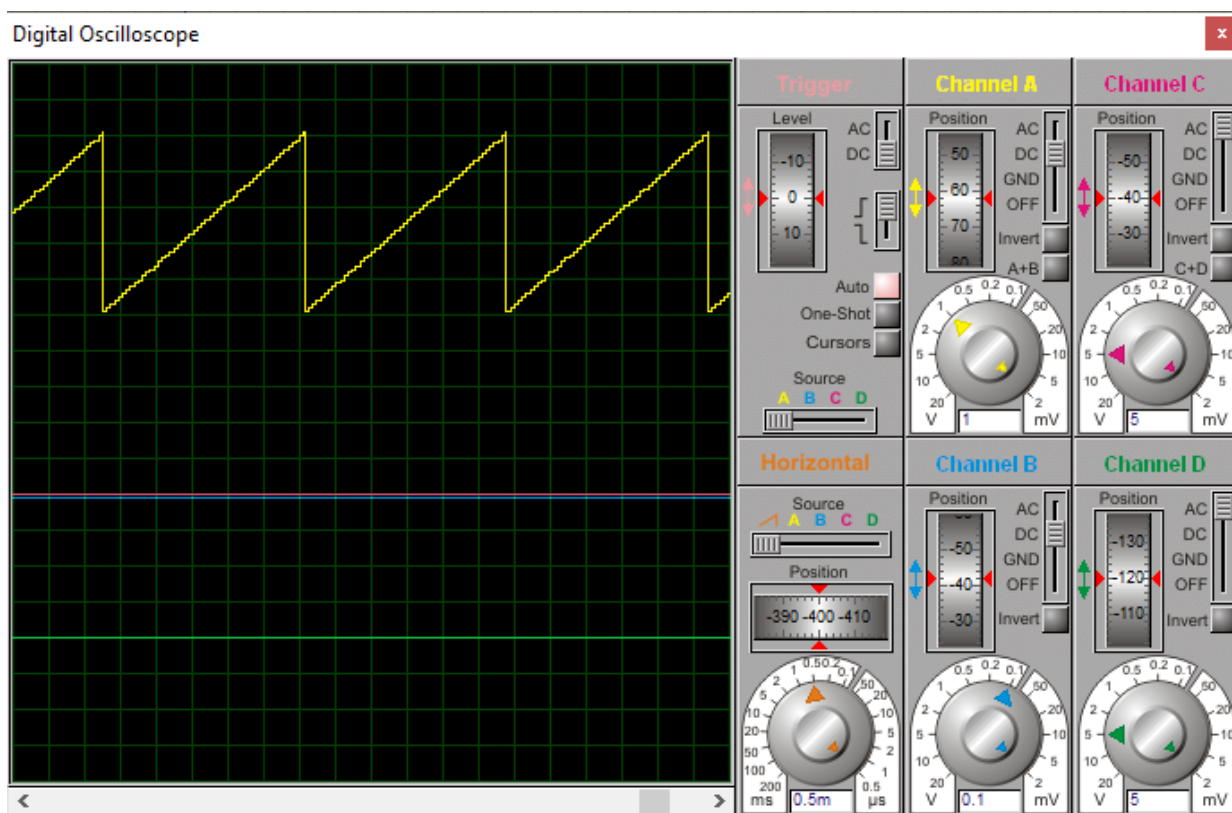


Рисунок 5.9 – Прямая пила при частоте 1 кГц

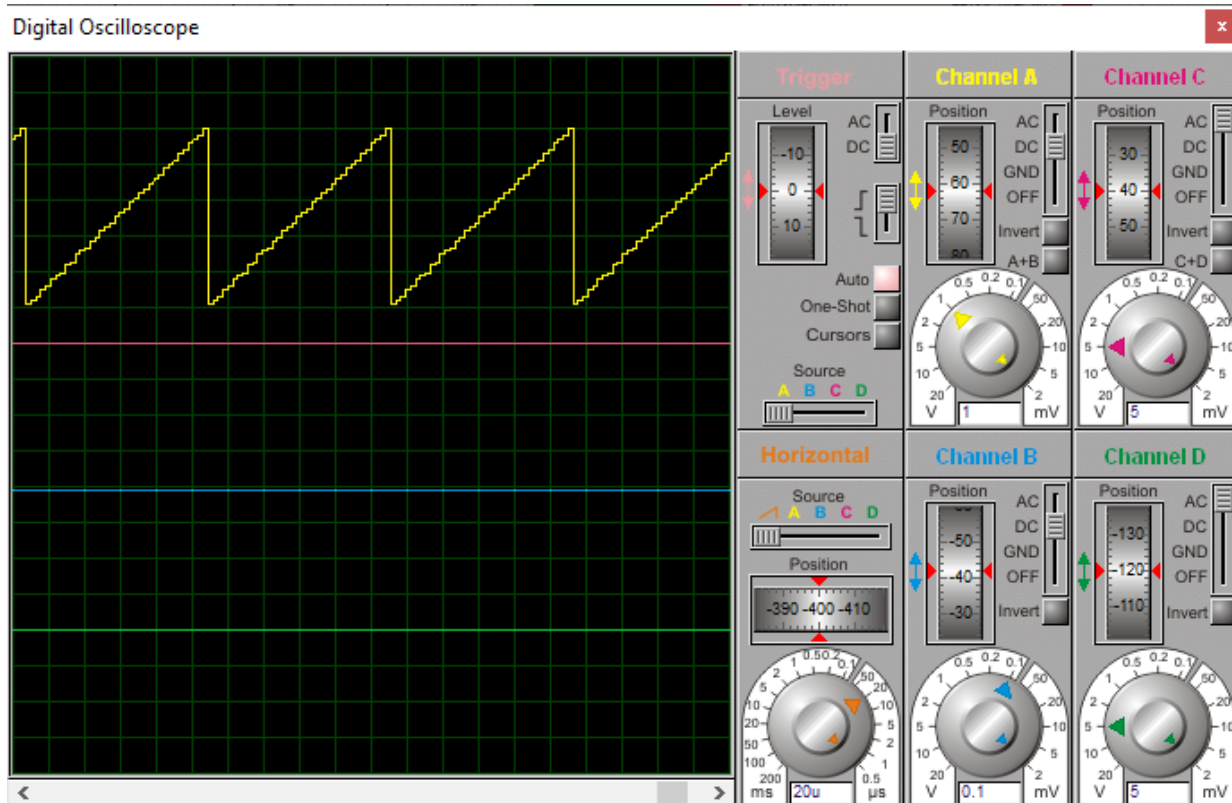


Рисунок 5.10 – Прямая пила при частоте 10 кГц

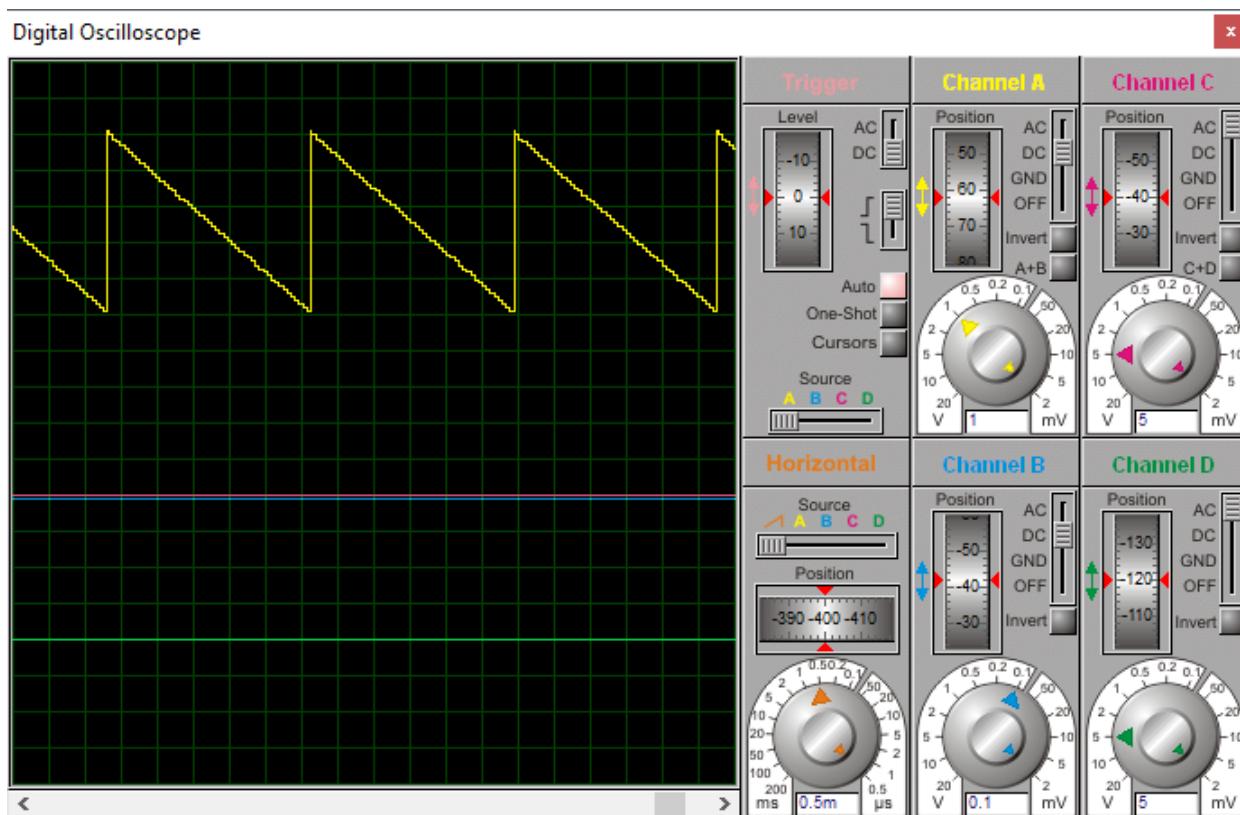


Рисунок 5.11 – Инверсная пила при частоте 1 кГц

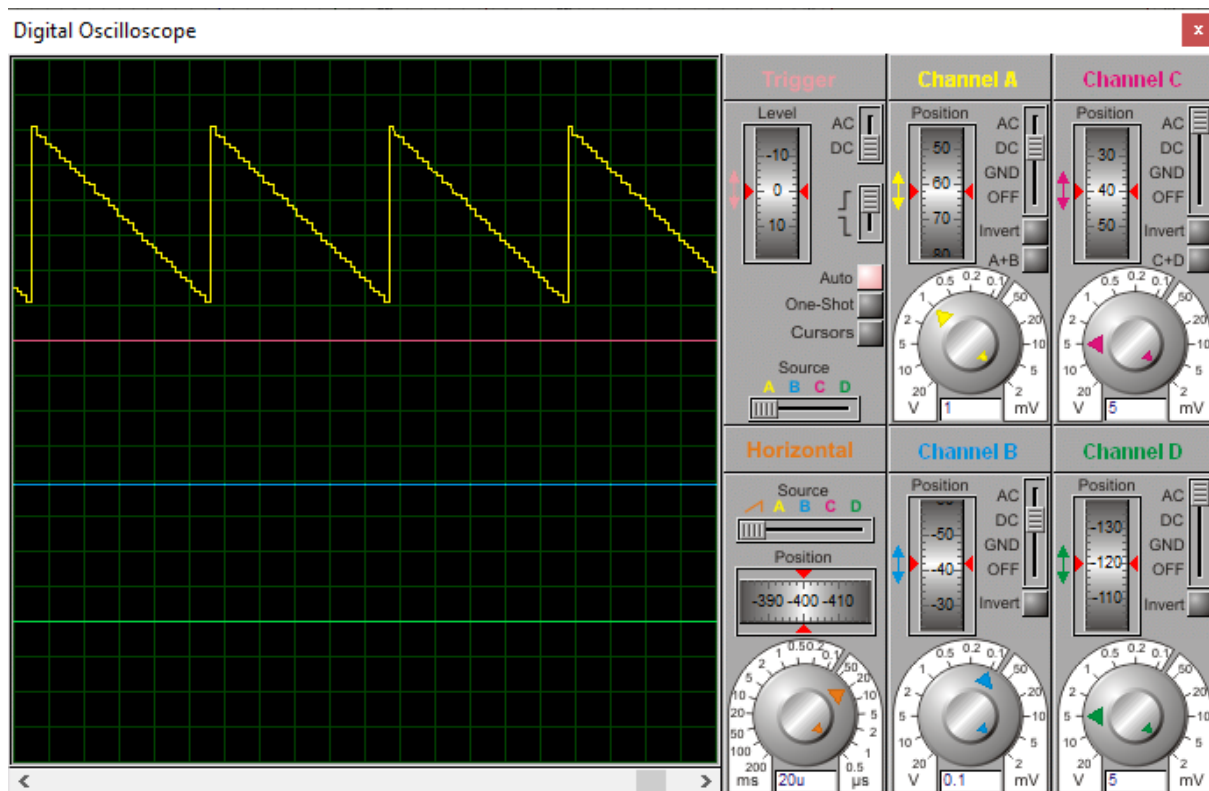


Рисунок 5.12 – Инверсная пила при частоте 10 кГц

## **6 РАЗРАБОТКА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ**

При создании печатной платы будут учитываться правила проектирования. Существуют три класса точности: стандартный, продвинутый и предельный. В зависимости от выбора класса растёт стоимость самой платы. Поэтому для данного проекта будем использовать стандартный класс точности, так как он имеет самые простые правила для разработки и низкую стоимость. В приложении 1 приведены правила для стандартного класса точности. Выберем толщину фольги, равную 18 мкм.

Рассмотрим основные правила и рекомендации по трассировке платы, которые нам понадобятся.

### **6.1 Толщина проводников**

Не рекомендуется использовать самую минимальную толщину проводника. Это связано с тем, что по закону Ома меньшая площадь сечения проводника увеличивает его сопротивление, это приводит к потере напряжения на нем. Так же при увеличении сопротивления проводника растёт выделение тепла из-за ограничения тока и паразитные ёмкость, индуктивность, которые могут выступать как фильтр частот и каким либо образом ограничивать спектр сигнала проходящего по проводнику. Это приводит к потере информации сигнала [9].

Учитывая минимально возможную толщину проводника для стандартного класса точности, равную 0,125 мм, выберем оптимальную толщину основных треков, которые будут соединять компоненты и треки для линии питания. Основные 0,5 мм, линии питания 2 мм.

### **6.2 Длина проводников.**

На высоких частотах неправильный выбор длины проводника может привести к искажению высокочастотного сигнала. Поэтому необходимо вычислить максимально возможную длину проводника для сигнала МК, работающего на частоте 16 МГц. Чтобы это сделать нужно рассчитать расстояние, которое пройдет волна за время одного периода колебания частиц

среды, т. е. длину волны. Для этого воспользуемся формулой, приведенной ниже:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (6.1)$$

Где  $c$  – скорость света в вакууме;  $f$  – частота МК;

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{16 \cdot 10^6} = 18,75 \text{ м.}$$

Для получения максимальной длины проводника необходимо разделить полученный результат на четыре, но с учетом запаса можно разделить на пять и тогда выйдет оптимальная длина для трека.

$$s_{\text{опт}} = \frac{\lambda}{5} = 3,75 \text{ м.}$$

Эта величина является очень большой поэтому проблем при проектировании не возникнет.

### 6.3 Синхронизация шины

Далее нужно разобрать как происходит синхронизация шин на примере шины ЦАП, которая называется R2R\_BIT[7..0]. При передаче ЛУ по этой шине импульсы должны проходить одинаковое расстояние. Если не соблюдать это условие, то начнется десинхронизация, которая приводит к неправильной работе ЦАП. Иногда из-за расстановки компонентов тяжело добиться одинаковой длины проводников, но как раз для таких случаев в Altium-е предусмотрен инструмент под названием Interactive Length Tuning. Этот инструмент показывает длину п и может наращивать ее с помощью изгибания проводника в виде «змейки», как показано на картинках ниже.



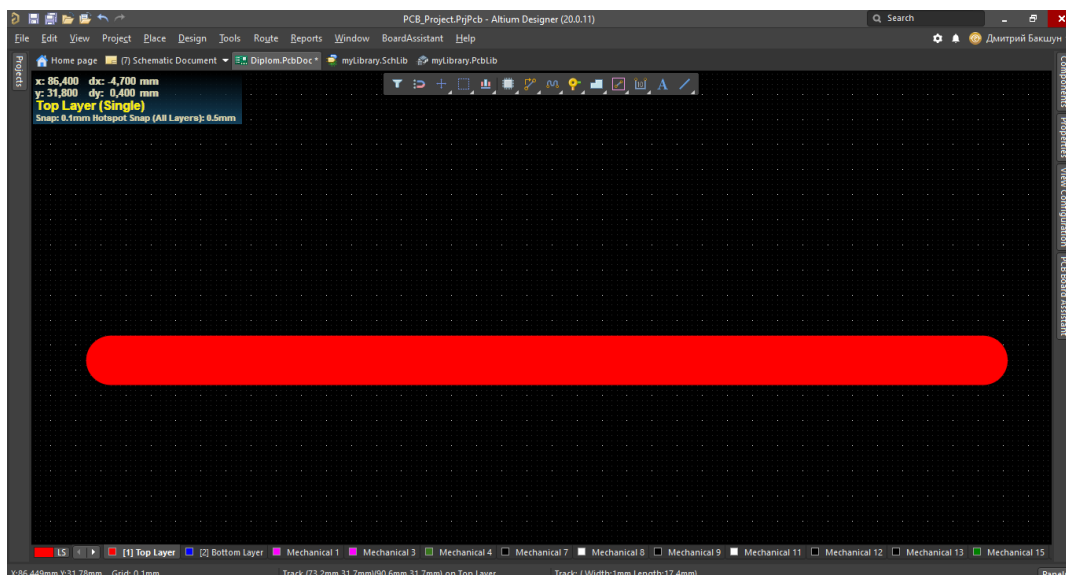


Рисунок 6.1 – Трек до применения Interactive Length Tuning

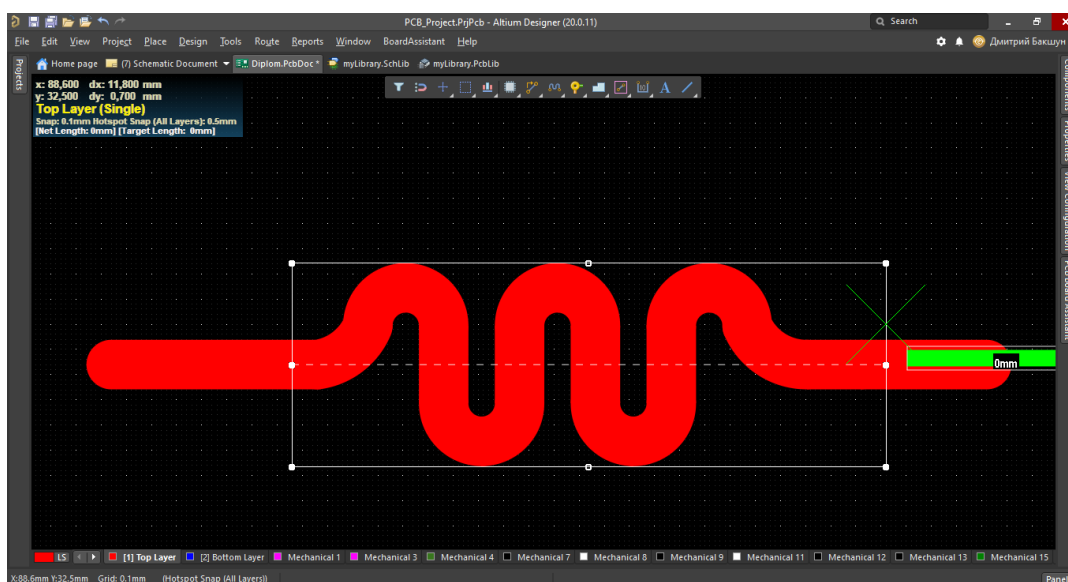


Рисунок 6.2 – Трек после применения Interactive Length Tuning

В документе ТКГУ.110301.160103.ПП-20 представлен чертеж двухсторонней платы ФГ. Также в документе ТКГУ.110301.160103.СБ-20 представлен сборочный чертеж к плате.

## **7 ТЕХНИКО – ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ДИПЛОМНОЙ РАБОТЫ**

### **7.1 Назначение и области применения**

Целью данной дипломной работы разработка цифрового прибора, вырабатывающего стандартные тестовые сигналы для проверки параметров низкочастотной техники в диапазонах от 350 Гц до 35 кГц и разрешением 8 бит, который будет являться упрощенной и дешёвой версией уже готовых решений от известных фирм, но с набором их полезных свойств, функций, таких как простая модернизация и поддержки произвольного сигнала. Весь цикл разработки является самым простым так как не требует наличие большого числа специализированного оборудования

### **7.2 Актуальность применения в промышленных отраслях.**

Эта тема является актуальной так как цифровая техника достигла большой популярности за счет своей универсальности и высоких возможностей. Проверка параметров устройств с помощью набора стандартных и не только сигналов является обязательной процедурой в любом производстве. Это позволяет выявить какие-либо их неисправности или проверить сам принцип работы. Так как разрабатываемое устройство имеет функцию произвольного сигнала, можно генерировать особые сигналы, которые необходимы для работы конкретного прибора.

### **6.3 Выбор уже готовых решений для сравнения**

Существует большое разнообразии функциональных генераторов, которые применяются для генерации сигналов, соответствующих стандартам цифровой связи или как источник эталонного калибрующего сигнала. Рассмотрим наиболее известные и доступные модели.

1) Лабораторный генератор SMC100A от немецкой компании Rohde&Schwarz стоимостью 155060 руб. (на 2020 год) [10]. Частотный диапазон 9 кГц – 3,2 ГГц; существует поддержка видов модуляции таких как импульсная, амплитудная, частотная, фазовая; предельная мощности



выходного сигнала составляет порядка 17 дБм; имеет модульную конструкцию, что позволяет легко производить ремонтные работы или модернизацию с помощью замены или установки плат расширения.

2) Модель генератора 33519В от американской компании Keysight стоимостью 130740 руб. (на 2020 год) [11]. Генерации сигналов синуса и прямоугольной формы с максимальной частотой от 0 Гц до 20 МГц; размах амплитуды от 1 мВ до 10 В с разрешением 16 бит; как и модель SMC100А поддерживает все виды модуляции.

Все эти приборы имеет очень полезное свойство произвольного сигнала, которое может пригодиться для формирования последовательности битного кода или каких-либо других задач. Также присутствует тестовый сигнал в виде шума. При выборе из этих двух модель предпочтительнее 33519В за счет более низкой границы частоты, в то время как модель SMC100А эта граница располагается на частоте 9 кГц.

Сопоставим аналог (уже готовое решение) с нашей разработкой, используя наиболее важные их параметры и займемся вычислением интегрального техникий показатель качества [12, с.8]. В таблице 7.1 приведены результаты подсчета. Значение весовых коэффициентов каждого параметра не имеет конкретно правильного значения и устанавливается экспертным путем, учитывая важность каждого параметра. В связи с этим было принято решение принять значение  $w_i$  самого важного параметра равному количеству самих параметров, а следующее  $w_i$  равное количеству самих параметров минус один и т. д.

Для списка компонентов ТКГУ.110301.160103.ПЭЗ-20 цена всех компонентов данного устройства равна 950 руб. Учтем производство платы, монтаж в 2000 руб. и установим коэффициент 3 для прибыли, тогда получим 8850. Для таблицы 7.1 проставим в поле Цена для Разработка разницу между ее ценой и ценой у Аналог, а в поле для Аналог поставим 1.

Таблица 7.1

| Критерий сравнения                | Ед. изм. | Весовой коэфф., $w_i$ | Разработка          |                            | Аналог              |                            |
|-----------------------------------|----------|-----------------------|---------------------|----------------------------|---------------------|----------------------------|
|                                   |          |                       | Число баллов, $s_i$ | Значимость $w_i \cdot s_i$ | Число баллов, $s_i$ | Значимость $w_i \cdot s_i$ |
| Наличие Возможности модернизации  | нет      | 4                     | 1                   | 4                          | 1                   | 4                          |
| Верхняя граница диапазона частоты | кГц      | 4                     | 35                  | 140                        | 2000                | 8000                       |
| Разрешение по амплитуде           | бит      | 3                     | 8                   | 24                         | 16                  | 48                         |
| Максимальный размах амплитуды     | В        | 2                     | 5                   | 10                         | 10                  | 20                         |
| Цена                              | т. руб.  | 1                     | 121890              | 121890                     | 1                   | 1                          |
| $I_T$                             |          |                       |                     | 122068                     |                     | 8073                       |

Интегрального технический показатель качества рассчитывался по формуле 7.1 [12, с.8].

$$I_T = \sum_i^n w_i \cdot s_i \quad (7.1)$$

По результатам видно, что соблюдается условие  $\frac{I_{T, \text{раз}}}{I_{T, \text{ан}}} > 1$ , что говорит о прорывном характере разработки и ее востребованности потребителями.

#### 7.4 Трудоемкость выполнения проекта

Для организованной работы требуется составить план проводимых

действий, определить стадии разработки и их временные затраты. В таблице 7.2 представлен перечень пунктов с оценочными временными затратами на весь дипломный проект [12, с.10].

Таблица 7.2 – План выполнения проекта

| Наименование работ                | Трудоемкость, чел/дни |           |
|-----------------------------------|-----------------------|-----------|
|                                   | Руководитель          | Дипломант |
| Разработка технического задания   |                       |           |
| Изучение литературы               | 0                     | 8         |
| Разработка методов решения задачи | 1                     | 5         |
| Создание схемы                    | 1                     | 3         |
| Написание программы               | 3                     | 20        |
| Симуляция схемы                   | 0                     | 10        |
| Оформление пояснительной записки  | 3                     | 15        |
| Сдача ВКР                         | 2                     | 2         |
| ИТОГО                             | 12                    | 66        |

Итог подводится по сумме всего затраченного времени на каждом этапе разработки.

### 7.5 Распределение заработной платы

Произведём калькуляцию полной себестоимости данного проекта. Расчет себестоимости исследовательской работы будем проводить по следующим пунктам:

1. Затраты на оплату труда основных исполнителей работы
2. Отчисления на социальные нужды
3. Амортизационные отчисления на износ ПК и оргтехники.
4. Косвенные расходы

Расчет происходит исходя из трудоемкости работ при выполнении

проекта и будут включать в себя заработную плату за труд, а также дополнительную заработную плату, подразумевающую выплаты работникам, не связанные с выполнением проекта, например различные надбавки, оплата отпусков и т. д.

1) Заработная плата трудоемкость работ:

Руководитель  $З_{п_{рук}} = 35000$  руб./месяц;

Техник  $З_{п_{рук}} = 12000$  руб./месяц.

2) Дневная ставка (заработная плата сотрудника за месяц, деленная на количество рабочих дней):

Руководитель  $Д_{п_{рук}} = 35000/22 = 1590$  руб. 91 коп.;

Техник - программист  $Д_{п_{рук}} = 12000/22 = 545$  руб. 46 коп.;

3) Процент дополнительной заработной платы – 14%;

4) Процент отчислений на социальные нужды – 30,2%;

5) Процент косвенных расходов – 40 %

Для получения основной заработной платы воспользуемся формулой:

$$З_{п_{ос}} = T_{рук} \cdot Д_{п_{рук}} + T_{тех} \cdot Д_{п_{тех}}, \quad (7.2)$$

где  $T_{рук}$  и  $T_{тех}$  – это трудоемкость работы руководителя и техник-программист, указанная в таблице 7.1, тогда

$$З_{п_{ос}} = 12 \cdot 1590,91 + 66 \cdot 545,46 = 55091 \text{ руб. 28 коп.}$$

Дополнительная заработная плата составляет 14% от основной заработной платы:

$$З_{п_{доп}} = З_{п_{ос}} \cdot 0,14, \quad (7.3)$$

$$З_{п_{доп}} = 55091,28 \cdot 0,14 = 7712 \text{ руб. 78 коп.}$$

По статье 419 НК РФ лицам являющимися предпринимателями (начисляющими зарплату сотрудникам) и частнопрактикующим личностям необходимо платить страховые взносы в размере 30,2% от суммы основной и дополнительной зарплаты:

$$З_{п_{св}} = (З_{п_{ос}} + З_{п_{доп}}) \cdot 0,302, \quad (7.4)$$

$$З_{п_{св}} = (55091,28 + 7712,78) \cdot 0,302 = 18966 \text{ руб. } 83 \text{ коп.}$$

Накладные расходы составляют 40% от суммы основной и дополнительной заработной платы:

$$З_{п_{нр}} = (З_{п_{ос}} + З_{п_{доп}}) \cdot 0,4, \quad (7.5)$$

$$З_{п_{св}} = (55091,28 + 7712,78) \cdot 0,4 = 25121 \text{ руб. } 63 \text{ коп.}$$

Найдем сумму всех полученных показателей:

$$З_{п_{итог}} = З_{п_{ос}} + З_{п_{доп}} + З_{п_{св}} + З_{п_{нр}}, \quad (7.6)$$

$$З_{п_{итог}} = 55091,28 + 7712,78 + 18966,83 + 25121,63 = 106892,52$$

## 7.6 Затраты на ПО для разработки проекта

Для разработки необходимо определиться с выбором ПО. Ниже праведен список программ, которые являются наиболее эффективными в своей сфере деятельности.

Altium Designer – это программа для разработки печатных плат и оформления конструкторская документации, такой как принципиальная схема, перечень элементов, сборочный чертеж и чертеж платы.

Proteus – является симулятором электрическим схем с таким инструментария как отладчик кодов для МК, осциллограф и вольтметр. Имеет

библиотеку с готовыми моделями МК серии Atmega.

Atmel Studio – бесплатная среда разработки для программ на языках Си, Си++ и Ассемблер под микроконтроллеры AVR.

Ниже представлена таблица затрат на закупку нескольких ПО [12, с.11], которые являются эффективными и быстрыми средствами разработки.

Таблица 7.3

| №     | ПО              | версия          | Поставщик   | Стоимость<br>руб. |
|-------|-----------------|-----------------|---|-------------------|
| 1     | Altium Designer | 20              | <a href="https://www.altium-ru.com/">https://www.altium-ru.com/</a>   | 299000            |
| 2     | Proteus         | Platinum Editor | <a href="https://www.labcenter.com/pricing/comm/">https://www.labcenter.com/pricing/comm/</a>                                       | 566000            |
| 3     | Atmel Studio    | 7               | <a href="https://www.microchip.com/mplab/avr-support/atmel-studio-7">https://www.microchip.com/mplab/avr-support/atmel-studio-7</a> | 0                 |
| ИТОГО |                 |                 |   | 865000            |

### 7.7 Используемое оборудование

Рассчитаем по частям стоимость основного используемого оборудования, включая средства для создания макета устройства. Так как симулятор Proteus может показать только предварительные результаты, то необходим макет устройства для тестирования в реальных условиях. По таблице 7.4 составлен расчет стоимости всего оборудования[12, с.15].

Таблица 7.4

| № | Наименование                          | Цена, руб. | Кол-во, шт. | Стоимость, руб. |
|---|---------------------------------------|------------|-------------|-----------------|
| 1 | Ноутбук Lenovo IdeaPad 110-15IBR      | 21000      | 1           | 21000           |
| 2 | Отладочная плата Arduino Nano         | 3090       | 1           | 3090            |
| 3 | Плата макетная беспаячная 174х66х8 мм | 750        | 1           | 750             |

Продолжение таблицы 7.4

|       |  |     |    |       |
|-------|--|-----|----|-------|
| 4     | Комплект монтажных перемычек ВВJ-65    | 225 | 1  | 225   |
| 5     | Кабель USB mini, 0.2м                  | 120 | 1  | 120   |
| 6     | Резисторы выводные 0,25 Вт, 10 кОм, 5% | 3   | 25 | 75    |
| 7     | Тактовые кнопки 6х6х5, четырехвыводные | 7   | 5  | 35    |
| ИТОГО |  |     |    | 25295 |

### 7.8 Подведем итоги всех затрат

В таблице 7.5 приведен весь список рассчитанных ранее пунктов и указана окончательная стоимость данного дипломного проекта.

Таблица 7.5

| №     | Статья затрат                        | Стоимость           |
|-------|--------------------------------------|---------------------|
| 1     | Распределение заработной платы       | 106892 руб. 52 коп. |
| 2     | Затраты на ПО для разработки проекта | 865000              |
| 3     | Используемое оборудование            | 25295               |
| ИТОГИ |                                      | 997187руб. 52 коп.  |

## 8 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ

### 8.1 Потенциальные вредные и опасные факторы при эксплуатации устройства и меры защиты

Производственные процессы характеризуются воздействующими вредными и опасными факторами, угрожающие жизни и здоровью. Главной задачей будет являться обеспечение безопасности человека и природной среды. По этому обязательным условием правильной организацией труда является оценка безопасности и экологичности выполняемых работ.

Этот раздел посвящён оценке безопасности при разработке ФГ. Большая часть работы происходила за ПК, используя специально ПО для разработки схем, платы, выполнения программирования и симуляции. Для этих вида деятельности произведем анализ организационных мер, по соблюдению всех необходимых условий труда, опираясь на [13, с.8].

1. Оценка условий труда по физическим факторам трудового процесса проводится так же согласно Федеральному законом от 28.12.2013 № 426 – ФЗ. Результаты оценки приведены в таблице 8.1

Таблица 8.1 - Результаты оценки условий труда по физическим факторам трудового процесса

| Факторы                           | Фактическое значение | Нормативное значение | Класс условий труда |
|-----------------------------------|----------------------|----------------------|---------------------|
| <b>Микроклимат</b>                |                      |                      |                     |
| Температура воздуха               | 24°C                 | 22-25°C              | Оптимальный (1)     |
| Относительная влажность воздуха   | 40%                  | 40-60%               | Оптимальный (1)     |
| <b>Виброакустические факторы</b>  |                      |                      |                     |
| Шум                               | 15 дБА               | <50 дБА              | Оптимальный (1)     |
| <b>Световая среда</b>             |                      |                      |                     |
| Освещенность рабочей поверхности  | 300 лк               | 300 лк               | Оптимальный (1)     |
| <b>Неионизирующие излучения</b>   |                      |                      |                     |
| Электростатическое поле           | 15 кВ/м              | 15 кВ/м              | Оптимальный (1)     |
| Переменное электромагнитное поле  | 25 В/м,<br>250 нТл   | 25 В/м,<br>250 нТл   | Оптимальный (1)     |
| <b>Общая оценка условий труда</b> |                      |                      | Оптимальный(1)      |



Таблица 8.2 - Результаты оценки условий труда по показателю тяжести трудового процесса

| Показатель анализа напряженности  | Значение показателя для фактических условий труда                    | Значение показателя для оптимального класса условий труда                 | Класс условий труда, соответствующий фактическим параметрам |
|---|--|---|---|
| <b>Стереотипные рабочие движения</b>  |  |   |   |
| При локальной нагрузке (с участием мышц кистей и пальцев рук)                                 | 15000  | до 20000  | Оптимальный (1)   |
| При региональной нагрузке (при работе с преимущественным участием мышц рук и плечевого пояса) | 500  | до 10000  | Оптимальный (1)   |
| <b>Рабочая поза</b>   | Периодическое нахождение в удобной фиксированной позе до 25% времени | Свободная удобная поза (смена позы «сидя - стоя» по усмотрению работника) | Допустимый (2)  |
| <b>Общая оценка условий труда</b>   |  |   | Допустимый (2)  |

Таблица 8.3 - Результаты оценки условий труда по показателю напряженности трудового процесса

| Показатель анализа напряженности | Значение показателя для фактических условий труда            | Значение показателя для класса условий труда | Класс условий труда, соответствующий фактическим параметрам |
|----------------------------------|--|--|---|
| <b>Интеллектуальные нагрузки</b> |  |  |   |
| Содержание работы                | Решение сложных задач, требующих поиска известных алгоритмов | Отсутствие необходимости принятия решения    | Напряженный 1 степень (3.1)                                 |

Продолжение таблицы 8.3

|   |  |   |                             |
|---|--|---|-----------------------------|
| Восприятие сигналов и их оценка   | Восприятие сигналов и сопоставление с ожидаемым результатом, при получении иного результата вносятся изменения | Восприятие сигналов, но не требуется коррекция действий | Напряженный 1 степень (3.1) |
| Распределение функций по степени сложности задания  | Обработка выполнения задания и его проверка  | Обработка и выполнение задания                          | Напряженный 2 степень (3.2) |
| Характер выполняемой работы   | Работа по установленному графику с возможностью его коррекции  | Работа по индивидуальному плану                         | Напряженный 2 степень (3.2) |
| <b>Сенсорные нагрузки</b>   |  |   |                             |
| Длительность сосредоточенного наблюдения (в % от рабочего дня)  | 40   | до 25   | Напряженный 2 степень (3.2) |
| Плотность сигналов и сообщений за час работы  | 60   | до 75   | Напряженный 1 степень (3.1) |
| Число объектов одновременного наблюдения  | 1  | до 5  | Напряженный 1 степень (3.1) |
| Размер объекта различения (при расстоянии от глаз работающего до объекта различения не более 0,5 м) в мм при длительности сосредоточенного наблюдения (%) | 100%   | более 5 мм—100%   | Напряженный 2 степень (3.2) |
| Наблюдение за экранами мониторов (часов в рабочий день): буквенно-цифровая информация, графическая информация   | 3, 5   | до 2, до 3  | Напряженный 1 степень (3.1) |

Продолжение таблицы 8.3

|  |   |  |                             |
|--|---|--|-----------------------------|
| Нагрузка на голосовой аппарат (суммарное часов наговариваемые в неделю )   | 4   | до 16  | Напряженный 1 степень (3.1) |
| <b>Эмоциональная нагрузка</b>  |   |  |                             |
| Степень ответственности за результат собственной деятельности. Значимость ошибки   | Несет ответственность за выполнение основной работы. Влечет за собой исправления с использованием дополнительных усилий | Несет ответственность за выполнение отдельных элементов заданий. Влечет за собой дополнительные усилия в работе со стороны работника | Напряженный 1 степень (3.1) |
| Степень риска для собственной жизни  | -   | -  | Напряженный 1 степень (3.1) |
| Степень ответственности за безопасность других лиц   | -   | -  | Напряженный 1 степень (3.1) |
| <b>Монотонность нагрузок</b>   |   |  |                             |
| Число элементов необходимых для реализации простого задания  | 6   | более 10   | Напряженный 2 степень (3.2) |
| Продолжительность (в с) выполнения простых заданий или повторяющихся операция  | 60  | более 100  | Напряженный 2 степень (3.2) |
| Время активных действий (в % к продолжительности рабочего дня). В остальное время наблюдение за ходом производственного процесса | 40  | 20 и более   | Напряженный 1 степень (3.1) |

Продолжение таблицы 8.3

|   |    |           |                             |
|---|----|-----------|-----------------------------|
| Монотонность производственной обстановки (время пассивного наблюдения за ходом техпроцесса в % от времени рабочего дня) | 60 | менее 75  | Напряженный 1 степень (3.1) |
| <b>Режим работы</b>   |    |           |                             |
| Фактическая продолжительность рабочего дня  | 8  | 6-7 часов | Напряженный 2 степень (3.2) |
| <b>Общая оценка напряженности трудового процесса</b>  |    |           | Напряженный 1 степень (3.1) |

## 8.2 Меры направленные на улучшение работоспособности

Правильно выбранное и оборудованное рабочее место обеспечивает высокий показатель работоспособности и эффективного выполнения работы. Оно должно быть оборудовано необходимыми производственными средствами для выполнения конкретных видов деятельности, а также соответствовать требованиям соблюдения санитарных норм, безопасности эргономики и эстетики.

При организации места для работы за ПК соблюдаются следующие условия:

- 1) Наличие вентиляции и средств поддержания оптимальной влажности и температуры.
- 2) Розетка, подключенная к сети, имеет заземление что предотвратит удар током.
- 3) рабочее пространство (комната) выбрано так, что позволяет выполнять все необходимые действия.

4) Расставлено все использующееся оборудование

5) Уровень шума не превышает допустимой нормы

Основное рабочее место представляет собой стол высотой 73,5 см и

площадью поверхности 9680 см<sup>2</sup>, а также стул со спинкой и высотой сидения 44 см. На столе располагается ПК, необходимая литература и макетом устройства. Правильная планировка рабочего места предполагает конкретный порядок и постоянство расположения предметов, средств труда и документов. Все предметы, которые используются чаще остальных находятся в легком доступе на расстоянии не дальше длины вытянутой руки в комфортной позе сидя. Такой выбор планировки обеспечивает сокращение лишних движений и времени при использовании литературы и работе с макетом.

Минимальное расстояние от глаз до монитора составляет 0,5 м, поэтому оптимальным будет дистанция, равная от 0,5 до 0,7 м.

Поддержания комфортной температуры осуществляется с помощью кондиционера мощность которого подходит под площадь комнаты, равную 15 м<sup>2</sup>.

Освещение осуществляется при помощи потолочной люстры (300 лм), так как природный свет из окна в дневное время суток или настольная лампа создают блики на экране монитора, что приводит к ухудшению заметности изображения и повышению нагрузки на зрительный аппарат. Поэтому для непопадания дневного света в комнату, используются жалюзи. Так же при работе за компьютером для уменьшения бликов на экране используется помещение, в котором стены и потолок имеют коэффициент отражения 60% и 40% соответственно.

### **8.3. Анализ надежности на этапе эксплуатации**

Существует несколько факторов, оказывающих потенциальное влияние на возникновение ошибок в работе ПО МК:

а) электрические – отсутствие напряжения питания, его превышение максимального уровня или уменьшение до значения ниже минимального.

б) не исправности отдельных блоков – не корректная работа программы в отдельном блоке или блоках структурной схемы ТКГУ.110301.160103.Э1-20. В результате может привести к сбою, вследствие чего произойдет отказ МК.

В качестве необходимых действий, направленных на снижение вероятности отказа работы прибора, будут приняты меры по:

1) осмотру и выявлению отсутствия или неправильного вольтажа системы питания на основных блоках.

2) осмотр на механические повреждения компонентов или проводников на плате, способствует соблюдению правил по эксплуатации и при монтаже платы; тестирование элементов на соответствие их номиналу и осуществление позвонки проводников на предмет неисправности.

3) обнаружению неисправного МК и его тестирование, позволяющее выявить дефекты, полученные при его производстве, а также при установке на плату; при необходимости, его замена; соблюдение мер по его пайке и эксплуатации.

#### **8.4 Пожарная безопасность в производственном помещении**

Местом работы выбрано домашняя комната, оборудованная ПК. Указанное место относится к помещениям категории пожароопасности – Д так как в нем не находятся горючие вещества, а все материалы находятся в холодном состоянии. Квартира, в которой расположена комната находится в жилом здании с несущими и ограждающими конструкциями из искусственных каменных материалов, бетона, железобетона с применением листовых и плитных негорючих материалов. Исходя из этого место работы соответствует первой степени огнеопасности [13, с.14].

При выполнении рабочей деятельности нужно знать об опасностях, возникающих при работе в условия производства. Кратко рассмотрим причины возгорания, которые делятся на причины электрического характера, неэлектрического характера. К первым можно отнести: короткое замыкание, характеризующееся как соединение проводов разной полярности через очень

малое сопротивление, а также искрение, появляющееся в связи с повышенной влажностью и перепадов токов. К причинам неэлектрического характера можно отнести умышленное пренебрежение человеком правил безопасности, например курение в помещении или не осторожное обращение с огнем.

В квартире имеется углекислотный огнетушитель ОУ-2, предназначенный для тушения возгораний электрооборудования и щеток с рубильником. Огнетушитель находится в 5 м от рабочего места. При возникновении возгорания требуется перевести рубильник в положение вниз, тем самым обесточив сеть и применить огнетушитель.

### **8.5 Защита окружающей природной среды.**

Любой производственный процесс подразумевает потребление и использование природных ресурсов, а также выработку отходов производства, выбросов в атмосферу и т.д. Защита окружающей среды от вредных воздействий процесса производства является одной из важнейших задач [13, с.14]. В современном мире большинство процессов производства используют эффективные программные средства, которое позволяют значительно уменьшить временные затраты и за счет этого сокращает количество потребляемой энергии. Тем самым сокращается затрата ресурсов и идет снижение количества вредных отходов, выбрасываемых в атмосферу.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Для реализации устройства, в соответствии со структурной схемой ТКГУ.110301.160103.Э1-20, в качестве БП были выбраны аккумулятор на 3,7 В и преобразователь напряжения MC34063, настроенный на выходное напряжение 5 В. Для ОУ выбран МД SSD1306, так как он подходит по числу строк и на работу которого тратится меньше электроэнергии. Также объяснен выбор ЦАП на технологии R2R с использованием резисторов и разработана принципиальная схема. Была составлена принципиальная схема ТКГУ.110301.160103.Э1-20 и список компонентов ТКГУ.110301.160103.ПЭЗ-20 для нее.

Разобрана внутренняя периферия МК и объяснено как работать с их регистрами, написана программа, которая реализует ФГ с пятью возможными видами сигналов и кнопочным управлением их параметров. Произведена симуляция, по результатам которой видно, что устройство работает исправно.

Далее рассчитана максимальная длина проводника, равная 3,75 м и оптимальная толщина для обычных проводников 0,5 мм и 2 мм для линий питания. Объяснен метод для синхронизации шины путем использования инструмента Interactive Length Tuning. Разработана двухсторонняя плата ТКГУ.110301.160103.ПП-20.

Проведено сравнение разработки с уже готовыми решениями от известных брендов и установлена, что данная разработка является актуальной. Произведен подсчет затрат на разработку из которого следует, что будет потрачено 997187руб. 52 коп. Произведена оценка условий труда по нескольким показателям и разработан план по улучшению работоспособности.



## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Баранов В.Н. Применение микроконтроллеров AVR: схемы, алгоритмы, программы, 2-е изд. испр. – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2006. – 288 с.
2. Белов А.В. Микроконтроллеры AVR в радиолюбительской практике. – СПб.: Наука и Техника, 2007. – 352 с.: ил.
3. Даташит на микросхему Atmega328p [http://www.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P\\_Datasheet.pdf](http://www.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf).
4. Даташит на микросхему MC34063A <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/12065/ONSEMI/MC34063A.html>.
5. Даташит на модуль LCD [http://www.radioradar.net/datasheet\\_search/L/C/D/LCD-1602A\\_CA.pdf.html](http://www.radioradar.net/datasheet_search/L/C/D/LCD-1602A_CA.pdf.html).
6. Даташит на модуль SSD1306 <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/SSD1306.pdf>
7. ЦАП на основе R2R [https://life-prog.ru/1\\_17119\\_tsifro-analogoviy-preobrazovatel-na-matritse-R-R.html](https://life-prog.ru/1_17119_tsifro-analogoviy-preobrazovatel-na-matritse-R-R.html)
8. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы: учеб. пособие для вузов/ И.С. Гоноровский 5-е изд., испр. и доп. – М.: Дрофа, 2006. – 719 с.
9. Рекомендации по проектированию печатных плат <https://habr.com/ru/post/414141/>.
10. Генератор модели SMC100A <https://www.chipdip.ru/product/smc100a>.
11. Генератор модели 33519B <https://www.chipdip.ru/product/33519b>.
12. Богомолова И.С. Методические указания по выполнению технико-экономического обоснования дипломных работ студентов инженерных специальностей. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2010. – 28с.
13. Бакаева Т.Н., Толмачёва Л.В. Безопасность и экологичность в выпускной квалификационной работе (проекте): Методическая разработка к разделу «Безопасность и экологичность » в выпускной квалификационной

работе (ВКР, проекта) для бакалавриата и специалитета. – Ростов –на – Дону: Изд – во ЮФУ, 2014. – 48 с.

14. Петренко В.В. Учебно-методическое пособие по дипломному проектированию. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. – 55 с.

15. Технологические возможности производства [https://www.rezonit.ru/directory/tekhnologicheskie-osobennosti-proizvodstva/?active\\_tab=capabilities&type%5B%5D=urgent](https://www.rezonit.ru/directory/tekhnologicheskie-osobennosti-proizvodstva/?active_tab=capabilities&type%5B%5D=urgent).

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

(обязательное)

| Минимальные значения,<br>мм   | Фольга, мкм | Стандарт    |
|---|-------------|-------------|
| Проводник   | 18          | 0,125       |
|   | 35          | 0,200       |
|   | 70          | 0,300       |
|   | 105         | 0,350       |
| Зазор между<br>проводниками   | 18          | 0,125       |
|   | 35          | 0,200       |
|   | 70          | 0,300       |
|   | 105         | 0,350       |
| Проводник спирального<br>типа (катушки,<br>нагреватели и т.д.)                      | 18          | 0,200       |
|   | 35          | 0,250       |
|   | 70          | 0,300       |
|   | 105         | 0,350       |
| Зазор между<br>проводниками<br>спирального типа<br>(катушки, нагреватели и<br>т.д.) | 18          | 0,200       |
|   | 35          | 0,250       |
|   | 70          | 0,300       |
|   | 105         | 0,350       |
| Зазор площадка -<br>огигающий полигон   | 18          | 0,200       |
|   | 35          | 0,200       |
|   | 70          | 0,300       |
|   | 105         | 0,350       |
| Параметры сетчатого<br>полигона (мин. ширина<br>линии/зазор)                        | 18          | 0,2 / 0,2   |
|   | 35          | 0,2 / 0,2   |
|   | 70          | 0,3 / 0,3   |
|   | 105         | 0,35 / 0,35 |

|  |   |                                  |
|--|---|----------------------------------|
| Металлизированное отверстие  | — | 0,300                            |
| Отступ элементов топологии от металлизированного отверстия на внутренних слоях                       | — | 0,250                            |
| Поясок монтажной контактной площадки (Annular ring PAD)  | — | 0,200                            |
| Поясок площадки переходного отверстия (Annular ring VIA)   | — | 0,150                            |
| Отношение диаметра минимального металлизированного отверстия к толщине печатной платы (Aspect ratio) | — | до 1:7, толщина ПП $\leq 2,5$ мм |
|  | — | до 1:5, толщина ПП $> 2,5$ мм    |
| Отношение глубины сверления к диаметру металлизированного отверстия                                  | — | —                                |
| Диаметр межслойного переходного отверстия  | — | 0,3 - 0,5                        |
| Минимальный диаметр монтажного отверстия   | — | 0,600                            |
| Диаметр металлизированного полуотверстия   | — | 0,6 - 5,0                        |
| Минимальное расстояние между краями двух отверстий   | — | 0,200                            |
| Неметаллизированное отверстие  | — | 0,500                            |
| Отступ элементов топологии от неметаллизированного отверстия на всех слоях                           | — | 0,250                            |

|  |   |       |
|--|---|-------|
| Отступ элементов топологии от фрезеруемых контуров на внешних слоях                      | — | 0,250 |
| Отступ элементов топологии от фрезеруемых контуров на внутренних слоях                   | — | 0,250 |
| Отступ элементов топологии от края печатной платы на внешних слоях при скрайбировании    | — | 0,400 |
| Отступ элементов топологии от края печатной платы на внутренних слоях при скрайбировании | — | 0,400 |
| Масочный мостик между контактными площадками (зеленая LDI)                               | — | 0,150 |
| Припуск паяльной маски (зеленая LDI) (expansion, Solder Mask Swell)                      | — | 0,050 |
| Масочный мостик между контактными площадками (кроме зеленой LDI)                         | — | 0,150 |
| Припуск паяльной маски (кроме зеленой LDI) (expansion, Solder Mask Swell)                | — | 0,050 |
| Минимальный отступ металла от вскрытия маски   | — | 0,100 |
| Минимальная ширина линии маркировки  | — | 0,150 |
| Минимальная высота шрифта маркировки   | — | 1,000 |

|   |   |       |
|---|---|-------|
| Вскрытие текстов по<br>текстолиту шириной не<br>менее   | — | 0,150 |
| Вскрытие текстов по<br>сплошному<br>металлу/диэлектрику<br>шириной не менее (нет<br>гарантий полного<br>облуживания/читаемости<br>текста) | — | 0,250 |

| Перв. примен. |  |  | Формат       | Зона | Поз. | Обозначение               | Наименование          | Кол. | Приме-<br>чание |
|---------------|--|--|--------------|------|------|---------------------------|-----------------------|------|-----------------|
| Справ. №      |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           | Документация          |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  | A3           |      |      | ТКГУ.110301.160103.ПП-20  | Печатная плата        |      |                 |
|               |  |  | A3           |      |      | ТКГУ.110301.160103.СБ-20  | Сборочный чертеж      |      |                 |
|               |  |  | A3           |      |      | ТКГУ.110301.160103.ЭЗ-20  | Схема электрическая   |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           | принципиальная        |      |                 |
|               |  |  | A3           |      |      | ТКГУ.110301.160103.ЭП-20  | Схема структурная     |      |                 |
|               |  |  | A4           |      |      | ТКГУ.110301.160103.ПЭЗ-20 | Перечень элементов    |      |                 |
|               |  |  | A4           |      |      | ТКГУ.110301.160103.ПЗ-20  | Пояснительная записка |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Подп. и дата  |  |  | Инв. № дубл. |      |      |                           |                       |      |                 |
| Взам. инв. №  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Подп. и дата  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Инв. № подл.  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Подп. и дата  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Инв. № подл.  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Подп. и дата  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Инв. № подл.  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Подп. и дата  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Инв. № подл.  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Подп. и дата  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Инв. № подл.  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Подп. и дата  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Инв. № подл.  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Подп. и дата  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Инв. № подл.  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Подп. и дата  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Инв. № подл.  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Подп. и дата  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Инв. № подл.  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Подп. и дата  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Инв. № подл.  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Подп. и дата  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Инв. № подл.  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Подп. и дата  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Инв. № подл.  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Подп. и дата  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Инв. № подл.  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Подп. и дата  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Инв. № подл.  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Подп. и дата  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Инв. № подл.  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Подп. и дата  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Инв. № подл.  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Подп. и дата  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Инв. № подл.  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Подп. и дата  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Инв. № подл.  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Подп. и дата  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Инв. № подл.  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Подп. и дата  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Инв. № подл.  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Подп. и дата  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Инв. № подл.  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Подп. и дата  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Инв. № подл.  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Подп. и дата  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Инв. № подл.  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Подп. и дата  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Инв. № подл.  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Подп. и дата  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Инв. № подл.  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Подп. и дата  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Инв. № подл.  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Подп. и дата  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Инв. № подл.  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Подп. и дата  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Инв. № подл.  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Подп. и дата  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Инв. № подл.  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Подп. и дата  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Инв. № подл.  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Подп. и дата  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Инв. № подл.  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Подп. и дата  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Инв. № подл.  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Подп. и дата  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Инв. № подл.  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Подп. и дата  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Инв. № подл.  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Подп. и дата  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Инв. № подл.  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Подп. и дата  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Инв. № подл.  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Подп. и дата  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Инв. № подл.  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Подп. и дата  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Инв. № подл.  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Подп. и дата  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Инв. № подл.  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Подп. и дата  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Инв. № подл.  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Подп. и дата  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Инв. № подл.  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Подп. и дата  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Инв. № подл.  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Подп. и дата  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Инв. № подл.  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Подп. и дата  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Инв. № подл.  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Подп. и дата  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Инв. № подл.  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Подп. и дата  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Инв. № подл.  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Подп. и дата  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Инв. № подл.  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Подп. и дата  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Инв. № подл.  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Подп. и дата  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Инв. № подл.  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Подп. и дата  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Инв. № подл.  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Подп. и дата  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Инв. № подл.  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Подп. и дата  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Инв. № подл.  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Подп. и дата  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Инв. № подл.  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Подп. и дата  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Инв. № подл.  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
| Подп. и дата  |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      |                 |
|               |  |  |              |      |      |                           |                       |      | </              |

Перв. примен.

Справ. №

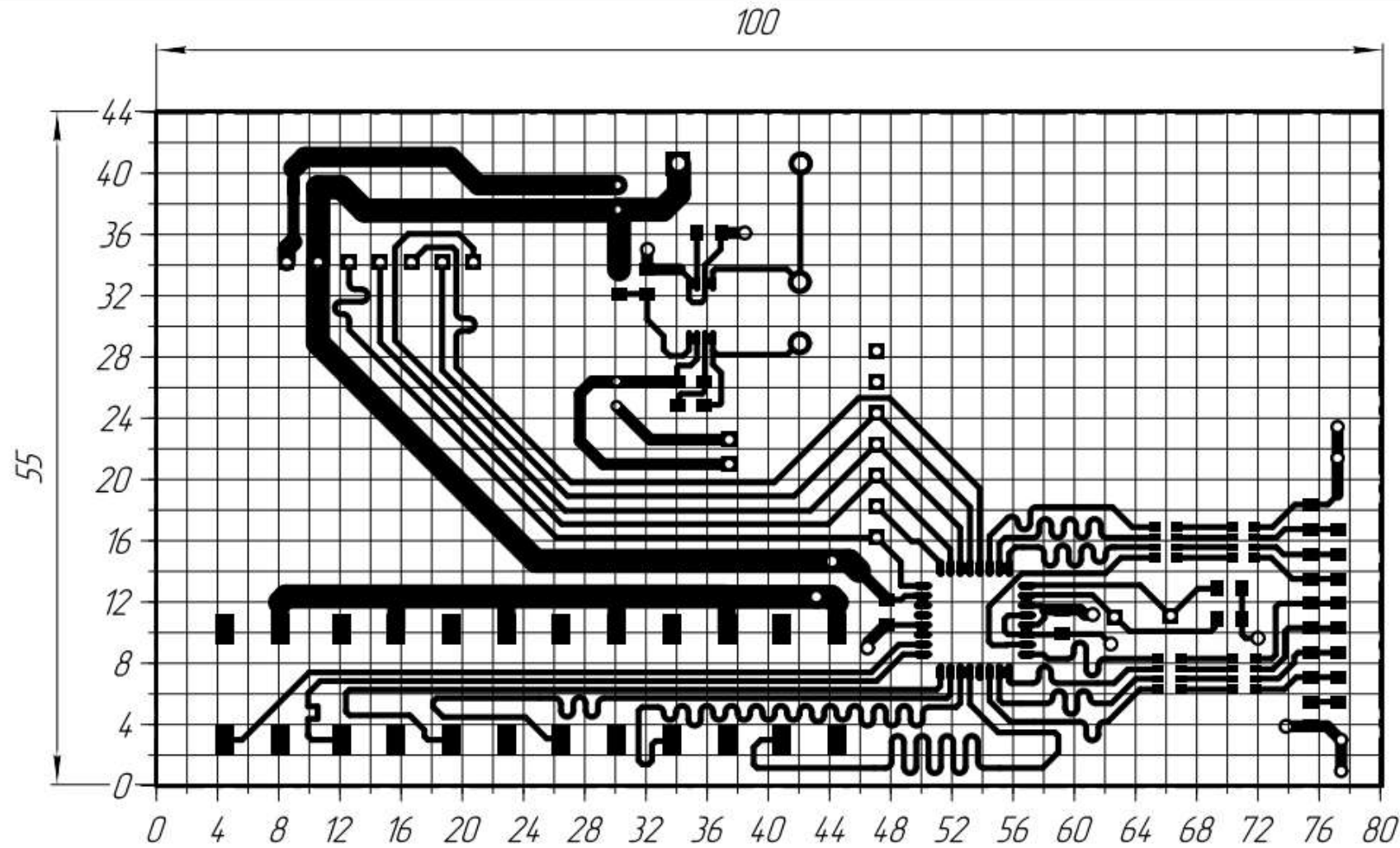
Подл. и дата

Инд. № дубл.

Взам. инд. №

Подл. и дата

Инд. № подл.

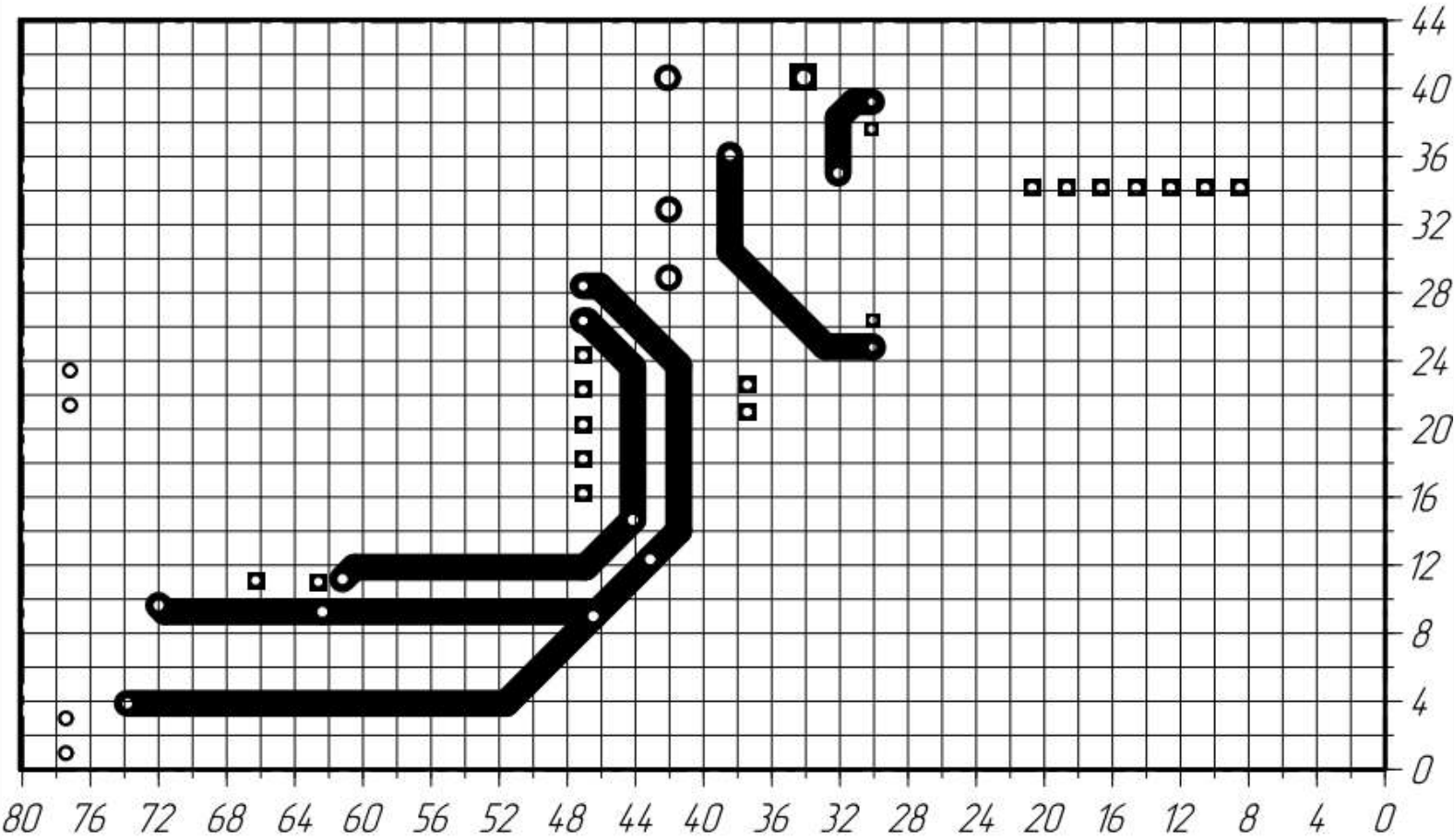


- 1. \*Размер для справок.
- 2. Печатная плата должна соответствовать стандартному классу точности
- 3. Печатная плата должна соответствовать ГОСТ Р 53429-2009 группе жесткости 3 при верхних значениях температуры 85°C.
- 4. Шаг основных рисок сетки 1,25.
- 5. Максимальная ширина проводников питания 2 мм.
- 6. Ширина основных проводников 0,5 мм.

| Обозначение<br>отв. | Диаметр отв.,<br>мм | Наличие<br>металлизации | Кол.<br>отв. |
|---------------------|---------------------|-------------------------|--------------|
| ○ переходное        | 0,7                 | есть                    | 9            |
| ◦                   | 0,5                 | есть                    | 4            |
| ◦                   | 0,6                 | есть                    | 2            |
| ◦                   | 0,6                 | есть                    | 16           |
| ⊙                   | 1,0                 | есть                    | 4            |

|          |      |                 |       |      |   |         |  |  |          |         |
|----------|------|-----------------|-------|------|---|---------|--|--|----------|---------|
|          |      |                 |       |      | ТКГУ.110301.160103.ПП-20                          |         |  |  |          |         |
|          |      |                 |       |      | Функциональный<br>генератор<br><br>Плата печатная | Лит.    |  |  | Масса    | Масштаб |
| Изм.     | Лист | № докум.        | Подп. | Дата |   |         |  |  |          | 2:1     |
| Разраб.  |      | Бакшун Д. И.    |       |      |   |         |  |  |          |         |
| Пров.    |      | Демьяненко А.В. |       |      |   |         |  |  |          |         |
| Т.контр. |      |                 |       |      |   |         |  |  |          |         |
|          |      |                 |       |      |   | Лист 1  |  |  | Листов 2 |         |
|          |      |                 |       |      |   | ИТА ЮФУ |  |  |          |         |
| Утв.     |      | Юханов Ю.В.     |       |      |   |         |  |  |          |         |

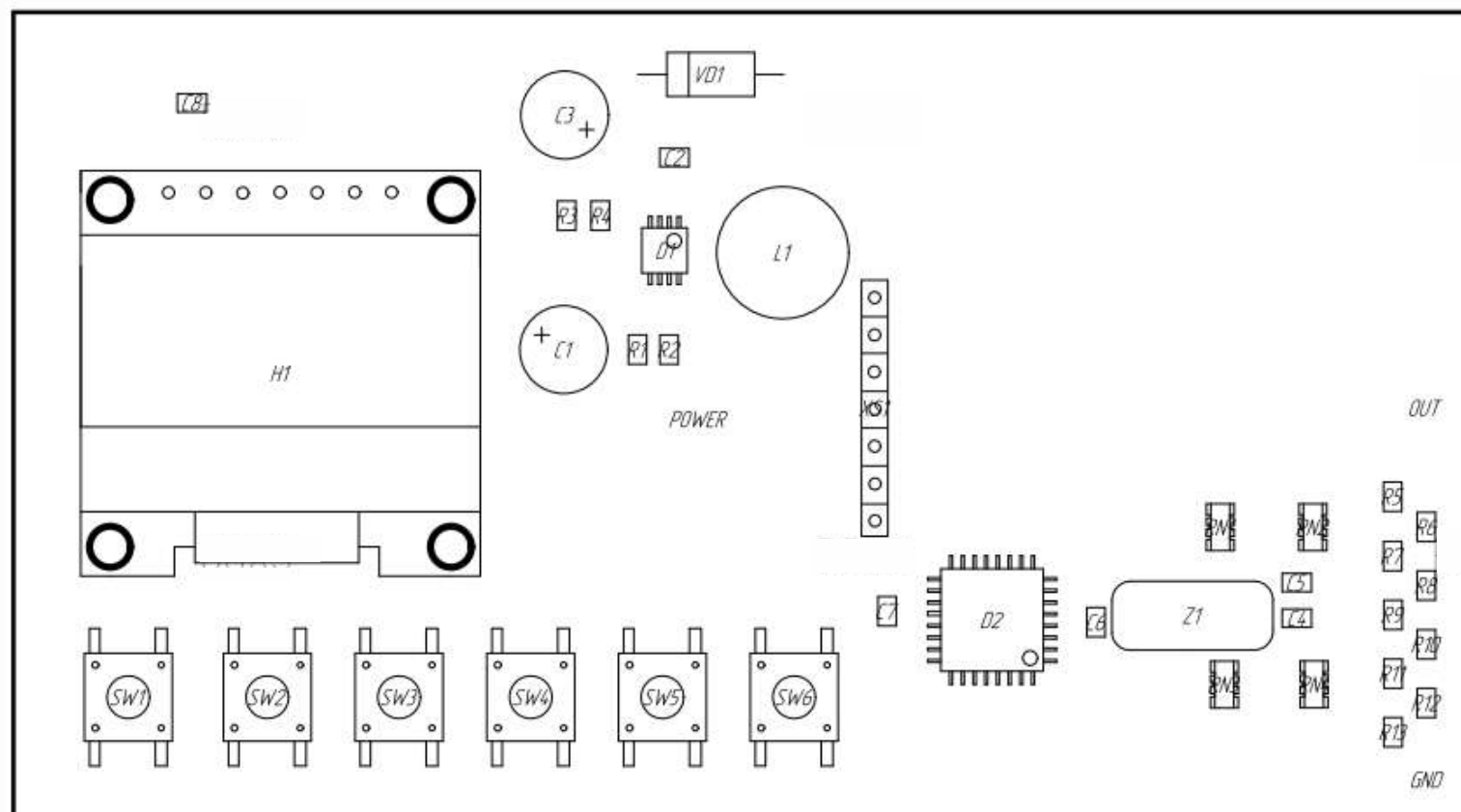




|             |              |              |              |              |
|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Ид. № подл. | Подп. и дата | Взам. инд. № | Инд. № дудл. | Подп. и дата |
|             |              |              |              |              |

| Перв.примен. |  | Поз.<br>обозначение | Наименование                                      | Кол. | Примечание |
|--------------|--|---------------------|---|------|------------|
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     | Конденсаторы                                      |      |            |
|              |  | C1                  | ECAP100uF/50V,105°C<br>ECAP                       | 1    |            |
|              |  | C2                  | GRM2165C1H4 70J<br>MURATA                         | 1    |            |
|              |  | C3                  | ECAP100uF/50V,105°C<br>ECAP                       | 1    |            |
|              |  | C4, C5              | GRM21B5C1H223JA01L<br>MURATA                      | 2    |            |
|              |  | C6-C8               | GRM219F51H104Z<br>MURATA                          | 3    |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     | Микросхемы  |      |            |
|              |  | D1                  | MC34063ABD-TR<br>ST                               | 1    |            |
|              |  | D2                  | ATMEGA328PB-AU<br>MICROCHIP                       | 1    |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  | H1                  | Устройство индикационное SSD1306(128x64)<br>КИТАЙ | 1    |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  | L1                  | Катушка индуктивности 150 мкГн<br>СССР            | 1    |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     | Резисторы<br>Тайвань                              |      |            |
|              |  | R1                  | RC0805FR-071RL                                    | 1    |            |
|              |  | R2                  | RC0805FR-07150RL                                  | 1    |            |
|              |  | R3                  | RC0805FR-073KL                                    | 1    |            |
|              |  | R4                  | RC0805FR-071KL                                    | 1    |            |
|              |  | R5-R13              | RC0805FR-0710KL                                   | 9    |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |
|              |  |                     |   |      |            |

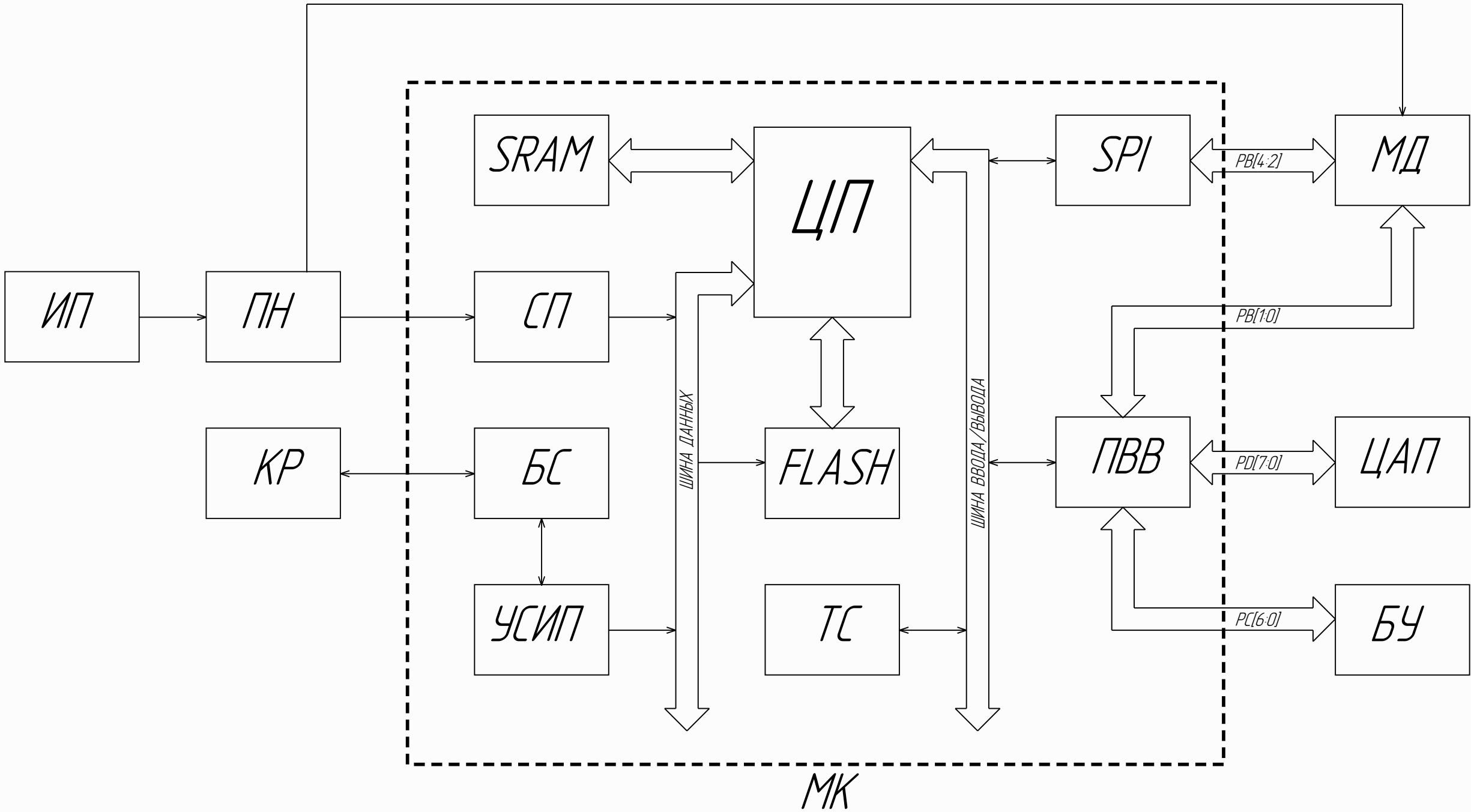
|  |                  |   |       |            |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |
|--|------------------|---|-------|------------|------|------|----------|-------|------|--|--|--|--|--|
| Перв. примен.  | Поз. обозначение | Наименование                                | Кол.  | Примечание |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |
|  |                  |   |       |            |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |
|  | RN1-RN4          | Резисторные сборки CAY10-103J4LF BOURNS     | 4     |            |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |
|  |                  |   |       |            |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |
| Справ. №   | SW1-SW6          | Кнопки тактовые L-KLS7-TS6604-4.3-180-B KLS | 6     |            |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |
|  |                  |   |       |            |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |
|  | VD1              | Диод Шоттки 1N5819 КИТАЙ                    | 1     |            |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |
|  |                  |   |       |            |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |
|  | XS1              | Вилка штыревая PLS-7R КИТАЙ                 | 1     |            |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |
|  |                  |   |       |            |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |
|  | Z1               | Кварцевый резонатор НЧ 49SM GEYER           | 1     |            |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |
|  |                  |   |       |            |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |
|  |                  |   |       |            |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |
|  |                  |   |       |            |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |
| Подп. и дата   |                  |   |       |            |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |
|  |                  |   |       |            |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |
|  |                  |   |       |            |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |
|  |                  |   |       |            |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |
|  |                  |   |       |            |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |
|  |                  |   |       |            |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |
|  |                  |   |       |            |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |
|  |                  |   |       |            |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |
|  |                  |   |       |            |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |
|  |                  |   |       |            |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |
| Инв. № дубл.   |                  |   |       |            |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |
|  |                  |   |       |            |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |
|  |                  |   |       |            |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |
|  |                  |   |       |            |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |
|  |                  |   |       |            |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |
|  |                  |   |       |            |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |
|  |                  |   |       |            |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |
|  |                  |   |       |            |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |
|  |                  |   |       |            |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |
|  |                  |   |       |            |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |
| Взам. инв. №   |                  |   |       |            |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |
|  |                  |   |       |            |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |
|  |                  |   |       |            |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |
|  |                  |   |       |            |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |
|  |                  |   |       |            |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |
|  |                  |   |       |            |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |
|  |                  |   |       |            |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |
|  |                  |   |       |            |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |
|  |                  |   |       |            |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |
|  |                  |   |       |            |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |
| Подп. и дата   |                  |   |       |            |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |
|  |                  |   |       |            |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |
|  |                  |   |       |            |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |
|  |                  |   |       |            |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |
|  |                  |   |       |            |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |
|  |                  |   |       |            |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |
|  |                  |   |       |            |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |
|  |                  |   |       |            |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |
|  |                  |   |       |            |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |
|  |                  |   |       |            |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |
| Инв. № подл.   |                  |   |       |            |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |
|  |                  |   |       |            |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |
|  |                  |   |       |            |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |
|  |                  |   |       |            |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |
|  |                  |   |       |            |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |
|  |                  |   |       |            |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |
|  |                  |   |       |            |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |
|  |                  |   |       |            |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |
|  |                  |   |       |            |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |
|  |                  |   |       |            |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |
| <table border="1"> <tr> <td>Изм.</td> <td>Лист</td> <td>№ докум.</td> <td>Подп.</td> <td>Дата</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table> |                  |   |       |            | Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |  |  |  |  |  |
| Изм.   | Лист             | № докум.                                    | Подп. | Дата       |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |
|  |                  |   |       |            |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |
| <div> <div>ТКГУ.110301.160103.ПЭЗ-20</div> <div>Лист 2</div> </div>  |                  |   |       |            |      |      |          |       |      |  |  |  |  |  |



|          |      |                 |       |      |   |      |   |        |       |         |
|----------|------|-----------------|-------|------|---|------|---|--------|-------|---------|
|          |      |                 |       |      | ТКГУ.110301.160103.СБ-20                        |      |   |        |       |         |
|          |      |                 |       |      | Функциональный<br>генератор<br>Сборочный чертёж | Лист |   |        | Масса | Масштаб |
| Изм.     | Лист | № докум.        | Подп. | Дата |   |      |   |        |       | 21      |
| Разраб.  |      | Бакшун Д.И.     |       |      |   |      |   |        |       |         |
| Пров.    |      | Демьяненко А.В. |       |      |   |      |   |        |       |         |
| Т.контр. |      |                 |       |      |   | Лист | 1 | Листов | 1     |         |
|          |      |                 |       |      | ИТА ЮФУ   |      |   |        |       |         |
|          |      |                 |       |      |   |      |   |        |       |         |
| Утв.     |      | Юханов Ю.В.     |       |      |   |      |   |        |       |         |

|               |  |  |  |
|---------------|--|--|--|
| Перв. примен. |  |  |  |
| Справ. №      |  |  |  |
| Подп. и дата  |  |  |  |
| Инв. № дубл.  |  |  |  |
| Взам. инв. №  |  |  |  |
| Подп. и дата  |  |  |  |
| Инв. № подл.  |  |  |  |

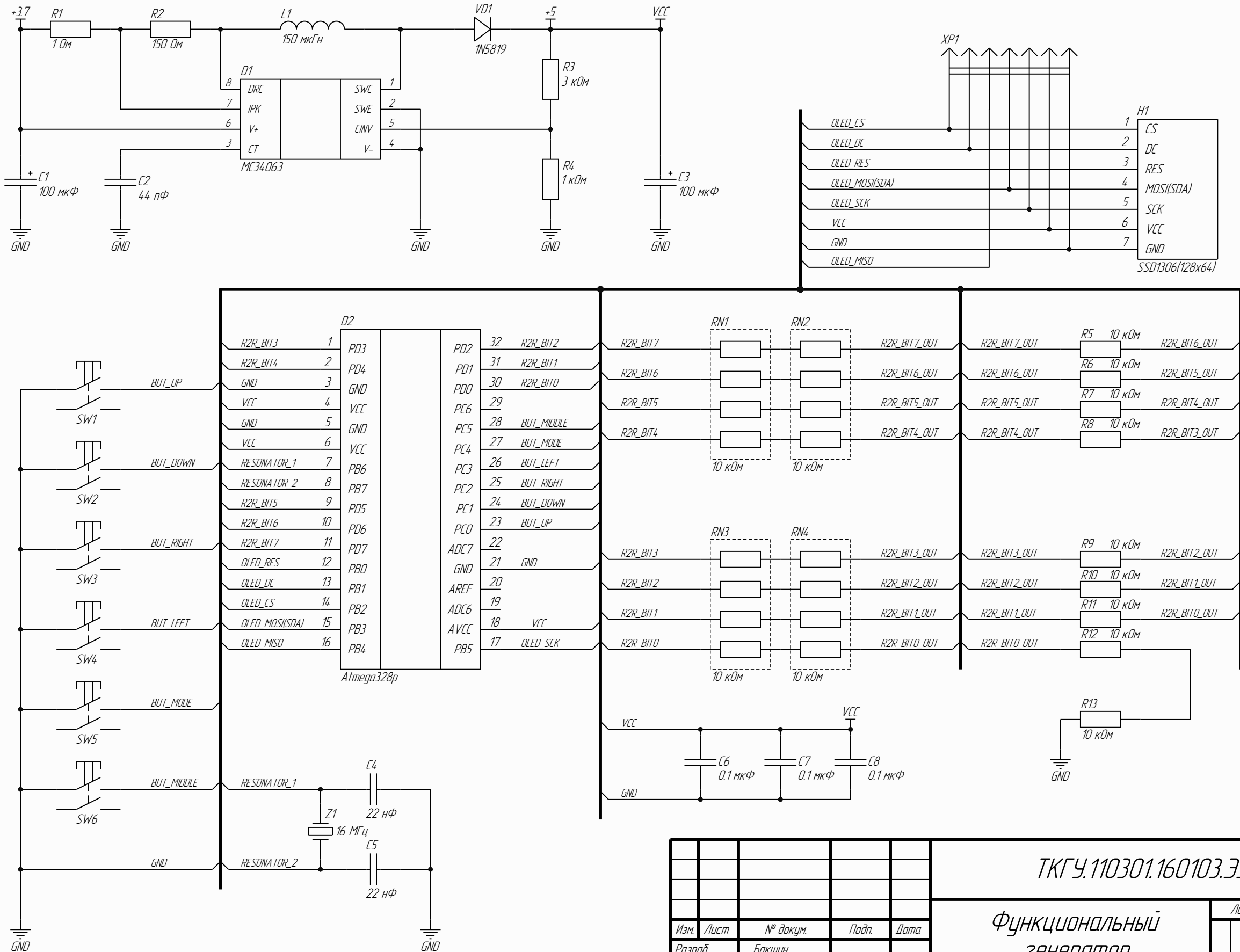
ТКГУ.110301.160103.31-20



|         |            |       |      |  |         |          |         |
|---------|------------|-------|------|--|---------|----------|---------|
|         |            |       |      | ТКГУ.110301.160103.31-20   |         |          |         |
|         |            |       |      | Функциональный<br>генератор<br><br>Схема электрическая структурная | Лит.    | Масса    | Масштаб |
| Изм.    | № докум.   | Подп. | Дата |  |         |          | 1:1     |
| Разраб. | Бакшун     |       |      |  |         |          |         |
| Пров.   | Демьяненко |       |      |  |         |          |         |
|         |            |       |      |  | Лист 1  | Листов 1 |         |
|         |            |       |      |  | ИТА ЮФУ |          |         |
| Утв.    | Юханов     |       |      |  |         |          |         |

|               |  |
|---------------|--|
| Перв. примен. |  |
| Справ. №      |  |
| Подп. и дата  |  |
| Инд. № дудл.  |  |
| Взам. инд. №  |  |
| Подп. и дата  |  |
| Инд. № подл.  |  |

ТКГУ.110301.160103.33-20



|         |      |            |       |      |   |         |  |          |         |
|---------|------|------------|-------|------|---|---------|--|----------|---------|
|         |      |            |       |      | ТКГУ.110301.160103.33-20  |         |  |          |         |
|         |      |            |       |      | Функциональный<br>генератор<br><br>Схема электрическая принципиальная | Лит.    |  | Масса    | Масштаб |
| Изм.    | Лист | № докум.   | Подп. | Дата |   |         |  |          | 1:1     |
| Разраб. |      | Бакшун     |       |      |   |         |  |          |         |
| Пров.   |      | Демьяненко |       |      |   |         |  |          |         |
|         |      |            |       |      |   |         |  |          |         |
|         |      |            |       |      |   | Лист 1  |  | Листов 1 |         |
|         |      |            |       |      |   | ИТА ЮФУ |  |          |         |
| Утв.    |      | Юханов     |       |      |   |         |  |          |         |