

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»
Институт машиностроения
(наименование института полностью)
Кафедра Промышленная электроника
(наименование)

ЗАДАНИЕ

на выполнение бакалаврской работы

Студент Мирзоев Насибул Абдулович, Элб-1601а

1. Тема Двухполярный лабораторный генератор сигналов

2. Срок сдачи студентом законченной бакалаврской работы _____

3. Исходные данные к бакалаврской работе _____

Первичный источник питания: сеть 220 В 50Гц

Основа системы управления: микроконтроллер

Полярность выходных импульсов: двухполярные

Амплитуда выходных импульсов: 15 В

4. Содержание бакалаврской работы (перечень подлежащих разработке вопросов, разделов)

Аннотация

Введение

1. Состояние вопроса

1.1 Формулирование цели и задач проекта

1.2. Обзор аналогов

1.3. Обзор схем генераторов

2. Разработка и расчет принципиальной электрической схемы

2.1. Выбор метода генерации импульсов

2.2. Описание схемы электрической принципиальной

2.3. Выбор элементов схемы

3. Разработка конструкции

3.1. Разводка печатной платы

3.2. Расчет печатной платы

4. Разработка программной части

Заключение

Список используемой литературы

5. Ориентировочный перечень графического и иллюстративного материала

1. Обзор существующих решений

2. Схема электрическая принципиальная

3. Временные диаграммы работы

4. Блок-схема алгоритма работы программы

5. Печатная плата

6. Сборочный чертеж печатного узла

6. Консультант по разделам _____

7. Дата выдачи задания «25» декабря 2019 г.

Руководитель бакалаврской работы

_____ (подпись)

А.В. Прядилов

_____ (И.О. Фамилия)

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

Институт машиностроения
(наименование института полностью)

Кафедра Промышленная электроника
(наименование)

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН
выполнения бакалаврской работы

Студент Н.А. Мирзоев

по теме Двухполярный лабораторный генератор сигналов

Наименование работ	Плановый срок выполнения	Фактический срок выполнения	Отметка о выполнении	Подпись руководителя / консультанта
Анализ актуальности проекта, написание введения и обзорной главы. Разработка структурной схемы разрабатываемого устройства	10.02.2020	1.04.2020		
Разработка электрической принципиальной схемы . Написание остальных разделов работы.	25.04.2020	25.04.2020		
Оформление пояснительной записки и плакатов	30.05.2020	7.06.2020		

Руководитель бакалаврской работы

(подпись)

А.В. Прядилов
(И.О. Фамилия)

Аннотация

Объем 54 с., 41 рис., 15 табл., 22 источника

ЛАБОРАТОРНЫЙ ГЕНЕРАТОР, ГЕНЕРАТОР ИМПУЛЬСОВ,.

Объектом исследования является двухполярный лабораторный генератор импульсов.

Цель работы: разработка двухполярного лабораторного генератора импульсов

Задачи работы:

1. Обзор состояния вопроса
2. Разработка и расчет электрической схемы
3. Выбор элементов
4. Разработка конструкции (разводка печатной платы)

Степень внедрения: разработана и рассчитана электрическая принципиальная схема, выбраны элементы, разведена печатная плата.

Областью применения данной работы являются испытательные лаборатории и учебные заведения, изучающие работу электронных схем.

В данной работе происходит разработка двухполярного лабораторного генератора импульсов.

Abstract

The title of the graduation work is «Bipolar laboratory signal generator».

The senior paper consists of an introduction, 4 parts, a conclusion, 41 picture, 15 tables, list of references including 5 foreign sources and the graphic part on 6 A1 sheets.

The object of research is Bipolar laboratory signal generator.

The aim of the graduation work is development of a bipolar laboratory pulse generator.

The tasks of the work are

1. A review of the status of the issue
2. Development and calculation of electric circuits
3. Select items
4. Design (PCB layout)

Degree of implementation: the electrical circuit diagram was developed and calculated, elements were selected, and the printed circuit Board was separated.

The scope of this work is testing laboratories and educational institutions that study the operation of electronic circuits.

The relevance of the development of a pulse generator is the possibility of using a simple and cheap pulse generator of different shapes at the Department of Industrial electronics, which at the same time has good parameters.

This work is of interest to readers involved in electronics.

Содержание

Введение.....	4
1. Состояние вопроса	5
1.1 формулирование цели и задач проекта.....	5
1.2. Обзор аналогов изделия	5
1.3 обзор схем генераторов	7
1.3.1 Ic генератор импульсов.....	8
1.3.2 кварцевый генератор.....	9
1.3.3 гс генератор импульсов	10
1.3.4 кварцевый генератор с микросхемой генерации	12
1.3.5 программируемая микросхема генерации.....	12
2. Разработка и расчёт принципиальной электрической схемы.....	13
2.1 выбор метода генерации импульсов	13
2.2 описание схемы электрической принципиальной	14
2.2.1 схема принципиальная	14
2.2.2 микроконтроллер	16
2.2.3 цап.....	18
2.2.4 стабилизатор напряжения	20
2.2.5 устройство индикации и кнопки управления.....	21
2.2.6 выходной каскад.....	24
2.2.7 блок питания.....	24
2.3 расчет электрической принципиальной схемы генератора	30
2.3.1 электрический расчет схемы блока питания.....	30
2.3.2 электрический расчёт выходного каскада.....	31
2.4 выбор элементов схемы.....	32
2.4.1. Выбор переменного резистора	32
2.4.2. Выбор конденсаторов	32
2.4.3 выбор трансформатора	33
2.4.4 выбор активных элементов	34
2.4.5 выбираем кнопки и разъемы.....	37

3. Разработка конструкции генератора импульсов.....	38
3.1 разводка печатной платы.....	38
3.2 расчет печатной платы.....	38
3.2.1 расчет площади печатной платы	38
3.2.2 расчет ширины печатных проводников.....	44
4. Разработка программной части устройства.....	45
Заключение	46
Список используемой литературы	47

Введение

Многие электронные схемы предназначены для преобразования (например, усиления или иной обработки) электрических сигналов. Для разработки или изучения подобных схем на их входа необходимо подавать сигналы. Форма, амплитуда, частота и полярность подаваемых сигналов зависит от конкретной изучаемой схемы. Для этого используются генераторы импульсов заданной формы. Такие генераторы производятся промышленностью и могут иметь значительную стоимость.

Темой данного проекта является разработка лабораторного генератора импульсов. Причина построения генератора импульсов — это возможность использования на кафедре Промышленной электроники простого и дешёвого генератора импульсов разной формы, обладающего в то же время неплохими параметрами.

Разработанный генератор построен на основе микроконтроллера и питается от сетевого напряжения. На своем выходе он может генерировать:

а) синусоидальное выходное напряжение, в виде эквивалентного ступенчатого сигнала.

б) двухполярный или однополярный меандры с возможностью задания частоты, амплитуды и скважности.

Для использования генератора с целью проведения лабораторных работ от него не требуется большая точность и прецизионная стабильность характеристик. Это дает возможность использования недорогих элементов, что значительно уменьшит стоимость изделия.

1 Состояние вопроса

1.1 Формулирование цели и задач проекта

Исходя из темы работы была сформулирована цель работы:
«Разработка двухполярного лабораторного генератора импульсов»

и задачи работы:

1. Обзор состояния вопроса
2. Разработка и расчет электрической схемы
3. Выбор элементов
4. Разработка конструкции (разводка печатной платы)

1.2 Обзор аналогов изделия

Одним из аналогов генератора являются Good Will SFG-71013 (рисунок 1.1) и Matrix MFG-8216A (рисунок 1.2). Они также предназначены для настольного использования, имеют собственный корпус и адаптер питания.



Рисунок 1.1- Внешний вид генератора импульсов Good Will SFG-71013



Рисунок 1.2- Внешний вид генератора импульсов Matrix MFG-8216A

Их технические характеристики сведены в таблицу 1.1.

Таблица 1.1 – Характеристики генераторов [15].

«Характеристики	Параметры	SFG-71003	MFG-8216A
Основные выходные параметры	Частотный диапазон (для синуса и меандра)	0.1 Гц...3 МГц	0.3 Гц...3 МГц
	Разрешение по частоте	0.1 Гц	±5%+1 Гц
	Число каналов	1	1
	Амплитуда	>10 В пик (на 50 Ом)	Двойная ≥10 В, (при нагрузке 50 Ом)
	Погрешн. установки напряжения	±20% при макс. амплитуде	±20% при макс. амплитуде
	Кэф. гармоник (при уровне сигн. от 0.1 MAX до MAX)	> -55 дБн, 0.1 Гц ...200 кГц > -40 дБн, 0.2 МГц ...2 МГц > -35 дБн, 2 МГц ...3 МГц	≤1%, 0.3 Гц...200 кГц суммарный коэффициент гармоник ≤35 дБ

Характеристики	Параметры	SFG-71003	MFG-8216A
	Неравномерность АЧХ	± 0.3 дБ, 0.1 Гц ... 1 МГц ± 0.5 дБ, 1 МГц ... 2 МГц ± 1 дБ, 2 МГц ... 3 МГц	< 0.3 дБ, 0.3 Гц...300 кГц < 0.5 дБ, 300 кГц...3 МГц
Синусоидальный сигнал	Асимметрия импульсов	\pm (5% от периода + 4 нс), 0.1 Гц...100 кГц	$\leq 1\%$, 0.3 Гц...200 кГц суммарный коэффициент гармоник ≤ 35 дБ относительно основной гармоники для всего диапазона (при уровне сигнала от 1/10 до МАКСИМУМА).
	Время нарастания/спада	< 100 нс (макс. уровень 50 Ом)	≤ 100 нс при максимальной амплитуде (нагрузка 50 Ом)
Прямоугольный сигнал	Симметрия	$\pm 2\%$, 0.3 Гц...100 кГц	$\pm 2\%$, 0.3 Гц...100 кГц» [15]

Данные генераторы имеют хорошие параметры и высокую цену (порядка 10 тыс. рублей). Поэтому, возникает необходимость в дешевом и надежном лабораторном генераторе, который имеет достаточную функциональность для проведения лабораторных работ. В ВКР будет проведена разработка такого устройства.

1.3 Обзор схем генераторов

Конструктивное оформление генератора импульсов и их принципиальные схемы различны и зависят от вида сигналов

(синусоидальные, импульсные, специальные формы) и диапазона генерируемых частот.

Рассмотрим несколько основных типов построения структурных схем генераторов импульсов:

1. LC-генератор;
2. Кварцевый;
3. RC-генератор;
4. Кварц с микросхемой генерации;
5. Программируемая микросхема генерации.

1.3.1 LC генератор импульсов

Различают последовательный (рисунок 1.3) и параллельный (рисунок 1.4) колебательные контуры.

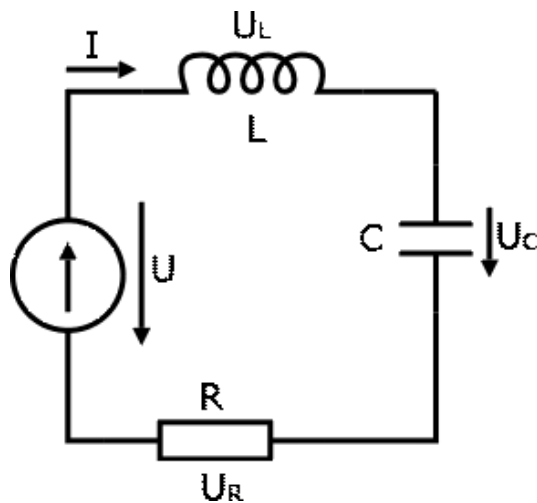


Рисунок 1.3- Последовательный колебательный контур

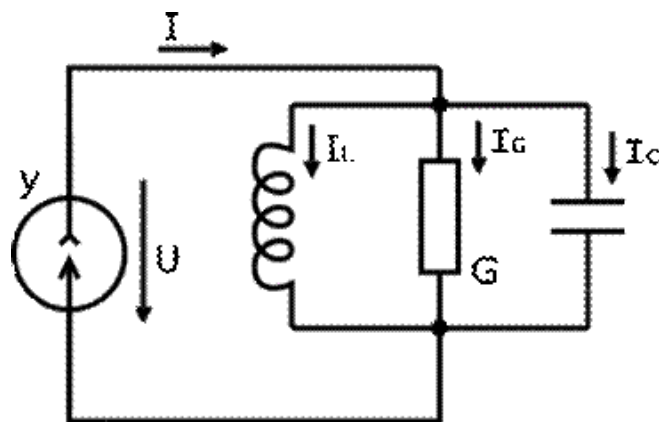


Рисунок 1.4- Параллельный колебательный контур

Наиболее известными LC генераторами являются генератор Хартли (рисунок 1.5) и генератор Колпитца (рисунок 1.6).

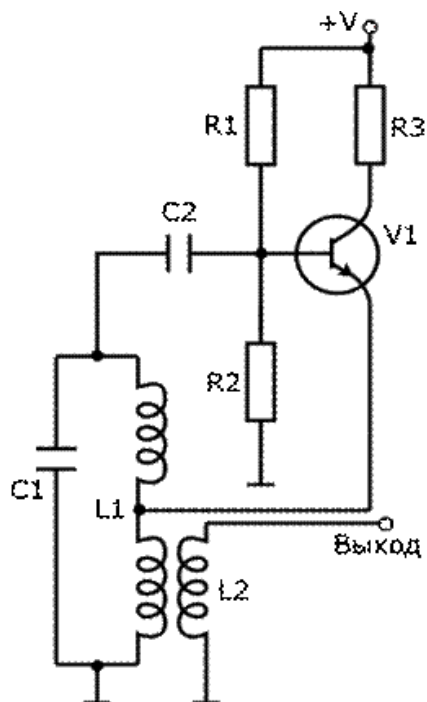


Рисунок 1.5- Генератор Хартли

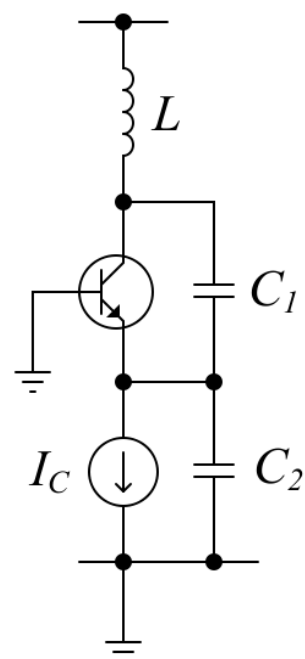


Рисунок 1.6- Генератор Колпитца

1.3.2 Кварцевый генератор

Когда требуется высокая стабильность, используются кварцевые генераторы. Одним из самых распространённых генераторов импульсов, выполненных на кварцевом резонаторе, является генератор Пирса (рисунок 1.7). Эта схема очень популярна, так как в ней не используется индуктивности. Собственная частота колебаний кварца практически не зависит от температуры.

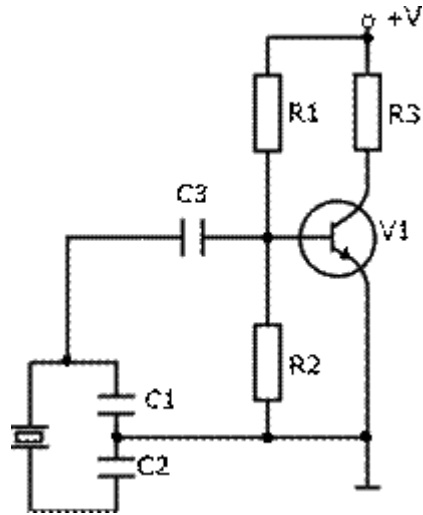


Рисунок 1.7- Генератор импульсов Пирса

1.3.3 RC генератор импульсов

На частотах до 10 МГц обычно предпочтительней применять RC генераторы, т.к. резисторы и конденсаторы более удобны в применении, чем катушки индуктивности и более дешевы.

Имеются 2 типа RC-генераторов: с фазосдвигающей цепочкой (рисунок 1.9) и мостикового типа (мост Вина).

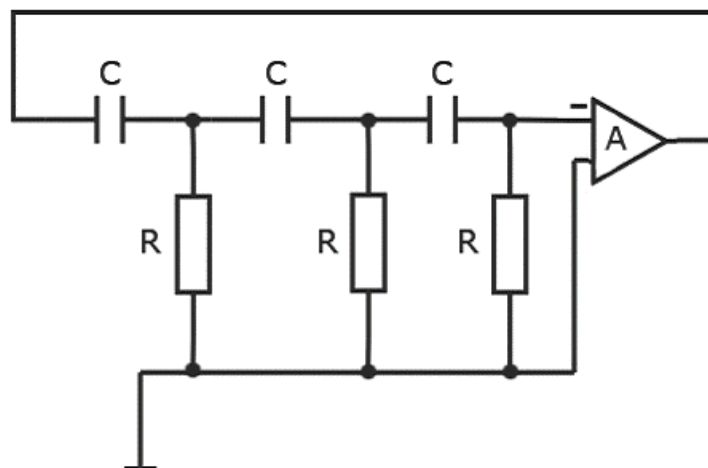


Рисунок 1.8 - RC-генератор с фазосдвигающей цепочкой

Частота колебаний такого генератора:

$$f = \frac{1}{2\pi RC\sqrt{6}} \quad (1.1)$$

Генераторы мостикового типа (мост Вина) широко применяются в качестве перестраиваемых генераторов в диапазоне частот от 1 до 10^7 Гц. Генератор этого типа изображен на рисунке 1.10.

Реактивная часть мостика образует цепочку, которая на частоте колебаний имеет фазовый сдвиг равный 0. Поэтому схему генератора строят в сочетании с неинвертирующим усилителем.

Если усилитель имеет фазовый сдвиг 0, бесконечно большое входное сопротивление и выходное сопротивление равно 0, то коэффициент усиления должен быть равен 3, а частота колебаний

$$\omega_0 = \frac{1}{RC} ; \quad (1.2)$$

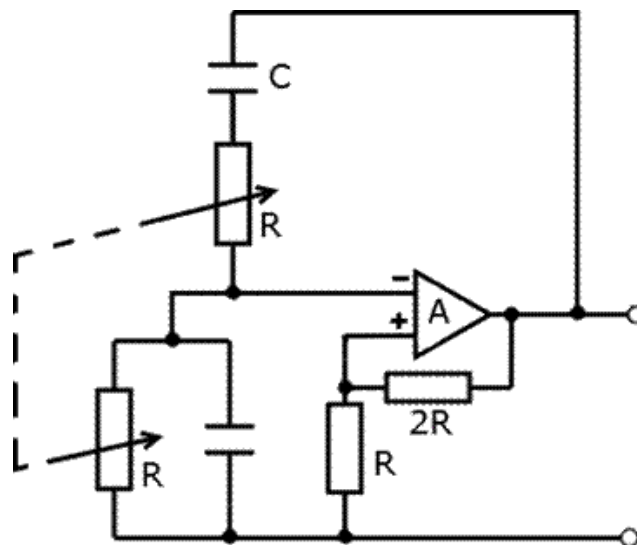


Рисунок 1.9 – Схема перестраиваемого генератора мостикового типа с последовательно-параллельной обратной связью

Так как частота колебаний генераторов LC-типа обратно пропорциональна \sqrt{LC} , то мостиковый генератор обеспечивает более широкий диапазон частот. По этой причине в лабораторных измерительных

приборах применяют генераторы мостикового типа. Путем применения вдвоенных переменных резисторов в этих генераторах легко перекрывается диапазон частот 10:1.

1.3.4 Кварцевый генератор с микросхемой генерации

Микросхема генерации при подаче на её входную ногу сигнала с кварцевого резонатора будет выдавать на выходе частоту, делённую или умноженную на входную. Данное решение используется в часах, но в нашем случае нецелесообразна, так как управление частотой на таком генераторе труднореализуемо.

1.3.5 Программируемая микросхема генерации

От современных генераторов частоты необходимо большой диапазон частот, что может быть реализовано с помощью специализированной микросхемы.

Данное решение на программируемой микросхеме является более современным и практичным. Соответственно разрабатываемый в данной ВКР генератор импульсов тоже построим по этому принципу. Однако, дешёвые узлы функциональной схемы позволят получить более востребованное и конкурентно-способное изделие с параметрами эксплуатации не хуже и меньшей ценой, чем его зарубежные аналоги.

Выводы по разделу 1

В данном разделе были сформулированы цели и задачи работы, произведен обзор промышленно выпускаемых лабораторных генераторов сигналов. Далее проведен обзор возможных схемотехнических решений генерации сигналов.

2 Разработка и расчёт принципиальной электрической схемы

2.1 Выбор метода генерации импульсов

До широкого появления микроконтроллеров применялись метод генерации с делителем частоты (рисунок 2.1) и генератор с накоплением фазы (рисунок 2.2).

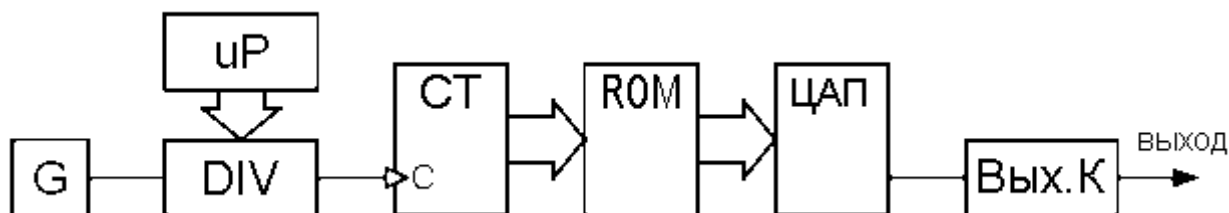


Рисунок 2.1 - Генератор с делителем частоты

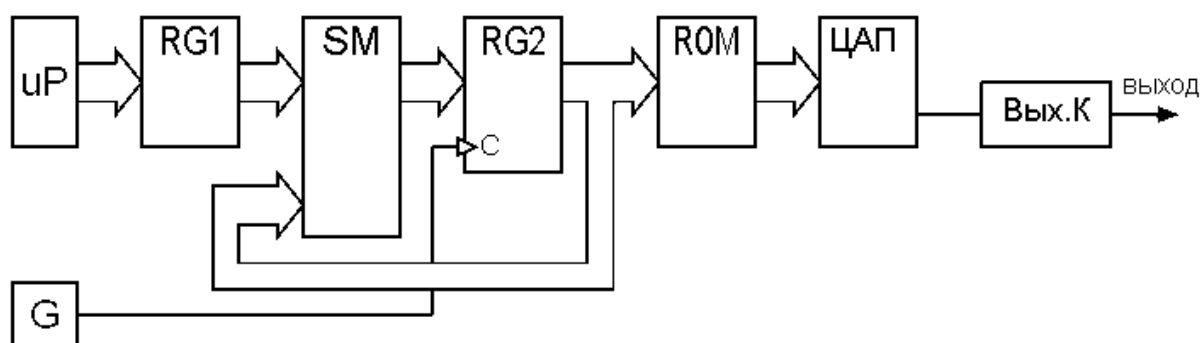


Рисунок 2.2 – Генератор с накоплением фазы

Однако в настоящее время более рациональным будет использовать генератор импульсов на основе микроконтроллера, структурная схема которого представлена на рисунке 2.3.

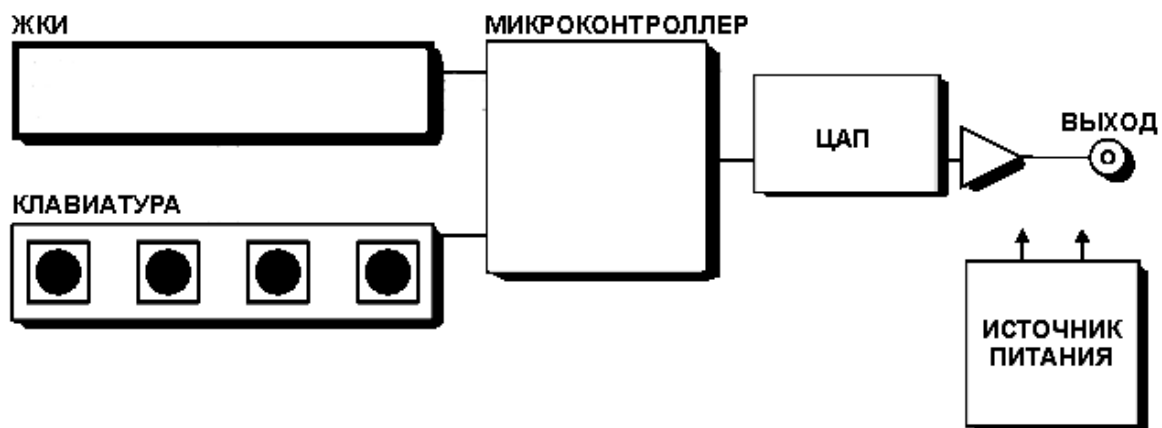


Рисунок 2.3 Структурная схема генератора импульсов с использованием микроконтроллера.

Разрабатываемый генератор предназначен для обеспечения непрерывного выходного напряжения $\pm 15\text{В}$. Конкретней, система предназначена для питания устройств и стендов для проведения лабораторных работ, которые имеются на кафедре Промышленной электроники. Лабораторные стенды и устройства в основном слаботочные.

Основные блоки которые входят в состав устройства:

1. Микроконтроллер;
2. ЦАП;
3. Выходной каскад;
4. Блок питания;
5. Стабилизатор постоянного напряжения;
6. Устройство индикации и кнопки управления.

2.2 Описание схемы электрической принципиальной

2.2.1 Схема принципиальная

Схема электрическая принципиальная представлена на рисунке 2.4.

Соответственно принципиальной схеме, генератор импульсов состоит из нескольких функциональных узлов.

2.2.2 Микроконтроллер

Центральным узлом генератора выберем микроконтроллер AVR AT90S2313 фирмы «Atmel» (рисунок 2.5).

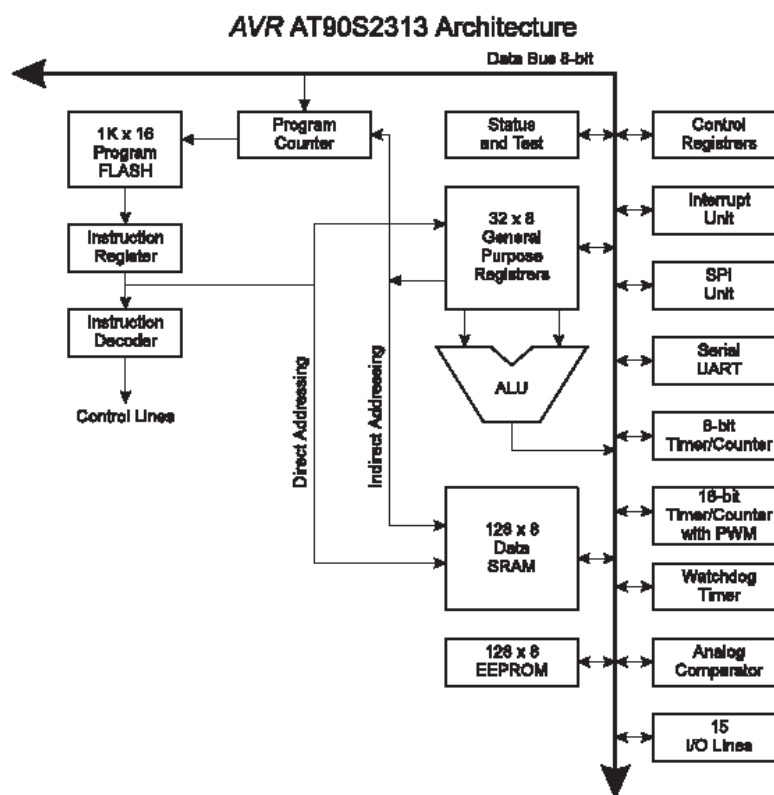


Рисунок 2.5 - Блок-схема микроконтроллера AT90S2313

Схема выводов микроконтроллера AT90S2313 изображена на рисунке 2.6. Основные назначения выводов приведены в таблице 2.1, кроме основных назначений выводов у выводов есть альтернативные функции, они приведены в таблице 2.2

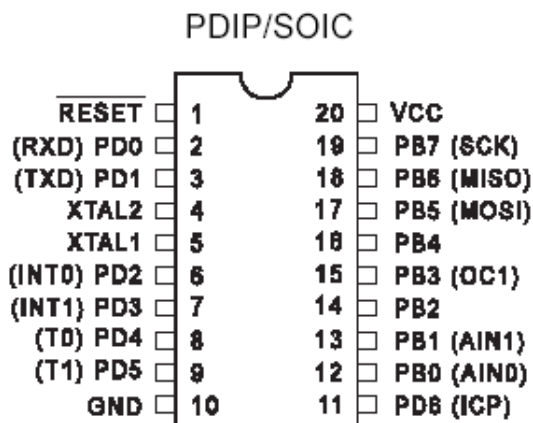


Рисунок 2.6 - Схема выводов микроконтроллера AT90S2313

Таблица 2.1 - Назначения выводов микроконтроллера AT90S2313

Название ножки микросхемы	Описание
XTAL1, XTAL2	к этим ножкам подключается внешний резонатор (кварц) для стабилизации внутренних импульсов.
RESET	кратковременная подача 0 на этот вход сбрасывает микроконтроллер в исходное состояние
2,3,6,7,8,9,11	7 вводов/выводов порта D, сюда подключаются датчики и исполнительные реле в зависимости от того, как запрограммирован каждый разряд этого порта на вход или на выход.
4,5	ножки (на кристалл 1 могут подаваться внешние тактовые импульсы, но обычно между этими ножками включают кварцевый резонатор который задает частоту для внутреннего генератора импульсов).
12-17,19	входы/выходы порта B, каждый из которых можно запрограммировать как вход или как выход.
20	“+” питания.
10	логическая земля (“-”) источник питания.

Таблица 2.2 - Альтернативные назначения выводов

Название ножки микросхемы	Описание
RXD	это вход приёмника (UART).
TXD	выход передатчика в последовательном коде из функционального блока приемо-передатчика (UART) данной микросхемы
Ножка 6 (INT0)	подаётся сигнал на прерывание канала, который идёт из внешнего источника.
Ножка 7 (INT1)	сюда может подаваться второй сигнал на прерывание.
Ножка 8 (T0)	подаются импульсы от внешнего источника, который может считать таймер T0.
Ножка 9 (T1)	сюда могут подаваться импульсы от внешнего источника, который может считать таймер T1.
Ножка 11 (ICP)	это вход. На который подаётся код захвата таймера T1 (режим захвата).
Ножка 12 (AIN0)	положительный вход внутреннего компаратора двух аналоговых сигналов.
Ножка 13 (AIN1)	отрицательный вход этого компаратора.
Ножка 15	Ножка 15 – выход таймера T1.
Ножка 17	вход данных для внутреннего модуля SPI в режиме последовательного программирования.
Ножка 18	выход данных при последовательном программировании через модуль SPI.
Ножка 19 (SCK)	вход тактового сигнала при последовательном программировании контроллера через модуль SPI.

2.2.3 ЦАП

К выходам микроконтроллера подключен ЦАП (цифро-аналоговый преобразователь). На входы ЦАП подаются мгновенные значения функции \sin и меандра с постоянной частотой дискретизации. На выходах получаются соответствующие им аналоговые значения

Микросхему ЦАП выберем 572ПА1, так как она проста, доступна и надежна. Структурная схема микросхемы ЦАП 572ПА1 изображена на рисунке 2.7.

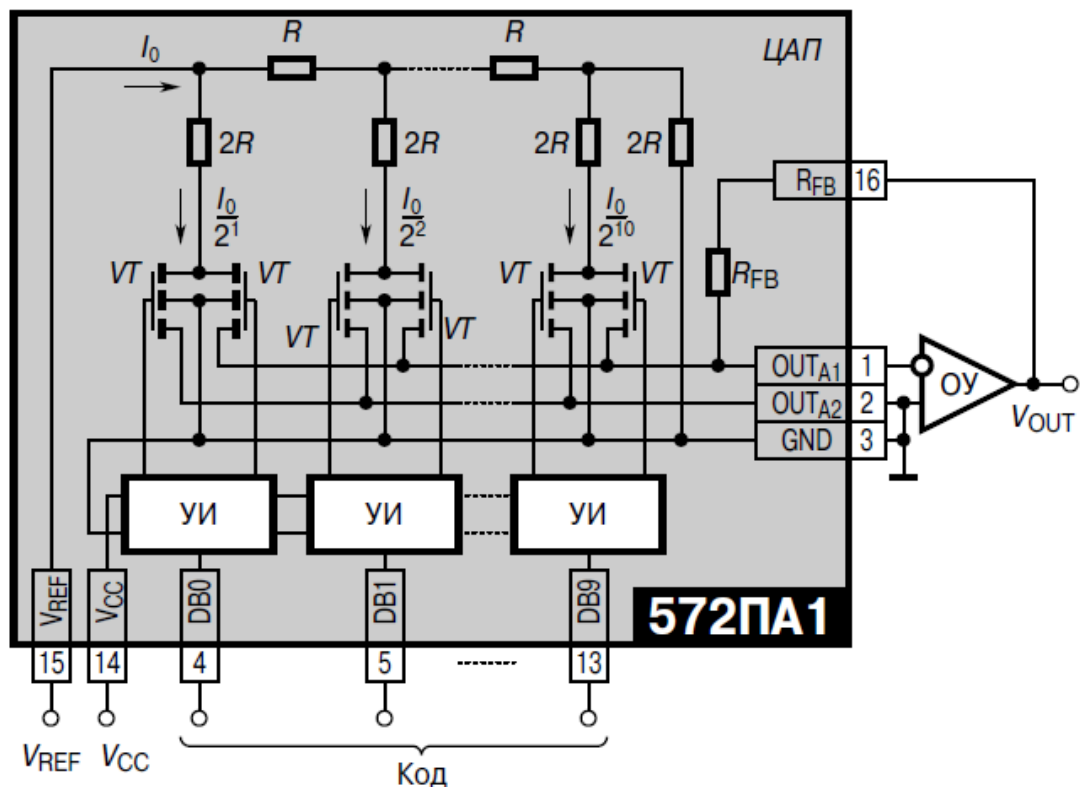


Рисунок 2.7 - Структурная схема ЦАП 572ПА1

Так как отсчёты с контроллера на ЦАП поступают 8-ми разрядные, то ЦАП работает в 8-ми разрядном режиме, свободные входы ЦАП заземляются.

Поскольку ЦАП работает в однополярном режиме, необходимо использовать схему сдвига уровня. Она реализована на ОУ DA5, DA6 и резисторах R1 и R2. Основная схема включения ИС ЦАП 572ПА1 позволяет реализовать четырех квадрантное умножение и обеспечивает функцию униполярного преобразования двоичного кода в напряжение на выходе.

Основные параметры микросхемы приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 - Основные параметры микросхемы 572ПА1

Параметр		Значение		Единица измерения
		min	max	
Разрешение		10	—	разряд
Ток потребления		—	2	мА
Входной ток смещения нуля		—	100	нА
Дифференциальная нелинейность	А	—	± 0.1	% ПШ
	Б	—	± 0.2	
	В	—	± 0.4	
	Г	—	± 0.8	
Абсолютная погрешность преобразования в конечной точке шкалы	К572ПА1, КР572ПА1	—	± 3	% ПШ
	572ПА1, Н572ПА1, Р572ПА1	-3	0.5	% ПШ
Нелинейность	А	—	± 0.1	% ПШ
	Б	—	± 0.2	
	В	—	± 0.4	
	Г	—	± 0.8	
Время установления выходного тока		—	5	мкс

2.2.4 Стабилизатор напряжения

Несмотря на применение стабилизированного блока питания, питание микросхем необходимо реализовать через стабилизаторы напряжения.

В качестве опорного источника напряжения для ЦАП применена микросхема нерегулируемого стабилизатора напряжения DA4 типа L7915CV. Для питания микроконтроллера DD1 и индикатора DD3 применена микросхема нерегулируемого стабилизатора напряжения DA3 78M05.

2.2.5 Устройство индикации и кнопки управления

Для индикации будем использовать 10-разрядный ЖКИ модуль на основе контроллера HT1613 (рисунок 2.8).

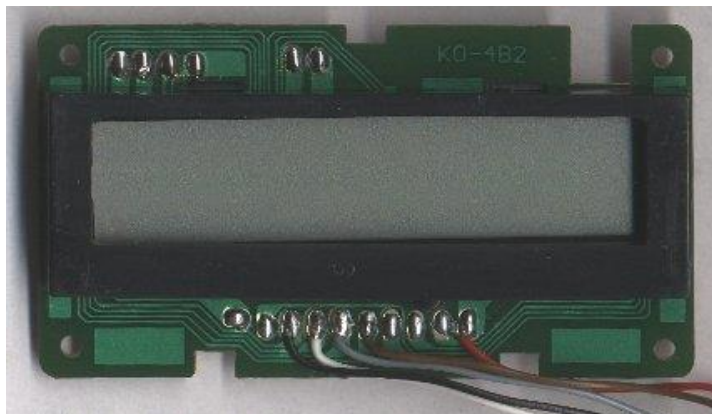


Рисунок 2.8 - 10-разрядный ЖКИ модуль.

Передача данных на модуль осуществляется в соответствии с диаграммой (рисунок 2.9).

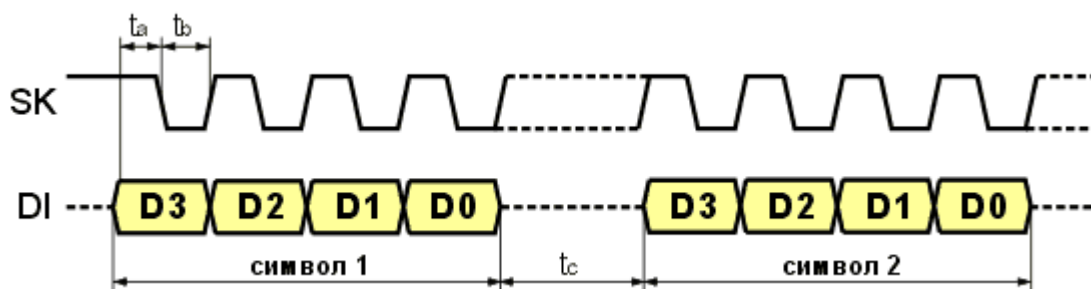


Рисунок 2.9 - Временная диаграмма передачи данных

Каждый символ кодируется 4-мя битами, (таблица символов изображена на рисунке 2.10).

D3	D2	D1	D0	
0	0	0	0	0
0	0	0	1	1
0	0	1	0	2
0	0	1	1	3
0	1	0	0	4
0	1	0	1	5
0	1	1	0	6
0	1	1	1	7
D3	D2	D1	D0	
1	0	0	0	8
1	0	0	1	9
1	0	1	0	A
1	0	1	1	B
1	1	0	0	C
1	1	0	1	D
1	1	1	0	E
1	1	1	1	F

Рисунок 2.10 - Таблица символов знакогенератора

Питание производится в соответствии со схемой (рисунок 2.11).

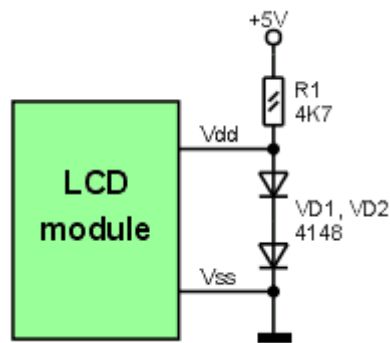


Рисунок 2.11 - Схема питания индикатора

Для согласования логических уровней можно обойтись просто диодами (рисунок 2.12 а). Однако предпочтительнее использовать резисторные делители (рисунок 2.12 б).

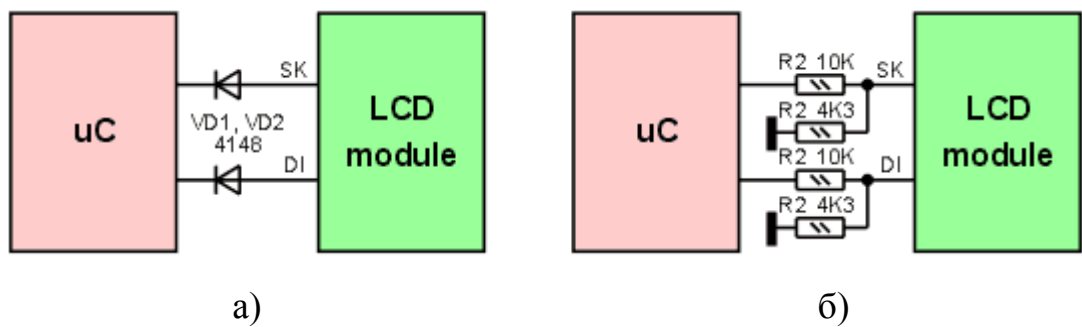


Рисунок 2.12 - Согласование логических уровней

Описанный модуль удовлетворяет нашим требованиям, поэтому качестве индикатора возьмём его. Его питание осуществляется от параметрического стабилизатора, выполненного на резисторе R7 и диодах VD1 и VD2. Согласование логических уровней выполнено с помощью делителей R3-R6.

Управление генератором реализуется с помощью меню, отображаемом на дисплее. Задаются два основных параметра: длительность импульса d и период P (рисунок 2.13). Их увеличение / уменьшение осуществляется кнопками «UP» или «DOWN».

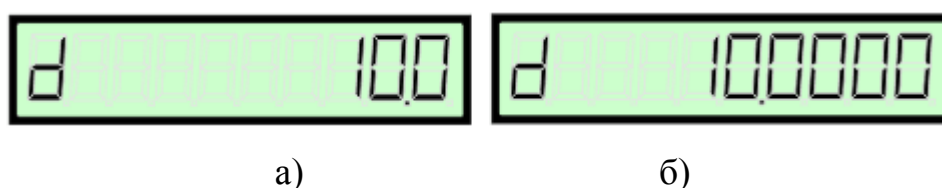


Рисунок 2.13 - Индикация длительности импульса: а)10 мкс б)10 мс

Шаг изменения значения может программироваться (рисунок 2.14).



Рисунок 2.14 – Задание шага.

Генератор может работать в одном из трех режимов:

- режим генерации синуса
- режим генерации меандра
- режим генерации меандра произвольной скважности

Переключение меню в режиме меандра изображена на рисунке 2.15.

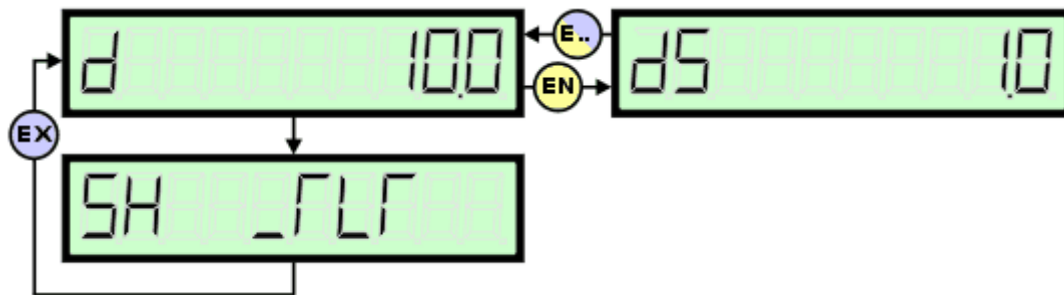


Рисунок 2.15 - Переключение меню при генерации меандра

2.2.6 Выходной каскад

Выходной каскад предназначен для усиления выходного сигнала по току. Он реализован на ОУ DD9 с двухтактным эмиттерным повторителем на транзисторах VT1 - VT4.

2.2.7 Блок питания

Питание генератора осуществляется от малоомощного источника питания с двухполярным стабилизированным выходным напряжением $\pm 18\text{В}$ и током нагрузки до 500 мА. Это необходимо, потому что выходной каскад генератора импульсов усиливает переменный ток (рисунок 2.16).

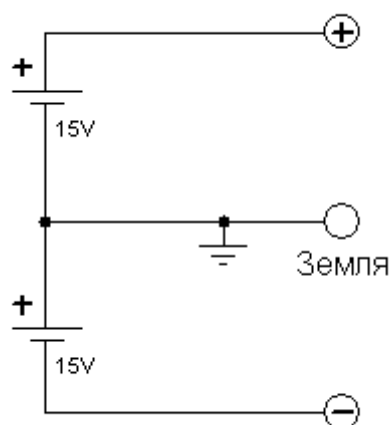


Рисунок 2.16- Двуполярный источник питания.

Блок питания строится с использованием трансформатора с двумя вторичными обмотками, выпрямительного моста с конденсаторами фильтра и интегральных стабилизаторов 7818 и 7918, структурная схема генератора изображена на рисунке 2.17.

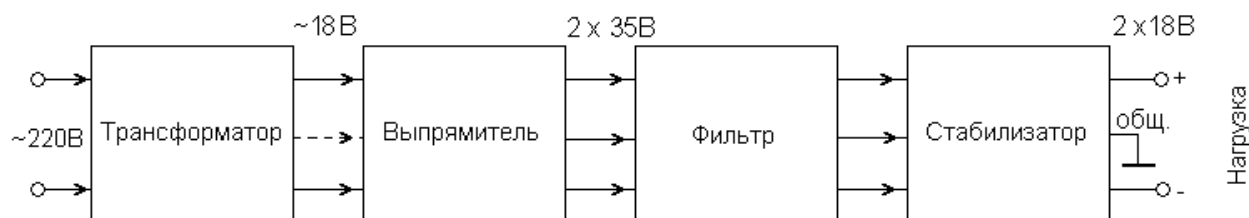


Рисунок 2.17 Структурная схема блока питания

Трансформатор

Трансформатор преобразует напряжение переменного тока 220В в низковольтное – 18В. Необходим трансформатор с двумя вторичными, так как с помощью них можно реализовать двухполярный блок питания. По конструкции он может быть либо броневым, либо тороидальным.

Необходимо чтобы трансформатор был рассчитан на частоту 50 Гц, так как ВЧ и импульсные трансформаторы при включении в сеть выйдут из строя.

Выпрямитель

По числу используемых для работы полупериодов тока выпрямители делятся на однополупериодные и двухполупериодные. Графики токов изображены на рисунках 2.18-2.20.

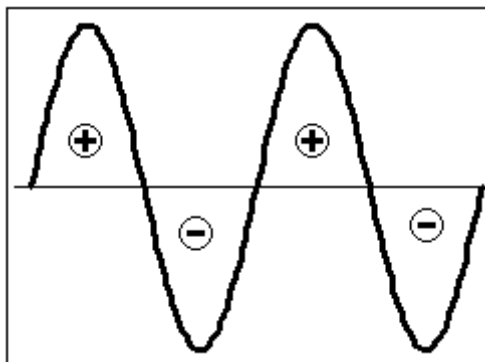


Рисунок 2.18 - Исходный переменный ток

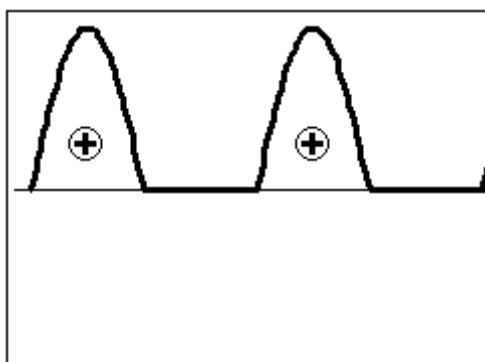


Рисунок 2.19 - Однополупериодное выпрямление

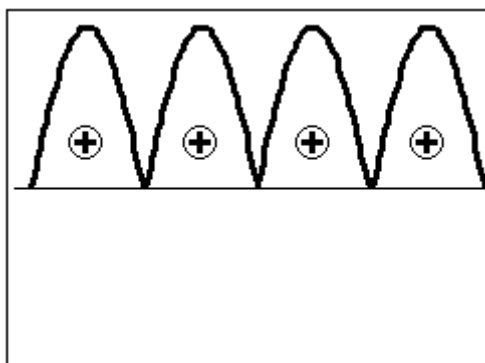


Рисунок 2.20 - Двухполупериодное выпрямление

Для блока питания выберем двухполупериодный, так как его КПД выше остальных. На рисунке 2.21 действующее показано верхней горизонтальной линией.

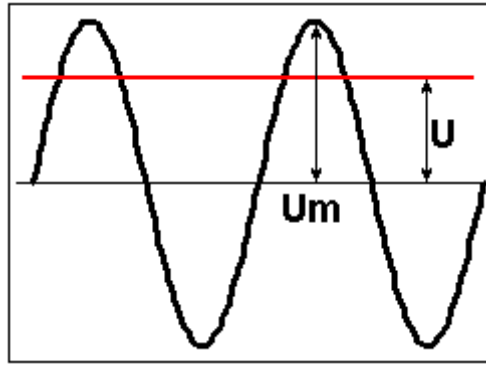


Рисунок 2.21- Максимальное и действующее напряжение.

В блоке питания для генератора импульсов применим стабилизаторы.

Фильтр

В качестве фильтра будем использовать электролитический конденсатор. Он сглаживает выпрямленное напряжение (рисунок 2.22-2.23).

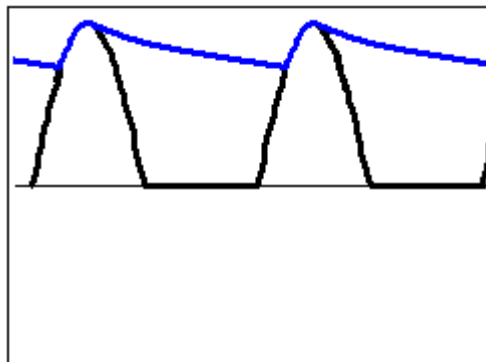


Рисунок 2.22 - Напряжение на конденсаторе фильтра однополупериодного выпрямителя.

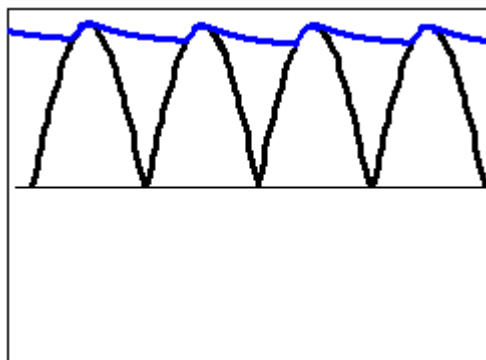


Рисунок 2.23 - Напряжение на конденсаторе фильтра двухполупериодного выпрямителя.

Ток через диоды протекает довольно большой (рисунок 2.24), но лишь короткое время.

$$I_3 \cdot t_3 = I_p \cdot t_p; \quad (2.4)$$

I_3 - ток заряда конденсаторов

t_3 - время заряда;

I_p - ток разряда (т.е. нагрузки);

t_p - время разряда.

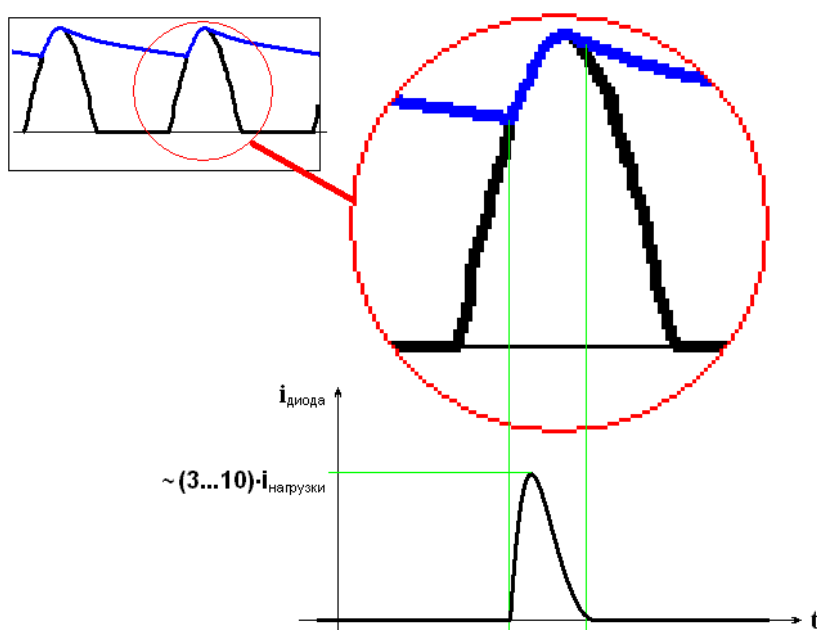


Рисунок 2.24 Ток диода выпрямителя.

Стабилизатор

Стабилизатор предназначен для стабилизации выходного напряжения.

Для стабилизации на уровне 15В, на вход необходимо подавать от 18 В до $U_{вх.max}$.

Диоды или диодный мост должны быть рассчитываются на напряжения и токи схемы генератора импульсов. Если взять диодный мост рассчитанный на больший ток и напряжение, то на работе схемы это неотразится. Если использовать высокочастотные выпрямительные диоды, на работе блока питания это не отразится. Малогабаритные универсальные диоды

использовать нельзя, несмотря на то, что они работают на радиочастотах – они не выдержат большие напряжения и токи.

В блоке питания будем использовать готовый диодный мост. Выбираем импортный диодный мост - он маленький и дешевый.

Мощность, выделяемая на микросхеме (рассеиваемая микросхемой), определяется так:

$$P_{\max} = (U_{\text{ex}} - U_{\text{вых}}) \cdot I_{\text{нагр}} = (24B - 18B) \cdot 0,5A = 3Bm. \quad (2.5)$$

Трансформатор выдает достаточно большое напряжение - будем использовать стандартный корпус. В блоке питания для генератора импульсов будем использовать микросхемы стабилизации в корпусе ТО-220.

Мы не будем использовать 15В стабилизаторы так как, эксплуатация устройств в тяжелых условиях (максимальные напряжения, токи, высокие температуры) резко снижает их надежность и ресурс. Не рекомендуем нагрев для электролитических конденсаторов, а от горячих микросхем они могут нагреться.

По поводу конденсаторов С3 и С6. Они нужны по техническим требованиям для предотвращения самовозбуждения микросхем стабилизаторов. Собственно, для каждой микросхемы конденсаторов нужно две штуки - один на вход, другой на выход. Но на входе уже стоят С1 и С4, и если проводник, соединяющий эти конденсаторы с микросхемой имеют короткую длину не более 7 см, то все будет работать. В блоке питания для нашего генератора импульсов, для надежности мы будем использовать конденсаторы С2 и С5 на входе стабилизаторов.

Емкости С3 и С6, С2 и С5 берутся в диапазоне от 0,1 мкФ до 4,7 мкФ. Выбираем 0,33 мкФ.

2.3 Расчет электрической принципиальной схемы генератора

2.3.1 Электрический расчет схемы блока питания

Таблица 2.5 -Выходные данные для расчетов

Параметры	Обозначения	Значение
Переменное входное напряжение	U_{AC}	220В
Частота сети	f_{AC}	50Гц
Выходное напряжение	U_{out}	18В

Мощность нагрузки:

$$P_H = U_H \cdot I_H, \quad (2.5)$$

где U_H – напряжение на нагрузке;

I_H – ток нагрузки.

$$P_H = 18 \cdot 0,5 = 9 \text{ Вт.}$$

Суммарная мощность схемы:

$$P = P_H + P_{MC}, \quad (2.6)$$

где P_H – мощность нагрузки, $P_H = 9$ Вт;

P_{MC} – мощность, потребляемая микросхемой, по формуле 2.5 $P_{MC} = 3 \text{ Вт}$.

$$P = 3 + 9 = 12 \text{ Вт.}$$

Выберем трансформатор необходимой мощности, с запасом 40%:

$$P_T = 12 \cdot 1,4 = 16,8 \text{ Вт,}$$

т.е. необходим трансформатор, обладающий мощностью не менее 16,8Вт.

Выпрямленное напряжения на выходе диодного моста:

$$U_{выпр} = U_{выхТ} \cdot \sqrt{2} - U_D, \quad (2.7)$$

где U_D – падение напряжения диодного моста из таблицы 2.6;

$U_{выхТ}$ – напряжение на вторичной обмотке трансформатора.

$$U_d = 18 \cdot \sqrt{2} - 1,2 = 24,2 \text{ В.} \quad (2.8)$$

Согласно вышеописанному расчету схема удовлетворяет предъявленным к ней требованиям и обеспечивает нагрузку необходимым значением напряжения.

2.3.2 Электрический расчёт выходного каскада

Схема усилителя мощности, показана на рисунке 2.26. На входе включены эмиттерные повторители на транзисторах VT1 и VT2. Они создают необходимое напряжение смещения на эмиттерных переходах транзисторов VT3 и VT4. Кроме того, эмиттерные повторители обеспечивают высокое входное сопротивление схемы.

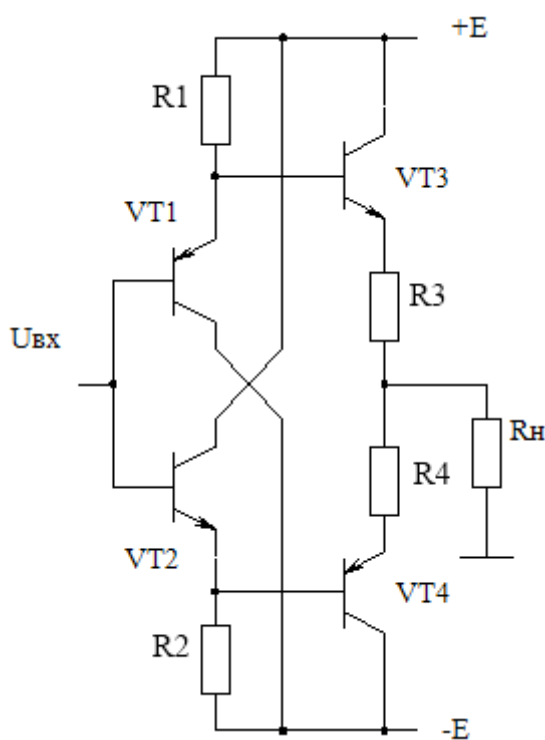


Рисунок 2.26 – Схема двухтактного повторителя напряжения

Резисторы R1 и R2 используются для задания эмиттерных токов VT1, VT2 и базовых токов выходных транзисторов. Резисторы R3 и R4 являются цепями обратной связи соответственно для VT3 и VT4.

При заданных значениях амплитуды напряжения на нагрузке U_{Hm} и мощности на нагрузке P_H рассчитываем:

$$I_{H.MAX} = \frac{2P_H}{U_{H.MAX}} = \frac{2 \cdot 9Bm}{18B} = 1A; \quad (2.9)$$

Выбираем транзисторы разного типа р-п-р и п-р-п.

2.4 Выбор элементов схемы

2.4.1 Выбор переменного резистора

В качестве переменного сопротивления R_8 выбираем прецизионный резистор 6657S-1-103 фирмы Bourns, изображенного на рисунке 2.27.

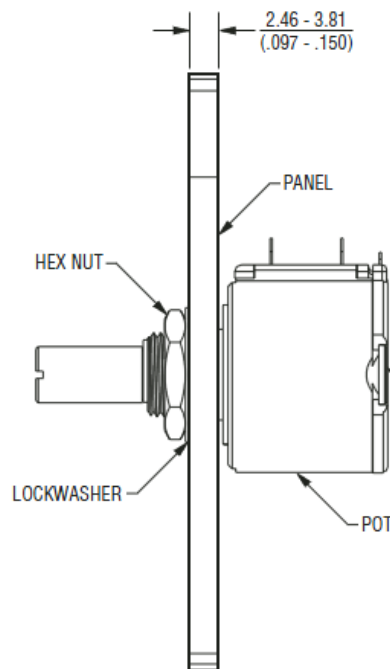


Рисунок 2.27 - Типоразмер переменных резисторов 6657S-1-103

2.4.2 Выбор конденсаторов

При выборе конденсаторов обращаем внимание на их габаритные размеры:

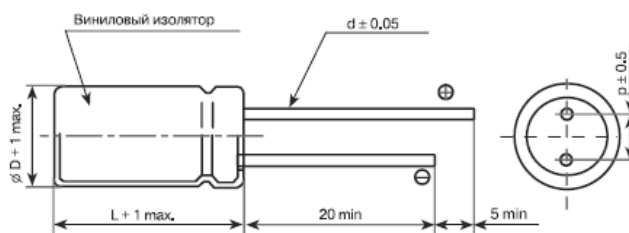


Рисунок 2.28 - Габаритные размеры электролитических конденсаторов

Таблица 2.6 - Размеры электролитических конденсаторов

D	5	6	8	10	13	16	18	22	25
P	2.0	2.5	3.5	5.0	5/0	7.5	7.5	10	12.5
d	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.8	0.8	1.0	1.0

Выбрали С1 и С4 конденсаторы модели В41828А7338М000, параметры конденсатора приведены в таблице 2.7

Таблица 2.7 - Параметры конденсатора

Тип	В41828
Рабочее напряжение, В	35
Номинальная емкость, мкФ	3300
Допуск номинальной емкости, %	20
Рабочая температура, С	-40...105
Тангенс угла потерь, %	0.12
Выводы/корпус	радиал. пров.
Диаметр корпуса D, мм	18

2.4.3 Выбор трансформатора

Выбираем изделия фирмы Электрон Комплекс.

Выбираем тип трансформатора ТП диапазон рабочих температур - 40...+45°C. Параметры трансформатора приведены в таблице 2.8

Таблица 2.8 - Параметры трансформатора

Тип трансформатора	ТП
Количество вторичных обмоток, шт	2
Выходное напряжение, В	2x18
Выходной ток, А	0,6
Мощность, Вт	18

2.4.4 Выбор активных элементов

Выбираем транзисторы российского производства таблица 2.9

VT1, VT4 – КТ6116А

VT2, VT3 – КТ6117А

Таблица 2.9 - Технические параметры транзисторов

Тип транзистора	Структура	UкэR, В	UкэR [гр], В	Iк max[T] (и), mA	Pк max[T] (и), Вт	h21э	Iкб0[кэ0], мкА	fгр. МГц	Uкэн, В	Ск, пф
КТ6116А	p-n-p	160	150	0,6	0,625	60-240	<0,05	>100	0,5	<6
КТ6117А	n-p-n	180	160	0,6	0,625	80-250	<0,05	>100	<0,2	<6

Выбираем кварцевый резонатор ZQ1 HC-49S, параметры приведены в таблице 2.10

Таблица 2.10 - Технические параметры транзисторов.

Резонансная частота, МГц	10
Номер гармоники	1
Температурный коэффициент, Ктх10-6	50
Нагрузочная емкость, пФ	32
Корпус	HC-49S

Выбираем диоды VD1 и VD2 модели 1N4148 фирм NXP Semiconductor.

В качестве микросхемы ОУ:

Таблица 2.11 - Технические параметры ОУ

Параметры	Темп.	154УД3А, К154УД3А, КР154УД3А			154УД3Б, К154УД3Б, КР154УД3Б		
		Мин.	Тип.	Мах.	Мин.	Тип.	Мах.
Входные							
Напряжение смещения, мВ	25 °С			9			9
	Раб.			12			12
Входной ток, нА	25 °С			225			300
	Раб.			450			600
Разность входных токов, нА	25 °С			30			50
	Раб.			60			100
Дрейф напряжения смещения, мкВ/°С	25 °С; t_{max}			30			50
	$t_{min}; 25^{\circ}C$			30			30
Дрейф разности входных токов, нА/°С	25 °С; t_{max}			0,5			1,0
	$t_{min}; 25^{\circ}C$			0,5			0,5
Передаточные							
Коэффициент усиления $U_o = \pm 10V$; $R_L = 2k\Omega$	25 °С	8к	11к		7,5к	8,5к	
	Раб.	7к			5,5к		
Коэффициент ослабления синфазного сигнала, дБ $U_{син} = \pm 5V$	25 °С	82	86		82	86	
	Раб.	80			80		
Коэффициент влияния напряжения питания, дБ $U_{пит} = \pm 5V$	25 °С		76			76	
Выходные							
Максимальное выходное напряжение, В $R_L = 2k\Omega$	25 °С	9,5	10		9,5	10	
	Раб.	9			9		
Динамические							
Скорость нарастания, В/мкс $R_L = 2k\Omega$; $C_L = 50пФ$; $U_o = \pm 10V$; $K = -1$	25 °С	80	100		60	80	
Частота единичного усиления, МГц	25 °С		15			15	
Время установления, нс $R_L = 2k\Omega$; $C_L = 50пФ$; $K = -1$; $d = 0.1\%$	25 °С	500	400		800	600	
Потребления							
Ток потребления, мкА	25 °С			7			7
	Раб.			7,6			7,6

Таблица 2.12 – Параметры интегральных стабилизаторов напряжения.

Тип	Максимальное входное напряжение, В	Напряжение стабилизации, В	Выходной ток, А	Температура, °С
78M05ST	+30	+5	1,5	-55...+125
7918	-40	-18	1,5	-55...+125
78M05	+40	+5	0,5	-55...+125
L7915CV	-40	-15	1	-55...+125

2.4.5 Выбираем кнопки и разъемы

В качестве кнопок без фиксации SB1-SB4 выбираем PBS18B, параметры кнопки приведены в таблице 2.37

В качестве кнопки с фиксацией S1 выбираем RS-201-C производителя Jietong Switch, параметры кнопки приведены в таблице 2.37

Таблица 2.13 - Параметры кнопки PBS18B

Параметр	PBS18B	RS-201-C
Фиксация	нет	есть
Алгоритм работы	OFF-(ON)	ON-OFF
Рабочее напряжение, В	50	220
Рабочий ток, А	0,1	10

В качестве гнезда для выходного сигнала генератора выбираем разъём стандарта BNC модели BNC-7031.

В качестве штекера сетевого питания выбираем вилку штепсельную разборную 6А 250В

Выводы по разделу 2

В данном разделе произведены разработка и расчет принципиальной электрической схемы. Произведен выбор метода генерации импульсов. Описана разработанная электрическая принципиальная схема и ее функционирование. Произведен выбор элементов схемы.

3 Разработка конструкции генератора импульсов

3.1 Разводка печатной платы

Разводка печатной платы генераторов импульсов представлена на рисунке 3.1. Сборочный чертеж на рисунке 3.2.

3.2 Расчет печатной платы

3.2.1 Расчет площади печатной платы

Используя размеры применяемых элементов заполняем таблицу 3.1.

Таблица 3.1 - Размеры элементов

Название групп компонентов	Количество N, шт.	Длина L, мм	Ширина B, мм	Диаметр D, мм	Площадь $S=L*B$, мм ²	Площадь N элем. $S*N$, мм ²	Диаметр вывода d, мм
Резисторы постоянные 0.125...0.5Вт	12	4.7	1.5		7.05	84.50	
Резисторы переменные	1	30	20		600	600	
Конденсаторы керамические	11	4.7	1.5		7.05	77.5	
Конденсаторы электролитические	2			16	200.96	400.96	
Транзисторы	4	25	40		1000	4000	1.0
Диоды малой мощности	2	4.7	1.5		7.05	14	0.6
Диодный мост	1	15	20		300	300	1.2
Стабилизаторы	4	8	8		16	64	1.2
ИМС	5	30	20		600	3000	1.2
Кварцевый резонатор	1	5	3		15	15	1.0
Разъемы	1	20	10		200	200	0.85

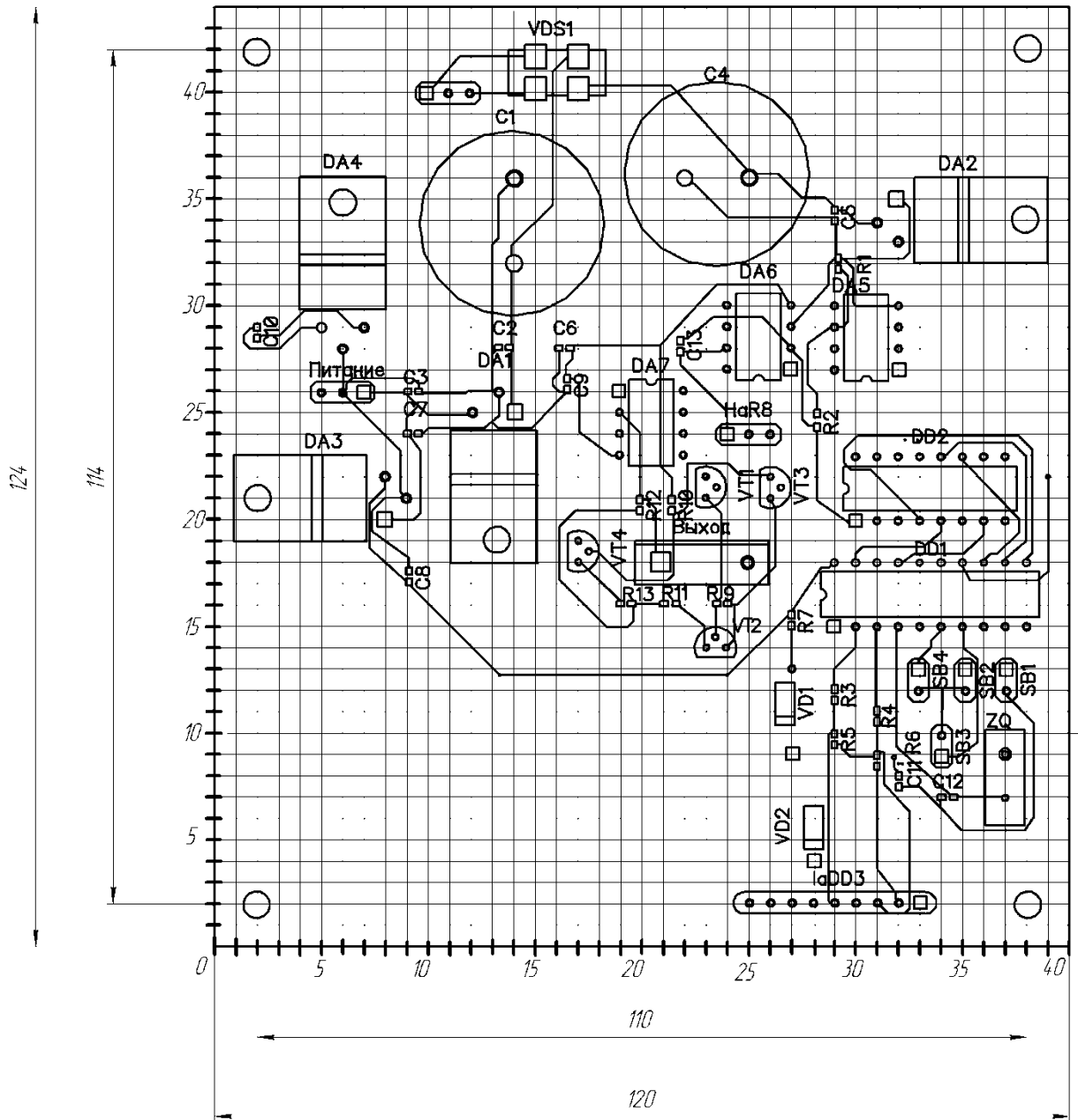


Рисунок 3.1а. – Верхняя сторона печатной платы.

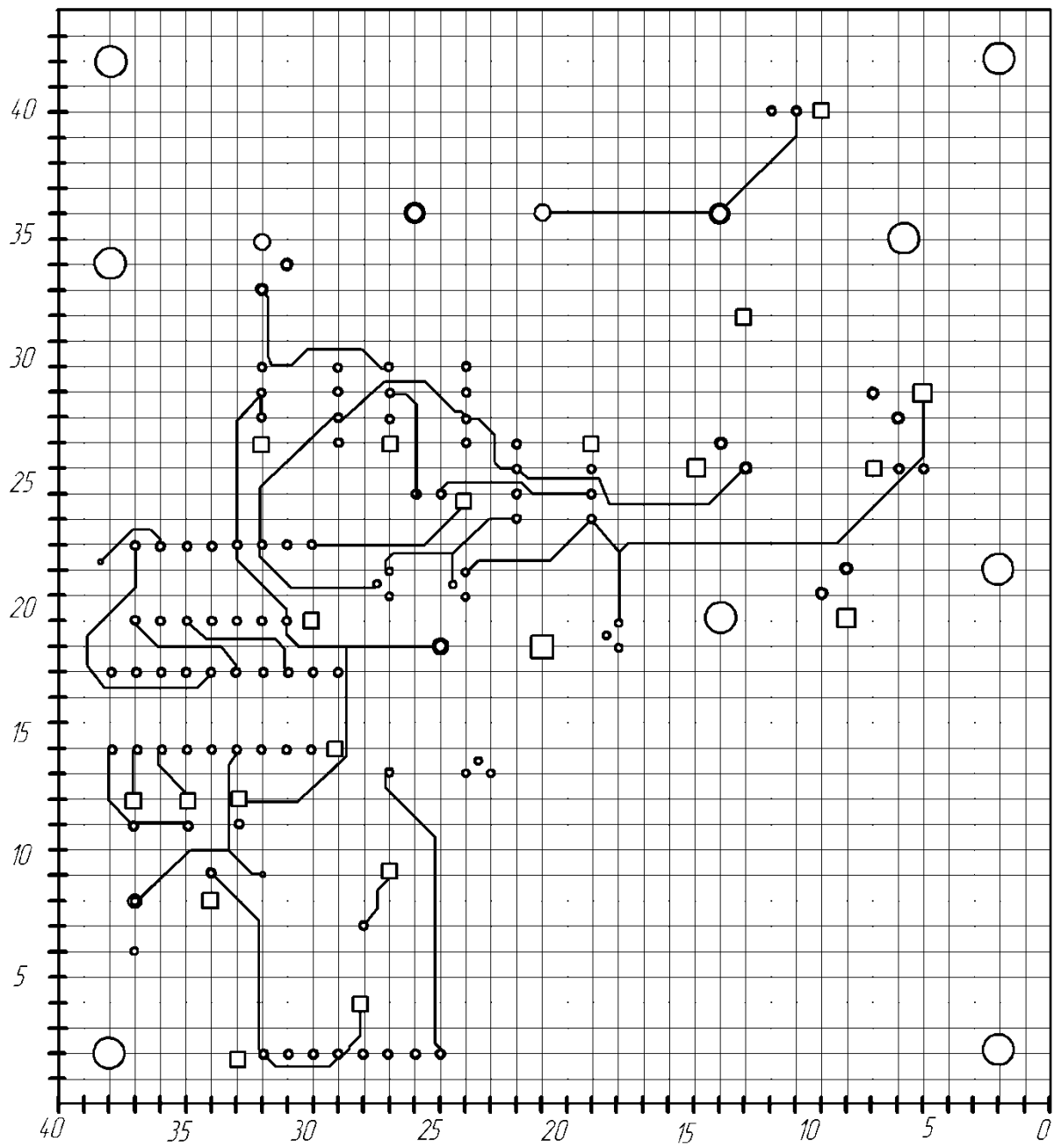


Рисунок 3.1б. – Нижняя сторона печатной платы.

Обозначение отв.	Диаметр отв., мм	Диаметр контактной площадки	Наличие металла	кол. отв.
○	0,8	$\phi 1,2 \text{ min}$	есть	94
□	0,8	1,2 min	есть	21
○	3	нет	нет	8
□	нет	2,8 min	есть	6
○	1,2	$\phi 2,2 \text{ min}$	есть	4

Рисунок 3.1в. – Таблица контактных площадок печатной платы.

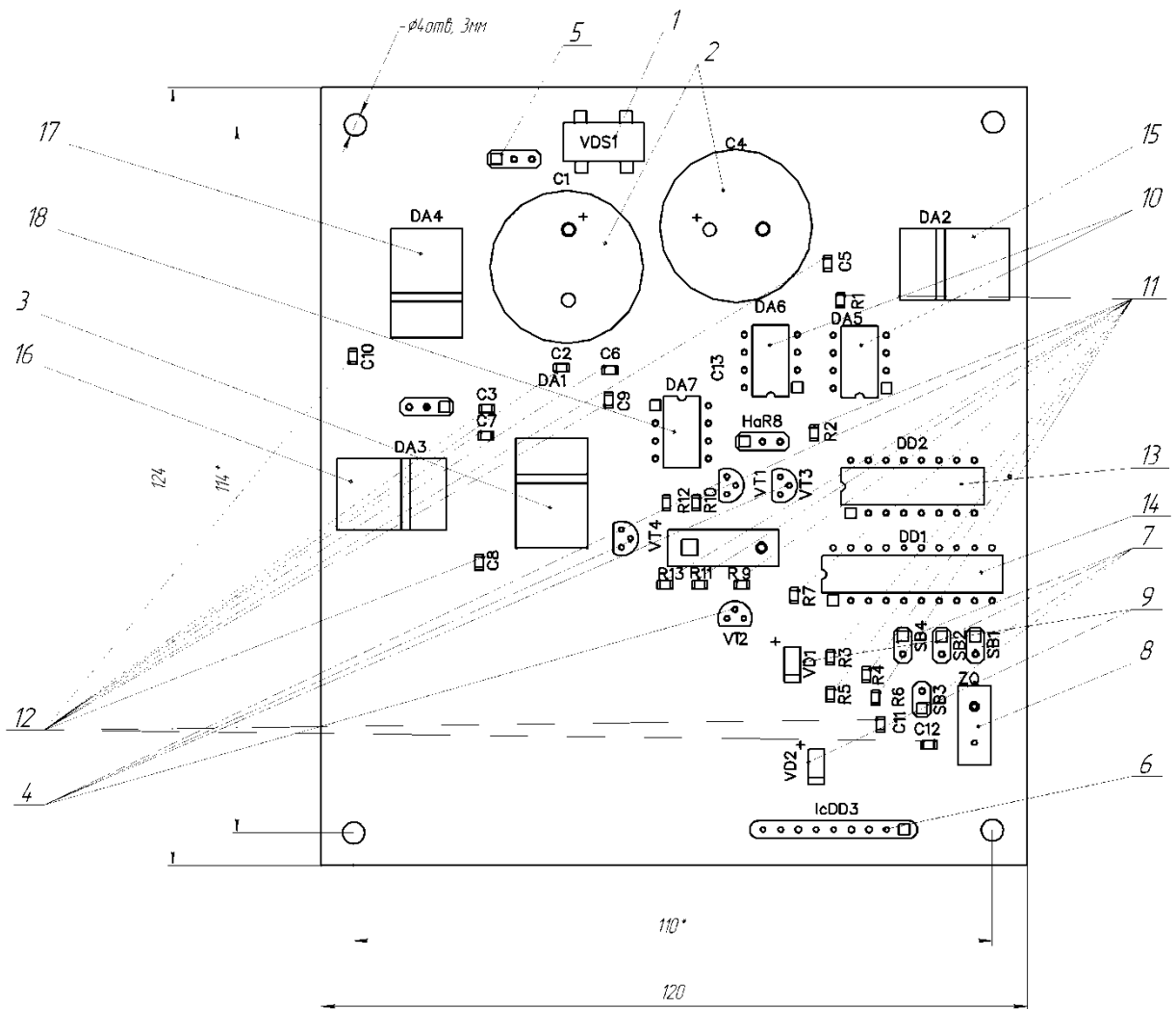


Рисунок 3.2а – Сборочный чертеж

<i>Формат</i>	<i>Зона</i>	<i>Поз.</i>	<i>Обозначение</i>	<i>Наименование</i>	<i>Кол.</i>	<i>Примечание</i>
				<i>Документация</i>		
<i>A1</i>						
			<i>20-110304.113/09.309.05</i>	<i>Печатная плата</i>		
				<i>Стандартные изделия</i>		
		<i>1</i>		<i>DB102-S</i>	<i>1</i>	<i>VDS1</i>
		<i>2</i>		<i>B41828</i>	<i>2</i>	<i>C1, C4</i>
		<i>3</i>		<i>L7818CV</i>	<i>1</i>	<i>DA1</i>
		<i>4</i>		<i>КТ6116А, КТ6117А</i>	<i>4</i>	<i>VT1...VT4</i>
		<i>5</i>		<i>Разъем для трансформатора</i>	<i>1</i>	
		<i>6</i>		<i>Разъем для ЖКИ</i>	<i>1</i>	
		<i>7</i>		<i>Разъем для кнопок</i>	<i>4</i>	
		<i>8</i>		<i>ZQ1</i>	<i>1</i>	<i>ZQ1</i>
		<i>9</i>		<i>1N4148</i>	<i>2</i>	<i>VD1, VD2</i>
		<i>10</i>		<i>КР154УД3А</i>	<i>2</i>	<i>DA5...DA6</i>
		<i>11</i>		<i>RC01-1206</i>	<i>12</i>	<i>R1...R7, R9...R13</i>
		<i>12</i>		<i>X7R-1206</i>	<i>11</i>	<i>C2, C3, C5...C13</i>
		<i>13</i>		<i>КР572ПА1</i>	<i>1</i>	<i>DD2</i>
		<i>14</i>		<i>АТ90S2313</i>	<i>1</i>	<i>DD1</i>
		<i>15</i>		<i>7918</i>	<i>1</i>	<i>DA2</i>
		<i>16</i>		<i>78M05</i>	<i>1</i>	<i>DA3</i>
		<i>17</i>		<i>L7915CV</i>	<i>1</i>	<i>DA4</i>
		<i>18</i>		<i>AD711</i>	<i>1</i>	<i>DA7</i>

Рисунок 3.26 – Спецификация сборочного чертежа

По таблице 3.1. суммарная площадь платы $S_{СУМ}=10754\text{мм}^2$.

Устанавливаемая площадь элементов на плате, если $K_{УСТ}=1,2$

$$S_{УСТ} = S_{СУМ} \cdot K_{УСТ}, \quad (3.1)$$

$$S_{УСТ} = 10754 \cdot 1.2 = 12904\text{мм}^2.$$

Площадь печатной платы (если коэффициент использования равен: $K_{ИСП}=0,9$), тогда

$$S_{ПОВ} = \frac{S_{УСТ}}{K_{ИСП}}, \quad (3.2)$$

$$S_{ПОВ} = \frac{12904}{0,9} = 14337\text{мм}^2.$$

Площадь креплений (для крепления винтами М3, 6 штук). Каждый болт занимает площадь $S_B=100(\text{мм}^2)$.

$$S_K = S_B \cdot n. \quad (3.3)$$

$$S_K = 100 \cdot 6 = 600(\text{мм}^2).$$

Общая площадь платы:

$$S_{ПЛ.ОБЩ} = S_K + S_{ПОВ} \quad (3.4)$$

$$S_{ПЛ.ОБЩ} = 600 + 14337 = 14937\text{мм}^2.$$

Выбираем ширину платы $L=120(\text{мм})$, тогда длина:

$$B = \frac{S_{ПЛ.ОБЩ}}{L}, \quad (3.5)$$

$$B = \frac{14937}{120} = 124(\text{мм}).$$

Округляем $B=124\text{мм}$.

3.2.2 Расчет ширины печатных проводников

Для расчета ширины проводников примем допустимую плотность тока $J_{\text{ДОП}}=30(\text{А}/\text{мм}^2)$, максимальный ток $I_{\text{М}}=0,6(\text{А})$. Согласно документации на фольгированный стеклотекстолит, толщина металлизированного покрытия $m_{\text{ПОК}}=0,05(\text{мм})$,

Рассчитаем необходимую ширину проводников:

$$S_{\text{ПР}} = \frac{I_{\text{М}}}{J_{\text{ДОП}} \cdot m_{\text{ПОК}}}, \quad (3.6)$$

$$S_{\text{ПОК}} = \frac{0,6}{30 \cdot 0,05} = 0,4(\text{мм}).$$

Выводы по разделу 3

В данном разделе произведена частичная разработка конструкции генератора импульсов. Произведена разводка печатной платы и ее расчет. Приводятся рисунки печатных плат, сборочного чертежа и спецификации.

4 Разработка программной части устройства

БСА программы изображена на рис. 4.1.



Рисунок 4.1. – БСА программы

Написание программы не является целью данной ВКР. Эту задачу предполагается возложить на программиста.

Выводы по разделу 4

В данном разделе приводится блок-схема алгоритма программы. Разработка самой программы в данном разделе не производится, так как это не является задачей ВКР.

Заключение

В ходе ВКР были выполнены следующие задачи:

- Обзор состояния вопроса
- Разработка и расчет электрической схемы
- Выбор элементов
- Разводка печатной платы

Основным элементом разработанного генератора является микроконтроллер (AVR AT90S2313 фирмы «Atmel»). Задание режимов работы осуществляется блоком кнопок. Индикация текущего режима и параметров формируемого сигнала производится на индикаторе. В соответствии с заданным режимом микроконтроллер выдает цифровой код на двухполярный цифро-аналоговый преобразователь. Аналоговый сигнал усиливается блоком усилителя на операционном усилителе и транзисторах.

Питание всех схемы осуществляется с помощью блока питания, построенного на трансформаторе, выпрямителе и интегральных стабилизаторах напряжения, формирующих стабильные двухполярное и однополярные питания. Разработанный генератор питается от входного напряжения. На своем выходе он может генерировать:

а) синусоидальное выходное напряжение, в виде эквивалентного ступенчатого сигнала.

б) двухполярный или однополярный меандры с возможностью задания частоты, амплитуды и скважности.

Спроектированный генератор импульсов отличается высокими технико-экономическими показателями работы, в частности своей низкой стоимостью изготовления, относительно своих аналогов, компактными размерами и весом. Питается генератор от напряжения сети.

Список используемой литературы

1. Гребнев В.В. Микроконтроллеры семейства AVR фирмы Atmel.-М.: ИП Радиософт, 2002 – 176 с.: ил.
2. Быстров, Ю. А. Электронные цепи и микросхемотехника: учеб. / Ю. А. Быстров, И. Г. Мироненко. – М.: Высш. шк., 2002. – 384 с.: ил.
3. Фрунзе А.В. Микроконтроллеры? Это же просто! Т.1. – М.: ООО «ИД СКИМЕН», 2002. – 336 с., илл.
4. Искусство схемотехники / П. Хоровиц, У. Хилл.; пер. с англ. под ред. М.В. Гальперина. – М.: Мир, 1986.
5. Костиков В.Г., Парфенов Е.М., Шахнов В.А. Источники электропитания электронных средств. Схемотехника и конструирование: Учебник для вузов. – 2-е изд. – М.: Горячая линия – Телеком, 2001. – 344 с.: ил.
6. Гармонические сигналы в цифровых системах контроля и испытаний/ А.Н.Морозевич, Б.Б.Трибуховский, А.Н.Дмитриев. – Минск, НАУКА И ТЕХНИКА, 1990. –240 с.
7. Быстров, Ю. А. Электронные цепи и микросхемотехника: учеб. / Ю. А. Быстров, И. Г. Мироненко. – М.: Высш. шк., 2002. – 384 с.: ил.
8. Степаненко, И. П. Основы микроэлектроники: учеб. пособие для вузов / И.П. Степаненко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2003. – 488 с.: ил.
9. Электроника и нанoeлектроника, управление в технических системах, электроэнергетика и электротехника. Выполнение бакалаврской работы / сост. Позднов М.В., Прядилов А.В. - Тольятти: ТГУ, 2019. - 41 с.
10. Положение о выпускной квалификационной работе: утв. решен. учен. совет. от 21.11.2019 решение №254 : [Электронный ресурс]. URL: [https://yadi.sk/d/Fs-9ts_VInrE3Q/BKP_\(Diplom\)](https://yadi.sk/d/Fs-9ts_VInrE3Q/BKP_(Diplom)) / Положение о ВКР (Дата обращения: 18.02.2020)

11. Методические указания по оформлению выпускных квалификационных работ по программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры : [Электронный ресурс]. URL: [https://yadi.sk/d/Fs-9ts_VInrE3Q/BKP_\(Diplom\)](https://yadi.sk/d/Fs-9ts_VInrE3Q/BKP_(Diplom)) / Оформление ВКР (Дата обращения: 18.02.2020)

12. Порядок обеспечения самостоятельности выполнения письменных работ в ТГУ : [Электронный ресурс]. URL: [https://yadi.sk/d/Fs-9ts_VInrE3Q/BKP_\(Diplom\)](https://yadi.sk/d/Fs-9ts_VInrE3Q/BKP_(Diplom)) / Положение о Антиплагиате (Дата обращения: 18.02.2020)

13. Разработка понижающего преобразователя без секретов. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.dsioffe.narod.ru/articles/buck.doc> (дата обращения: 01.02.2020)

14. Каталог электронных компонентов [Электронный ресурс]. URL: <http://www.platan.ru> (дата обращения: 17.05.2020)

15. Каталог электронных компонентов [Электронный ресурс]. URL: <http://www.chip-dip.ru> (дата обращения: 17.05.2020)

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

17. AT89S8252 Primer [Электронный ресурс]. URL: <http://www.shrubbery.net/~heas/willem/PDF/ATMEL%20Flash%20Microcontroller/8051-Architecture/Application%20Notes/AT89S8252%20Primer.pdf> (дата обращения: 27.05.2020)

18. AT89S8252 Datasheet (PDF) - ATMEL Corporation [Электронный ресурс]. URL: <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/175000/ATMEL/AT89S8252.html> (дата обращения: 27.05.2020)

19. Electronic Components Datasheets [Электронный ресурс] URL: <http://www.datasheets.ru> (дата обращения: 17.02.2020)

20. DC-DC Converter Technologies for Electric/Hybrid Electric Vehicles [Электронный ресурс]. URL: <http://www.powerguru.org/dc-dc-converter-technologies-for-electrichybrid-electric-vehicles/> (дата обращения: 07.05.2020)

21. DC-to-DC converter - Wikipedia [Электронный ресурс]. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/DC-to-DC_converter (дата обращения: 07.05.2020)