

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

Институт машиностроения  
(наименование института полностью)

Кафедра «Промышленная электроника»  
(наименование)

11.03.04 Электроника и нанoeлектроника  
(код и наименование направления подготовки / специальности)

Промышленная электроника  
(направленность (профиль) / специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Лабораторный источник питания 0-24В 5А с цифровой

индикацией и защитой от перегрузок

Обучающийся

И.А. Куликов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

д.т.н, доцент, В.П. Певчев

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

Тольятти 2025

## **Аннотация**

Тема выпускной квалификационной работы “Лабораторный источник питания 0-24В 5А с цифровой индикацией и защитой от перегрузок”.

Представленная работа включает в себя пояснительную записку на 60 листах включающей в себя 65 рисунков, 1 приложения, список используемой литературы, состоящий из 26 источников, в том числе 11 иностранных источников и графическую часть на 6 плакатах формата А1.

В первой части выпускной квалификационной работы были рассмотрены виды блоков питания, существующие на рынке решения, а также разработана основная концепция и структура проектируемого лабораторного источника питания.

Во второй части выпускной квалификационной работы была рассмотрена и подобрана вся необходимая компонентная база лабораторного источника напряжения. Проработаны все необходимые электрические связи между функциональными блоками устройства. Была определена окончательная структура и электрическая схема разрабатываемого устройства.

В третьей части данной выпускной квалификационной работы были разработаны прототипы печатных плат для размещения составных узлов лабораторного источника питания.

Целью выполнения данной выпускной квалификационной работы является повышение уровня доступности и качества использования лабораторных источников напряжения, по средствам создания лабораторного источника питания 0-24В 5А с цифровой индикацией и защитой от перегрузок, сохраняющего все основные и необходимые характеристики и функции при более низкой себестоимости относительно образцов промышленного исполнения.

## Содержание

|                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Введение.....                                                                     | 5  |
| 1 Состояние вопроса .....                                                         | 6  |
| 1.1 Обзор существующих решений .....                                              | 6  |
| 1.2 Определение концепции разработки .....                                        | 13 |
| 2 Разработка лабораторного источника питания .....                                | 18 |
| 2.1 Цепь power supply .....                                                       | 18 |
| 2.2 Блок преобразования DC/DC.....                                                | 30 |
| 2.3 Блок индикации параметров.....                                                | 34 |
| 2.4 Блок защиты от перегрузок и КЗ.....                                           | 45 |
| 3 Разработка печатных плат ЛБП .....                                              | 50 |
| Заключение .....                                                                  | 57 |
| Список используемой литературы .....                                              | 58 |
| Приложение А Перечень элементов к схеме электрической<br>принципиальной ЛБП ..... | 61 |

## Введение

В современном мире активное применение находят разнообразные переносные и мобильные источники питания. Одним из ярких представителей электрических устройств такого типа является лабораторный источник питания, активно используемый в процессах отладки и тестирования электронных устройств и образцов, а также проведения всевозможных научных и инженерных экспериментов.

Использование лабораторных источников напряжения предоставляет своим целевым пользователям обширные возможности и удобства при проведении экспериментов с цифровой и аналоговой электроникой, а также ремонте электронного оборудования за счет обеспечения мобильности, оперативного подключения и обеспечения диапазона специфического напряжения 0-30 В DC в зависимости от выбранной модели.

Лабораторные источники напряжения зачастую оснащены устройствами и цепями контроля выходного напряжения и тока и защиты от перегрузки. Помимо того, в состав лабораторных источников напряжения включают дисплеи или цифровые устройства индикации выходных параметров, что обеспечивает точность контроля и установки требуемого напряжения и тока, однако такие лабораторные источники напряжения являются значительно более дорогими и доступными к покупке только более крупным сервисным центрам и предприятиям.

Целью выполнения данной выпускной квалификационной работы является повышение уровня доступности и качества использования лабораторных источников напряжения, по средствам создания лабораторного источника питания 0-24В 5А с цифровой индикацией и защитой от перегрузок, сохраняющего все основные и необходимые характеристики и функции при более низкой себестоимости относительно образцов промышленного исполнения.

## 1 Состояние вопроса

### 1.1 Обзор существующих решений

В текущих реалиях разнообразные переносные и мобильные источники питания являются неотъемлемой частью проектирования и ремонта электронных устройств. Одним из ярких представителей электрических устройств такого типа является лабораторный источник питания, активно используемый в процессах отладки, тестирования и ремонта электронных устройств и образцов, а также проведения всевозможных научных и инженерных экспериментов [2].

Блоки питания классифицируются по напряжению на выходе, по роду выходного тока, целевой задаче, типу источника питания и некоторым другим параметрам, как показано на рисунке 1 [15].



Рисунок 1 – Классификация источников питания

На рисунке 2 представлен типовой лабораторный источник напряжения.



Рисунок 2 – Типовой вид лабораторного источника напряжения

Как правило лабораторные источники питания необходимы для организации цепей power supply напряжением от 0 до 60 В и током до 6 А. На текущий момент на рынке достаточно много предложений в области данных источников питания от разных производителей и в разном ценовом диапазоне. На рисунке 3 представлен лабораторный источник напряжения от компании MAISHENG.



Рисунок 3 – Лабораторный блок питания MAISHENG MS305D

Лабораторный блок питания MAISHENG MS305D является импульсным стабилизированным источником питания и хорошо адаптирован для использования в различных лабораториях, сервисных центрах и производственных площадках. Регулируемый выход обеспечивает диапазон напряжения от 0 до 30 В и ток до 5 А, что делает этот блок питания универсальным решением для различных задач, связанных с тестированием или настройкой электронных компонентов. MS305D оснащён встроенным стабилизатором напряжения, который обеспечивает высокую точность регулирования питания и минимальные пульсации (до 10 мВ rms для напряжения, 20 мА rms для тока) [1]. Помимо этого, данный блок питания оснащён системой удобного регулирования заданного напряжения и тока и

цифровой индикацией. На рисунке 4 представлены некоторые технические характеристики данного источника напряжения.

|                                    |                                                          |
|------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Выходное напряжение                | 0 - 30 В (регулируемое)                                  |
| Выходной ток                       | 0 - 5 А (регулируемый)                                   |
| Выходная мощность                  | 150 Вт                                                   |
| Входное напряжение                 | 220 В / 50 Гц ( по умолчанию)                            |
| Регулирование питания              | CV $\leq$ 0,05% + 1 мВ<br>CC $\leq$ 0,05% + 1 мА         |
| Регулирование нагрузки             | CV $\leq$ 0,1% + 5 мВ<br>CC $\leq$ 0,1% + 10 мА          |
| Пульсация и шум                    | CV $\leq$ 10 мВ rms<br>CC $\leq$ 20 мА rms               |
| Разрешение                         | 0,1 В, 0,1 А                                             |
| Точность                           | $\pm$ 1% + 1 цифра                                       |
| <b>Защита:</b>                     |                                                          |
| OVP (защита от перенапряжения)     | есть                                                     |
| OSP (защита от перегрузки по току) | есть                                                     |
| OTP (защита от перегрева)          | есть                                                     |
| <b>Общие характеристики</b>        |                                                          |
| Цвет                               | белый                                                    |
| Дисплей                            | 2 светодиодных 3-разрядных дисплея                       |
| Встроенный вентилятор охлаждения   | есть                                                     |
| Подсветка экрана                   | есть                                                     |
| Рабочих температура                | 0°C - 40°C                                               |
| Температура хранения               | -20°C - 80°C                                             |
| Габариты                           | 260 x 155 x 125 мм                                       |
| Вес                                | 2,26 кг                                                  |
| <b>Комплектация</b>                | лабораторный блок питания MAISHENG MS305D – 1 шт         |
|                                    | провода для источника питания – 1 шт                     |
|                                    | инструкция по эксплуатации – 1 шт                        |
| <b>Совместимость</b>               | <a href="#">Кабель питания IEC C13 - Евровилка, 1,4м</a> |

Рисунок 4 – Технические характеристики MAISHENG MS305D

Цена блока питания, рассматриваемого выше и его аналогов, варьируется в пределах 10-20 тысяч рублей, а срок поставки до 8 месяцев, что может являться отталкивающим фактором при закупках для индивидуального пользования или наличием проблем в области централизованных закупок на предприятии. Ориентируясь на тот факт, что наиболее часто используемый в различных тестах и производственных нуждах диапазон выходного напряжения составляет 0-24 В рассмотрим блоки питания, удовлетворяющие данным требованиям и имеющие более низкие ценовые диапазоны. На рисунке 5 представлен лабораторный блок питания JTS-120-24 [2].



Рисунок 5 – Лабораторный источник питания JTS-120-24

Данный источник питания является более дешевой вариацией лабораторного источника напряжения с отсутствующей возможностью мониторинга текущих выходных параметров БП и их регулировки. Цена такого устройства и его аналогов варьируется в диапазоне 4-8 тысяч рублей [11]. На рисунке 6 представлены некоторые технические характеристики лабораторного источника питания JTS-120-24, заявляемые заводом изготовителем.

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ

|                                   |                                    |
|-----------------------------------|------------------------------------|
| Выходная мощность                 | max: 120 W                         |
| Выходной ток                      | max: 5 A                           |
| Выходное напряжение               | min: 0.2 V; typ: 24 V; max: 26.4 V |
| Входное напряжение                | min: 200 V; max: 240 V             |
| Предельное входное напряжение     | min: 176 V; max: 264 V             |
| Потребляемый ток от сети AC 230 В | max: 2.2 A                         |
| Коэффициент мощности (PF)         | 0.5                                |
| Пусковой ток                      | 60 A                               |
| КПД, не менее                     | 88 %                               |

Рисунок 6 – Технические характеристики JTS-120-24

Помимо этого, на рынке можно найти и дешевые блоки питания, выполненные в виде одной платы, как показано на рисунке 7 [10].

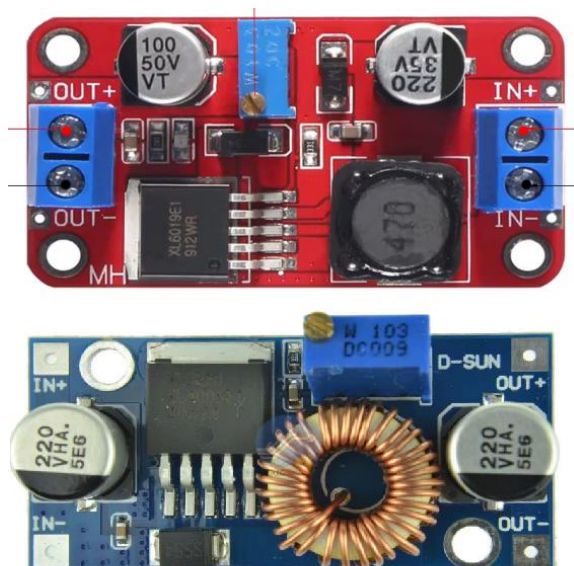


Рисунок 7 – Зарубежные одноплатные источники напряжения

Данные блоки питания просты в получении с сроком доставки до 2 месяцев и имеют низкую стоимость, однако качество, функционал и бесперебойная долговечная работа таких устройств остается под сомнением. На рисунке 8 представлены технические характеристики лабораторного источника напряжения XL6019.

XL6019-это монолитная интегральная схема, специально разработанная для повышения и понижающего повышения. Он может работать от DCSV до диапазона входного напряжения 40 В, с низкой пульсацией и встроенной МОП-системой питания. XL6019 имеет встроенный генератор фиксированной частоты и схему частотной компенсации, что упрощает проектирование схем.

Контур управления ШИМ может линейно регулировать рабочий цикл от 0 до 90%. Встроенная функция защиты от перегрузки по току и функция отключения на логическом уровне EN.

Параметры

Технические характеристики модели: Модуль повышения XL6019

Характер модуля: неизолированный импульс (BOOST)

Метод выпрямления: Асинхронное выпрямление

Диапазон ввода: предельное значение 3-40 В, рекомендуемое значение 3-35 В

Выходной диапазон: предельное значение 5-45 В, рекомендуемое значение 5-40 В (при вращении потенциометра)

Входной ток: предельное значение 0-5А, рекомендуемое значение 0-3А

Эффективность преобразования: до 94%

Частота переключения: 220 кГц, технология импульсного источника питания второго поколения

Пульсация на выходе: менее 100 мВ

Регулировка нагрузки:  $\pm 0,5\%$

Скорость регулирования напряжения:  $\pm 0,5\%$

Предельное значение рабочей температуры:  $-40^{\circ}\text{C} \sim +150^{\circ}\text{C}$ , рекомендуемое значение  $-20^{\circ}\text{C} \sim +85^{\circ}\text{C}$

Защита от обратного подключения: вход 40 В, защита от обратного подключения

Особенности

От 1,5 В до 40 В широкий диапазон входного напряжения 2125 В выходное напряжение выборки напряжения

3. Встроенная функция защиты от перенапряжения SW
4. Фиксированная частота переключения 220 кГц
5. Максимальный ток переключения 5А.
- Эффективность преобразования выше 6,94%
7. Функция отключения TTL на контакте EN
8. Отличная Регулировка линии и нагрузки.
9. Встроенная МОП-Система питания
10. Встроенная функция компенсации частоты.
11. Встроенная функция плавного пуска.

### Рисунок 8 – Технические характеристики XL6019

Исходя из всего вышеперечисленного, а именно, из преимуществ и недостатков всех рассмотренных лабораторных блоков питания, возникает необходимость разработать такой источник напряжения, который бы имел весь необходимый встроенных функционал, отвечал необходимым техническим требованиям и при этом имел более низкую себестоимость, по сравнению с существующими аналогами, что в сочетании с отсутствием необходимости заказа у иностранных поставщиков облегчило бы процесс закупки и эксплуатации как для частных пользователей, так и для промышленных .

## 1.2 Определение концепции разработки

Руководствуясь информацией, представленной в техническом задании к выполнению выпускной квалификационной работы нам необходимо было разработать лабораторный источник питания 0-24В 5А с цифровой индикацией и защитой от перегрузок.

После постановки цели выполнения нашей выпускной квалификационной работы был разработан список задач, которые необходимо решить, для успешного выполнения проекта:

- выбор компонентной базы источника напряжения и его составных узлов;
- разработка электрической связи и необходимых схем;
- разработка всей необходимой электротехнической и конструкторской документации.

В ходе проектирования лабораторного источника питания будем придерживаться концепции сохранения всех необходимых функциональных возможностей, указанных в техническом задании и присущих существующим аналогам, при возможности сохранения более низкой себестоимости и простоты использования конечного устройства [9].

Основные требования, предъявляемые к лабораторным источникам питания:

- наличие функции регулировки выходного напряжения;
- наличие функций защиты от перегрузок и КЗ;
- стабильные выходные характеристики;
- низкий уровень пульсации и шумов.

На рисунке 9 представлена структурная схема типового источника питания.

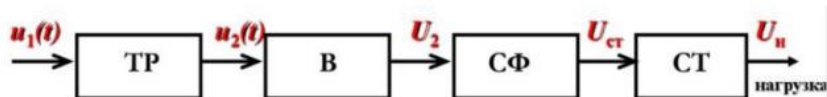


Рисунок 9 – Структурная схема типового источника питания

“Для получения стабильного уровня необходимого выходного напряжения в конструкции источников питания используется базовый набор функциональных элементов:

- трансформатор для преобразования и согласования выходного напряжения сети и входного напряжения источника питания;
- блок выпрямителя, для преобразования переменного напряжения в постоянное;
- сглаживающий фильтр, для обеспечения стабильности и уменьшения пульсации выходного напряжения источника;
- стабилизатор напряжения, для фиксации выходного напряжения в необходимом диапазоне.

Рассматриваемой структурной схеме типового источника питания соответствует электрическая схема, представленная на рисунке 10” [19].

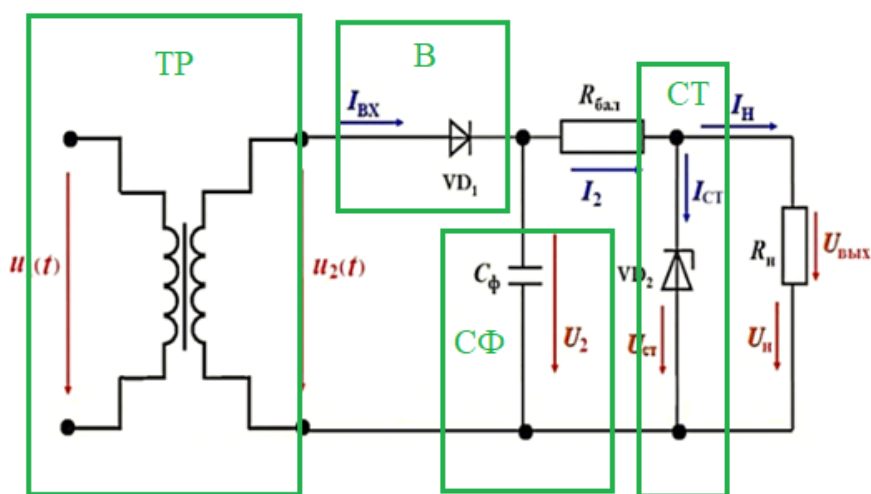


Рисунок 10 – Электрическая схема типового источника питания

На рисунке 11 представлена осциллограмма напряжений на разных узлах рассматриваемого источника питания, иллюстрирующая его работу.

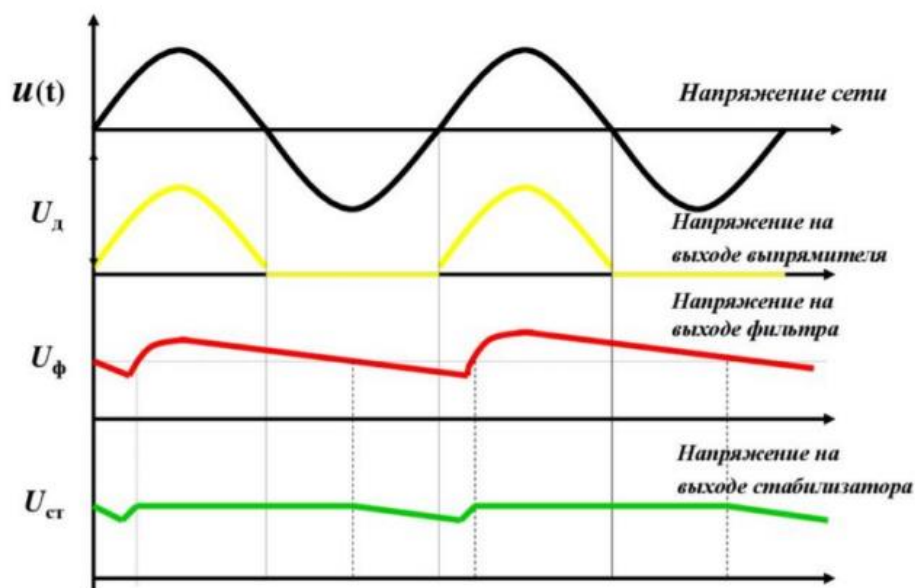


Рисунок 11 – Работа источника питания

Рассматриваемый источник питания является линейным, его принцип работы заключается в применении классического трансформатора и стабилизатора напряжения. Такие источники питания имеют высокую чистоту выходного сигнала и достаточно просты в ремонте и обслуживании, однако являются менее энергоэффективными и имеют большие габариты и меньший КПД по сравнению с импульсными источниками питания.

Линейные источники питания также могут иметь более сложную схемотехническую часть, к примеру, лабораторный источник питания, выполненный на транзисторах и представленный на рисунке 12 [5, 16].

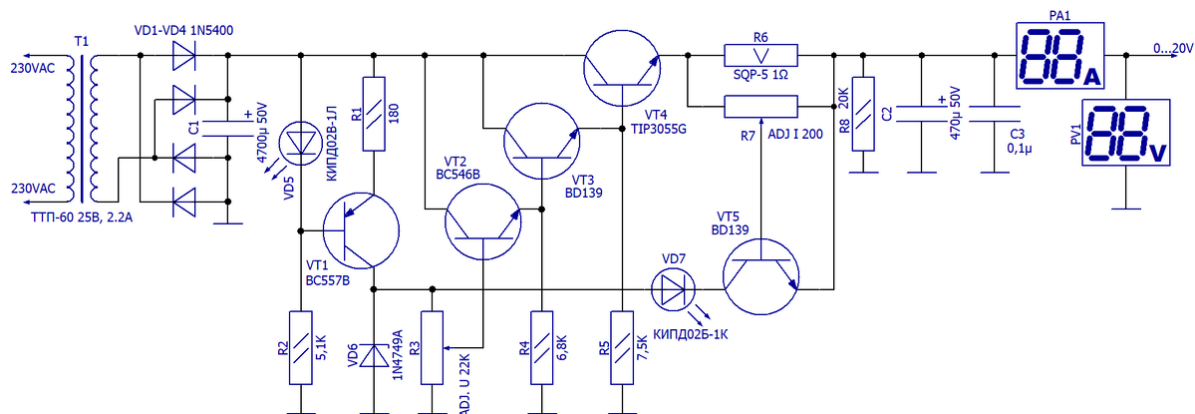


Рисунок 12 – Лабораторный источник питания на транзисторах

Представленная выше схема питается от трансформатора ТТП-60 с вторичной обмоткой, рассчитанной на 25 В 2.2 А AC, далее в схеме стоит диодный мост и фильтрующий конденсатор C1. Стабилизация напряжения для дальнейшего использования узлами схемы происходит по средствам стабилитрона VD6. Использование транзистора VT1 вместо балластного резистора для стабилитрона позволяет добиться более стабильного режима работы [16]. Светодиод VD5 в делителе напряжения в цепи базы транзистора VT1 выполняет функцию индикатора входного напряжения. Регулирование выходного напряжения данного источника питания производится при помощи потенциометра R3, поступая с него на усилительный каскад, выполненный на базе транзисторов VT2-VT4, включенных по схеме эмиттерного повторителя. В качестве датчика тока в данной схеме используется резистор R6 в выходной цепи [3].

Помимо линейных источников питания существуют и импульсные блоки питания. Импульсные источники питания преобразуют электрическую энергию при помощи высокочастотных переключений и представляют собой инверторную систему, в которой входное напряжение преобразуется в импульсы высокой частоты и необходимой скважности с использованием ШИМ контроллеров, транзисторных или тиристорных ключей в составе инвертора и подаются на импульсный трансформатор [1, 20].

На рисунке 13 представлена типовая структурная схема импульсного источника питания.

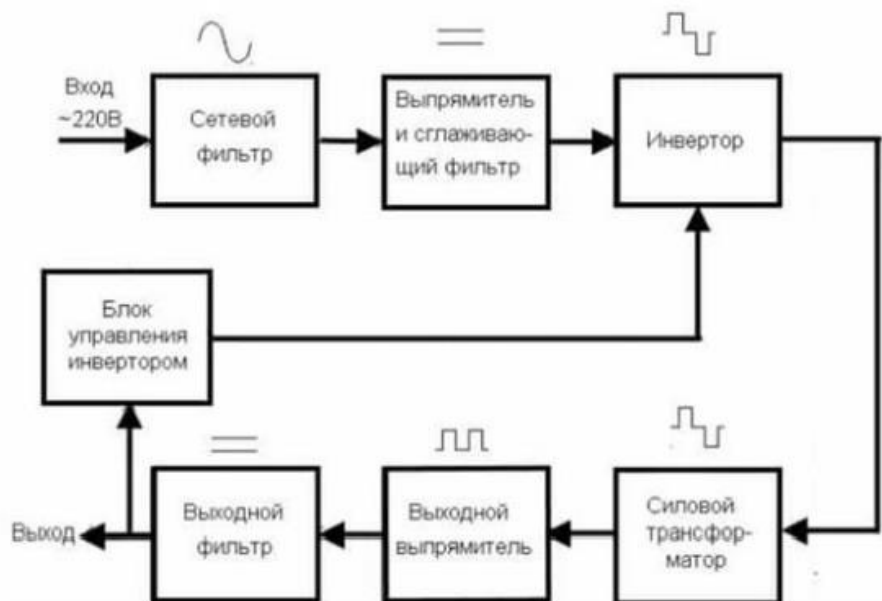


Рисунок 13 – Типовая структурная схема импульсного источника питания

Выходное напряжение импульсного источника питания является стабилизированным за счет наличия отрицательной обратной связи, что позволяет удерживать напряжение на необходимом уровне при изменении параметров нагрузки. К недостаткам импульсных блоков можно отнести наличие помех, что связано с особенностями работы преобразователя [19].

В рамках выполнения данной выпускной квалификационной работы было решено проектировать именно линейный источник питания, как полностью удовлетворяющий нашим требованиям и требованиям, представленным в техническом задании.

#### Выводы по разделу

В данном разделе были рассмотрены виды блоков питания, существующие на рынке решения, а также разработана основная концепция и структура проектируемого лабораторного источника питания.

## **2 Разработка лабораторного источника питания**

### **2.1 Цепь power supply**

Разрабатываемый лабораторный источник напряжения, как и все существующие аналоги, для удобства использования должен подключаться к стандартной сети 220 В AC 50 Гц, которая предусмотрена в каждом бытовом и производственном помещении.

Исходя из всего вышеперечисленного, было решено использовать в качестве входного напряжения штатное сетевое напряжение 220 В AC, что делает возможным использование нашего устройства возможной практически в любом помещении. Проектируемая цепь обеспечения питанием подразумевает AC-DC преобразователь напряжения до необходимого нам уровня, к примеру, 24 В и 5 В для питания и подключения внутренних логических и аналоговых радиоэлементов [25].

При проектировании и проверке цепи питания будет использоваться программа Micro-Cap 12, часто используемая в задачах проектирования и отладки работы электрических схем, ввиду простоты использования, набора встроенных библиотек элементов с возможностью создания и добавления своих, а также большим набором инструментов анализа по постоянному, переменному току и временным процессам.

На первом этапе проектирования системы power supply необходимо было снизить входное сетевое напряжение до необходимого нам значения (предварительно порядка 24-30 В с учетом запаса по напряжению), данное значение выходного напряжения трансформатора может меняться на этапе полной сборки схемы лабораторного источника напряжения.

Для реализации данной задачи идеально подходит такое электромагнитное устройство, как трансформатор, преобразующий входные величины тока и напряжения в величины, необходимые пользователю, за счет действия электромагнитной индукции. На рисунке 14 представлен обобщенное строение и принцип работы трансформатора.

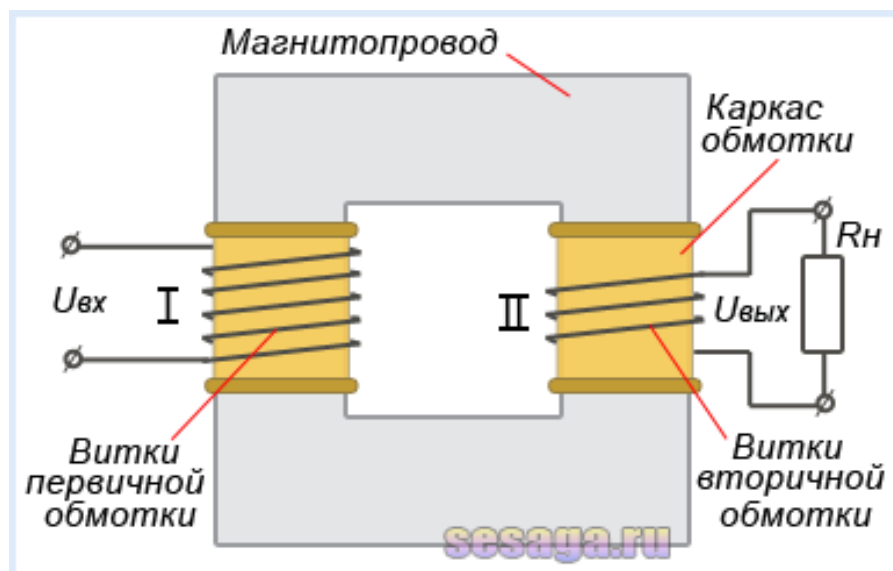


Рисунок 14 – Принцип работы трансформатора

Трансформатор необходим нам как первичное устройство преобразования уровня переменного тока до рабочей величины, которую мы в последствии сможем выпрямить, поэтому, особое внимание при выборе трансформатора и последующем расчете схемы мы уделяем коэффициенту трансформации.

Коэффициент трансформации трансформатора показывает соотношение входного и выходного напряжения, таким образом, если коэффициент трансформации больше единицы, то трансформатор считается понижающим, а если меньше, то повышающим, как показано на рисунке 15 [6].

$$k = \frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

$k$  - коэффициент трансформации

$U_1$  - напряжение, подаваемое на первичную обмотку трансформатора [ В ]

$U_2$  - напряжение на вторичной обмотке трансформатора [ В ]

$n_1$  - количество витков на первичной обмотке трансформатора

$n_2$  - количество витков на вторичной обмотке трансформатора

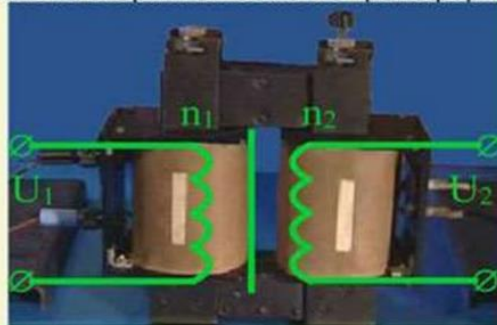


Рисунок 15 – Определение коэффициента трансформации

В рамках нашего проекта необходимо преобразовать сетевое напряжение в первичный диапазон рабочего, который был принят за 36-30В, иными словами произвести преобразование 220 – 30 В АС, нам следует использовать трансформатор с коэффициентом трансформации равным 7 [6]. Для проверки работы узла преобразования АС-АС и проверки расчетного значения коэффициента трансформации в Micro-Cap была собрана электрическая схема, представленная на рисунке 16. Коэффициент трансформации, установленный в применяемой модели трансформатора, равняется 7.



Рисунок 16 – Схема первичного узла преобразователя

Собранная схема состоит из источника синусоидального напряжения 220 В 50 Гц V1, имитирующего подключение устройства к бытовой сети и трансформатора K1 с заданным коэффициентом трансформации равным 7. На рисунке 17 представлена осциллограмма работы АС-АС преобразователя.

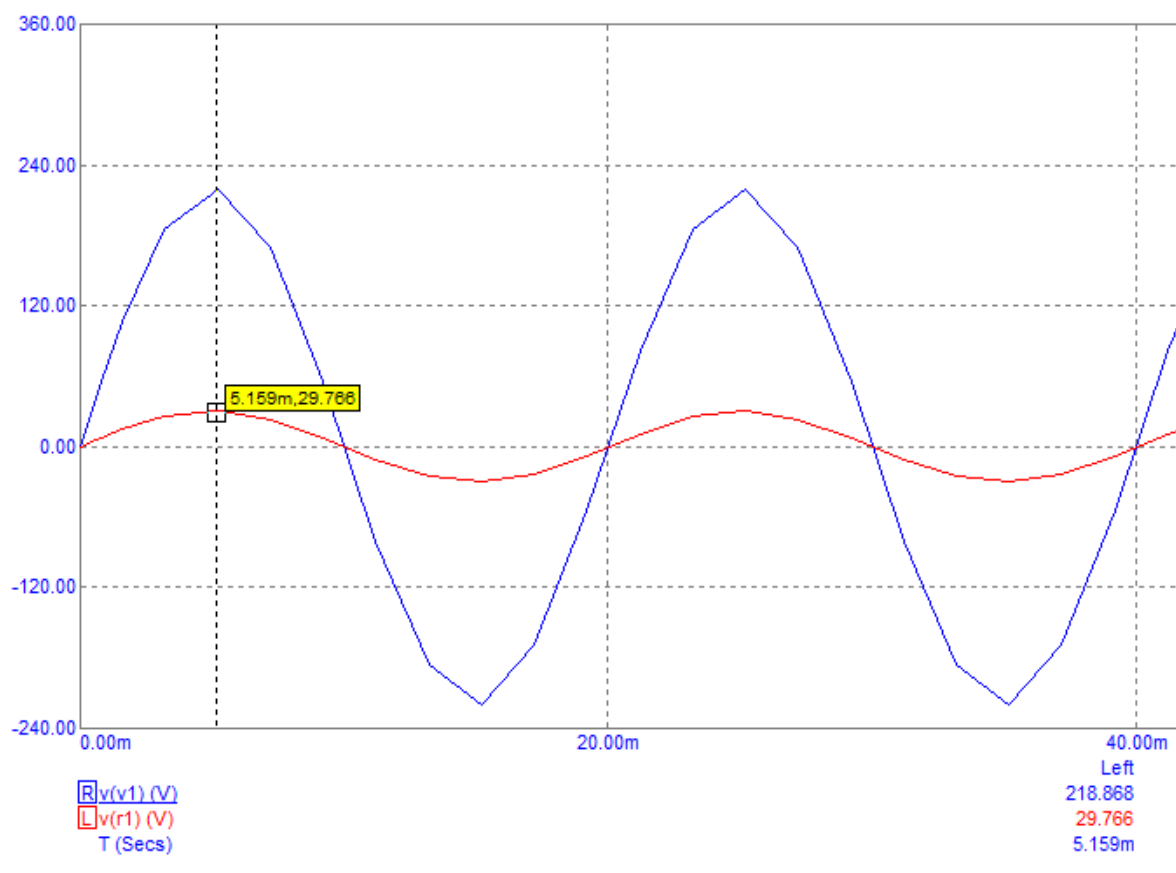


Рисунок 17 – Осциллограмма работы первичного узла

Представленная выше осциллограмма показывает, что напряжение вторичной обмотки используемого трансформатора равняется 30 В АС, что подтверждает расчетное значение выбранного коэффициента трансформации.

Полученное напряжение можно использовать как входное для следующих блоков, к примеру, для АС-DC преобразователя, как показано на рисунке 18.

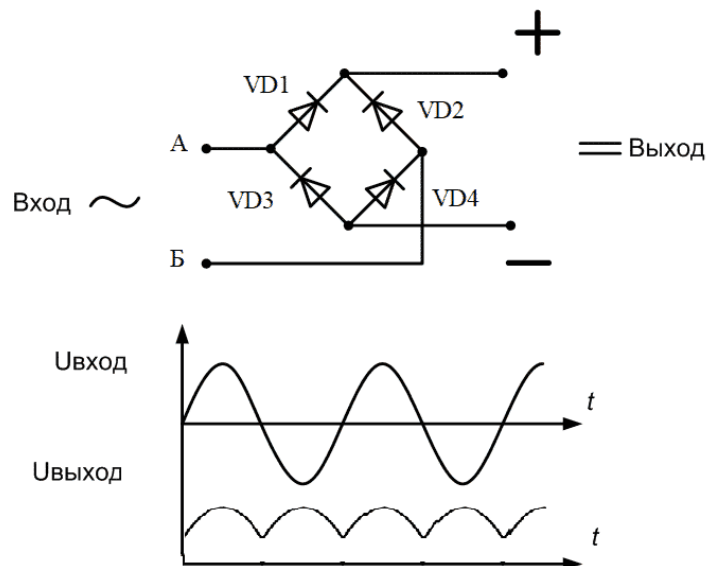


Рисунок 18 – Схема и работа диодного моста

Для создания узла выпрямителя в моделируемую ранее схему был добавлен диодный мост, как показано на рисунке 19.

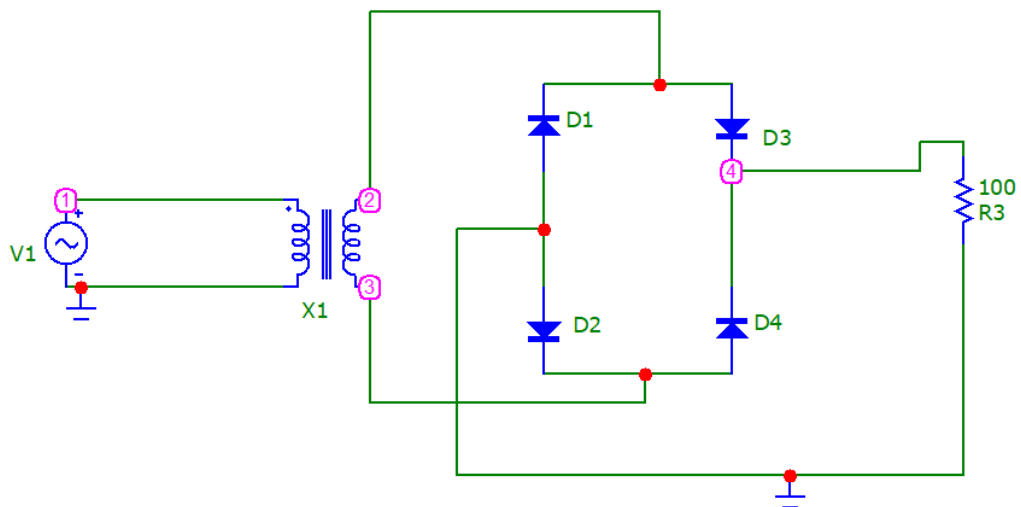


Рисунок 19 – Исследуемая схема после введения выпрямителя

Данная схема состоит из выпрямителя, основанного на диодах VD1-VD4 и резистора R3, имитирующего нагрузку. На рисунке 20 представлена осциллограмма работы полученного устройства.

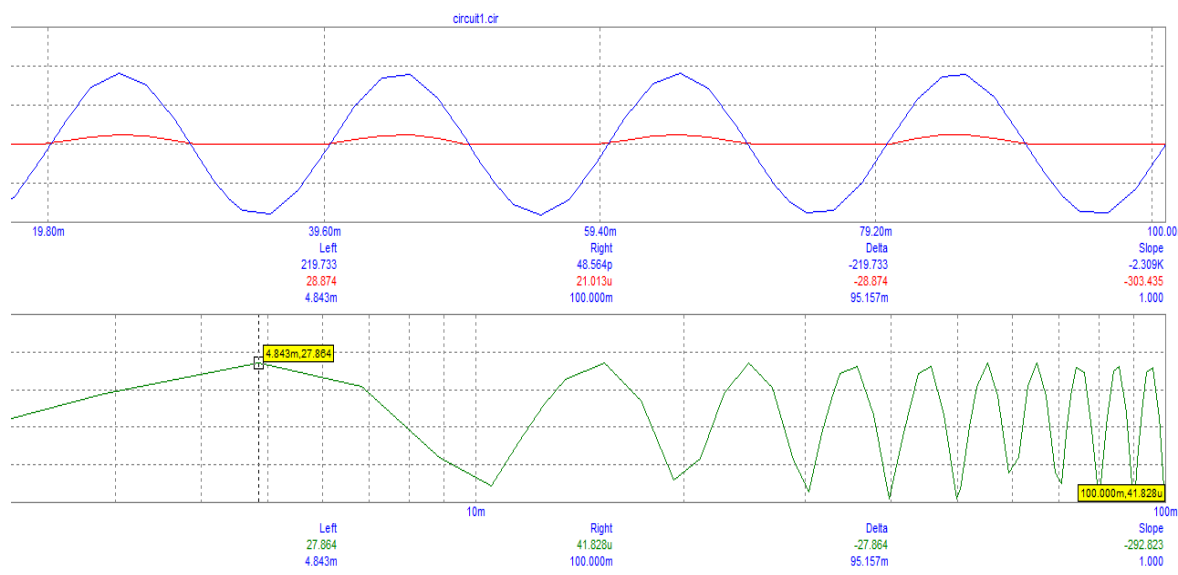


Рисунок 20 – Осциллограмма работы устройства

Из полученных графиков характерно заметно наличие переходных процессов в системе, занимающее порядка 10 мс, а также выраженные пульсации выпрямленного напряжения от 0 до 30 В DC, что является неудовлетворительным и недопустимым результатом. Стоит отметить, что выпрямленное напряжение с диодного моста может и будет колебаться в каком-либо диапазоне, а колебания выходного напряжения в диапазоне от 0 до 30 В могут быть получены ввиду неправильного подбора библиотечных компонентов или особенности работы системы моделирования.

“Как было сказано выше, колебания выходного напряжения с выпрямителя будут наблюдаться в любом случае, особенно на этапе сборки реального образца устройства, ввиду этого, в выходную цепь выпрямителя было решено добавить фильтрующий конденсатор, призванный сгладить пульсации напряжения и удерживать его в необходимом нам диапазоне, как показано на рисунке 21” [19].

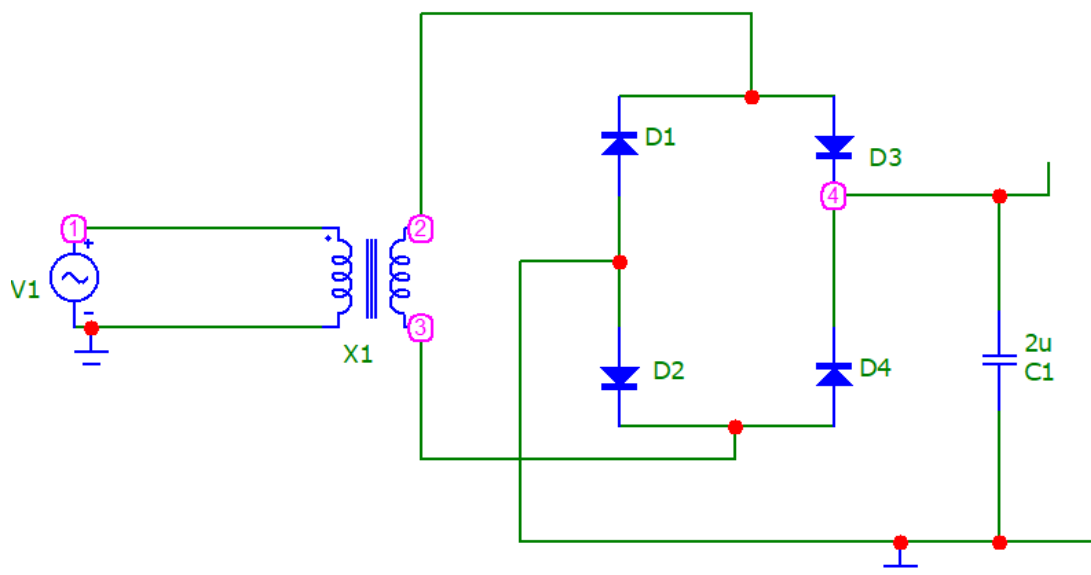


Рисунок 21 – Схема преобразователя с фильтрующим конденсатором

Номинал емкости фильтрующего конденсатора будет влиять на степень сглаживания выходного напряжения и длительность переходных процессов, подбирая его, к примеру, опытным путем можно добиться идеальных параметров выходного напряжения. На рисунке 22 представлена осциллограмма работы устройства с использованием конденсатора емкостью 100 мкФ.

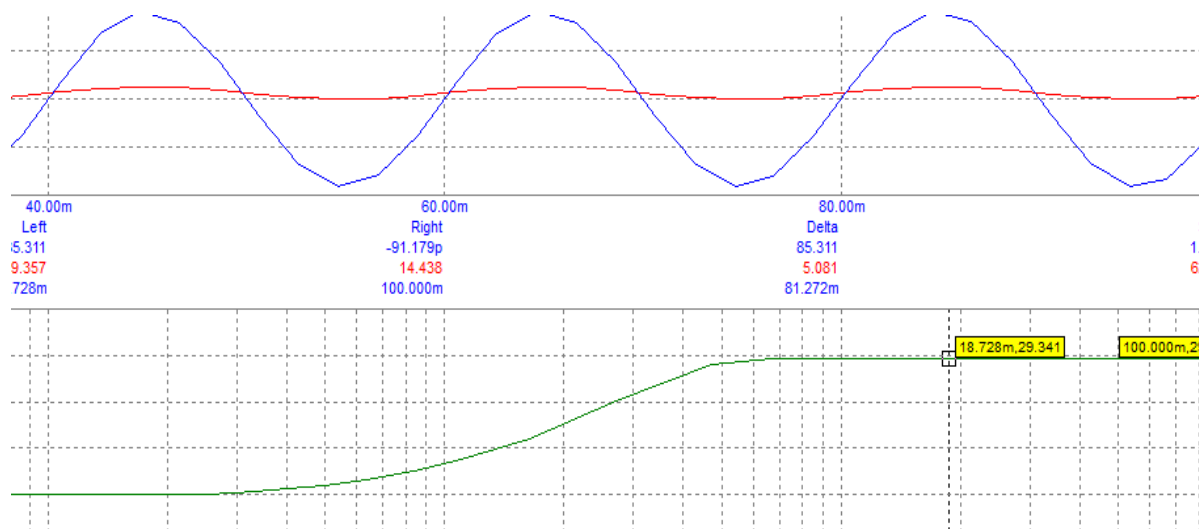


Рисунок 22 – Работа преобразователя с конденсатором 100 мкФ

Как видно из рисунка выше, после окончания переходных процессов постоянное напряжение не имеет колебаний и составляет необходимые нам 30 В. Также, в роли выпрямителя в данной схеме могут быть использованы готовые диодные сборки, к примеру, диодный мост KBU6B, представленный на рисунке 23.



|                                                       |            |                          |
|-------------------------------------------------------|------------|--------------------------|
| Количество фаз                                        | 1          | <input type="checkbox"/> |
| Максимальное постоянное обратное напряжение,В         | 100        | <input type="checkbox"/> |
| Максимальное импульсное обратное напряжение,В         | 100        |                          |
| Максимальный прямой(выпрямленный за полупериод) ток,А | 6          | <input type="checkbox"/> |
| Максимальный допустимый прямой импульсный ток,А       | 158        |                          |
| Максимальный обратный ток,мкА                         | 5          |                          |
| Максимальное прямое напряжение,В                      | 1          |                          |
| при Iпр.,А                                            | 6          |                          |
| Общая емкость Сд,пФ                                   | 50         |                          |
| Рабочая температура,С                                 | -50...+150 |                          |
| Способ монтажа                                        | THT        | <input type="checkbox"/> |
| Корпус                                                | GBU        | <input type="checkbox"/> |
| Вес, г                                                | 6          |                          |

Рисунок 23 – Диодный мост KBU6B

Для окончательной стабилизации, нормализации, регулирования и преобразования полученного напряжения можно добавить в схему преобразователь напряжения, что может быть полезно при использовании низковольтных измерительных устройств и микросхем, к примеру, L7805CV-DG, представленный на рисунке 24.



Рисунок 24 – Стабилизатор напряжения L7805CV-DG

На рисунке 25 представлены некоторые технические характеристики данного стабилизатора напряжения.

#### **Технические параметры**

|                                                 |               |
|-------------------------------------------------|---------------|
| Полярность                                      | Положительная |
| Тип выхода                                      | Фиксированный |
| Количество выходов                              | 1             |
| Выходное напряжение, В                          | 5             |
| Максимальный ток нагрузки, А                    | 1.5           |
| Падение напряжения при I <sub>вых</sub> , В (А) | 2(1)          |
| Максимальное входное напряжение, В              | 35            |
| Рабочая температура, °С                         | 0...+125      |
| Корпус                                          | to-220        |
| Вес, г                                          | 2.5           |

Рисунок 25 – Технические характеристики L7805CV-DG

Как видно из рисунка выше, стабилизатор напряжения L7805CV-DG поддерживает входное напряжение до 35 В, при 30, полученных нами в ходе моделирования предыдущих частей преобразователя напряжения и выдает на выходе напряжение равное 5 В, что также может быть использовано для подключения радиоэлементов и ИМС в цепях защиты и индикации.

Помимо того, для реализации данной задачи можно использовать и готовую плату DC-DC преобразователя на базе LM2596 или других схожих схемотехнических решений, к примеру, на базе XL4005. На рисунке 26 представлен DC-DC преобразователь на базе LM2596.



### Технические параметры

|                              |                       |
|------------------------------|-----------------------|
| Тип компонента               | dc-dc преобразователь |
| Напряжение входное, В        | 4...40                |
| Напряжение выходное, В       | 1.5...35              |
| Максимальный выходной ток, А | 3                     |
| Вес, г                       | 11                    |

Рисунок 26 – DC-DC преобразователь на базе LM2596

Данный преобразователь напряжения способен регулировать выходное напряжение в диапазоне от 1.5 до 35 В, что позволит при необходимости получить и напряжение 12 В DC при необходимости его использования, к примеру, в цепи защиты от перегрузки и короткого замыкания или блоке индикации. На рисунке 27 представлена структурная схема преобразователя напряжения LM2596.

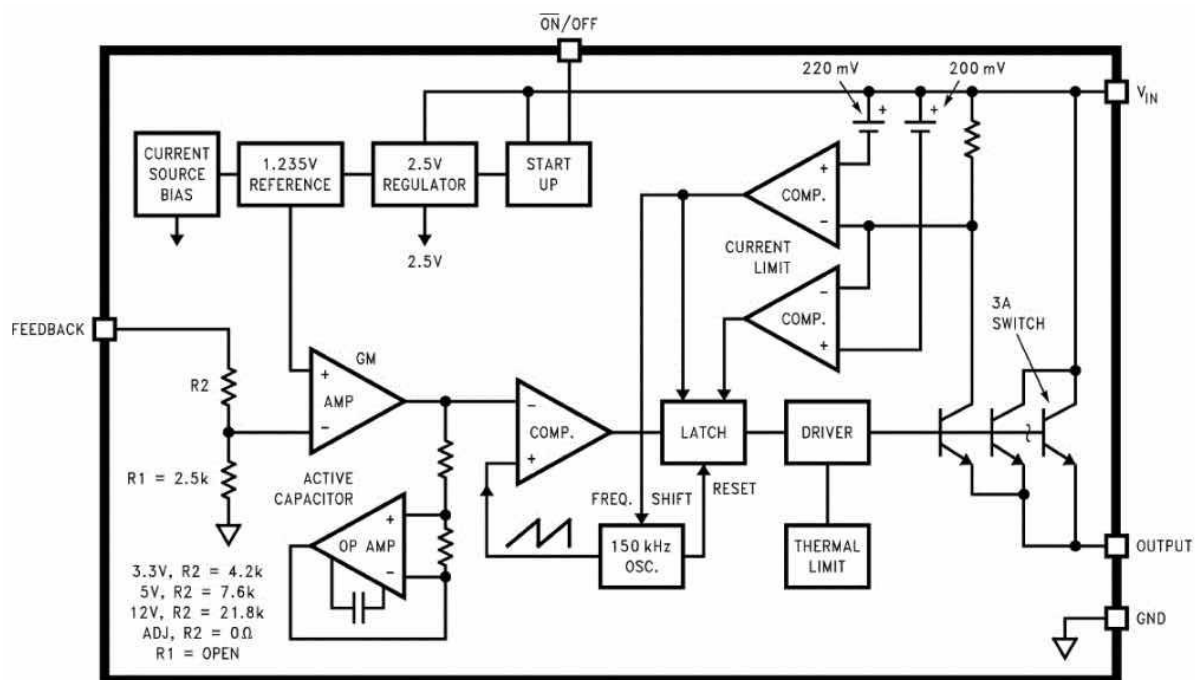


Рисунок 27 – Структурная схема преобразователя LM2596

Помимо того, для получения двух рабочих напряжений АС можно использовать трансформатор с вторичной обмоткой, позволяющей выводить выходное напряжение разного номинала, к примеру, трансформатор ОСМ1, представленный на рисунке 28.

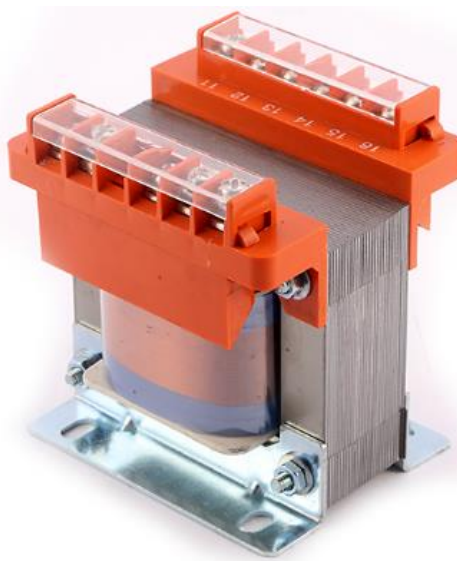


Рисунок 28 – Трансформатор ОСМ1

На рисунке 29 представлены основные технические характеристики данного трансформатора и схема подключения обмоток.

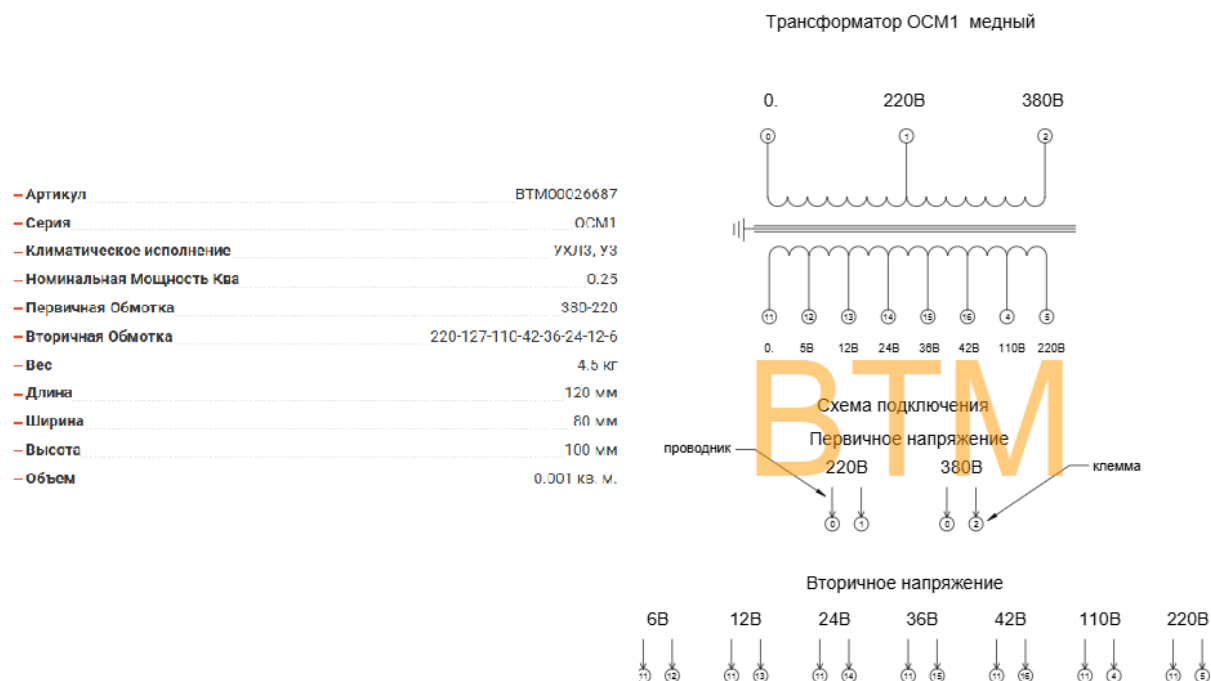


Рисунок 29 – Характеристики и подключение трансформатора ОСМ1

Таким образом, при использовании данного трансформатора мы можем получить достаточно обширный диапазон выходных напряжений, которые могут потребоваться нам в ходе дальнейшего проектирования лабораторного источника напряжения.

## 2.2 Блок преобразования DC/DC

В предыдущем подразделе была рассмотрена система power supply, включающая в себя блок преобразования (понижения) входного переменного напряжения и блок выпрямителя [18]. Следующим этапом необходимо было добавить в схему проектируемого лабораторного источника питания блок преобразования и регулировки постоянного напряжения, блок индикации регулируемых параметров и блок защиты от перегрузок и короткого замыкания в соответствии со структурной схемой, представленной на рисунке 30 [19].

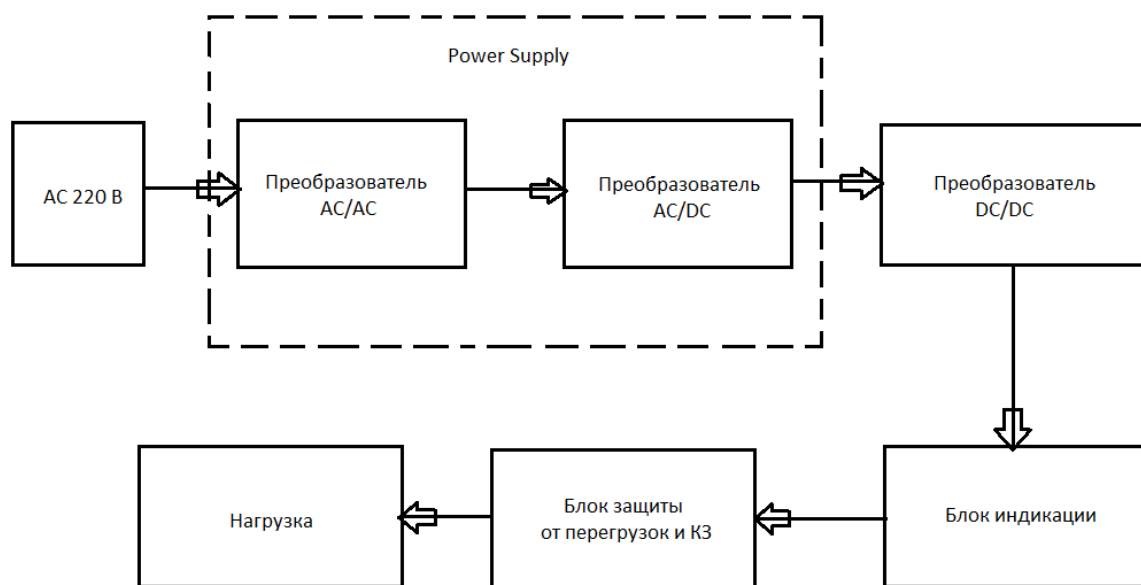


Рисунок 30 – Структурная схема лабораторного источника питания

Блок преобразования будет выбран из плат преобразователей напряжения на основе микросхем серии LM и XL. На рисунке 31 представлен перечень подобных плат, подлежащих выбору и анализу.

| Тип микро-схемы | Принцип действия | Входное напряжение, $U_{вх}$ , В | Выходное напряжение, $U_{вых}$ , В | Входной ток, $I_{вх}$ , А | Выходной ток, $I_{вых}$ , А | КПД, %  | Частота генератора, $f_0$ , кГц | Температура эксплуатации, $t_0$ , °C | Производитель          |
|-----------------|------------------|----------------------------------|------------------------------------|---------------------------|-----------------------------|---------|---------------------------------|--------------------------------------|------------------------|
| LM2596HVS       | понижающая       | 4,5...60                         | 3,0...40                           | до 0,2                    | до 3,0                      | 75...92 | 110...173                       | -40...+125                           | National Semiconductor |
| LM2596T-ADJ     | понижающая       | 4,5...40                         | 3,1...36                           | до 0,2                    | до 3,0                      | 73...90 | 110...173                       | -40...+125                           | National Semiconductor |
| XL4005          | понижающая       | 5...32                           | 0,8...30                           | до 0,2                    | до 5,0                      | 80...96 | 60...300                        | -40...+85                            | XLSEMI                 |
| MIC4576         | понижающая       | 4...36                           | 1,23...33                          | до 0,2                    | до 3,0                      | 75...90 | 52...200                        | -40...+85                            | Microchip              |
| MP1471          | понижающая       | 4,7...16                         | 4,2...14,4                         | до 0,1                    | до 3,0                      | 88...92 | 400...580                       | -40...+125                           | MPS                    |
| SX1308          | повышающая       | 2...24                           | 3...30                             | до 0,1                    | до 2 А                      | 90...96 | 1200                            | -40...+85                            | SX                     |
| MT3608          | повышающая       | 2...24                           | 5...28                             | до 0,1                    | до 2 А                      | 90...93 | 1200                            | -40...+85                            | AEROS EMI              |
| XR1151          | повышающая       | 1,6...6                          | 2...6,5                            | до 0,1                    | до 0,8 А                    | 90...93 | 1200                            | -40...+85                            | XySemi                 |
| LM2587          | повышающая       | 4...45                           | 4...65                             | до 0,2                    | до 5 А                      | 80...90 | 1000                            | -65...+155                           | Texas Instruments      |
| XL6019          | повышающая       | 4...45                           | 4...60                             | до 0,2                    | до 5 А                      | 90...93 | 144...253                       | -40...+125                           | XySemi                 |

Рисунок 31 – Преобразователи напряжения DC/DC

Для проектирования лабораторного источника питания в рамках выполнения нашей выпускной квалификационной работы следовало выбрать понижающий преобразователь с входным напряжением 24В и выходным 0-24В и током 5А с учетом погрешностей, к примеру преобразователь XL4005, представленный на рисунке 32.

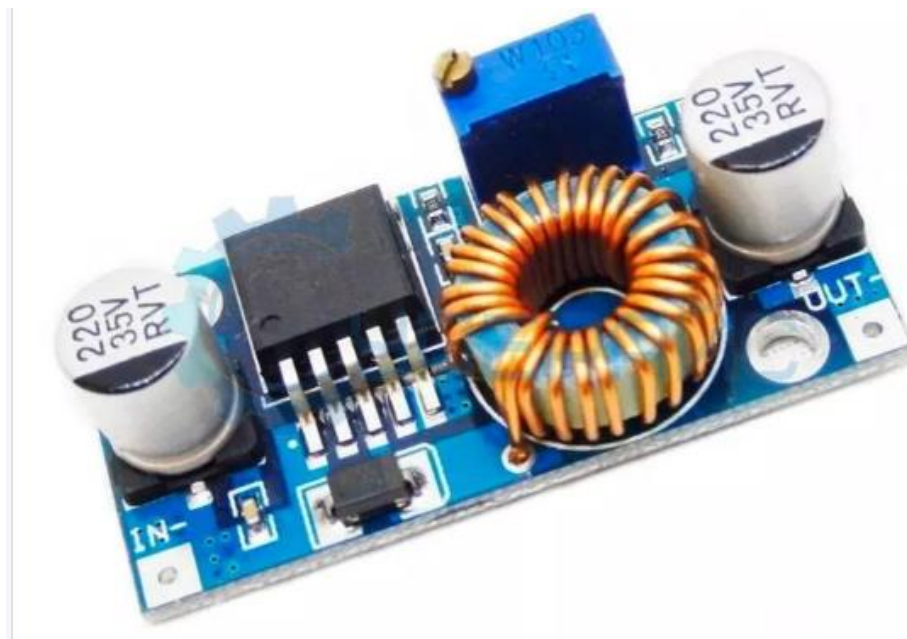


Рисунок 32 – DC/DC преобразователь XL4005

Данный преобразователь напряжения представляет собой модуль питания для конвертации напряжения постоянного тока. Конвертер напряжения обеспечивает выходное напряжение в диапазоне 0.8-24 В с точностью  $\pm 0.5\%$  и током 5 А, что делает его оптимальным устройством для систем, требующих стабильного питания и достаточно высокого токопотребления [8]. К преимуществам данного модуля можно отнести:

- компактный размер и простота монтажа;
- регулируемое выходное напряжение;
- высокий КПД 90%
- топология системы Buck со стабильной работой при пульсациях 30 мВ.

На рисунке 33 представлены основные технические характеристики выбранного преобразователя, заявляемые заводом изготовителем.

|                             |                           |
|-----------------------------|---------------------------|
| Чип                         | XL4005                    |
| Входное напряжение          | 5 - 32 В                  |
| Выходное напряжение         | 0,8 - 24 В $\pm 0,5\%$    |
| Выходной ток                | 0 - 5 А $\pm 2,5\%$ (выше |
| Пульсация                   | 30 мВ                     |
| Рабочая частота             | 300 кГц                   |
| КПД преобразователя         | до 90%                    |
| Топология                   | Buck                      |
| Частота дискретизации       | < 50 мс                   |
| <b>Общие характеристики</b> |                           |
| Рабочая температура         | от -40 °C до 85°C         |
| Габариты                    | 41 x 21 x 14 мм           |
| Вес брутто                  | 13 г                      |

Рисунок 33 – Технические характеристики XL4005

На рисунке 34 представлена схема электрическая принципиальная выбранного преобразователя.

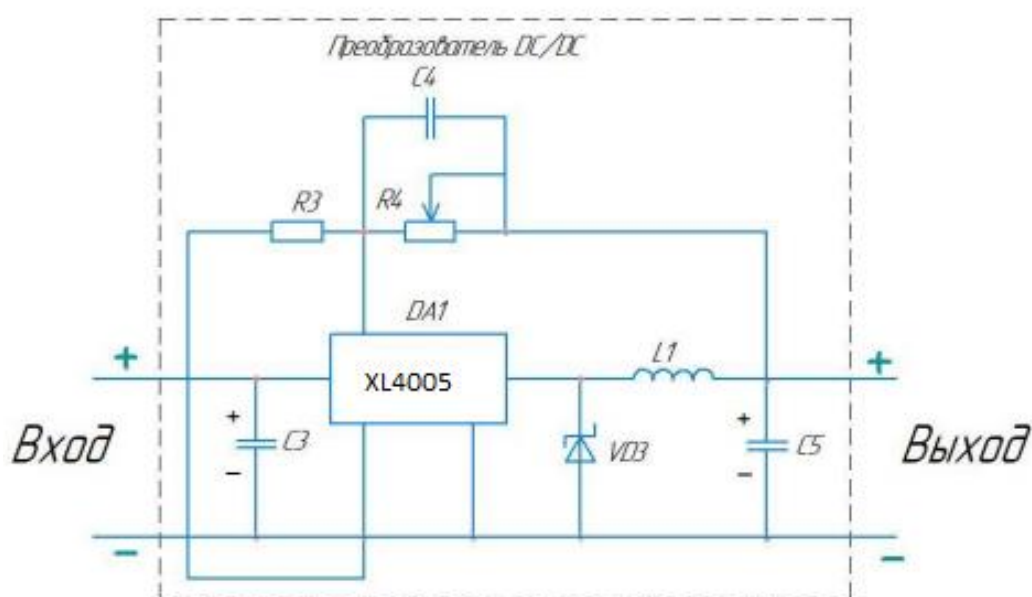


Рисунок 34 -DC/DC преобразователь на базе XL4005

Таким образом, при проектировании источника питания будет использован преобразователь на базе XL4005, как полностью удовлетворяющий нашим требованиям.

## 2.3 Блок индикации параметров

Одной из немаловажных частей лабораторного источника питания является блок индикации, позволяющий пользователю контролировать выходные параметры источника напряжения в режиме реального времени [4]. На рисунке 35 представлен пример реализации блока индикации.



Рисунок 35 – Пример реализации блока индикации

В данной вариации в качестве блока индикации используется цифровой экран, также могут быть использованы отдельные семисегментные светодиодные индикаторы или аналоговые приборы измерения, как показано на рисунке 36.



Рисунок 36 – Использование аналоговых приборов и семисегментных индикаторов

В качестве опционального варианта решено было рассмотреть возможность реализации блока индикации для лабораторного источника питания с использованием дискретных семисегментных светодиодных индикаторов. На рисунке 37 представлен семисегментный индикатор DA56-11SRWA.



Рисунок 37 – Индикатор DA56-11SRWA

Рассматриваемый семисегментный индикатор является двойным, с общим с возможностью задействования и подключения необходимого нам сегмента, подключение производится по схеме с общим анодом. На рисунке 38 представлена распиновка DA56-11SRWA и пример подключения данного индикатора.

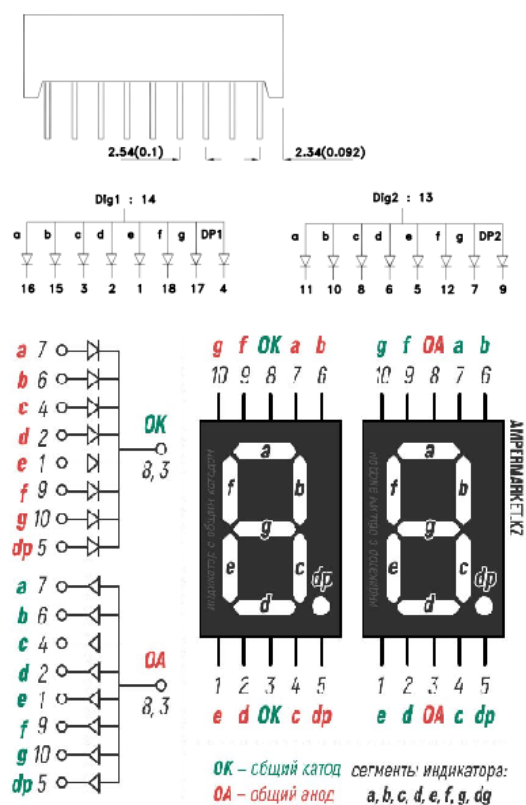


Рисунок 38 – Наименование выводов и способ подключения DA56-11SRWA

Использование светодиодных индикаторов подобного типа влечет за собой необходимость преобразования аналогового выходного сигнала блока питания, подлежащего контролю, в дискретный сигнал, подлежащий корректной передаче на семисегментный индикатор.

“Для реализации подобной задачи можно использовать Аналого-цифровой преобразователь. Аналого-цифровой преобразователь (АЦП, Analog-to-digital converter, ADC) — устройство, преобразующее входной аналоговый сигнал в цифровой сигнал (в цифровой двоичный код). Для задач измерения значения сигнала в произвольный момент времени используют асинхронный режим работы с АЦП с жестко не привязанными по времени одиночными аналого-цифровыми преобразованиями. Для задач измерения функциональной зависимости изменения аналогового сигнала используют синхронный режим работы АЦП. Синхронный режим работы АЦП без пропусков данных на сколь угодно большом интервале времени называют также потоковым режимом. Синхронные АЦП, как правило, поддерживают покадровый принцип сбора данных, когда оцифрованные отчёты измерения образуют условные кадры с заданным количеством отсчётов, соответствующих заданным каналам измерения. На рисунке 39 представлен упрощенный алгоритм работы типового АЦП” [12].

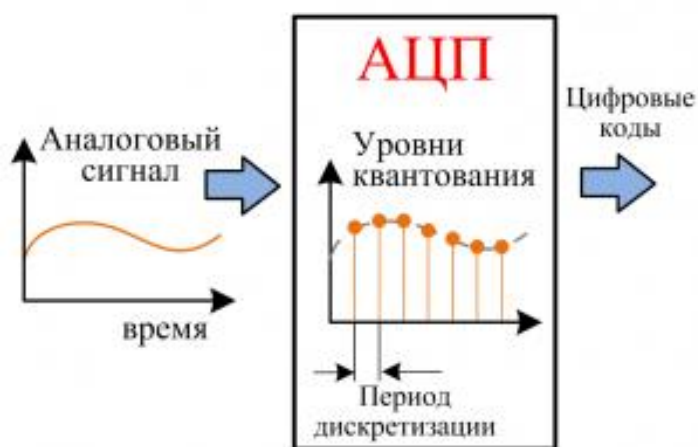


Рисунок 39 – Алгоритм работы типового АЦП

На рисунке 40 представлен пример схемы реализации панели индикации для лабораторного источника напряжения [3].

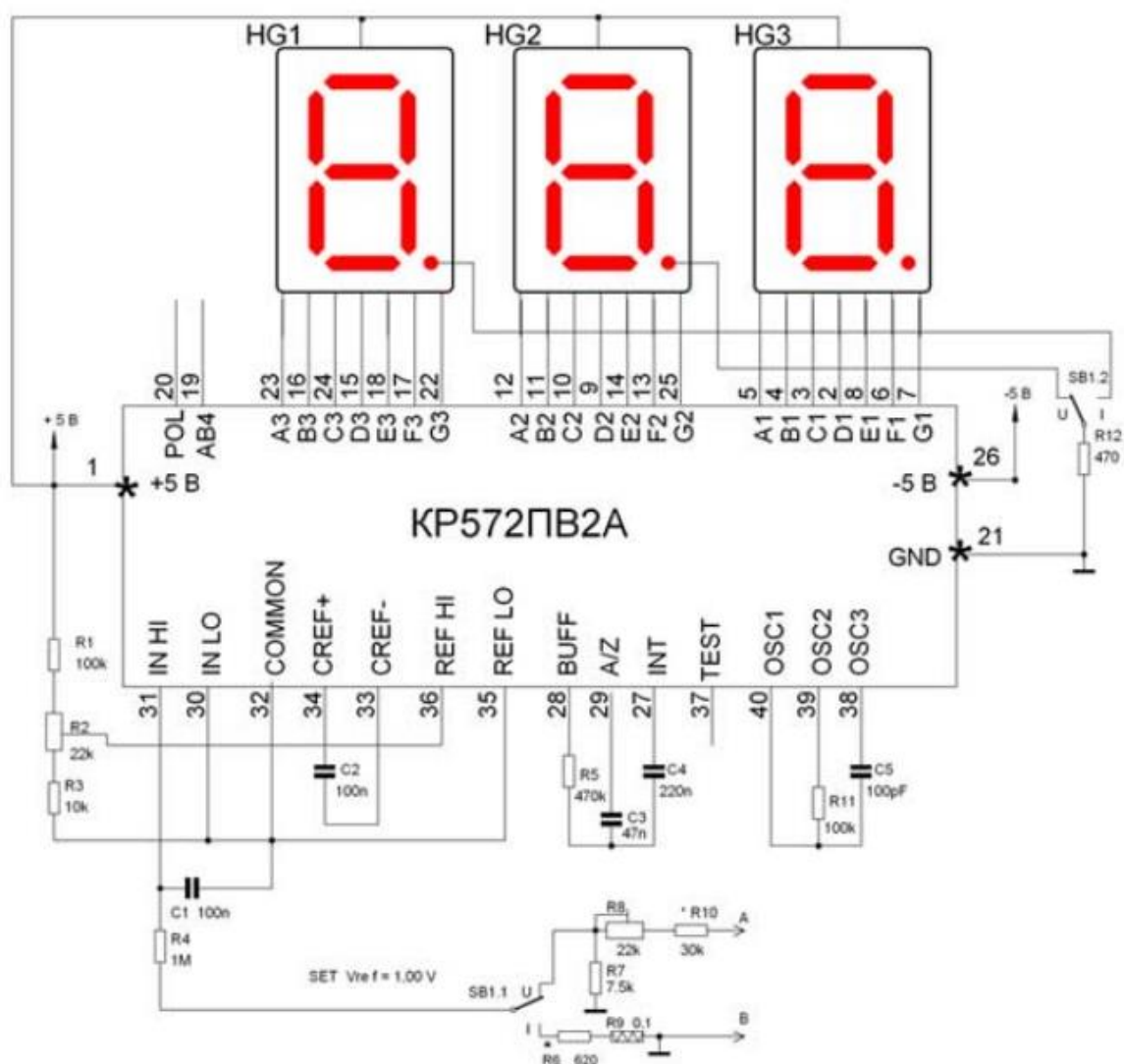


Рисунок 40 – Панель индикации лабораторного источника напряжения на базе KP572PB2A

“После включения питания и безошибочном монтаже, при исправных деталях должны засветиться сегменты индикации HG 1- HG 3. По вольтметру резистором R 2 на ножке 36 микросхемы KP572PB2 выставляется напряжение 1 вольт. К ножкам (а) и ( b ) подключают блок питания. На выходе блока питания устанавливают напряжение 5 ... 15 вольт и подбирают резистор R 10 (грубо), заменив его, на время, переменным. С помощью

резистора R8 устанавливают более точное показание напряжения. После чего, к выходу блока питания подсоединяют переменный резистор мощностью 10 ... 30 ватт, по амперметру выставляют ток равным 1А и резистором R 6 выставляют значение на индикаторе. Показание должно быть 1,00. При токе 500 мА – 0,50, при токе 50мА – 0,05. Таким образом, индикатор может индицировать ток от 10мА, т.е. 0,01. Максимальное значение индикации тока 9,99 А” [12]. В качестве аналога интегральной микросхемы КР572ПВ2 для построения блока индикации можно использовать микросхему ICL7107, как показано на рисунке 41.

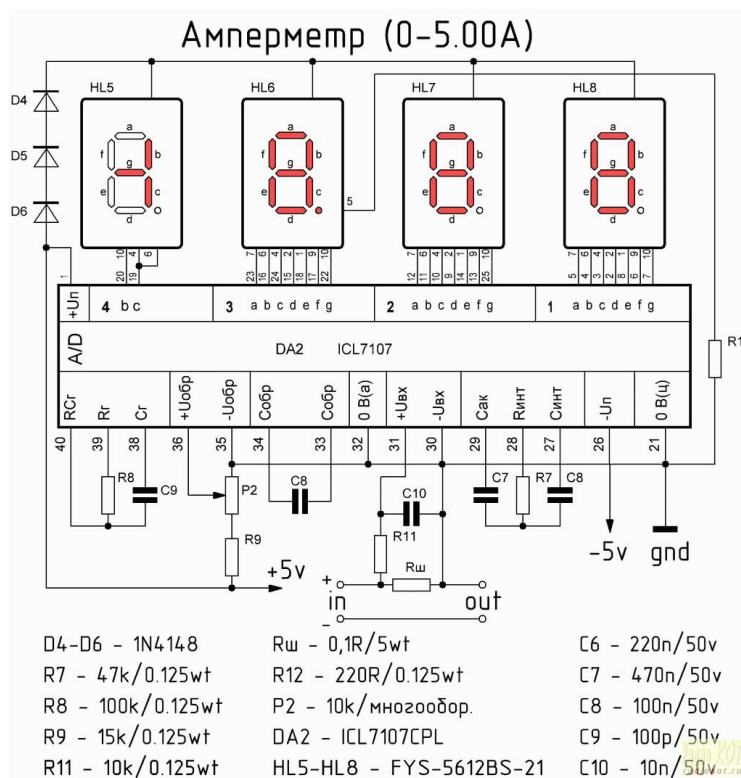


Рисунок 41 – Амперметр на базе микросхемы ICL7107

Для обеспечения большей разрядности блока индикации можно применить схему на КР572ПВ5 или КР572ПВ6, как показано на рисунке 42.

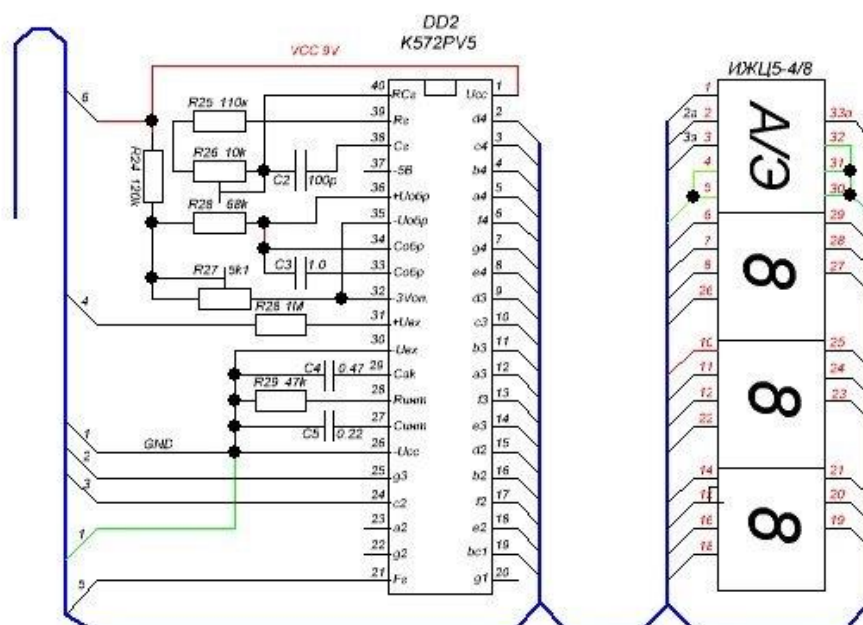


Рисунок 42 – Индикация на базе микросхемы KP572PV5

Более приемлемым, удобным в эксплуатации и легким в реализации может быть решение с использованием панели цифрового вольтамперметра, к примеру, YB4835VA, что позволит избежать добавления лишних электронных элементов в схему лабораторного источника питания, при сохранении необходимого функционала. На рисунке 43 представлена цифровая панель вольтамперметра YB4835VA.



Рисунок 43 – Измеритель YB4835VA

На рисунке 44 представлены основные технические характеристики вольтамперметра YB4835VA.

**Технические параметры:**

- Напряжение питания (не изолированный метр): DC3.5 ~ 30 В (широкий диапазон),
- **Примечание: максимальное входное напряжение не может превышать 30 В, в пр**
- Изоляционный метр (изолированный измеритель электропитания): DC8-18V
- Рабочий ток: <20 мА
- Дисплей: 0,39 "светодиодный, напряжение-красный, в настоящее время-зеленый
- Размеры: 70 × 40 × 30 мм
- Монтажное отверстие: 68 × 38 мм
- Скорость измерения: 500 мс/раз
- Точность: 1% (± 1 слово)

**Экстремальных условий работы:**

- Мин. Напряжение питания: + 3,5 V
- Макс. Напряжение питания: + 30 в
- Рабочая температура: -10 ~ + 65
- Рабочая влажность: 10 ~ 80% (без конденсации)
- Рабочее давление: 80 ~ 106 кПа
- Солнечный свет: без прямого воздействия

Рисунок 44 – Технические характеристики YB4835VA

Представленные на рынке цифровые вольтамперметры различаются не только своими рабочими характеристиками, пределами измерения и ценовым диапазоном, но и способами измерения тока в цепи нагрузки. Таким образом в некоторых моделях измерения тока производится по средствам включения в электрическую цепь токоизмерительного шунта, а в некоторых при помощи токоизмерительного кольца, также называемого поясом Роговского, что показано на рисунке 45.

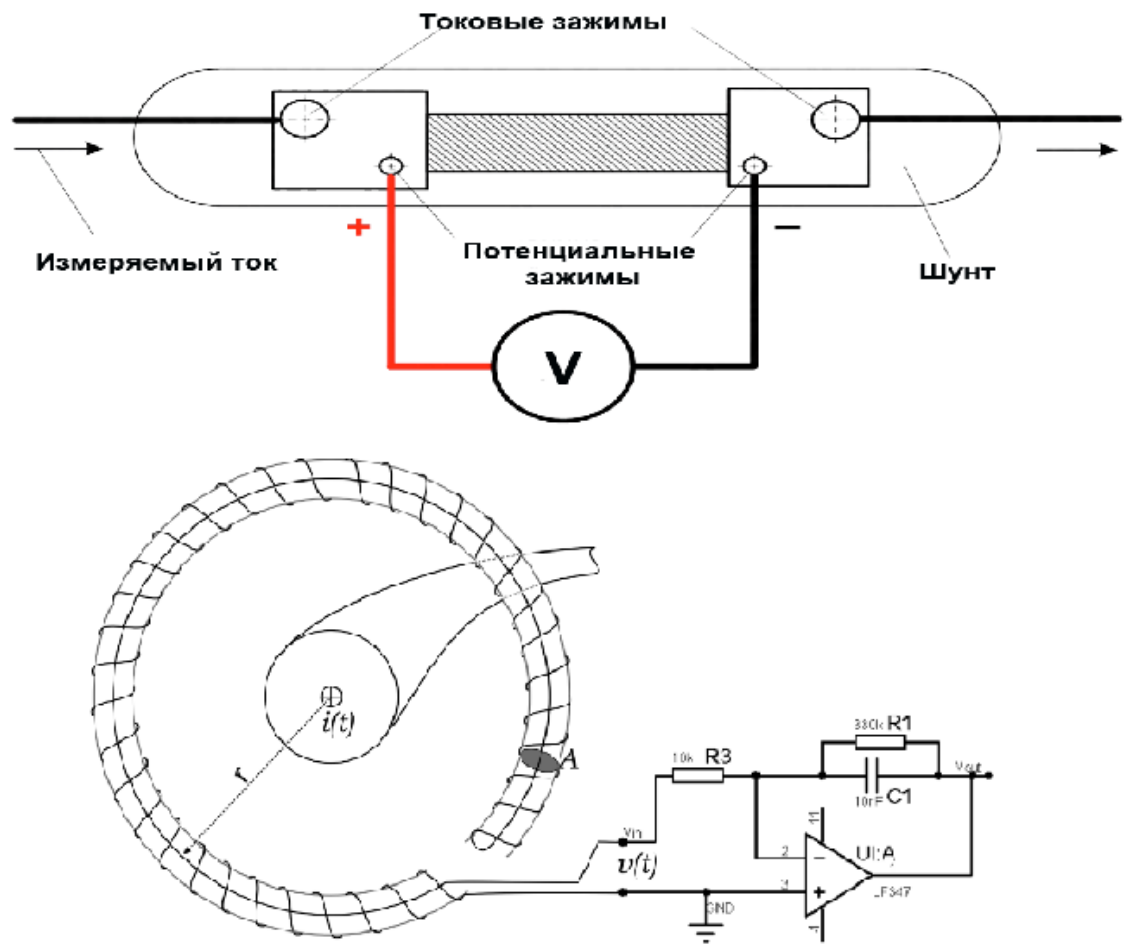


Рисунок 45 – Способы измерения тока

В нашем случае был выбран вольтамперметр, измеряющий потребляемый ток при помощи токоизмерительного шунта. Схема подключения цифрового вольтамперметра представлена на рисунке 46.

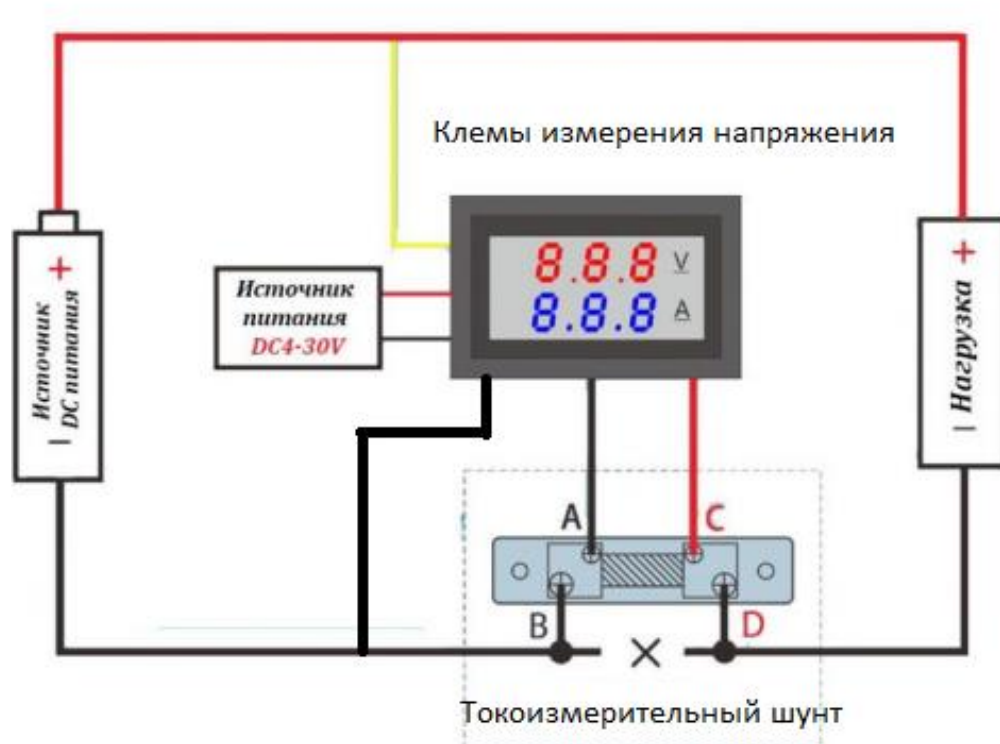


Рисунок 46 – Подключение цифрового вольтамперметра

Для индикации входного напряжения лабораторного источника питания будет использоваться сигнальная лампа с вольтметром, представленная на рисунке 21, а для питания выбранного цифрового измерительного устройства будет использоваться напряжение 12 В DC со вторичной обмотки выбранного нами ранее трансформатора, как показано на рисунке 47.



Рисунок 47 - Лампа вольтметр AD 26B-22DYB AC220V

### Предусмотрен автоматический выключатель

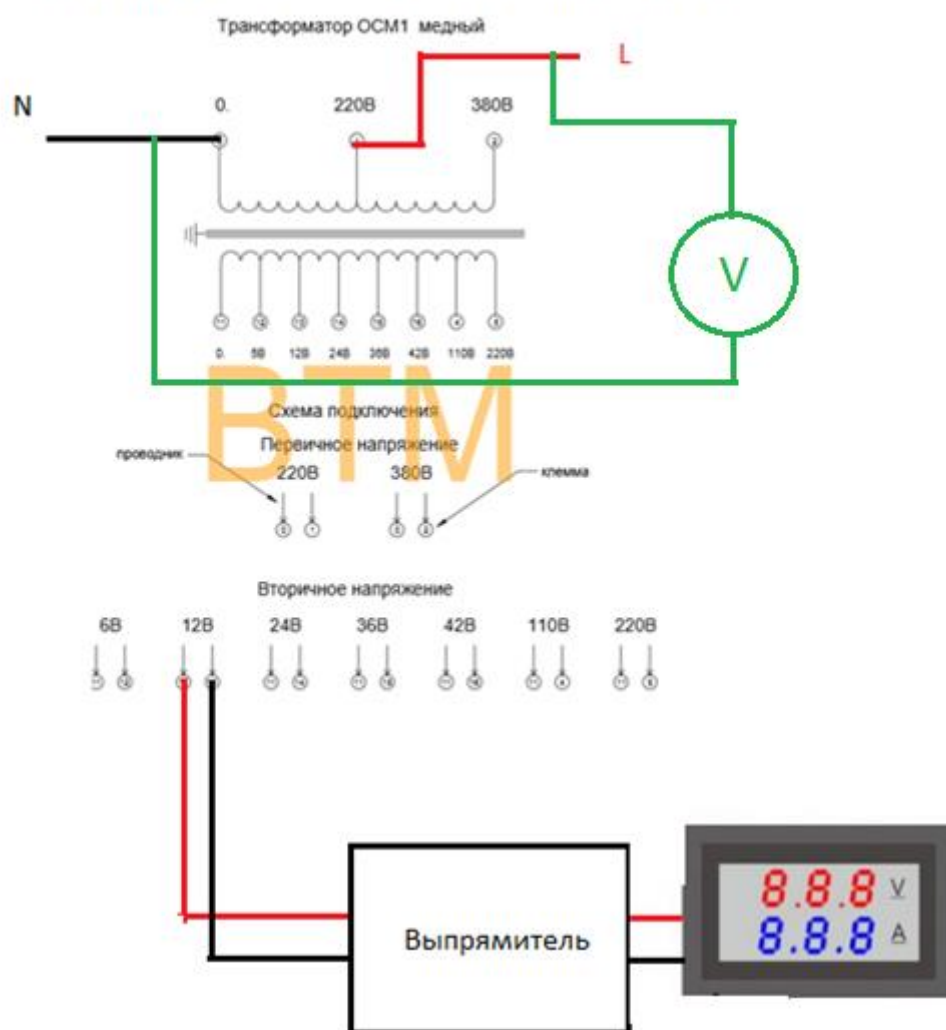


Рисунок 48 – Подключение питания измерительного устройства

Таким образом, использование выбранного цифрового вольтамперметра YB4835VA и указанных выше способов подключения и измерения, предоставляют нам возможность точно отслеживать выходные параметры нашего лабораторного источника напряжения в режиме реального времени и без дополнительных усложнений электрической схемы устройства [23].

## 2.4 Блок защиты от перегрузок и КЗ

В качестве первичных элементов защиты трансформаторной цепи будут использованы предохранители, рассчитанные на ток, превышающий 5 А, также могут быть использованы супрессоры для защиты от скачков напряжения, как показано на рисунке 49 [17].

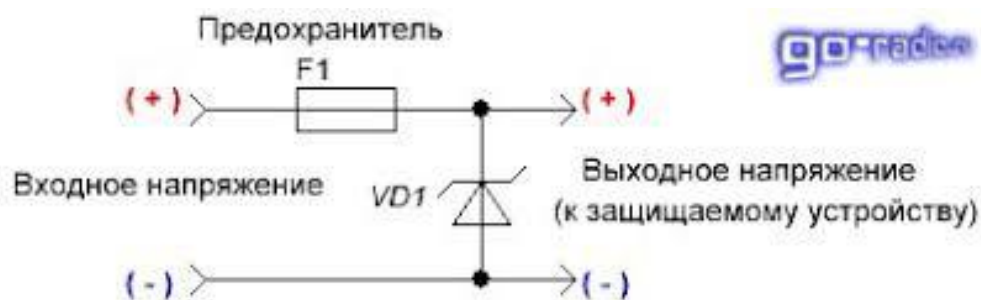


Рисунок 49 – Первичная защита трансформаторной цепи

Принцип работы и ценность супрессора в цепях защиты основывается на его специфической ВАХ, отличающихся нелинейностью. Если амплитуда подаваемого импульса окажется больше допустимого и выбранного уровня, это повлечет за собой полное открытие диода и лавинный пробой, тем самым амплитуда сигнала будет нормализована, а все излишки будут выведены из сети через защитный диод, как показано на рисунке 50 [26].

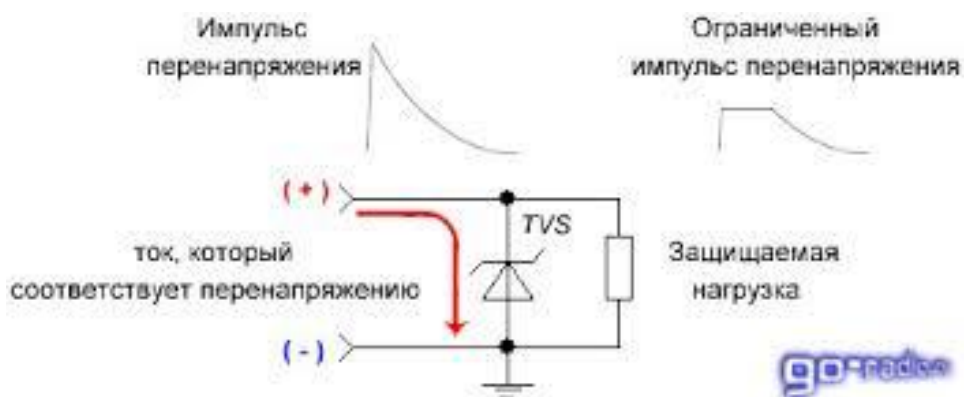


Рисунок 50 – Работа супрессора

В пару к супрессору для защиты вторичной цепи от перенапряжения можно также добавить варистор, который как раз и реализует данную функцию, как показано на рисунке 51.

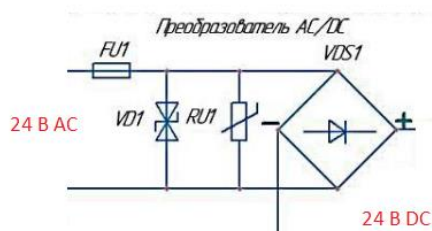


Рисунок 51 – Защита вторичной цепи трансформатора

Помимо вышеописанной цепи защиты вторичных электронных устройств, можно добавить на вход устройства, иными словами, в цепь подключения первичной обмотки трансформатора автоматического выключателя с необходимыми рабочими параметрами, как показано на рисунке 52 [22].

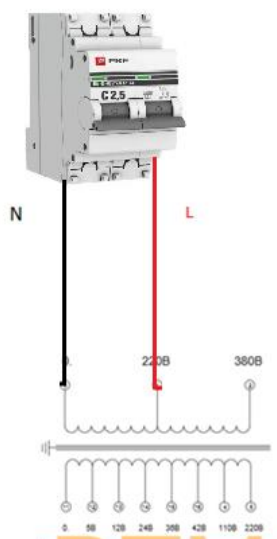


Рисунок 52 – Подключение автоматического выключателя

Также опционально могут быть реализованы защитные функции в цепи, непосредственно подключаемой к нагрузке, для защиты от возникновения перегрузок и коротких замыканий в устройстве. Что позволит сохранить работоспособность нашего устройства во время внештатных ситуаций. К примеру, в качестве дополнительной защиты от превышения тока в нагрузке можно использовать токовое реле PKT-3 DC5A ACDC24B, представленное на рисунке 53 [7].



Рисунок 53 – Реле контроля тока PKT-3 DC5A ACDC24B

Принцип работы данного реле заключается в том, что при превышении контролируемого тока нагрузки, выше установленного рабочего значения контакты реле размыкаются и отключают нагрузку от питания. На рисунке 54 представлены способы подключения данного реле.

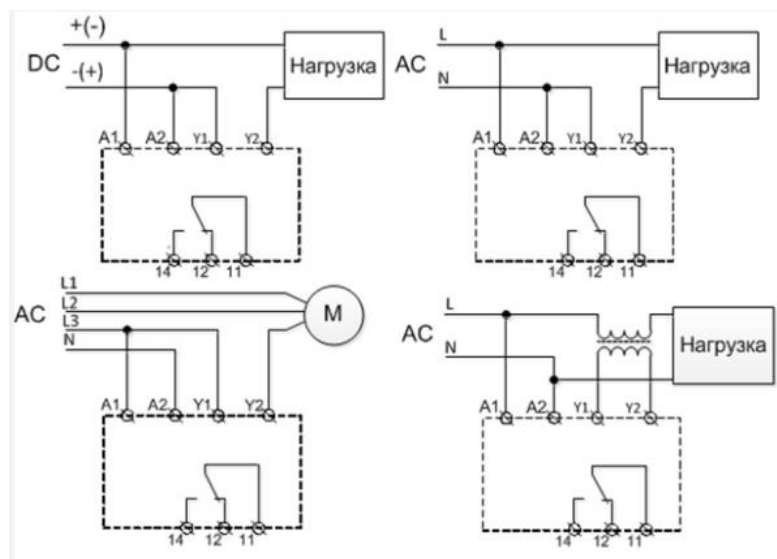


Рисунок 54 – Варианты подключения реле контроля тока

“При подаче питания на контакты A1 - A2, устройство начинает осуществлять непрерывный контроль величины тока потребляемого нагрузкой, подключенной к измерительной цепи Y1-Y2. Устройство может осуществлять выдачу управляющего сигнала в двух режимах, один из которых реле максимального тока. Для выбора данного режима переключатель задержки времени срабатывания totкл должен быть установлен в любое значение в поле макс. В данном режиме функционирования при значении величины тока нагрузки более заданного порога срабатывания начинается отсчет установленного времени задержки включения встроенного исполнительного реле (0.1, 1, 2, 4 или 10 секунд). Если в процессе отсчета времени значение тока нагрузки станет менее установленного порога срабатывания, то отсчет времени включения сбросится. После окончания отсчета времени исполнительное реле включится. После снижения величины тока нагрузки до величины менее - 10% от установленного порога срабатывания (гистерезис переключения 10%) исполнительное реле выключится без задержки времени срабатывания” [7].

К достоинствам защит подобного рода можно отнести быстродействие системы. В релейной защите быстродействие составляет порядка 0.1-0.3 секунд, тогда как при использовании АВМ 1-3 секунды [21]. Однако, использование одного реле контроля тока не дает защиты от короткого замыкания в цепи нагрузки, а опциональное использование защиты от КЗ на основе электромагнитного реле с цепью повторного взведения, как показано на рисунке 55, требует дополнительного исследования и тестирования готовой схемы со всеми защитными элементами в режиме КЗ, однако может быть установлена как дополнительная защита от перенапряжения. Поэтому в качестве элементов основной защиты будет использован вводной автоматический выключатель и реле контроля тока.

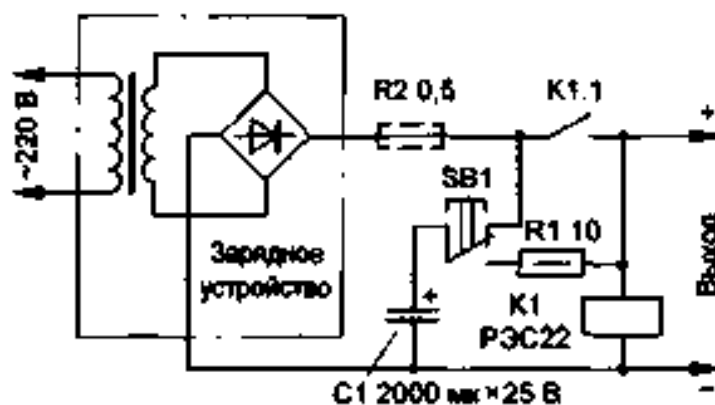


Рисунок 55 – Цепь защиты от КЗ на основе ЭМ реле

#### Выводы по разделу

В данном разделе была рассмотрена и подобрана вся необходимая компонентная база лабораторного источника напряжения. Проработаны все необходимые электрические связи между функциональными блоками устройства. Была определена окончательная структура и электрическая схема разрабатываемого устройства.

### 3 Разработка печатных плат ЛБП

Для разработки прототипов печатных плат для разрабатываемого лабораторного источника питания в рамках выполнения данной выпускной квалификационной работы использовался онлайн сервис по проектированию и разводке печатных плат для электронных устройств EasyEDA, рабочая среда которого представлена на рисунке 56 [13].

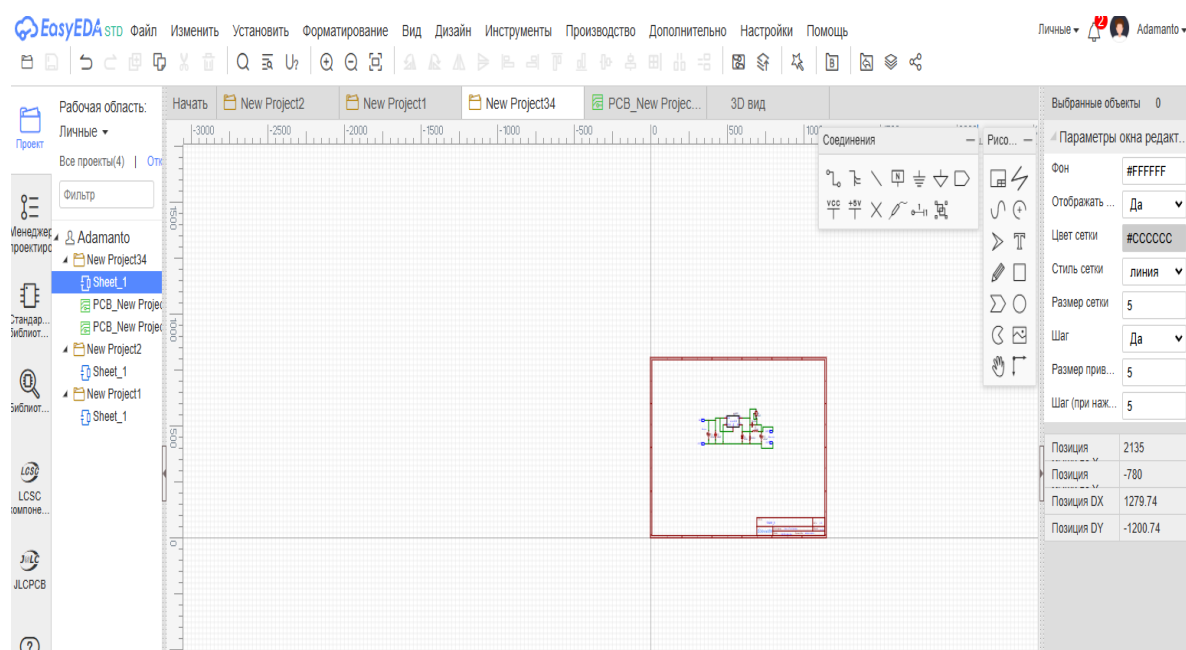


Рисунок 56 – Рабочая среда EasyEDA

Данный сервис предоставляет своим пользователям возможность быстрого сквозного проектирования печатных плат, от стадии выбора элементной базы из обширной встроенной библиотеки до сборки и проверки электрической схемы и разводки печатной платы [14]. Стоит отметить, что встроенные средства моделирования значительно уступают специализированным программам, поэтому отладку и проверку работы схемы лучше проводить, к примеру, в среде MicroCAP.

После выполнения всех необходимых подготовительных операций собрали электрическую схему узла преобразователя DC-DC, используемого в составе нашего источника питания, как показано на рисунке 57.

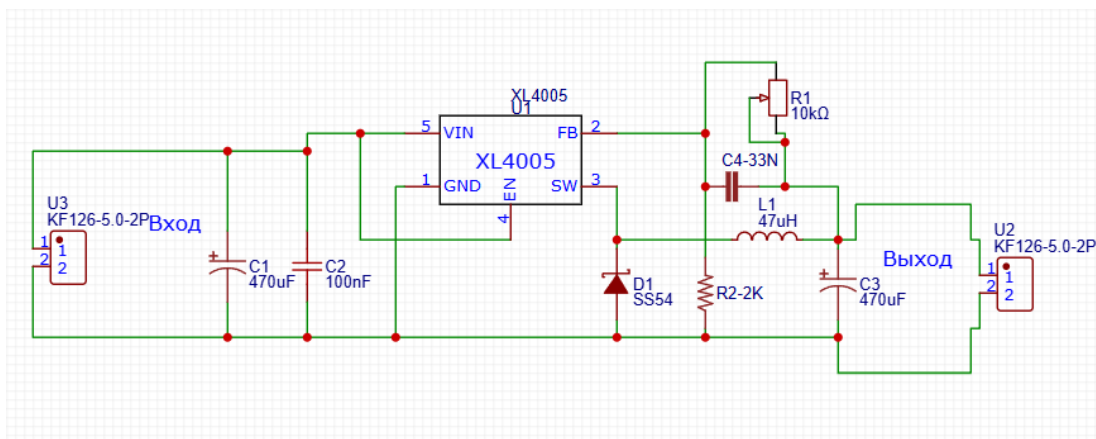


Рисунок 57 – Схема DC-DC преобразователя в EasyEDA

После того, как схема была готова, воспользовались автоматическим инструментом конвертации электрической схемы в печатную плату и выполнили трассировку необходимых соединений, как показано на рисунке 58.

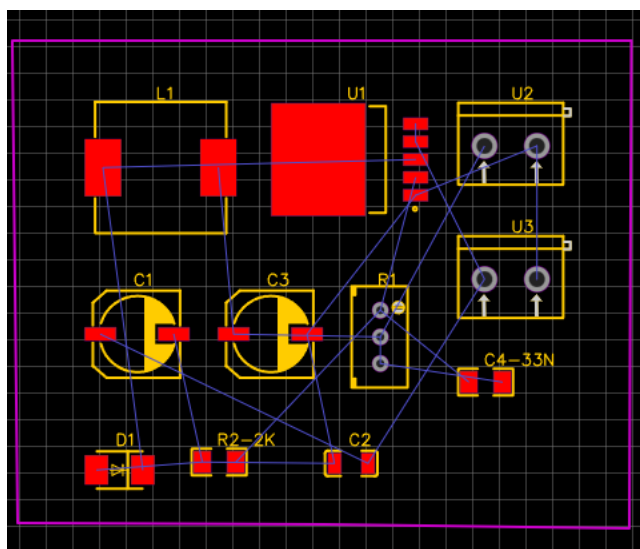


Рисунок 58 – Выполненная трассировка печатной платы

Воспользовались встроенными инструментами преобразования и получили для разработанной платы 2D и 3D изображения, представленные на рисунках 59 и 60 соответственно.

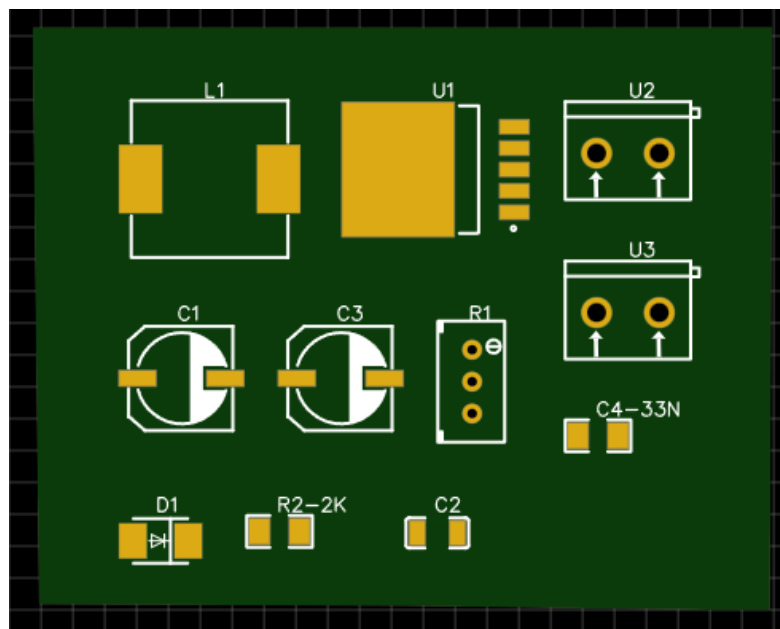


Рисунок 59 – 2D изображение платы преобразователя

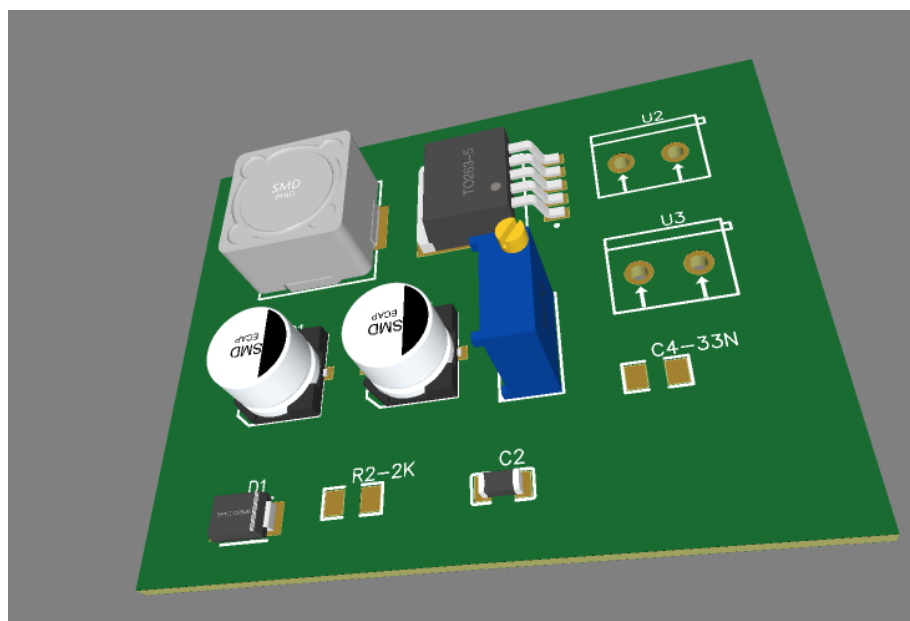


Рисунок 60 – 3D изображения платы преобразователя

Таким образом для узла преобразователя DC-DC мы произвели процедуру полного сквозного проектирования печатной платы при помощи сервиса и инструментов EasyEDA. По аналогичной методике спроектировали прототип печатной платы для узла преобразования и понижения напряжения AC-DC 220-36/12В. Электрическая схема данного узла, собранная в EasyEDA представлена на рисунке 61.

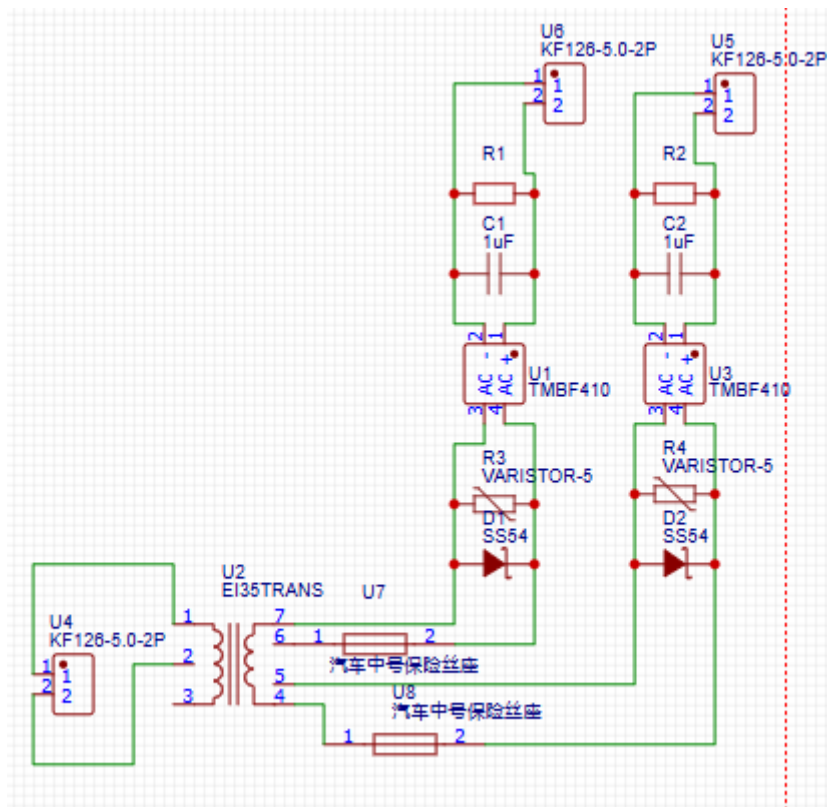


Рисунок 61 – Схема узла преобразования и понижения напряжения

На рисунках 62-64 представлена выполненная трассировка печатной платы, 2D и 3D вид элемента соответственно.

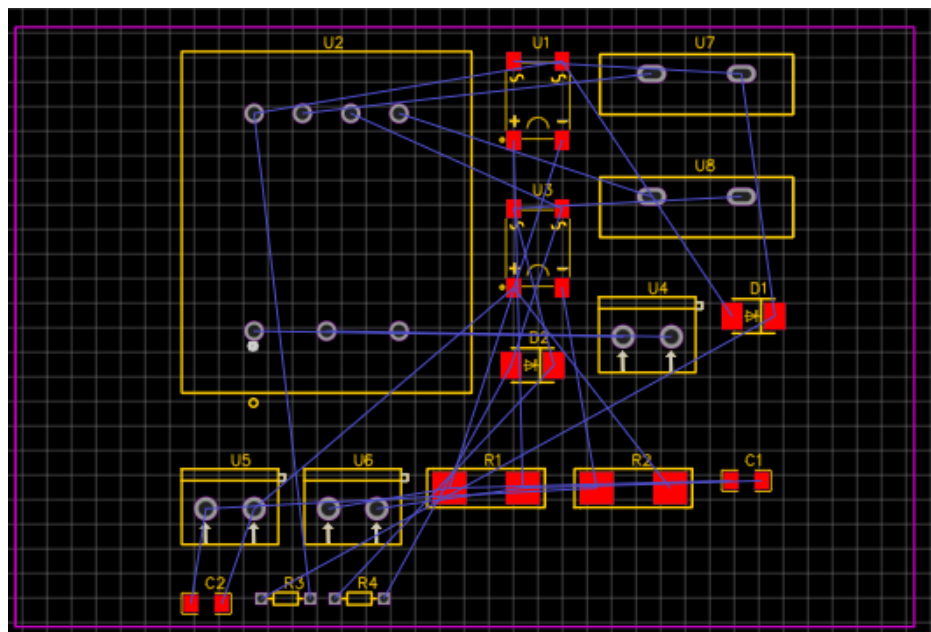


Рисунок 62 – Трассировка печатной платы

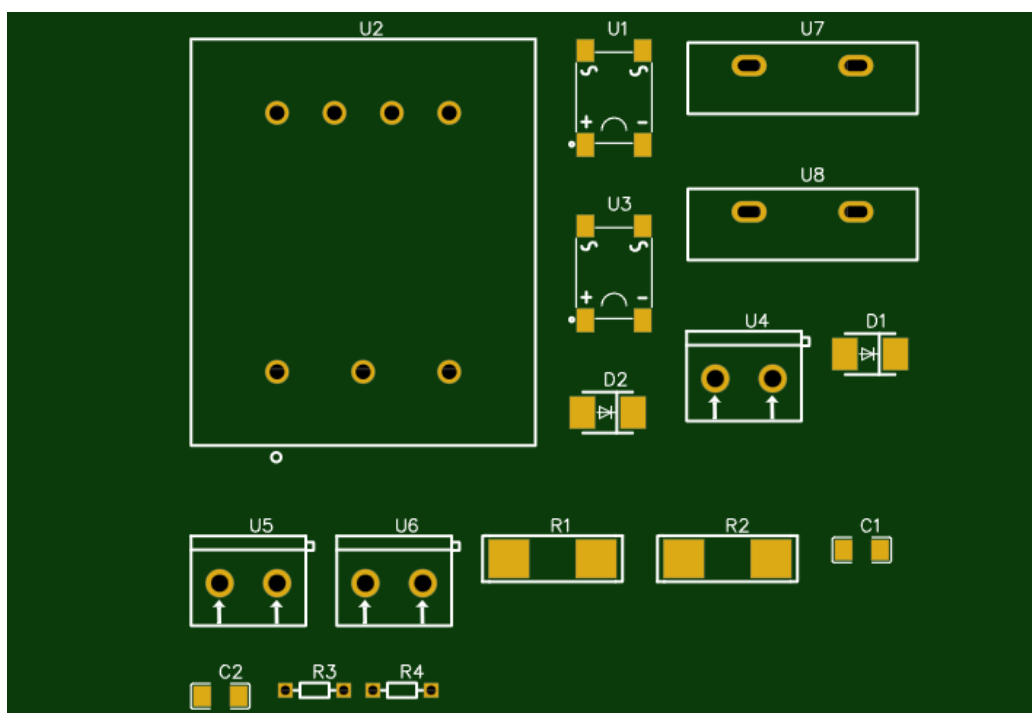


Рисунок 63 – 2D изображение платы узла

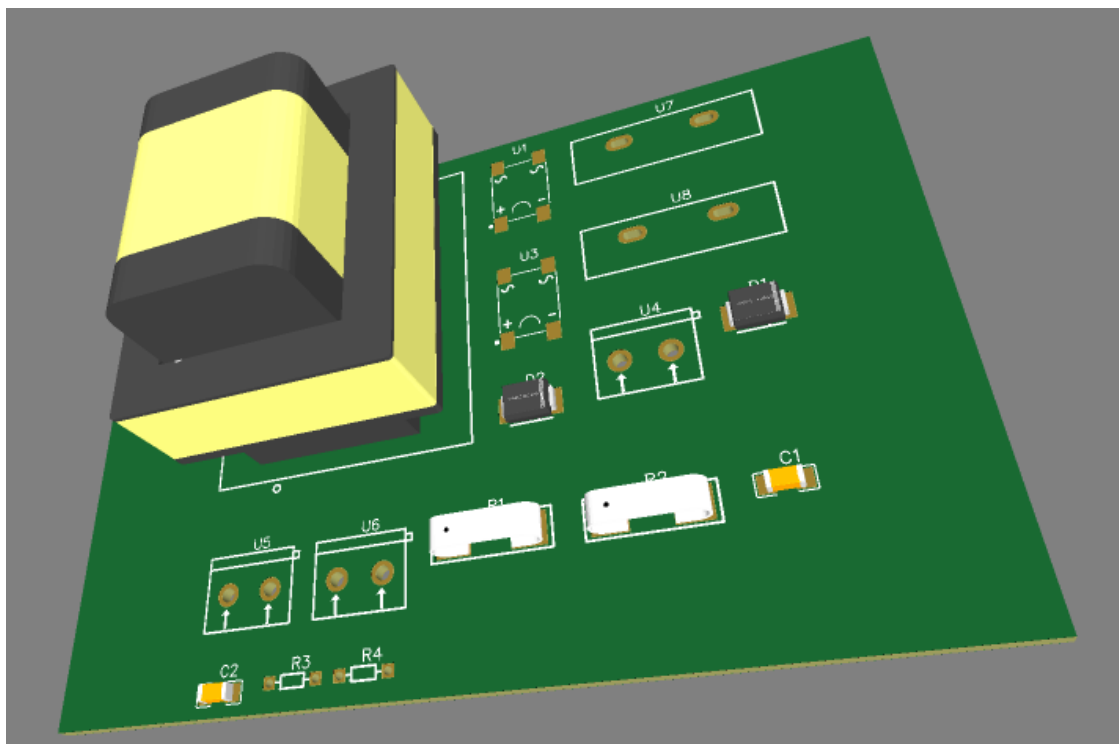


Рисунок 64 – 3D изображение платы узла

На рисунке 65 представлено изображение макета лицевой панели корпуса лабораторного источника питания с основными органами управления.

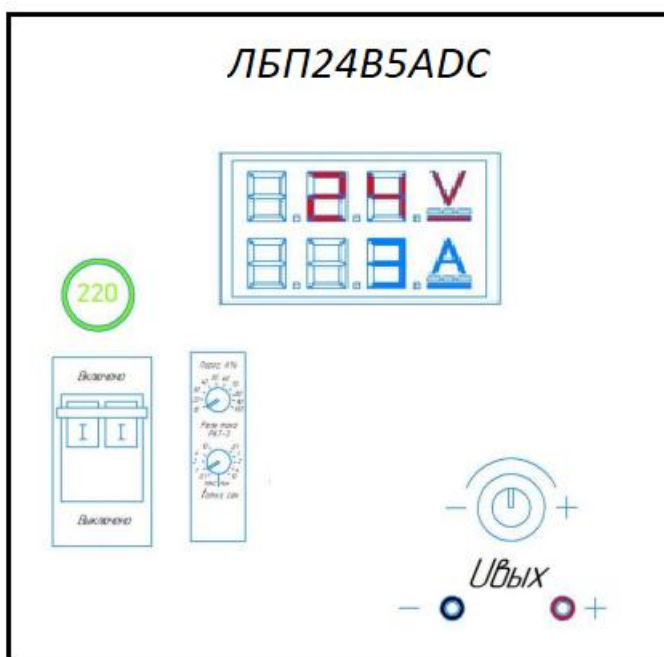


Рисунок 65 – Лицевая панель ЛБП

Все составные элементы лабораторного источника питания будут помещены внутрь корпуса. Для крепления реле тока будет использоваться DIN рейка. В вариативном исполнении блок питания может быть оснащен кнопкой перезапуска системы защиты от короткого замыкания при наличии в схеме ЭМ реле, производящего отключение нагрузки при коротком замыкании. Трансформатор может быть установлен в специализированное место крепления внутри корпуса ЛБП или на печатной плате, сочетающей в себе узел понижения АС напряжения и выпрямитель, как это представлено в данной работе.

#### Выводы по разделу

В данном разделе был рассмотрен сервис сквозного онлайн проектирования печатных плат для электронных устройств EasyEDA. Путем сквозного проектирования разработаны и представлены прототипы печатных плат для узла преобразователя DC-DC и узла понижения и выпрямления входного напряжения. Представлена лицевая панель лабораторного источника питания, содержащая в себе все основные элементы регулировки, управления и мониторинга. Все элементы, представленные в данном разделе, носят характер прототипа и могут быть изменены при физической реализации и сборке лабораторного источника питания, а также при тестировании и отладке работы узлов оборудования.

## **Заключение**

В ходе выполнения нашей выпускной квалификационной работы были решены все задачи, необходимые для достижения поставленной цели.

Были рассмотрены виды блоков питания, существующие на рынке решения, а также разработана основная концепция и структура проектируемого лабораторного источника питания.

Была рассмотрена и подобрана вся необходимая компонентная база лабораторного источника напряжения. Проработаны все необходимые электрические связи между функциональными блоками устройства. Была определена окончательная структура и электрическая схема разрабатываемого устройства.

Был рассмотрен сервис сквозного онлайн проектирования печатных плат для электронных устройств EasyEDA. Путем сквозного проектирования разработаны и представлены прототипы печатных плат для узла преобразователя DC-DC и узла понижения и выпрямления входного напряжения. Представлена лицевая панель лабораторного источника питания, содержащая в себе все основные элементы регулировки, управления и мониторинга.

Представлен полный пакет электротехнической документации, дающий исчерпывающую информацию для дальнейшей реализации и сборки лабораторного источника питания с выходными характеристиками 24 В 5 А при условии должной доработки и тестировании представленных схемотехнических решений и наработок, а также прототипов узлов и составных структурных элементов лабораторного источника питания.

## Список используемой литературы

1. Головкин А.В. Электропитание устройств и систем автоматики и вычислительной техники / А.В. Головкин, А.В. Сафронов. - М.: Горячая линия - Телеком, 2016. - 248 с.
2. Дьяконов В.П. Источники питания электрорадиоаппаратуры. Расчет и проектирование / В.П. Дьяконов. – М.: ДМК Пресс, 2011. – 448 с.
3. Иванов, С. П. "Современные подходы к проектированию лабораторных источников питания". Журнал радиотехники. — 2021. — Т. 64, № 4. — С. 87-93.
4. Петрова, А. М. "Цифровая индикация в измерительных системах". Электронные технологии. — 2022. — Т. 12, № 2. — С. 34-41.
5. Степаненко И.П. Основы теории транзисторов и транзисторных схем / И.П. Степаненко. – М.: Энергия, 1973. – 640 с.
6. Сериков А.В. Расчет трансформаторов малой мощности: учеб. пособие / А.В. Сериков.- Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВПО «КнАГТУ», 2018. – 72 с
7. «МЕАНДР» [Электронный ресурс] // «Реле контроля постоянного тока PKT-3» URL: <https://www.meandr.ru/rele-toka-rkt3?ysclid=majsg6ws1t971349350> (дата обращения: 07.04.2025).
8. «ADDICORE» [Электронный ресурс] // «XL4005 Step-Down Adjustable DC-DC Switching Buck Converter» URL: <http://clck.ru/3M5GfX> (дата обращения: 13.03.2025).
9. «AlexGyver» [Электронный ресурс] // «Лабораторный блок питания своими руками» URL: <https://alexgyver.ru/lbp/> (дата обращения: 04.03.2025).
10. «AliExpress» [Электронный ресурс] // «Источник питания 24 В» URL: <http://clck.ru/3LzcTs> (дата обращения: 14.02.2025).
11. «Amazon» [Электронный ресурс] // «AC DC Adapter, Power Supply 24V» URL: <https://www.amazon.ca/Adapter-Supply-Switching-5-5x2-1mm-Transformer/dp/B079BFHMC5?th=1> (дата обращения: 01.02.2025).

12. «Circuit.my. RU» [Электронный ресурс] // «Блок питания 0...30В/5А с цифровой индикацией напряжения и тока» URL: [https://circuit.my1.ru/publ/istochniki\\_pitanija/bloki\\_pitanija\\_transformatornye/blok\\_pitanija\\_0\\_30v\\_5a\\_s\\_cifrovoj\\_indikaciej\\_naprijazhenija\\_i\\_toka/64-1-0-4011](https://circuit.my1.ru/publ/istochniki_pitanija/bloki_pitanija_transformatornye/blok_pitanija_0_30v_5a_s_cifrovoj_indikaciej_naprijazhenija_i_toka/64-1-0-4011) (дата обращения: 19.04.2025).
13. «EasyEDA» [Электронный ресурс] // «Free PCB Design Software» URL: <https://easyeda.com/> (дата обращения: 17.04.2025).
14. «EasyEDA» [Электронный ресурс] // «Introduction | EasyEDA Pro User Guide» URL: <https://prodocs.lceda.cn/en/introduction/introduction/index.html> (дата обращения: 18.04.2025).
15. «Electronic Circuit Diagram» [Электронный ресурс] // «0-24VDC Digital PIC Power Supply» URL: <https://circuitdiagram.net/0-24vdc-digital-pic-power-supply.html> (дата обращения: 11.03.2025).
16. «Electronic believer» [Электронный ресурс] // «Switch Mode Power Supply Explained with Common Topologies» URL: <https://electronicsbeliever.com/switch-mode-power-supply-explained/> (дата обращения: 14.04.2025).
17. «ELPROCUS» [Электронный ресурс] // «Over Voltage Protection Basics | Electrical Short Circuit Prevention» URL: <https://www.elprocus.com/voltage-electrical-short-circuit-prevention/> (дата обращения: 21.03.2025)
18. «ESP» [Электронный ресурс] // «Linear Power Supply Design» URL: <https://sound-au.com/power-supplies.htm> (дата обращения: 02.04.2025)
19. «Hamper's site» [Электронный ресурс] // «Трансформаторный (линейный) блок питания» URL: <https://www.rotr.info/electronics/practical/network/power/linear/index.htm> (дата обращения: 27.03.2025)

20. «IGBT транзистор. Принцип работы и применение» [Электронный ресурс] / «Информационный ресурс Go Radio». URL: <https://go-radio.ru/igbttransistor.html> (дата обращения 10.02.2025).

21. «LIVEJOURNAL» [Электронный ресурс] // «Самодельный лабораторный блок питания» URL: <https://vladikoms.livejournal.com/2204.html?ysclid=majrlw04q0658138004> (дата обращения: 22.02.2025).

22. «Protection Circuit Design» [Электронный ресурс] // «Short circuit (overcurrent) protection» URL: <http://clck.ru/3Lze7Y> (дата обращения: 23.03.2025)

23. «TRUE POWER RESEARCH» [Электронный ресурс] // «Tutorial: Linear Power Supplies» URL: <https://www.power-supply-designer.com/2011/03/linear-ps/> (дата обращения: 21.04.2025)

24. «ТЕК» [Электронный ресурс] // «linear-power-supply-specifications » URL: [linear-power-supply-specifications](https://linear-power-supply-specifications.com/) (дата обращения: 07.04.2025)

25. «VIPСхема» [Электронный ресурс] // «Лабораторный блок питания 0-24В 5А» URL: <https://vip-cxema.org/index.php/home/bloki-pitaniya/165-laboratornyj-blok-pitaniya-0-24v?ysclid=majrlx3yiz954158013> (дата обращения: 20.02.2025).

26. «VPAУАЕМ» [Электронный ресурс] // «Защита от КЗ и перегрузок» URL: <http://clck.ru/3LzeGC> (дата обращения: 28.03.2025).

## Перечень элементов к схеме электрической принципиальной ЛБП

### Рисунок А.1 – Перечень элементов