

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

Институт машиностроения

(наименования института полностью)

Кафедра «Промышленная электроника»

(наименование)

11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

(код и наименование направления подготовки / специальности)

Электроника и роботехника

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему: Сетевой блок питания постоянного напряжения

Обучающийся

В.С. Краснокутский

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

К.т.н, доцент, М.В. Позднов

(ученая степень, ученое звание, Инициалы Фамилия)

Тольятти 2024

Аннотация

Объем 49 страниц, 41 рисунков, 24 источника.

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы предложена конструкция сетевого источника питания постоянного напряжения.

Цель работы – разработать схему источника питания, отвечающего заданным параметрам выходного напряжения и качеству напряжения.

На первом этапе выполнения работы выполнен анализ вариантов технических решений и принята наиболее подходящая структура для построения источника питания на основе импульсного преобразователя постоянного напряжения. Выбраны необходимые компоненты источника питания, которые обеспечат номинальные выходные параметры работы источника питания. Проведено моделирование в программе Multisim схемы источника питания. Произведена разработка печатной платы источника питания.

Содержание

Введение.....	4
1 Постановка задачи	5
1.1 Поиск и анализ технических параметров аналогичных устройств.....	5
1.2 Критерии для разработки	12
1.3 Разработка структурной схемы.....	13
2 Конструкторское проектирование устройства.....	15
2.1 Разработка электрической принципиальной схемы	15
2.2 Выбор элементов устройства.....	23
3 Технологический раздел.....	37
3.1 Технология разработки печатной платы.....	37
3.2 Разработка печатной платы.....	40
Заключение	46
Список используемой литературы и используемых источников.....	47

Введение

В современных условиях стремительного развития технологий и увеличения потребности в надежных источниках питания для различных электронных устройств, разработка эффективных и устойчивых сетевых блоков питания приобретает особую актуальность. Сетевые блоки питания постоянного напряжения находят широкое применение в различных областях – от бытовой электроники до промышленного оборудования, что обуславливает высокие требования к их качеству, надежности и эффективности.

Целью выполнения данной выпускной квалификационной работы является разработка сетевого блока питания постоянного напряжения, удовлетворяющего современным стандартам и требованиям. В процессе работы будут рассмотрены основные теоретические аспекты, касающиеся принципов работы и конструктивных особенностей сетевых блоков питания, проанализированы существующие решения и их недостатки, а также предложена оригинальная схема, которая позволит повысить эффективность и надежность устройства.

В первой части работы будет проведен обзор литературы, посвященной основам работы сетевых блоков питания и методам их проектирования. Во второй части будет описан процесс разработки устройства, включая выбор компонентов, моделирование схемы и прототипирование. Завершающая часть работы будет посвящена экспериментальной проверке разработанного блока питания, его тестированию и анализу полученных результатов.

Таким образом, данная выпускная квалификационная работа направлена на создание инновационного решения в области сетевых блоков питания постоянного напряжения, что, несомненно, будет полезно для дальнейшего развития электроники и повышения качества работы различных электронных устройств.

1 Постановка задачи

Целью выполнения выпускной квалификационной работы является разработка сетевого блока питания постоянного напряжения со следующими техническими характеристиками:

- входное напряжение сетевое напряжение 220 В±10%, 50 Гц
- выходное напряжение постоянное напряжение 0...30 В
- выходной максимальный ток 3 А

1.1 Поиск и анализ технических параметров аналогичных устройств

Промышленностью выпускается несколько типов сетевых блоков питания постоянного напряжения. Основное различие рассматриваемых блоков питания определяется функциональным назначением и способом подключения к переменному напряжению.

Блок питания ОВЕН серии БП60 предназначен для применения в системах автоматизации и предусматривает крепление на din-рейку шкафа управления. Подключение входных и выходных цепей к блоку питания осуществляется через разъемное соединение. Общий вид блока питания ОВЕН БП60 представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 - Общий вид блока питания ОВЕН БП60

Вторым представителем блоков питания, представленных на рынке, можно выделить лабораторные блоки питания, применяемые для учебных целей и в профессиональных мастерских для тестирования оборудования. Общий вид лабораторного блока питания представлен на рисунке 2.



Рисунок 2 – Общий вид лабораторного блока питания

Лабораторные блоки питания, как правило, имеют возможность регулировки выходного напряжения и тока потребления нагрузкой, а также различные разъемные соединения для подключения нескольких видов нагрузок.

Наиболее распространённым типом блоков питания являются блоки питания, выпускаемые в виде отдельных плат. Такие блоки питания могут применяться в различных установках бытового и промышленного назначения. Внешний вид источника питания с перфорированным металлическим корпусом представлен на рисунке 3.



Рисунок 3 - Внешний вид источника питания с перфорированным металлическим корпусом

С точки зрения схемной реализации источники постоянного напряжения могут выполняться по схемам с линейным источником напряжения и импульсным источником напряжения.

Благодаря своей структуре, линейный источник питания обеспечивает следующие преобразования напряжения:

- преобразование сетевого переменного напряжения (220 В, 50 Гц) до необходимой величины напряжения переменного тока, которое обеспечит требуемое значение выходного напряжения;

- переменное напряжение со вторичной обмотки трансформатора поступает на вход неуправляемого выпрямителя, обеспечивающего получение постоянного напряжения требуемой величины;

- выпрямленное напряжение проходит через схемы фильтрации и стабилизации.

Структура линейного источника напряжения представлена на рисунке 4.

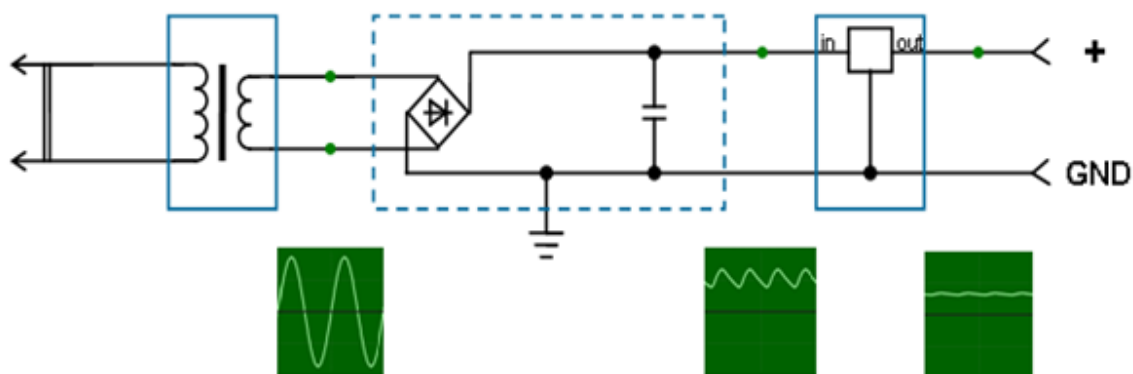
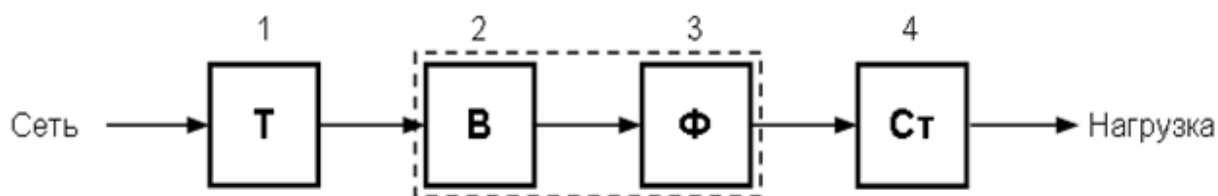


Рисунок 4 - Структура линейного источника напряжения

На рисунке 1.4 обозначены:

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

Один из вариантов реализации линейного источника питания представлена на рисунке 5.

Обеспечение требуемой величины выходного напряжения постоянного тока блока питания обеспечивается параметрами стабилитрона D1. При этом благодаря представленной схеме включения, режим работы стабилитрона обеспечивает фиксацию рабочей точки эмиттерного перехода транзистора Q1.

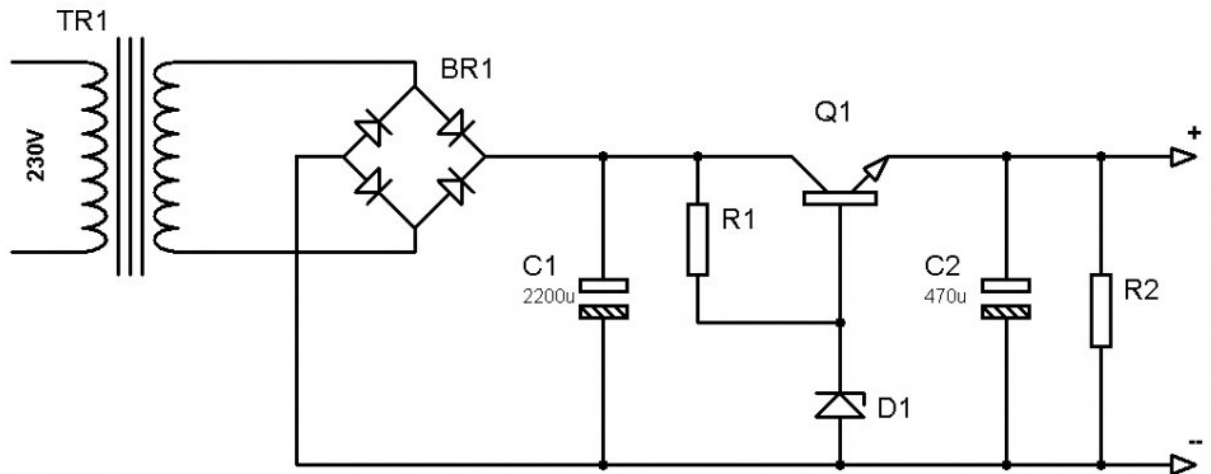


Рисунок 5 - Схема источника питания с линейным стабилизатором на транзисторе

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

- 1) Регулирование на стороне переменного напряжения.

Рассмотрим схему регулятора переменного напряжения, представленную на рисунке 6.

Регулирование величины переменного напряжения обеспечивается схемой подключения обмотки трансформатора Т1.

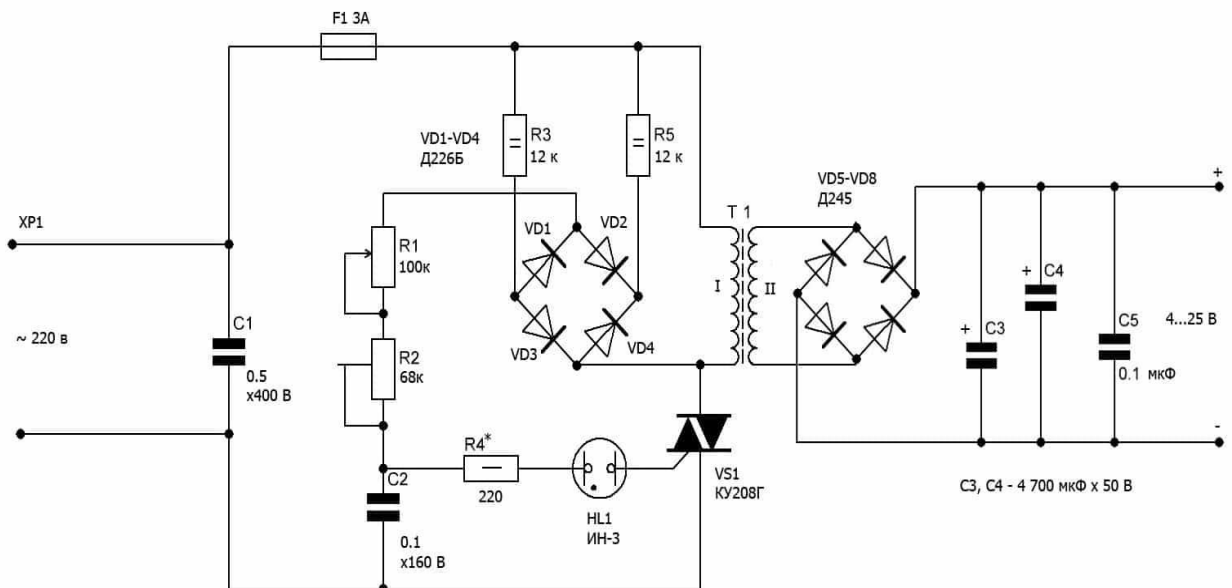


Рисунок 6 - Схема с фазоимпульсной регулировкой первичного напряжения

Длительность заряда конденсатора $C1$ регулируется за счет изменения параметров подстроечного резистора $R1$. При этом время заряда конденсатора определяет напряжение его заряда и, как следствие, момент включения в работу симистора $VS1$. Основное недостаток схемы, представленной на рисунке 6, заключается в нестабильности параметров выходного напряжения вследствие нестабильности параметров неоновой лампы, имеющейся в схеме управления.

2) Регулирование на стороне постоянного напряжения.

На рисунке 7 представлена схема, позволяющая регулировать величину напряжения постоянного тока. Подобные схемы могут быть использованы в качестве выходных схем выпрямителей.

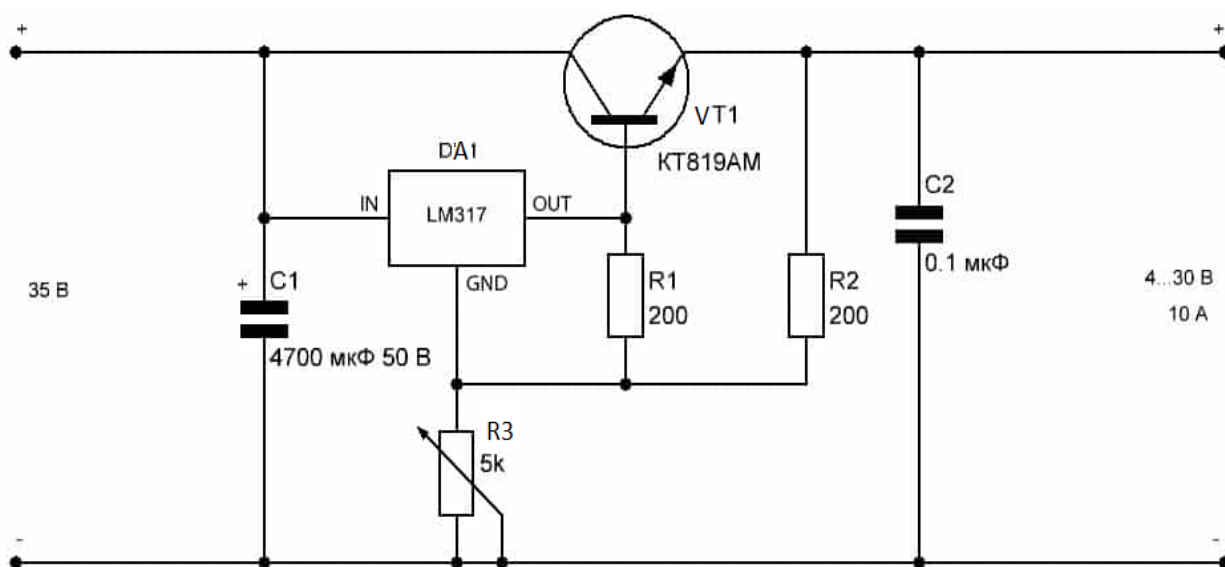


Рисунок 7 - Схема линейного стабилизатора напряжения на силовом биполярном транзисторе и линейном интегральном регуляторе

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

напряжения и резистора R1, определяющим степень открытого состояния транзистора VT1» [4].

Альтернативным решением при создании источников питания постоянного напряжения выступают источники питания, имеющие в своем составе схемы импульсных стабилизаторов. Для источников данного типа характерно изменение величины выходного напряжения постоянного тока за счет регулирования параметров импульсов управления, приходящих на первичную обмотку высокочастотного трансформатора.

Функциональная схема импульсного источника питания представлена на рисунке 8.

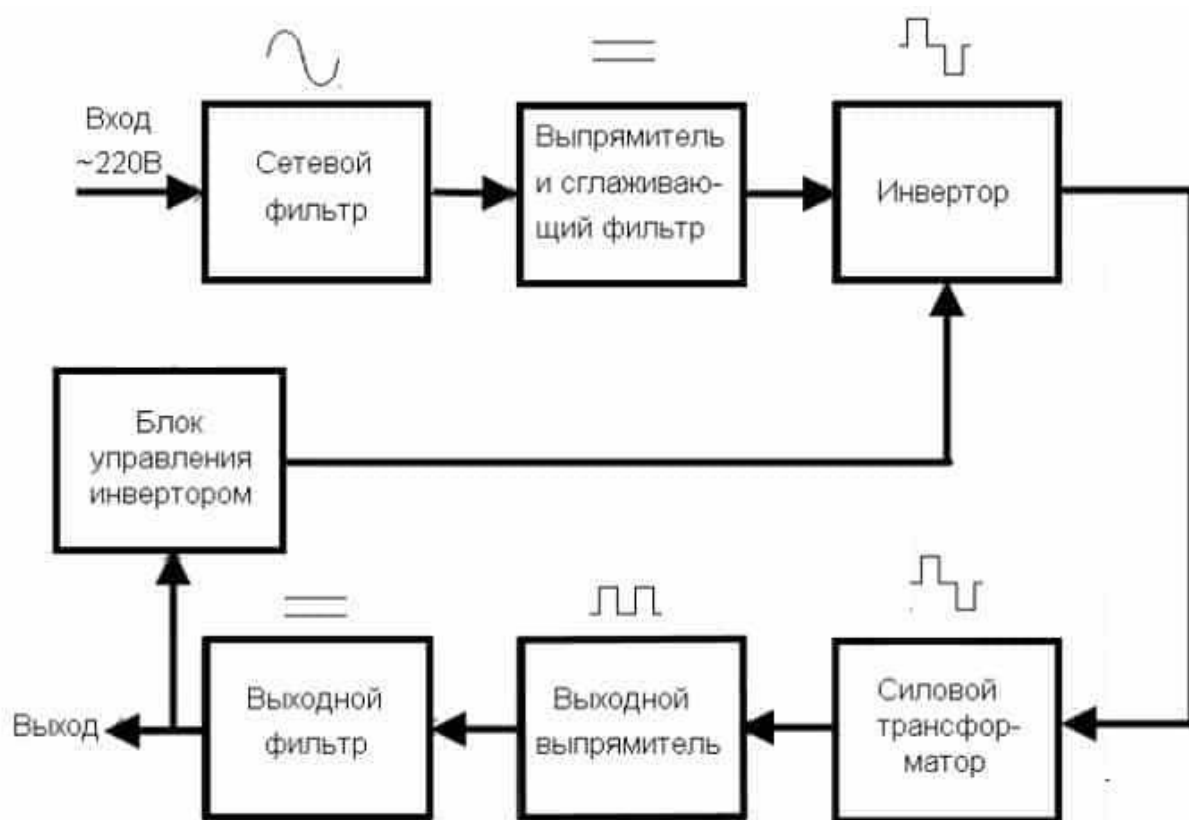


Рисунок 8 – Функциональная схема импульсного источника питания

Современные импульсные источники питания (ИИП) используют полупроводниковые устройства для переключения или прерывания тока от

источника. Хотя такой режим работы может показаться необычным, он обеспечивает значительные преимущества, которые недоступны традиционным методам. К основным преимуществам этого подхода относятся высокий коэффициент полезного действия (КПД), компактные размеры и способность функционировать в гораздо более широком диапазоне входных напряжений. Кроме того, поскольку стоимость мощных полупроводников и интегральных схем продолжает снижаться, ИИП могут быть также выгодны с экономической точки зрения.

Имеется несколько вариантов схемы, режимов работы и переключающих устройств, используемых в импульсных источниках питания. Все разнообразие методов основано на использовании полностью включенных или полностью выключенных состояний проводимости любого из используемых устройств коммутации. То есть все переключающие устройства не должны находиться в состоянии частичной проводимости. Действительно, это хорошее определение того, чем они отличаются от линейных, рассеивающих энергию, регулируемых источников.

1.2 Критерии для разработки

Определим основные критерии для разработки источника постоянного напряжения:

- регулируемая величина выходного напряжения 0...30 В;
- максимальный выходной ток 3 А;
- максимальная выходная мощность источника питания

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

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

1.3 Разработка структурной схемы

Структурная схема импульсного источника питания с регулируемым выходным напряжением представлена на рисунке 9.

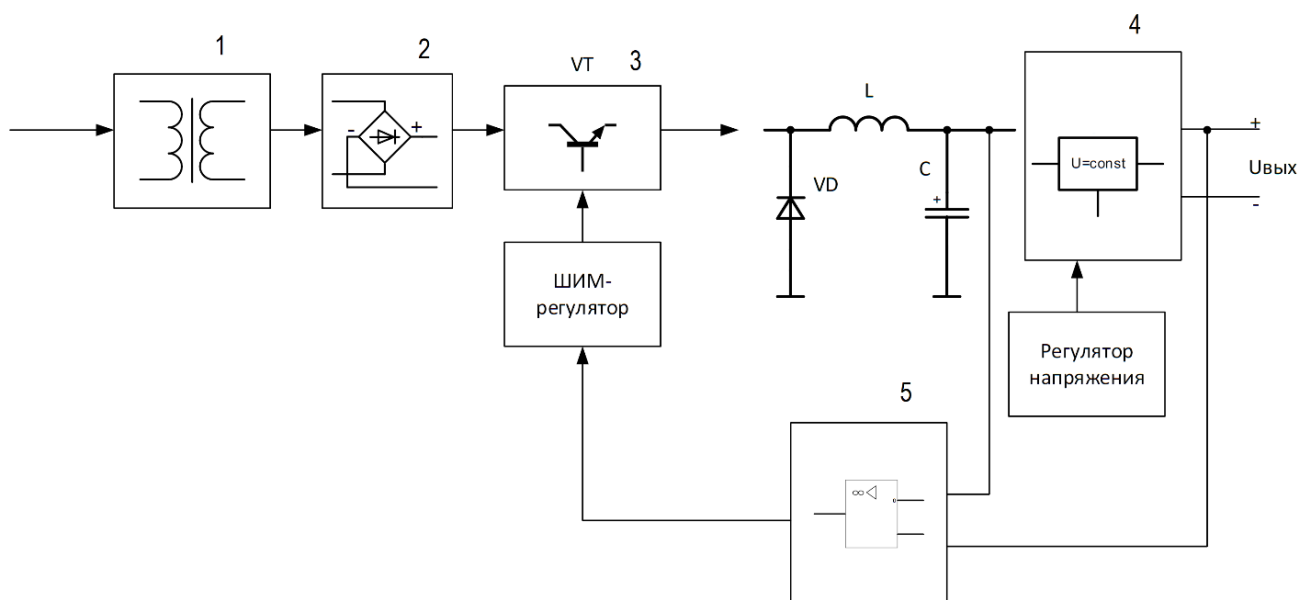


Рисунок 9 - Структурная схема импульсного источника питания с регулируемым выходным напряжением.

На рисунке 9 обозначены:

1 – однофазный трансформатор: обеспечивает снижение сетевого напряжения 220 В 50 Гц до требуемого уровня. Уровень выходного напряжения трансформатора определяется параметрами выходного напряжения сетевого источника питания постоянного тока;

2 – выпрямитель, реализованный на однофазной мостовой схеме, и обеспечивающий преобразование входного напряжения переменного тока в выходное напряжение постоянного тока;

3 – инвертор;

4 – стабилизатор напряжения, который позволяет получить стабильное значение выходного напряжения при изменении тока нагрузки;

5 – цепь обратной связи.

Для реализации импульсного преобразователя в представленной схеме источника питания применяется транзистор VT, накопитель энергии – катушка индуктивности L.

Выводы по разделу: источники постоянного напряжения стали неотъемлемой частью многих бытовых и промышленных устройств. Построение современных схем источников питания основано на использовании высокочастотных трансформаторов с использованием схем инверторов напряжения, которые позволяют значительно сократить габариты устройства и повысить эффективность преобразования сетевого переменного напряжения.

2 Конструкторское проектирование устройства

2.1 Разработка электрической принципиальной схемы

Выходными параметрами проектируемого источника постоянного напряжения являются:

- регулируемая величина постоянного напряжения в диапазоне 0...30 В;
- максимальное значение тока нагрузки 3А.

С учетом заданных параметров определим схему линейного стабилизатора, которые обеспечить требуемые параметры для подключения нагрузки. Выбираем в качестве стабилизатора микросхему LM338K/NOPB.

Параметры LM338K/NOPB:

Полярность	Положительная
Тип выхода	Регулируемый
Количество выходов	1
Выходное напряжение, В	1.2...32
Максимальный ток нагрузки, А	5
Максимальное входное напряжение, В	40
Рабочая температура, °С	0...+125
Корпус	to-220

Общий вид микросхемы стабилизатора LM338K/NOPB представлен на рисунке 10.



Рисунок 10 – Общий вид микросхемы стабилизатора LM338K/NOPB

Схема включения микросхемы стабилизатора LM338K/NOPB представлена на рисунке 11.

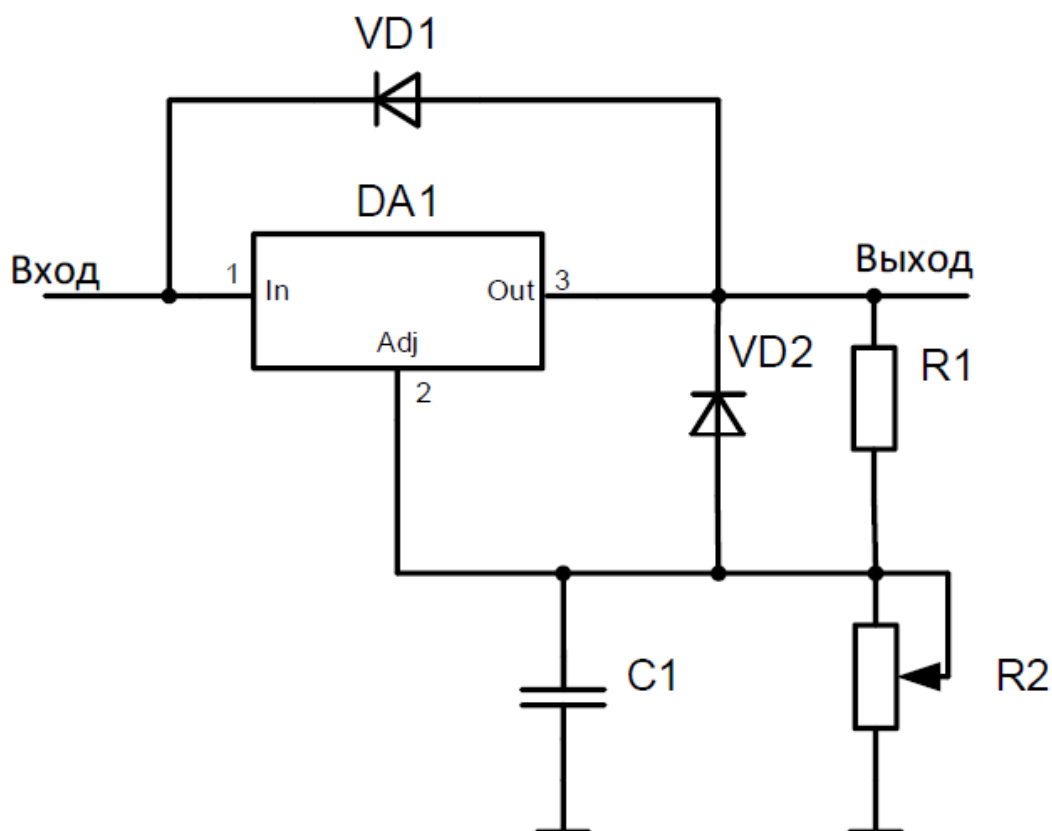


Рисунок 11 – Схема включения микросхемы стабилизатора LM338K/NOPB

Входным напряжением для рассматриваемой схемы включения микросхемы выступает выходное напряжение импульсного преобразователя. Выходная цепь подключается непосредственно к нагрузке. Защита цепей управления от протекания обратных токов обеспечивается включением диода VD1. В приведенной схеме подключения также исключена возможность случайного изменения полярности напряжения за счет включения диода VD2. Величина выходного напряжения регулируется за счет включения подстроечного резистора R2.

Входным напряжением для схемы стабилизатора напряжения выступает выходное напряжение импульсного преобразователя. При выборе

микросхемы импульсного преобразователя необходимо учитывать максимальный ток нагрузки 3 А и максимальное входное напряжение для схемы стабилизатора, равное 40 В. Выбираем в качестве импульсного преобразователя микросхему повышающе-понижающего преобразователя постоянного напряжения в постоянное LM2585S-ADJ/NOPB. Параметры микросхемы LM2585S-ADJ/NOPB [14]:

Тип выхода	Регулируемый
Количество выходов	1
Входное напряжение (Мин), В	4
Входное напряжение (Макс), В	40
Выходное напряжение (Мин/Фикс), В	1.23
Выходное напряжение (Макс), В	60
Выходной ток, А	3
Частота переключения, кГц	100
Рабочая температура, °С	-40...+125
Корпус	D2PAK-5/TO-263-5
Общий вид микросхемы LM2585S-ADJ/NOPB представлен на рисунке	

12.



Рисунок 12 – Общий вид микросхемы LM2585S-ADJ/NOPB

Структура микросхемы LM2585S-ADJ/NOPB представлена на рисунке 13.

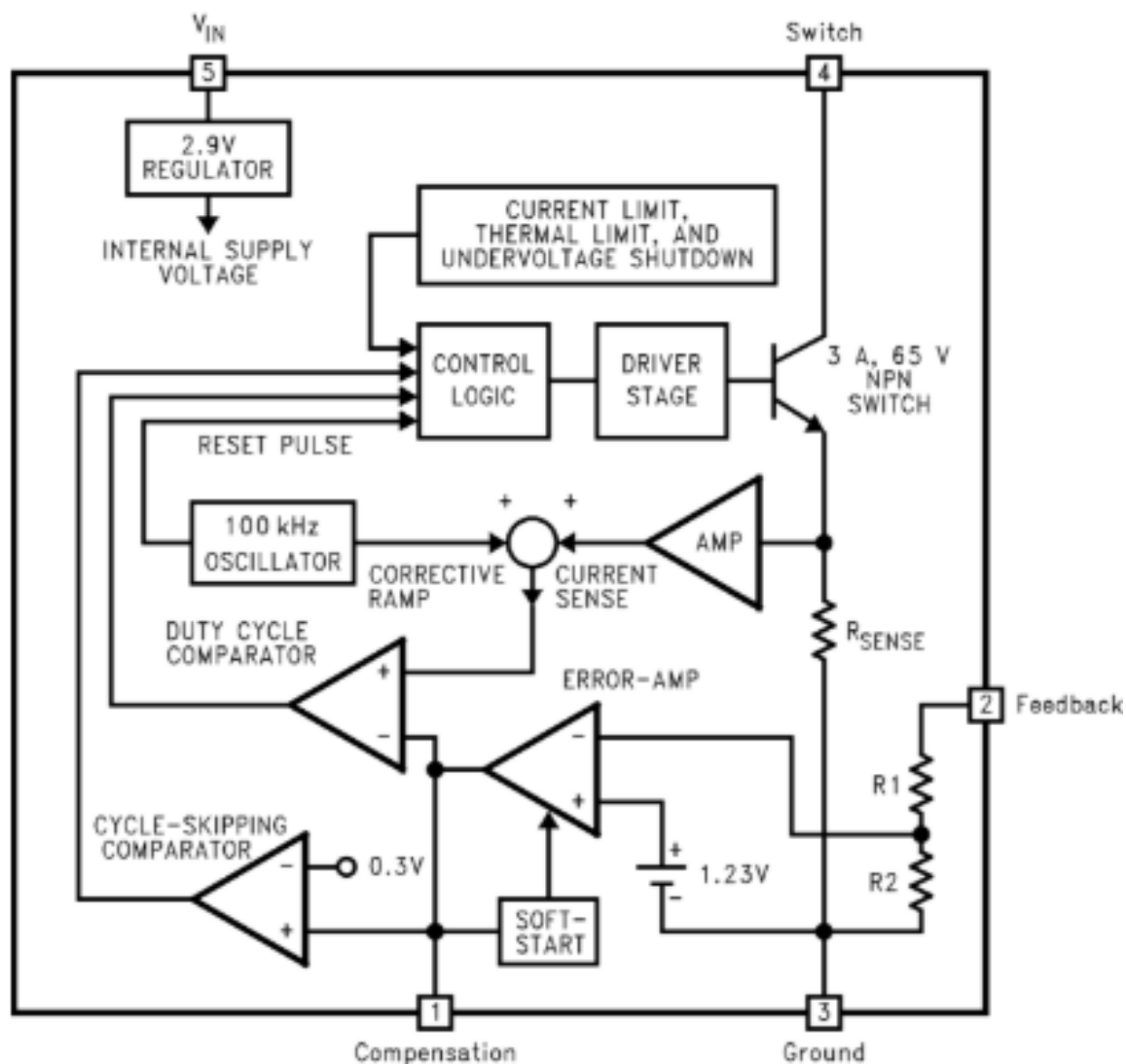


Рисунок 13 – Структура микросхемы LM2585S-ADJ/NOPB

Как видно из рисунка 13, в состав микросхемы входит система управления, а также силовой транзистор, работающий в ключевом режиме и позволяющий коммутировать ток до 3 А.

Схема включения микросхемы LM2585S-ADJ/NOPB представлена на рисунке 14.

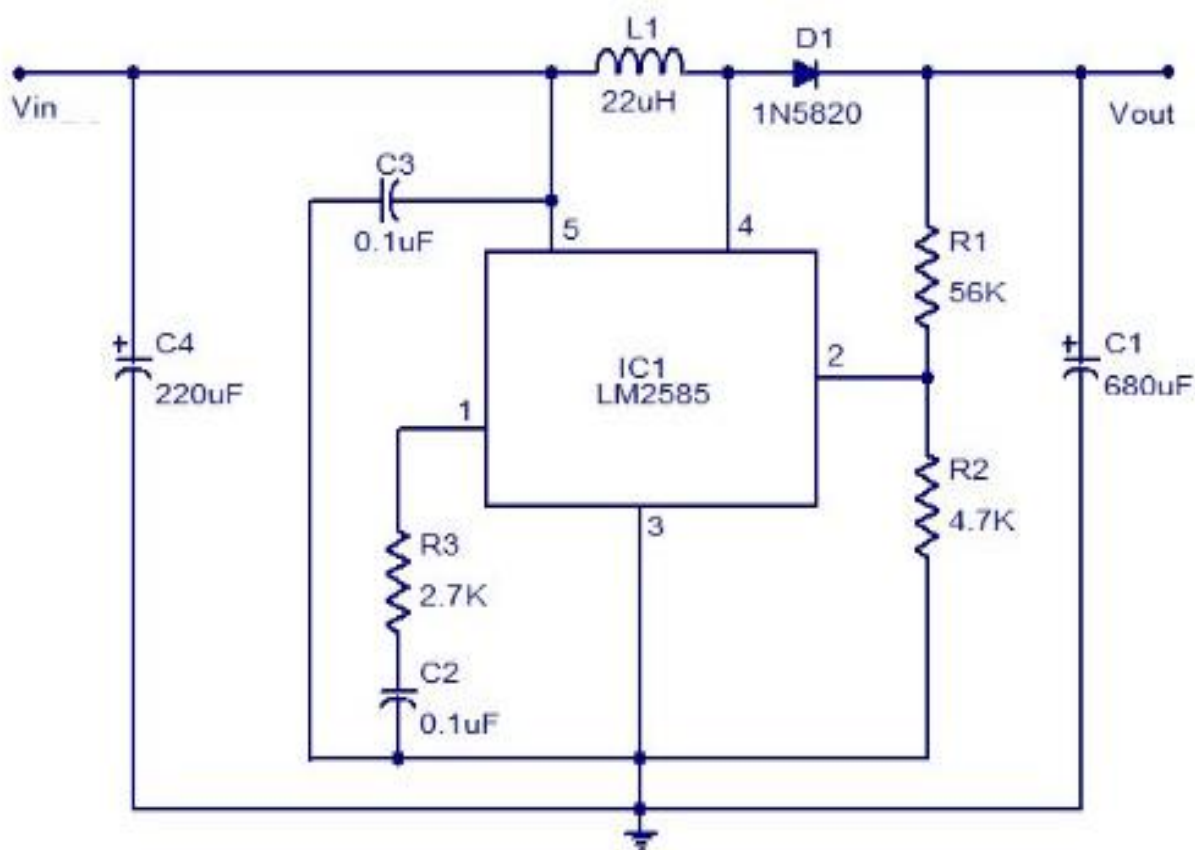


Рисунок 14 - Схема включения микросхемы LM2585S-ADJ/NOPB

В целях повышения быстродействия и точности схемы обратной связи проектируемого источника питания, будем использовать каскад усиления на основе схемы операционного усилителя. Выбираем микросхему операционного усилителя OP07CP со следующими техническими характеристиками [20]:

- | | |
|---|-----------|
| - 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 | ±3...18В |

Общий вид операционного усилителя OP07CP представлен на рисунке

15.

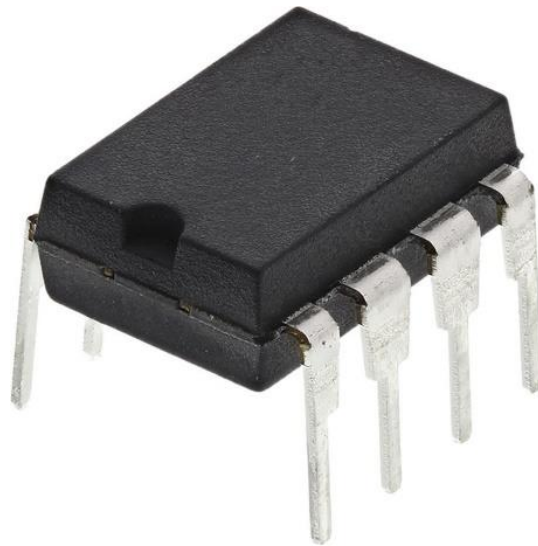


Рисунок 15 – Общий вид операционного усилителя OP07CP

Схема цепи обратной связи на операционном усилителе представлена на рисунке 16.

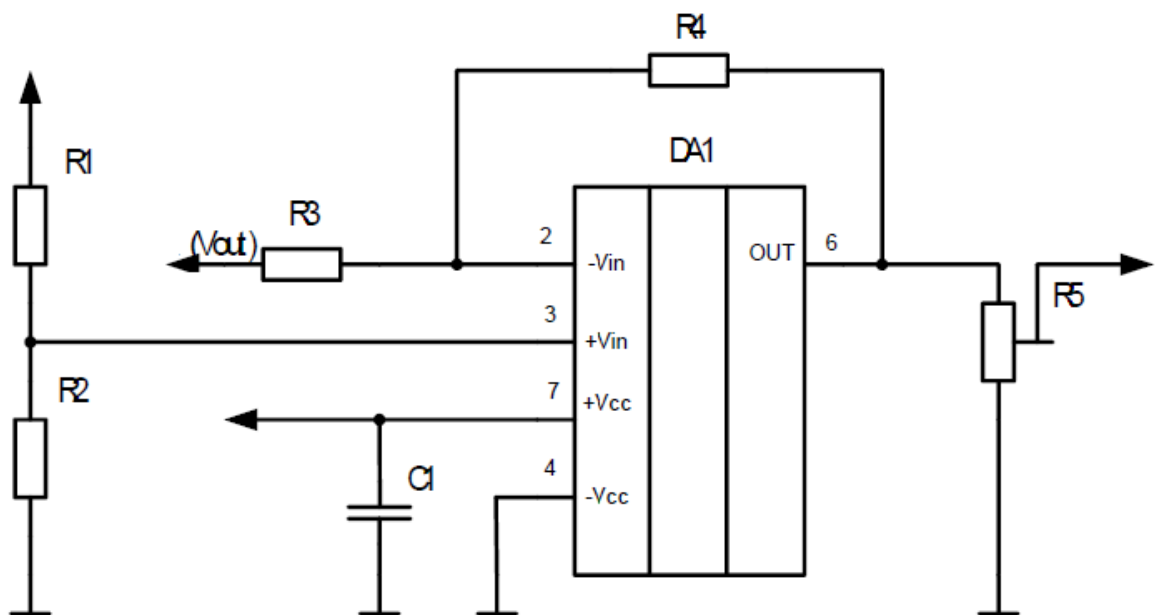


Рисунок 16 - Схема цепи обратной связи на операционном усилителе

Сетевое напряжение подается на вход схемы выпрямления напряжения. Для рассматриваемой схемы импульсного источника питания применяем две

схемы. Входное напряжение инвертора напряжения составляет 40 В. Напряжение источника постоянного напряжения для питания микросхем составляет 13 В. Схема фильтра входного напряжения представлена на рисунке 17.

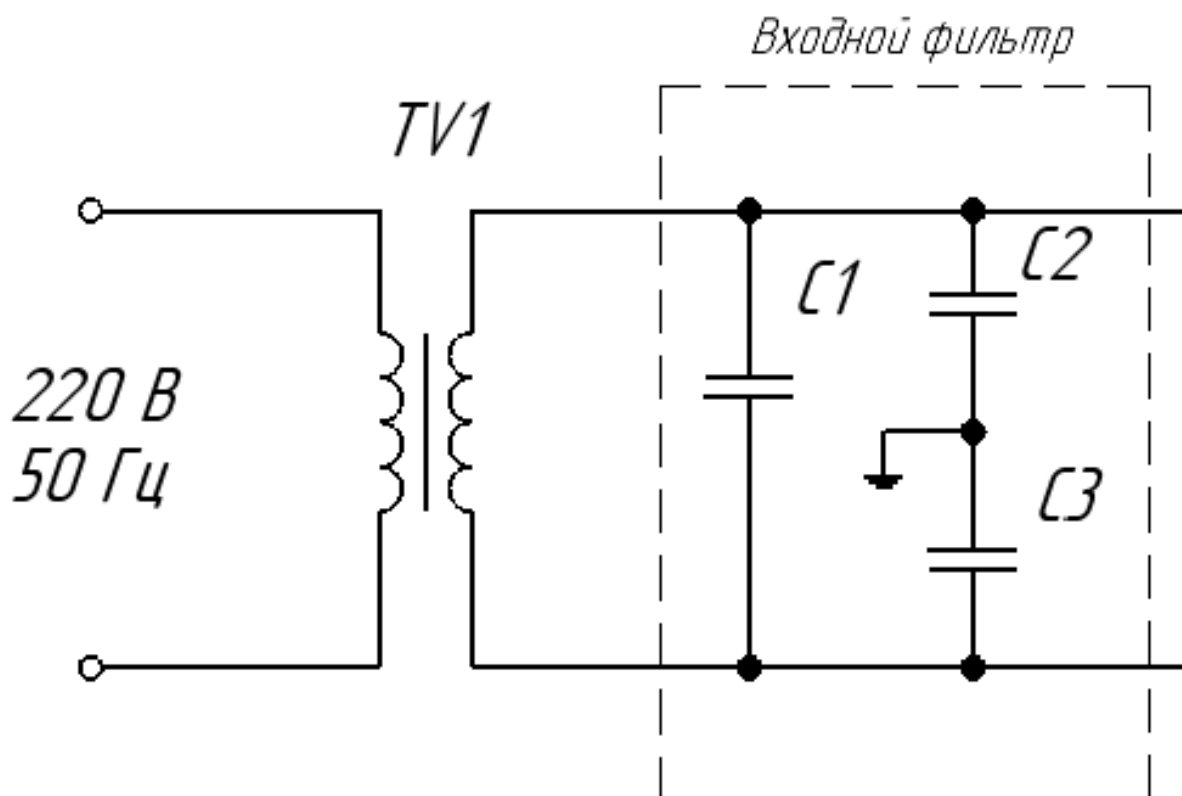


Рисунок 17 - Схема фильтра входного напряжения

Включение конденсатора $C1$ между линейным и фазным проводником позволяет обеспечить фильтрацию кондуктивной помехи. Конденсаторы $C2$ и $C3$ обеспечивают фильтрацию кондуктивной помехи несимметричного (общего) вида.

Напряжение после входного фильтра поступает на блоки высоковольтных выпрямителей (рисунок 18). На выходе первого высоковольтного выпрямителя напряжение постоянного тока является рабочим напряжением для схемы инвертора блока питания. Второй высоковольтный выпрямитель выступает в качестве источника постоянного

напряжения для питания микросхем, которые будут использованы в схеме блока питания. Для второго выпрямителя выходное напряжение равно 13 В.

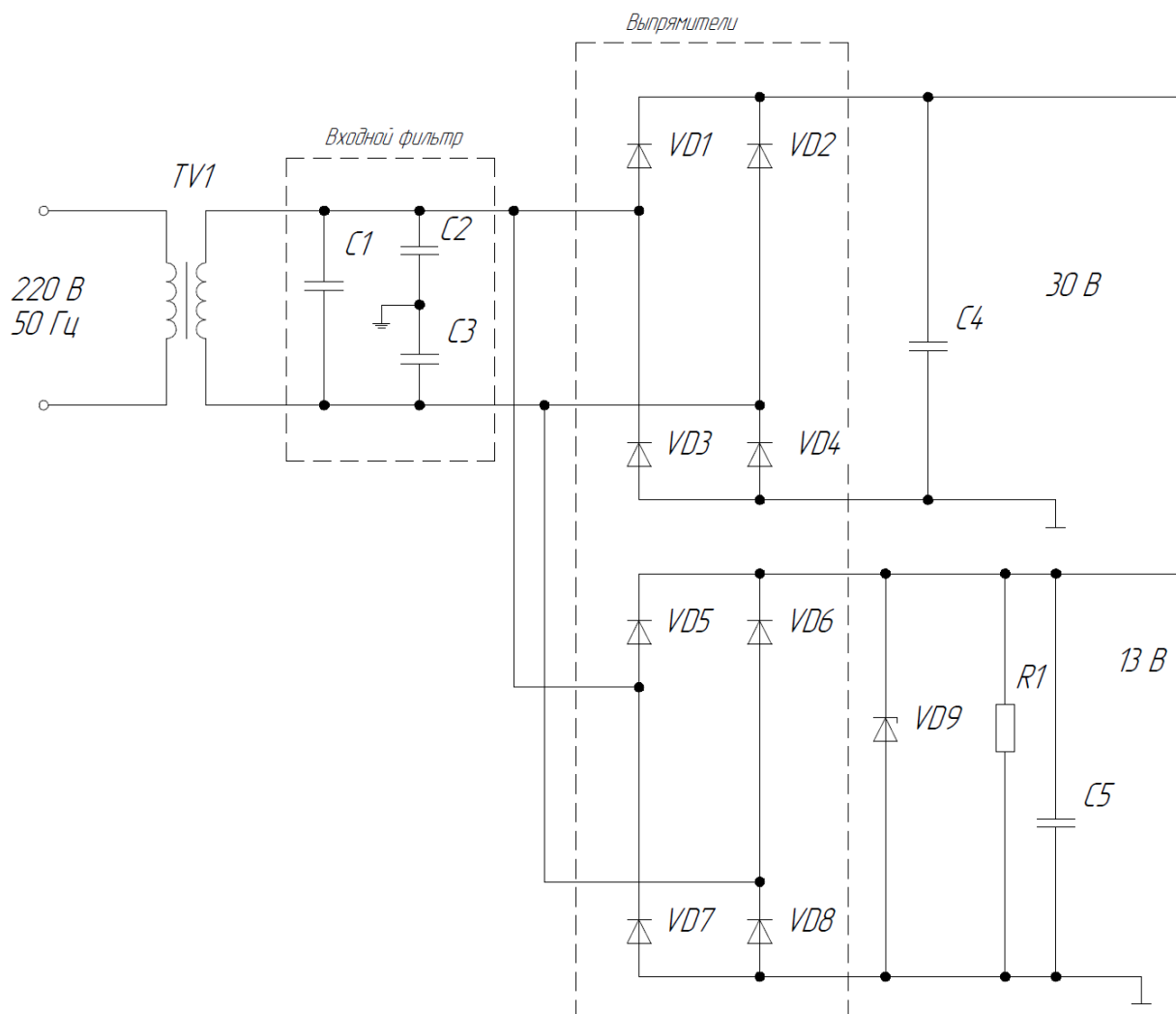


Рисунок 18 – Схема выпрямления входного напряжения

Схемы выпрямителей переменного напряжения построены по схеме неуправляемых мостовых выпрямителей. Выходное напряжение выпрямителя VD1-VD4 составляет 40 В. Выходное напряжение выпрямителя VD5-VD8 составляет 13 В. Для получения такого напряжения в схеме предусмотрено применение стабилитрона VD9 с балластным резистором R1. На выходе выпрямителей установлены конденсаторы, обеспечивающие фильтрацию выходного напряжения выпрямителей.

2.2 Выбор элементов устройства

Для выбора компонентов схемы импульсного источника питания по номинальным характеристикам источника питания произведем расчет мощности нагрузки:

$$P_H = I_H \cdot U_H,$$

$$P_H = 3 \cdot 30 = 90 \text{ Вт.}$$

Определим требуемую мощность входного трансформатора импульсного блока питания с учетом КПД блока питания $\eta=80\%$:

$$P_T = \frac{P_H}{\eta},$$

$$P_T = \frac{90}{0,80} = 112,5 \text{ Вт.}$$

С учетом выходного напряжения выпрямителя определим требуемое значение напряжения вторичной обмотки трансформатора:

$$U_2 = 1,11 \cdot U_{d1},$$

где U_{d1} – выходное напряжение выпрямителя, равное 40 В.

$$U_2 = 1,11 \cdot 40 = 44,4 \text{ В.}$$

В качестве трансформатора для импульсного блока питания применяем трансформатор тороидальный ТТП125 (рисунок 19) номинальной мощностью 125 Вт, напряжения обмоток трансформатора $U_1=220$ В, $U_2=48$ В.

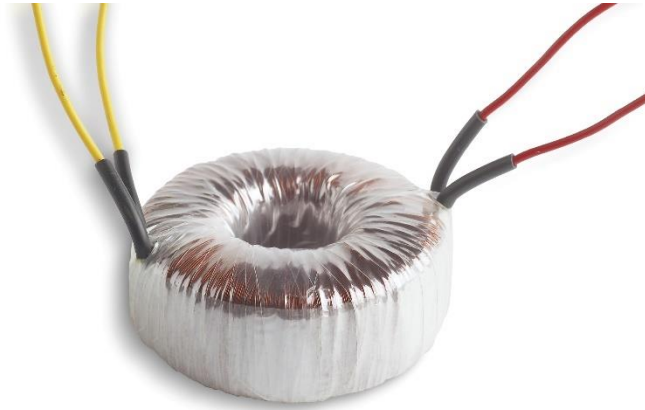


Рисунок 19 – Общий вид тороидального трансформатора ТТП125

Для расчета параметров фильтра, установленных на входе источника питания, принимаем, что величина безопасного значения тока короткого замыкания составляет 2 мА. Тогда емкость конденсаторов фильтра C_2 и C_3 определим по выражению:

$$C_2 = C_3 = \frac{I_{3max}}{4\pi \cdot f \cdot U_2},$$

$$C_2 = C_3 = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{4\pi \cdot 50 \cdot 48} = 6,6 \text{ нФ.}$$

Выбираем в качестве конденсаторов C_2 и C_3 конденсатор В32921-С3223-К:

- номинальная емкость 22 нФ;
- рабочее напряжение 50 В.

Общий вид конденсатора В32921-С3223-К представлен на рисунке 20.



Рисунок 20 – Общий вид конденсатора B32921-C3223-K

Произведем расчет емкости конденсатора C_1 , обеспечивающего защиту элементов от симметричных помех в питающей сети с учетом коэффициента затухания симметричных помех $K_{СП}=2,5$:

$$C_1 = \frac{K_{СП}}{2\pi \cdot f} \cdot 10^{-4},$$

$$C_1 = \frac{2,5}{2\pi \cdot 50} \cdot 10^{-4} = 0,8 \cdot 10^{-6} \text{ Ф.}$$

Выбираем в качестве конденсатора C_1 конденсатор МКР1G041506G00MSSD:

- номинальная емкость 1,5 мкФ;
- рабочее напряжение 250 В.

Общий вид конденсатора МКР1G041506G00MSSD представлен на рисунке 21.



Рисунок 21 – Общий вид конденсатора MKP1G041506G00MSSD

Условия выбора диодов входного выпрямителя VD1-VD4:

$$I_{\text{ПР}} \geq \frac{I_{\text{Н}}}{2},$$

$$I_{\text{ПР}} \geq \frac{3}{2} = 1,5 \text{ A.}$$

$$U_{\text{ПР}} \geq 1,57 \cdot U_{d1},$$

$$U_{\text{ПР}} \geq 1,57 \cdot 40 = 62,8 \text{ В.}$$

В качестве схемы выпрямления на диодах VD1-VD4 применяем диоды RL202-TP:

- максимальный прямой ток $I_{\text{ПР}}=2 \text{ A}$;
- максимальное обратное напряжение $U_{\text{ОБР}}=100 \text{ В}$;
- падение напряжения на диоде $\Delta U=0,9 \text{ В}$.

Общий вид диода RL202-TP представлен на рисунке 22.



Рисунок 22 – Общий вид диода RL202-TP

Условия выбора диодов VD5-VD8:

$$I_{\text{ПР}} \geq 0,5 \text{ A,}$$

$$U_{\text{ПР}} \geq 1,57 \cdot U_{d2},$$

$$U_{\text{ПР}} \geq 1,57 \cdot 13 = 20,4 \text{ В.}$$

В качестве схемы выпрямления на диодах VD5-VD8 применяем диоды 1N4001 (рисунок 23):

- максимальный прямой ток $I_{\text{ПР}}=1 \text{ A}$;
- максимальное обратное напряжение $U_{\text{ОБР}}=50 \text{ В}$;
- падение напряжения на диоде $\Delta U=1,1 \text{ В}$.



Рисунок 23 – Общий вид диода 1N4001

Конденсатор в цепи стабилизатора напряжения сглаживает высокочастотные пульсации в напряжении. Выбираем конденсатор 0.1 мкФ X7R 50В 10% 0805, GRM21BR71H104K (рисунок 24). Он имеет предельное напряжение 50 В, допуск номинала 5%, рабочую температуру (-55)...+125°C.



Рисунок 24 – Общий вид конденсатора X7R

Выбор диодов в цепи стабилизации выходного напряжения осуществляем исходя из максимальной величины выходного напряжения и максимального значения тока. В качестве выпрямительных диодов принимаем диоды 1N5401 (рисунок 25), имеющие следующие параметры:

- максимальное постоянное обратное напряжение 100 В
- максимальный средний прямой ток 3А
- максимальное прямое напряжение 1, 2В.



Рисунок 25 – Общий вид диода 1N5401

Производителем микросхемы стабилизатора рекомендуются следующие номиналы для резисторов: для постоянно резистора сопротивление 120 Ом, а для переменного резистора сопротивление 5 кОм.

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

Выбираем переменный резистор 16K1-B5K (рисунок 26) с креплением на передней панели корпуса устройства. Параметры резистора:

- номинальная мощность: 0,2Вт;
- максимальное рабочее напряжение; 200В;
- рабочая температура: -10...+70°C.



Рисунок 26 – Общий вид переменного резистора 16K1-B5K

Произведем выбор элементов для цепи обратной связи. Принимаем конденсатор 0,1 мкФ X7R GRM21BR71H104K с рабочим напряжением 50 В.

Параметры работы усилительного каскада будут определять допустимый диапазон регулирования величины напряжения. Рассчитаем параметры делителя напряжения в выходном каскаде при принятом значении коэффициента усиления $K_y=1,5$:

$$R = \frac{3,6}{1,5} = 2,4 \text{ кОм.}$$

В качестве резисторов делителя напряжения принимаем резистор RC0805JR-0724KL с сопротивлением 2,4 кОм и резисторы RC0805FR-0736KL с сопротивлением 3,6 кОм. В качестве подстроечного резистора выбираем многооборотный резистор 3296W222 BARONS 2,2к.

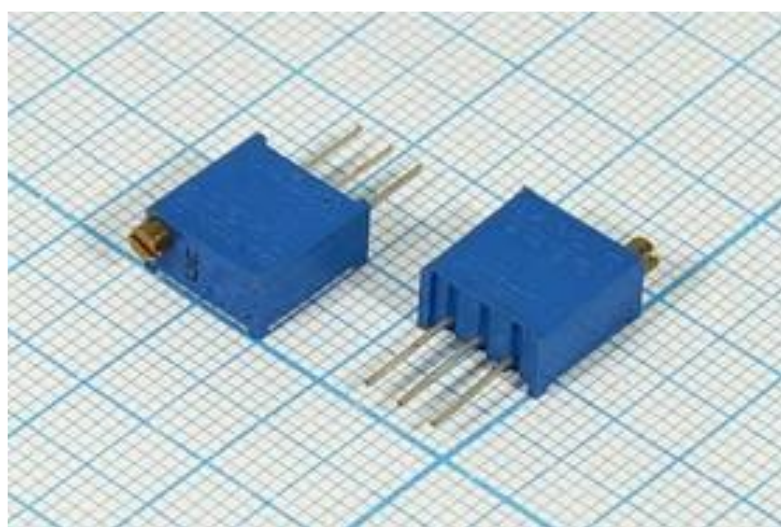


Рисунок 27 – Общий вид резистора 3296W222 BARONS

Для подключения микросхемы LM2585S (рисунок 14) используем следующие элементы:

- резистор R1 - RC0805JR-07560KL с сопротивлением 56 кОм;
- резистор R2 - RC0805JR-0747KL с сопротивлением 4,7 кОм;

- резистор R3 - RC0805JR-0727KL с сопротивлением 27 кОм;
- конденсатор C1 - X7R 50V 10% 0805 680 мкФ;
- конденсатор C2 - X7R 50V 10% 0805 0,1 мкФ;
- конденсатор C3 - X7R 50V 10% 0805 0,1 мкФ;
- конденсатор C4 - X7R 50V 10% 0805 220 мкФ;
- дроссель L1 - CM453232-221KL 22 мкГн;
- диод D1 – 1N5820

2.3 Моделирование работы элементов схемы в среде имитационного моделирования

Для моделирования работы источника постоянного напряжения соберем последовательно схему источника в программе Multisim. На рисунке 28 представлена схема выходного стабилизатора напряжения.

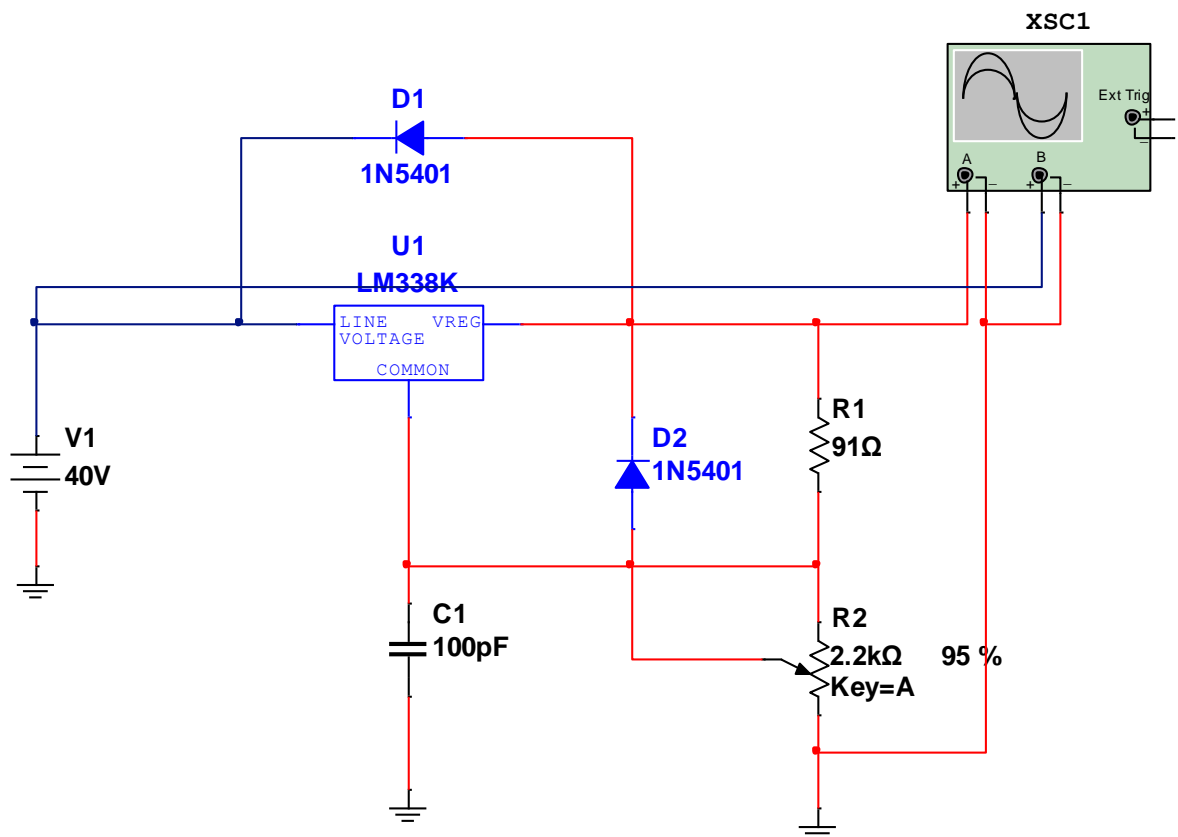


Рисунок 28 – Схема выходного стабилизатора напряжения

Получим осциллограммы выходного напряжения.

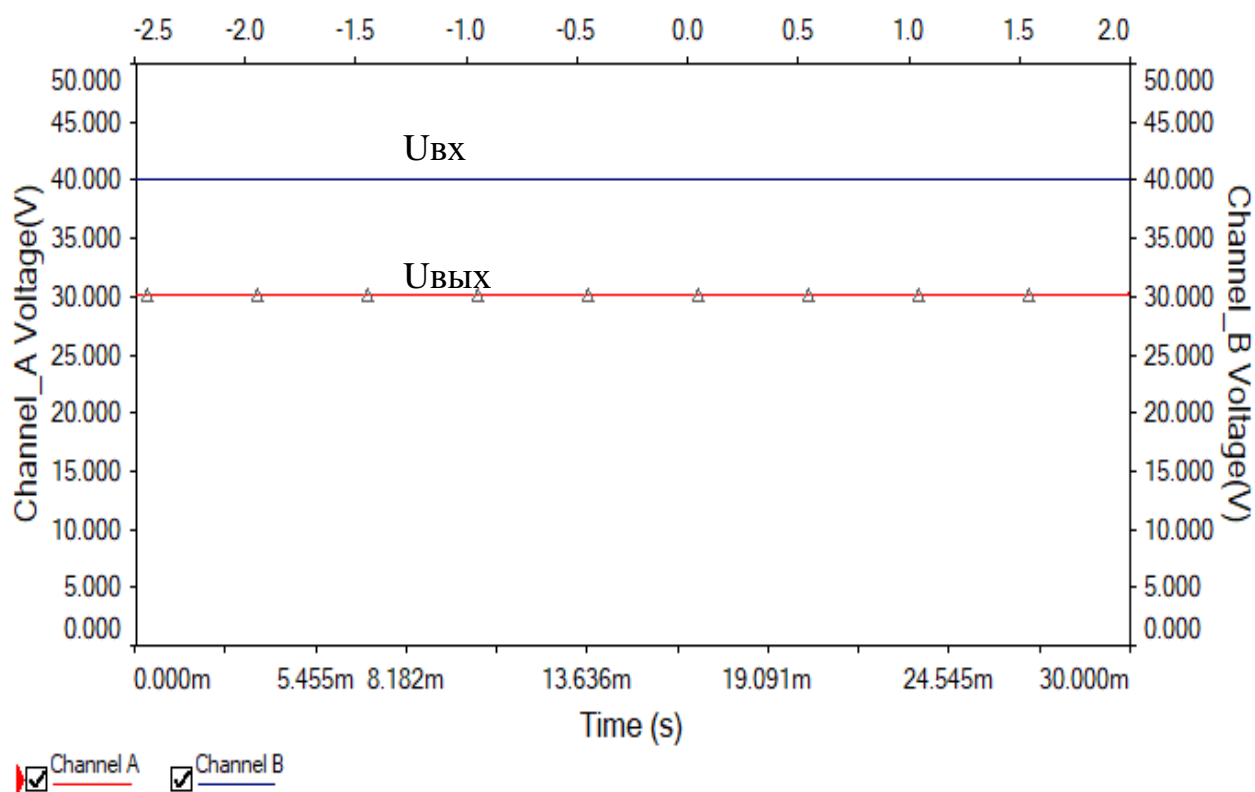


Рисунок 29 – Осциллограммы выходного напряжения источника

Выходное напряжение стабилизатора (рис.29) равно 30 В, что соответствует заданию на проектирование источника питания.

Соберем схему входного источника и выпрямителя. В состав схемы выпрямителя входят:

- сетевой трансформатор;
- входной фильтр, построенный на конденсаторах C1, C2 и C3;
- выпрямительный диодный мост;
- диодный мост для получения напряжения питания микросхем;
- конденсаторы фильтров выпрямителя.

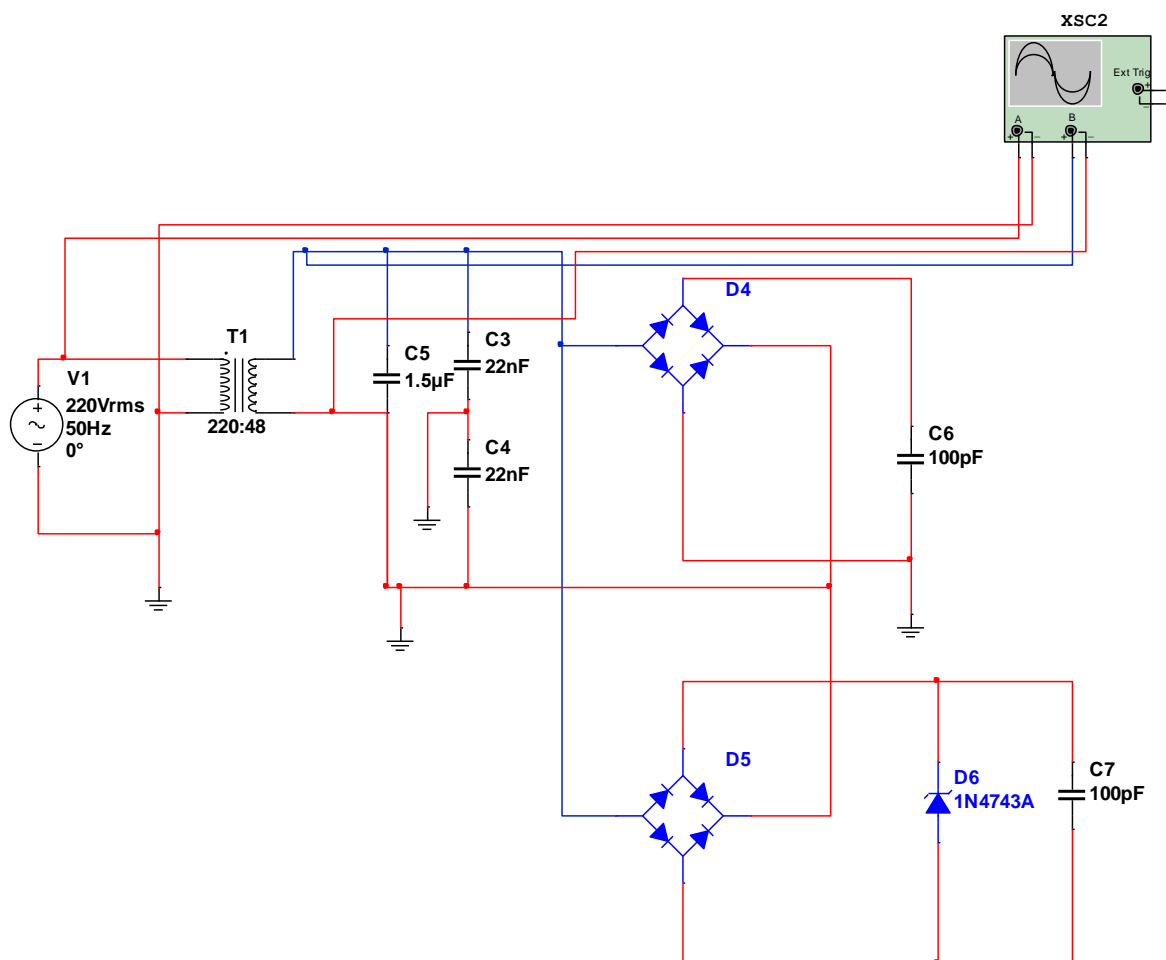


Рисунок 30 – Схема входного источника и выпрямителя

Для оценки параметров работы выпрямителя получим следующие осциллограммы (рис. 30-33)

- напряжения первичной и вторичной обмотки трансформатора (рисунок 30);
- осциллограммы вторичного напряжения и выходного напряжения выпрямителя (рисунок 31);
- осциллограммы вторичного напряжения и выходного напряжения выпрямителя, питающего микросхемы источника питания (рисунок 32).

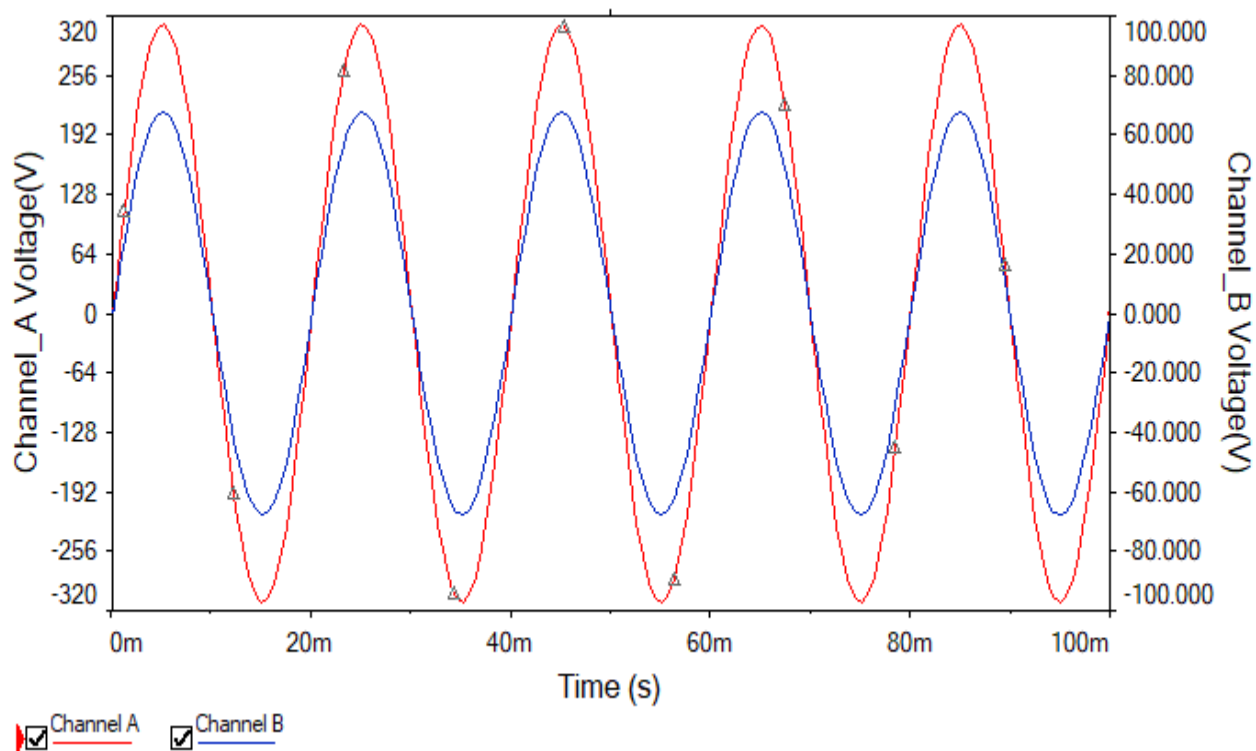


Рисунок 31 – Осциллограммы напряжения первичной и вторичной обмотки трансформатора

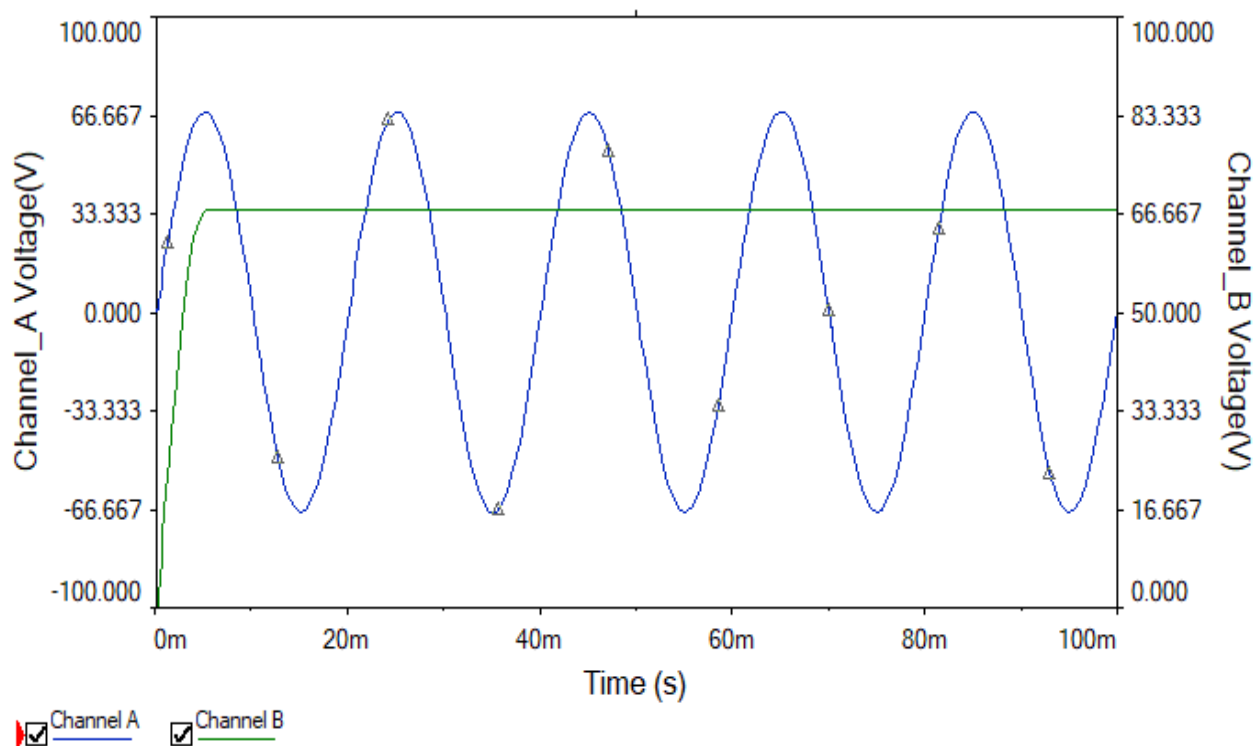


Рисунок 32 – Осциллограммы вторичного напряжения и выходного напряжения выпрямителя

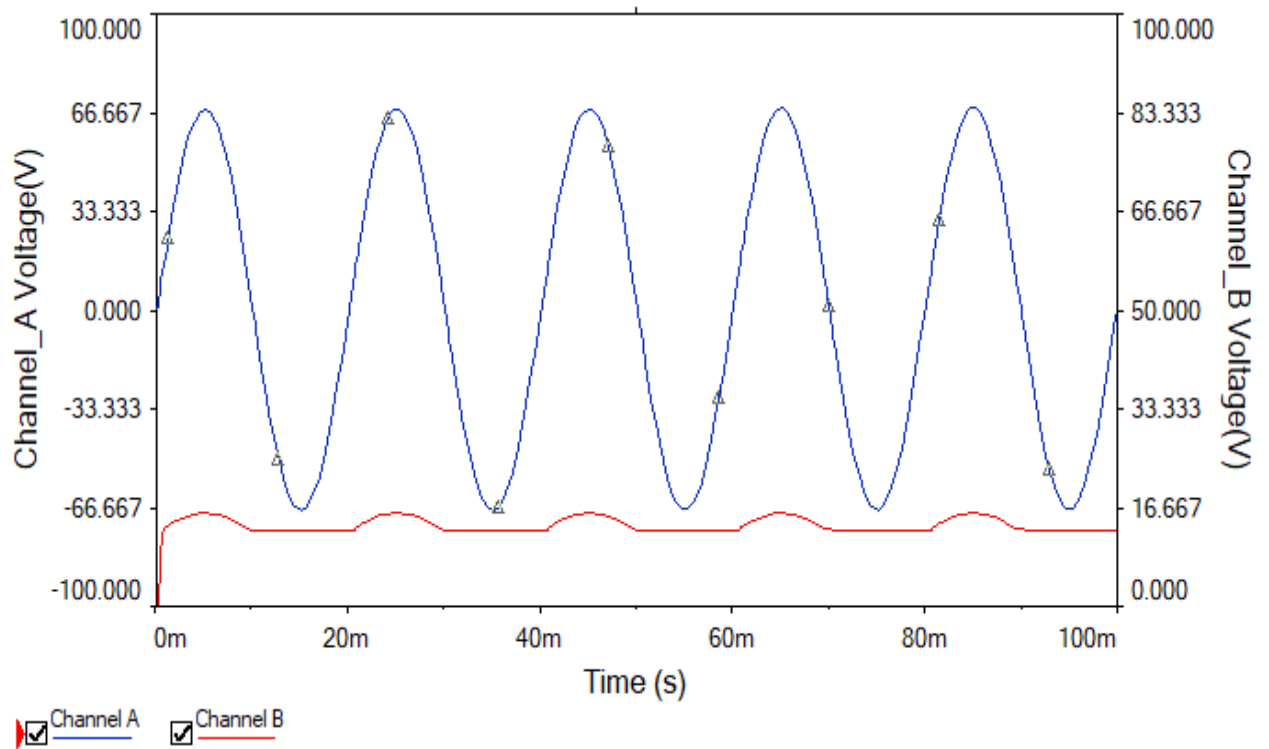


Рисунок 33 – Осциллограммы вторичного напряжения и выходного напряжения выпрямителя, питающего микросхемы источника питания

Соберем схему источника питания (рис.34)

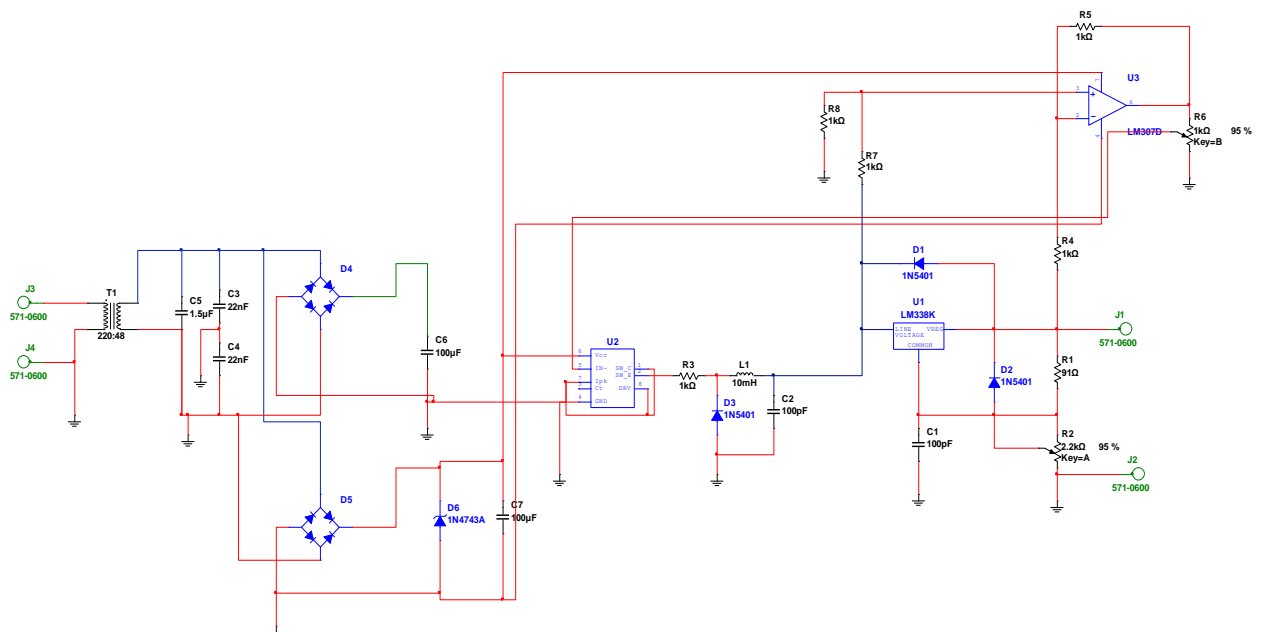


Рисунок 34 – Схема источника питания.

При анализе результатов моделирования схемы источника питания выходное напряжение при регулировке резистора R2 изменяется в пределах 0...30 В. Полученные результаты моделирования работы источника постоянного напряжения свидетельствуют о том, что разработанная схема устройства отвечает требованиям на проектирование источника питания постоянного напряжения.

Выводы по разделу: с учетом принятой структуры построения схемы источника питания постоянного напряжения произвели расчет, а затем и выбор элементов устройства. По выбранным элементам произвели построение схемы для исследования в программе Multisim, в которой были получены осциллограммы для проведения анализа работы устройства.

3 Технологический раздел

3.1 Технология разработки печатной платы

Первая концепция печатной платы была изобретена в начале 20-го века немецким изобретателем Альбертом Хансоном, который подал патент на плоский проводник для многослойной изолирующей платы, но мир технологий не был готов приветствовать этот новый электрический компонент [16, 17].

Крах фондового рынка в 1929 году и Великая депрессия вызвали еще одну задержку, в результате чего печатная плата не производилась и не использовалась регулярно до 1943 года, когда армия США использовала ее для изготовления бесконтактных предохранителей во время Второй мировой войны.

В то же время Пол Эйслер, австрийский изобретатель из Англии, вывел идею печатной платы на другой уровень — медную фольгу, помещенную на непроводящее стеклянное основание, более похожее на современные печатные платы.

Размещение элементов на печатной плате при выводном монтаже элементов показано на рисунке 35.

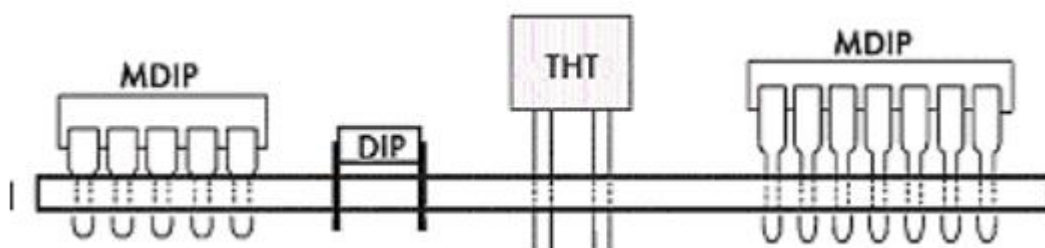


Рисунок 35 – Размещение элементов на печатной плате при выводном монтаже элементов

В 1948 году, после войны, первые печатные платы стали выпускаться для коммерческого использования. Однако только в 50-х годах армия США

разработала процесс автоматической сборки, который привел к массовому производству и обеспечил более широкое использование печатных плат среди потребителей электроники.

Десять лет спустя Hazeltine Corporation подала патент на первую технологию сквозных отверстий, которая позволила размещать компоненты печатной платы без перекрестных соединений гораздо более надежным способом. В то же время технология поверхностного монтажа была разработана компанией IBM.

Размещение элементов на печатной плате при поверхностном монтаже элементов показано на рисунке 36.

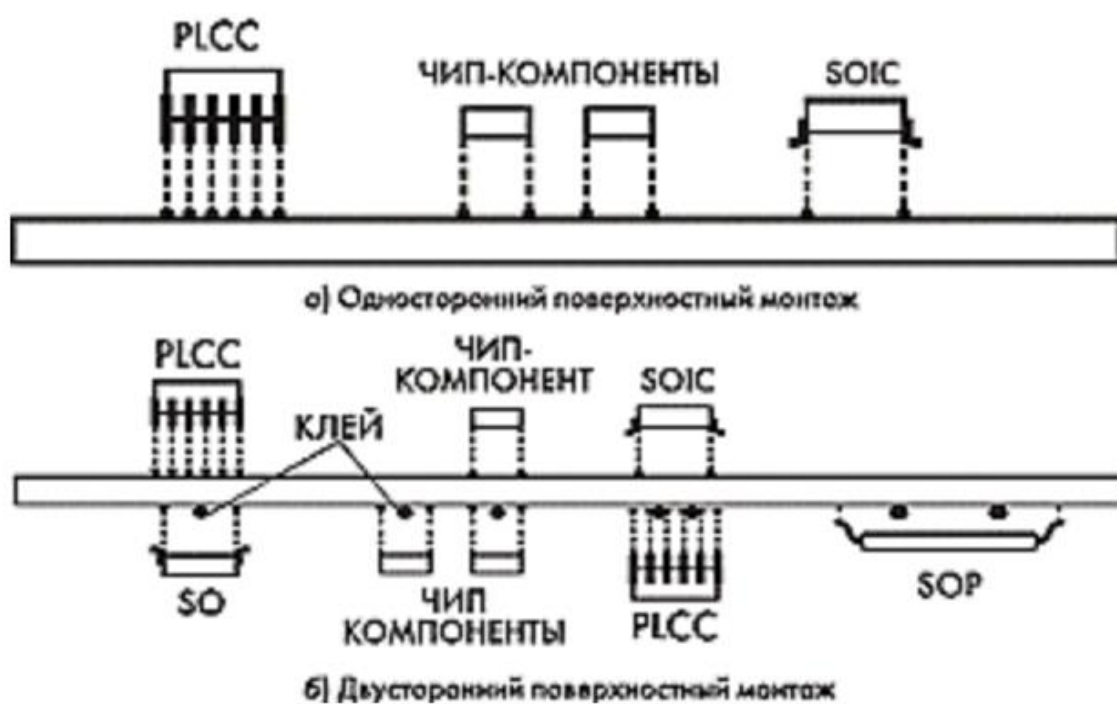


Рисунок 36 – Размещение элементов на печатной плате при поверхностном монтаже элементов

В 1960-е годы печатная плата типичного калькулятора состояла примерно из 30 транзисторов. Сегодня печатная плата среднего компьютера содержит миллионы транзисторов в одном чипе материнской платы. Эти

разработки позволили загружать возрастающие уровни функциональности на все более миниатюрные устройства. Более того, такие компоненты, как конденсаторы и резисторы, также уменьшились до долей своих прежних размеров.

Печатная плата состоит из четырех основных частей (рисунок 37):

1) Подложка. Первым и наиболее важным является материал подложки, обычно изготовленный из стекловолокна. Стекловолокно используется, поскольку оно обеспечивает прочность сердцевины печатной платы и помогает противостоять поломке.

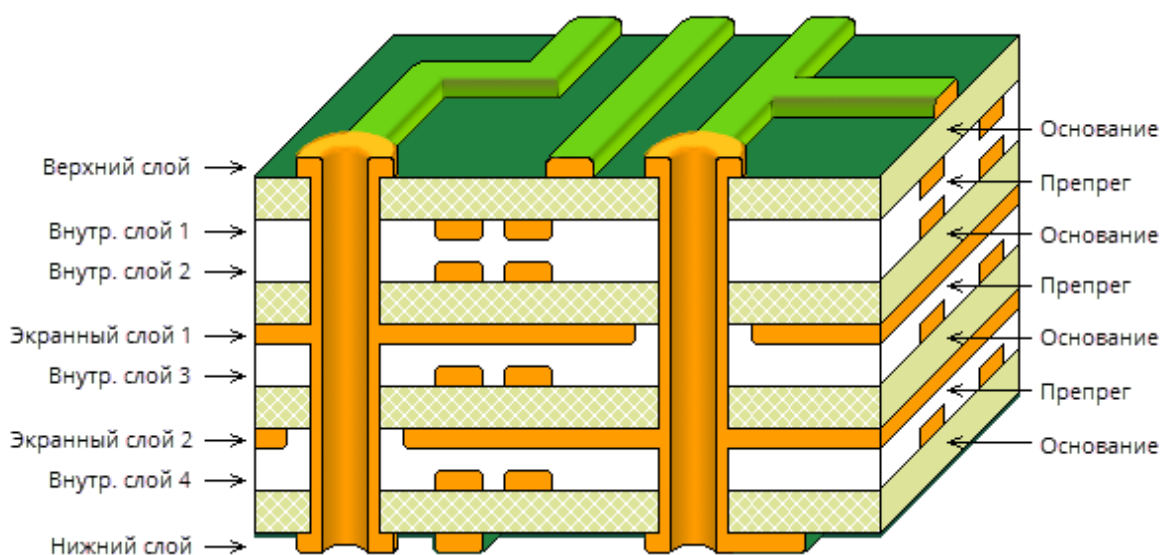


Рисунок 37 – Состав печатной платы

2) Медный слой.

3) Паяльная маска.

4) Шелкография.

Наиболее распространенная подложка печатной платы состоит из тканого стекловолокна в сочетании с огнестойким связующим из эпоксидной смолы, которое имеет почти нулевое водопоглощение, а также превосходное соотношение прочности и веса и является отличным изолятором независимо

от уровня влажности окружающей среды. Обычно огнестойким материалом, применяемом при производстве компонентов печатных плат, является бром.

Помимо других вышеупомянутых свойств, стеклотекстолитовая подложка печатных плат является самой популярной подложкой, потому что ее легко изготовить и, как правило, это самый дешевый доступный материал. Однако часто используются и другие материалы в зависимости от среды, в которой будет размещена плата, бюджета и требуемых свойств схемы.

Рассмотрим основные этапы разработки печатной платы [18]:

1) Проектирование печатной платы для получения компонентной базы и формирования условий эксплуатации печатной платы.

2) Проверка печатной платы на наличие ошибок, вызванных невозможностью установки компонентов или невозможности выполнения требуемого режима работы конечного устройства.

3) Выполнение печатной платы на производстве.

Многослойные печатные платы имеют дополнительные этапы для учета дополнительных слоев конструкции во время их изготовления. Эти шаги отражают многие из тех, которые используются при создании однослойных печатных плат. Однако фазы повторяются для каждого слоя платы. Кроме того, в многослойных печатных платах медная фольга обычно заменяет медное покрытие между слоями.

3.2 Разработка печатной платы

Для создания проекта печатной платы устройства необходимо передать созданную ранее схему из NI Multisim в NI Ultraboard. Для этого нужно выбрать в строке меню кнопку «Трансляция». Далее в выпадающем меню выбрать строку «Передать в Ultraboard», а затем в следующем подменю выбрать строку «Передать в Ultraboard». Появится окно «Импорт перечня соединений», нажать «ОК». Получим изображение посадочных мест и связей между элементами, представленных на рисунке 38.

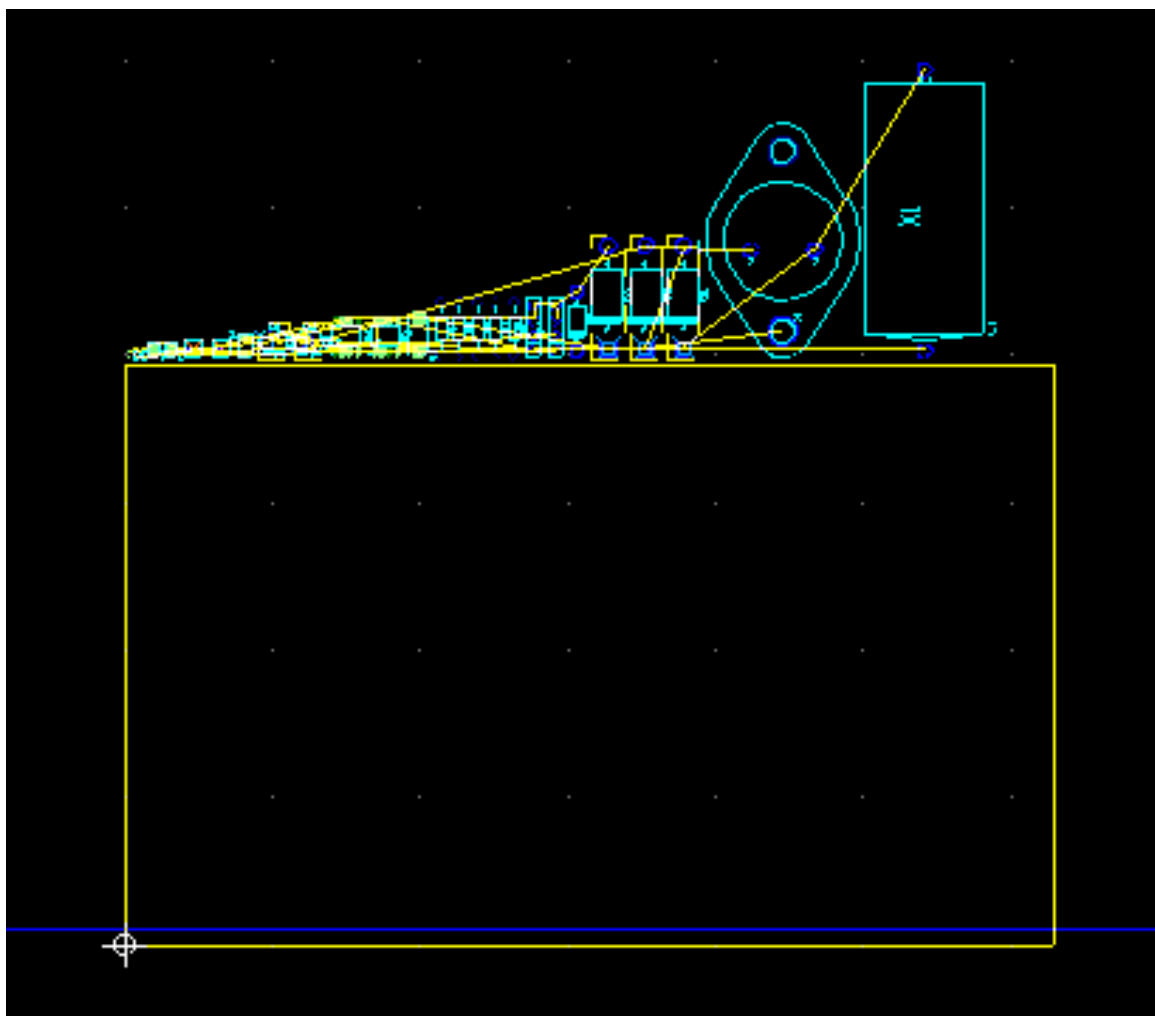


Рисунок 38 - Изображение посадочных мест и связей между элементами платы

Для дальнейшего преобразования схемы произведем настройку программы. Первое, что следует сделать – открыть меню «Вид» и разрешить отображение тех элементов, которые отмечены красными стрелками.

Переходим к вкладке «Установки»-«Установки конструирования платы» (рис. 39), имеющее в своем составе восемь подвкладок. В первую очередь, открываем вкладку «Сетка и единицы» и вводим требуемые значения (размеры - в миллиметрах, в поле «сетка» выбираем линейный вид). Для прямоугольной платы в поле «Сетка» выбираем линейный вид.

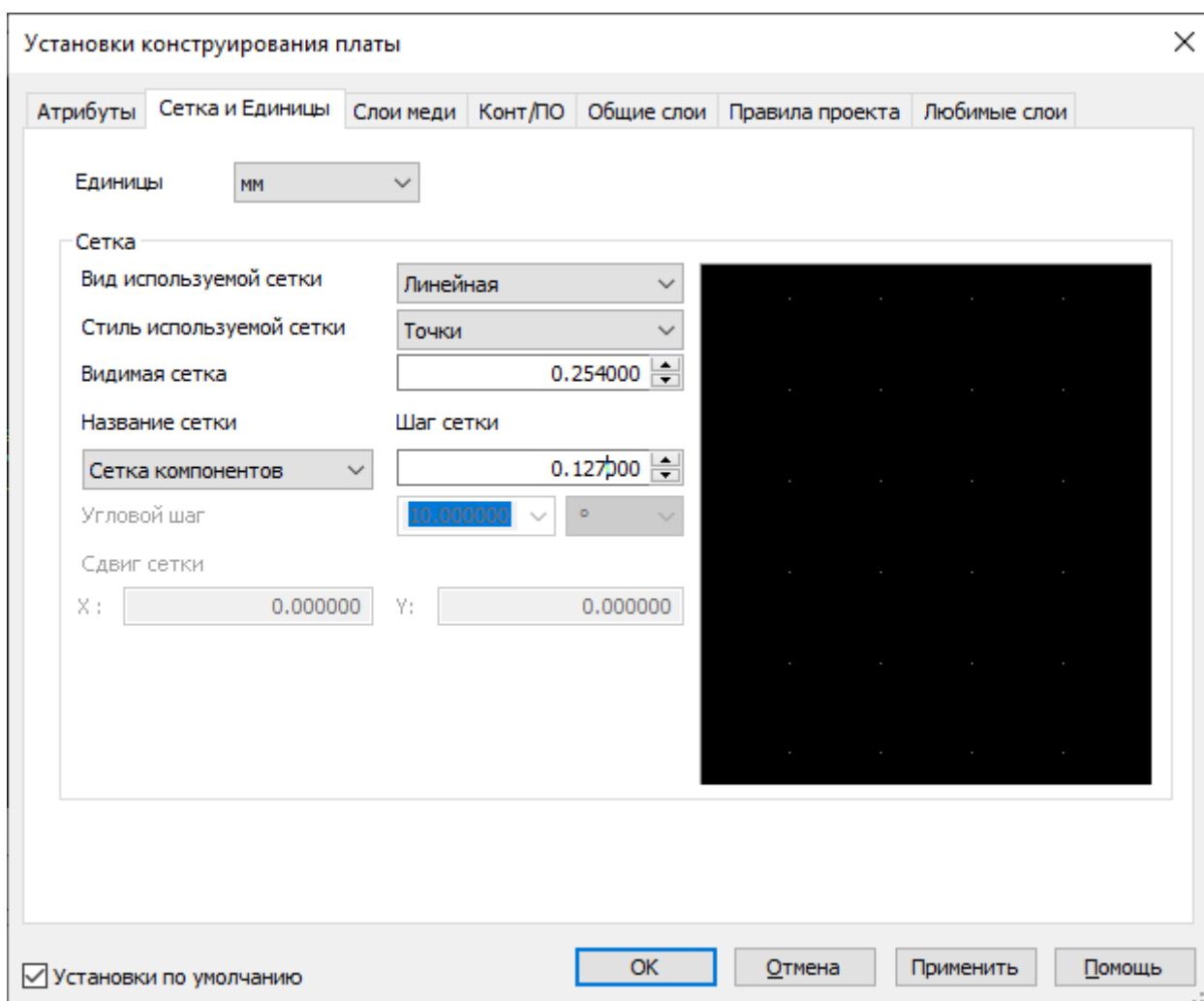


Рисунок 39 - Настройка программы NI Ultiboard, меню «Установка и конструирование платы», вкладка «Сетка и Единицы»

«При односторонней плате используется запрещение на трассировку в одном из слоев. При двухсторонней плате разрешается использовать переходные отверстия из верхнего слоя в нижний. По мере увеличения числа используемых слоев, появляется доступность использования соответствующих переходных отверстий. Полузакрытые ПО, называемые еще полуслепыми, используются для перехода из внутреннего слоя на один из внешних слоев. Закрытые ПО (слепые)– переходные отверстия, связывающие внутренние слои платы» [20].

Параметры настройки меню «Допустимая трассировка» позволяют настроить параметры трассировки, такие как [22]:

- направление трассировки;
- параметры выполнения автотрассировки;
- выбор количества слоев для проведения трассировки.

Для настройки также необходимо определить толщину материала, допустимые расстояния по краям платы и допустимые габариты платы, которые настраиваются в поле «Плата».

Вкладка «Общие слои» позволяет настроить следующие параметры печатной платы:

- выбор количества дополнительных слоев;
- выбор дополнительных линий связи;
- видимость дополнительных слоев на печатной плате;
- отображение слоев при выполнении трассировки печатной платы, а также их соответствие габаритам линий связи.

Важным параметром при настройке параметров трассировки печатной платы является зазор между элементами, которые будут смонтированы на самой плате. Из соображений электробезопасности выбираем минимальный зазор в 5 мм [23].

После окончания всех настроек нажимаем кнопку «ОК» и приступаем к разработке платы. Нажимаем «Автотрассировка» – «Начать автоустановку». Тогда элементы расставляются автоматически с минимальными пересечениями проводников.

После, выбираем слой «Контур платы» и рисуем контур платы с отверстиями для крепежа в корпусе. Далее нажимаем «Автотрассировка» – «Запуск автотрассировки». Получаем контур платы с отверстиями крепежа в корпусе (рис. 40).

«Шелкография, верх» и «Контур платы», а также «Маска пасты, верх». Нажав на «Инструментарий» – «Вид 3D» можно посмотреть объемное изображение готового устройства (рис. 41).

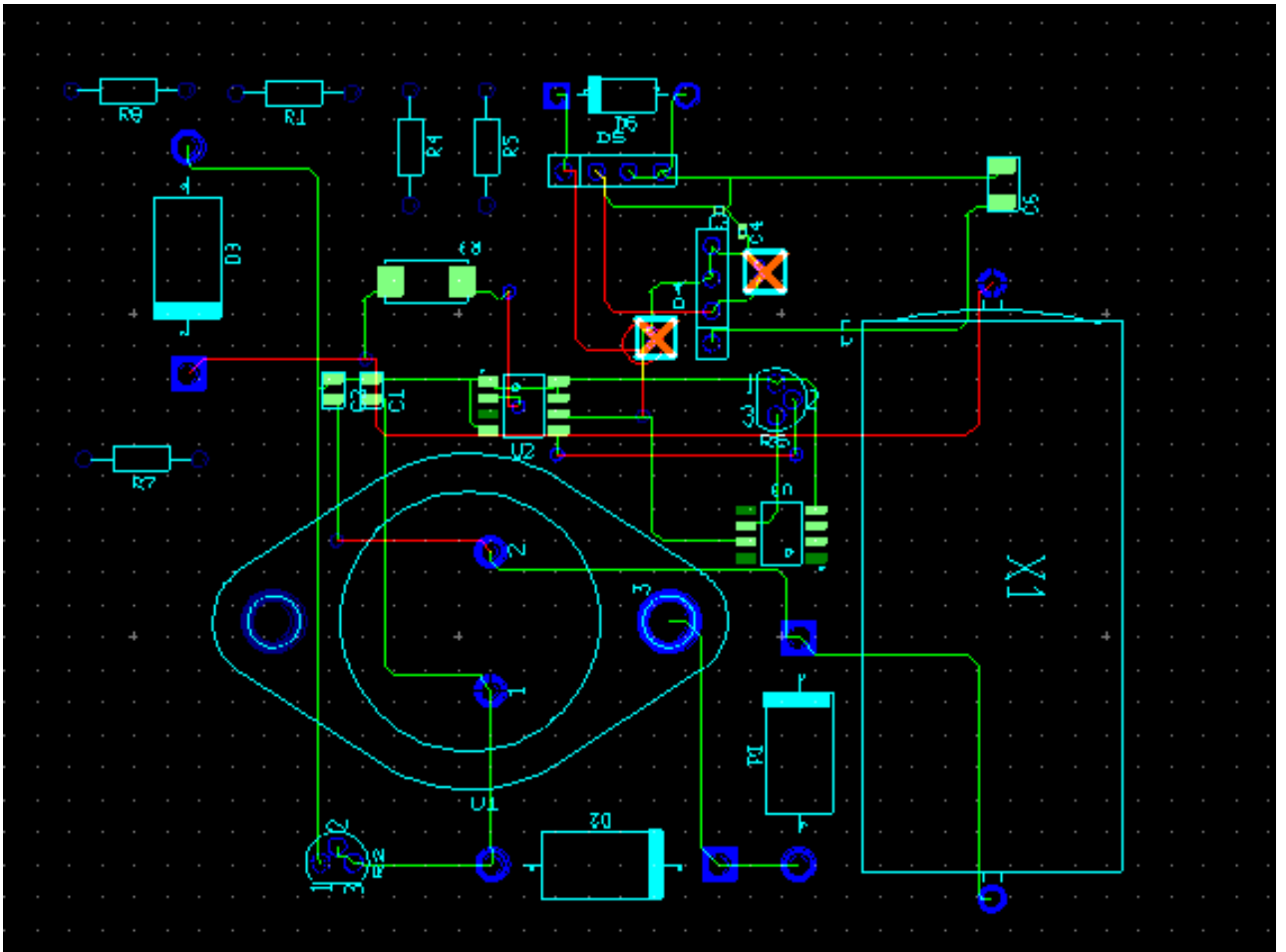


Рисунок 40 - Контур платы

Размеры платы составляют 100 x 100 мм. Максимальное значение номинальной силы тока в нашем случае составляет 3 А. Для такого тока, при толщине фольги 35 мкм, ширина печатного проводника должна быть не менее 0,25 мм.

С учетом допустимого тока в 15-20 А/мм² закладываем запас и выбираем ширину печатных проводников на силовом контуре с током 3 А равной 2,5 мм. Остальные дорожки проводим с шириной 0,8 мм, что улучшит теплорассеивающие характеристики всей печатной платы.

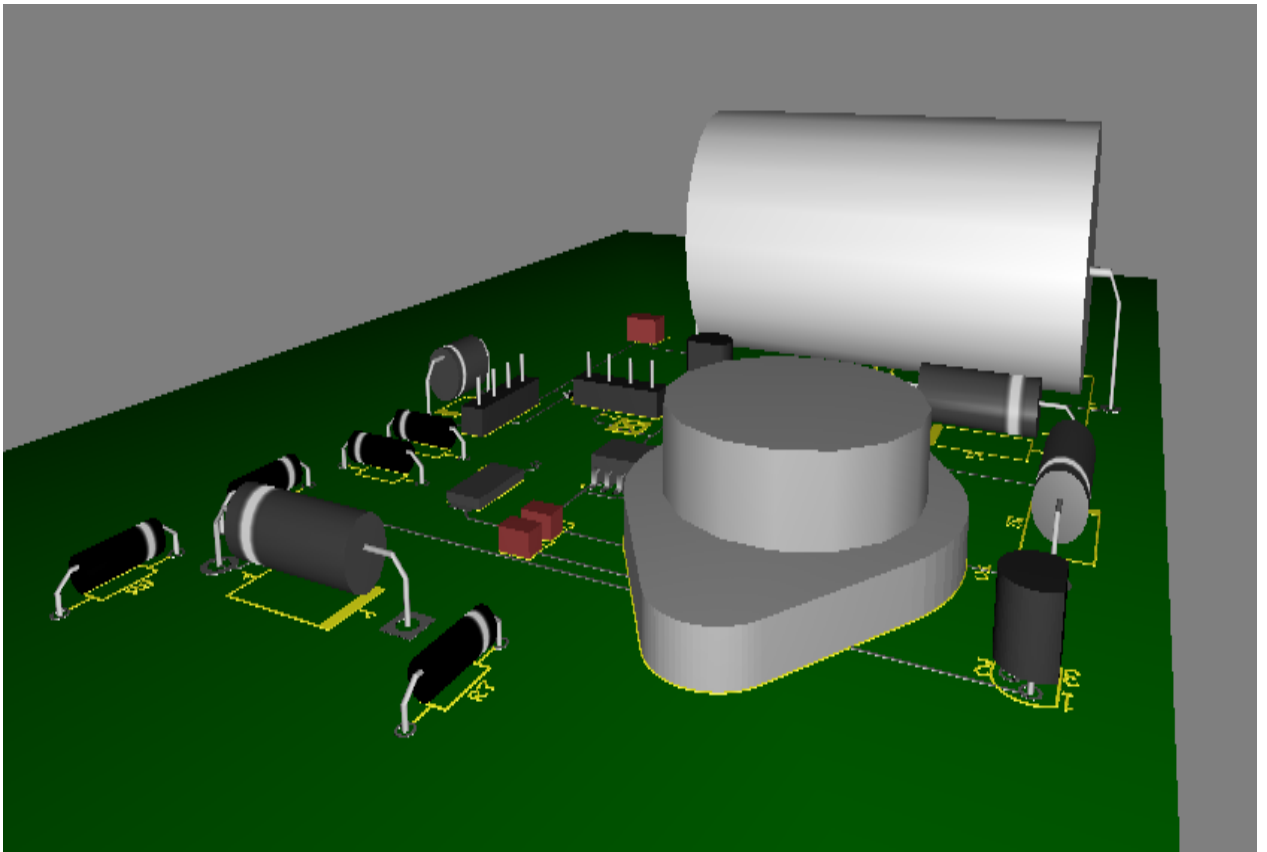


Рисунок 41 - 3D-модель устройства

Полученная модель может быть использована для разработки печатной платы устройства. Изготовление печатной платы такого типа, выполняется электрохимическим методом. Технология изготовления заключается в следующем: сначала химическим способом растворяется незащищенная медная фольга, после чего начинается процесс сверления монтажных и переходных отверстий. Затем происходит облуживание проводников, а участки, на которых не будет производиться пайка, покрываются специальным защитным лаком.

Выводы по разделу: провели рассмотрение основных принципов разработки печатных плат. Для разработки печатной платы использовали программу Multisim, которая позволяет по разработанной схеме устройства провести построение печатной платы.

Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы была разработана схема электрическая и печатная плата сетевого источника питания постоянного напряжения с регулируемым напряжением до 30 В и максимальным выходным током до 3 А.

На первом этапе произвели оценку вариантов технических решений для реализации блока питания, где определили основные достоинства и недостатки импульсных и трансформаторных источников питания. В качестве основы при проектировании была принята схема импульсного источника питания с выходным напряжением постоянного тока.

На втором этапе произвели разработку схемы источника питания и на основании номинальных выходных параметров устройства рассчитали и выбрали компоненты с учетом возможности их установки на печатной плате.

С учетом выбранных компонентов сетевого источника питания произвели разработку печатной платы с помощью программного пакета Multisim, в котором также произвели моделирование работы схемы источника питания. При моделировании источника питания постоянного напряжения были получены осциллограммы входных и выходных токов и напряжений. При этом разработанная схема источника питания удовлетворяет требованиям технического задания по величине выходного напряжения и выходного тока.

В программе пакета Multisim произвели разработку печатной платы с учетом параметров и габаритов выбранных компонентов печатной платы. Произвели трассировку печатной платы, выполнили монтажные отверстия для печатной платы.

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

Список используемой литературы и используемых источников

1. Андреев Ю.Н., Антонян А.И., Иванов Д.М. и др.; Под ред. Четверткова И.И. Резисторы(справочник) – М. Энергоиздат, 1981.- 352 с.
- 2 Севернс Рудольф П., Блум Гордон. Импульсные преобразователи постоянного напряжения для систем вторичного электропитания Пер. с англ. под ред. Л.Е. Смольникова. — М.: Энергоатомиздат, 1988. — 294 с.: ил. — ISBN 5-283-02435-0.
- 3 Найвелът Г.С. (ред.) Источники электропитания радиоэлектронной аппаратуры Справочник. — Г.С. Найвелът, К.Б. Мазель, Ч.И. Хусаинов, Г.П. Затикян, Л.Н. Шаров, С.А. Кузнецов, В.А. Алексеев, Л.М. Киселев, В.И. Тихонов, Ю.Н. Шуваев. — Москва: Радио и связь, 1985. — 576 с.
- 4 Шмаков С.Б. Как создать источники питания своими руками Санкт-Петербург: Наука и Техника, 2013. — 288 с. — ISBN: 978-5-94387-834-3.
- 5 Овчинников Н.И. Основы радиотехники М.: Военное издательство Минобороны СССР, 1968. — 408 с.
- 6 Афонский А.А., Дьяконов В.П. Измерительные приборы и массовые электронные измерения Под ред. проф. В.П. Дьяконова. — М.: Солон-Пресс, 2009. — 544 с.: ил. — (Библиотека инженера). — ISBN 5-980 0 3-290-8.
- 7 Конденсатор керамический smd 330пФ [Электронный ресурс] URL: <https://www.chipdip.ru/product/grm2165c1h331j>
- 8 Конденсатор электролитический ЕСАР 680/50V [Электронный ресурс] URL: <https://www.chipdip.ru/product0/8007881228>
- 9 Конденсаторы электролитические [Электронный ресурс] URL: <https://www.chipdip.ru/catalog/aluminum-electrolytic-capacitors?x.358=XuW&x.359=aFU&ps=x3>
- 10 Мелешин В.И. Транзисторная преобразовательная техника. – М.: Тех-носфера, 2005. – 632 с.

11 1N5820 - 1N5822. SCHOTTKY BARRIER RECTIFIER . – SUNMATE
[Электронный ресурс] URL: <https://www.vishay.com/en/product/88526/>

12 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

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

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

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

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

17 MC34063AP1G, Повышающий/ понижающий преобразователь
напря-жения [Электронный ресурс] URL:
https://www.chipdip.ru/product/mc34063ap1g?from=suggest_product

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

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

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

21 Резистор переменный 16K1-B5K [Электронный ресурс] URL:
<https://www.chipdip.ru/product/16k1-b5k>

22 Резистор подстроечный 3296W222 BARONS 2,2к [Электронный ре-
сурс] URL: <https://www.chipdip.ru/product0/8008841259>

23 Резистор проволочный мощный (цементный) SQP 5 Вт 0.15 Ом
[Элек-тронный ресурс] URL: <https://www.chipdip.ru/product/sqp-5w-0.15-om-5>

24 Суходольский В. Ю. Altium Designer: проектирование функциональных узлов РЭС на печатных платах — СПб.: БХВ-Петербург, 2010. — 480 с.: ил. — (Учебное пособие)