

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

Институт машиностроения
(наименования института полностью)

Кафедра «Промышленная электроника»
(наименование)

11.03.04 Электроника и наноэлектроника
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электроника и робототехника
(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему ЛАБОРАТОРНЫЙ ГЕНЕРАТОР ПРЯМОУГОЛЬНЫХ
ИМПУЛЬСОВ

Студент

Ш.С. Зубайдов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент М.В. Позднов

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

Тольятти 2021

Аннотация

Объем 50 с., 13 рис., 22 табл., 24 источников
ЛАБОРАТОРНЫЙ ГЕНЕРАТОР, ГЕНЕРАТОР ПРЯМОУГОЛЬНЫХ
ИМПУЛЬСОВ.

Объектом исследования является лабораторный генератор прямоугольных импульсов.

Цель работы: разработка генераторов прямоугольных импульсов для лабораторного стенда.

Задачи работы:

- Обзор состояния вопроса
- Анализ исходных данных и существующих решений
- Разработка электрической принципиальной схемы
- Разводка печатной платы
- Экономическое обоснование проекта

Данные задачи решены в 4 главах работы.

Степень внедрения: теоретически рассчитаны параметры системы, разработаны схемы и выбраны элементы, разведена печатная плата.

В данной работе происходит разработка генератора прямоугольных импульсов для лабораторного стенда. Разработанный генератор более прост и дешев за счет меньшего функционала (по сравнению с конкурентами), но достаточного для проведения лабораторных работ.

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

Abstract

The title of the graduation work is Laboratory rectangular pulse generator.

The senior thesis consists of an introduction, 4 parts, a conclusion, 13 figures, 22 tables, the list of references including 5 foreign sources and the graphic part on 6 A1 sheets.

The object of research is laboratory rectangular pulse generator.

The aim of the graduation work is development of rectangular pulse generators for the laboratory bench.

The key issue of the graduation work is the possibility of using a simple and cheap pulse generator which at the same time has all necessary parameters at the Department of Industrial electronics.

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

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

In conclusion we'd like to stress that we calculated the system parameters, designed circuits, selected elements and wrote a program for the microcontroller. Nevertheless, more experimental data are required.

This work is of interest to readers involved in electronics.

Содержание

Введение.....	5
1 Состояние вопроса	6
1.1 Формулирование актуальности, цели и задач проекта.....	6
1.2 Обзор аналогов.....	6
2 Разработка и расчет генератора прямоугольных импульсов.....	9
2.1 Структурная схема генератора	9
2.2 Разработка генератора.....	11
2.5. Блок питания	20
3. Разработка печатной платы генератора	25
3.1. Общие сведения о печатной плате.....	25
3.2. Разработка печатной платы	25
4. Эффективность работы.....	31
4.1. Организационное обоснование научно-исследовательской работы.....	31
4.2. Экономическое обоснование НИР	41
Заключение	48
Список используемой литературы	49
Приложение А Генератор на аналоговых ИМС. Перечень элементов.....	51

Введение

В ряде лабораторных работ кафедры «Промышленная электроника» необходим генератор прямоугольных импульсов. В ряде аудиторий в качестве них использовались старые генераторы типа ГЗ-112. Целью ВКР является разработка генератора прямоугольных импульсов для лабораторных стендов.

«Современная элементная база позволяет создать очень простой и дешевый генератор прямоугольных импульсов, обладающий в то же время достаточно неплохими параметрами. Основными требованиями, которые ставились при разработке генератора для лабораторного стенда, были низкая стоимость и простота. Несмотря на это, возможности генератора вполне достаточны для исследования и настройки большинства цифровых и аналоговых схем.»[22].

При выборе схемотехнических решений, рассмотрели два возможных варианта: генератор на аналоговых микросхемах, генератор на основе микроконтроллера. Было выявлено, что аналоговый генератор имеет более простую структуру, но все же соответствует предъявляемым к нему требованиям. Поэтому он и был рекомендован к изготовлению.

1 Состояние вопроса

1.1 Формулирование актуальности, цели и задач проекта

В ряде лабораторных работ кафедры «Промышленная электроника» необходим генератор прямоугольных импульсов. В ряде аудиторий в качестве них использовались старые генераторы, например типа ГЗ-112.

Цель работы: разработка генераторов прямоугольных импульсов для лабораторного стенда.

Задачи работы:

- Обзор состояния вопроса
- Анализ исходных данных и существующих решений
- Разработка электрической принципиальной схемы
- Разводка печатной платы
- Экономическое обоснование проекта

1.2 Обзор аналогов

Существуют различные генераторы. Например, Good Will SFG-71013 (рис. 1.1).

Обладает схожими параметрами Matrix MFG-8216A (рис. 1.2).

Данные генераторы универсальные, многофункциональные. Их основным недостатком является значительная стоимость.



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.

Выводы

В данном разделе сформулирована актуальность работы, ее цели и задачи. Произведен обзор аналогов, рассмотрены их технические характеристики

Таблица 1.1 – Технические данные генераторов.

«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
	Коэф. гармоник (при уровне сигн. от 0.1 МАХ до МАХ)	> -55 дБн, 0.1 Гц ...200 кГц > -40 дБн, 0.2 МГц ...2 МГц > -35 дБн, 2 МГц ...3 МГц	≤1%, 0.3 Гц...200 кГц суммарный коэффициент гармоник ≤35 дБ
	Неравномерность АЧХ	±0.3 дБ, 0.1 Гц ...1 МГц ±0.5 дБ, 1 МГц ...2 МГц ±1 дБ, 2 МГц ...3 МГц	<0.3 дБ, 0.3 Гц...300 кГц <0.5 дБ, 300 кГц...3 МГц
Синусоидальный сигнал	Асимметрия импульсов	± (5% от периода + 4 нс), 0.1 Гц...100 кГц	≤1%, 0.3 Гц...200 кГц суммарный коэффициент гармоник ≤35 дБ относительно основной гармоники для всего диапазона (при уровне сигнала от 1/10 до МАКСИМУМА).
	Время нарастания/спада	<100 нс (макс. уровень 50 Ом)	≤100 нс при максимальной амплитуде (нагрузка 50 Ом)
Прямоугольный сигнал	Симметрия	±2%, 0.3 Гц...100 кГц	±2%, 0.3 Гц...100 кГц» [15]

2 Разработка и расчет генератора прямоугольных импульсов

2.1 Структурная схема генератора

Проектируемое устройство должно вырабатывать прямоугольные импульсы, иметь возможность регулирования частоты и амплитуды сигнала, который далее необходимо усилить перед подачей его на исследуемую схему. Разумеется, нужно предусмотреть еще и источник питания для устройства. Таким образом, функционально генератор состоит из нескольких блоков (рис. 2.1): источника импульсов, устройства задания амплитуды сигнала, выходного усилительного каскада и блока питания. В свою очередь, в состав источника импульсов входит компаратор, цепь обратной связи и времязадающее устройство, в состав блока питания – выпрямитель, фильтры, стабилизаторы.

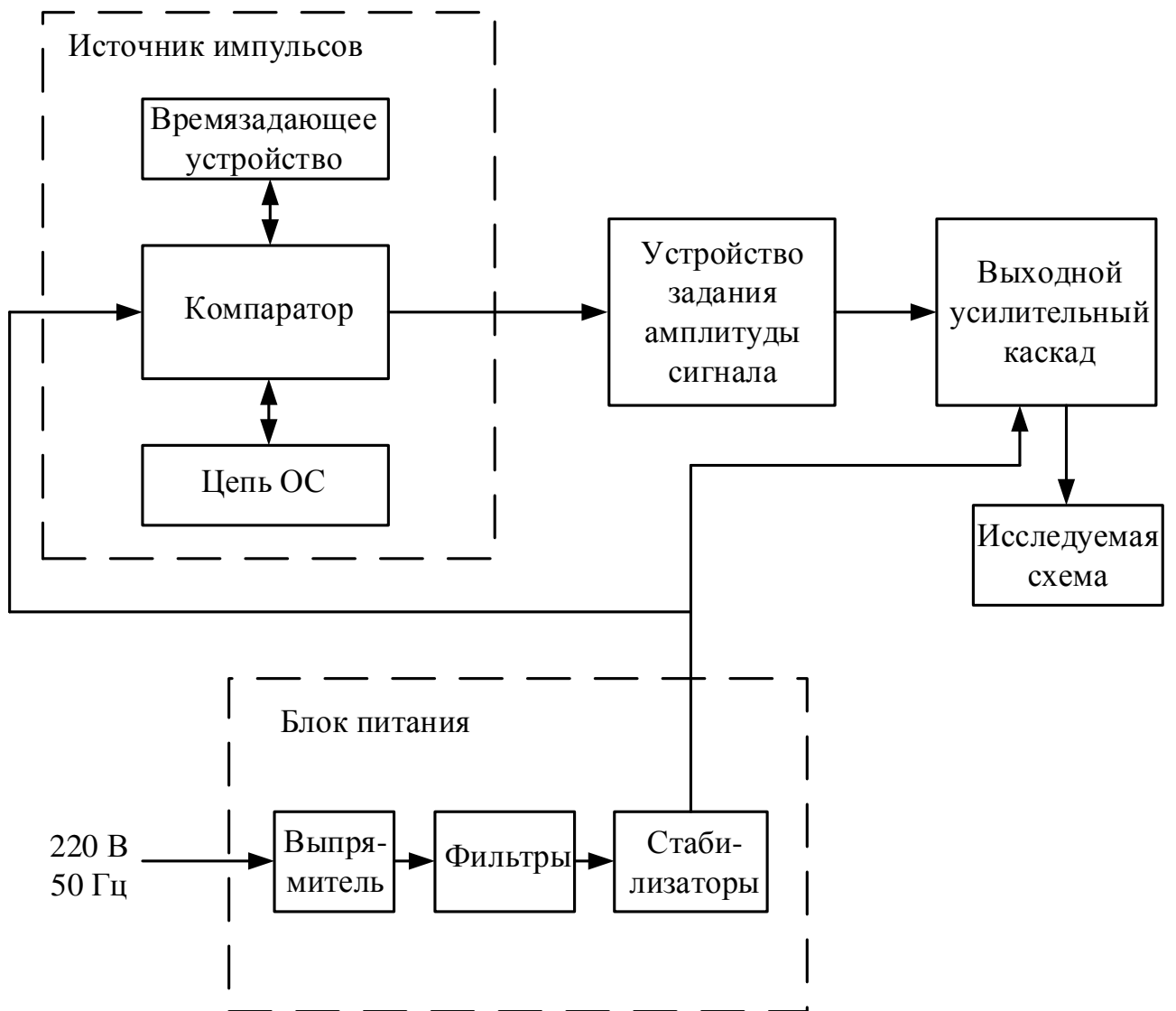


Рисунок 2.1 – Структурная схема генератора

2.2 Разработка генератора

«В качестве источника прямоугольных импульсов использовали схему симметричного мультивибратора на операционном усилителе (ОУ), приведенную на рис.2.3 [14]. Автоколебательный режим работы создается благодаря подключению к инвертирующему входу ОУ времязадающей цепи из конденсатора С6 и резистора R4. Принцип действия иллюстрируют временные диаграммы на рис.2.4.»[22].

«Предположим до момента t_1 напряжение между входами ОУ $u_0 > 0$. Это определяет напряжение на выходе ОУ $u_{\text{ВЫХ}} = -U(-)_{\text{ВЫХ max}}$ и на его неинвертирующем входе:

$$u_{(+)} = -kU(-)_{\text{ВЫХ max}}, \quad (2.1)$$

где k – коэффициент передачи цепи положительной обратной связи.

Задались значениями $R_2 = R_3 = 20 \text{ кОм}$ и определили k по формуле:»[22]

$$k = \frac{R_2}{R_2 + R_3} = \frac{20 \cdot 10^3}{20 \cdot 10^3 + 20 \cdot 10^3} = 0,5. \quad (2.2)$$

Из справочника [16] выбрали резисторы R_2 и R_3 : МЛТ-0.125-20к±5%

«Наличие на выходе схемы напряжения $U(-)_{\text{ВЫХ max}}$ обуславливает процесс заряда конденсатора С6 через резистор R4 с полярностью, указанной на рис.2.3 без скобок. В момент t_1 экспоненциально изменяющееся напряжение на инвертирующем входе ОУ достигает напряжения на неинвертирующем входе $-kU(-)_{\text{ВЫХ max}}$. Напряжение u_0 становится равным нулю, что вызывает изменение полярности напряжения на выходе ОУ: $u_{\text{ВЫХ}} = U(+)_{\text{ВЫХ max}}$. Напряжение $u_{(+)}$ изменяется и становится равным $u_{(+)} = kU(+)_{\text{ВЫХ max}}$, что соответствует $u_0 < 0$ и $u_{\text{ВЫХ}} = U(+)_{\text{ВЫХ max}}$.»[22].

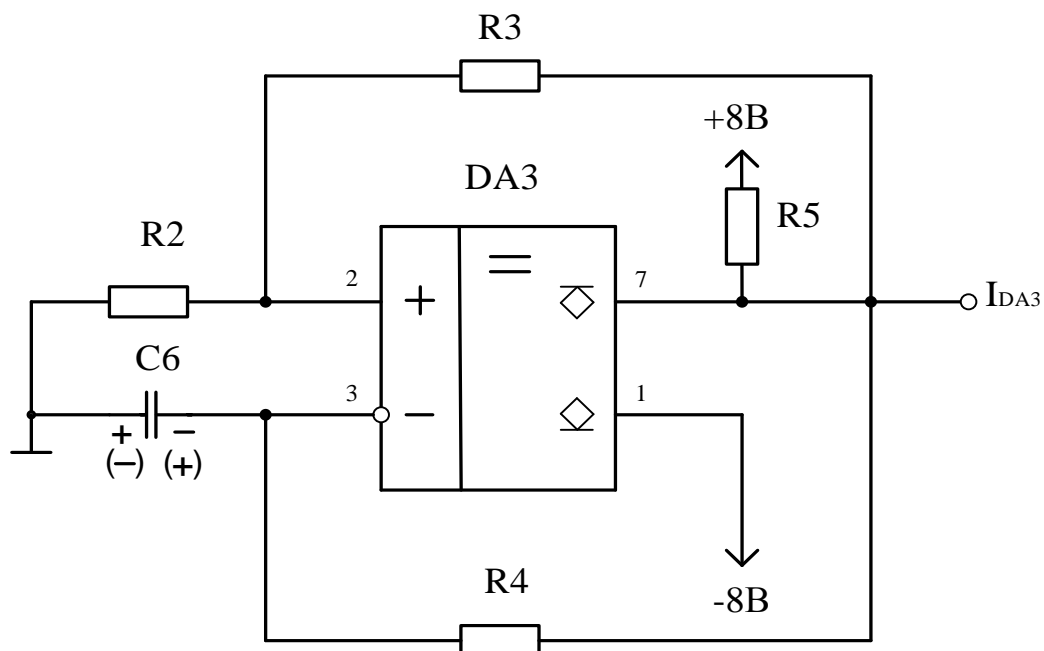


Рисунок 2.3 – Симметричный мультивибратор на ОУ

Временные диаграммы работы изображены на рис.2.4.

«С момента t_1 начинается перезаряд конденсатора от уровня напряжения $-kU(-)_{\text{вых max}}$. Конденсатор стремится перезарядиться в цепи с резистором R_4 до уровня $U(+)_{\text{вых max}}$ с полярностью напряжения в скобках. В момент времени t_2 напряжение на конденсаторе достигает значения $kU(+)_{\text{вых max}}$. Напряжение u_0 становится равным нулю, что вызывает переключение ОУ в противоположное состояние. Далее процессы повторяются.»[22].

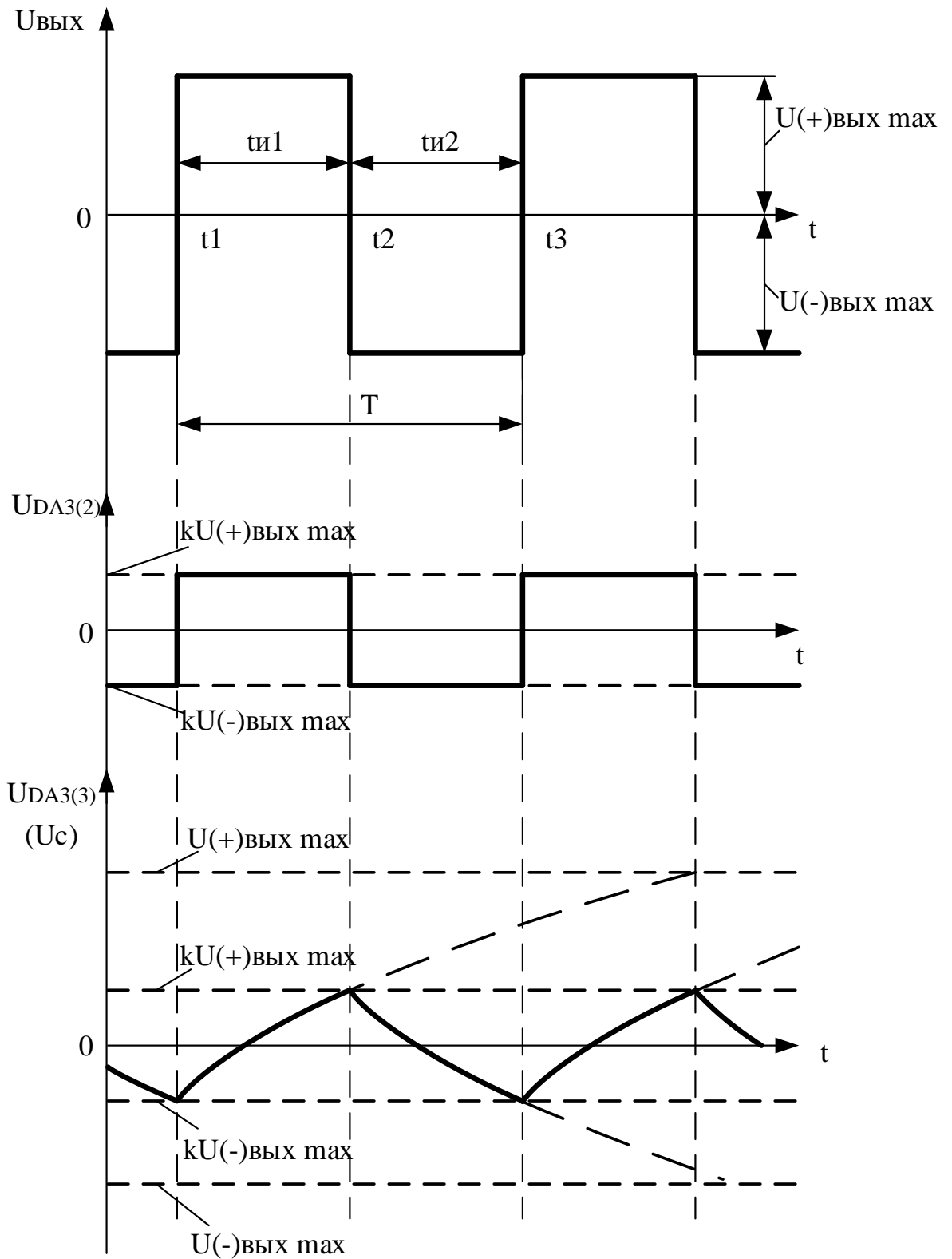


Рисунок 2.4 – Временные диаграммы работы генератора

Выбрали из [4] в качестве компаратора микросхему LM311N с типом корпуса DIP8. Паспортные данные микросхемы приведены в табл. 2.1:

Таблица 2.1 - Паспортные данные микросхемы LM311N

Наименование параметра	Значение параметра
Напряжение питания, $U_{ип}$, В	$\pm 1,5 \dots \pm 18$
Входной ток $I_{вх}$, нА	100...250
Выходной ток $I_{вых}$, мА	50
Ток потребления, $I_{пот}$, мА	5...7,5
Напряжение смещения нуля, $U_{см}$, мВ	2...7,5
Разность входных токов $dI_{вх}$, нА	6...50
Время установления (нарастания) выходного напряжения $t_{уст}$, мкс	0,04
Тепловое сопротивление R_T , мВт/С	9,5

Длительность импульса рассчитывается по формуле:

$$t_H = \tau \ln \frac{kU(-)_{\text{вых max}} + U(+)_{\text{вых max}}}{U(+)_{\text{вых max}} - kU(-)_{\text{вых max}}}, \quad (2.3)$$

где τ – постоянная времени заряда конденсатора.

Если принять для ОУ $U(+)_{\text{вых max}} = U(-)_{\text{вых max}}$, то:

$$t_H = 2\tau \ln\left(1 + 2\frac{R_2}{R_3}\right). \quad (2.4)$$

Из справочника [2] выбрали резистор R4, равный R2 и R3: МЛТ-0.125-20к±5%.

Длительность импульсов t_H является величиной, обратной частоте следования импульсов f_H , равной по условию 1400Гц:

$$t_{II} = \frac{1}{f_{и}} = \frac{1}{1400} = 0,7\text{мс.} \quad (2.5)$$

Значение τ определили, выразив его из (2.4):

$$\tau = \frac{t_{и}}{2\ln(1 + 2\frac{R2}{R3})} = \frac{0,7 \cdot 10^{-3}}{2\ln(1 + 2\frac{20 \cdot 10^3}{20 \cdot 10^3})} = 318\text{мкс.} \quad (2.6)$$

Емкость $C6$ определили по формуле:

$$C6 = \frac{\tau}{R4} = \frac{318 \cdot 10^{-6}}{20 \cdot 10^3} = 15,9\text{нФ.} \quad (2.7)$$

Из справочника [22] выбрали $C6$ - К10-17Б-15нФ-У5V.

Резистор $R5$ служит для ограничения тока, поскольку LM311N является компаратором с открытым коллектором. Рассчитали значение $R5$:

$$R5 = \frac{+U_{num} - (-U_{пит})}{I_{выхDA3}} = \frac{8 - (-8)}{50 \cdot 10^{-3}} = 320 \text{ Ом,} \quad (2.8)$$

где $+U_{num}$ - положительное напряжение питания, В;

$-U_{num}$ - отрицательное напряжение питания, В;

$I_{выхDA3}$ - выходной ток компаратора (табл. 2.1), А.

Рассчитали мощность резистора $R1$:

$$P_{R5} = I_{выхDA3}^2 \cdot R5 = 0,05^2 \cdot 320 = 0,8 \text{ Вт.} \quad (2.9)$$

Из справочника [2] выбрали $R5$: МЛТ-1-390Е $\pm 5\%$.

Для возможности изменения $f_{и}$ можно использовать вместо $R4$ переменный резистор, значение которого, соответственно (2.5)-(2.7), 30 кОм будет определять $f_{и} = 1$ кГц, а 15 кОм - $f_{и} = 2$ кГц.

Для усиления сигнала, поступающего непосредственно от генератора импульсов к нагрузке, необходим усилительный выходной каскад [13]. В качестве него использовали двухтактный каскад усиления мощности – комплементарный эмиттерный повторитель с непосредственным включением нагрузки (рис 2.5). В режиме покоя оба транзистора заперты. При подаче положительного $u_{вх}$ увеличивается ток $i_{к1}$ n-p-n транзистора VT1. Схема работает как эмиттерный повторитель. Транзистор VT2 заперт. При напряжении на входе $U_{вх} < 0$ VT1 заперт, ток $i_{к2}$ p-n-p транзистора VT2, протекающий через нагрузку, увеличивается и полярность напряжения на нагрузке становится противоположной. Таким образом, транзисторы вступают в работу поочередно в зависимости от полярности усиливаемого сигнала. Такой режим работы схемы называется двухтактным режимом В. К запертому транзистору прикладывается напряжение:

$$U_{к} = E_{к} + U_{вых}, \quad (2.10)$$

которое в пределе стремится к $2E_{к}$ ($E_{к} = U_{нум}$), что необходимо учесть при выборе транзистора.

«При $U_{вх} = 0$ оба транзистора заперты; следовательно, схема имеет малый ток покоя. Ток, потребляемый как от положительного, так и от отрицательного источника напряжения, равен току в нагрузке. Поэтому схема обладает существенно более высоким коэффициентом полезного действия по сравнению с обычным эмиттерным повторителем.»[22].

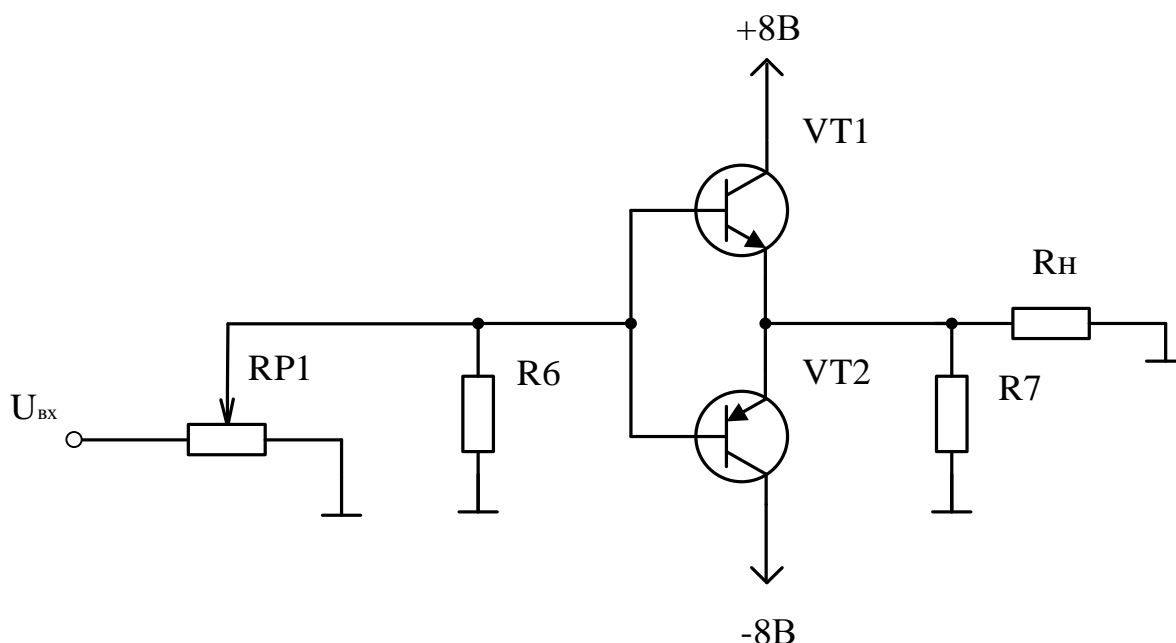


Рисунок 2.5 – Принципиальная схемы выходного каскада

«Еще одно различие состоит в том, что выходное напряжение при любой нагрузке может достигать $\pm E_k$, поскольку транзисторы не ограничивают выходной ток. Разность между входным и выходным напряжениями равна напряжению база - эмиттер открытого транзистора. При изменении нагрузки оно меняется незначительно. Таким образом, в схеме не требуется согласования нагрузки, и максимальная мощность на выходе определяется лишь предельным током и максимальной мощностью рассеяния используемых транзисторов.»[22]

Рассчитаем сопротивление нагрузки R_H (рис.1.6):

$$R_H = R8 + R9 = 48 + 1,8 \approx 50 \text{ Ом.} \quad (2.11)$$

Принимая во внимание все перечисленные выше условия, а также то, что выходной каскад должен обеспечивать ток нагрузки не менее $I_H = 100 \text{ мА}$, иметь высокий коэффициент передачи тока $h_{21Э}$, из [5] выбрали составные транзисторы КТ972А и КТ973А, параметры которых сведены в табл.2.2.

Таблица 2.2 - Параметры составных транзисторов КТ972А и КТ973А

Прибор	Параметр					
	$I_{к.маx}$, А	$P_{к.маx}$, Вт	$h_{21э}$	$U_{кэ.нас}$, В	$I_{кб0.макс}$, мкА	$U_{кб0 макс}$, В
КТ972А	4	8	750	1,5	1000	60
КТ973А	4	8	750	1,5	1000	60

Рассчитали I_H (так как схема симметрична, расчет провели для одного транзистора):

$$I_H = \frac{+U_{пит} - U_{КЭнас.} - U_{пр.VD}}{R_H} = \frac{8 - 1,5 - 1,2}{50} = 0,1A, \quad (2.12)$$

где $U_{КЭнас.}$ - напряжение коллектор-эмиттер транзистора в состоянии насыщения, В;

$U_{пр.VD}$ - прямое падение напряжение на одном из исследуемых диодов VD7-VD11 (табл1.1) В;

R_H - сопротивление нагрузки, Ом.

Рассчитали сопротивление R7, служащее для защиты при отключении нагрузки, исходя из того, что ток через него I_{R7} должен быть примерно в 20 раз меньше I_H :

$$R7 = \frac{+U_{пит} - U_{КЭнас.}}{I_{R7}} = \frac{8 - 1,5}{0,005} = 1300 \text{ Ом}. \quad (2.14)$$

По (2.9) вычислили мощность:

$$P_{R7} = I_{R7}^2 \cdot R7 = 0,005^2 \cdot 1300 = 0,03 \text{ Вт}.$$

Из справочника [2] выбрали R7: МЛТ-0,125-1К2 $\pm 5\%$.

Определили ток базы транзисторов:

$$I_{\text{БВТ1}} = \frac{5 \cdot (I_{\text{H}} + I_{\text{R7}})}{h_{21Э}} = \frac{5 \cdot (0,1 + 0,005)}{750} = 0,7 \text{ мА}. \quad (2.15)$$

$I_{\text{БВТ2}}$ рассчитывается аналогично.

Для возможности регулирования амплитуды выходного сигнала применили потенциометр RP1 так, чтобы выполнялись условия: $RP1 \gg R5$, падение напряжения на нем U_{RP1} было порядка нескольких вольт. Приняли $RP1=4,7$ кОм. Определили U_{RP1} :

$$U_{\text{RP1}} = I_{\text{БВТ1}} \cdot RP1 = 0,0007 \cdot 4700 = 3,3 \text{ В}. \quad (2.16)$$

Выбрали из [2] RP1: СПЗ-4аМ-4К7.

Во избежание появления “режима с оборванной базой” использовали R6, руководствуясь тем, что ток через него I_{R6} должен быть меньше $I_{\text{БВТ1}}$ в 4 раза:

$$R6 = \frac{+U_{\text{пит}} - U_{\text{RP1}}}{I_{\text{R6}}} = \frac{8 - 3,3}{0,0002} = 23500 \text{ Ом}. \quad (2.17)$$

По (2.9) вычислили мощность:

$$P_{\text{R6}} = I_{\text{R6}}^2 \cdot R6 = 0,0002^2 \cdot 23500 = 0,1 \text{ мВт}.$$

Из справочника [2] выбрали R6: МЛТ-0,125-22К $\pm 5\%$.

В исследуемую схему добавили резистор R10 МЛТ-0,125-2К7 $\pm 5\%$, через который происходит рассасывание неосновных носителей при снятии напряжения с исследуемого диода.

2.5. Блок питания

Блок питания разрабатываемой схемы служит для преобразования напряжения сети 220В, 50 Гц до величин $\pm 8\text{В}$, необходимых для работы ИМС и активных элементов схемы. Электрическая принципиальная схема блока питания приведена на рис.2.9.

Поскольку источник питания должен обеспечивать стабилизацию напряжения на уровне $\pm 8\text{В}$, применили стабилизаторы напряжения 7808 и 7908, параметры которых приведены в табл. 2.8.

Таблица 2.8

Параметры стабилизаторов

Прибор	Параметр		
	$U_{\text{стаб}}, \text{В}$	$I_{\text{max}}, \text{А}$	$P_{\text{max}}, \text{Вт}$
7808	+8	1,5	10
7908	-8	1,5	10

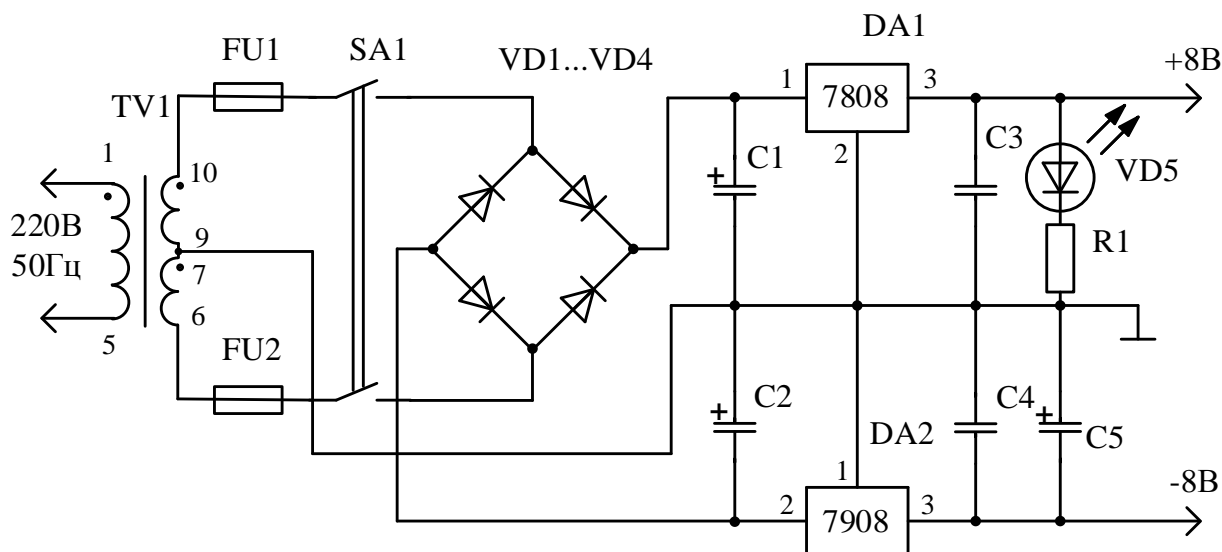


Рисунок 2.9 – Электрическая принципиальная схем блока питания

Согласно рекомендациям по применению стабилизаторов серий 78 и 79 на входе стабилизаторов необходимы сглаживающие конденсаторы C1 и C2.

На выходах DA1 и DA2 разместили керамические конденсаторы C3 и C4, служащих для защиты от высокочастотных помех. Во время проверки работоспособности генератора оказалось, что сигнал с DA2 не является достаточно стабилизированным, поэтому дополнительно применили электролитический конденсатор C5.

Из справочника [22] выбрали:

C1: K50-6-25B-1000мкФ±20%;

C2: K50-6-25B-470мкФ±20%;

C3: K10-17Б-470нФ-Y5V;

C4: K10-17Б-470нФ-Y5V;

C5: K50-6-16B-10мкФ±20%.

Входное напряжение стабилизатора $U_{вх.DA}$ должно превышать выходное (8 В) на 2-3 В, поэтому приняли напряжение на входе равным 11 В.

Диоды VD1...VD4, собранные по мостовой схеме, осуществляют выпрямление напряжения со вторичной обмотки трансформатора TV1. В качестве диодов из [18] выбрали 1N4007, параметры которого сведены в табл.2.9.

Таблица 2.9 - Параметры диода 1N4007

Прибор	Параметр			
	$U_{обр\ max}$, В	$I_{пр.\max}$, А	$U_{пр\ max}$, В	$I_{обр\ max}$, мкА
1N4007	1000	1	0,8	30

Вычислили, на какое напряжение U_2 должна быть рассчитана вторичная обмотка TV1:

$$U_2 = U_{ex.DA} + U_{np.VD} = 11 + 0,8 = 11,8 \text{ В}, \quad (2.24)$$

где $U_{np.VD}$ - прямое падение напряжения на диоде 1N4007, В.

Выбрали из [6] малогабаритный сетевой трансформатор ТПК-2-2×12В в герметичном корпусе с двумя вторичными обмотками на 12 В. Параметры представили в виде табл. 2.10.

Таблица 2.10 - Параметры трансформатора ТПК-2-2×12В

Прибор	Параметр					
	U_1 ,В	U_2 ,В	U_{2xx}	$U_{2.ном}$,А	$P_{к.\max}$,Вт	Масса,г
ТПК-2-2×12В	220	2×12	2×15,2	0,1	2,5	110

Для защиты цепи от короткого замыкания применили плавкий предохранитель на 250 мА в количестве двух штук (FU1 и FU2) ВП2Б-1.

С помощью переключателя SA1 производится включение и отключение питания. В качестве него выбрали малогабаритный тумблер МТДЗ, рассчитанный на максимальный коммутируемый ток 2А и напряжение 250В.

Для визуального наблюдения подачи напряжения на схему, применили светоизлучающий диод АЛ307А красного цвета [17], параметры которого приведены в табл.2.11.

Таблица 2.11 - Параметры светодиода АЛ307А

Прибор	Параметр			
	$U_{\text{пр ном}}, \text{ В}$	$I_{\text{пр ном}}, \text{ мА}$	$U_{\text{обр max}}, \text{ В}$	$I_{\text{пр.max}}, \text{ мА}$
АЛ307А	2	10	2	20

Последовательно VD5 поставили токоограничивающий резистор R1, значение сопротивления которого определили по формуле:

$$R1 = \frac{+U_{\text{пит}} - U_{\text{пр.VD5}}}{I_{\text{VD5}}} = \frac{8 - 2}{10 \cdot 10^{-3}} = 600 \text{ Ом}, \quad (2.25)$$

где I_{VD5} - номинальный ток светодиода, А;

$+U_{\text{пит}}$ - напряжение питания +8, В;

$U_{\text{пр.VD5}}$ - прямое падение напряжения на светодиоде, В.

Рассчитали мощность резистора R1:

$$P_{R1} = I_{\text{VD1}}^2 \cdot R1 = 0,01^2 \cdot 600 = 0,06 \text{ Вт}. \quad (2.26)$$

Из справочника [2] выбрали R1: МЛТ-0,125-680Е ±5%.

Схема электрическая принципиальная генератора приведена на рис. 2.10.

Блок питания для генератора импульсов на микроконтроллере аналогичен рассчитанному выше, за исключением того, что используются стабилизаторы 7805 и 7905, выдающие ±5 В, а резистор R1 (на схеме R4) имеет номинал МЛТ-0,125-300Е ±5% (рассчитали по (2.25)).

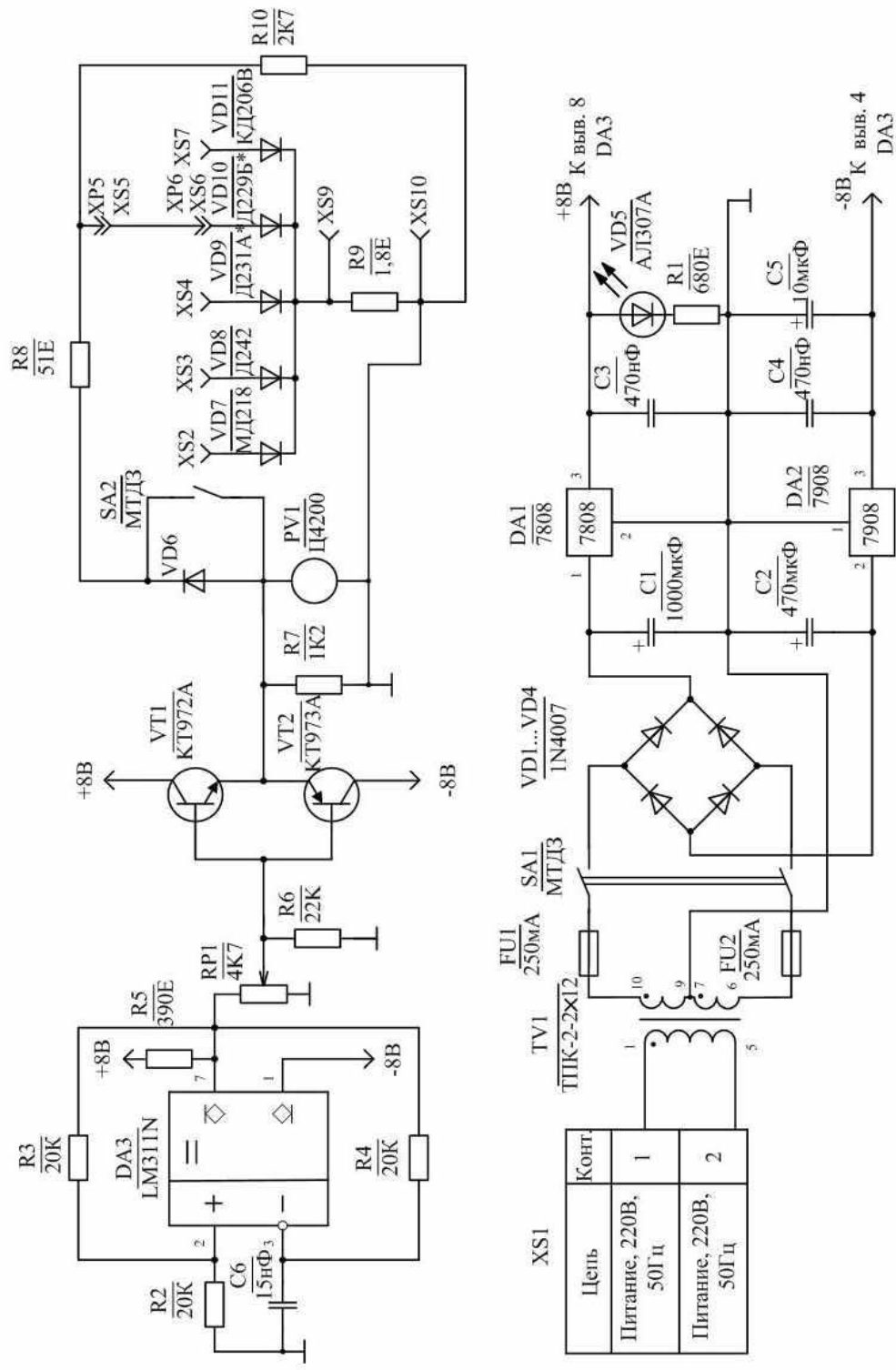


Рисунок 2.10 – Электрическая принципиальная схема генератора.

Выводы

В данном разделе произведены разработка и расчета генератора прямоугольных импульсов. Разработана схема и выбраны ее элементы.

3. Разработка печатной платы генератора

3.1. Общие сведения о печатной плате

Печатная плата представляет собой плоское изоляционное основание, на котором расположены токопроводящие полоски металла (проводники) в соответствии с электрической схемой. Печатная плата служит для монтажа радиоэлементов с последующей их пайкой.

«Применение печатных плат позволяет облегчить настройку аппаратуры и исключить возможность ошибок при ее монтаже, а также уменьшить габаритные размеры изделия, облегчить отвод тепла, снизить металлоемкость аппаратуры. Использование печатных плат также обеспечивает и другие конструктивно-технологические преимущества по сравнению с объемным монтажом.»[14].

3.2. Разработка печатной платы

«Процесс разработки печатной платы складывается из нескольких этапов, главным из которых является компоновка, в процессе которой находится оптимальное размещение навесных элементов на печатной плате.»[14]

Разработку конструкции проводили для генератора прямоугольных импульсов на аналоговых ИМС с помощью программы разводения печатных плат Sprint Layout 4.0. Для этого на электрической принципиальной схеме указали все соединения применительно к корпусам приборов (корпуса взяли из соответствующих справочников). После этого, элементы последовательно расположили на прорисовываемой печатной плате устройства. Отверстия располагали в узлах координатной сетки с шагом 2,54 мм.

«Габаритные размеры, конфигурация и место крепления печатной платы выбираются в зависимости от установочных размеров, элементной базы, пайки, контроля и технико-экономических показателей.»[14]

«Стороны прямоугольной печатной платы располагаются параллельно линиям координатной сетки. Отверстия и элементы проводящего рисунка

располагаются на печатной плате относительно базы координат. Элементы проводящего рисунка располагаются от края платы на расстоянии не менее толщины платы с учетом допусков на линейные размеры. Центры монтажных отверстий располагаем в узлах координатной сетки. Если устанавливаемый на печатную плату элемент имеет два вывода или более, расстояние между которыми кратно шагу координатной сетки, то отверстия под все такие выводы располагаем в узлах сетки.»[14].

Поскольку устройство содержит не большое количество элементов, печатную плату выполнили односторонней размером 120×80 мм. Плата содержит помимо радиоэлементов разъем для подключения напряжения питания и внешние проводники, соединяющие ее с переключателем, сигнальным светодиодом, потенциометром.

Печатная плата генератора прямоугольных импульсов на аналоговых ИМС представлена на рис. 3.1.

«Токопроводящий слой создавали химическим методом. При этом проводники получают травлением фольги. Для того чтобы к печатному проводнику можно было припаять проводник или вывод элемента, на проводнике существует контактная площадка в виде участка с увеличенной шириной.

Толщину материала основания печатной платы определили в зависимости от нагрузки. Для изготовления печатной платы использовали фольгированный стеклотекстолит СФ-1-50. Данный материал представляет собой изоляционный материал с приклеенной к нему с одной стороны фольгой.»[14]

«Предпочтительными значениями номинальных толщин односторонних печатных плат являются: 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3 мм. Принимаем толщину 1,5 мм.

Диаметр отверстий в печатной плате должен быть больше диаметра, вставляемого в него вывода, что обеспечивает возможность свободной установки элемента.»[14]

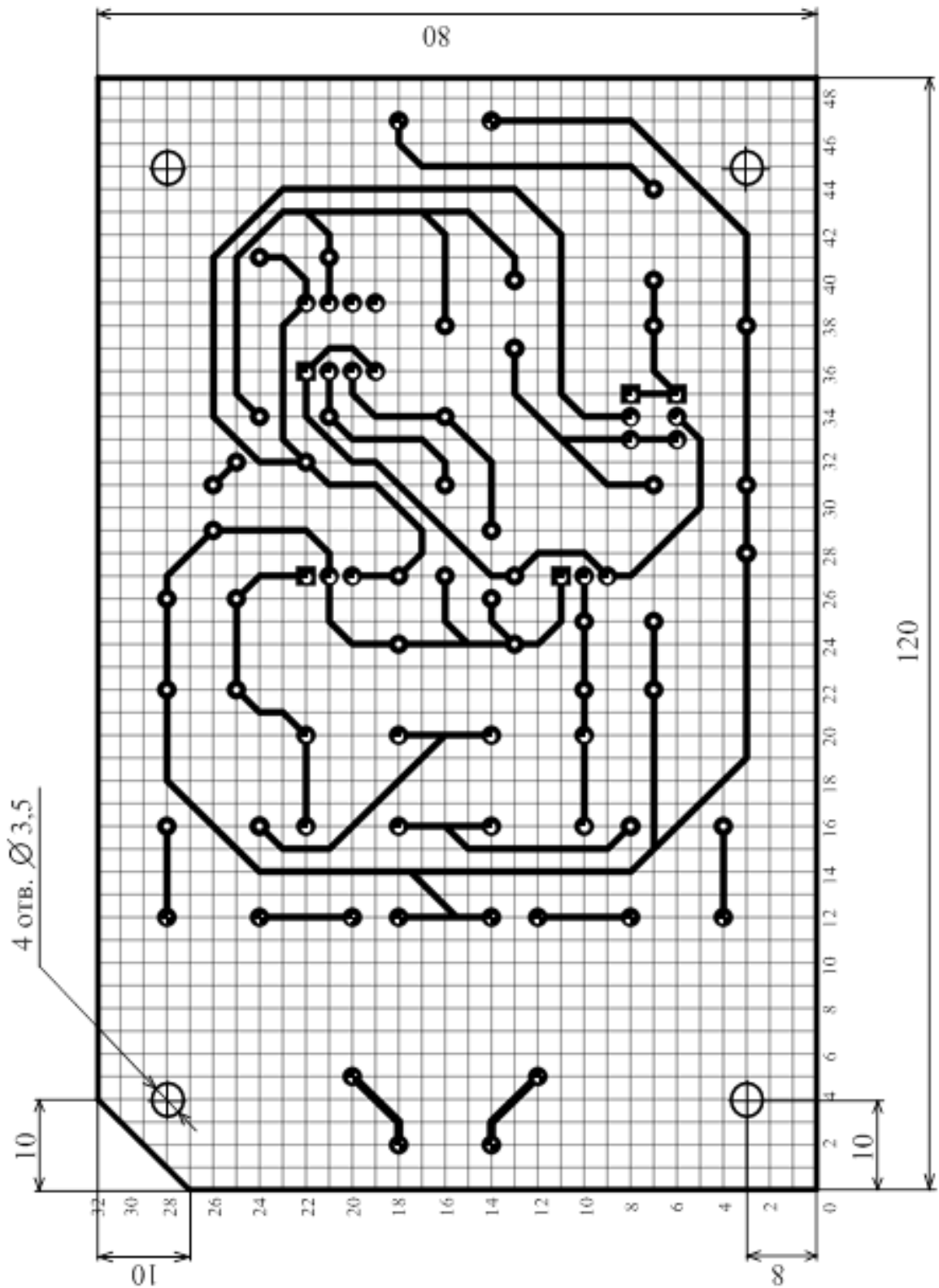


Рисунок 3.1 - Печатная плата устройства

«В узких местах значение минимально допустимой ширины проводника приняли равной 1,2 мм, минимально допустимое расстояние между проводниками – 1 мм. В свободных местах значение минимально допустимой ширины проводника приняли равной 1,6 мм. Толщину проводников, идущих к сети, приняли равными 2 мм.»[14].

«Проводники располагаются равномерно по полезной площади печатной платы с учетом следующих требований: параллельно линиям координатной сетки или под углом, кратным 15° ; параллельно движения волны припоя или под углом к нему не более 30° со стороны пайки, если проводящий рисунок не покрыт защитной маской; перпендикулярно касательной к контуру проводящей площади.»[14].

Изображение рисунка печатной платы в масштабе 1:1 без координатной сетки – рис.3.2, с расположением на ней элементов – рис.3.3.

Выводы

В данной главе описаны требования, предъявляемые к печатным платам и разведена печатная плата разработанного устройства.

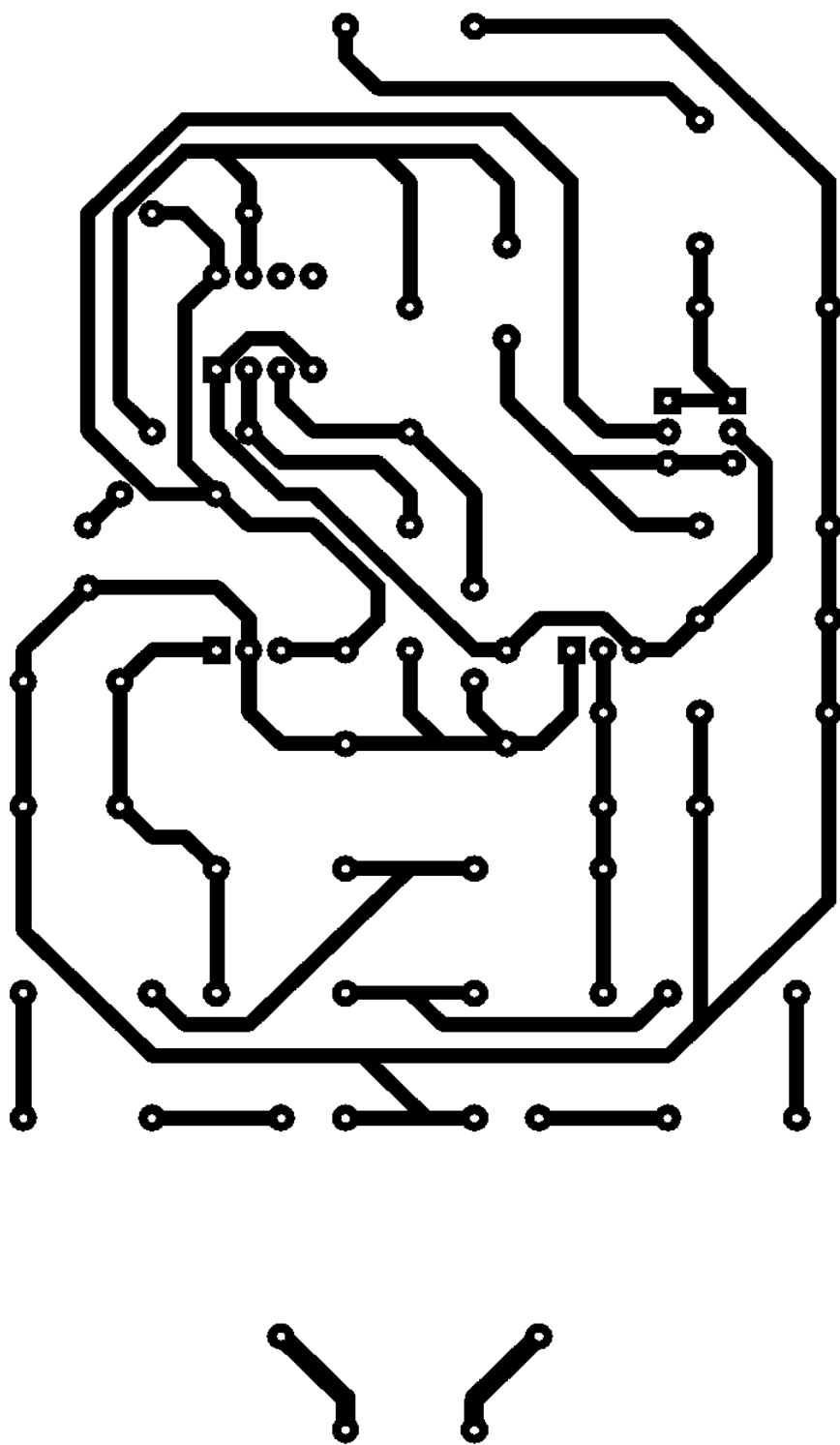


Рисунок 3.2 - Изображение рисунка печатной платы

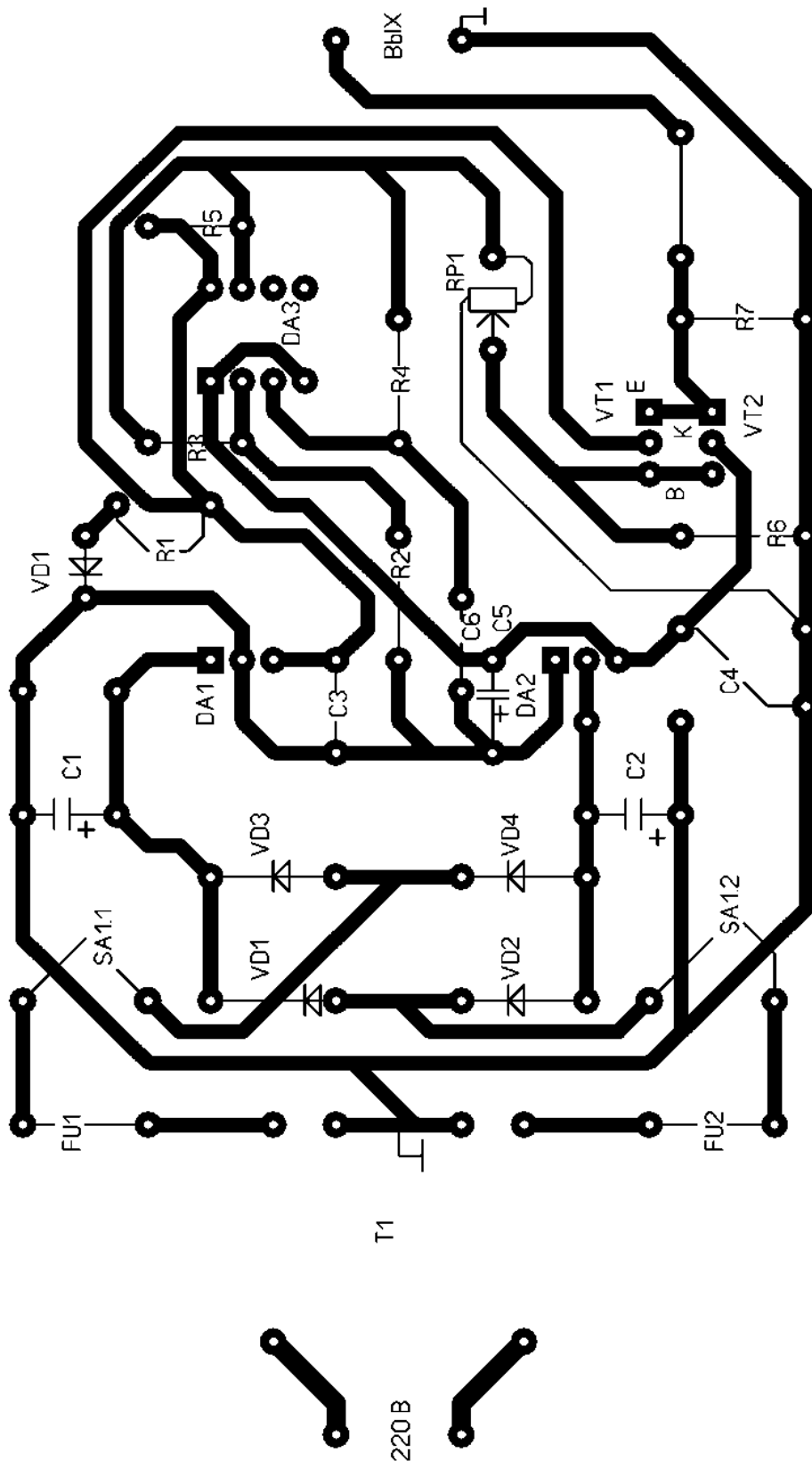


Рисунок 3.3 - Рисунок печатной платы с расположением элементов

4. Эффективность работы

4.1. Организационное обоснование научно-исследовательской работы

«Для выполнения научных исследований большое значение имеет правильная организация работы исполнителей и определение выполнения работ.

Организационное обоснование НИР заключается в определении состава работ, их последовательности и трудоемкости, количества ответственных исполнителей, составлении графика на выполнение работы. При этом работы группируют в укрупненные этапы и стадии. Перечень работ приведен в таблице 4.1:»[17]

Таблица 4.1 - Перечень работ

№ стадии	Наименование стадии	№ этапа работ	Наименование этапа работ
1	2	3	4
1	Обоснование темы исследования	1.1	Сбор информации по теме исследования
		1.2	Составление обзора состояния вопроса по теме исследования
		1.3	Предварительное технико-экономическое обоснование целесообразности проведения исследования
		1.4	Организационное обоснование НИР

Продолжение табл. 4.1

1	2	3	4
2	Теоретические исследования	2.1	Анализ исходных данных и источников информации
		2.2	Определение назначения и основных характеристик лабораторного стенда
		2.3	Составление частных методик для проведения исследования (определение условий эксплуатации и технических требований к лабораторному стенду)
		2.4	Теоретические исследования и определение путей решения задачи создания новых конструкций
3	Разработка и конструирование генератора прямоугольных импульсов,	3.1	Разработка структурных схем
		3.2	Разработка принципиальных схем
		3.3	Расчет основных параметров схем
		3.4	Снятие экспериментальных данных

Продолжение табл. 4.1

1	2	3	4
4	Оценка безопасности и экологичности	4.1	Определение безопасности и экологичности объекта дипломного проекта
5	Экономическая оценка НИР и выводы по результатам исследований	5.1	Расчет показателей экономической эффективности НИР
		5.2	Оформление результатов
		5.3	Согласование результатов работы с руководителем дипломного проектирования

«После составления перечня работ определили время на их выполнение, количество исполнителей, длительность цикла выполнения каждого этапа работ. Длительность цикла выполнения каждого этапа работ с учетом конкретных исполнителей определили по формуле:

$$T_{Ц.Р.} = \frac{T_{P.i}}{N_{u.i}}, \quad (4.1)$$

где $T_{p.i}$ – трудоемкость i -го этапа работ, чел. – дни;

$N_{u.i}$ – количество исполнителей i -го этапа.

Данные расчета оформили в виде таблицы 4.2:» [17]

Таблица 4.2 -Трудоемкость, длительность циклов выполнения работ

№ этапа работ	Трудоемкость выполнения работ, чел. -дни	Количество исполнителей, чел.	Длительность цикла выполнения работ, дни
1.1	5	1	5
1.2	10	2	5
1.3	8	2	4
1.4	6	1	6
2.1	5	1	5
2.2	3	1	3
2.3	10	2	5
2.4	10	2	5
3.1	5	1	10
3.2	7	1	7
3.3	8	1	8
3.4	14	2	7
4.1	5	1	5
5.1	5	1	5
5.2	7	1	7
5.3	30	2	15

«Для определения фактической продолжительности цикла выполнения НИР составили сетевой график с учетом возможности совмещения по времени выполнения некоторых этапов работ. Для построения сетевого графика предварительно составили перечень событий и работ (табл. 4.3).» [17]

Таблица 4.3 - Перечень событий и работ

№ события		Наименование работы	Индекс этапа работы	Продолжительность этапа работы, дни
Порядковый	Предшествующий			
1	2	3	4	5
1	0	Сбор информации по теме исследования	0-1	5
2	1	Составление обзора состояния вопроса по теме исследования	1-2	5
4	3	Предварительное технико-экономическое обоснование целесообразности проведения исследования	3-4	4
6	4	Организационное обоснование НИР	4-6	6
3	1	Анализ исходных данных и источников информации	1-3	5
4	2	Определение назначения и основных характеристик установки	2-4	3
5	3	Составление частных методик для проведения исследования (определение условий эксплуа-	3-5	5

1	2	3	4	5
		тации и технических требований к установке)		
7	6	Теоретические исследования и определение путей решения задачи создания новых конструкций	6-7	5
8	6	Разработка структурных схем	6-8	10
7	5	Разработка принципиальных	5-7	7
8	7	Расчет основных параметров	7-8	8
9	8	Снятие экспериментальных дан-	8-9	7
10	9	Расчет показателей экономической эффективности НИР	9-10	5
11	10	Определение безопасности и экологичности объекта дипломного	10-11	5
12	11	Оформление результатов	11-12	7
13	12	Согласование результатов работы с руководителем дипломного про-	12-13	15

Построили сетевой график, изображенный на рис. 4.1.

Определили продолжительность путей:

$$T_i = \sum T_{ц.р.}(i), \quad (4.2.)$$

где $T_{ц.р.}(i)$ - длительность этапов работы, входящих в путь T_i .

$$T_1(0-1-2-4-6-8-9-10-11-12-13) = 5+5+3+6+10+7+5+5+7+15 = 68 \text{ дней};$$

$$T_2(0-1-2-4-6-7-8-9-10-11-12-13) = 5+5+3+6+5+8+7+5+5+7+15 = 71 \text{ день};$$

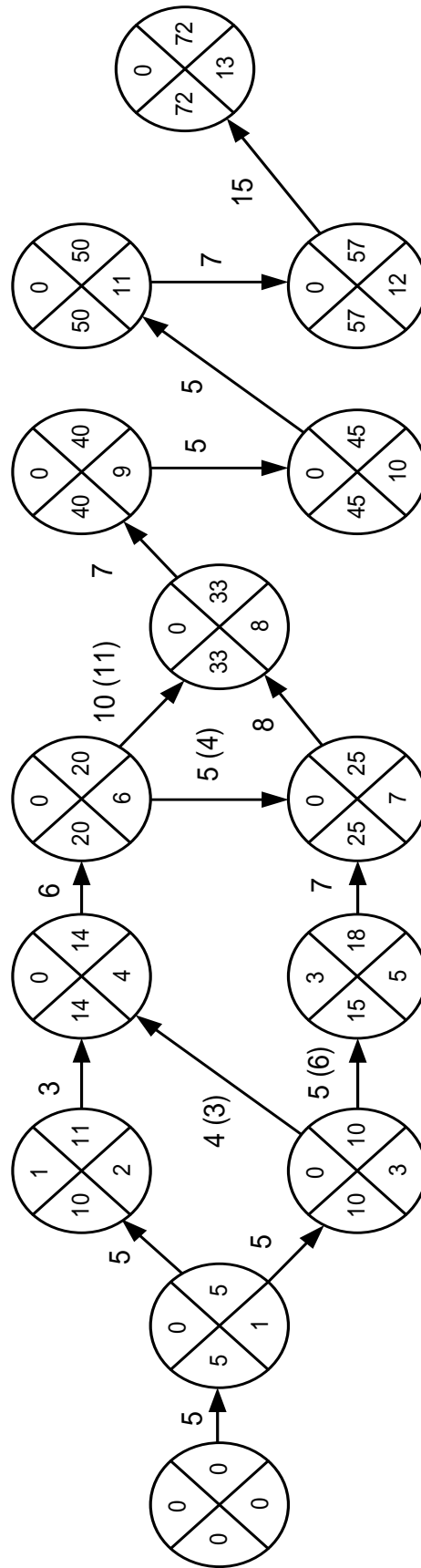


Рисунок 4.1 – Сетевой график

$$T3(0-1-3-4-6-8-9-10-11-12-13) = 5+5+4+6+10+7+5+5+7+15 = 69 \text{ дней};$$

$$T4(0-1-3-4-6-7-8-9-10-11-12-13) = 5+5+4+6+5+8+7+5+5+7+15 = 72 \text{ дня};$$

$$T5(0-1-3-5-7-8-9-10-11-12-13) = 5+5+5+7+8+7+5+5+7+15 = 69 \text{ дней}.$$

Путь T4 является критическим и превышает время, отпущенное на дипломное проектирование – 70 дней. Поэтому выполнили оптимизацию сетевого графика:

Определили ранние сроки выполнения событий:

$$Tr1 = 0 + 5 = 5 \text{ дней};$$

$$Tr2 = 5 + 5 = 10 \text{ дней};$$

$$Tr3 = 5 + 5 = 10 \text{ дней};$$

$$Tr4' = 10 + 3 = 13 \text{ дней}, Tr4'' = 10 + 4 = 14 \text{ дней}; Tr4 = 14 \text{ дней};$$

$$Tr5 = 10 + 5 = 15 \text{ дней};$$

$$Tr6 = 14 + 6 = 20 \text{ дней};$$

$$Tr7' = 15 + 7 = 22 \text{ дня}, Tr7'' = 20 + 5 = 25 \text{ дней}; Tr7 = 25 \text{ дней};$$

$$Tr8' = 20 + 10 = 30 \text{ дней}, Tr8'' = 25 + 8 = 33 \text{ дня}; Tr8 = 33 \text{ дня};$$

$$Tr9 = 33 + 7 = 40 \text{ дней};$$

$$Tr10 = 40 + 5 = 45 \text{ дней};$$

$$Tr11 = 45 + 5 = 50 \text{ дней};$$

$$Tr12 = 50 + 7 = 57 \text{ дней};$$

$$Tr13 = 57 + 15 = 72 \text{ дня}.$$

Определили поздние сроки совершения событий:

$$Tn13 = Tr13 = 72 \text{ дня};$$

$$Tn12 = Tr12 = 57 \text{ дней};$$

$$Tn11 = Tr11 = 50 \text{ дней};$$

$$Tn10 = Tp10 = 45 \text{ дней};$$

$$Tn9 = Tp9 = 40 \text{ дней};$$

$$Tn8 = Tp8 = 33 \text{ дня};$$

$$Tn7 = Tp7 = 25 \text{ дней};$$

$$Tp6' = 33 - 10 = 23 \text{ дня}, Tp6'' = 25 - 5 = 20 \text{ дней}; Tp6 = 20 \text{ дней};$$

$$Tp5 = 25 - 7 = 18 \text{ дней};$$

$$Tn4 = Tp4 = 14 \text{ дней};$$

$$Tn3 = Tp3 = 10 \text{ дней};$$

$$Tp2 = 14 - 3 = 11 \text{ дней};$$

$$Tn1 = Tp1 = 5 \text{ дней}.$$

Определили резервы времени:

$$Трез1 = 5 - 5 = 0 \text{ дней};$$

$$Трез2 = 11 - 10 = 1 \text{ день};$$

$$Трез3 = 10 - 10 = 0 \text{ дней};$$

$$Трез4 = 14 - 14 = 0 \text{ дней};$$

$$Трез5 = 18 - 15 = 3 \text{ дня};$$

$$Трез6 = 20 - 20 = 0 \text{ дней};$$

$$Трез7 = 25 - 25 = 0 \text{ дней};$$

$$Трез8 = 33 - 33 = 0 \text{ дней};$$

$$Трез9 = 40 - 40 = 0 \text{ дней};$$

$$Трез10 = 50 - 50 = 0 \text{ дней};$$

$$Трез11 = 57 - 57 = 0 \text{ дней};$$

$$T_{рез12} = 72 - 72 = 0 \text{ дней};$$

$$T_{рез13} = 5 - 5 = 0 \text{ дней}.$$

Определили оптимальную продолжительность пути:

$$T_{оп} = \frac{T1 + T2 + T3 + T4 + T5}{5}, \quad (4.2)$$

$$T_{оп} = \frac{68 + 71 + 69 + 72 + 69}{5} = 69,8.$$

Порядок оптимизации привели в табл.4.4:

Таблица 4.4 - Оптимизация сетевого графика

Шифр пути	Начальная продолжительность пути	Этапы оптимизации		
		1	2	Результат
T1	68 дней	+1	-	69
T2	71 день	-1	-	70
T3	69 дней	+1	-1	69
T4	72 дня	-1	-1	70
T5	69 дней	-	+1	70

Перебросили силы и средства в количестве 1-го дня с этапа работы 6-7 пути T2 на этап работы 6-8 пути T1, затем перебросили силы и средства в количестве 1-го дня с этапа работы 3-4 пути T3 на этап работы 3-5 пути T5.

В результате оптимизации получили:

$$T1 = 5 + 5 + 3 + 6 + 11 + 7 + 5 + 5 + 7 + 15 = 69 \text{ дней};$$

$$T2 = 5 + 5 + 3 + 6 + 4 + 8 + 7 + 5 + 5 + 7 + 15 = 70 \text{ дней};$$

$$T3 = 5 + 5 + 3 + 6 + 11 + 7 + 5 + 5 + 7 + 15 = 69 \text{ дней};$$

$$T4 = 5 + 5 + 3 + 6 + 4 + 8 + 7 + 5 + 5 + 7 + 15 = 70 \text{ дней};$$

$$T5 = 5 + 5 + 6 + 7 + 8 + 7 + 5 + 5 + 7 + 15 = 70 \text{ дней}.$$

4.2. Экономическое обоснование НИР

«Для определения экономической эффективности внедрения новой техники и прогрессивной технологии применяется комплекс основных и дополнительных показателей, с помощью которых возможно установить, является ли данное мероприятие экономически эффективным, а также выявить величин годового экономического эффекта.

Особенностью экономического обоснования научных исследований поискового характера является то, что по ним трудно, а порою невозможно определить прямой экономический эффект, хотя своей целью они имеют получение эффекта в перспективе. Для доказательства необходимости работ такого типа требуется обоснование цели исследования и практической значимости их результатов.

Практическая значимость работы состоит в улучшении и упрощении методики повышения уровня подготовки студентов специальности 200400.

Определили затраты, связанные с выполнением НИР (табл. 4.5).» [17]

Таблица 4.5 -Перечень затрат

Наименование затрат	Единицы измерения	Величина
1	2	3
1. Директивное время на проведение НИР	дни	70
2. Среднемесячные оклады $Z_{итри}$		
- научный руководитель	руб.	4907,9
3. Отчисления на социальные нужды $K_{соц}$:	%	26,2
- в пенсионный фонд	%	18
- в фонд медицинского страхования	%	6
- в фонд социального страхования	%	2,2
4. Коэффициент накладных расходов $K_{нр}$	-	0,6
5. Стоимость 1 кВт/ч электроэнергии $C_{эл}$	руб.	3,5
6. Установленная типовая мощность оборудования $N_{уст}$:		
- персональный компьютер	кВт	0,35
7. Годовая норма амортизационных отчислений N_a	%	13
10. Первоначальная стоимость оборудования $C_{об}$:		
- персональный компьютер	руб.	17358

«Затраты на НИР носят предпроизводственный характер и включают в себя текущие затраты на проведение исследования и капитальные затраты.

$$Z_{пред.НИР} = Z_{т.НИР} + Z_{к.НИР} E_n \quad (4.4)$$

где $Z_{т.НИР}$ - текущие затраты на НИР;

$Z_{к.НИР}$ - капитальные затраты на НИР;

$E_n = 0,33$ — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений.

4.2.1. Расчет капитальных затрат

«Капитальные затраты на НИР включают стоимость оборудования, стендов, приборов, дорогостоящих инструментов, необходимых для проведения работы. Рассчитанные капитальные затраты свели в табл. 4.6:» [17]

Таблица 4.6 - Расчет капитальных затрат

№ п/п	Наименование компонента	Количество, шт.	Цена за 1 шт., руб.	Стоимость всего количества, руб.
1	Процессор Intel Celeron 2.4GHz	1	1480	1480
2	Материнская плата Gigabyte GA-81PE1000G, i865PE	1	2210	2210
3	Оперативная память DDR-400, 512 MB	1	1602	1602
4	Видеокарта Asustek V9950ULTRA GeForce FX 5900	1	2567	2567
4	Жесткий диск Seagate Barracuda SATA 7200, 80 GB	1	2106	2106
5	Монитор 17" CTX EX710F	1	4120	4120
6	Дисковод Mitsumi 3.5", 1.44MB	1	310	310
7	Привод DVD-R/RW Nec ND-3450A	1	1549	1549
8	Корпус MidiTower ATX LinkWorld 350W	1	1085	1085
9	Клавиатура Mitsumi PS/2	1	184	184
10	Мышь A4 TECH SWOP-48 PS/2	1	145	145
Итого				17358

4.2.2. Расчет капитальных затрат

«К текущим затратам НИР относят:

- заработную плату исполнителей;
- отчисления на социальные нужды;
- затраты на электроэнергию силовую;
- амортизационные отчисления;
- накладные расходы.

1) В выполнении НИР принимали участие научные работники. Их заработная плата рассчитывали дифференцировано, исходя из установленного месячного оклада и необходимого количества времени на проведение научно-исследовательской работы. Расчет оформили в виде таблицы 4.7 » [17]

Таблица 4.7 - Расчет заработной платы исполнителей

№ п/п	Наименование должностей	Численность исполнителей, чел.	Месячный оклад, руб.	Часовая ставка, руб.	Количество отработанных часов	Сумма заработной платы, руб.
1	Научный руководитель	1	4907,9	54,53	22	1199,7
2	Студент	1	-	-	160	-
Итого						1199,7

2) «Отчисления на социальные нужды производятся в размере установленных процентов от общей суммы заработной платы всех исполнителей

$$Z_{\text{соц.н.}} = Z_{\text{зарпл.}} \cdot K_{\text{соц.}} \quad (4.5)$$

Подставили в (5.3) значения:

$$Z_{\text{соц.н.}} = 1199,7 \cdot 0,262 = 314,3 \text{ руб.}$$

3) Расчет затрат на силовую энергию

$$Z_{эл} = Q_{эл} \cdot C_{эл}, \quad (4.6)$$

Подставили в (5.4) значения:

$$Z_{эл} = 52,5 \cdot 0,92 = 48,3 \text{ руб},$$

где $C_{эл}$ – стоимость электроэнергии за 1 кВт·ч;

$Q_{эл}$ – количество электроэнергии:

$$Q_{эл} = n_{эксп} \cdot N_{уст} \cdot K_{исп} \cdot t_{маш}, \quad (4.7)$$

где $n_{эксп}$ – число параллельных экспериментов;

$N_{уст}$ – установленная типовая мощность прибора, кВт;

$K_{исп}$ – коэффициент использования оборудования по мощности;

$t_{маш}$ – машинное время работы оборудования:

$$t_{маш} = T_{об} \cdot t, \quad (4.8)$$

где $T_{об}$ – количество дней работы оборудования;» [17]

$t = 3$ – количество часов работы в день;

$$t_{маш} = 50 \cdot 3 = 150 \text{ ч};$$

$$Q_{эл} = 1 \cdot 0,35 \cdot 1 \cdot 150 = 52,5 \text{ кВт·ч}.$$

Расчет затрат на силовую электроэнергию свели в таблицу 4.8.

Таблица 4.8 – Расчет затрат на силовую электроэнергию

Наименование прибора	Дни работы оборудования $T_{об}$, дни	Мощность оборудования $N_{уст}$, кВт	Машинное время $t_{маш}$, час	Кол-во электроэнергии $Q_{эл}$, кВт·ч	Затраты на электроэнергию $Z_{эл}$, руб
Персональный компьютер	50	0,35	150	52,5	48,3
Итого					48,3

4) Расчет амортизационных отчислений

$$Z_{AM} = \frac{C_{OB} \cdot H_A \cdot \sum t_{маш}}{100 \cdot F_{эф.г.}}, \quad (4.9)$$

где $C_{об}$ – первоначальная стоимость оборудования;

$H_a = 13\%$ - годовая норма амортизационных отчислений;

$\sum t_{маш} = 150$ – суммарное машинное время работы оборудования, ч;

$F_{эф.г.}$ – эффективный годовой фонд рабочего времени оборудования, ч.

$F_{эф.г.}$ рассчитали по формуле:

$$F_{эф.г.} = (D_p \cdot T_{ч} - D_{пр} \cdot T_{ч}) \cdot C, \quad (4.10)$$

где $C = 1$ – коэффициент;

D_p – количество рабочих дней в году, дни;

$D_{пр}$ – количество праздничных дней в году, дни;

$T_{ч}$ – продолжительность рабочего дня, ч.

$$F_{эф.г.} = [(365 - 105) \cdot 8 - 11 \cdot 8] \cdot 1 = 1992. \text{ ч.}$$

Подставив в (5.7) значения, получим:

$$Z_{AM} = \frac{17358 \cdot 13 \cdot 150}{100 \cdot 1992} = 169,9 \text{ руб.}$$

Расчет амортизационных отчислений сведен в таблицу 4.9.

Таблица 4.9 - Амортизационные отчисления

Наименование прибора	Первоначальная стоимость $C_{об}$, руб	Машинное время $\sum t_{маш}$, ч	Затраты на амортизацию $Z_{ам}$, руб
Персональный компьютер	17358	150	169,9
Итого			169,9

5) Накладные расходы

$$H_p = Z_{\Sigma} \cdot K_{пр}, \quad (4.11)$$

где Z_{Σ} - затраты на заработную исполнителей, руб;

$K_{нр} = 0,6$ – коэффициент накладных расходов.

$$H_p = 1199,7 \cdot 0,6 = 719,82 \text{ руб.}$$

На основании выполненных расчетов определяется общая сумма затрат на выполнение НИР и занесли в табл. 4.10:

Таблица 4.10 - Текущие затраты на выполнение НИР

№ п/п	Наименование затрат	Сумма, руб.	Удельный вес, %
1	Заработная плата исполнителей	1199	48
2	Отчисления на социальные нужды	31	12
3	Электроэнергия силовая	48	2
4	Амортизация	169	7
5	Накладные расходы	719	23
	Итого	2452	100

Таким образом затраты на генератор прямоугольных импульсов для лабораторного стенда в условиях ТГУ по (5.2) составляют:

$$Z_{пред.НИР} = 2452 + 17358 \cdot 0,33 = 8180,14 \text{ руб.}$$

Внедрение генератора прямоугольных импульсов для лабораторного стенда позволит получить социальный эффект, заключающийся в повышении качества профессиональной подготовки студентов кафедры «Промышленная электроника».

Выводы

В данном разделе произведен расчет стоимости изготавливаемого изделия, разработан и оптимизирован сетевой график.

Заключение

В данной ВКР был разработан генератор прямоугольных импульсов.

Достигнута цель: разработка генераторов прямоугольных импульсов для лабораторного стенда.

Решены следующие работы:

- Обзор состояния вопроса
- Анализ исходных данных и существующих решений
- Разработка электрической принципиальной схемы
- Разводка печатной платы
- Экономическое обоснование проекта

При выборе схемотехнических решений остановились на двух вариантах: генератор прямоугольных импульсов на аналоговых ИМС и на микроконтроллере. Первый вариант отличается простотой и низкой стоимостью, что выразилось на практике при изготовлении устройства, второй вариант – удобством в обращении, высокой точностью. Устройства позволяют регулировать свои выходные характеристики: амплитуду, частоту.

Для передачи от источника импульсов в исследуемую схему сигнала требуемой величины, разработан выходной усилительный каскад, а для осуществления питания системы рассчитан блок стабилизированного напряжения питания.

Для схемотехнического решения с применением микроконтроллера разработали блок-схему алгоритма работы программы и создали управляющую программу.

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

Список используемой литературы

1. AT89S8252 Datasheet (PDF) - ATMEL Corporation [Электронный ресурс]. URL: <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/175000/ATMEL/AT89S8252.html> (дата обращения: 27.05.2021)
2. AT89S8252 Primer [Электронный ресурс]. URL: <http://www.shrubbery.net/~heas/willem/PDF/ATMEL%20Flash%20Microcontroller/8051-Architecture/Application%20Notes/AT89S8252%20Primer.pdf> (дата обращения: 27.05.2021)
3. Electrical resistance and conductance [Электронный ресурс]. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Electrical_resistance_and_conductance (дата обращения: 17.05.2021)
4. Electronic Components Datasheets [Электронный ресурс] URL: <http://www.datasheets.ru> (дата обращения: 17.02.2021)
5. LM78XX / LM78XXA 3-Terminal 1 A Positive Voltage Regulator [Электронный ресурс]. URL: <https://static.chipdip.ru/lib/164/DOC001164647.pdf> (дата обращения: 17.05.2021)
6. PIC 16F84A. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.microchip-technology.com> (дата обращения: 17.05.2021)
7. 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.
8. Голубцов М.С. Микроконтроллеры AVR: от простого к сложному. –М.:Солон-Пресс.2005.-304с.:ил.
9. Гребнев В.В. Микроконтроллеры семейства AVR.– М.:РадиоСофт, 2002. -176с.:ил.
10. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. Пособие для приборостроит. Спец. Вузов. –М.: Высш. шк.1991.- 622 с.
11. Евстифеев А.В. Микроконтроллеры AVR семейства Classic фирмы ATMEL.–М.:Додэка, 2004.-288 с.:ил.
12. Забродин Ю.С. Промышленная электроника: Учебник для вузов. –М: Высш. школа, 1982. -496 с.: ил.
13. Конденсаторы: Справочник / Четверков И.И., Дьяконов М.Н, Присняков В.И. и др.: Под ред. Четверкова И.И., Дьяконова М.Н.-М.: Радио и связь. -1993. -392с.: ил.
14. Масленников М.Ю. Справочник разработчика и конструктора РЭА. –М.: Радио и связь, 1988.-300с.: ил.

15. Методические указания по оформлению выпускных квалификационных работ по программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры : [Электронный ресурс]. URL: [https://yadi.sk/d/Fs-9ts_VInrE3Q/BKP_\(Diplom\)](https://yadi.sk/d/Fs-9ts_VInrE3Q/BKP_(Diplom)) / Оформление ВКР (Дата обращения: 18.02.2021)
16. О.М. Сярдова. Экономическая эффективность работы. Методическое пособие. – Тольятти: ТГУ, 2006. – 30 стр.
17. Положение о выпускной квалификационной работе: утв. решен. учен. совет. от 21.11.2019 решение №254 : [Электронный ресурс]. URL: [https://yadi.sk/d/Fs-9ts_VInrE3Q/BKP_\(Diplom\)](https://yadi.sk/d/Fs-9ts_VInrE3Q/BKP_(Diplom)) / Положение о ВКР (Дата обращения: 18.02.2021)
18. Полупроводниковые приборы: Справочник / Гитцевич А.Б.-М.: Радио и связь, 1988.-528с.:ил.
19. Порядок обеспечения самостоятельности выполнения письменных работ в ТГУ : [Электронный ресурс]. URL: [https://yadi.sk/d/Fs-9ts_VInrE3Q/BKP_\(Diplom\)](https://yadi.sk/d/Fs-9ts_VInrE3Q/BKP_(Diplom)) / Положение о Антиплагиате (Дата обращения: 18.02.2021)
20. Резисторы: Справочник / В.В. Дубровский, Д.М. Иванов, Н.Я. Пратусевич и др. Под ред. И.И. Четверткова и В.М. Терехова. -2-е изд., перераб. И доп. – М.: Радио и связь, 1991.-528 с.:ил.
21. Сидоров И.Н. и др. Малогабаритные трансформаторы и дроссели: Справочник / И.Н. Сидоров, В.В. Мукосеев.-М.: Радио и связь, 1985. – 416с., ил.
22. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника: Справочное руководство. Пер. с нем. – М.: Мир,1982. – 512 с.,ил.
23. Фрунзе А.В. Микроконтроллеры это же просто. –М.:Скимен, 2002.-336с.ил
24. Электроника и наноэлектроника, управление в технических системах, электроэнергетика и электротехника. Выполнение бакалаврской работы / сост. Позднов М.В., Прядилов А.В. - Тольятти: ТГУ, 2019. - 41 с.

**Приложение А.
Генератор на аналоговых ИМС. Перечень элементов.**

<i>Позиц. обознач.</i>	<i>Наименование</i>	<i>Кол.</i>	<i>Примечание</i>
	<u>Конденсаторы</u>		
<i>C1</i>	<i>K50-6-25B-1000мкФ±20%</i>	<i>1</i>	
<i>C2</i>	<i>K50-6-25B-470мкФ±20%</i>	<i>1</i>	
<i>C3,C4</i>	<i>K10-17Б-470нФ-У5V</i>	<i>2</i>	
<i>C5</i>	<i>K50-6-16B-10мкФ±20%</i>	<i>1</i>	
<i>C6</i>	<i>K10-17Б-15нФ-У5V</i>	<i>1</i>	
	<u>Стабилизаторы</u>		
<i>DA1</i>	<i>7808</i>	<i>1</i>	
<i>DA2</i>	<i>7908</i>	<i>1</i>	
	<u>Микросхемы</u>		
<i>DA3</i>	<i>LM311N</i>	<i>1</i>	
	<u>Предохранители</u>		
<i>FU1,FU2</i>	<i>ВП2Б-1</i>	<i>2</i>	
	<u>Вольтметры</u>		
<i>PV1</i>	<i>Ц4200</i>	<i>1</i>	
	<u>Резисторы</u>		
<i>R1</i>	<i>МЛТ-0,125-680Е ±5%</i>	<i>1</i>	
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Подп.</i>
<i>Разраб.</i>	<i>Зубайдов Ш.С.</i>		
<i>Пров.</i>	<i>Позднов М.В.</i>		
<i>Н.контр.</i>			
<i>Утв.</i>	<i>Шевцов А.А.</i>		
<i>Генератор на аналоговых ИМС. Перечень элементов</i>			<i>Литер.</i>
			<i>Лист</i>
			<i>Листов</i>
			<i>1</i>
			<i>3</i>
<i>ТГУ Элб-1702а</i>			

