

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

Институт машиностроения
(наименование института полностью)
Кафедра Промышленная электроника
(наименование)
11.03.04 – Электроника и наноэлектроника
(код и наименование направления подготовки / специальности)
Электроника и робототехника
(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему: «Блок питания постоянного напряжения»

Обучающийся	С.А. Рогожников	
	_____	_____
	(Инициалы Фамилия)	(личная подпись)
Руководитель	М.В. Позднов	

	(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)	

Тольятти 2024

Аннотация

Название выпускной квалификационной работы: «Блок питания постоянного напряжения».

Работа состоит из пояснительной записки на 47 страницах, включающей 29 рисунков, списка литературы из 25 наименований. Графическая выполнена на 5 листах формата А1.

Целью работы является разработка и проектирование блока питания постоянного напряжения.

В первом разделе были рассмотрены аналоги блоков питания постоянного напряжения. Произведен отбор критериев для разработки устройства.

Во второй части произведена разработка электронной схемы, выбор элементов, произведено моделирование блока питания.

Третья часть уделена разработке печатной платы блока питания постоянного напряжения.

Результатом выполнения работы является изготовление сетевого блока питания с заданными параметрами, который может быть использован в качестве источника питания с регулируемым выходным напряжением с широким спектром применения.

Содержание

Введение.....	4
1 Задачи проектирования источника питания.....	6
1.1 Анализ вариантов технических решений	6
1.2 Характеристики проектируемого источника питания	18
2 Конструкторское проектирование устройства.....	20
2.1 Разработка электрической принципиальной схемы	20
2.2 Выбор элементов источника питания	30
2.3 Принцип работы	33
2.4 Проверка работоспособности схемы.	34
3 Технологический раздел.....	37
3.1 Технология разработки печатной платы.....	37
3.2 Разработка печатной платы.....	38
Заключение	45
Список используемой литературы	46

Введение

Современное развитие электронной техники предъявляет всё более высокие требования к качеству и надежности источников питания, которые являются неотъемлемой частью практически любого электронного устройства. Одним из наиболее востребованных типов источников является блок питания постоянного напряжения, который обеспечивает стабильное напряжение на выходе независимо от изменений нагрузки или колебаний входного напряжения. Такие устройства находят широкое применение в бытовой технике, медицинском оборудовании, телекоммуникациях, системах управления, а также в разнообразных промышленных и научных приложениях.

Актуальность темы разработки блока питания постоянного напряжения обусловлена ростом числа электронных устройств, предъявляющих высокие требования к стабильности и качеству электропитания. На фоне этого возникает потребность в создании эффективных, малошумящих и компактных источников питания, которые обеспечивали бы не только стабильные выходные параметры, но и минимальные энергопотери при работе.

Целью настоящей работы является разработка высокоэффективного блока питания постоянного напряжения с заданными выходными характеристиками. В рамках исследования будут рассмотрены основные топологии схем источников питания, выбрана оптимальная схема для проектирования, выполнен её расчёт и моделирование, а также разработана и протестирована опытная модель. Особое внимание будет уделено вопросам защиты блока питания от перегрузок, повышению его КПД и уменьшению электромагнитных помех, что особенно важно в условиях работы с чувствительными электронными компонентами.

В ходе выполнения работы предполагается решение следующих задач:

- анализ существующих решений и выбор схемной топологии блока питания;

- проектирование схемы блока питания с учетом заданных параметров;
- проведение расчётов элементов схемы и моделирование её работы;
- разработка макета блока питания и проведение его испытаний;
- оценка характеристик разработанного устройства и формулирование выводов по результатам работы.

Завершением исследования станет разработка блока питания, отвечающего современным требованиям надёжности и эффективности, а также готового для внедрения в практическое применение в различных электронных устройствах.

1 Задачи проектирования источника питания

Целью данной выпускной квалификационной работы является проектирование сетевого источника постоянного напряжения с заданными техническими характеристиками.

Таблица 1.1 – Технические характеристики источника питания.

Наименование	Величина
Входное напряжение	220 В
Тип входного напряжения	Переменное, 50 Гц
Диапазон изменения выходного напряжения	от 0 до 12 В
Тип выходного напряжения	Однополярное
Максимальный ток нагрузки	2А

1.1 Анализ вариантов технических решений

Перед разработкой блока питания постоянного напряжения важно провести анализ уже существующих решений на рынке. Это позволяет не только изучить современные технологии, но и выявить их сильные и слабые стороны, что впоследствии может быть учтено при проектировании собственного устройства. В данном разделе рассмотрены основные технические параметры аналогичных устройств, представленных на рынке, а также проведен их сравнительный анализ. «Лабораторные блоки питания предназначены для обеспечения стабильного и регулируемого источника постоянного напряжения и тока в лабораторных условиях. Они используются для тестирования, настройки и питания различных электронных устройств, компонентов и схем. Основные задачи таких блоков включают возможность точной регулировки выходных параметров, защиту от перегрузок и коротких

замыканий, а также обеспечение стабильности работы при изменении нагрузки. Лабораторные блоки питания широко применяются в научных исследованиях, образовательных процессах, разработке и ремонте электронной аппаратуры» [2].

Блоки питания постоянного напряжения имеют множество параметров, которые определяют их эффективность, надежность и применимость в различных условиях. Основные из них включают:

- входное напряжение диапазон значений, который блок питания способен принимать на входе. Это может быть стандартное сетевое напряжение (220 В переменного тока) или более узкие диапазоны для специализированных устройств;

- выходное напряжение – это стабилизированное постоянное напряжение, снимаемое с выхода блока питания. В большинстве случаев оно должно оставаться стабильным, даже при колебаниях входного напряжения или изменениях нагрузки;

- выходной ток – максимальный ток, который может обеспечить блок питания без перегрева и потери характеристик;

- коэффициент полезного действия (КПД) – показывает, какую долю входной энергии блок питания преобразует в полезную, минимизируя потери на нагрев и другие факторы;

- уровень пульсаций – показатель качества выходного напряжения, который характеризует наличие высокочастотных составляющих в выходном сигнале;

- защита – включает в себя различные механизмы, такие как защита от короткого замыкания, перегрузки по току, перегрева и перенапряжения.

Так как, данная работа является творческой, в качестве решений предлагаю не рассматривать готовые ЛБП. В настоящее время, в силу очень стремительного развития различных маркетплейсов и торговых площадок, существует огромное количество вариантов различных блоков питания.

Имеются варианты в виде наборов для сборки, в виде отдельных частей, на основе которых можно собрать устройство, в виде готовых модулей. Рассмотрим некоторые из них.

Самым простым, но тем не менее эффективным, будет изготовление блока питания на базе готовых частей. В сети Интернет, на любой из торговых площадок, например Алиэкспресс, можно приобрести следующие элементы.

В качестве основы выбираем импульсный блок питания. Общий вид блока питания представлен на рисунке 1.1.

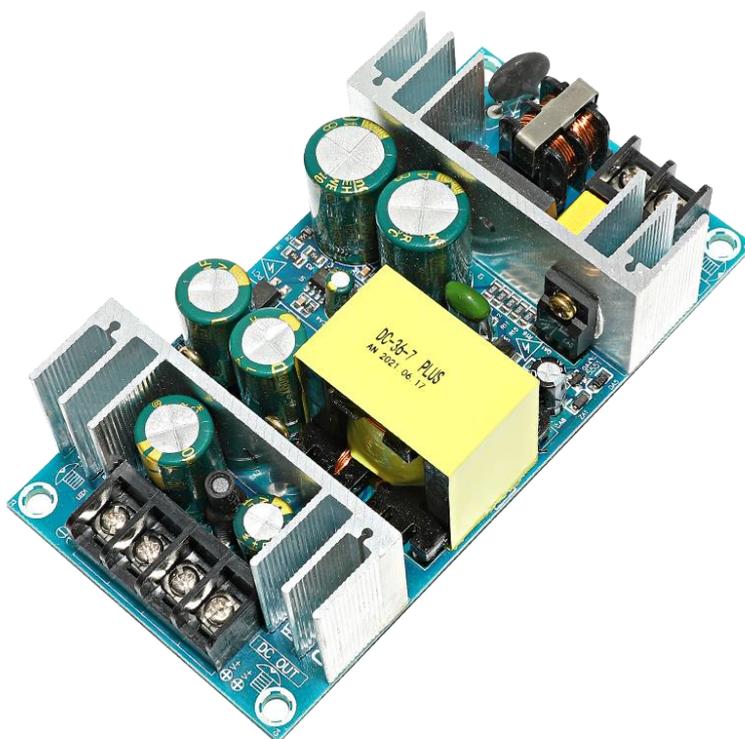


Рисунок 1.1 - Общий вид блока питания

Данные блоки питания имеют широкий диапазон выбора как по выходному напряжению, так и по току нагрузки, что является несомненным преимуществом, так как мы можем выбрать под себя нужные характеристики, исходя из своих задач. Другим преимуществом является их компактность, удобством монтажа и подключения. Но, выбирая данный блок надо помнить, что он импульсный, а значит на выходном напряжении будут пульсации и шумы, которые могут оказаться критичными для некоторых подключаемых устройств. Данный момент является пусть и условным, но недостатком. На

выходе данного блока мы получаем пониженное переменное напряжение, которое необходимо регулировать. Для этой цели выберем понижающий DC-DC преобразователь XL4016. Общий вид представлен на рисунке 1.2

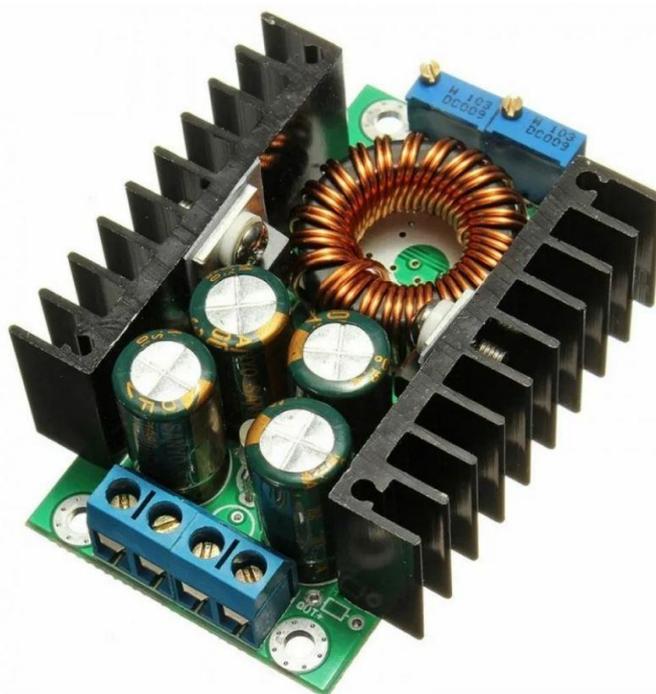


Рисунок 1.2 – Общий преобразователь XL4016.

Преобразователь поддерживает входное напряжение в диапазоне 5-40В, выходное в диапазоне 1.2-35В. Имеется возможность регулировки по току в диапазоне 0.2-9А. При замене подстроечных резисторов на многооборотные потенциометры получаем плавную регулировку тока и напряжения. Данные два элемента являются ключевыми, для реализации готового устройства необходимо добавить разъемы, приборы индикации, кулер для охлаждения, многооборотные резисторы. Итогом работы будет схема, представленная на рисунке 1.3.

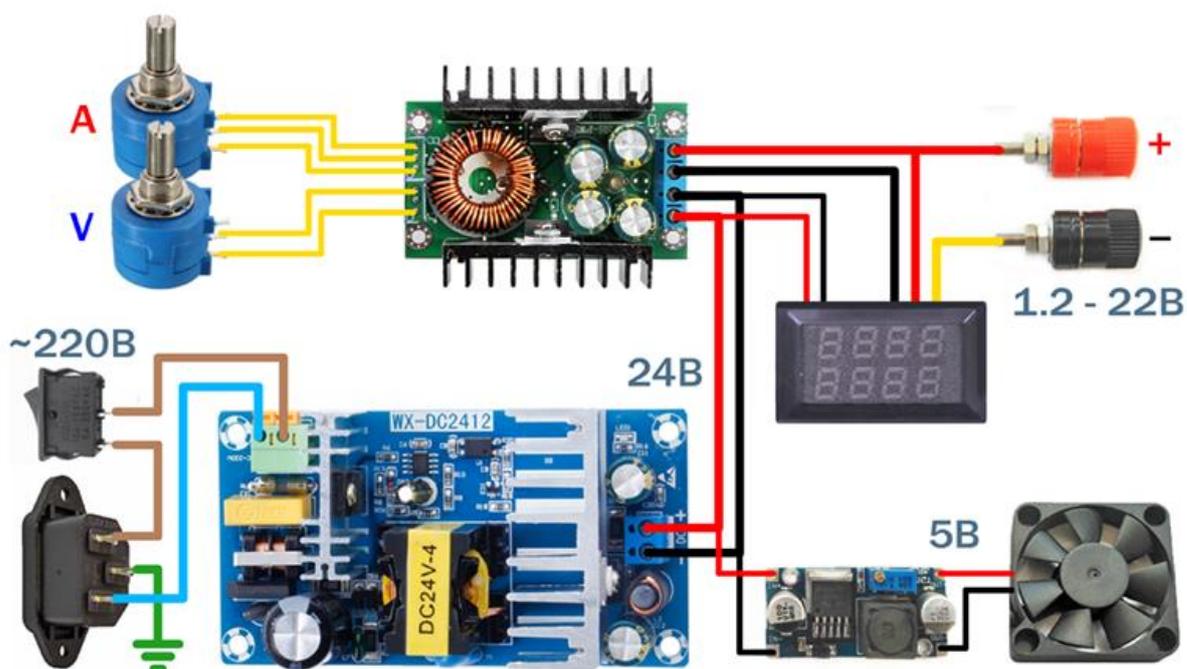


Рисунок 1.3 – Схема блока питания на готовых модулях.

Данная конструкция обладает рядом существенных преимуществ – параметров блока достаточно для его эксплуатации, в качестве ЛБП как в на производстве, так и в домашней мастерской. Схема подразумевает очень простую сборку, с которой справится даже начинающий радиолюбитель. Совокупная стоимость компонентов является достаточно низкой.

В качестве следующего образца рассмотрим готовые, более технологичные модули ЛБП. В качестве примера рассмотрим модуль DPS5020 рис 1.4



Рисунок 1.4 – Модуль DPS5020

Устройство представляет собой готовое решение для установки в корпус. Модуль оснащен дисплеем, кнопкой включения выключения, манипулятором в виде ручки потенциометра. В зависимости от модификации может иметь USB разъем для сопряжения с ПК, различные беспроводные интерфейсы. Модуль поддерживает входное напряжение в диапазоне 6-40В, выходное 0-32В, ток нагрузки 0-12А. Источником питания может служить как импульсный блок питания, так и связка трансформатор-выпрямитель.

Следующим вариантом реализации ЛБП выделим различные наборы для самостоятельной сборки рис. 1.5

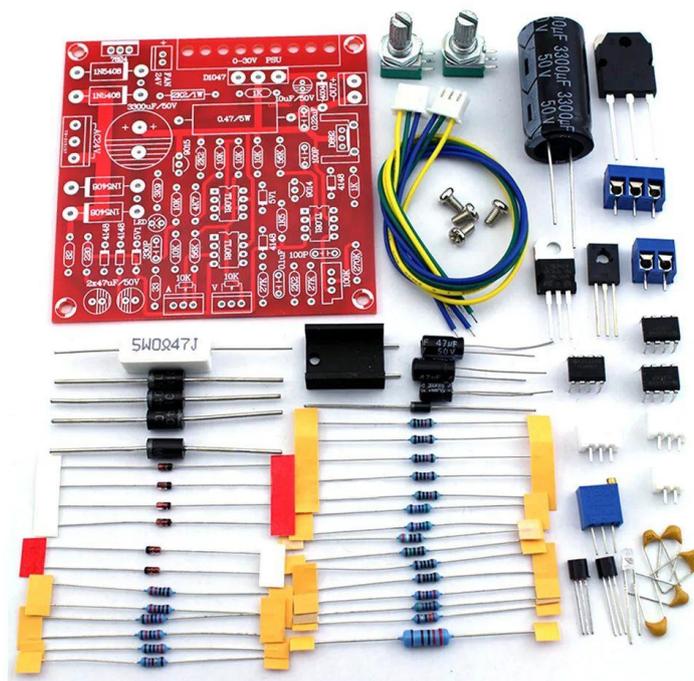


Рисунок 1.5 – Набор для самостоятельной сборки

Данные наборы имеют огромное количество модификаций и исполнений, имеют разные характеристики. Объединяющей особенностью следует выделить необходимость самостоятельной сборки, таким образом нужно иметь умения паять, различать элементы, уметь читать маркировку на плате. Устройство, имея небольшую цену, является отличным учебным пособием для начинающего радиолюбителя.

Источники постоянного напряжения могут быть реализованы с использованием различных схем, среди которых выделяются линейные и импульсные источники.

«Линейный источник питания, благодаря своей конструкции и принципу работы, осуществляет ряд важных преобразований напряжения, обеспечивая надежное питание для различных устройств и систем. Первым этапом в работе линейного источника является преобразование сетевого переменного напряжения (обычно 220 В при частоте 50 Гц) в необходимую величину переменного напряжения. Это достигается с помощью трансформатора, который понижает или повышает входное напряжение до

требуемого уровня, что позволяет обеспечить дальнейшую обработку и получение стабильного выходного постоянного напряжения. На следующем этапе переменное напряжение, полученное с вторичной обмотки трансформатора, поступает на вход неуправляемого выпрямителя. Этот элемент преобразует переменное напряжение в постоянное, позволяя получить необходимую величину напряжения, которая будет использоваться для питания подключенных компонентов. Затем выпрямленное напряжение проходит через фильтры и схемы стабилизации. Фильтрация необходима для сглаживания пульсаций, возникающих после выпрямления, что гарантирует более чистый сигнал на выходе. Схемы стабилизации, в свою очередь, поддерживают выходное напряжение на заданном уровне, независимо от изменений входного напряжения или колебаний нагрузки» [3].

Структура линейного источника напряжения представлена на рисунке 1.6

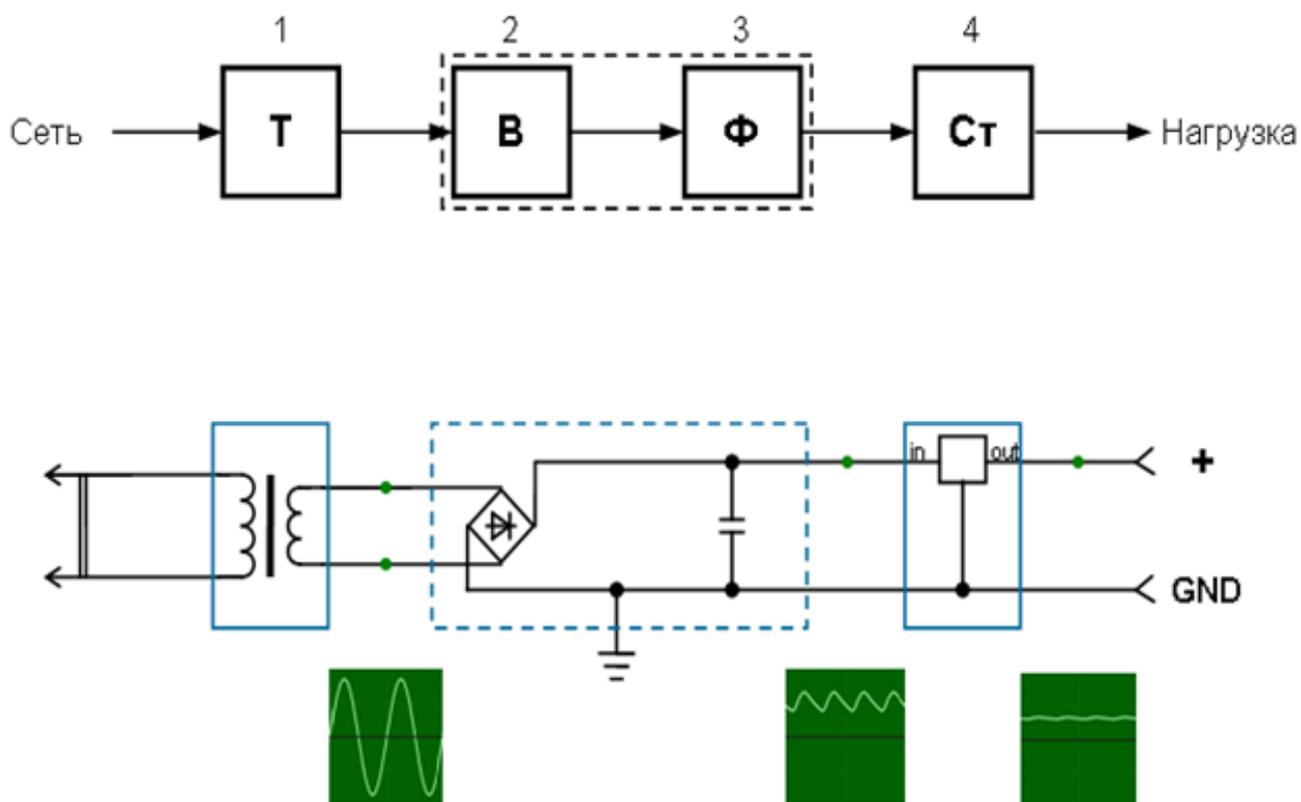


Рисунок 1.6 - Структура линейного источника напряжения.

На рисунке 1.6 обозначены:

- Т- трансформатор,
- В – выпрямитель,
- Ф – фильтр,
- Ст – стабилизатор.

Один из вариантов реализации линейного источника питания представлена на рисунке 1.7.

Схема подключения, в которой используется стабилитрон, позволяет ему выполнять функцию активного элемента, который поддерживает фиксированное напряжение на выходе. При этом стабилитрон определяет рабочую точку эмиттерного перехода транзистора Q1, обеспечивая его стабильную работу в оптимальном режиме. Это взаимодействие между стабилитроном и транзистором играет важную роль в общей конструкции блока питания.

Когда входное напряжение или нагрузка изменяются, стабилитрон автоматически корректирует выходное напряжение, поддерживая его на заданном уровне. Такой механизм защиты от колебаний позволяет избежать нежелательных изменений в работе подключенных устройств, что особенно важно для чувствительной электроники. Таким образом, схема с использованием стабилитрона D1 и транзистора Q1 не только обеспечивает стабильное выходное напряжение, но и повышает надежность всей системы питания, защищая её от возможных сбоев и ненадлежащей работы.

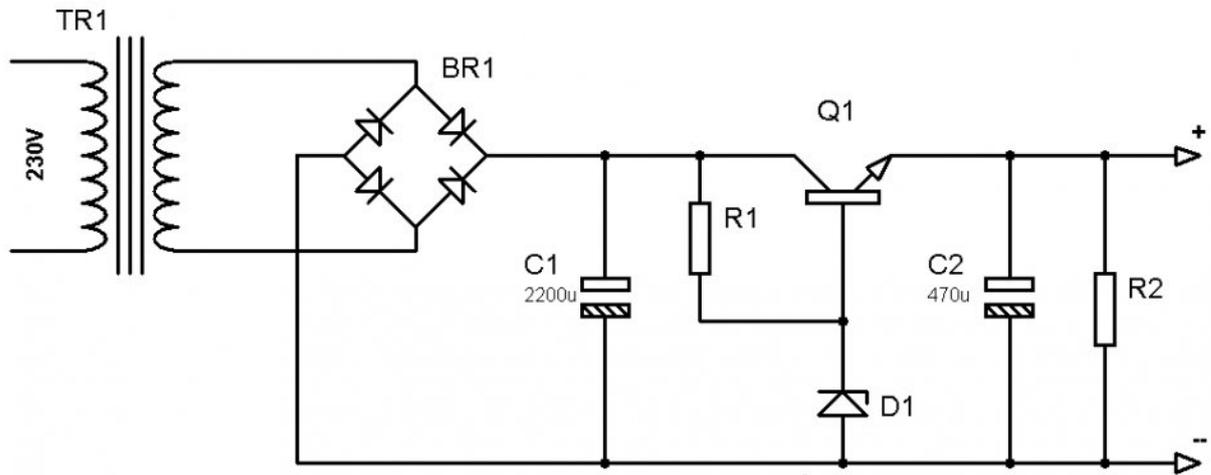


Рисунок 1.7 - Схема источника питания с линейным стабилизатором на транзисторе.

Для получения возможности регулирования выходного напряжения источника постоянного напряжения применяют два основных подхода:

- регулирование на стороне переменного напряжения;

Рассмотрим схему регулятора переменного напряжения, представленную на рисунке 1.8.

Регулирование величины переменного напряжения обеспечивается схемой подключения обмотки трансформатора Т1.

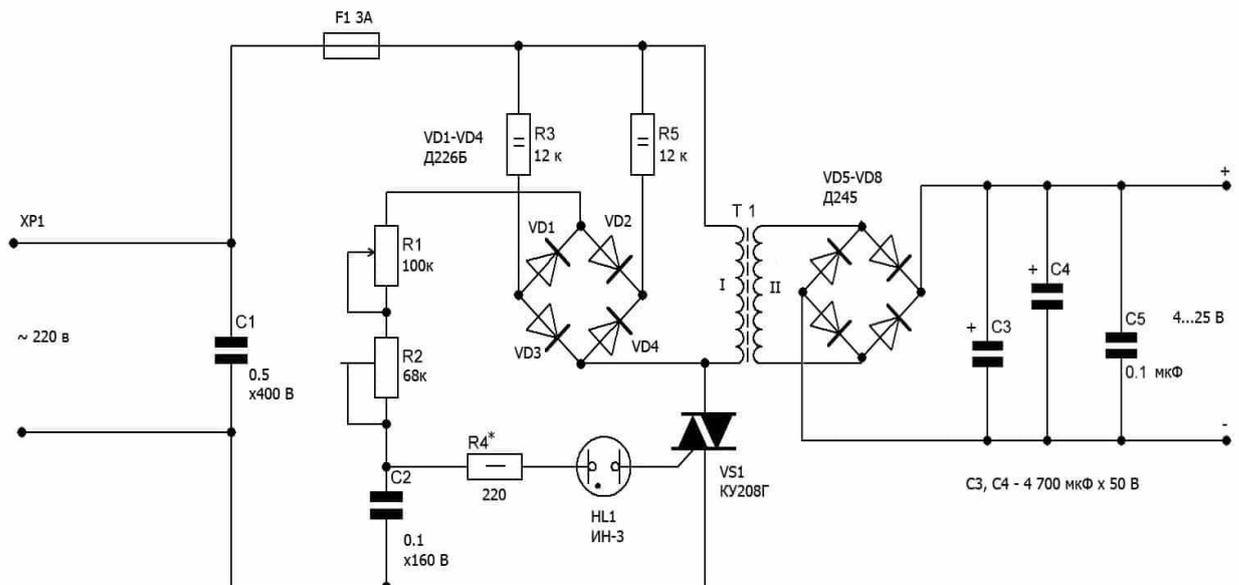


Рисунок 1.8 - Схема с фазоимпульсной регулировкой первичного напряжения

Длительность заряда конденсатора C1 регулируется за счет изменения параметров подстроечного резистора R1. При этом время заряда конденсатора определяет напряжение его заряда и, как следствие, момент включения в работу симистора VS1. Основное недостаток схемы, представленной на рисунке 1.8, заключается в нестабильности параметров выходного напряжения вследствие нестабильности параметров неоновой лампы, имеющейся в схеме управления.

- регулирование на стороне постоянного напряжения.

На рисунке 1.9 представлена схема, позволяющая регулировать величину напряжения постоянного тока. Подобные схемы могут быть использованы в качестве выходных схем выпрямителей.

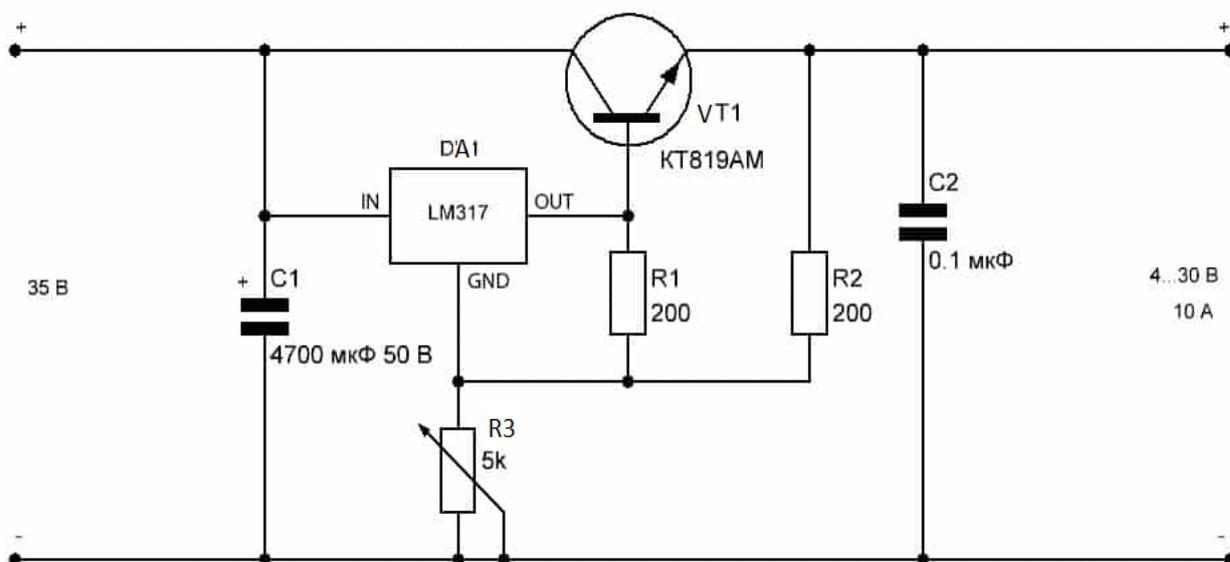


Рисунок 1.9 - Схема линейного стабилизатора напряжения на силовом биполярном транзисторе и линейном интегральном регуляторе

«Схема регулируемого стабилизатора состоит из силового транзистора T1, интегрального регулятора DD1, входного сглаживающего конденсатора C1, выходного фильтрующего конденсатора C2, переменного регулирующего резистора R3, резистора R2, совместно с переменным резистором R3

образующим делитель напряжения, следящий за величиной выходного напряжения и резистора R1, определяющим степень открытого состояния транзистора VT1» [4].

Функциональная схема импульсного источника питания представлена на рисунке 1.10.

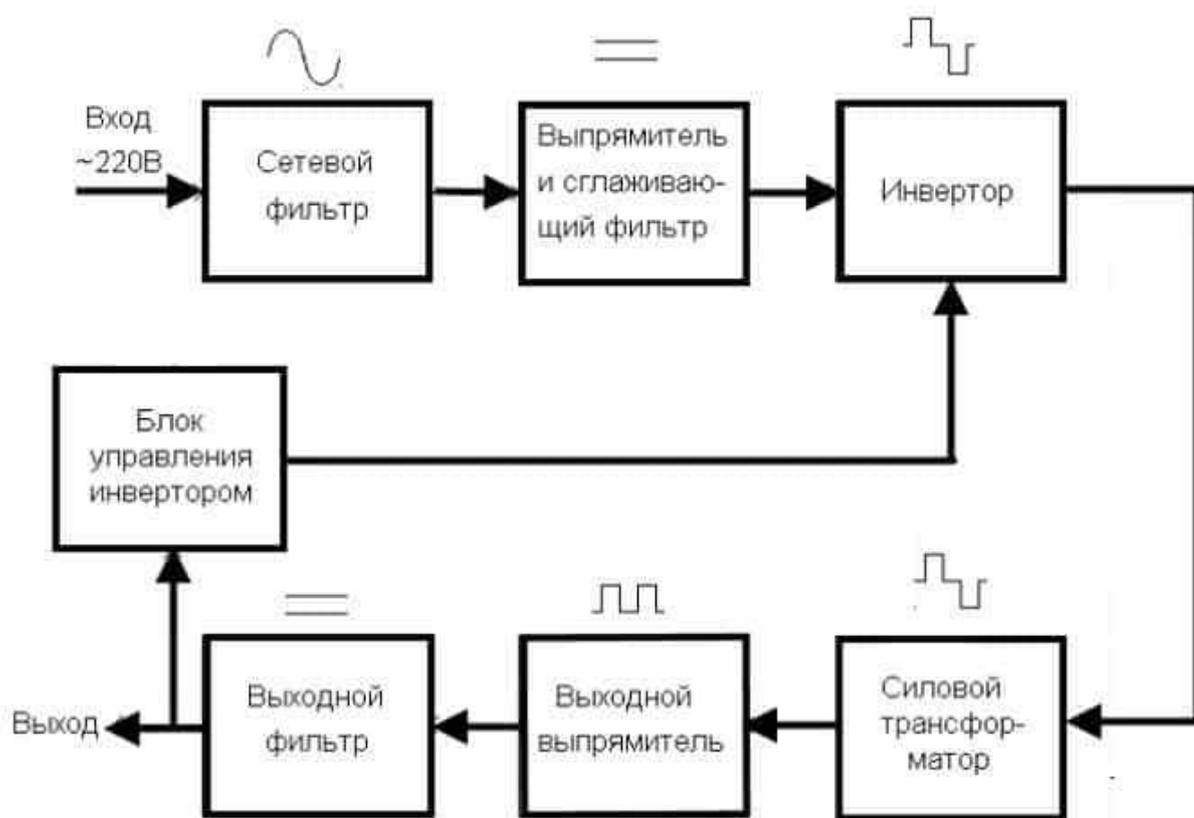


Рисунок 1.10 – Функциональная схема импульсного источника питания

К ключевым достоинствам импульсных источников питания можно отнести высокий коэффициент полезного действия (КПД), что позволяет минимизировать потери энергии в процессе работы. Это особенно важно в условиях, когда энергосбережение играет решающую роль, например, в портативных устройствах и системах с ограниченным источником питания. Компактные размеры ИИП также способствуют их широкому распространению в различных приложениях, от бытовой электроники до

промышленных систем, позволяя интегрировать их в ограниченные пространства. Кроме того, возможность работы в значительно более широком диапазоне входных напряжений расширяет их применение, делая их универсальными решениями для разнообразных источников питания.

Снижение цен на мощные полупроводники и интегральные схемы также делает ИИП более экономически оправданными, что открывает новые возможности для их применения в коммерческих и промышленных секторах. Это приводит к тому, что производители всё чаще выбирают импульсные источники питания вместо традиционных линейных решений, что в свою очередь стимулирует дальнейшие инновации в этой области.

Данная архитектура позволяет минимизировать тепловые потери и повысить общую надежность системы. В результате импульсные источники питания обеспечивают более эффективное преобразование энергии и надежную работу в различных условиях эксплуатации, что делает их предпочтительным выбором для множества современных технологий.

1.2 Характеристики проектируемого источника питания

Определим основные критерии для разработки источника постоянного напряжения:

- регулируемая величина выходного напряжения 0...12 В;
- максимальный выходной ток 2 А;
- максимальная выходная мощность источника питания.

$$P_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВЫХ}} \cdot I_{\text{ВЫХ}}$$

В качестве основы при построении схемы источника постоянного напряжения принимаем схему линейного источника питания.

Выводы по разделу: использование высокочастотных трансформаторов предоставляет возможность уменьшить массу и габариты оборудования, что особенно важно в портативных и компактных устройствах. Эти трансформаторы способны работать на значительно более высоких частотах по сравнению с традиционными, что позволяет применять более мелкие магнитные сердечники и другие компоненты, тем самым уменьшая общий вес и размер устройства. Кроме того, схемы инверторов напряжения играют важную роль в этом процессе. Они не только повышают эффективность преобразования энергии, но и позволяют достичь более высокого уровня надежности и стабильности выходного напряжения. Эти инновационные подходы делают источники постоянного напряжения более привлекательными для использования в современных технологиях, где требования к компактности и эффективности имеют решающее значение.

С другой стороны импульсные источники питания имеют более сложную техническую реализацию, что значительно усложняет их изготовление вне заводских условий.

2 Конструкторское проектирование устройства

2.1 Разработка электрической принципиальной схемы

Разработка электрической принципиальной схемы блока питания включает в себя несколько этапов:

- анализ параметров проектируемого блока питания: диапазон регулируемого выходного напряжения $0 \dots 12$ В; максимальное значение тока при подключаемой нагрузке к блоку питания 2 А;
- выбор схемы построения блока питания;
- выбор компонентов блока питания.

В ходе анализа всех рассмотренных вариантов, существующих на рынке, а так же с учетом необходимых характеристик была разработана схема, детально представленная на рисунке 2.1

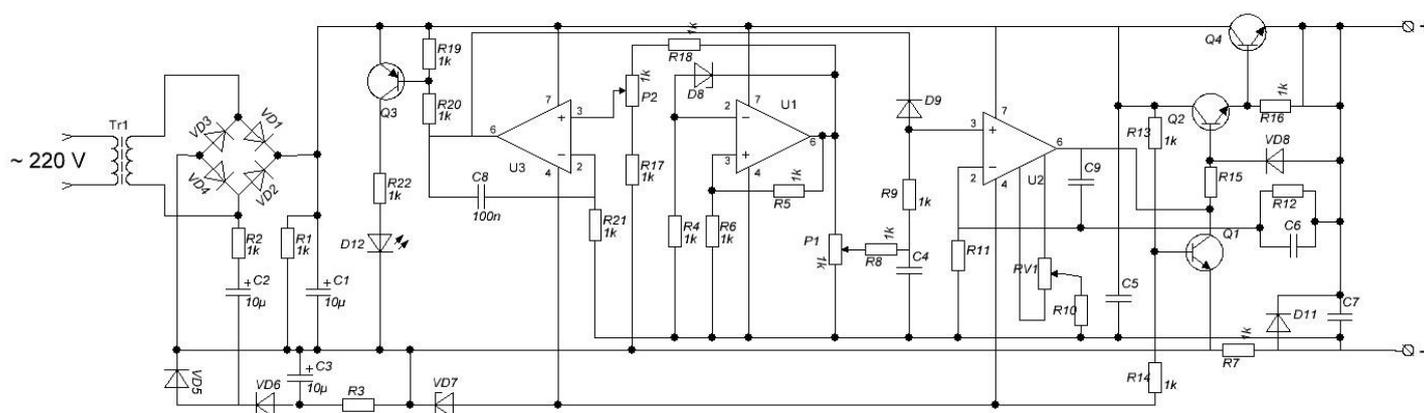


Рисунок 2.1 – Схема блока питания

Отдельно хочется отметить программное обеспечение, которое применялось в ходе выполнения данной работы, так как для получения качественного результата это является очень важным фактором.

В качестве ПО для редактирования схемы было рассмотрено несколько программ, для того чтобы получить определенный опыт использования и в

дальнейшем, на основании данного опыта выбрать наиболее удобную и подходящую.

Первой программой было рассмотрено ПО Altium Designer – мощнейшая система автоматизированного проектирования. Позволяет создавать, редактировать схемы. Нацелена на профессиональное использование, имеет достаточно сложные интерфейсы, который практически исключает интуитивное понимание. Для пользования программой необходимо хотя бы минимальное обучение. Плюс ко всему, данное ПО является платным. В силу вышесказанного, делаем вывод, что, несмотря на огромное количество плюсов данное ПО нам не подходит.

В качестве следующей альтернативы был рассмотрена система проектирования принципиальных схем и печатных плат DipTrace. Данное ПО включает в себя возможность создавать и редактировать схемотехнику, имеет редактор плат с автотрассировщиком, имеет большую библиотеку компонентов с реализованными 3D моделями корпусов. Таким в одной программе мы можем спроектировать схему, получить модель будущей платы, получить файлы, необходимые для заказа плат. Рабочее окно программы DipTrace представлено на рисунке 2.2

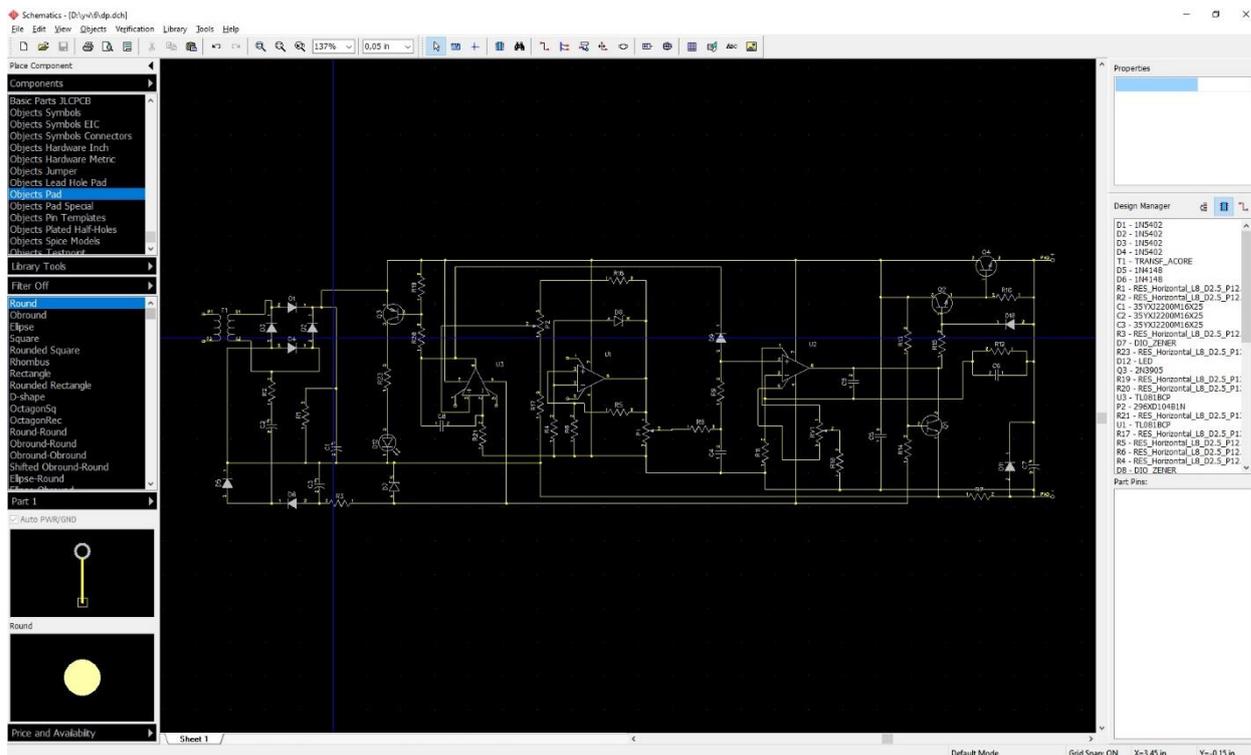


Рисунок 2.2 - Рабочее окно программы DipTrace.

Следующей была программа sPlan, в моем случае версии 7.0. Смело можно сказать, что данное ПО – находка для начинающего радиолюбителя, и не только. Программа очень проста в использовании, обладает достаточно большой базой элементов. Позволяет создавать принципиальные схемы, схемы электрических шкафов и многое другое. Поддерживает выгрузку созданной в схемы в различных форматах, в том числе в векторном. Рабочее окно программы sPlan представлено на рисунке 2.3.

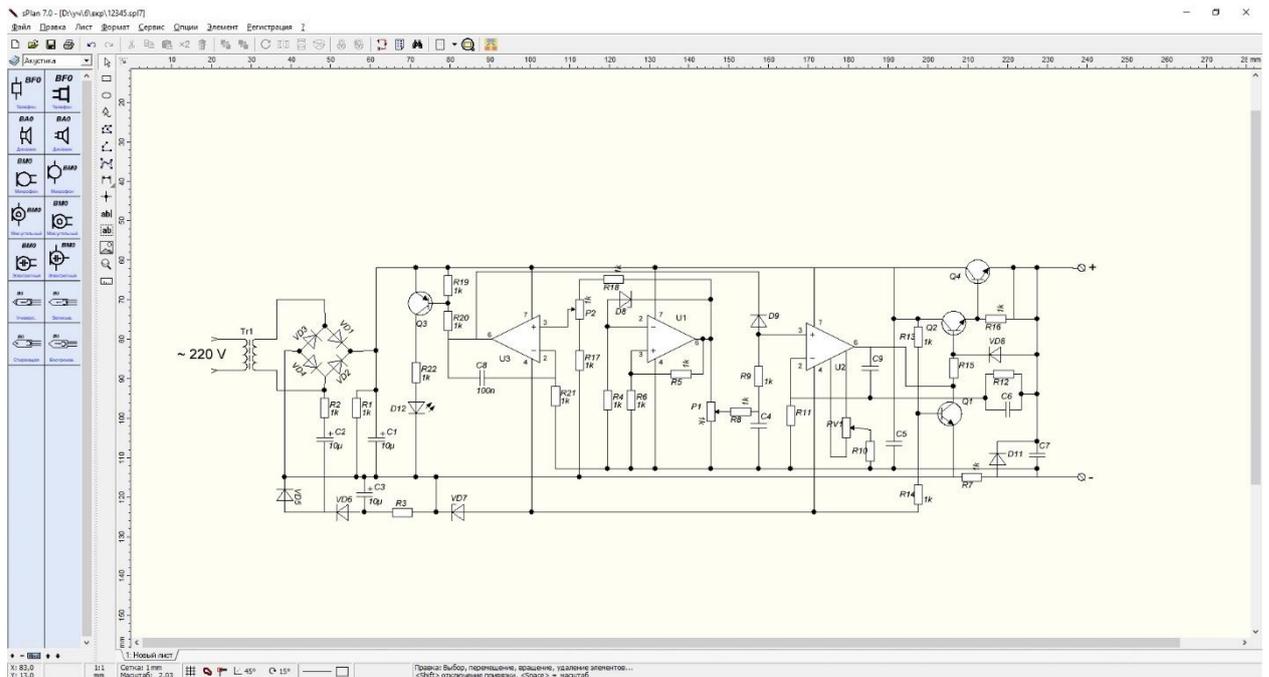


Рисунок 2.3 - Рабочее окно программы sPlan.

В ходе работы над указанной выше схемой, пришло понимание, что для полноценной реализации блока питания ему необходим вольтамперметр. Как следствие, была предпринята попытка его реализации, в ходе которой в программе sPlan была составлена схема, представленная на рисунке 2.4

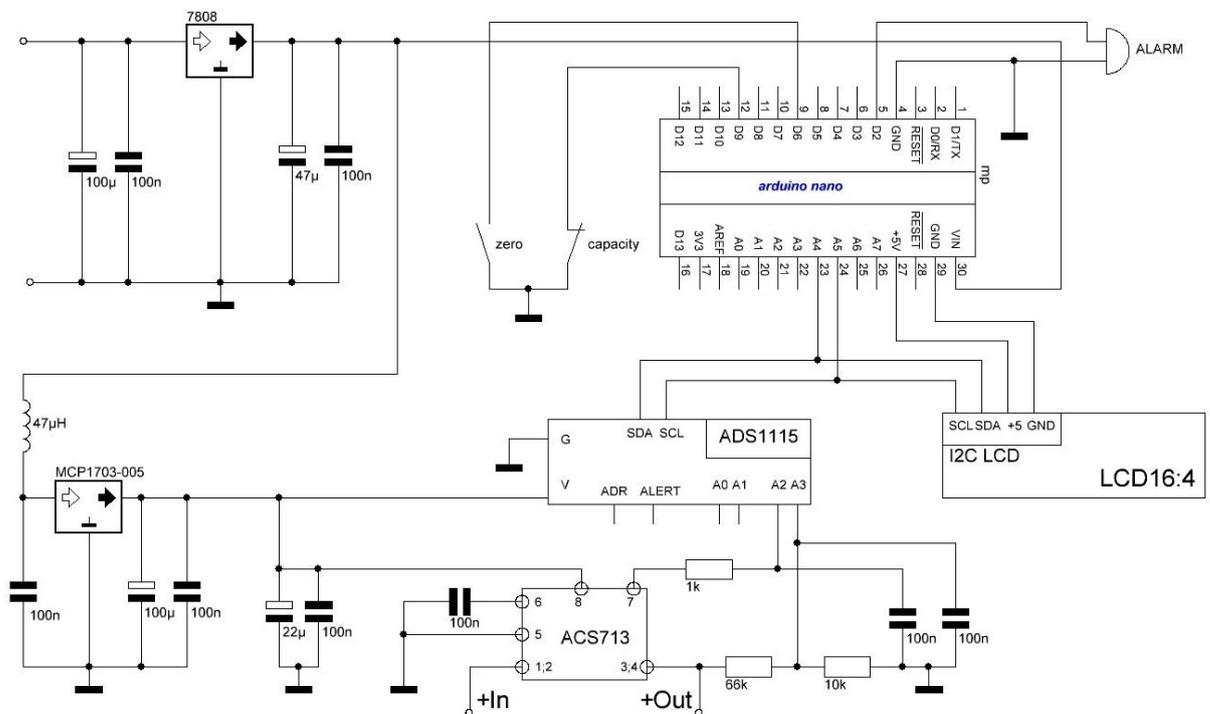


Рисунок 2.4 – Схема вольтамперметра

Как мы видим, схема состоит из минимального количества деталей, среди которых:

- ADS1115, который является 16-битным, 4х-канальным ацп; ACS713 – датчик тока;
- LM7808 – стабилизатор по входу на 8 вольт, который позволяет питать схему напряжением от 8 до 20 вольт;
- прецизионный стабилизатор MCP1703-005 на 5 вольт для питания датчика тока и АЦП;
- дисплей;
- ардуино нано.

Далее в среде arduinoIDE был написан код, представленный ниже

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 4); //адрес и размер дисплея
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_ADS1015.h>
#include <SPI.h>
Adafruit_ADS1115 ads(0x48); //адрес АЦП
#define Capacityvkl 9 // кнопка сброса счетчика емкости
(подключена на pin 9)
#define RESET_BUTTON 6 //Кнопка для обнуления напряжения,
тока и ёмкости (подключена на pin 6)
#define BUZER 2 // Куда подключен бuzzer (pin 2)
#define ADS1115Sensitivity 0.1875 //Чувствительность ADS1115 = 0.125
для GAIN_ONE
#define ACS713Sensitivity 0.1866 //Чувствительность ACS713
подбираем опытным путем.
#define NOISE_SUPPRESSOR //Шумоподавление (Прокомментируйте
эту строку, чтобы отключить шумоподавитель)
float Voltage; // объявляем переменные
```

```

float Curent;
float Watt ;
float Capacity;

float PrimaryVoltage = 0.0;    //Первичный результат измерения
напряжения
float PrimaryCurrent = 0.0;    //Первичный (до обнуления) результат
измерения тока
float AmendmentCurrent = 0.0; //Поправочная переменная для вычета
погрешности из тока перед измерением (для обнуления)
float Current = 0.0;          //Конечный (после обнуления) результат
измерения тока
unsigned long prevMillis;     //Переменная таймера используются для
расчёта измерителя ёмкости
float measureSingleEnded(uint8_t channel, uint8_t divider, uint8_t
iterations) {
    int16_t adc;    //16-разрядное целое число, полученное из ADC (АЦП)
    long accum = 0; //сумма <итераций> измерений из <итераций>
измерения
    for (int i = 0; i < iterations; i++) {
        adc = ads.readADC_SingleEnded(channel); //Присваиваем переменной adc
значения из channel
        accum += adc;
    }
    return accum * divider * ADS1115Sensitivity / 1000 / iterations;
}

void measure(void) {
    //Считываем и выводим значение напряжения//
    int16_t adc3;

```

```

    adc3 = ads.readADC_SingleEnded(3);
    float PrimaryVoltage = float(adc3) * ADS1115Sensitivity / 132.3; //132,3
    коэффициент который подбирается опытным путем,

    //Считываем значение тока, для фильтрации считываем 10 раз и
    выводим среднее//
    float Chan1 = measureSingleEnded(2, 1, 10);
    PrimaryCurrent = (Chan1) / ACS713Sensitivity;
    //Обнуление тока//
    Voltage = PrimaryVoltage;
    Current = PrimaryCurrent - AmendmentCurrent; //считанный
    первичный ток" минус "поправка тока" (изначально "AmendmentCurrent"
    равен нулю и результат "Current" не изменится)
    if (digitalRead (RESET_BUTTON) == !HIGH) { //читаем состояние
    кнопки (стоит инверсия, т.к. включён "INPUT_PULLUP"), если она нажата,
    то...
        AmendmentCurrent = PrimaryCurrent; //первичный ток
        присваиваем переменной "поправка тока"

    }

}

void setup()
{
    // прописываем символы на дисплее, и инициализируем порты
    lcd.begin();
    lcd.backlight();
    lcd.setCursor(4, 1);
    lcd.print("VOLTMETR");

```

```
lcd.setCursor(4, 2);  
lcd.print("ARDUINO");  
lcd.setCursor(4, 3);  
lcd.print("Ver 2.1");  
delay(2000);  
lcd.clear();  
ads.setGain(GAIN_TWOTHIRDS);  
ads.begin();  
pinMode(Capacityvkl, INPUT_PULLUP);  
pinMode(BUZER, OUTPUT);  
BEEP ();  
lcd.setCursor(0, 0);  
lcd.print("Voltage:");  
lcd.setCursor(0, 1);  
lcd.print("Current:");  
lcd.setCursor(0, 2);  
lcd.print("Power:");  
lcd.setCursor(0, 3);  
lcd.print("Capacity:");  
lcd.setCursor(16, 0);  
lcd.print("V");  
lcd.setCursor(16, 1);  
lcd.print("A");  
lcd.setCursor(16, 2);  
lcd.print("W");  
lcd.setCursor(16, 3);  
lcd.print("A/h");  
pinMode(RESET_BUTTON, INPUT_PULLUP);  
}
```

```

void BEEP () {
    digitalWrite(BUZER, HIGH); // функция бузера
    delay(20);
    digitalWrite(BUZER, LOW);
    delay(20);
}

void loop()
{
    measure();
    if (Current >= 10) {
        BEEP ();           // при превышении например 10 ампер, вызвать
        функцию бузера
    }
    #ifndef NOISE_SUPPRESSOR
        //++++ обрабатывать значения напряжения менее 5мВ как ноль для
        подавления шума вблизи нуля +++++
        if (Voltage <= 0.015) {
            Voltage = 0;
        }
        //++++ обрабатывать значения тока менее 15мА как ноль для
        подавления шума вблизи нуля +++++
        if (abs(Current) <= 0.015) {
            Current = 0;
        }
        //++++ обрабатывать значения мощности менее 15мВт как ноль для
        подавления шума вблизи нуля +++++
        if (abs(Watt) <= 0.015) {
            Watt = 0;
        }
    }
}

```

```

}
#endif

//++++ Вывод НАПРЯЖЕНИЯ на Дисплей +++++
if (Voltage >= 10.0) { //Если напряжение с переменной "Voltage" больше
или равно 10, то...
    lcd.setCursor(9, 0); //... устанавливаем курсор на (9 колонку 0-й строки)
} else { //Иначе...
    lcd.setCursor(9, 0); //Переводим курсор на (9 колонка 0-й строки)
}
lcd.print(" ");
lcd.print(Voltage, 2); //выводим на дисплей значение переменной
"Voltage" с 2-ми знаками после запятой.
lcd.print(" ");
//++++ Вывод ТОКА на Дисплей +++++
if (Curent < 0) { //Если ток с переменной "Current" меньше нуля, то...
    lcd.setCursor(8, 1); //... устанавливаем курсор на (8 колонку 1-й строки)
} else { //Иначе...
    lcd.setCursor(9, 1); //Переводим курсор на (9 колонка 1-й строки)
}
lcd.print(" ");
lcd.print(Current); //выводим на дисплей значение переменной "Current"
lcd.print(" ");
//++++ Вывод Мощности на Дисплей +++++
Watt = Voltage * Current;
if (Watt <= 10.0) { //Если ток с переменной "Curent" меньше нуля,
то...
    lcd.setCursor(9, 2); //... устанавливаем курсор на (9 колонку 2-й строки)
} else { //Иначе...

```

```

    lcd.setCursor(9, 2); //Переводим курсор на (9 колонка 2-й строки)
}
lcd.print(" ");
lcd.print(Watt, 1); //выводим на дисплей значение переменной "Watt"
lcd.print(" ");

//++++ Вывод залитой ЁМКОСТИ через Ваттметр на Дисплей +++++
Capacity += (Current * (millis() - prevMillis) / 3600000); //расчёт залитой
ёмкости в Ампер-Часах (Ач) через Ваттметр
prevMillis = millis();
if (digitalRead (Capacityvkl) == LOW) {
    Capacity = 0.0;
}
lcd.setCursor(10, 3); //Переводим курсор на (10 колонку 3-й строки)
lcd.print(Capacity, 3);
lcd.print(" ");
delay(100);
}

```

В силу того, что данное дополнение не имеет прямого отношения к источнику питания постоянного тока, считаю, что оно носит факультативный характер. Далее, чем написание примерного кода, данная тема не разрабатывалась.

2.2 Выбор элементов источника питания

В качестве трансформатора для блока питания применяем тороидальный трансформатор с двумя обмотками. Первичная обмотка ~ 220В, вторичная ~15В с максимальным током нагрузки 3А. Трансформатор представлен на рисунке 2.5



Рисунок 2.5 – Тороидальный трансформатор

«Тороидальные трансформаторы имеют несколько преимуществ по сравнению с традиционными трансформаторами. Во-первых, их конструкция способствует более высокому коэффициенту полезного действия, поскольку они меньше теряют энергию в виде тепла. Кроме того, тороидальные трансформаторы имеют меньшие размеры и вес, что делает их идеальными для применения в компактных устройствах» [10].

«С точки зрения схемотехники, вторичная обмотка трансформатора будет использоваться для подачи напряжения на схему выпрямления, что позволит получить необходимое постоянное напряжение для работы микросхем и других компонентов блока питания. Трансформатор также играет важную роль в гальванической развязке, что обеспечивает дополнительную безопасность и защиту подключаемых устройств» [11].

Далее перейдем к выбору остальных элементов схемы и сформируем список в таблице 2.1

Таблица 2.1 Список компонентов.

Обозначение на плате	Маркировка/номинал
R1	2,2 кОм 1W

R2	82 Ом 1/4W
R3	220 Ом 1/4W
R4	4,7 кОм 1/4W
R5, R6, R13, R20, R21	10 кОм 1/4W
R7	0,47 Ом 5W
R8, R11	27 кОм 1/4W
R9, R19	2,2 кОм 1/4W
R10	270 кОм 1/4W
R12, R18	56кОм 1/4W
R14	1,5 кОм 1/4W
R15, R16	1 кОм 1/4W
R17	33 Ом 1/4W
R22	3,9 кОм 1/4W
RV1	100K
P1, P2	10KOhm
C1	3300 uF/50V электролитический
C2, C3	47uF/50V электролитический
C4	100нФ
C5	200нФ
C6	100пФ
C7	10uF/50V электролитический
C8	330пФ керамический
C9	100пФ керамический
D1, D2, D3, D4	1N5408
D5, D6	1N4148
D7, D8	5,6V Зенер
D9, D10	1N4148
D11	1N4001

Q1	BC548
Q2	2N2219
Q3	BC557
Q4	2N3055
U1, U2, U3	TL081
D12	Светодиод

2.3 Принцип работы

Трансформатор понижает входное переменное напряжение с сети. Это напряжение будет выпрямлено для дальнейшего использования. Четыре диода (1N5408) образуют мостовой выпрямитель, который преобразует переменное напряжение трансформатора в пульсирующее постоянное напряжение. Конденсаторы C1 и C2 сглаживают пульсации после выпрямления, обеспечивая более стабильное постоянное напряжение.

Большой конденсатор C1 (3300 мкФ) убирает основные пульсации, а C2 устраняет оставшиеся мелкие пульсации. Q4 (2N3055) работает как усилительный элемент, регулируя выходное напряжение под управлением операционных усилителей. Он поддерживает стабильное выходное напряжение и управляется цепью обратной связи от выходного напряжения. Операционный усилитель (U1) принимает сигнал обратной связи с выхода и сравнивает его с эталонным напряжением, задаваемым потенциометром P1. Усилитель управляет транзистором Q4 для изменения выходного напряжения в пределах от 0 до 12 В. Зенеровские диоды (D7, D8) стабилизируют работу схемы и защищают её от перенапряжений.

Конденсатор C7 (10 мкФ) устраняет остаточные пульсации и делает выходное напряжение более стабильным. Резистор R7 (0,47 Ом, 5 Вт) – этот резистор выполняет функцию шунта, измеряющего ток. Транзисторы Q1 (BC548) и Q2 (2N2219) – эти транзисторы связаны с контролем тока.

Операционный усилитель U2 – этот усилитель отвечает за сравнение тока, поступающего через резистор-шунт R7, с заданным значением.

2.4 Проверка работоспособности схемы.

Любая, даже самая простая схема, после ее реализации на бумаге требует проверки, в ходе которой мы можем проверить себя, найти неточности, ошибки и исправить их. Самым верным, но при этом самым сложным способом является прикладное изготовление схемы. Но нужно понимать, что это далеко не всегда удобно. Для реализации данного процесса в настоящее время существуют программы-эмуляторы схем. В работе мною была использована программа SimulIDE.

Для проверки работоспособности схемы в главном окне программы при помощи нужных элементов была создана разработанная ранее схема. После запуска симуляции работы схемы, необходимо проконтролировать отсутствие ошибок. С помощью вольтметра и осциллографа зафиксированы параметры. Результат работы симулятора представлен на рисунках 2.6 – 2.10

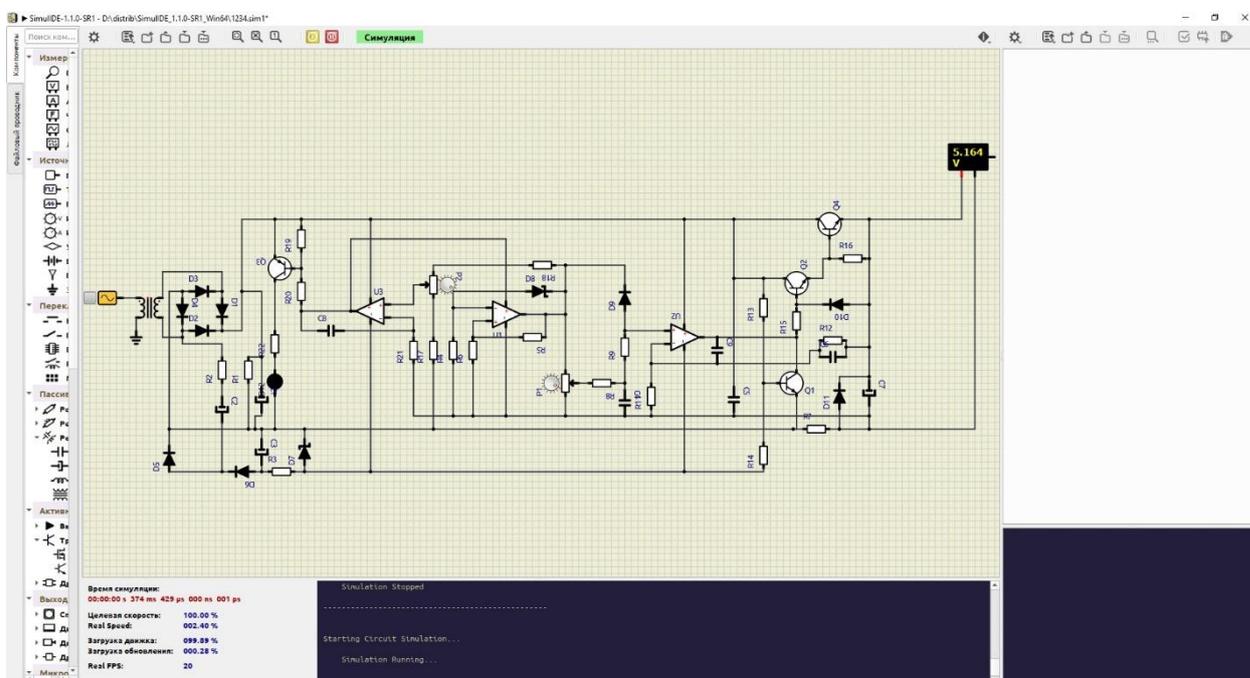


Рисунок 2.6 – Симуляция в программе SimulIDE.

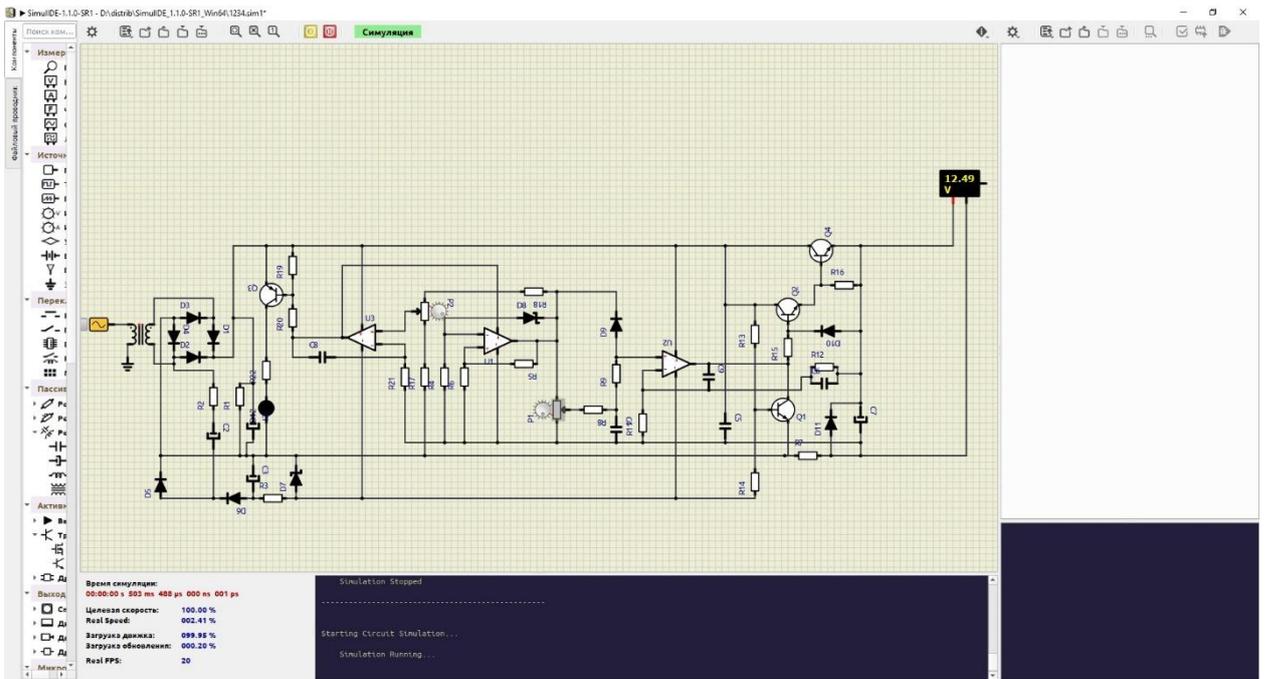


Рисунок 2.7 - Симуляция в программе SimulIDE.

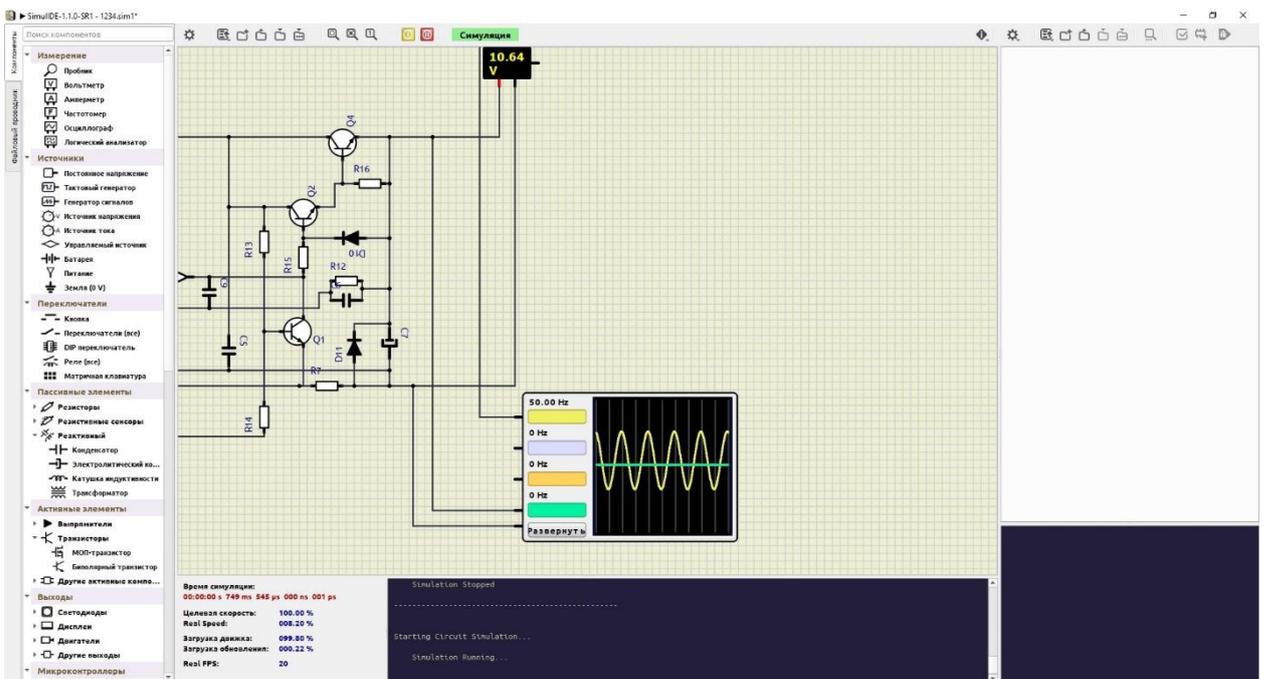


Рисунок 2.8 - Симуляция в программе SimulIDE.

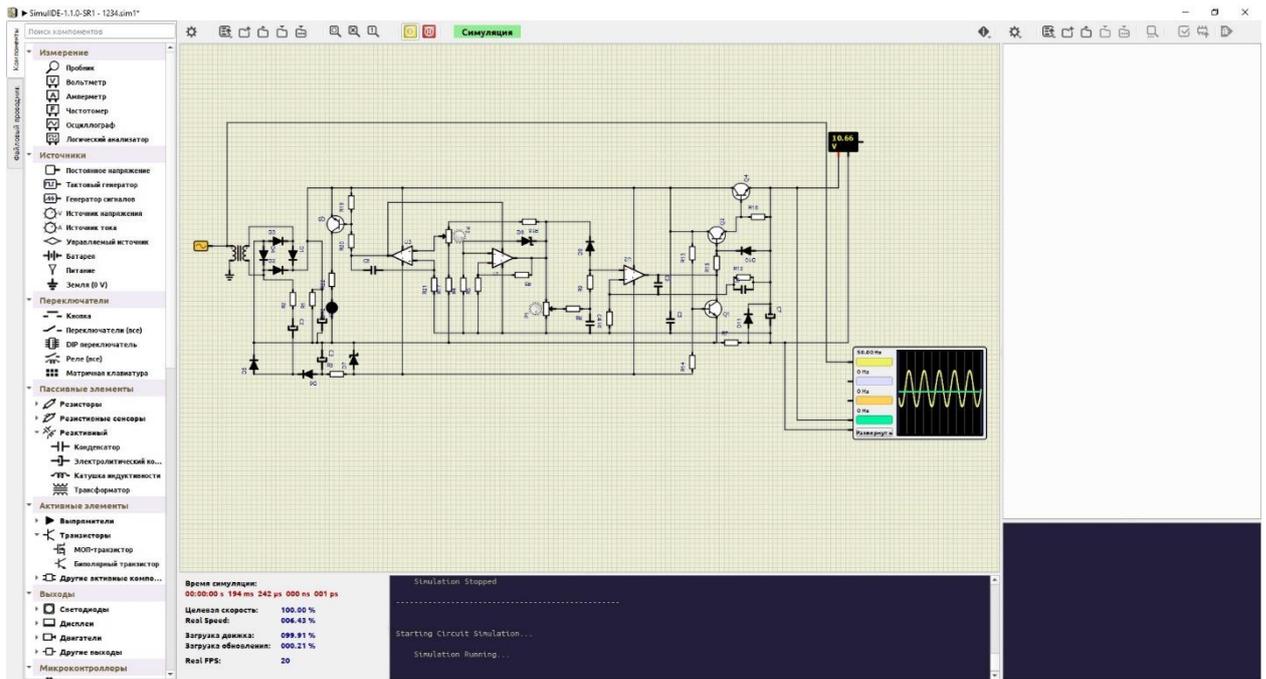


Рисунок 2.10 - Симуляция в программе SimuIDE.

3 Технологический раздел

3.1 Технология разработки печатной платы

Разработка печатной платы включает несколько ключевых этапов, начиная от проектирования и заканчивая тестированием. Вот основные шаги и технологии, используемые в процессе создания печатных плат:

- проектирование схемы: используются специализированные программы для создания электрической схемы, такие как Altium Designer, Eagle, KiCad и др. Определение типов и характеристик используемых компонентов;

- проектирование макета: расположение компонентов на плате с учетом их размеров, тепловых характеристик и электрических требований. Прокладка проводников между компонентами, соблюдение правил электромагнитной совместимости (ЭМС) и минимизация паразитных эффектов. Определение количества слоев платы (однослойные, двухслойные, многослойные) и их функциональности (сигнальные, силовые, земляные);

- подготовка файлов для производства: экспорт проекта в формате Gerber, который используется производителями ПП. Drill-файлы: Файлы с информацией о местоположении и диаметрах отверстий под компоненты. Файлы для программного обеспечения числового контроля (CNC), используемого для фрезерования и гравировки платы;

- производство ПП: нанесение фоточувствительного слоя на медную фольгу, экспозиция с использованием Gerber-файлов и последующая химическая разработка для удаления ненужной меди. Удаление лишней меди, оставляя только необходимые проводники. Сверление отверстий для установки компонентов. Для многослойных плат — склеивание слоев с использованием пресс-форм и высокой температуры. Нанесение защитного покрытия и маркировка для обозначения мест установки компонентов;

- монтаж компонентов: автоматическая пайка (с использованием волновой или рефлекторной пайки) или ручная пайка. Визуальный и автоматический контроль качества пайки и установки компонентов;

- тестирование и отладка: проверка работоспособности платы с использованием специализированного оборудования. Идентификация и устранение дефектов, если они обнаружены.

Каждый из этих этапов требует внимательного подхода и использования современных технологий для обеспечения высокого качества и надежности печатных плат.

3.2 Разработка печатной платы

Таким образом, после создания схемы устройства и выбора его компонентов мы перешли к следующему этапу – разработке печатной платы будущего устройства. По разработкой печатной платы следует понимать процесс состоящий, на мой взгляд, из трех основных процессом – компоновка элементов, трассировка дорожек, непосредственное изготовление печатной платы.

Первый этап, а именно компоновка элементов на плате может быть реализован 2 основными путями:

- вручную,
- при помощи авто расстановщика из состава какого-либо ПО.

В ходе выполнения работы, данный процесс был рассмотрен в различных программах. На рисунках 3.1 – 3.2 в качестве примера представлен результат ручной расстановки и автотрассировки в программе DipTrace.

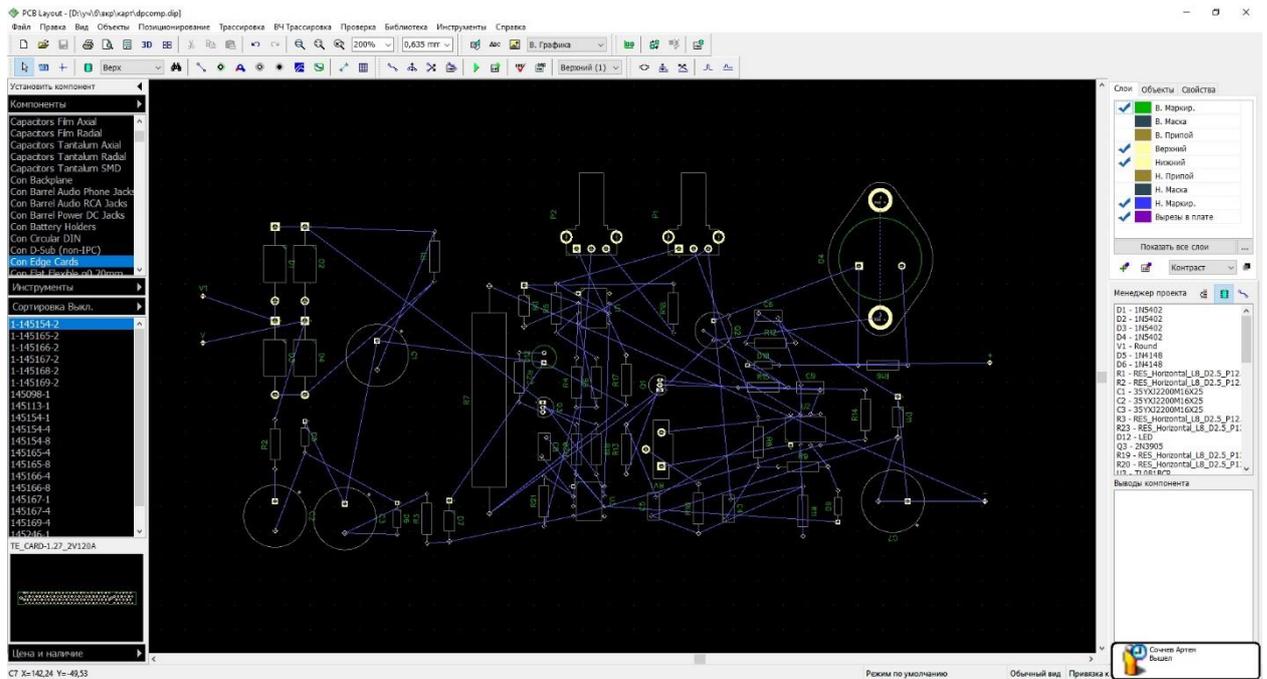


Рисунок 3.1 – Ручная расстановка в DipTrace.

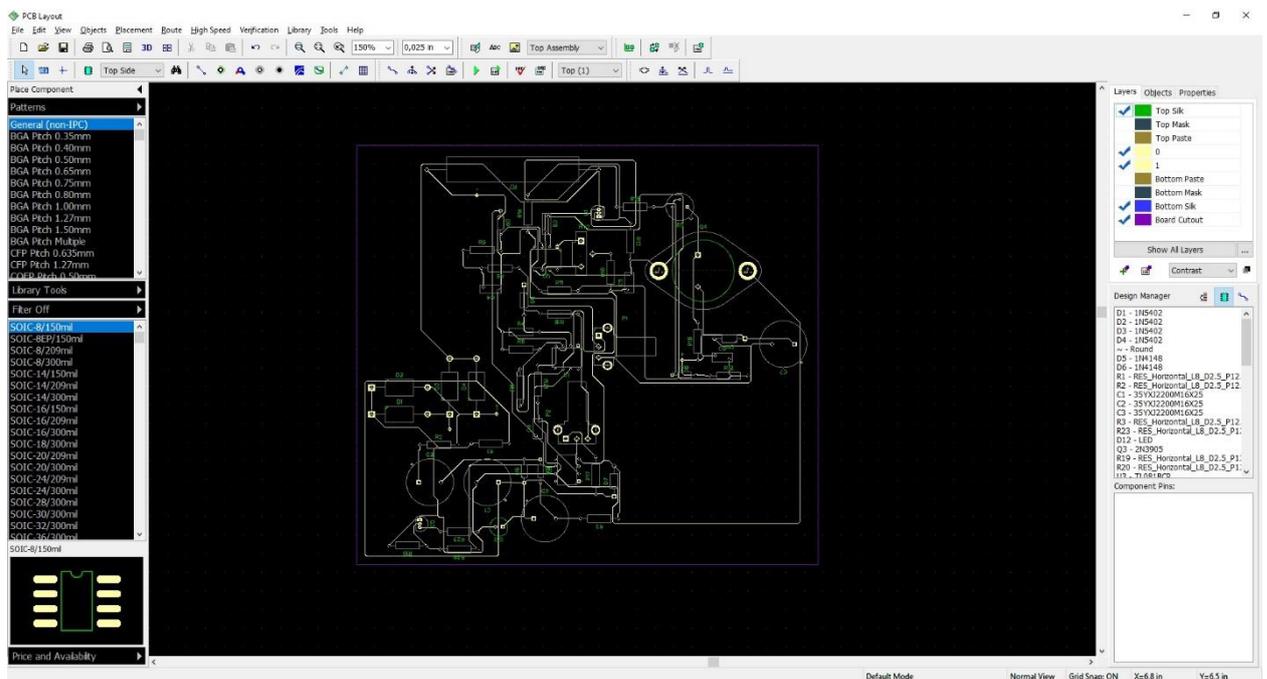


Рисунок 3.2 – Автотрассировка в DipTrace

Нужно отметить, что для корректной работы данного ПО, особенно автотрассировки необходимы очень тонкие настройки программы, которые, как правило, не известны рядовому пользователю. Гораздо проще и доступнее реализовать процесс расстановки компонентов и прокладки дорожек

программе Sprint-Layout. На рисунке 3.3 представлен результат расстановки компонентов и прокладки дорожек.

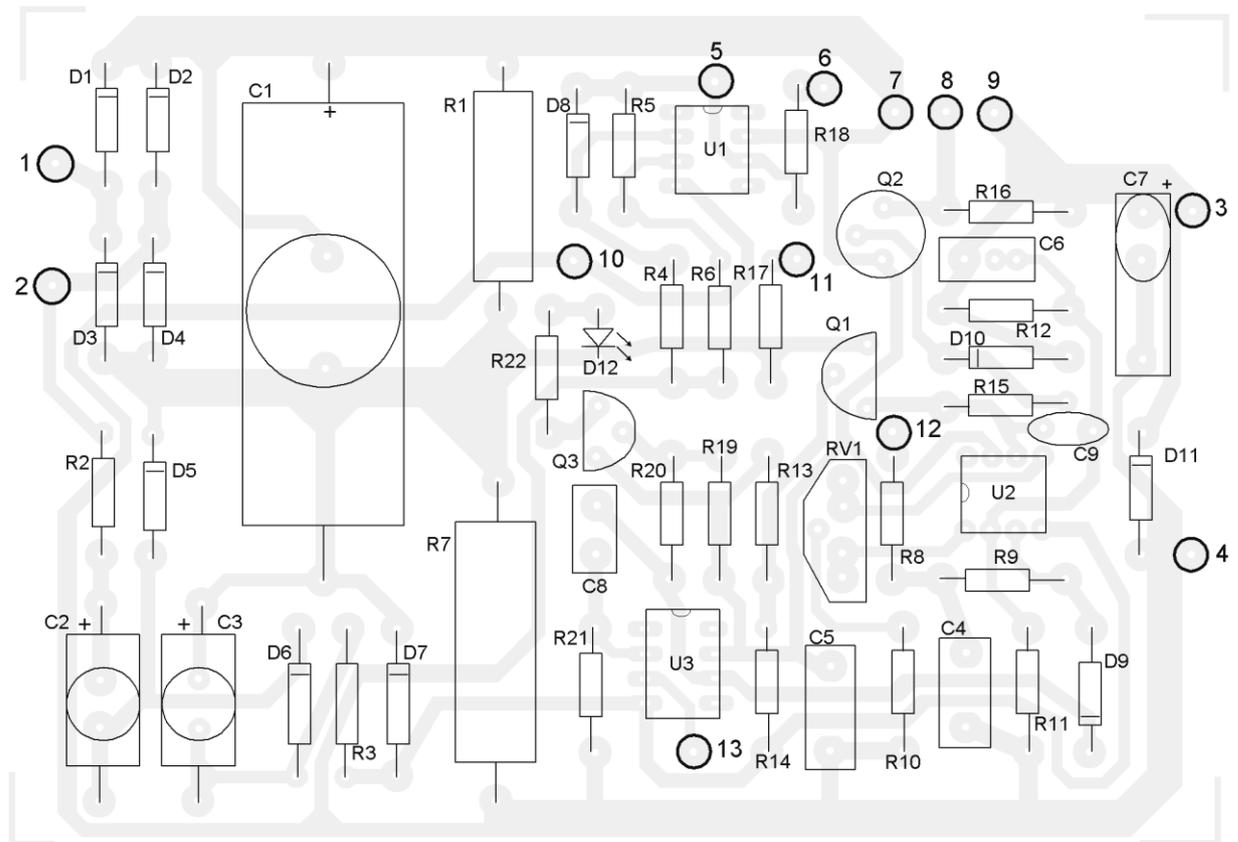


Рисунок 3.3 – Результат работы в программе Sprint-Layout.

Результатом работы в программе Sprint-Layout будет печатная плата, готовая для переноса на текстолит. На рисунке 3.4 представлено рабочее окно программы

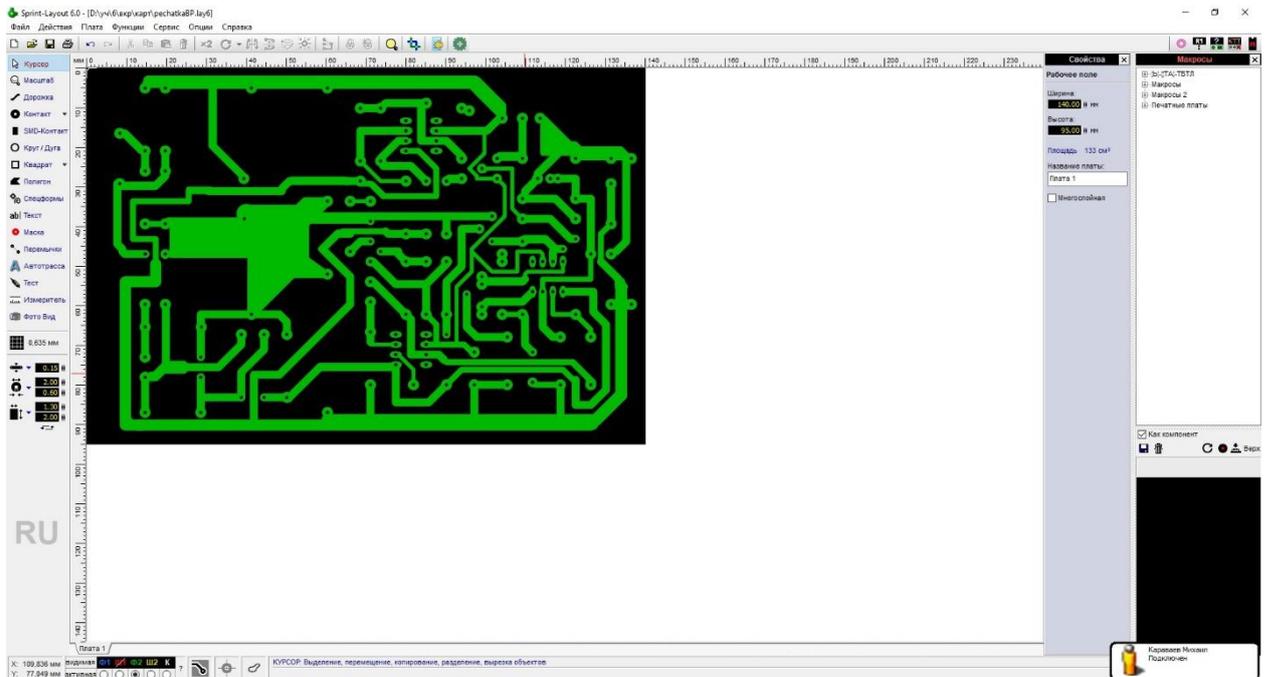


Рисунок 3.4 – Рабочее окно программы

После экспорта изображения в удобный нам формат мы получаем зеркальное изображение дорожек печатной платы, готовое для переноса на текстолит и последующего изготовления платы. Готовая печатная плата представлена на рисунке 3.5.

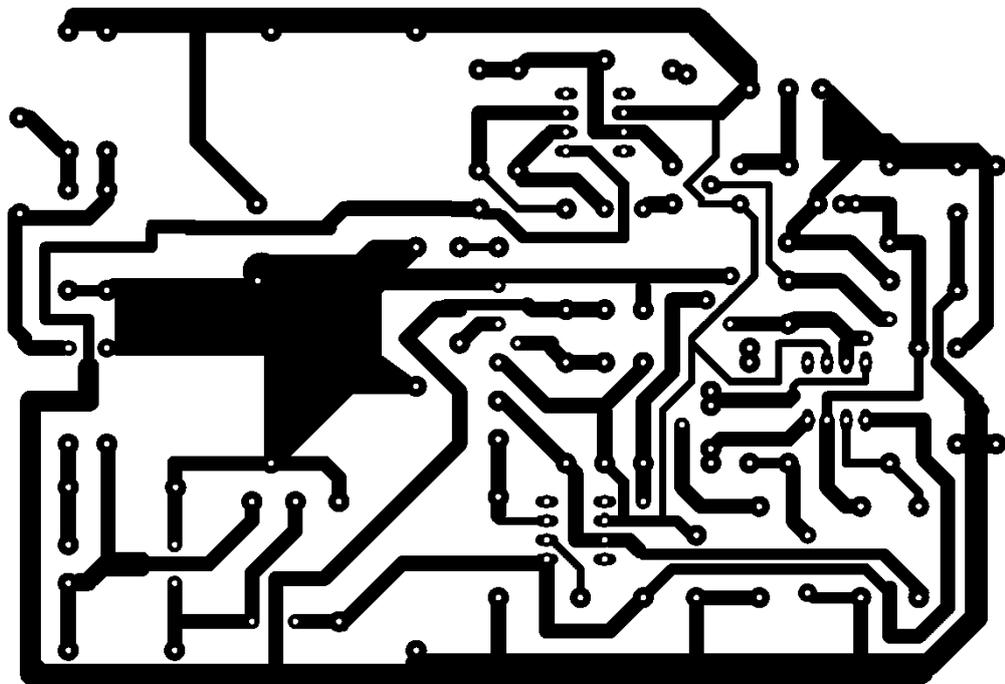


Рисунок 3.5 – Изображение готовой печатной платы.

Следует отметить, что в промышленных масштабах платы изготавливаются иначе. Продуктом деятельности специализированного ПО по изготовлению платы, как правило, являются gerber файлы, которые содержат данные о слоях платы. Такими данными могут быть ширина медных дорожек, отверстия для сверловки, переходные отверстия, шелкография. Данные файлы передаются на завод по изготовлению плат. В настоящее время, такой способ изготовления доступен для всех, и может быть реализован с помощью сервисов, таких как JLCPCB.

Способ, указанный выше обладает высоким качеством, но не всегда применим, так как его использование предполагает массовость. Радиолюбителями чаще используются фоторезист и ЛУТ. Одни их основных минусов данных технологий – не всегда с первого раза получается плата хорошего качества, невозможно изготавливать платы с тонкими дорожками.

Поэтому, в ходе профессиональной и любительской деятельности был придуман следующий способ. На подходящий кусок фольгированного текстолита рисунок 3.6.



Рисунок 3.6 – Фольгированный текстолит.

Наносится слой аэрозольной краски – рисунок 3.7



Рисунок 3.7 – Нанесение краски на текстолит.

Далее необходимо подготовить изображение печатной платы. Так как на рабочем месте имеется доступ к твердотельному лазерному гравировальному станку, плата будет изготавливаться с его помощью. Как следствие рисунок платы, необходимо подготовить для работы с данным станком. На рисунке 3.8 показано рабочее окно программы МаксиГраф. Все что нам нужно – это отзеркалить изображение, получив тем самым негатив.

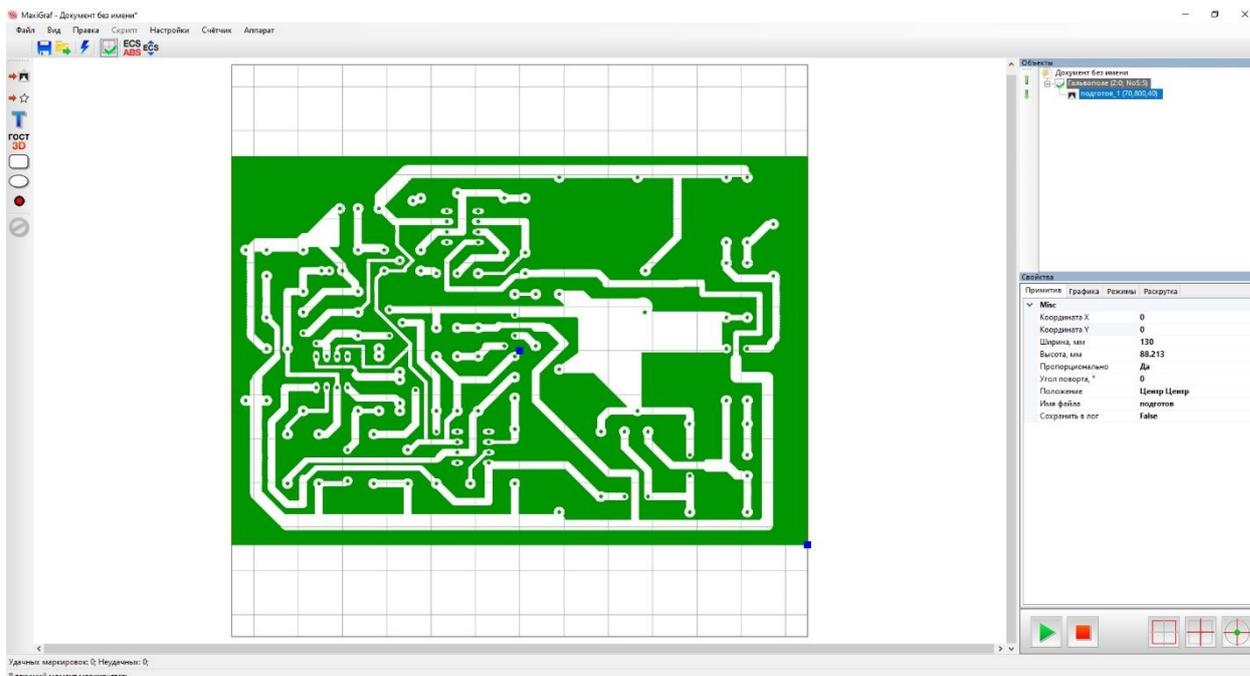


Рисунок 3.8 - Рабочее окно программы МаксиГраф.

После высыхания краски устанавливаем текстолит в рабочую область станка. В ходе работы на минимальных режимах лазером будет удалена краска с областей, залитых зеленым цветом. Так как ни один из растворов для хранения не взаимодействует с краской на останется только протравить плату, удалить краску с дорожек, просверлить отверстия. Результат работы лазера показан на рисунке 3.9

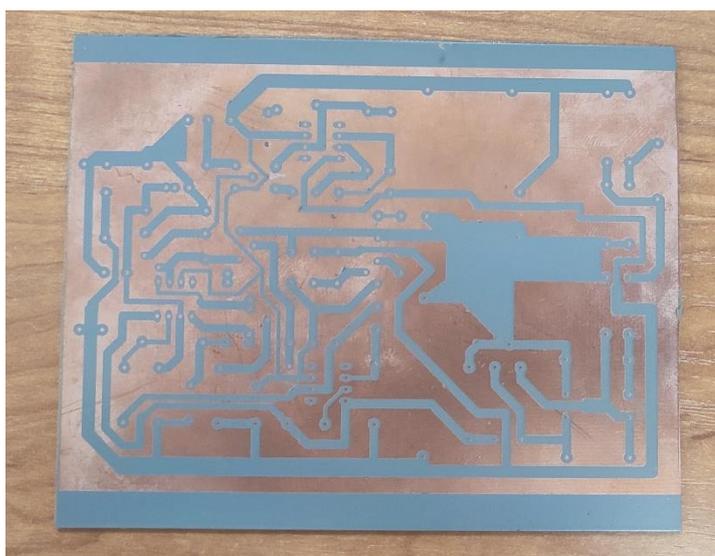


Рисунок 3.9 – Текстолит, обработанный лазером

Заключение

В данной работе были рассмотрены готовые решения, сформирована модель разрабатываемого устройства.

В первом разделе были рассмотрены аналоги блоков питания постоянного напряжения. Произведен отбор критериев для разработки устройства, а именно:

- регулируемая величина выходного напряжения 0...12 В,
- максимальный выходной ток 2 А,
- максимальная выходная мощность источника питания,

В завершении первого раздела разработана структурная схема импульсного источника питания с регулируемым выходным напряжением.

В последующих частях работы произведена разработка электронной схемы, выбор электронных компонентов для выполнения поставленных задач. Так же была разработана печатная плата.

Результатом выполнения работы является изготовление сетевого блока питания с заданными параметрами, который может быть использован в качестве источника питания с регулируемым выходным напряжением с широким спектром применения.

Таким образом считаю, что цель выпускной квалификационной работы – разработка сетевого блока питания постоянного напряжения выполнена полностью, реализованы все поставленные задачи:

- проведен анализ аналогичных устройств,
- определены критерии для разработки,
- разработана структурная схема,
- разработана электронная схема,
- выбраны компоненты,
- произведена разработка печатной платы.

Список используемой литературы

1. Бирзникс Л.В. Импульсные преобразователи постоянного тока М.: Энергия, 1974 — 260 с.
2. Глазков, В. В. Теория работы и расчет импульсных преобразователей напряжения : учебное пособие / В. В. Глазков. — Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. — 30 с. — ISBN 978-5-7038-4321-5.
3. Доброневский О.В. Справочник по радиоэлектронике 2-е изд. — Киев: Вища школа, 1974. — 294 с.
4. Конденсатор керамический smd 330пФ [Электронный ресурс] URL: <https://www.chipdip.ru/product/grm2165c1h331j>.
5. Конденсатор электролитический ЕСАР 680/50V [Электронный ресурс] URL: <https://www.chipdip.ru/product0/8007881228>.
6. Конденсаторы электролитические [Электронный ресурс] URL: <https://www.chipdip.ru/catalog/aluminum-electrolytic-capacitors?x.358=XuW&x.359=aFU&ps=x3>.
7. Мелешин В.И. Транзисторная преобразовательная техника. – М.: Тех-носфера, 2005. – 632 с.
8. Резистор переменный 16K1-B5K [Электронный ресурс] URL: <https://www.chipdip.ru/product/16k1-b5k>.
9. Резистор подстроечный 3296W222 BARONS 2,2к [Электронный ресурс] URL: <https://www.chipdip.ru/product0/8008841259>.
10. Резистор проволочный мощный (цементный) SQP 5 Вт 0.15 Ом [Электронный ресурс] URL: <https://www.chipdip.ru/product/sqp-5w-0.15-om-5>.
11. Саттаров, Р. Р. Импульсные преобразователи постоянного напряжения. Анализ и моделирование : учебное пособие / Р. Р. Саттаров, Р. Т. Хазиева. — Уфа : УГНТУ, 2022. — 71 с. — ISBN 978-5-7831-2300-9.
12. Севернс Рудольф П., Блум Гордон. Импульсные преобразователи постоянного напряжения для систем вторичного электропитания Пер. с англ. под ред. Л.Е. Смольникова. — М.: Энергоатомиздат, 1988. — 294 с.: ил. — ISBN 5-283-02435-0. М.: Энергия, 1974 — 260 с.
13. Суходольский В. Ю. Altium Designer: проектирование функциональных узлов РЭС на печатных платах — СПб.: БХВ-Петербург, 2010. — 480 с.: ил. — (Учебное пособие).
14. Шрайбер, Г. 300 схем источников питания. Выпрямители. Импульсные источники питания. Линейные стабилизаторы и преобразователи : сборник / Г. Шрайбер. — Москва : ДМК Пресс, 2008. — 224 с. — ISBN 5-93700-016-1.
15. ACS712: https://lesson.iarduino.ru/page/current_sensor/
16. AN920/D. Theory and Applications of the MC34063 and A78S40 Switching Regulator Control Circuits. APPLICATION NOTE. Publication Order

Number: AN920/D. December, 2013 – Rev. 6 Semiconductor Components Industries, LLC, 2013.

17. AN954. Transformerless Power Supplies: Resistive and Capacitive/Reston Condit. - DS00954A. - Microchip Technology Inc 2004.

18. KBPC1005 THRU KBPC110. SINGLE PHASE GLASS BRIDGE RECTIFIER Voltage: 50 TO 1000V CURRENT:3.0A . - SHANGHAI CHENYI ELECTRONICS CO.,LTD. 2000.

19. KBPC102 (BR32), Диодный мост [Электронный ресурс] URL: <https://www.chipdip.ru/product/kbpc102>.

20. MC34063A, MC33063A, SC34063A, SC33063A, NCV33063A. Publication Order Number: MC34063A/D. - August, 2010 – Rev. 23. - Semiconductor Components Industries, LLC, 2010.

21. MC34063AP1G, Повышающий/ понижающий преобразователь напряжения [Электронный ресурс] URL: https://www.chipdip.ru/product/mc34063ap1g?from=suggest_product.

22. MJE15030, Транзистор NPN [Электронный ресурс] URL: https://www.chipdip.ru/product/mje15030-iscsemi?from=suggest_product.

23. MJE15030. isc Silicon NPN Power Transistor. // isc Product Specification. - IN-CHANGE Semiconductor.

24. OP07C, OP07D. SLOS099G –OCTOBER 1983–REVISED NOVEMBER 2014 // Copyright © 1983–2014, Texas Instruments Incorporated [Электронный ресурс] URL <https://www.ti.com/product/OP27?keyMatch=OP7>

25. SCHOTTKY BARRIER RECTIFIER . – SUNMATE [Электронный ресурс] URL: <https://www.vishay.com/en/product/88526/>