

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 микроэлектроника  
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электроника и робототехника  
(направленность (профиль) / специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему «Сетевой блок питания постоянного напряжения»

Обучающийся

А.А. Грищенко

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент М.В. Позднов

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

Тольятти 2023

## **Аннотация**

В выпускной квалификационной работе разработан сетевой блок питания постоянного тока. Проведен поиск аналогов и рассмотрены их характеристики. Выделены основные характеристики, на основе которых выбраны критерии разработки. Составлена структурная схема и разработана принципиальная схема. Рассчитаны параметры элементов схемы, произведен выбор элементов на основе доступных в розничной продаже. Выполнено моделирование работы схемы блока питания. В технологическом разделе разработана печатная плата.

Первый раздел содержит поиск и анализ технических параметров источников питания с изменяемым выходным напряжением. Также найдены аналоги разрабатываемого устройства. В разделе определены критерии для разработки, разработана структурная схема устройства.

Во втором разделе разработана электрическая схема, выбраны элементы устройства, смоделирована работа схемы в программе имитационного моделирования.

В третьем разделе описана технология разработки и разработана печатная плата устройства.

Выполнено 6 чертежей на формате А1. Объем работы 60 листов.

## Содержание

Введение.....	4
1 Постановка задачи.....	5
1.1 Поиск и анализ технических параметров аналогичных устройств.....	5
1.1.1 Линейные источники напряжения.....	5
1.1.2 Способы регулирования выходного напряжения.....	7
1.1.3 Импульсные источники напряжения.....	12
1.2 Критерии для разработки.....	16
1.3 Разработка структурной схемы.....	16
2 Конструкторское проектирование устройства.....	20
2.1 Разработка электронной схемы.....	20
2.2 Выбор элементов устройства.....	28
3 Технологический раздел.....	48
3.1 Технология разработки печатной платы.....	48
3.2 Разработка печатной платы.....	51
Заключение.....	57
Список используемой литературы.....	58

## Введение

Регулируемые источники питания нашли широкое применение в лабораторной практике инженеров и наладчиков электроники. Их используют для оперативного изменения напряжения питания различных типов нагрузок. В зависимости от решаемых задач, регулируемые источники питания могут строиться либо по линейному принципу преобразования напряжения, либо с использованием импульсных алгоритмов. Однако, в особых случаях, находит применение и комбинированный подход, когда в одном устройстве сочетаются модули, работающие по импульсному и линейному принципам.

Источники питания подобного назначения должны обладать некоторым запасом устойчивости к перегрузкам относительно номинальных режимов работы. Это достигается использованием интегральных решений специализированных стабилизаторов напряжения того или типа, которые содержат в своем составе цепи ограничения выходного тока, защиты от переплюсовки на выходных клеммах, от бросков тока при использовании емкостной нагрузки.

Данная работа посвящена разработке регулируемого источника питания с использованием комбинированного подхода к стабилизации и регулированию выходного напряжения. А за счет использования интегральных модулей управления со встроенными элементами защиты, решаются задачи предохранения конструкции разрабатываемого источника питания от выхода из строя из-за некоторого ряда внешних воздействий.

## **1 Постановка задачи.**

Регулируемые источники питания в общем случае позволяют изменять значение выходного напряжения в некотором заданном диапазоне плавно с некоторой точностью, или ступенчато, переключаясь между некоторым фиксированным набором значения напряжения. Лабораторные источники напряжения позволяют кроме этого задавать величину выходного тока, ограничивая его некоторой величиной. Такие источники питания могут использоваться для зарядки аккумуляторов.

Как и источники с фиксированным выходным напряжением, источники питания с регулируемым выходным напряжением могут быть линейными или импульсными. Рассмотрим эти два типа источников напряжения.

### **1.1 Поиск и анализ технических параметров аналогичных устройств**

#### **1.1.1 Линейные источники напряжения**

Структура линейного источника напряжения выглядит следующим образом: входное сетевое переменное напряжение 220В понижается с помощью низкочастотного трансформатора, работающего на частоте сетевого напряжения 50Гц, после сетевого трансформатора стоит диодный выпрямитель, как правило, собранный по мостовой схеме, после выпрямителя располагают сглаживающий конденсатор, который сглаживает однополярное напряжение, состоящее из двух полуволн синусоиды одной полярности. В зависимости от требований к стабильности выходного напряжения такого источника питания на выходе устанавливаются стабилизаторы напряжения того или иного типа.

Это может быть стабилизатор на стабилитроне с последовательно включенным резистором, стабилизатор на транзисторе с фиксированным напряжением базы, или линейный интегральный стабилизатор напряжения.

Основным достоинством линейных источников напряжения является сглаженная, без пульсаций форма выходного напряжения.

Однако, недостатком линейных источников напряжения являются высокие потери мощности на элементах в силовом контуре управления, через которые протекает постоянный выходной ток. Высокие потери мощности на этих элементах приводят к необходимости установки теплорассеивающих радиаторов на силовых приборах.

Типовая структура линейного источника напряжения с диодным мостом и сглаживающим конденсатором приведена на рисунке 1 [19].

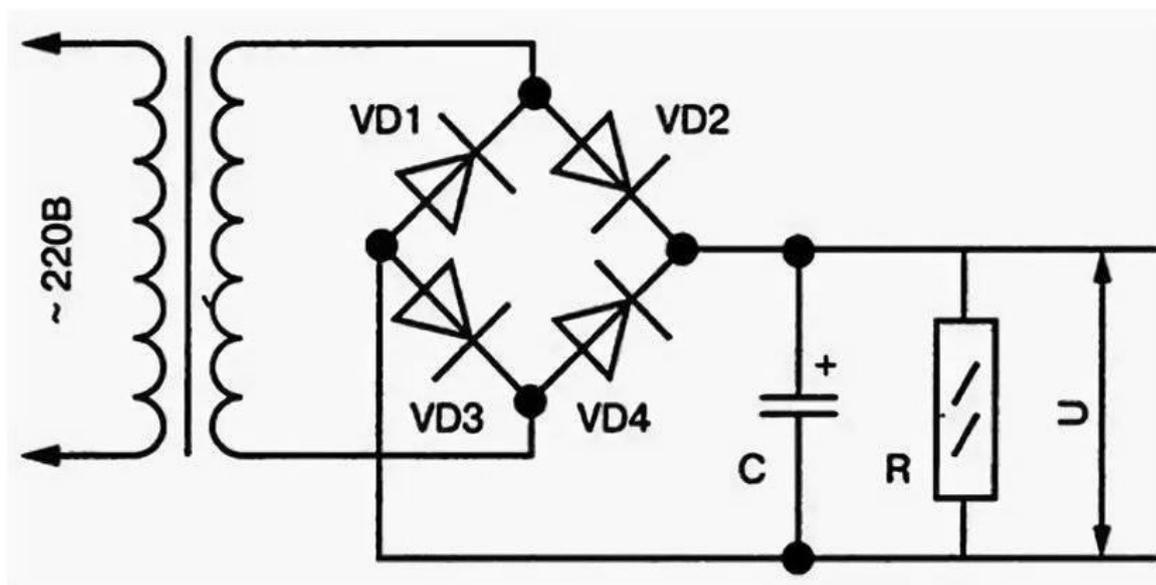


Рисунок 1 – Схема источника питания на диодном мосте со сглаживающим конденсатором

На этом рисунке показан выпрямительный мост на диодах VD-VD4 и сглаживающий конденсатор С электролитического типа. Нагрузка показана в виде резистора R,

Как видно из рисунка, в схеме отсутствуют стабилизирующие выходное напряжение элементы. Соответственно подобная схема не позволяет вводить какой-либо контур управления выходным напряжением.

Если в рассмотренную схему добавить параметрический стабилизатор на биполярном транзисторе, то схема источника питания будет выглядеть так, как показано на рисунке 2 [15].

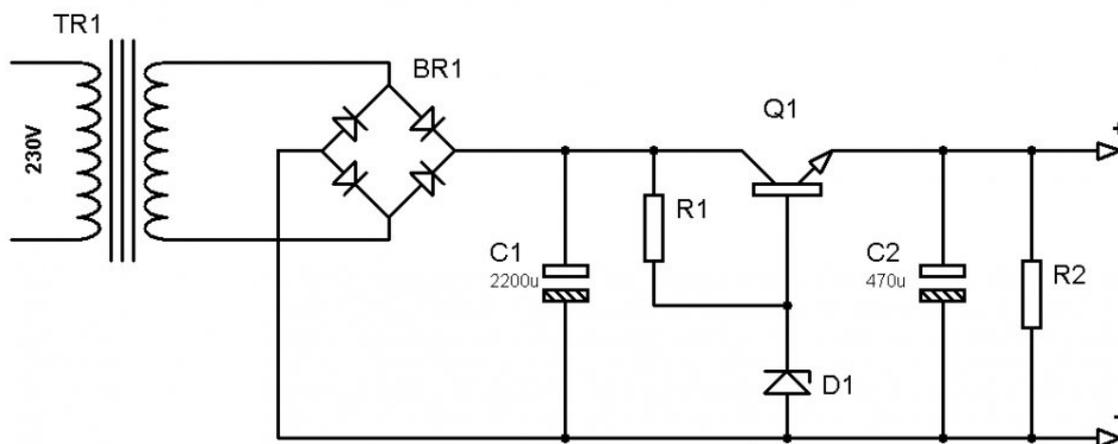


Рисунок 2 – Схема источника питания с линейным стабилизатором на транзисторе

На рисунке 2 фиксация выходного напряжения происходит за счет стабильного напряжения на стабилитроне D1. Стабилизация этого напряжения осуществляется в рамках работы параметрического стабилизатора на R1D1. Стабильное напряжение стабилитрона прикладывается к базе биполярного транзистора Q1 и фиксирует рабочую точку эмиттерного перехода, фиксируя тем самым величину выходного напряжения источника напряжения.

Поскольку в схеме появились управляемые приборы, то следующим шагом в схемотехнике стабилизированного источника напряжения будет введение контура управления регулирующим прибором.

### 1.1.2 Способы регулирования выходного напряжения.

Существует несколько подходов к изменению выходного напряжения источника питания. Первый подход – это изменение величины действующего переменного напряжения, прикладываемого к первичной обмотке трансформатора. Она называется фазоимпульсным. Второй подход – управление режимами работы линейных стабилизаторов напряжения, установленных во вторичной цепи источника питания. Рассмотрим оба подхода более подробно.

Принцип фазоимпульсного управления можно проиллюстрировать с помощью схемы, показанной на рисунке 3 [15].

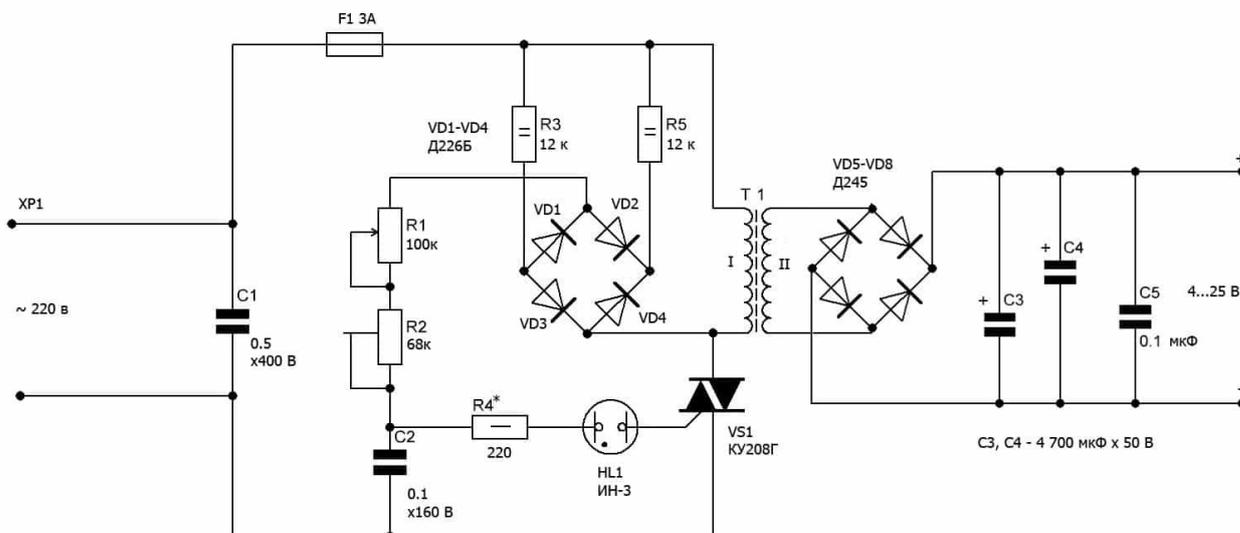


Рисунок 3 – Схема с фазоимпульсной регулировкой первичного напряжения

В источнике напряжения на этом рисунке можно выделить две части: регулятор напряжения, включенный между сетевыми клеммами и первичной обмоткой трансформатора, собственно низкочастотный трансформатор и выпрямитель со сглаживающими конденсаторами.

Регулятор переменного напряжения перед первичной обмоткой трансформатора собран на основе симистора VS1 и схемы запуска (управления) на VD1-VD4, R1-R5, C2 и фильтрующего конденсатора C1. К управляющему электроду симистора подключена неоновая лампа HL1 и RC цепочка C2 R4. после подключения источника питания к сетевому напряжению через диод VD1 начинается заряд C2 через переменный резистор R1 и подстроечный R2. Когда напряжение на C2 станет больше 160 В (напряжение зажигания неоновой лампы), произойдет включение HL1, напряжение C2 поступит на управляющий электрод VS1, он откроется и через него начнет протекать ток первичной обмотки трансформатора, соответственно во вторичной цепи появится

ся напряжение вторичной обмотки трансформатора. Выпрямитель на VD5-VD8 его выпрямит, а подключенные параллельно ему конденсаторы сгладят выпрямленное напряжение. Одновременно с этим, через R3 и VD3 начнет протекать сетевой ток, поддерживающий симистор в открытом состоянии. Когда закончится положительная полуволна напряжения и начнется отрицательная, аналогичные процессы будут происходить за счет протекания тока заряда C1 через R5 и VD2 и далее через R1,R2. Удерживать в открытом состоянии VS1 будет ток через R5 и VD4.

Скорость зарядки C2 будет определяться сопротивлением переменного резистора R1, определяемым положением его рукоятки.

Таким образом, регулируя ручную сопротивление R1 можно управлять длительностью заряда конденсатора C2 и соответственно моментом времени, когда напряжение на нем достигнет напряжения зажигания неоновой лампы и подаст открывающий импульс управления на симистор VS1.

Недостатком этой схемы можно назвать нестабильность выходного постоянного напряжения за счет нестабильного момента зажигания неоновой лампы, а также то, что органы управления находятся под сетевым потенциалом и пользователь такого источника напряжения потенциально может получить вред от попадания под действие сетевого напряжения.

С этой точки зрения более безопасны способы регулирования выходного напряжения за счет изменения режимов работы приборов стабилизатора напряжения во вторичной цепи источника питания.

Рассмотрим работу стабилизатора на основе силового биполярного транзистора и линейного интегрального стабилизатора напряжения. Эта схема подключается к выводам выпрямителя и имеет собственный входной сглаживающий конденсатор. Схема показана на рисунке 4 [26].

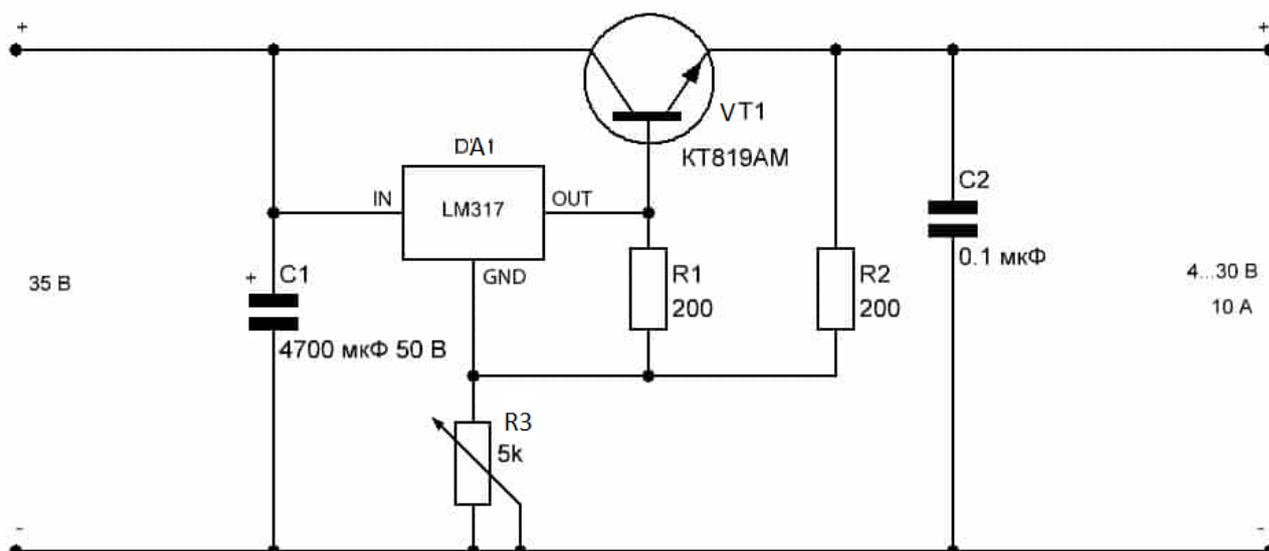


Рисунок 4 – Схема линейного стабилизатора напряжения на силовом биполярном транзисторе и линейном интегральном регуляторе

Схема регулируемого стабилизатора состоит из силового транзистора Т1, интегрального регулятора DD1, входного сглаживающего конденсатора С1, выходного фильтрующего конденсатора С2, 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. Изменяя величину сопротивления резистора R3, можно менять уровень опорного напряжения поступающего на вход GND интегрального стабилизатора DA1, а следовательно величину его выходного напряжения, определяющего напряжение на эмиттерном переходе VT1 и величину его базового тока. Таким образом, используя в цепи управления биполярным транзистором интегральный линейный регулятор напряжения совместно с переменным резистором в цепи регулирования, можно получить линейный стабилизированный источник с регулируемым выходным напряжением.

Величину опорного напряжения в рассмотренном примере построения схемы линейного стабилизированного источника питания с регулируемым

выходным напряжением задают с помощью делителя напряжения в цепи обратной связи линейного интегрального стабилизатора. Если же в цепь обратной связи интегрального линейного стабилизатора подавать сигнал пропорциональный выходному току, то можно построить схему источника питания со стабилизированным выходным током. Схема такого источника питания показана на рисунке 5 [26].

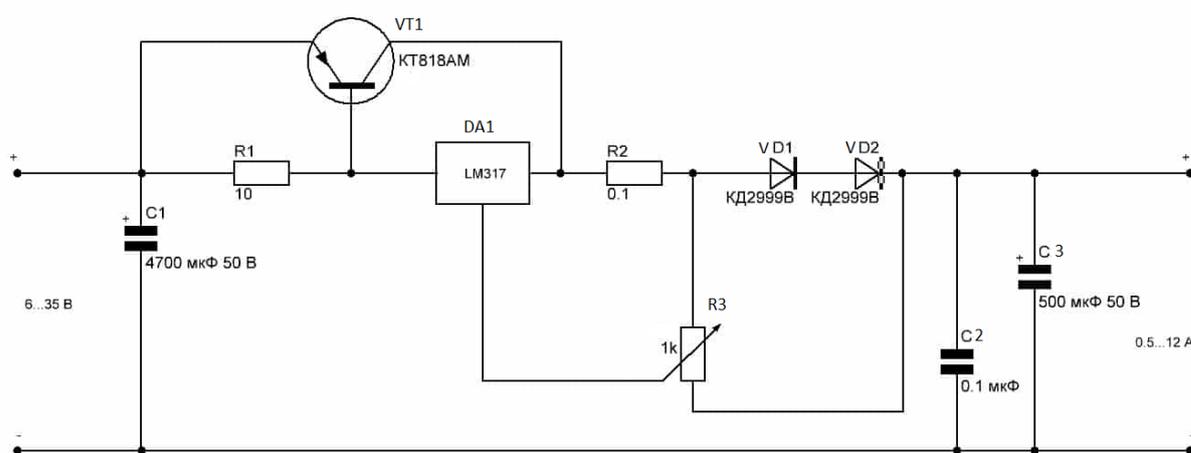


Рисунок 5 – Схема линейного источника питания с регулируемым выходным током

В этом линейном стабилизаторе напряжения используется включение интегрального стабилизатора напряжения DA1 в режиме стабилизации тока. Стабилизатор удерживает между своим входным и выходным электродами постоянное падение напряжения в зависимости от уровня напряжения на управляющем выводе. Уровень напряжения на управляющем выводе задается переменным резистором R3 в зависимости от положения его движка. При этом разность потенциалов между крайними выводами этого резистора определяется величиной падения напряжения на последовательно соединенных диодах VD1 и VD2. В силу малого прямого сопротивления диодов, ток нагрузки протекает в основном через них и лишь малая доля выходного тока протекает через переменный резистор. В зависимости от потенциала, снима-

емого с движка переменного резистора, DA1 удерживает между своими входным и выходным выводами фиксированное падение напряжения, задавая тем самым величину разности потенциалов между базой и коллектором VT1, меняя тем самым потенциал базы относительно эмиттера, а следовательно и величину базового тока. Как результат всех этих процессов, ток через транзистор, а следовательно и выходной ток зависят от положения движка переменного резистора.

### **1.1.3 Импульсные источники напряжения**

Другим типом источников постоянного напряжения являются источники питания на основе импульсных стабилизаторов. В отличие от линейных источников, в импульсных происходит преобразование электрической энергии. Это преобразование заключается в первичном выпрямлении переменного сетевого напряжения частотой 50Гц с последующей генерацией из полученного постоянного, но высоковольтного напряжения высокочастотных и, как правило, знакопеременных импульсов высокой частоты.

Полученное высокое знакопеременное напряжение высокой частоты понижается через импульсный высокочастотный трансформатор, после чего, на вторичной стороне, выпрямляется и сглаживается.

Информация об уровне вторичного выходного напряжения передается во входные цепи, в которых расположены регулировочные звенья. Регулирование уровня выходного напряжения происходит путем изменения ширины высокочастотных импульсов напряжения, поступающего на первичную обмотку трансформатора. Таким образом, элемент управления величиной выходного напряжения можно вводить либо в цепь формирования длительности (ширины) импульсов, либо в контур цепи обратной связи, меняя уровни напряжения обратной связи в зависимости от величины желаемого выходного напряжения.

Типовая структурная схема импульсного блока питания показана на рисунке 6 [25].

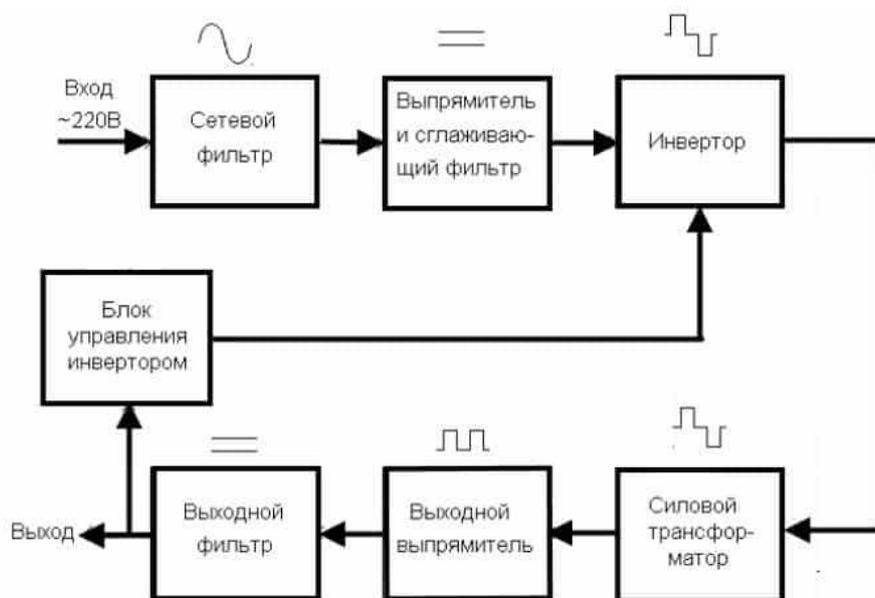


Рисунок 6 – Структура импульсного блока питания

В состав импульсного блока питания входит сетевой фильтр, выпрямитель высокого первичного напряжения со сглаживающим фильтром (как правило электролитическим конденсатором), инвертор напряжения, силовой высокочастотный трансформатор, выходной выпрямитель низкого напряжения, выходной фильтр, а также блок управления инвертором.

Основным достоинством импульсных источников питания являются меньшие размеры по сравнению с линейными источниками на те же мощности за счет того, что импульсный высокочастотный трансформатор имеет гораздо меньшие габариты и массу. Сердечники для высокочастотных импульсных трансформаторов изготавливают из ферритовых материалов, которые имеют меньшую удельную массу по сравнению с трансформаторной сталью, применяемой в низкочастотных трансформаторах линейных источников питания.

К недостаткам импульсных источников питания можно отнести наличие высокочастотных пульсаций в кривой выходного напряжения, а также, зачастую в кривой сетевого напряжения, к которому импульсные источники

питания подключаются. Зачастую эти высокочастотные пульсации не удается полностью убрать не из вторичного напряжения, ни снизить их влияние на сетевое напряжение. А это уже является негативным фактором влияющим как на нагрузку, подключенную к выходу импульсного блока питания, так и на других потребителей электрической энергии, подключенных к первичным цепям рядом с точками присоединения импульсного блока питания.

Поэтому на практике необходимо выбирать, для какой нагрузки использование импульсных источников питания является недопустимым. Как правило, это различная измерительная аппаратура, чувствительная к высокочастотным пульсациям в питающем напряжении или к электромагнитным помехам, возникающими от работы импульсных источников питания и передаваемых индуктивным путем. Рассмотрим более детализированно различные варианты построения импульсных источников питания.

Можно выделить два способа [26] организации цепей обратной связи для контроля за уровнем выходного напряжения – это непосредственный и косвенный способы контроля.

Схема, построенная по «непосредственному» способу контроля за выходным напряжением, показана на рисунке 7.

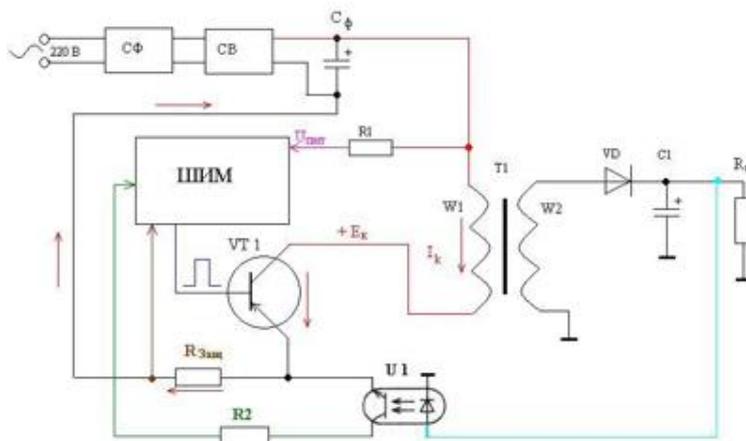


Рисунок 7 – Непосредственный контроль за выходным напряжением



## 1.2 Критерии для разработки

Как показал обзор существующих решений, можно реализовать несколько вариантов регулируемых источников питания – это могут быть линейные решения с минимальным уровнем пульсаций в кривой выходного напряжения, но имеющие сравнительно невысокий КПД, импульсные решения, характеризующиеся высоким КПД, но зачастую требующие построения сложных схем, в которых основные силовые элементы работают без гальванической развязки с питающей сетью, а также комбинированные решения, берущие от каждого класса источников питания свои положительные свойства.

Остановимся на комбинированной структуре источника питания с регулируемым выходным напряжением, когда первичная стабилизация напряжения будет осуществляться с использованием импульсного преобразователя, окончательную, выходную стабилизацию будет проводить каскад на линейном стабилизаторе напряжения.

Входное напряжение для такого преобразователя будем получать от низкочастотного понижающего трансформатора с выпрямительным мостом на диодах или диодной сборке.

В остальном будем руководствоваться параметрами технического задания: диапазоном выходного напряжения 0...12В, ток нагрузки 3А, коэффициент пульсаций по напряжению 0,07%.

## 1.3 Разработка структурной схемы

Построение понижающего преобразователя на основе импульсного преобразователя с высокочастотной частью приводит к тому, что в выходном напряжении присутствуют практически неустраняемые высокочастотные пульсации, вызываемые коммутацией силовых приборов. Однако, зачастую, нагрузка таких источников питания может быть чувствительна к импульс-

ным помехам. Это, например звуковоспроизводящая, измерительная, преобразующая аппаратура. Одним из самых надежных способов минимизировать присутствие высокочастотных пульсаций в кривой выходного напряжения кроме установки выходных фильтров, которые не всегда достаточно эффективно справляются с задачей подавления пульсаций от коммутации силовых приборов в импульсных преобразователях, является использование на выходе схемы линейного стабилизатора напряжения. Эффективность такого решения особенно может быть высока при построении регулируемых источников напряжения, когда основную часть в стабилизации выходного напряжения выполняет импульсный стабилизатор, а окончательное сглаживание ложится на линейный стабилизатор.

Поэтому выберем для построения регулируемого источника напряжения структуру, состоящую из последовательно включенных импульсного и линейного стабилизаторов. Удержание линейного стабилизатора в эффективном режиме работы можно выполнять с помощью цепей обратной связи.

В состав структуры устройства включим следующие модули: понижающий трансформатор, выпрямитель, понижающий импульсный преобразователь и понижающий линейный преобразователь. Для управления величиной напряжения, снимаемого с импульсного преобразователя в зависимости от выходного напряжения регулировки источника питания введем цепь обратной связи между выходным линейным преобразователем и входным импульсным.

Структурная схема преобразователя показана на рисунке 9.

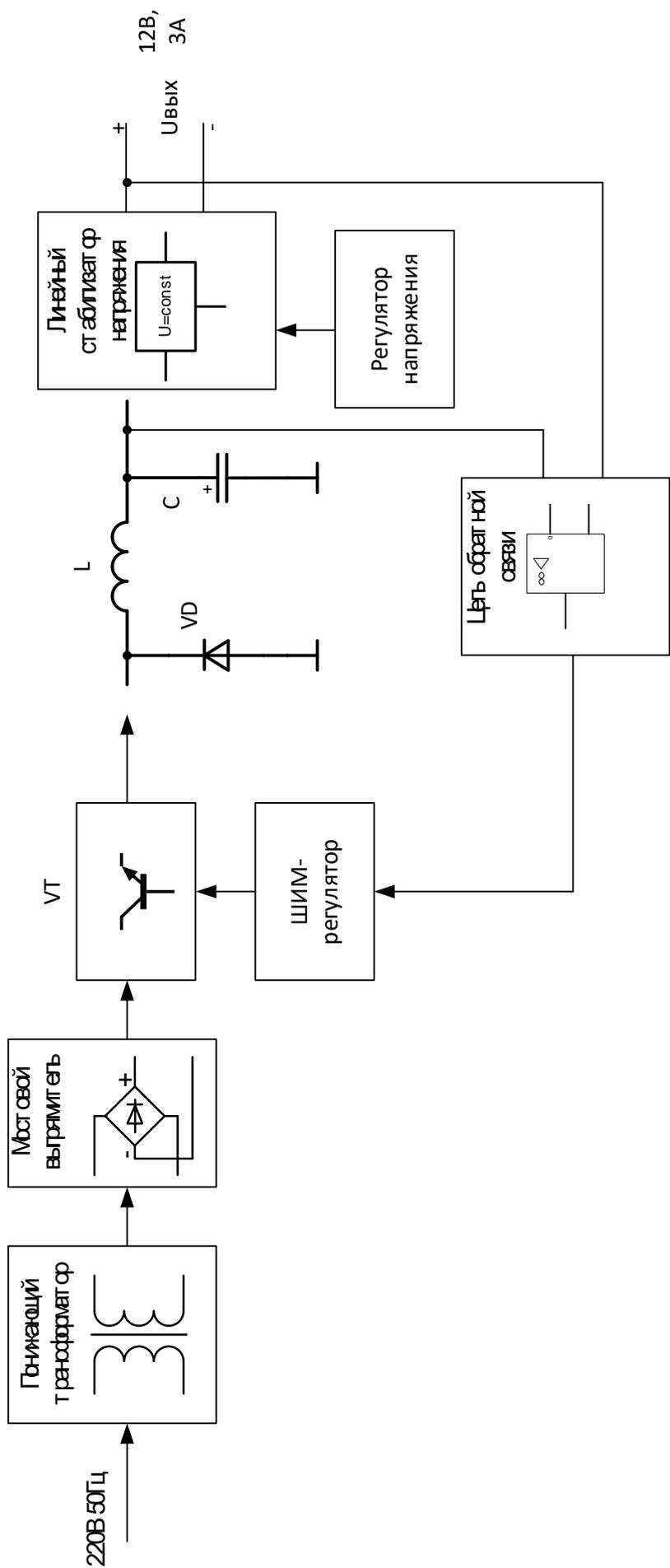


Рисунок 9 – Структурная схема источника питания

Импульсный преобразователь реализуется на ключевом элементе – транзисторе VT, L- накопительная индуктивность, VD и C – вспомогательные элементы обеспечивающие работоспособность узла импульсного преобразования напряжения. Цепь обратной связи реализуем на операционном усилителе, отслеживающем напряжение между входным и выходным электродом линейного стабилизатора напряжения.

#### Выводы.

В результате выполнения первого раздела выполнен поиск и анализ технических параметров и схемотехнических решений линейных и импульсных источников питания. Рассмотрены способы регулирования их выходного напряжения как по первичной, так и по вторичной цепям. Сформулированы критерии для разработки. Разработана структурная схема разрабатываемого регулируемого источника питания.

## 2 Конструкторское проектирование устройства

### 2.1 Разработка электронной схемы

Разработку электрической принципиальной схемы начнем с выбора выходного линейного стабилизатора напряжения, который позволил бы получить характеристики выходного напряжения источника питания в соответствии с техническим заданием. В качестве стабилизатора выберем интегральную микросхему LM1085IT-ADJ/NOPB [6]. Этот стабилизатор имеет следующие параметры:

- положительную полярность выходного напряжения;
- регулируемое выходное напряжение;
- выходное напряжение в диапазоне 1,25...15В;
- максимальный ток нагрузки 3А;
- максимальное входное напряжение 29В;
- рабочую температуру -40...+125 °С;
- корпус ТО-220.

Корпус этого линейного стабилизатора имеет фланец для установки радиатора охлаждения. Радиатор охлаждения выберем после расчета всех параметров схемы и режимов работы линейного стабилизатора.

Типовая схема включения стабилизатора, рекомендованная производителем показана на рисунке 10.

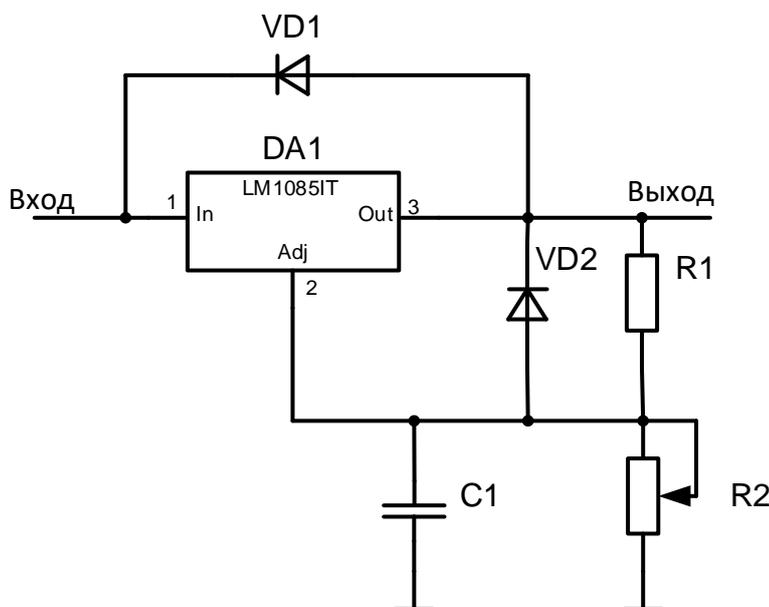


Рисунок 10 – Типовая схема включения линейного стабилизатора LM1085IT-ADJ/NOPB

На вход схемы поступает напряжение, в нашем случае, с выхода импульсного стабилизатора напряжения. К выходу подключается нагрузка источника питания. Диод VD1 выполняет защитную функцию от протекания обратных токов. Он включается параллельно внутреннему диоду, встроенному в микросхему и позволяет перехватить часть токов, разгружая тем самым внутренний защитный диод от перегрузки по току. Диод VD2 выполняет защитную функцию от случайной переплюсовки со стороны пользователя и подачи на вход источника питания отрицательного напряжения. С помощью резисторов R1 и R2 формируется напряжение, поступающее на вход регулировки, а с помощью резистора R2 происходит собственно управление величиной выходного напряжения.

Импульсный преобразователь напряжения построим на микросхеме MC34063AP1G [8,7].

Эта микросхема представляет собой повышающе-понижающий преобразователь постоянного напряжения в постоянное. Ее структура показана на рисунке 11.

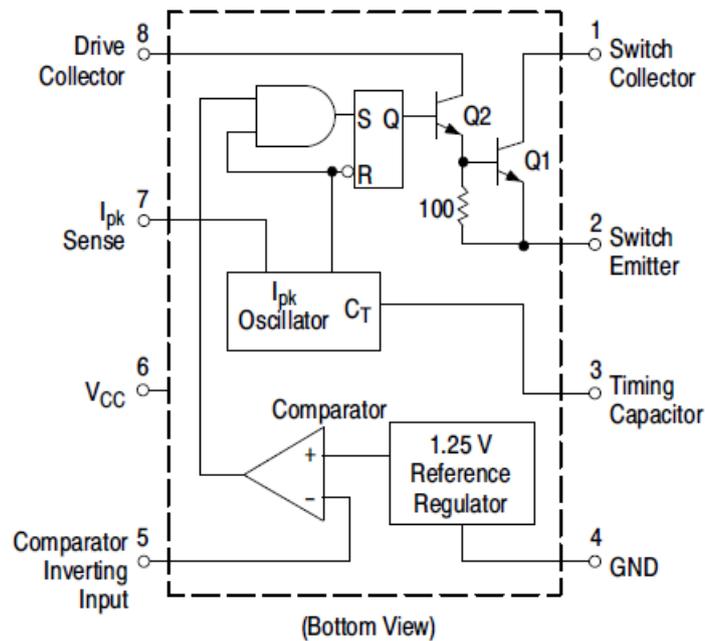


Рисунок 11 - Структура микросхемы MC34063AP1G

Как видно из рисунка, в состав микросхемы входит система управления, а также силовые транзисторы, работающие в ключевом режиме и позволяющие коммутировать ток до 1,5А. Однако, при подключении внешнего ключевого элемента (транзистора) максимальный ток нагрузки, подключенной к этому преобразователю будет уже ограничиваться максимальным током внешнего транзистора.

MC34063AP1G имеет следующие основные параметры:

- тип выхода – регулируемый;
- минимальное входное напряжение: 3В;
- максимальное входное напряжение: 40В;
- минимальное выходное напряжение: 1.25В;
- выходной ток 1.5А;
- частота коммутации 42кГц;
- рабочая температура 0...+70 °С.

Подключение внешних элементов к этому стабилизатору будем осуществлять по схеме, показанной на рисунке 12.

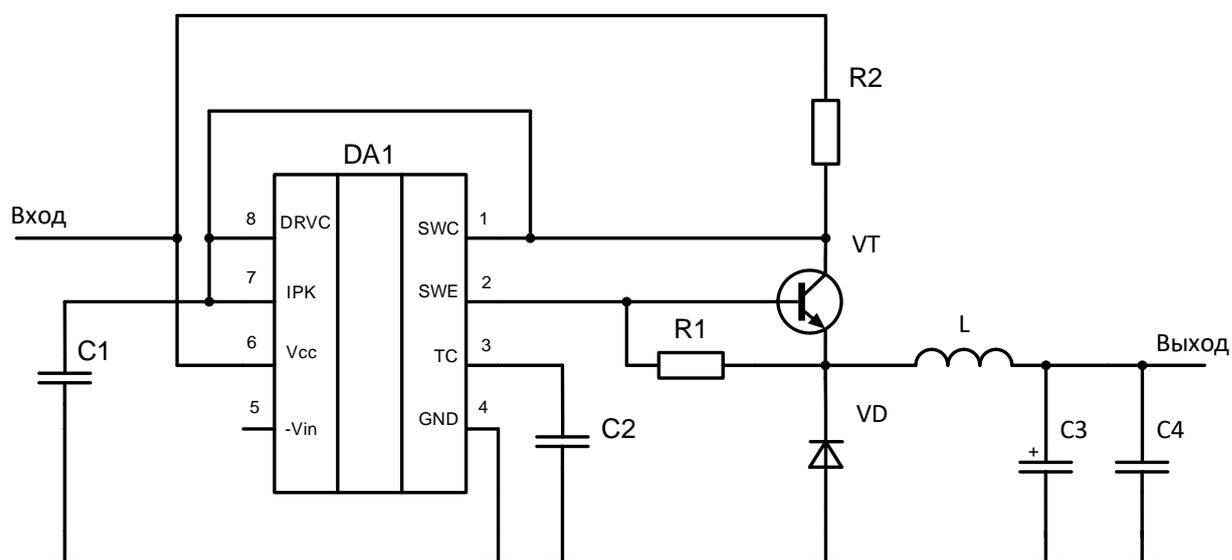


Рисунок 12 – Схема подключения стабилизатора MC34063AP1G

На этой схеме ток нагрузки проходит по пути от входа схемы, через резистор R2, предназначенный для контроля величины максимального потребляемого тока, далее через транзистор VT (его выводы коллектор-эмиттер) и через дроссель L на выход.

Конденсатор C2 является элементом времязадающей цепочки, и задает длительность открытого состояния силовых транзисторов внутри стабилизатора, а следовательно, и транзистора VT, который в данной реализации является основным коммутирующим элементом и определяет значение максимально допустимого тока нагрузки.

Конденсатор C1 сглаживает высокочастотные пульсации напряжения, которые возникают при коммутации силового транзистора VT и тем самым фильтрует краткосрочные импульсы на входе 7 микросхемы, который предназначен для отслеживания пиковых (максимальных) значений тока и является одним из входов цепи обратной связи в микросхеме.

Резистор R1 задает отпирающее смещение на базе внешнего транзистора VT1.

Через диод VD протекает ток нагрузки на интервалах времени, когда транзистор VT закрыт и ток от источника напряжения из входной цепи не потребляется.

Конденсатор C3 является накопительным. На этапе включенного состояния транзистора VT он накапливает электрический заряд, а на этапе закрытого состояния VT – отдает заряд во внешнюю цепь. Тем самым для нагрузки импульсного преобразователя напряжения, его выходное напряжение представляется сглаженным.

Конденсатор C4 сглаживает высокочастотные пульсации выходного напряжения импульсного преобразователя напряжения.

Для того, чтобы добиться работы выходного линейного стабилизатора напряжения в режиме с минимальными потерями, нам необходимо отслеживать на некотором определенном уровне - 1,25В согласно данным производителя, напряжение между его входным и выходным выводами.

Для этого введем в состав схемы цепь обратной связи. Для повышения точности и быстродействия этой операции, будем использовать усилительный каскад на операционном усилителе, который будет усиливать разность напряжений между выходом и входом стабилизатора LM1085IT.

В качестве операционного усилителя выберем широко распространенный быстродействующий из серии OP07. Параметры этого операционного усилителя [12, 11]:

- количество каналов – 1;
- скорость нарастания выходного сигнала: 0,3 В/мкс;
- частота единичного усиления: 0,6 МГц;
- токовое смещение на входе: 1,8 нА;
- напряжение смещения на входе: 60мкВ;
- напряжение питания однополярное/двуполярное:  $\pm 3 \dots 18$ В;

- рабочая температура:  $0...+70^{\circ}\text{C}$ ;
- корпус : dip8/

Схема этого каскада и его подключение к импульсному и линейному стабилизаторам показана на рисунке 13.

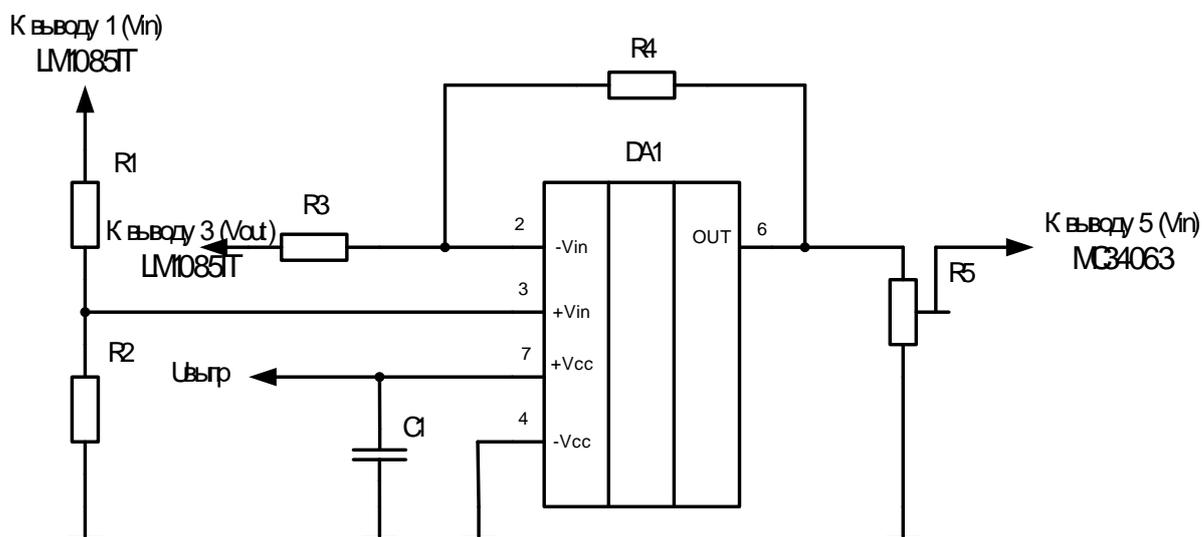


Рисунок 13 – Схема цепи обратной связи на операционном усилителе OP07 для контроля напряжения на линейном стабилизаторе LM1085IT

Питание стабилизатора будем осуществлять с помощью линейного низкочастотного трансформатора, подключаемого первичной обмоткой к сети переменного напряжения 220В 50Гц. Этот трансформатор должен иметь одну вторичную обмотку, к которой подсоединяется мостовой выпрямитель на диодах.

Схема этого узла показана на рисунке 14.

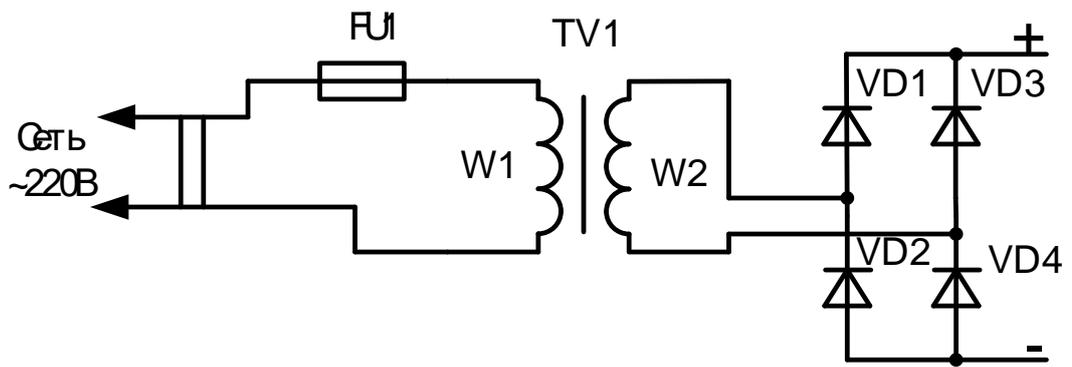


Рисунок 14 – Схема понижающе-выпрямительного узла

Таким образом, можно составить полную электрическую принципиальную схему регулируемого источника питания на основе линейного стабилизатора с промежуточным импульсным следящим стабилизатором напряжения. Схема показана на рисунке 15.

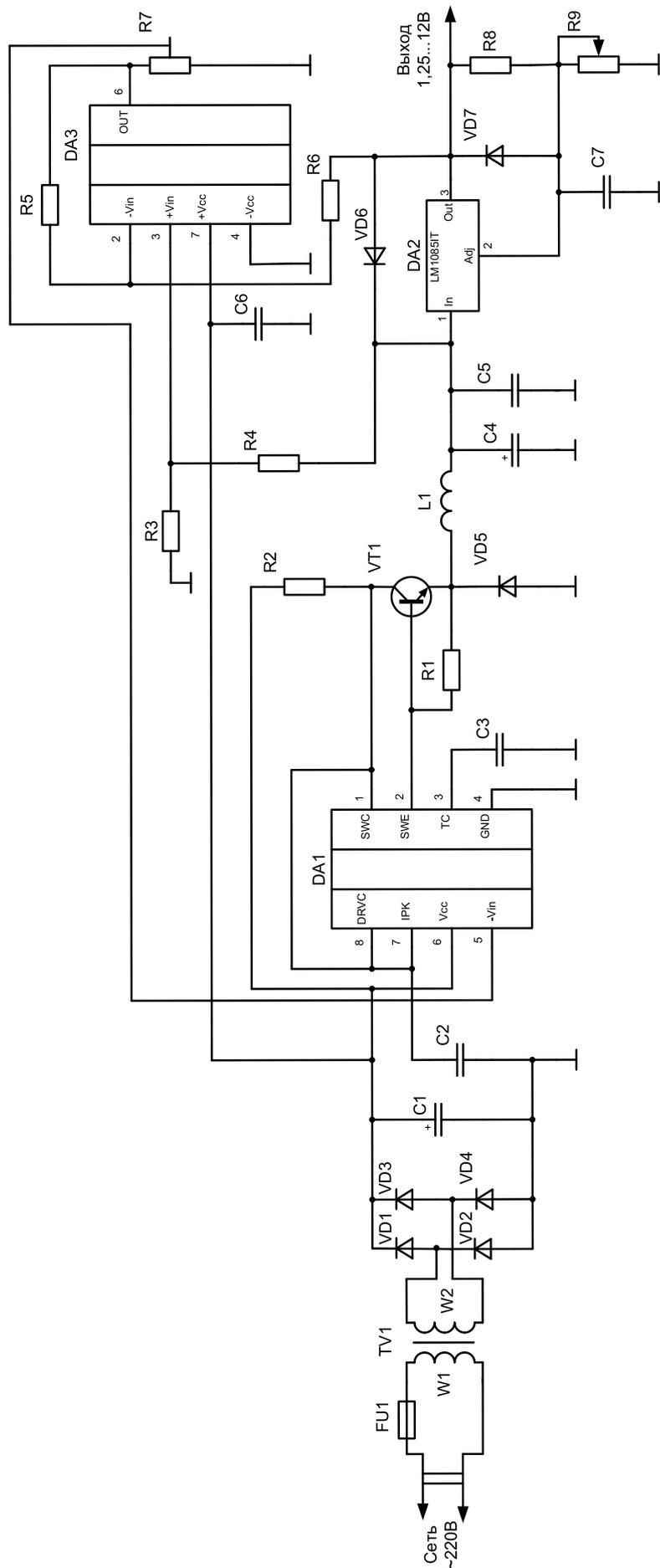


Рисунок 15 – Принципиальная электрическая схема регулируемого источника питания.

## 2.2 Выбор элементов устройства

Приступим к расчету и выбору параметров элементов.

Согласно техническому заданию источник питания должен обеспечивать выходное напряжение до 12В и выходной ток до 2А. Это означает, что нагрузка, подключаемая к источнику питания может потреблять до 24Вт.

Определим, на какое номинальное напряжение должна быть рассчитана вторичная обмотка трансформатора TV1. Для этого определим необходимые уровни напряжения и падения напряжения на всех элементах, находящихся на пути прохождения силовой части тока, потребляемого нагрузкой.

Нагрузка подключается к выходному выводу стабилизатора DA2, падение напряжения между входным и выходным выводом микросхемы LM1085IT согласно паспортным данным составляет 1,25В. Падение напряжения на дросселе L1 при работе стабилизатора DA1 в режиме стабилизации напряжения в соответствии с рекомендациями, изложенными в документе производителя [2, 3] принимаем равным 10% от выходного напряжения стабилизатора на DA1 или же, для нашей схемы, это будет входное напряжение для стабилизатора на DA2.

Другими словами

$$U_L=0.1*(U_{\text{вых}}+1.25), \quad (1)$$

или же

$$U_L=0.1*(12+1.25)=1.325\text{В}.$$

Перед дросселем L1 находится ключевой транзистор VT1.

Будем считать, что на этапе предварительной оценки, можно принять напряжение насыщения коллектор-эмиттер силового биполярного транзисто-

ра будет не более 2В. Т.е. на данном этапе расчетов принимаем, что  $U_{кЭВТ1}=2В$ .

В соответствии с [7], падение напряжения на шунтовом резисторе R2 должно быть 0,3В. Принимаем, тогда  $U_{R2}=0.3В$ .

Прямое падение напряжения на двух последовательно включенных силовых диодах выпрямительного моста на данном этапе расчетов можно принять равным 1,5В на каждом или 3В в сумме на двух диодах, что будет с некоторым запасом больше относительно типового значения в 1.25В.

Таким образом, можем определить суммарный уровень падения напряжения на элементах силовой цепи на пути прохождения тока нагрузки, как необходимое входное напряжение выпрямителя:

$$U_{вх\ выпр} = U_{2U_{пр}VD} + U_{R2} + U_{VT1} + U_{L1} + U_{IN-OUT\ DA2} + U_{выхmax}, \quad (2)$$

Подставив зафиксированные выше значения получим:

$$U_{вх\ выпр} = 3 + 0.3 + 2 + 1.325 + 1.25 + 12 = 19,9В$$

Приняв уровень пульсаций напряжения на сглаживающем конденсаторе C1 равным 10% от напряжения  $U_{вх\ выпр}$ , можем определить величину минимально необходимого амплитудного напряжения, снимаемого со вторичной обмотки трансформатора TV1:

$$U_{W2amp1} = (U_{вх\ выпр} * 1.1) / \sqrt{2}, \quad (3)$$

Вычислив, получим 15.47В.

Примем уровень номинального напряжения, снимаемого со вторичной обмотки сетевого трансформатора равным 18В и ток, потребляемый от трансформатора примем с запасом не менее 2,5А.

Наиболее подходящей позицией, представленной на рынке, является модель низкочастотного трансформатора ТПК-50-005 [27]. Его характеристики:

- номинальное входное напряжение: 220 В,
- номинальное выходное напряжение: 18,0 В (одна обмотка),
- номинальный ток нагрузки: 2,8А;
- максимальная мощность: 48 Вт,
- напряжение холостого хода 21.3В;
- ток холостого хода: 0.045А;
- габаритные размеры: 82x70x70 мм,
- тип магнитопровода: А44;
- тип монтажа: навесной,
- номера выводов первичной обмотки: 4-4';
- номера выводов вторичной обмотки 10-10';
- климатическое исполнение: открытое.

Внешний вид выбранного трансформатора показан на рисунке 16, а его габаритные размеры на рисунке 17.

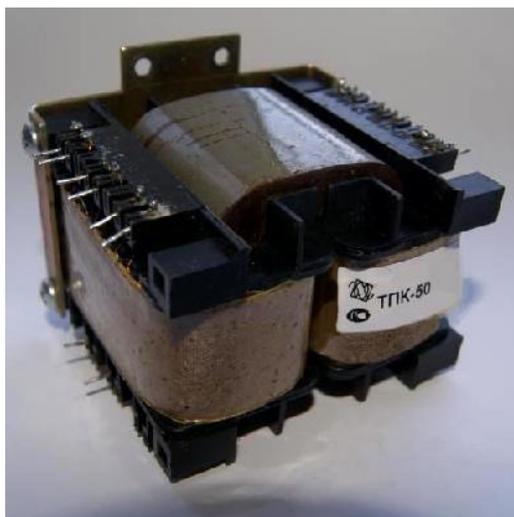


Рисунок 16 – Внешний вид трансформатора ТПК-50-005

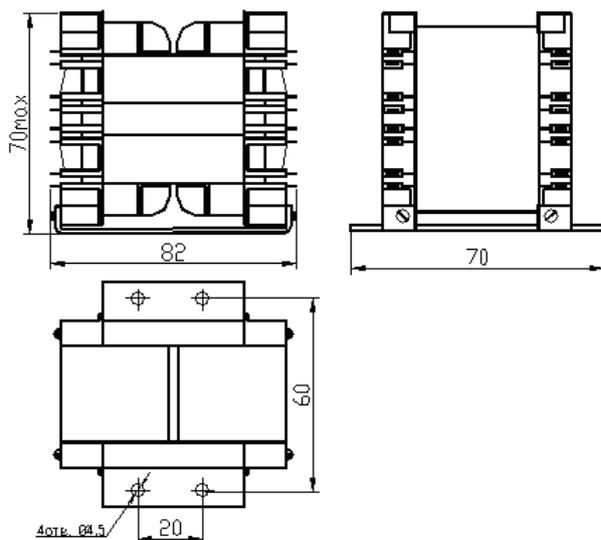


Рисунок 17 – Габаритные размеры трансформатора ТПК-50-005

Стоимость трансформатора ТПК-50-005 – 2195руб. при покупке 1 шт.

Амплитуда напряжения, снимаемого со вторичной обмотки трансформатора  $18 \cdot \sqrt{2} \text{В}$  или 25.45.

Значит, величина допустимого обратного напряжения на диодах мостового выпрямителя должна как минимум быть больше этого значения напряжения.

В качестве выпрямителя выбираем диодный мост КВРС102 (BR32) [5]. Его внешний вид показан на рисунке 18.



Рисунок 18 – Внешний вид диодного моста КВРС102 (BR32)

Геометрические и установочные размеры [4] показаны на рисунке 19.

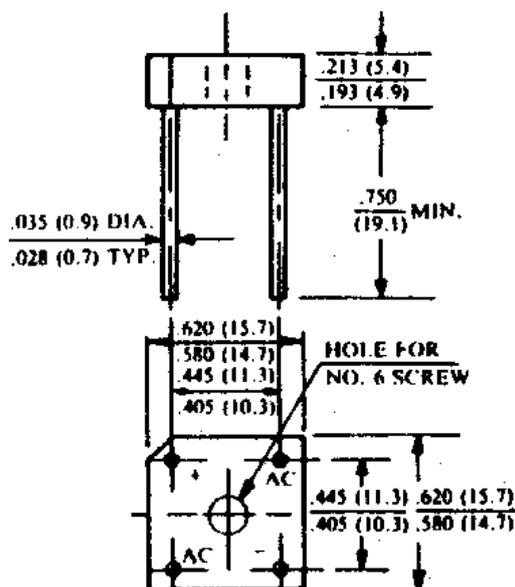


Рисунок 19 - Геометрические и установочные размеры моста KBPC102 (BR32)

На рисунке 19 размеры показаны в долях дюйма без скобок и в мм – в скобках.

Технические параметры этого моста:

- максимальное постоянное обратное напряжение: 200В;
- максимальное импульсное обратное напряжение: 200В;
- максимальный прямой (выпрямленный за полупериод) ток: 3А;
- максимальный прямой импульсный ток: 50А;
- максимальный обратный ток: 10мкА;
- максимальное прямое напряжение при прямом токе 1.5А: 1.1В;
- рабочая температура: -55...+125 °С;
- корпус : kbpc1.

Как видно из приведенных в [4] графика зависимости прямого тока от прямого падения напряжения, показанного на рисунке 20, прямое напряже-

ние при токе 2А будет равняться 1.1 В, что ниже принятого нами ориентировочного значения.

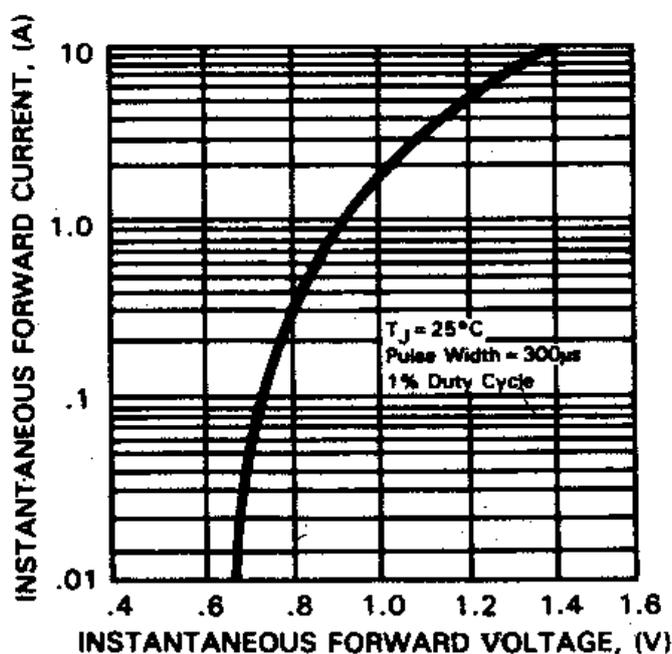


Рисунок 20 – Прямая ветвь вольт-амперной характеристики диодного моста

Стоимость выбранного диодного моста в [4] составляет 130руб. при покупке 1 шт.

Сглаживание пульсаций напряжения после выпрямительного моста произведем с помощью сглаживающего конденсатора С1. Рассчитаем его необходимую емкость на основании методики, изложенной в [19]. Для нахождения емкости предлагается следующее выражение:

$$C = \frac{1}{\left[ \arccos\left(1 - \frac{2U_{\sim}}{\sqrt{2}U_{\text{ВХ}}}\right) \right]^2 fR}, \quad (4)$$

где  $U_{\sim}$  - уровень допустимых пульсаций в напряжении на конденсаторе в В,

$U_{вх}$  – напряжение на входе двухполупериодного выпрямителя – напряжение, снимаемое со вторичной обмотки входного трансформатора,  
 $f$  – частота входного переменного питающего напряжения 50Гц,  
 $R$  – входное сопротивление нагрузки выпрямителя, по нашей схеме - линейного стабилизатора напряжения.

Значение  $R$  вычисляется как:

$$R = \eta \frac{(\sqrt{2}U_{вх} - U_{\sim})^2}{P_{нагр}}, \quad (5)$$

где  $P_{нагр}$  – мощность, потребляемая последующими каскадами или суммарной нагрузкой выпрямителя,

$\eta$  – коэффициент полезного действия, берется ориентировочное желаемое значение

$U_{вх}$  – напряжение на входе выпрямителя.

Считаем, что вся потребляемая мощность ограничивается уровнем максимального выходного напряжения источника питания и максимальным номинальным током нагрузке, взятыми из задания на ВКР, т.е. 12В и 2А или же 24Вт.

КПД примем равным 0.85.

Примем  $U_{вх}$  равным  $18 \cdot \sqrt{2}$ В или 25.45 В. Уровень пульсаций напряжения  $U_{\sim}$  примем равным 10% от этого уровня или 2,54 В.

Тогда сможем найти  $R$ :

$$R = 0,85 \frac{(\sqrt{2} \cdot 18 - 2,54)^2}{24} = 18,6 \text{ Ом.}$$

Подставив найденное значение в (4), получим:

$$C = \frac{1}{\left[ \arccos\left(1 - \frac{2 \cdot 2,54}{\sqrt{2} \cdot 18}\right) \right]^2 \cdot 50 \cdot 18,6} = 0,0026 \text{ Ф.}$$

Таким образом, расчетная емкость конденсатора должна быть не ниже 2600мкФ. Округляя в большую сторону до ближайшего значения из типового для электролитических конденсаторов ряда Еб, получаем емкость 3300 мкФ.

Максимальное расчетное значение напряжения на этом конденсаторе  $1,41 \cdot 25,45\text{В} = 36\text{В}$ . Примем номинальное значение 50В.

Из [18] выбираем модель ЕСАР (К50-35), 3300мкФ, 50В. Этот конденсатор имеет следующие параметры:

- номинальное напряжение 50В,
- номинальную емкость 3300 мкФ,
- допуск номинальной емкости 20%,
- тангенс угла диэлектрических потерь 0,1%,
- рабочая температура -40...105 °С,
- ток утечки макс. – 0.01 мкА,
- выводы/корпус – радиальный,
- проволочный, диаметр корпуса 18 мм,
- длина корпуса 35 мм.

Его стоимость 89 рублей.

Перейдем к расчету и выбору параметров элементов обвеса стабилизатора DA1.

Для расчета параметров элементов, сначала, в соответствии с рекомендациями производителя в [7, необходимо вычислить ряд вспомогательных параметров.

1. отношение  $t_{\text{on}}/t_{\text{off}}$ , где  $t_{\text{on}}$  – время включенного состояния силового ключа - транзистора VT1,  $t_{\text{off}}$  – время выключенного состояния силового ключа - транзистора VT1. Этот параметр находится из отношения

$$t_{on}/t_{off} = (V_{out}) / (V_{in(min)} + V_{sat} + V_{out}), \quad (6)$$

где  $V_{out}$  – желаемое выходное напряжение преобразователя, В

$V_{in(min)}$  – минимальное значение номинального входного напряжения,

$V_{sat}$  – напряжение насыщения внешнего ключевого прибора VT1.

Считаем  $V_{out}$  равным сумме выходного напряжения импульсного преобразователя и падению напряжения между входом и выходом линейного преобразователя DA2 и равным  $12+1,25=13,25$ В. Принимаем  $V_{in(min)}$  равным минимальному уровню напряжения на конденсаторе C1 с учетом принятого уровня пульсаций напряжения на нем будет равняться

$$V_{in(min)} = 25.45 - 2 * 2.54 = 20,37\text{В.}$$

Как видно, на этом этапе уже необходимо выбрать транзистор VT1.

Исходными данными для выбора транзистора будет максимальный ток, протекающий через него, максимальное напряжение, прикладываемое между коллектором и эмиттером в закрытом состоянии, максимальный входной ток базы как показатель нагрузки на выходной каскад микросхемы-стабилизатора DA1, а также максимальная частота коммутации транзистора, или граничная частота, на которой он может работать.

Рассмотрим эти параметры. Максимальное напряжение определяется максимальным выпрямленным напряжением, снимаемым с выпрямителя, складываемым, с потенциально возможным напряжением обратной полярности на дросселе L1. Считаем эту сумму напряжения

$$U_{KЭmax} = 25,45 + 12 = 37,45\text{В.}$$

Максимальный ток через транзистор будет равняться максимальному току нагрузки с учетом принятого нами ранее запаса будем считать эту величину около 3А.

Для обеспечения запаса по току, напряжению и повышенной термической стойкости в аварийных режимах, выберем биполярный транзистор n-p-n типа модели MJE15030 [9]. Этот транзистор имеет следующие параметры [10]:

- максимальное напряжение коллектор-база при разомкнутой цепи эмиттера: 150В;
- максимальное напряжение  $U_{КЭ}$ : 150В,
- максимальный ток коллектора: 8А;
- статический коэффициент передачи тока базы, не менее: 40;
- напряжение насыщения  $U_{КЭнас}$ : 0.5В
- граничная частота коэффициента передачи тока  $f_{гр}$ : 30МГц;
- тип корпуса: ТО-220.

Внешний вид транзистора и расположение его выводов показаны на рисунке 21.

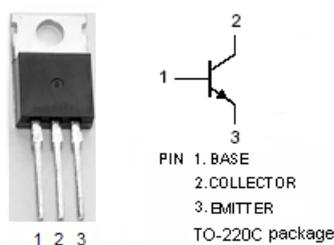


Рисунок 21 – Расположение выводов транзистора MJE15030

Стоимость транзистора MJE15030 – 170руб.

Вернувшись к определению служебных параметров для МС34063 и подставив численные значения в (3), получим:

$$t_{on}/t_{off} = (13.25) / (20.37 + 0.5 + 13.25) = 0.388.$$

Следующий служебный параметр – это сумма  $t_{on}+t_{off}$ . Он определяется как:

$$t_{on}+t_{off}=1/f, \quad (7)$$

где  $f$ - частота коммутации силового ключа VT1.

Примем частоту коммутации равной 30кГц, для того чтобы сместить ее из слышимого ухом частотного диапазона.

Тогда

$$t_{on}+t_{off}=1/30000=3.33*10^{-5}\text{сек.}$$

Длительность закрытого состояния ключа:

$$t_{off}=\frac{t_{on}+t_{off}}{\frac{t_{on}}{t_{off}}+1}, \quad (8)$$

или

$$t_{off}=\frac{3.33*10^{-5}}{0.388+1}=2.4*10^{-5}\text{с.}$$

Длительность открытого состояния ключа:

$$t_{on}=(t_{on}+t_{off})-t_{off}, \quad (9)$$

или

$$t_{on}=3.33*10^{-5}-2.4*10^{-5}=0,93*10^{-5}\text{сек.}$$

Теперь можно найти емкость времязадающего конденсатора СЗ:

$$C3=4*10^{-5}*t_{on}. \quad (10)$$

Или

$$C3=4*10^{-5}*t_{on}=4*10^{-5}*0,93*10^{-5}=3,72*10^{-10}\text{Ф} = 0,372\text{нФ.}$$

Принимаем емкость конденсатора ближайшую снизу, для того, чтобы частота коммутации не была ниже 30кГц. Максимальное напряжение на этом конденсаторе не более напряжения с выхода выпрямителя или 20 В постоянного напряжения.

Выбираем конденсатор керамический smd 330пФ NPO 50В 5% 0805, GRM2165C1H331J [28] в smd исполнении в корпусе 0805. Он имеет предельное напряжение 50В, допуск номинала 5%, рабочую температуру (-55)...+125 °С.

Цена конденсатора 8руб.

Емкость конденсатора С2 выбирается для сглаживания высокочастотных пульсаций, распространяющихся по цепям питания. Его емкость, по рекомендациями производителя стабилизатора МС34063, можно выбрать 0,1мкф, тип конденсатора – керамический.

Выбираем конденсатор 0.1 мкФ Х7R 50В 10% 0805, GRM21BR71H104K. Он имеет предельное напряжение 50В, допуск номинала 5%, рабочую температуру (-55)...+125 °С.

Цена конденсатора 13руб.

Резистор R1 должен обеспечивать открывающее транзистор VT1 падение напряжения. В соответствии с характеристиками VT1 это напряжение равняется 1В. При максимальном номинальном токе нагрузки 2А и коэффициенте передачи тока базы используемого транзистора MJE15030, равного 40, получим, что ток базы должен быть не менее

$$I_{бVT1} > 2/40 = 50\text{mA}.$$

Это означает что ток через резистор R1 можно выбирать на порядок меньше, или 5мА. Тогда сопротивление R1 можно найти как:

$$R1 = U_{бэVT1нас} / (5 * 10^{-3}) = 1 / (5 * 10^{-3}) = 200 \text{ Ом}.$$

Мощность, рассеиваемая на этом резисторе:

$$P_{R1} = I_{R1}^2 \cdot R1, \quad (11)$$

Или

$$P_{R1} = (5 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 200 = 0.005 \text{ Вт.}$$

Исходя из этих условий выбираем smd резистор RC0805FR-07200RL - 200 Ом - 1% [28].

Стоимость резистора при единичной покупке 5руб.

Для расчета величины шунтового резистора R2 необходимо вычислить величину пикового тока  $I_{pk(\text{switch})}$  протекающего через внешний ключевой элемент - VT1 в нашем случае. В соответствии с [7]

$$I_{pk(\text{switch})} = 2 \cdot I_{out(\text{max})}, \quad (11)$$

где  $I_{out(\text{max})}$  – максимальное значение выходного тока.

Для условий задания на ВКР  $I_{out(\text{max})} = 2 \text{ А}$ , тогда

$$I_{pk(\text{switch})} = 2 \cdot 2 = 4 \text{ А.}$$

По рекомендациям из [7] можно рассчитать величину R2 как:

$$R2 = 0.3 / I_{pk(\text{switch})} \cdot \quad (12)$$

$$R2 = 0.3 / 4 = 0.075 \text{ Ом.}$$

На этом резисторе при максимальном токе будет выделяться мощность

$$P_{R2}=(I_{pk(\text{switch})})^2 *R2 , \quad (13)$$

или

$$P_{R2}=(4)^2 *0.075=1.2 \text{ Вт}$$

Исходя из имеющегося в продаже ассортимента выбираем резистор SQP 5 Вт 0.15 Ом, 5% [22], который соединяем параллельно 2 шт и получаем искомое сопротивление в 0.075 Ом с возможностью рассеять суммарно 10 Вт мощности.

Диод VD5 должен обеспечивать минимальное прямое падение напряжения, пропускать через себя максимальный ток нагрузки 2 А и выдерживать обратное напряжение, равное

$$U_{VD5max}=25,45+12=37,45\text{В.}$$

Таким условиям удовлетворяет диод Шоттки. Выбираем высокочастотный диод 1N5822 [14]. Он обладает следующими параметрами [1]:

- максимальное обратное напряжение: 40 В;
- максимальный средний прямой ток: 3 А;
- пиковый прямой ток в течение 8,3 мс: 80 А;
- максимальное прямое падение напряжения при токе 3 А: 0,525 В;
- корпус: DO-201AD.

Внешний вид корпуса диода показан на рисунке 22.

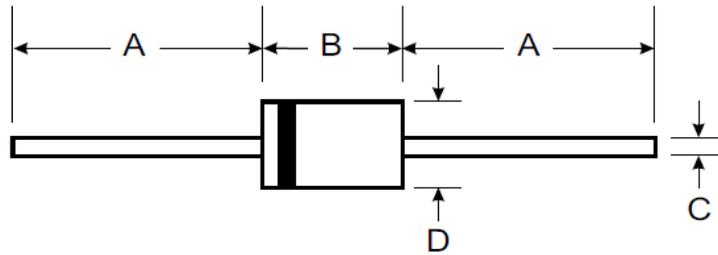


Рисунок 22 – Внешний вид и размеры диода 1N5822

Размеры элементов диода 1N5822 показаны в таблице 1.

Таблица 1 – Размеры элементов диода 1N5822

Размер	Мин, мм	Макс, мм
F	25.4	-
B	7.2	9.5
C	1.2	1.3
D	4.8	5.3

Стоимость диода 9руб. при покупке одной штуки.

Расчет индуктивности дросселя L1 производим в соответствии с рекомендациями из [7]:

$$L_{min} = \left( \frac{V_{in\ min} - V_{SAT} - V_{OUT}}{I_{pk}(switch)} \right) * t_{on\ max}, \quad (14)$$

Подставив численные значения получим:

$$L_{min} = \left( \frac{20.37 - 0.5 - 13.25}{4} \right) * 0,93 * 10^{-5} = 15.4 \text{ (мкГн)}.$$

Через этот дроссель протекает максимальный номинальный ток 2А.

Выбираем дроссель CLF10040Т-150М, (15uН 3.2А) из имеющегося ассортимента [29], имеющий корпус SMD с размерами 10\*10\*3.8 мм.

Внешний вид дросселя показан на рисунке 23.



Рисунок 23 – Внешний вид дросселя CLF10040Т-150М

Стоимость дросселя – 140 руб.

Емкость конденсатора С4 вычисляем на основании рекомендаций, приведенных в [7]

$$C4 = \frac{I_{pk}(switch) * (t_{on} + t_{off})}{8 * V_{ripple(pp)}}, \quad (15)$$

где  $V_{ripple(pp)}$  – желаемое выходное напряжение в размахе от минимального до максимального пикового (peak-to-peak).

Примем колебания напряжения в размахе 5% от номинального или 2.5% - амплитудное значение одного импульса. Это будет равняться 0,34В.

После подстановки численных значений получим:

$$C4 = \frac{4 \cdot (3.33 \cdot 10^{-5})}{8 \cdot 0.34} = 485 \cdot 10^{-6} \text{ Ф} = 486 \text{ мкФ} .$$

Принимаем из стандартного ряда доступных емкостей значение 680мкФ и выбираем конденсатор с номинальным напряжением 50В: ЕСАР 680/50V 1320 / ERF1HM681W200T [17]. Он имеет рабочий диапазон температур от -40 до +105 °С, диаметр корпуса 13 мм, а высоту корпуса 20мм.

Стоимость конденсатора 14руб.

Конденсатор С5 сглаживает высокочастотные пульсации в напряжении после импульсного стабилизатора. Выбираем его аналогичным С2. Выбираем конденсатор 0.1 мкФ Х7R 50В 10% 0805, GRM21BR71H104K. Он имеет предельное напряжение 50В, допуск номинала 5%, рабочую температуру (-55)...+125 °С.

Цена конденсатора 13руб.

Переходим к расчету и выбору параметров элементов обвязки линейного стабилизатора DA2.

Конденсатор С7 сглаживает высокочастотные пульсации в напряжении. Выбираем его аналогичным С2. Выбираем конденсатор 0.1 мкФ Х7R 50В 10% 0805, GRM21BR71H104K. Он имеет предельное напряжение 50В, допуск номинала 5%, рабочую температуру (-55)...+125 °С.

Цена конденсатора 13руб.

Диоды VD6 и VD7выполняют защитную функцию – шунтируют обратный ток и обратное напряжение, возникающие от переплюсовки с внешней стороны на выходных клеммах источника питания. Они должны обладать обратным напряжением, большим номинального выходного напряжения и максимальным средним прямым током, больше максимального номинального тока источника питания 2А.

На основании этого выбираем выпрямительные диоды 1N5401, имеющие следующие параметры:

- максимальное постоянное обратное напряжение: 100В;

- максимальный средний прямой ток: 3А;
- максимальное прямое напряжение: 1.2В;
- максимальный обратный ток: 5мкА;
- рабочая температура: -55...+150 °С;
- корпус: DO-201AD.

Цена диода 15руб.

Производителем LM1085 рекомендуются следующие номиналы для резисторов R8 и R9: для постоянно резистора R8 сопротивление 120Ом, а для переменного резистора R9 сопротивление 5кОм.

Выбираем R8 модели RC0805FR-07120RL он имеет сопротивление 120 Ом и точность 1%120 Ом, 1% .

Цена резистора 5 руб. при покупке одной штуки.

Резистор R9 выбираем 16K1-B5K [20]с креплением на передней панели корпуса устройства.

Внешний вид резистора показан на рисунке 24.



Рисунок 24 – Внешний вид переменного резистора 16K1-A5K

Параметры этого резистора:

- точность: 10%
- функциональная характеристика: линейная;
- номинальная мощность: 0,2Вт;
- максимальное рабочее напряжение; 200В;
- рабочая температура: -10...+70 °С;

- угол поворота движка: 300градусов.

Стоимость резистора 73руб.

Перейдем к расчету параметров элементов цепи обратной связи.

Как было указано, в качестве операционного усилителя выбрана микросхема OP07.

Конденсатор С6 подключается к выводу питания операционного усилителя и сглаживает высокочастотные пульсации в питающем напряжении. Принимаем в его качестве конденсатор 0.1 мкФ X7R 50В 10% 0805, GRM21BR71H104K. Он имеет предельное напряжение 50В, допуск номинала 5%, рабочую температуру (-55)...+125 °С.

Цена конденсатора 13руб.

Для усилительного каскада на основе DA3, R5, R6 принимаем коэффициент усиления равным 1,5 для того , чтобы отслеживать напряжение обратной связи на всем диапазоне выходных значений напряжения.

Примем сопротивление в цепи обратной связи операционного усилителя (резистор R5) равным 36кОм, тогда, исходя из принятого коэффициента усиления, сопротивление резистора R6 будет равняться  $36\text{кОм}/1.5=24\text{кОм}$ . Построим делитель R3 R4 с аналогичными параметрами. Примем  $R3=36\text{кОм}$ , а  $R4=24\text{кОм}$ .

Ток, протекающий через эти резисторы, равняется

$$I_{R3,4}=U_{INDA2}/(R3+R4)=14/((24+36)*10^3)=0,233 \text{ мА.}$$

Мощность рассеивания этих резисторов будет не более

$$P_{R3}= I_{R3,4}^2 *R3=(0,233*10^{-3})^2*24*10^3=0.0013\text{Вт,}$$

$$P_{R4}= I_{R3,4}^2 *R4=(0,233*10^{-3})^2*36*10^3=0.0019\text{Вт.}$$

Исходя из этого выбираем резисторы R4 и R6 RC0805JR-0724KL с сопротивлением 24кОм мощностью рассеяния 0,125Вт и типоразмера 0805. Ре-

зисторы R3 и R5 - RC0805FR-0736KL с сопротивлением 36кОм мощностью рассеяния 0,125Вт и типоразмера 0805.

Стоимость каждого резистора – 5 рублей при покупке одной штуки.

В качестве подстроечного резистора выбираем многооборотный резистор 3296W222 BARONS 2,2к\25об\3P [21]. Его внешний вид изображен на рисунке 25.

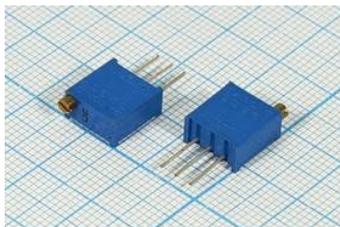


Рисунок 25 – Внешний вид подстроечного резистора 3296W222 BARONS

В качестве предохранителя FU1 выбираем предохранитель 0218/500MXP-3A на ток срабатывания 3А.

Включение и выключение источника питания будем выполнять тумблером KN3(B)-201A-A1, рассчитанным на рабочее напряжение до 250В, рабочий ток до 10А, способ монтажа – на панель, алгоритм работы: вкл-выкл..

На этом будем считать, что расчет параметров и выбор элементов схемы закончен.

Выводы.

Во втором разделе разработаны схемотехнические решения для всех узлов из структурной схемы разрабатываемого источника, составлена полная принципиальная электрическая схема. Произведен расчет параметров элементов с последующим выбором элементов исходя из актуальных рыночных предложений.

## 3 Технологический раздел

### 3.1 Технология разработки печатной платы

На настоящем уровне развития технологий, наиболее эффективным способом разработки конструкции печатного узла является использование специализированных программных продуктов. Рассмотрим создание печатной платы в программном пакете Altium Designer [24].

Первым этапом является составление схемы принципиальной в редакторе схем. Копия экрана с составленной схемой показана на рисунке 26.

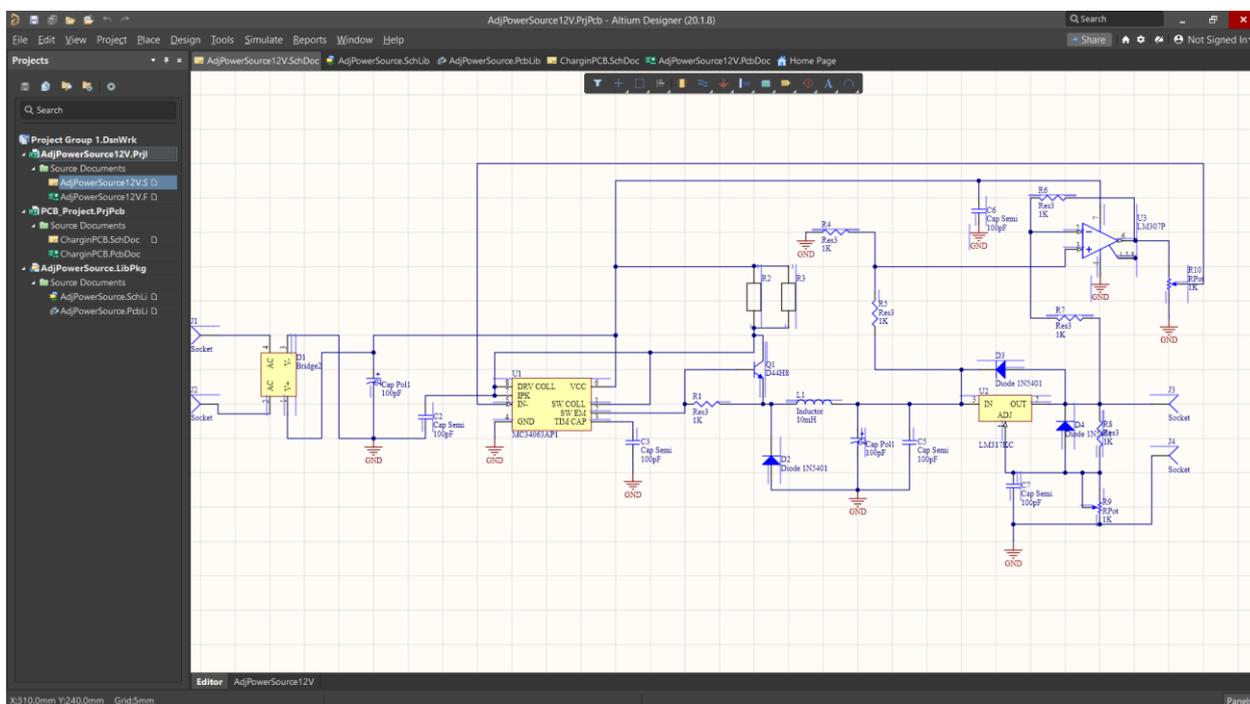


Рисунок 26 – Копия экрана Altium Designer с запущенным редактором схем

На следующем этапе происходит перенос данных проекта в редактор печатных плат, выбор конфигурации и размера печатной платы и размещение элементов на ней, как показано на рисунке 27.

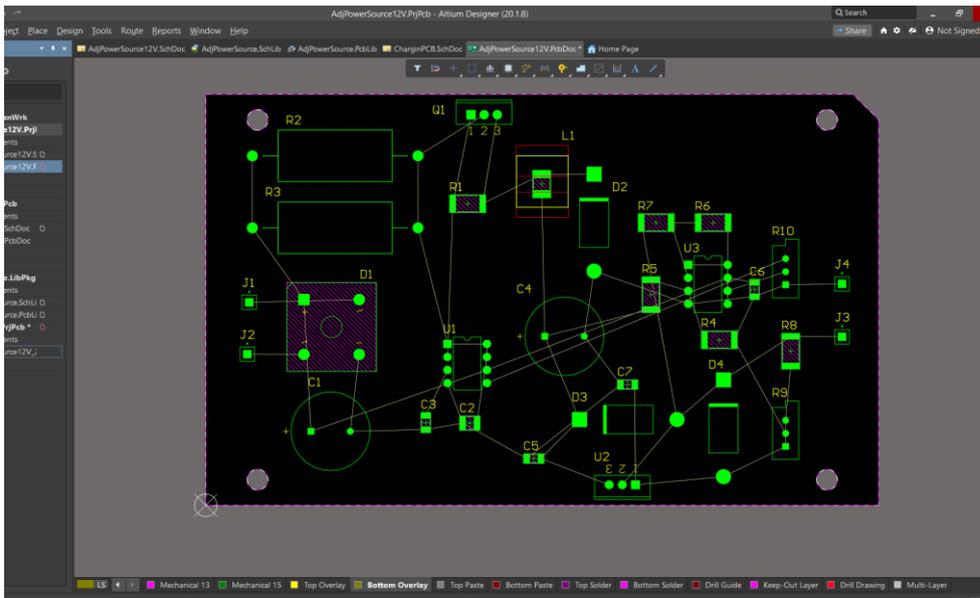


Рисунок 27 – Копия экрана Altium Designer с запущенным редактором плат

На следующем этапе задаются правила выполнения разводки печатных проводников. Необходимо задать, в общем случае, только правило выбора ширины дорожек. Окно настройки правил разводения с панелью задания правила ширины дорожек показано на рисунке 28.

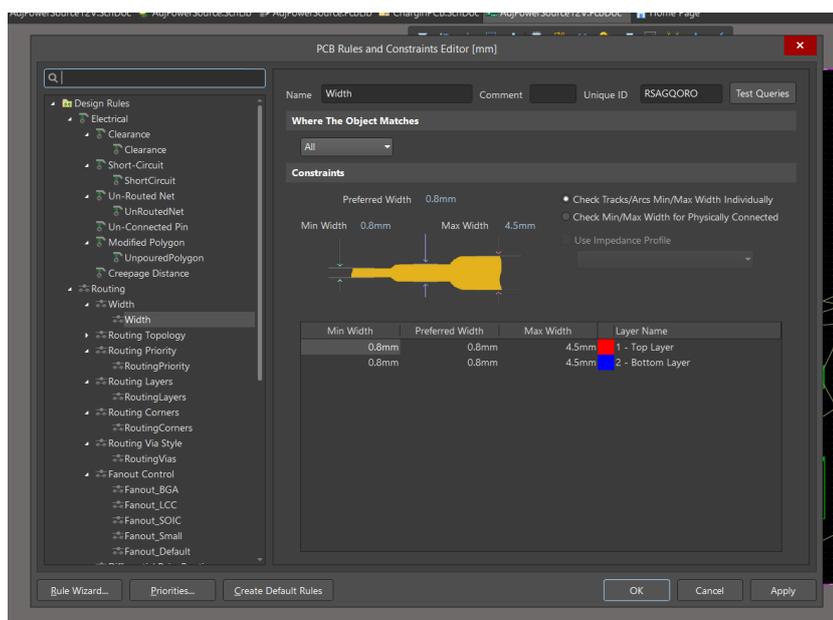


Рисунок 28 – Копия экрана с окном настройки ширины дорожек

После выполнения всех подготовительных действий можно приступить либо к интерактивной трассировке, когда разработчик самостоятельно выбирает траекторию прокладки дорожек между выводами элементов, или выбрать режим автоматической трассировки с последующим контролем результатов. Итогом разводки печатной платы станет рисунок, аналогичный показанному на рисунке 29.

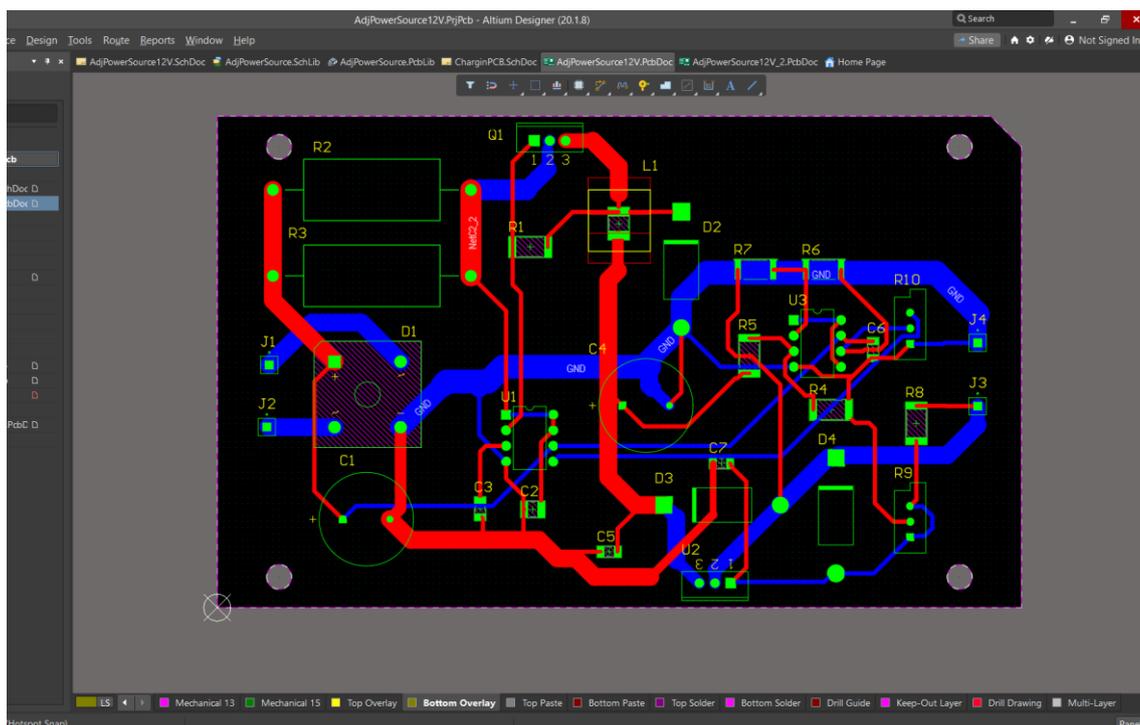


Рисунок 29 – Копия экрана с результатом разводки печатной платы

В зависимости от конечного результата работы конструктора формируются файлы для передачи на производство для сверления отверстий, травления проводников и нанесения металлизации. Либо формируются файлы для чертежных программных пакетов, в которых готовятся необходимые чертежи для всего комплекса конструкторской документации.

### 3.2 Разработка печатной платы

Перед началом разработки печатной платы определимся с тем, какие элементы, изображенные на принципиальной схеме не будут располагаться на самой печатной плате, а будут крепиться к корпусу блока питания. В первую очередь к таким элементам отнесем сетевой трансформатор TV1 и предохранитель FU1. Кроме них, будем считать, на корпусе источника питания будет располагаться переменный резистор, показанный на рисунке 15 как R19. Выходные клеммы, расположенные на корпусе блока питания, а также клеммы входного сетевого трансформатора, будут соединяться с печатной платой с помощью соединительных проводов, впаиваемых в отведенные для них отверстия с контактными площадками.

Для удобного размещения радиаторов и повышения эффективности их охлаждения будем располагать вдоль кромки печатной платы силовой транзистор VT1 и выходной линейный стабилизатор DA2.

Рассчитаем значения мощности, выделяемой как на транзисторе, так и на линейном стабилизаторе.

Транзистор VT1 является биполярным и работает в ключевом режиме. В насыщенном состоянии падение напряжения между выводами коллектор-эмиттер этого транзистора, в соответствии со справочными данными составляет 0.5В. Максимальный ток нагрузки при этом составляет 2А. Выделяемая при этом мощность равняется

$$P_{VT1} = 0.5 * 2 = 1 \text{ Вт.}$$

Определим температуру кристалла, считая что сопротивление переход – окружающая среда, по справочным данным равняется

$$R_{th\ j-a} = 62,5 \text{ } ^\circ\text{C/W.} \quad (16)$$

Температуру кристалла найдем по выражению

$$T_J = T_A + P_D R_{th\ j-a}, \quad (17)$$

где  $T_J$  – искомая температура кристалла,

$T_A$  – температура окружающей среды,

$P_D$  – мощность, выделяемая на коллекторе транзистора.

В нашем случае  $P_D$  равна  $P_{VT1}$ . Примем температуру окружающей среды с учетом нагрева в корпусе источника питания, равной  $50^\circ\text{C}$ .

Подставив численные значения, получим:

$$T_J = 50 + 1 * 65 = 115^\circ\text{C}.$$

Допустимой температурой кристалла, в соответствии с паспортными данными является  $150^\circ\text{C}$ . Таким образом, при имеющихся условиях транзистор можно эксплуатировать без радиатора, однако для создания запаса при работе в состоянии перегрузки выберем готовый радиатор РТР 9570, рассчитанный на рассеивание мощности 2Вт и показанный на рисунке 30.



Рисунок 30 - Внешний вид радиатора РТР 9570

На линейном стабилизаторе DA2 системой обратной связи поддерживается напряжение между входным и выходным выводами, равное 1,25В.

При максимальном номинальном токе 2А на стабилизаторе выделяется мощность

$$P_{DA2}=1.25*2=2.5\text{Вт.}$$

Сопротивление переход – окружающая среда , по справочным данным равняется  $R_{th\ j-a} = 22,8 \text{ }^\circ\text{C/W}$ . Температура кристалла найдем по (9), подставив соответствующие численные данные и также, как и для VT1, считая температуру окружающей среды равной  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ :

$$T_j=50+2,5*22,8=106,25 \text{ }^\circ\text{C.}$$

В соответствии с графиком зависимости максимальной рассеиваемой мощности в зависимости от температуры кристалла, из паспорта на стабилизатор, показанный на рисунке 31, находим, что максимальная рассеиваемая мощность при округленном вверх значении температуры кристалла до  $110 \text{ }^\circ\text{C}$ , равняется около 12 Вт.

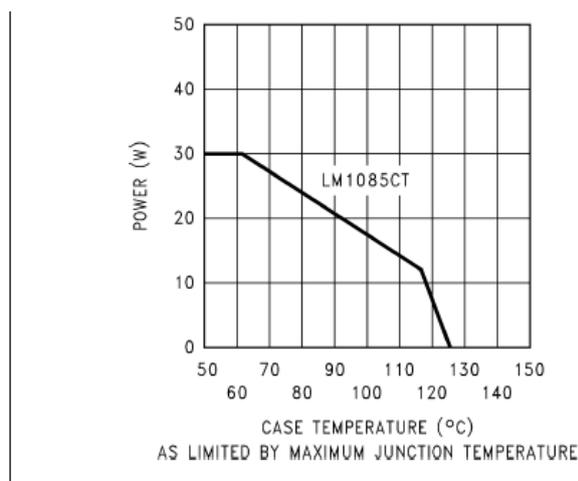


Рисунок 31 – Зависимость максимальной рассеиваемой мощности от температуры кристалла LM1085

Для повышения стабильности работы стабилизатора в граничных режимах работы используем такой же радиатор, что и для транзистора VT1: РТР 9570.

Теперь можно перейти собственно к разводке печатной платы.

Для этого первоначально вычислим ширину печатных проводников, по которым течет силовой ток от диодного моста до выходных клемм.

Максимальное значение номинальной силы тока в нашем случае равняется 2А. В соответствии с [23] для тока 2А определяем, что ширина печатного проводника при толщине фольги 35мкм должна быть не меньше 0,4мм.

С учетом допустимого тока в 15-20А/мм<sup>2</sup> закладываем запас и выбираем ширину печатных проводников на силовом контуре с током 2А равной 2.5-3 мм. Остальные дорожки проводим с шириной 0,8мм, что улучшит теплорассеивающие способности всей печатной платы.

Воспользовавшись описанной выше процедурой работы с пакетом Altium Designer, получили разводку печатной платы.

Вид сверху показан на рисунке 32.

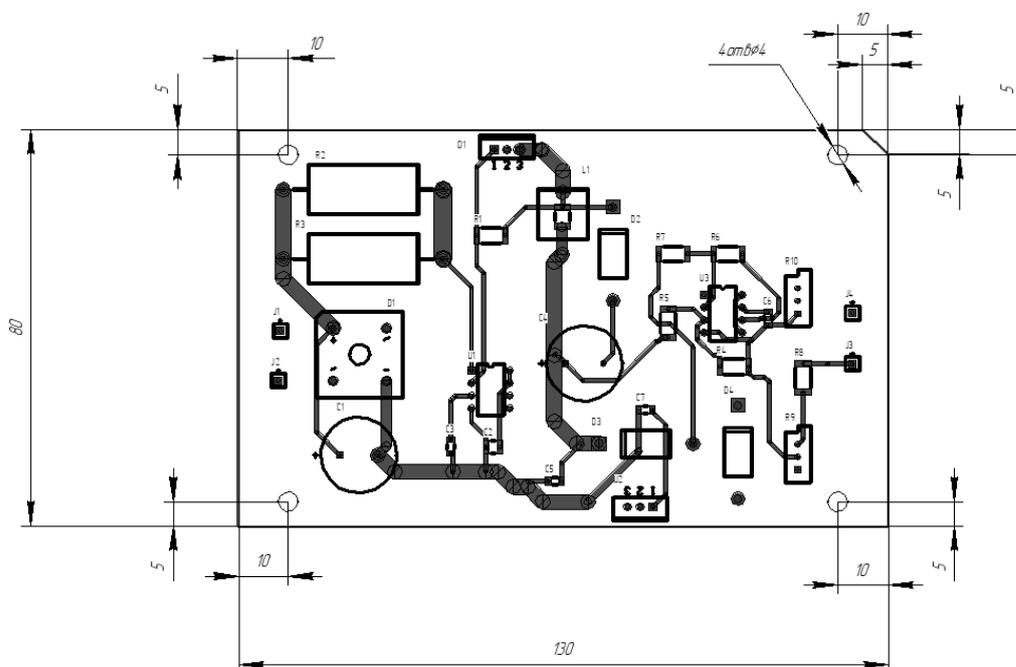


Рисунок 32 – Вид на печатную плату сверху



Изготовление печатной платы выполняется электрохимическим методом. Сначала химическим образом растворяется незащищенная медная фольга, затем сверлятся монтажные и переходные отверстия. Проводники облуживаются, а участки, с которыми не будет производиться пайка в дальнейшем покрываются защитным лаком.

#### Выводы.

В Технологическом разделе рассмотрена технология разводки печатной платы, посчитаны значения выделяющийся на силовых элементах мощности, выбраны радиаторы для них. При разработке печатной платы с помощью программного пакет Altium Designer рассчитаны необходимые ширины проводников, размещены элементы и выполнена трассировка верхней и нижней сторон печатной платы. Выполнен расчет тепловых потерь на основных силовых элементах, произведен выбор тепловых радиаторов. Выполнена разводка печатной платы на основе стеклотекстолита фольгированного двухстороннего.

## Заключение

Разработанное устройство обладает выходным напряжением, регулируемым в диапазоне от 1,25 до 12 В, что шире диапазона, обозначенного в задании, выходным током 2А, регулировкой выходного напряжения с помощью линейного переменного резистора.

В результате выполнения первого раздела выпускной квалификационной работы проведен поиск и анализ технических параметров и схемотехнических решений линейных и импульсных источников питания с возможностью регулирования выходного напряжения. Рассмотрены способы регулирования их выходного напряжения, как по первичной, так и по вторичной цепям. Сформулированы критерии для разработки схемы и конструкции источника питания регулируемого напряжения. Разработана структурная схема разрабатываемого регулируемого источника питания.

Во втором разделе разработаны схемотехнические решения для всех узлов из структурной схемы разрабатываемого источника, составлена полная принципиальная электрическая схема. Задан контур управления для регулирования выходного напряжения, отслеживающий уровень выходного напряжения и управляющий шириной импульсов в импульсном стабилизаторе. Произведен расчет параметров элементов с последующим выбором элементов исходя из актуальных рыночных предложений.

В третьем разделе рассмотрены основные этапы технологии разработки печатной платы с помощью программного пакета Altium Designer. Выполнен расчет тепловых потерь на основных силовых элементах, таких как силовой транзистор и выходной линейный регулятор напряжения. Произведен выбор тепловых радиаторов для этих элементов. Выполнена разводка печатной платы на основе стеклотекстолита фольгированного двухстороннего и односторонней расстановкой элементов.

Таким образом, задачи, поставленные в задании на выполнение ВКР выполнены полностью.

## Список используемой литературы

1. 1N5820 - 1N5822. SCHOTTKY BARRIER RECTIFIER . – SUNMATE [Электронный ресурс] URL: <https://www.vishay.com/en/product/88526/>
2. 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
3. AN954. Transformerless Power Supplies: Resistive and Capacitive/ Reston Condit. - DS00954A. - Microchip Technology Inc 2004
4. KBPC1005 THRU KBPC110. SINGLE PHASE GLASS BRIDGE RECTIFIER Voltage: 50 TO 1000V CURRENT:3.0A . - SHANGHAI CHENYI ELECTRONICS CO.,LTD. 2000
5. KBPC102 (BR32), Диодный мост [Электронный ресурс] URL: <https://www.chipdip.ru/product/kbpc102>
6. LM1085/ SNVS038H –JULY 1999–REVISED JANUARY 2015/ - Copyright © 1999–2015, Texas Instruments Incorporated [Электронный ресурс] URL: [https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm1085.pdf?ts=1687152989024&ref\\_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FLM1085%253FkeyMatch%253DLM1085%2526tisearch%253Dsearch-everything%2526usecase%253DGPN-ALT](https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm1085.pdf?ts=1687152989024&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FLM1085%253FkeyMatch%253DLM1085%2526tisearch%253Dsearch-everything%2526usecase%253DGPN-ALT)
7. MC34063A, MC33063A, SC34063A, SC33063A, NCV33063A. Publication Order Number: MC34063A/D. - August, 2010 – Rev. 23. - Semiconductor Components Industries, LLC, 2010
8. MC34063AP1G, Повышающий/ понижающий преобразователь напряжения [Электронный ресурс] URL: [https://www.chipdip.ru/product/mc34063ap1g?from=suggest\\_product](https://www.chipdip.ru/product/mc34063ap1g?from=suggest_product)
9. MJE15030, Транзистор NPN [Электронный ресурс] URL: [https://www.chipdip.ru/product/mje15030-iscsemi?from=suggest\\_product](https://www.chipdip.ru/product/mje15030-iscsemi?from=suggest_product)

10. MJE15030. isc Silicon NPN Power Transistor. // isc Product Specification. - IN-CHANGE Semiconductor
11. 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>
12. OP07CP, Прецизионный одноканальный операционный усилитель  
[Электронный ресурс] URL: <https://www.chipdip.ru/product/op07cp>
13. Андреев Ю.Н., Антонян А.И., Иванов Д.М. и др.; Под ред. Четверткова И.И. Резисторы(справочник) – М. Энергоиздат, 1981.- 352 с.
14. Диод Шоттки 1N5822 [Электронный ресурс] URL: <https://www.chipdip.ru/product/1n5822-sunmate>
15. Как сделать самодельный регулируемый блок питания – подборка схем  
[Электронный ресурс] URL: <https://acums.ru/bespereboyniki-i-bloki-pitaniya/reguliruemyi-svoimi-rukami>
16. Конденсатор керамический smd 330пФ [Электронный ресурс] URL: <https://www.chipdip.ru/product/grm2165c1h331j>
17. Конденсатор электролитический ECAP 680/50V [Электронный ресурс] URL: <https://www.chipdip.ru/product0/8007881228>
18. Конденсаторы электролитические [Электронный ресурс] URL: <https://www.chipdip.ru/catalog/aluminum-electrolytic-capacitors?x.358=XuW&x.359=aFU&ps=x3>
19. Мелешин В.И. Транзисторная преобразовательная техника. – М.: Техносфера, 2005. – 632 с.
20. Резистор переменный 16K1-B5K [Электронный ресурс] URL: <https://www.chipdip.ru/product/16k1-b5k>
21. Резистор подстроечный 3296W222 BARONS 2,2к [Электронный ресурс] URL: <https://www.chipdip.ru/product0/8008841259>
22. Резистор проволочный мощный (цементный) SQP 5 Вт 0.15 Ом [Электронный ресурс] URL: <https://www.chipdip.ru/product/sqp-5w-0.15-om-5>

23. Руководящий документ РД50-708-91 «Инструкция. Платы печатные. Требования к конструированию». Госстандарт СССР 1992г.
24. Суходольский В. Ю. Altium Designer: проектирование функциональных узлов РЭС на печатных платах — СПб.: БХВ-Петербург, 2010. — 480 с.: ил. — (Учебное пособие)
25. Схема импульсного источника питания с регулировкой тока [Электронный ресурс] URL: <https://ledsshop.ru/shema-impulsnogo-istocnika-pitania-s-regulirovkoj-toka/>
26. Схема регулируемого блока питания [Электронный ресурс] URL: [https://electric-220.ru/news/skhema\\_reguliruемого\\_bloka\\_pitanija/2018-02-27-1462](https://electric-220.ru/news/skhema_reguliruемого_bloka_pitanija/2018-02-27-1462)
27. ТПК-50-005. Однофазный трансформатор питания [Электронный ресурс] URL: <https://tw-power.ru/transformers/%D0%A2%D0%9F%D0%9A-50-005>
28. Чип резистор (SMD) 200 Ом [Электронный ресурс] URL: <https://www.chipdip.ru/product/0.125w-0805-200-om-1>
29. ЧИП-индуктивность силовая CLF10040T-150M [Электронный ресурс] URL: <https://www.chipdip.ru/product0/8288494599>