

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)

Промышленная электроника
(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Сетевой блок питания постоянного напряжения

Обучающийся

Д.М. Корепанов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

М.В. Позднов

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

Тольятти 2024

Аннотация

Общий размер: 53 листа, 34 изображения, 23 исходных источников.

При написании выпускной квалификационной работы рассмотрено устройство блока питания постоянного напряжения, питающего из сети 220 В.

Цель работы – спроектировать блок питания DC, соответствующий заданным требованиям выдаваемого напряжения и его допустимости с точки зрения помехоустойчивости.

В начале написания ВКР рассматриваются различные исходы самых распространенных исполнений и утверждается наилучшее устройство для разработки блока питания, построенного на принципе импульсного блока питания DC. Утверждены нужные элементы блока питания, соответствующие общим требованиям и выходным параметрам разрабатываемого импульсного блока питания DC. Расчеты ИБП произведены в САПР Multisim. Разработана в САПР также печатная плата импульсного блока питания DC.

Содержание

Введение.....	4
1 Постановка задачи.....	5
1.1 Рассмотрение характеристик подобных блоков питания	5
1.2 Обязательные требования	9
1.2.1 Виды источников питания ИБП	10
1.2.2 Виды источников линейных питания	10
1.3 Разработка структурной схемы.....	11
2 Конструкторское проектирование устройства.....	14
2.1 Разработка электрической принципиальной схемы	14
2.2 Выбор элементов устройства.....	20
2.3 Расчёты проекта на ЭМС и помехоустойчивость в среде САПР.....	35
3 Технологический раздел.....	41
3.1 Технология разработки печатной платы.....	41
3.2 Разработка печатной платы.....	44
Заключение	51
Список используемой литературы и используемых источников.....	52

Введение

В современном мире электроника стала неотъемлемой частью нашей повседневной жизни. От мобильных устройств до компьютеров и промышленного оборудования, все они требуют эффективного и стабильного источника питания. Сетевые блоки питания (БП) постоянного напряжения являются важным звеном в этой цепи, обеспечивая эффективное преобразование электроэнергии для питания устройств, а также стабильность работы потребителей напряжения постоянного тока, безопасность обслуживающего персонала и устройств, получающих питание от сетевого блока питания.

Разработка блоков питания представляет собой комплексную задачу, которая состоит из следующих шагов:

- анализ существующих схем источников питания постоянного напряжения и определение оптимальной структуры построения блока питания с учетом исходных данных на разработку;
- проектирование Э2 блока питания, рассмотрение и подбор исходных элементов для ИБП;
- Определение и утверждение элементов для блока питания с учетом требований, предъявляемых к работе устройства и необходимости использования компонентов при монтаже на печатной плате;
- проверка параметров спроектированной системы в программе для моделирования электронных схем;
- разработка проекта печатной платы для импульсного источника питания DC.

Главной задачей ВКР является разработка сетевого блока питания постоянного напряжения. При выполнении работы будут учитываться наработки на рынке производства электронных компонентов для получения наилучшего устройства блока питания.

1 Постановка задачи

1.1 Рассмотрение характеристик подобных блоков питания

Главная задача блока питания постоянного напряжения заключается в обеспечении потребителей энергией, которая необходима для их функционирования. Область применения источников питания с выходным напряжением постоянного тока обширна и включает в себя промышленную сферу и бытовую [1].

Рассмотрим основные области применения блоков питания:

1) Питание бытовых потребителей постоянного напряжения наиболее распространенных: бытовая техника, кондиционеры, плазменные панели, медиаплееры, светодиодные осветители и многие прочие. Подавляющее количество электронных устройств потребляет первично именно постоянное напряжение в качестве основного для работы микросхем и приводных механизмов. Бытовой источник постоянного напряжения представлен на рисунке 1.1.



Рисунок 1.1 – Самый распространенный импульсный блок питания

2) Производственная область: Промышленные блоки питания предназначены для преобразования электрического напряжения переменного или постоянного тока на входе в стабильное постоянное напряжение на выходе, необходимое для работы электронных устройств и оборудования, датчиков различных технологических величин. Промышленный источник постоянного напряжения представлен на рисунке 1.2.



Рисунок 1.2 – Промышленный источник постоянного напряжения

3) Медицинское оборудование: постоянное напряжение применяется в качестве основного в большинстве медицинских приборов, часть из которых может работать автономно вне стационарных мест.

4) Телекоммуникационная сфера: сетевые компоненты требуют использования источников постоянного напряжения.

5) Автомобильная промышленность: источники постоянного напряжения применяются в качестве источников питания для большинства компонентов, устанавливаемых в автомобилях.

6) Энергосберегающие источники: используются для создания энергосберегающих систем, включая солнечные и ветряные установки, которые преобразуют возобновляемые источники энергии в электричество.

7) Аварийное и бесперебойное питание. Блоки питания, такие как источники бесперебойного питания (ИБП), обеспечивают энергопитание в случае отключения электроснабжения, что обеспечивает непрерывную работу критически важных систем.

8) Электроника потребительских товаров. От бытовой техники и игровых консолей до зарядных устройств для мобильных устройств, блоки питания широко применяются в потребительских товарах.

9) Лабораторные и научные исследования. В лабораториях и исследовательских учреждениях блоки питания играют важную роль в питании и испытаниях различных устройств и оборудования. Лабораторный блок питания представлен на рисунке 1.3.



Рисунок 1.3 – Лабораторный блок питания

По обобщенной классификации выделяют трансформаторные и импульсные блоки питания.

Основные параметры блоков питания включают в себя следующие характеристики, которые определяют их производительность и способность обеспечивать электропитание для различных устройств и систем [2, 3]:

- выходное напряжение блока питания, которое измеряется в вольтах (В). Напряжение определяет, сколько электрической энергии будет доступно для подключенных устройств. Блоки питания обычно имеют фиксированное или настраиваемое напряжение, которое должно соответствовать требованиям питаемых устройств.

- выходной ток блока питания, который измеряется в амперах (А). Ток определяет, сколько электрической энергии блок питания способен предоставить на выходе. Устройства имеют определенные требования к току, и блок питания должен предоставлять ток, соответствующий этим требованиям.

- Выдаваемая мощность блока питания определяется выходными параметрами – напряжением и током с учетом коэффициента полезного действия, поскольку при работе блока питания и преобразовании напряжений происходят потери энергии;

- регулировка напряжения. Эта характеристика определяет способность блока питания поддерживать стабильное выходное напряжение даже при изменениях во входном напряжении или нагрузке. Хорошее регулирование напряжения важно для предотвращения повреждения подключенных устройств.

- защитные функции. Многие блоки питания оборудованы защитными механизмами, такими как защита от короткого замыкания, перегрузки, перенапряжения и перегрева. Эти функции обеспечивают безопасность и защиту подключенных устройств и блока питания.

- физические параметры. Включают в себя размеры, вес и форм-фактор блока питания. Эти параметры важны для того, чтобы блок питания мог быть установлен в конкретном устройстве или системе.

- входное напряжение - диапазон напряжения, который блок питания способен принимать с входа, например, из сети переменного тока. Важно, чтобы входное напряжение соответствовало требованиям местных стандартов.

1.2 Обязательные требования

По способу преобразования поступающего на вход напряжения известные образцы блоков питания подразделяются на трансформаторные и импульсные [4]. Структура построения импульсных и трансформаторных блоков питания представлена на рисунке 1.4.

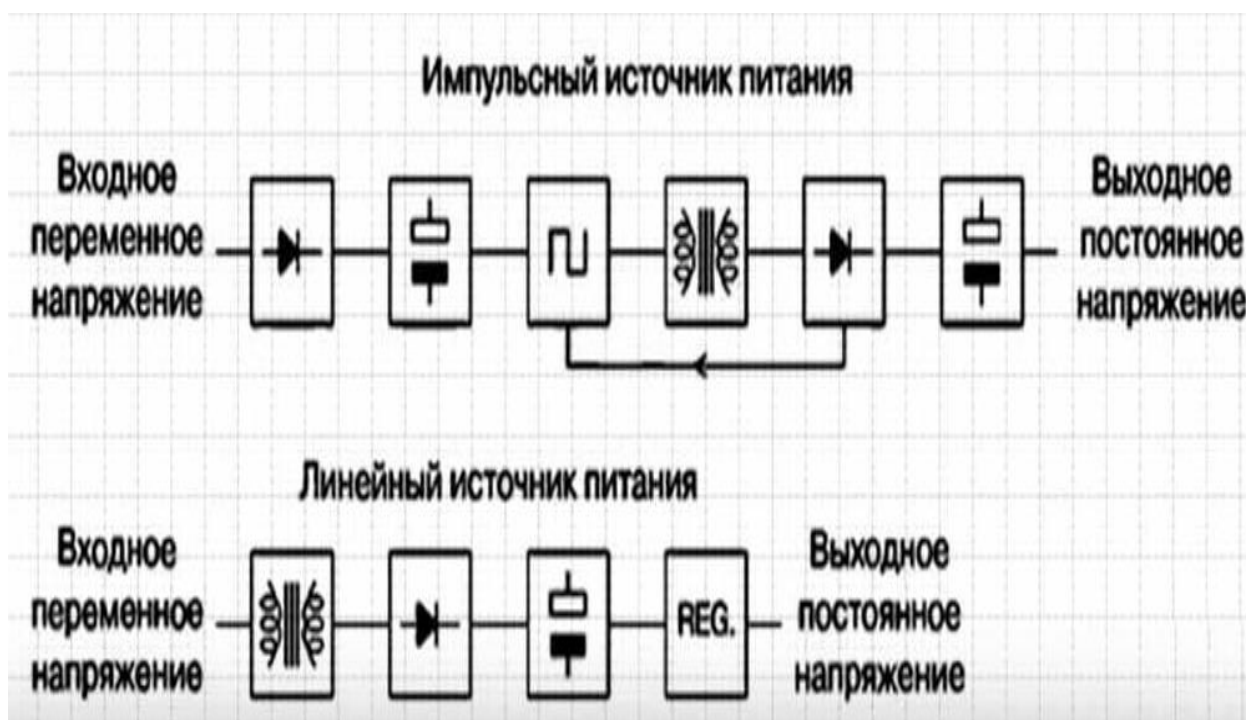


Рисунок 1.4 – Структура построения импульсных и трансформаторных блоков питания

Рассмотрим классификацию и принципы построения импульсных и трансформаторных блоков питания.

1.2.1 Виды источников питания ИБП

Фильтрация высокочастотных колебаний для импульсного блока питания обеспечивается включением на входе схемы сетевых емкостных фильтров. Опасность высокочастотных колебаний заключается в том, что эти колебаний могут повлиять на устройства, которые включены в данную сеть.

Основная задача сглаживающего фильтра – снижение пульсаций напряжений, которые поступают на вход схемы инвертора напряжения. Управление напряжением осуществляется за счет изменения параметров сигнала напряжения (частоты или скважности импульсов). Особенность работы инвертора заключается в высокой частоте импульсов, которые достигают 10...50 кГц [4].

После прохождения напряжения через высокочастотный трансформатор напряжение приходит на схему выпрямителя. Обязательным в схеме рассматриваемого источника постоянного напряжения является применение выходного фильтра для получения стабильных выходных характеристик.

1.2.2 Виды источников линейных питания

«В линейных источниках питания преобразование электрической энергии осуществляется с помощью трансформатора. Первичная обмотка трансформатора рассчитана на подключение к сети, а вторичная, как правило, используется для понижения напряжения. Принцип работы классического трансформатора переменного тока, созданного П. Яблочковым, заключается в преобразовании входного синусоидального напряжения в такое же синусоидальное напряжение на выходе вторичной обмотки» [5].

Далее в схеме используется выпрямитель, который преобразует синусоидальный сигнал в пульсирующее напряжение. Для этого применяются выпрямительные диоды, которые могут быть установлены по одиночной схеме или в конфигурации диодного моста. Основное различие между этими вариантами заключается в частоте импульсов на выходе. После этого напряжение проходит через стабилизатор и фильтр, которые корректируют его уровень и форму. В результате на выходе получается постоянное напряжение.

1.3 Разработка структурной схемы

Для обоснования выбора технических решений в области схемотехники и конструирования импульсного блока питания, мы основались на анализе разнообразных источников информации. Рассмотрим основные источники информации, которые используются при проектировании схем и электронных компонентов [5, 6]:

- техническую литературу по проектированию и конструированию блоков питания.

- интернет-ресурсы: научные статьи, форумы и блоги, где инженеры и специалисты делятся опытом и знаниями по разработке ИБП.

Проведем сравнительный анализ импульсных и трансформаторных источников питания:

- 1) Импульсные блоки питания.

Преимущества:

- высокая эффективность: характеризуются меньшими потерями в основном на компонентах источника питания.

- компактность;

- широкий диапазон входных напряжений;

- высокая частота переключения.

Недостатки:

- электромагнитные помехи, вызванные высокочастотными компонентами, применяемыми в схеме источника питания;

- сложность ремонта;

- высокая стоимость.

2) Трансформаторные блоки питания.

Преимущества:

- меньшие электромагнитные помехи;

- простота ремонта;

- надежность.

Недостатки:

- большой размер и вес;

- ограниченный диапазон входных напряжений;

- меньшая точность регулирования.

В качестве основы при проектировании блока питания выбираем структуру построения импульсного блока питания, который обладает лучшими энергетическими показателями в сравнении с трансформаторными блоками питания.

Технические требования к импульсному блоку питания:

- напряжение источника питания 220 В;

- выходное напряжение 0...5 В;

- ток нагрузки 10 А;

- защиты: от токов короткого замыкания, защита от постоянного напряжения на выходе усилителя.

Структурная схема импульсного блока питания представлена на рисунке 1.5 [7].

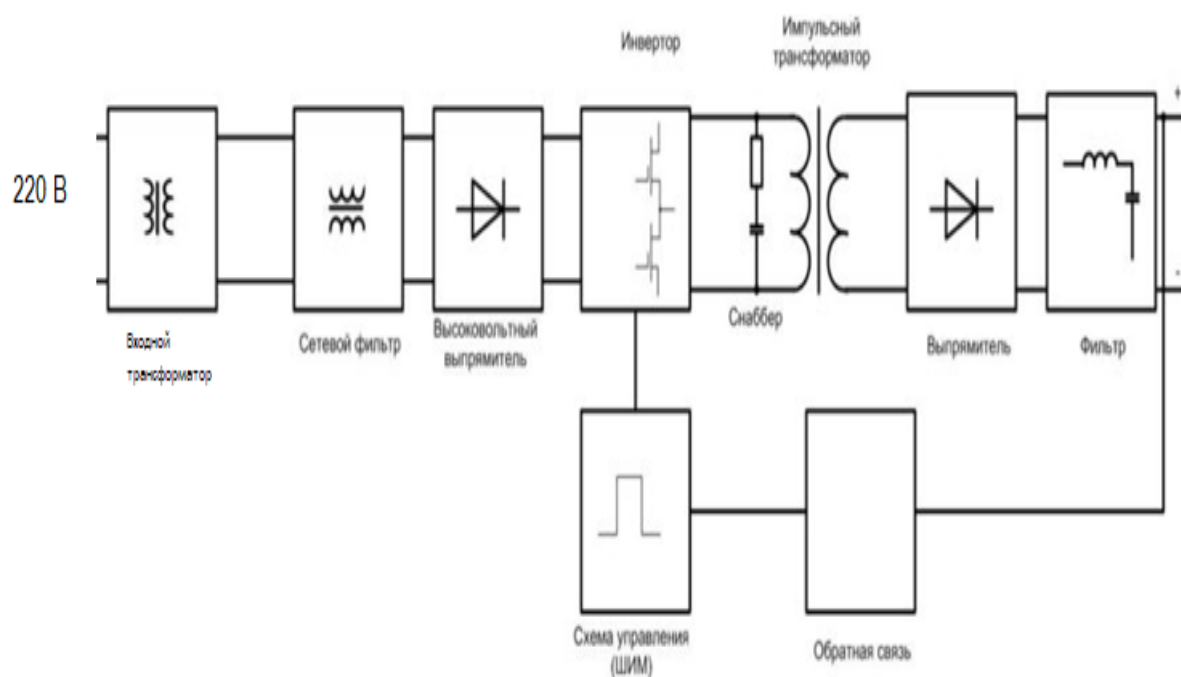


Рисунок 1.5 - Структурная схема импульсного блока питания

На вход импульсного блока питания подается переменное напряжение промышленной частоты величиной 220 В. Фильтр сетевого напряжения позволяет исключить перепады напряжения на входе импульсного блока питания при снижении или увеличении напряжения источника питания.

Выводы по разделу 1: при анализе вариантов технических решений по разработке источника питания постоянного напряжения приняли для разработки устройства схему импульсного источника питания, который отвечает современным требованиям по эффективности и имеет меньшие масса-габаритные показатели, в сравнении с линейными источниками питания.

2 Конструкторское проектирование устройства

2.1 Разработка электрической принципиальной схемы

Сетевое напряжение подается на входной каскад схемы выпрямления, который обеспечивает преобразование переменного напряжения в пульсирующее постоянное. Данный процесс является первым этапом в цепи преобразования энергии. В рассматриваемом случае импульсного источника питания используются две основные схемы, каждая из которых играет свою роль в стабилизации и распределении энергии.

На следующем этапе входное напряжение преобразуется инвертором напряжения. В данной конфигурации входное напряжение инвертора составляет 30 В. Инвертор выполняет функцию преобразования постоянного напряжения в высокочастотное переменное, что значительно упрощает дальнейшие процессы трансформации и фильтрации. Этот подход обеспечивает компактность и эффективность устройства, особенно при работе с высокими мощностями.

Для обеспечения стабильного питания цифровых микросхем и других чувствительных компонентов в системе используется источник постоянного напряжения. Его выходное напряжение составляет 13 В, что оптимально для большинства микросхем и обеспечивает надежную работу электронной схемы. Кроме того, стабилизация напряжения снижает риск возникновения помех и обеспечивает защиту от перегрузок. Таким образом, сочетание этих элементов обеспечивает надежное и стабильное питание всей системы.

Схема фильтра входного напряжения представлена на рисунке 2.1.

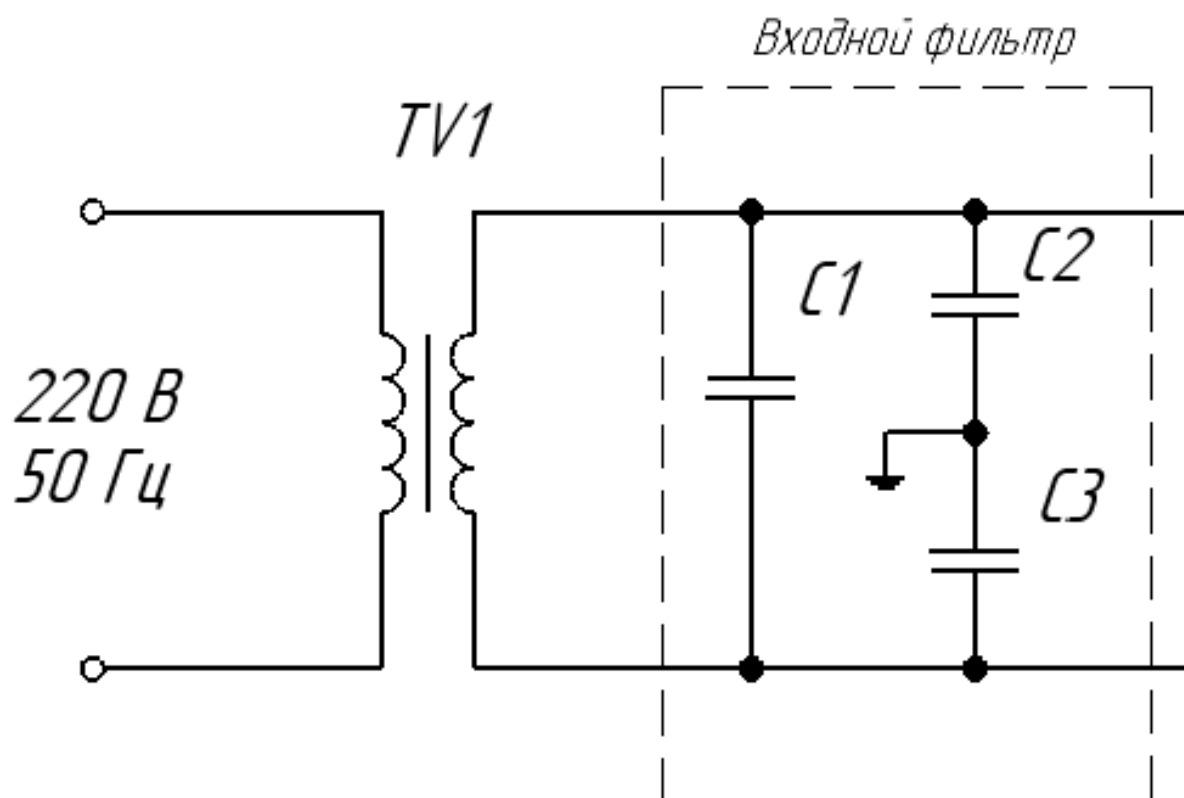


Рисунок 2.1 - Схема фильтра входного напряжения

«Включение конденсатора $C1$ между линейным и фазным проводником позволяет обеспечить фильтрацию кондуктивной помехи. Конденсаторы $C2$ и $C3$ обеспечивают фильтрацию кондуктивной помехи несимметричного (общего) вида» [8].

Выходной фильтр формирует напряжения, которые поступают на входы двух групп неуправляемых выпрямителей (рисунок 2.2):

- 1-я группа выпрямителя обеспечивает преобразование рабочего напряжения;
- 2-я группа выпрямителя обеспечивает получения напряжения питания для микросхем, применяемых в схеме источника питания. Для второго выпрямителя выходное напряжение равно 13 В.

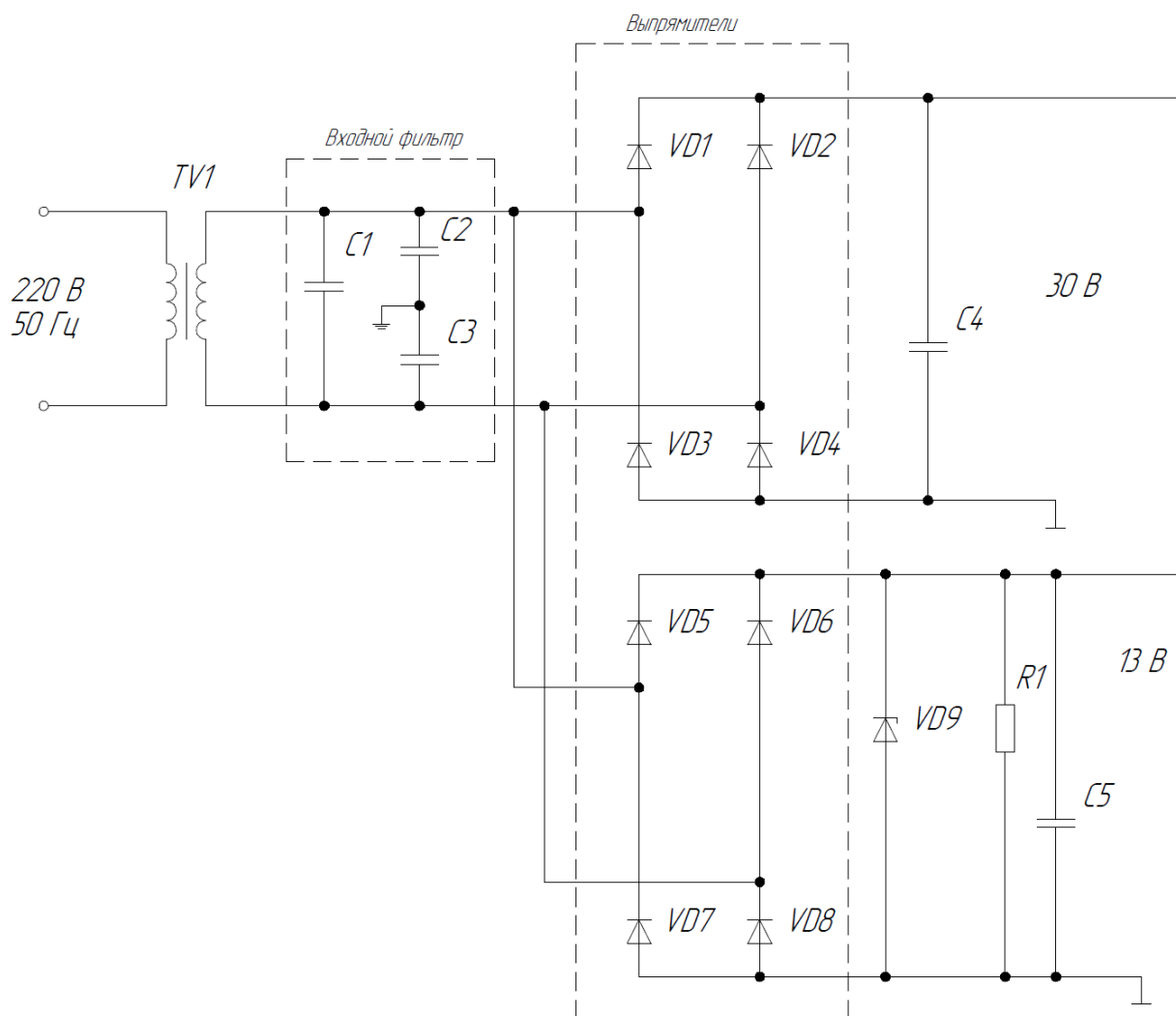


Рисунок 2.2 – Схема выпрямления входного напряжения

Схемы выпрямителей переменного тока состоят из диодов, соединенных по мостовой схеме, что позволяет преобразовать переменное напряжение в пульсирующее постоянное с минимальными потерями.

Выходное напряжение первого выпрямителя, собранного на диодах VD1–VD4, составляет 30 В. Этот выпрямитель предназначен для формирования основного питающего напряжения, используемого в других частях схемы. Второй выпрямитель, выполненный на диодах VD5–VD8, обеспечивает выходное напряжение в 13 В, что подходит для питания чувствительных компонентов, таких как микросхемы.

Для стабилизации выходного напряжения на уровне 13 В в схеме предусмотрен стабилитрон VD9. Он работает в паре с балластным резистором R1, который ограничивает ток через стабилитрон, предотвращая его перегрев и обеспечивая надежную работу стабилизирующего элемента.

На выходе каждого выпрямителя установлены фильтрующие конденсаторы. Эти элементы эффективно сглаживают пульсации, возникающие после выпрямления, и обеспечивают стабильное постоянное напряжение на выходе. Применение конденсаторов позволяет значительно улучшить качество питания подключенных устройств, уменьшая помехи и обеспечивая более надежную работу всей системы [9].

Электрическая схема инвертора представлена на рисунке 2.3. Транзисторы в схеме инвертора работают в ключевом режиме и поочередно коммутируются внешним контроллером, обеспечивающим широтно-импульсную модуляцию.

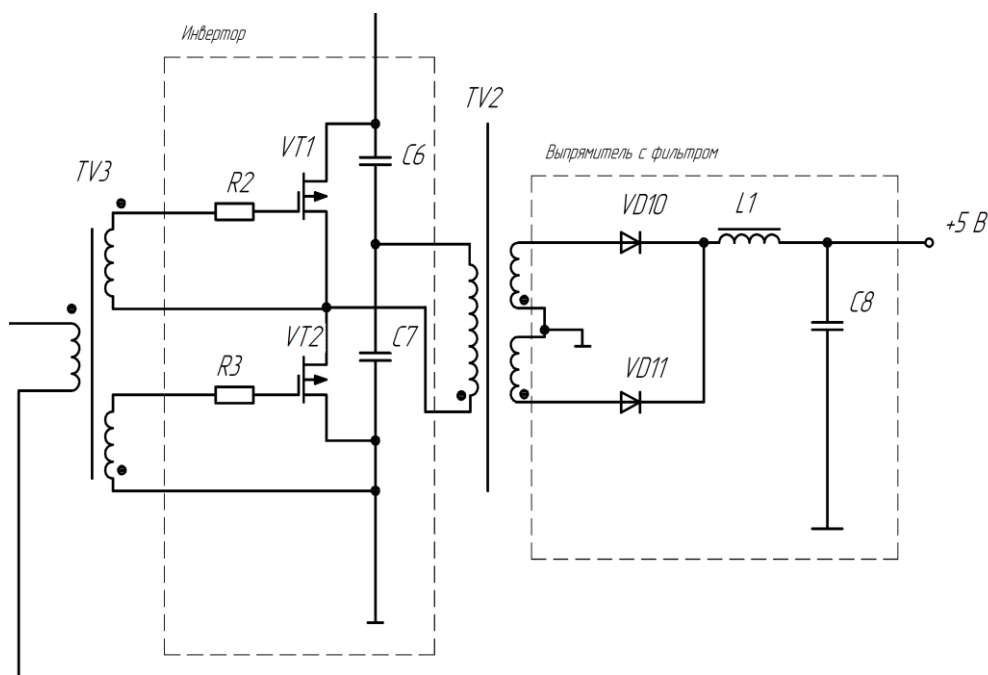


Рисунок 2.4 – Схема инвертора

Цикл работы импульсного инвертора включает в себя несколько этапов [6]:

- 1) Коммутация транзистора VT1.
- 2) Пауза после коммутации транзистора VT1.
- 3) Коммутация транзистора VT2.
- 4) Пауза после коммутации транзистора VT2.

Временные диаграммы напряжений и токов соответствующие различным циклам работы преобразователя представлены на рисунке 2.4 [10].

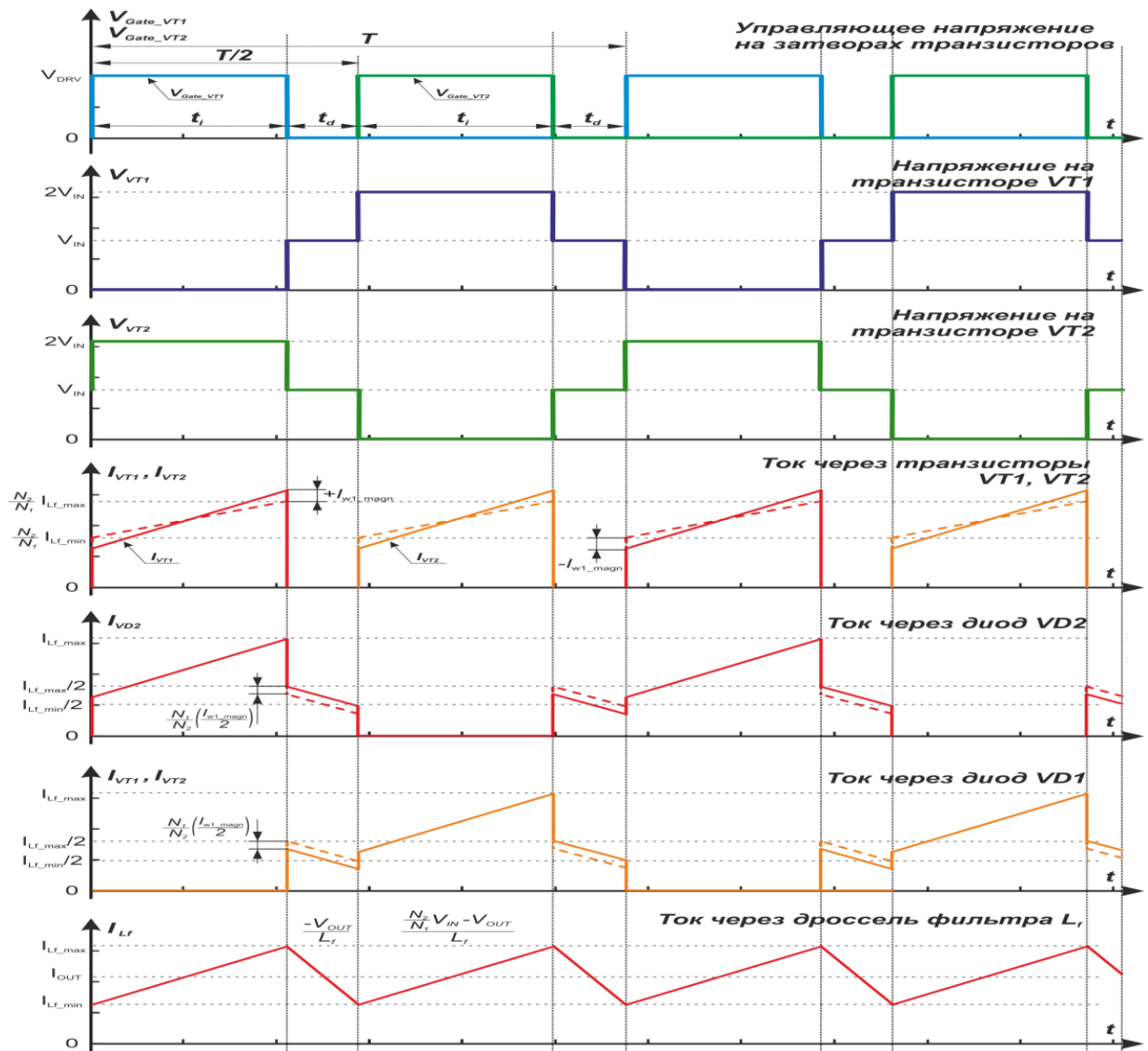


Рисунок 2.4 – Диаграммы работы инвертора

Для управления транзисторными ключами применяем микросхему широтно-импульсного модулятора SG3525A. Схема подключения микросхемы представлена на рисунке 2.5 [12].

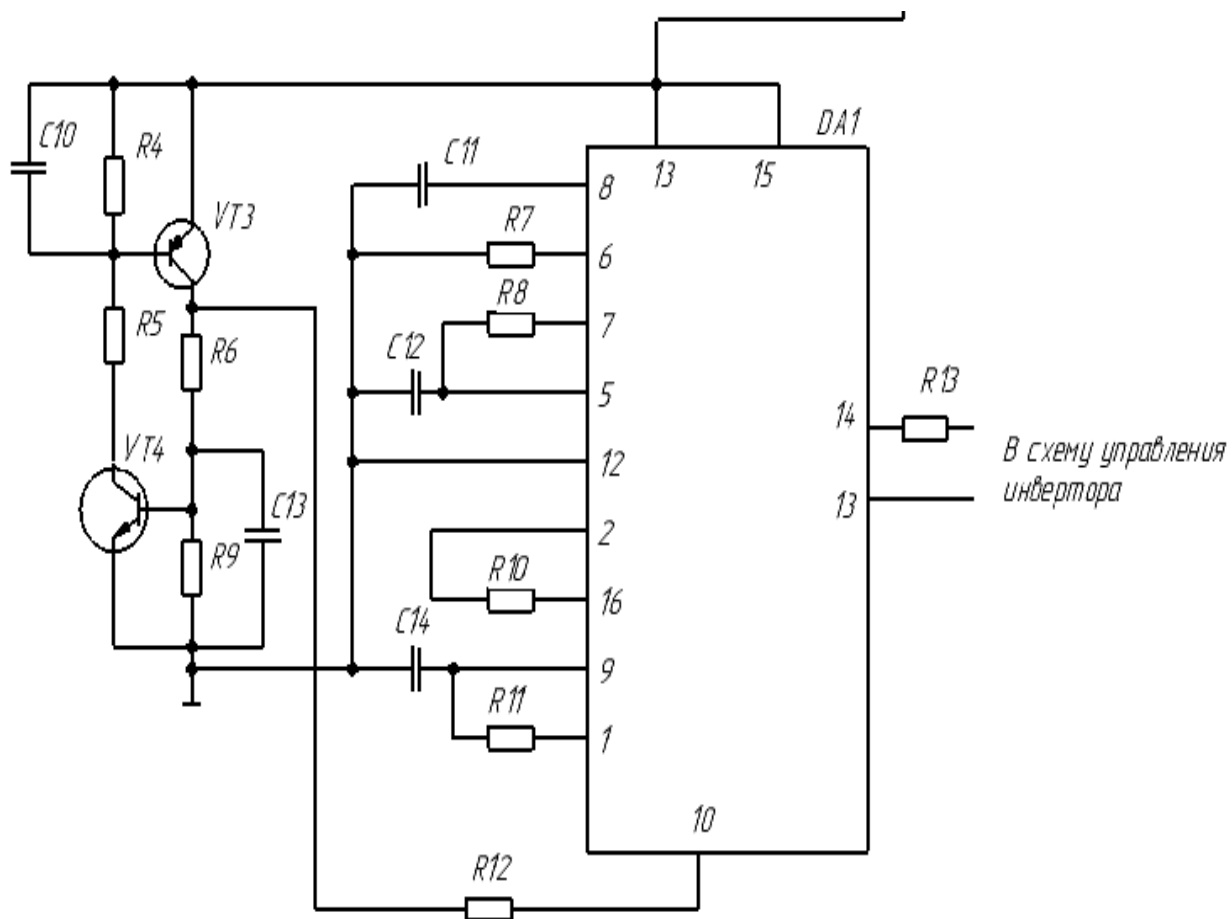


Рисунок 2.5 – Микросхема SG3525A

Схема электрическая импульсного блока питания представлена на рисунке 2.6.

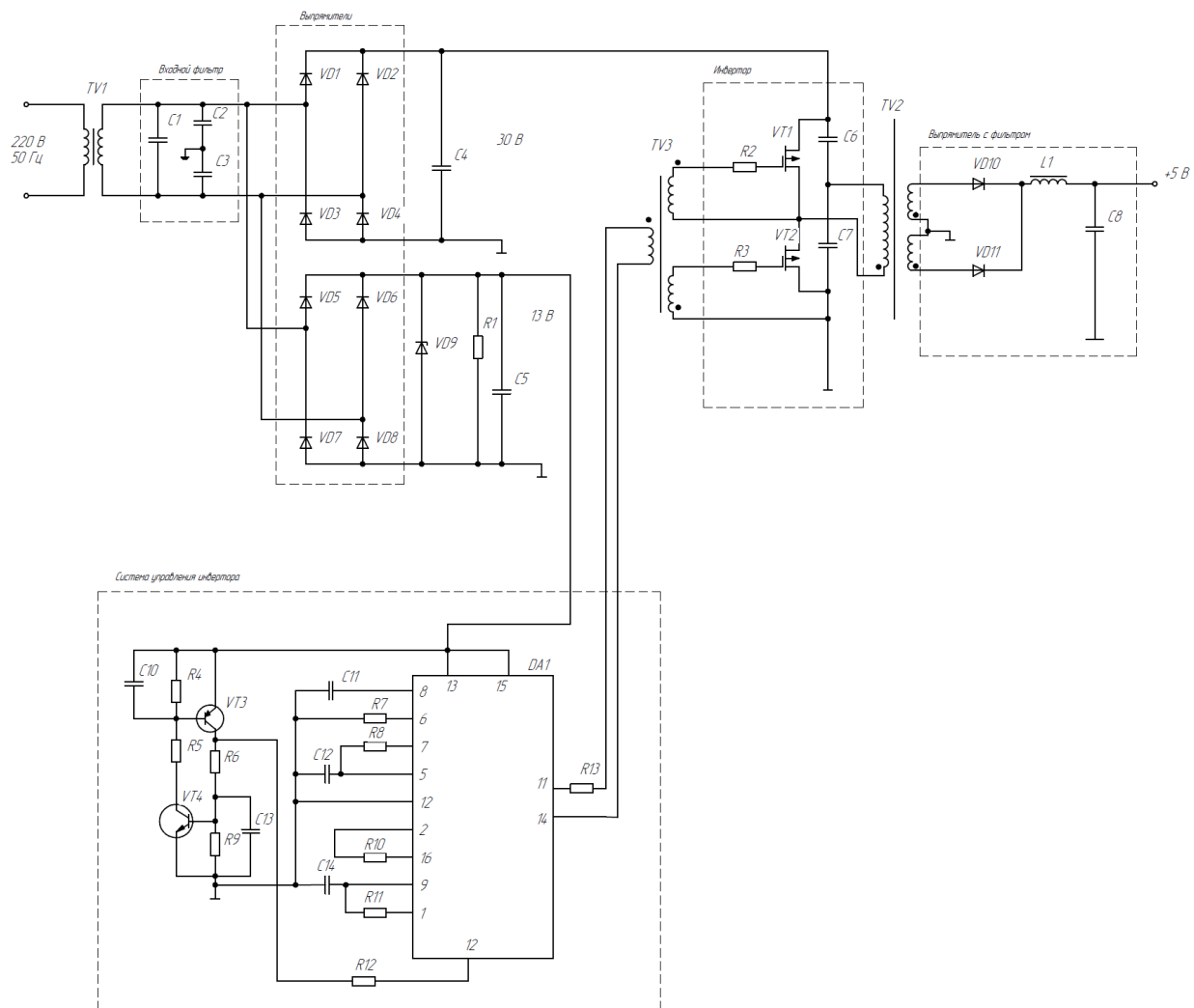


Рисунок 2.6 - Схема электрическая импульсного блока питания

2.2 Выбор элементов устройства

Мощность нагрузки в соответствии с номинальными параметрами блока питания будет определяться выражением:

$$P_H = I_H \cdot U_H, \quad (1)$$

$$P_H = 10 \cdot 5 = 50 \text{ Вт.}$$

«Определим требуемую мощность входного трансформатора импульсного блока питания с учетом КПД блока питания $\eta=70\%$ » [5]:

$$P_T = \frac{P_H}{\eta}, \quad (2)$$

$$P_T = \frac{50}{0,70} = 71,4 \text{ Вт.}$$

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

$$U_2 = 1,11 \cdot U_{d1}, \quad (3)$$

где U_{d1} – выходное напряжение выпрямителя, равное 30 В.

$$U_2 = 1,11 \cdot 30 = 33,3 \text{ В.}$$

«В качестве трансформатора для импульсного блока питания применяем трансформатор тороидальный ТТП80 номинальной мощностью 80 Вт, напряжения обмоток трансформатора $U_1=220 \text{ В}$, $U_2=40 \text{ В}$ » [11]. Общий вид тороидального трансформатора ТТП80 представлен на рисунке 2.7.

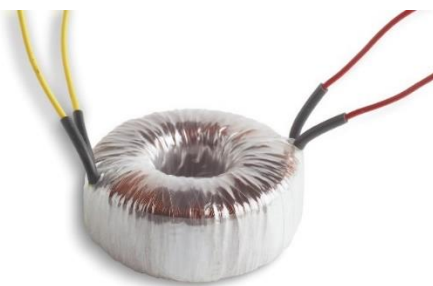


Рисунок 2.7 – Общий вид тороидального трансформатора ТТП80

«Для расчета параметров фильтра, установленных на входе источника питания, принимаем, что величина безопасного значения тока короткого замыкания составляет 2 мА. Тогда емкость конденсаторов фильтра С2 и С3 определим по выражению» [8]:

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

$$C_2 = C_3 = \frac{0,002}{4\pi \cdot 50 \cdot 40} = 8,0 \text{ нФ.}$$

Выбираем в качестве конденсаторов С2 и С3 конденсатор В32921-С3223-К [12]:

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

Общий вид конденсатора В32921-С3223-К представлен на рисунке 2.8.



Рисунок 2.8 – Общий вид конденсатора В32921-С3223-К

«Произведем расчет емкости конденсатора C1, обеспечивающего защиту элементов от симметричных помех в питающей сети с учетом коэффициента затухания симметричных помех $K_{СП}=2,5$ » [8]:

$$C_1 = \frac{K_{СП}}{2\pi \cdot f} \cdot 10^{-4}, \quad (5)$$

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

Выбираем в качестве конденсатора C1 конденсатор МКР1G041506G00MSSD [12]:

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

Общий вид конденсатора МКР1G041506G00MSSD представлен на рисунке 2.9.



Рисунок 2.9 – Общий вид конденсатора МКР1G041506G00MSSD

Условия выбора диодов входного выпрямителя VD1-VD4:

$$I_{\text{ПР}} \geq \frac{I_H}{2}, \quad (6)$$

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

$$U_{\text{ПР}} \geq 1,57 \cdot U_{d1}, \quad (7)$$

$$U_{\text{ПР}} \geq 1,57 \cdot 30 = 47,1 \text{ В.}$$

В качестве схемы выпрямления на диодах VD1-VD4 применяем диоды P600A [12]:

- максимальный прямой ток $I_{\text{ПР}}=6 \text{ A}$;
- максимальное обратное напряжение $U_{\text{ОБР}}=50 \text{ В}$;
- падение напряжения на диоде $\Delta U=0,9 \text{ В}$.

Общий вид диода P600A представлен на рисунке 2.10.



Рисунок 2.10 – Общий вид диода P600A

Условия выбора диодов VD5-VD8:

$$I_{\text{пр}} \geq 0,5 \text{ A.}$$

$$U_{\text{пр}} \geq 1,57 \cdot U_{d2}, \quad (8)$$

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

В качестве схемы выпрямления на диодах VD5-VD8 применяем диоды 1N4001 [12]:

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

Общий вид диода 1N4001 представлен на рисунке 2.11.



Рисунок 2.11 – Общий вид диода 1N4001

«При выборе стабилизатора напряжения учитываем величину выходного напряжения выпрямителя, применяемого для питания микросхемы равное 13 В. Для стабилизации выходного напряжения применяем стабилитрон КС213Ж» [12]:

- | | |
|--|-------|
| - мощность рассеяния, Вт | 0,125 |
| - минимальное напряжение стабилизации, В | 12,3 |
| - номинальное напряжение стабилизации, В | 13 |

- максимальное напряжение стабилизации, В	13,7
- статическое сопротивление $R_{ст.}$, Ом	40
при токе $I_{ст.}$, мА	4

Выбираем в качестве конденсаторов C_4 и C_5 конденсатор электролитический К50-35 емкостью 330 мкФ, с номинальным напряжением 50 В.

Условия выбора транзистора:

$$U_{max} \geq 1,2 \cdot U_{BX}, \quad (9)$$

$$U_{max} \geq 1,2 \cdot 30 = 36 \text{ В.}$$

$$I_{max} \geq 1,2 \cdot I_H, \quad (10)$$

$$I_{max} \geq 1,2 \cdot 10 = 12 \text{ А.}$$

Выбираем транзисторы инвертора импульсного блока питания IRF9Z24NPBF со следующими характеристиками [12]:

Напряжение $U_{СИmax}$, В	100
Ток $I_{Сmax}$, А	15
Тип	MOSFET
Тип проводимости	Р

Общий вид транзистора IRF9Z24NPBF представлен на рисунке 2.12.



Рисунок 2.12 – Общий вид транзистора IRF9Z24NPBF

Определим величину сопротивлений резисторов R2 и R3:

$$R_2 = R_3 = 2 \cdot \sqrt{\frac{L_S}{C_{ISS}}} - R_{dr}, \quad (11)$$

где L_S – паразитная индуктивность контура;

C_{iss} – входная емкость транзистора.

$$R_2 = R_3 = 2 \cdot \sqrt{\frac{4,5 \cdot 10^{-9}}{350 \cdot 10^{-12}}} - 0,175 = 7 \text{ Ом.}$$

Принимаем резисторы CCF027R00JKR36 [12]:

- номинальное сопротивление 7 Ом
- точность, % 5%
- номинальная мощность, Вт 2 Вт

Общий вид резистора CCF027R00JKR36 представлен на рисунке 2.14.



Рисунок 2.13 – Общий вид резистора CCF027R00JKR36

Условия выбора диодов выходного однофазного двухполупериодного выпрямителя с нулевым выводом VD10-VD11:

$$I_{\text{ПР}} \geq \frac{I_H}{2}, \quad (12)$$

$$I_{\text{ПР}} \geq \frac{10}{2} = 5 \text{ A.}$$

$$U_{\text{ПР}} \geq 3,14 \cdot U_H, \quad (13)$$

$$U_{\text{ПР}} \geq 3,14 \cdot 5 = 15,7 \text{ В.}$$

В качестве схемы выпрямления на диодах VD10-VD11 применяем диоды SR10100 [12]:

- максимальный прямой ток $I_{\text{ПР}}=10 \text{ A}$;
- максимальное обратное напряжение $U_{\text{ОБР}}=100 \text{ В}$;
- падение напряжения на диоде $\Delta U=0,85 \text{ В}$.

Общий вид диода SR10100 представлен на рисунке 2.14.

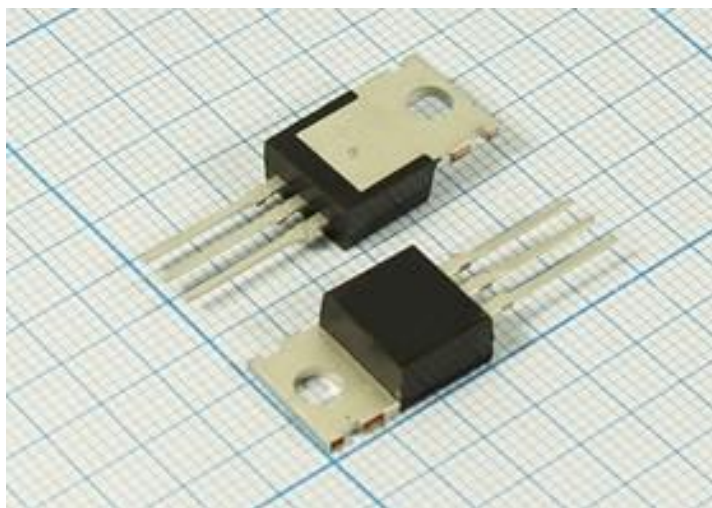


Рисунок 2.14 – Общий вид диода

Произведем выбор конденсаторов C_6 и C_7 исходя из следующих условий:

$$C_6 = C_7 = \frac{q \cdot I_H}{0,01 \cdot U_H \cdot 2\pi \cdot f}, \quad (14)$$

$$C_6 = C_7 = \frac{0,9 \cdot 5}{0,01 \cdot 30 \cdot 2\pi \cdot 50000} = 47,8 \text{ мкФ.}$$

При выборе конденсаторов учитываем, что максимальное напряжение на конденсаторе не должно превышать значения напряжения $U_{d1} = 30 \text{ В}$.

Выбираем в качестве конденсатора C_6 и C_7 конденсатор электролитический K50-35:

- номинальная емкость 100 мкФ;
- рабочее напряжение 50 В.

Произведем выбор параметров Г-образного индуктивно-емкостного фильтра для выходного напряжения однофазного двухполупериодного выпрямителя. Принимаем емкость конденсатора фильтра $C_8=100 \text{ мкФ}$, тогда требуемая индуктивность дросселя [13]:

$$L_1 = \frac{q \cdot U_H}{2\pi \cdot f \cdot 0,1 \cdot I_H}, \quad (15)$$

$$L_1 = \frac{0,9 \cdot 30}{2\pi \cdot 50000 \cdot 0,1 \cdot 5} = 0,172 \text{ мГн.}$$

Принимаем в качестве индуктивности фильтра дроссель B82726S6103N001 [12]:

- номинальная емкость 6,6 мГн;
- номинальный ток 10 А.

Общий вид дросселя представлен на рисунке 2.15.

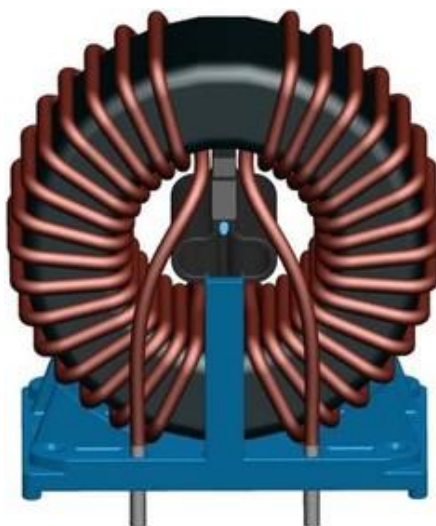


Рисунок 2.17 – Общий вид дросселя

В качестве конденсатора выходного фильтр принимаем конденсатор электролитический K50-35 [12]:

- номинальная емкость 33000 мкФ;
- рабочее напряжение 25 В.

Произведем расчет параметров выходного трансформатора TV2. Определим требуемую мощность выходного трансформатора импульсного блока питания с учетом КПД блока питания $\eta=70\%$:

$$P_{T.ВЫХ} = \frac{P_T}{\eta}, \quad (16)$$

$$P_{T.ВЫХ} = \frac{80}{0,70} = 114,3 \text{ Вт.}$$

Произведем расчет параметров импульсного трансформатора. Максимальная мощность, потребляемая нагрузкой:

$$P_H = U_H \cdot I_H, \quad (17)$$

$$P_H = 5 \cdot 10 = 50 \text{ Вт.}$$

Габаритная мощность импульсного трансформатора:

$$P_{\Gamma} = 1,25 \cdot P_H, \quad (18)$$

$$P_{\Gamma} = 1,25 \cdot 50 = 62,5 \text{ Вт.}$$

С учетом выходного напряжения выпрямителя определим требуемое значение напряжения вторичной обмотки трансформатора с учетом падения напряжения на диодах выпрямителя [14]:

$$U_2 = 1,11 \cdot U_H + \Delta U, \quad (19)$$

где U_H – выходное напряжение выпрямителя, равное 5 В.

$$U_2 = 1,11 \cdot 5 + 2 = 7,6 \text{ В.}$$

Параметры сердечника выходного трансформатора:

$$S_c \cdot S_o = \left(\frac{P_T}{4 \cdot k_\Phi \cdot B_M \cdot f \cdot K_j \cdot K_{\text{и}}} \right)^{\frac{1}{1+y}}, \quad (20)$$

где P_T – номинальная мощность трансформатора, Вт,

K_Φ – коэффициент формы (при импульсном напряжении $K_\Phi=1$),

B_M – максимальное значение индукции в сердечнике, Тл,

f – частота напряжения, Гц,

K_j – плотность тока в обмотке при заданном перегреве для сердечника,
 $K_j = 403 \text{ А/см}^2$,

$K_{\text{и}}$ – коэффициент использования окна сердечника обмоткой, $K_{\text{и}}=0,4$

y – безразмерный показатель степень.

В качестве сердечника принимаем ферритовый сердечник М2000НМ1, магнитная индукция для которого равна 0,2 Тл [11]. Тогда:

$$S_c \cdot S_o = \left(\frac{2 \cdot 62,5}{4 \cdot 1 \cdot 0,2 \cdot 50000 \cdot 403 \cdot 0,4} \right)^{\frac{1}{1-0,12}} = 0,2 \text{ см}^4.$$

Принимаем габариты кольцевого сердечника 20х12х6, для которого: $S_c = 23,48 \text{ мм}^2$, $S_o = 113,09 \text{ мм}^2$ и $(S_c S_o)_{\text{ст}} = 2674 \text{ мм}^4$.

Находим число витков первичной обмотки

$$W_1 = \frac{U_1 \cdot 10^4}{4 \cdot k_\Phi \cdot B_m \cdot f \cdot S_C}, \quad (21)$$

$$W_1 = \frac{30 \cdot 10^4}{4 \cdot 1 \cdot 0,2 \cdot 50000 \cdot 0,2348} = 32 \text{ витка.}$$

Ток в первичной обмотке трансформатора

$$I_1 = \frac{P_H}{\eta \cdot U_1}, \quad (22)$$

$$I_1 = \frac{62,5}{0,95 \cdot 30} = 2,2 \text{ A.}$$

Плотность тока в обмотках:

$$j = K_J \cdot (S_C S_{OK})^y, \quad (23)$$

$$j = 403 \cdot (0,2674)^{-0,12} = 4,72 \frac{\text{A}}{\text{мм}^2}.$$

Сечения и диаметр проводника для первичной обмотки:

$$S_1 = \frac{I_1}{j}, \quad (24)$$

$$S_1 = \frac{2,2}{4,72} = 0,466 \text{ мм}^2.$$

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot S_1}{\pi}}, \quad (25)$$

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,466}{\pi}} = 0,77 \text{ мм.}$$

Выбираем провод ПЭТВ-2 диаметром 0,785 мм и площадью сечения по меди 0,616 мм². Диаметр провода с изоляцией 0,82 мм. Сечение провода с изоляцией 0,644 мм². Площадь всего суммарного сечения первичной обмотки 25,86 мм².

Число витков вторичной обмотки

$$W_2 = W_1 \cdot \frac{U_2}{U_1}, \quad (26)$$

$$W_2 = 32 \cdot \frac{7,6}{30} = 8 \text{ витков.}$$

Сечение провода вторичной обмотки

$$S_2 = \frac{I_H}{j}, \quad (27)$$

$$S_2 = \frac{10}{4,72} = 2,12 \text{ мм}^2.$$

$$d_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot S_2}{\pi}}, \quad (28)$$

$$d_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,12}{\pi}} = 1,64 \text{ мм.}$$

Выбираем провод ПЭТВ-2 диаметром 1,66 мм и площадью сечения по меди 1,795 мм². Диаметр провода с изоляцией 1,72 мм. Сечение провода с изоляцией 1,93 мм². Площадь всего суммарного сечения первичной обмотки 21,2 мм².

Параметры элементов обвязки микросхемы SG3525A принимаем в соответствии с рекомендациями производителя.

2.3 Расчёты проекта на ЭМС и помехоустойчивость в среде САПР

Для анализа и моделирования работы источника постоянного напряжения был использован программный инструмент Multisim, позволяющий точно воспроизвести электрическую схему и исследовать её поведение в различных режимах работы. В программе последовательно собрана схема источника, включающая все необходимые компоненты для выпрямления и стабилизации напряжения.

На рисунке 2.17 показана схема входных выпрямителей, которая представляет собой ключевой элемент модели. Данная схема включает два выпрямителя, выполненные по мостовой конфигурации. Их задача — преобразовать переменное напряжение в пульсирующее постоянное, которое затем используется в системе стабилизации и фильтрации.

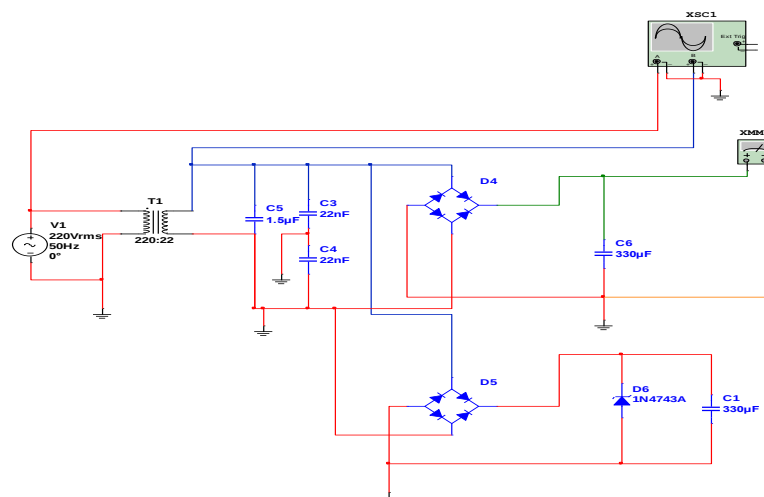


Рисунок 2.17 – Схема входных выпрямителей

Получим осциллограммы выходного напряжения, представленные на рисунке 2.18.

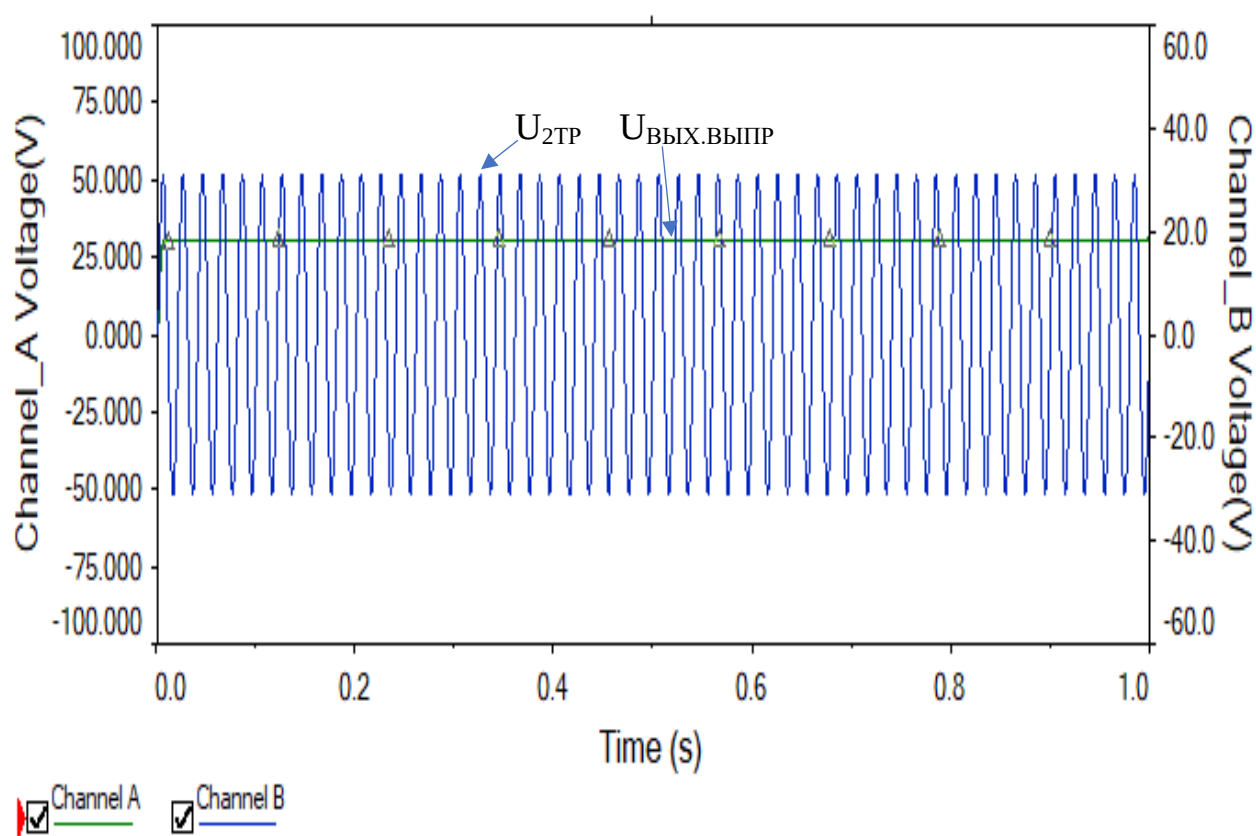


Рисунок 2.18 – Осциллограммы напряжения вторичной обмотки трансформатора и выходного напряжения выпрямителя

Выходное напряжение выпрямителя соответствует требуемому значению, равному 30 В.

Соберем схему источника питания, представленную на рисунке 2.19.

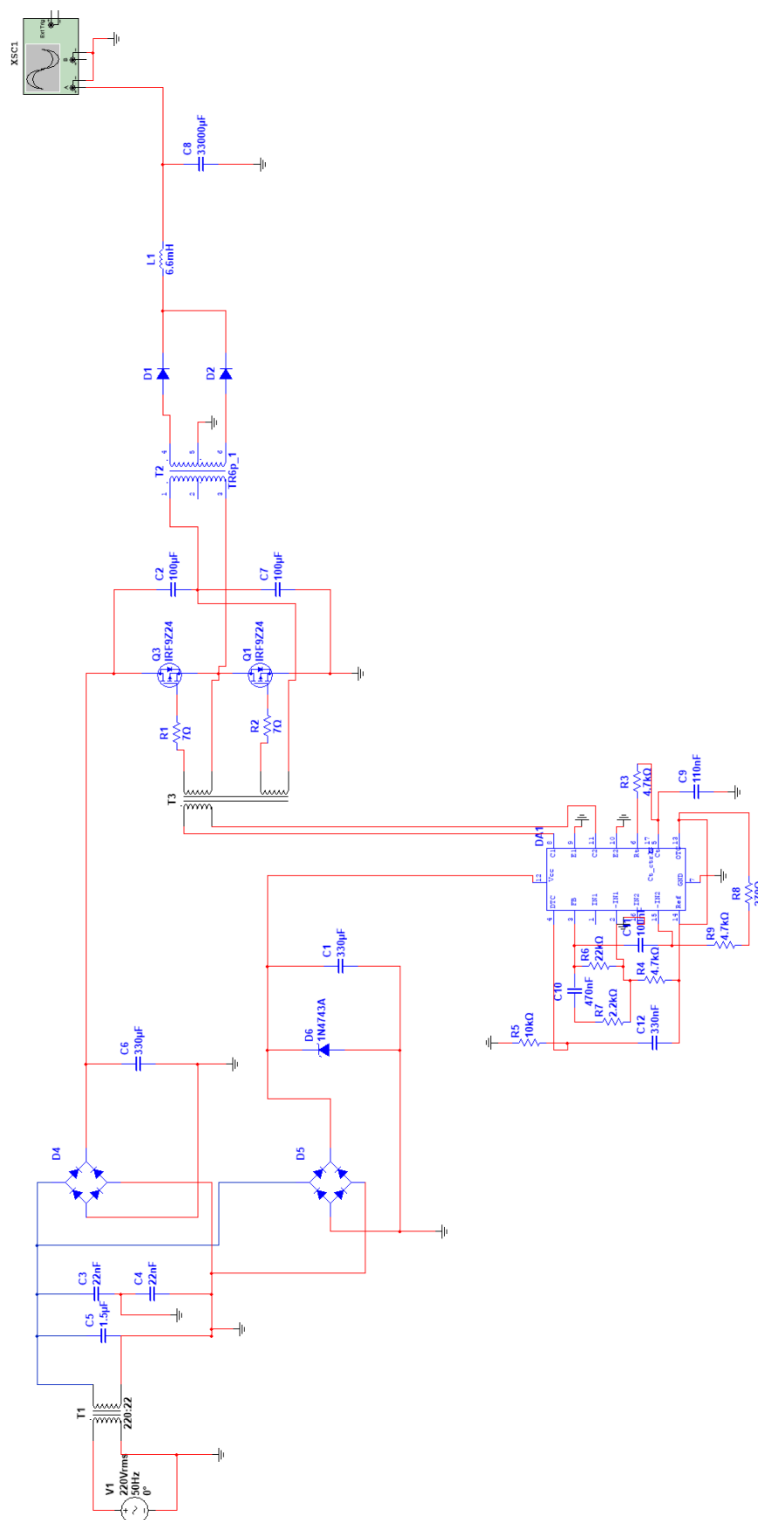


Рисунок 2.19 – Схема источника питания

Получим осциллограммы напряжения на выходе импульсного трансформатора, представленные на рисунке 2.21.

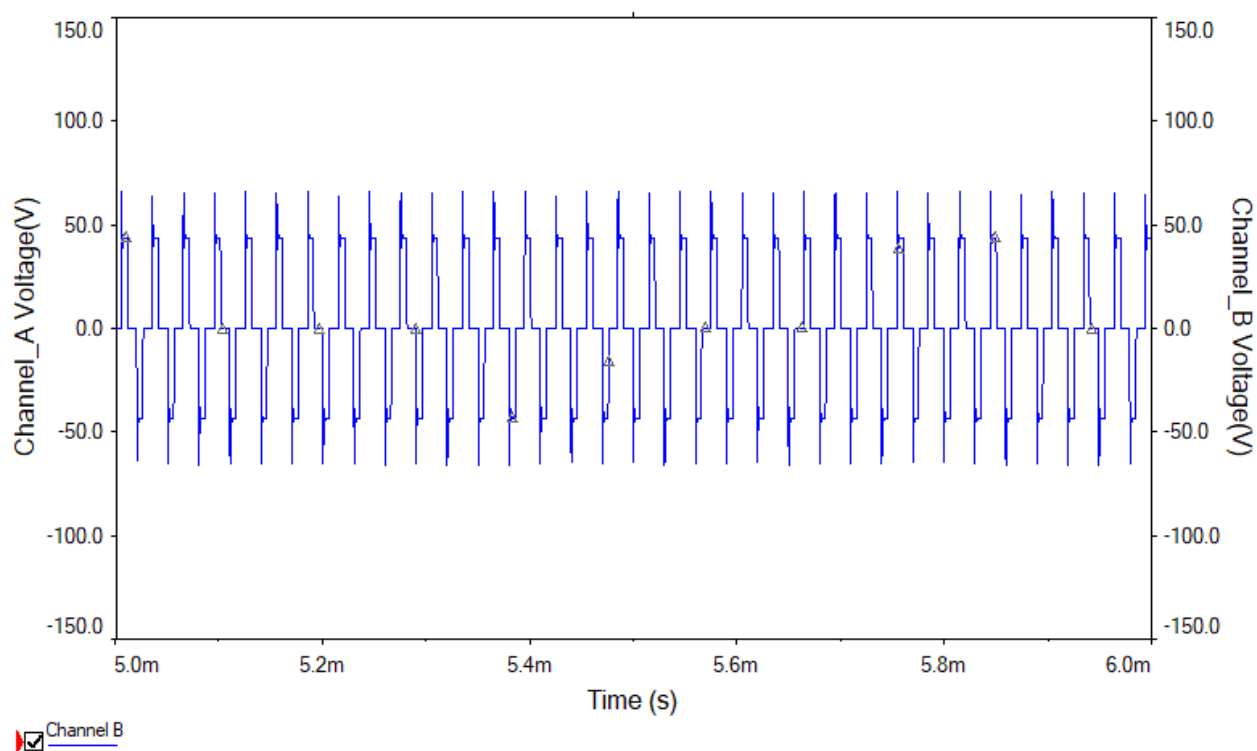


Рисунок 2.21 – Напряжения на выходе импульсного трансформатора

Для оценки параметров разработанного источника питания получим осциллограммы выходного напряжения и выходного тока для двух режимов работы источника:

- работа на холостом ходу (рисунок 2.22);
- работа с номинальной нагрузкой (рисунок 2.23).

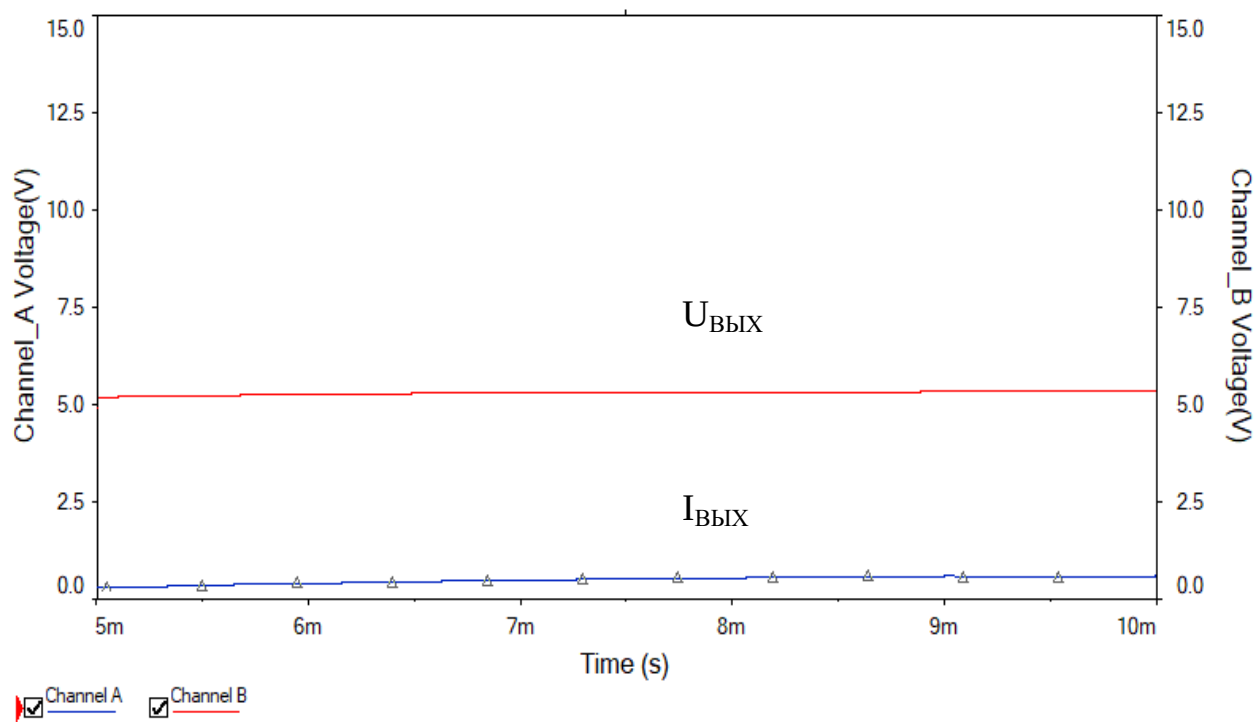


Рисунок 2.22 – Осциллограммы работы источника питания на холостом ходу

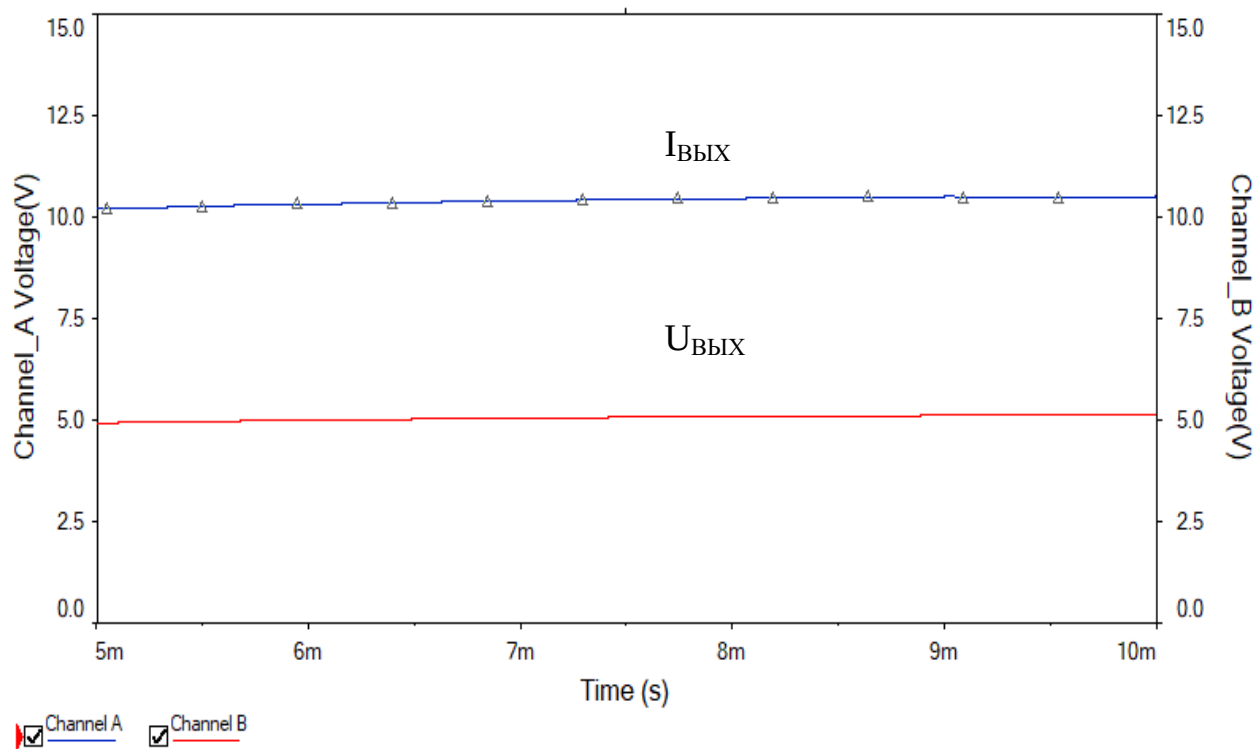


Рисунок 2.23 – Осциллограммы работы источника питания при номинальной нагрузке

Выводы по разделу 2: с учетом принятой схемы источника питания произвели расчет и выбор компонентов для реализации всех компонентов функциональной схемы устройства. Провели моделирование работы схемы в программе Multisim. При анализе результатов моделирования схемы источника питания выходное напряжение при номинальной нагрузке составило 5,1 В и выходной ток при номинальной нагрузке составил 10,2 А.

3 Технологический раздел

3.1 Технология разработки печатной платы

«Первые шаги в создании печатных плат были сделаны в начале XX века, когда немецкий изобретатель Альберт Хансон запатентовал концепцию плоских проводников для многослойных изолирующих плат. Однако на тот момент технологическое развитие и промышленность были не готовы к внедрению этого новаторского электрического компонента» [16, 17].

«Экономические потрясения, вызванные крахом фондового рынка в 1929 году и последующей Великой депрессией, привели к значительным задержкам в развитии печатных плат. Лишь в 1943 году, во время Второй мировой войны, они начали применяться на регулярной основе. Армия США использовала печатные платы для производства бесконтактных предохранителей, которые стали ключевыми элементами военной электроники» [18].

«В это время австрийский изобретатель Пол Эйслер, проживавший в Англии, усовершенствовал концепцию печатных плат, предложив использование медной фольги, закрепленной на непроводящей стеклянной основе. Эта идея значительно приблизила технологию к современному виду печатных плат.

После завершения войны в 1948 году началось коммерческое производство печатных плат. Однако настоящий прорыв произошел в 1950-х годах, когда армия США разработала автоматизированный процесс сборки, что позволило наладить массовое производство и сделать печатные платы доступными для гражданской электроники.

В 1950-х и 1960-х годах технология продолжала развиваться. Hazeltine Corporation в 1959 году запатентовала первую систему с применением технологии сквозных отверстий, которая обеспечивала более надежное

соединение компонентов без использования перекрестных соединений. Одновременно с этим IBM разработала технологию поверхностного монтажа, открывшую новые возможности для компактных и сложных электронных устройств» [18].

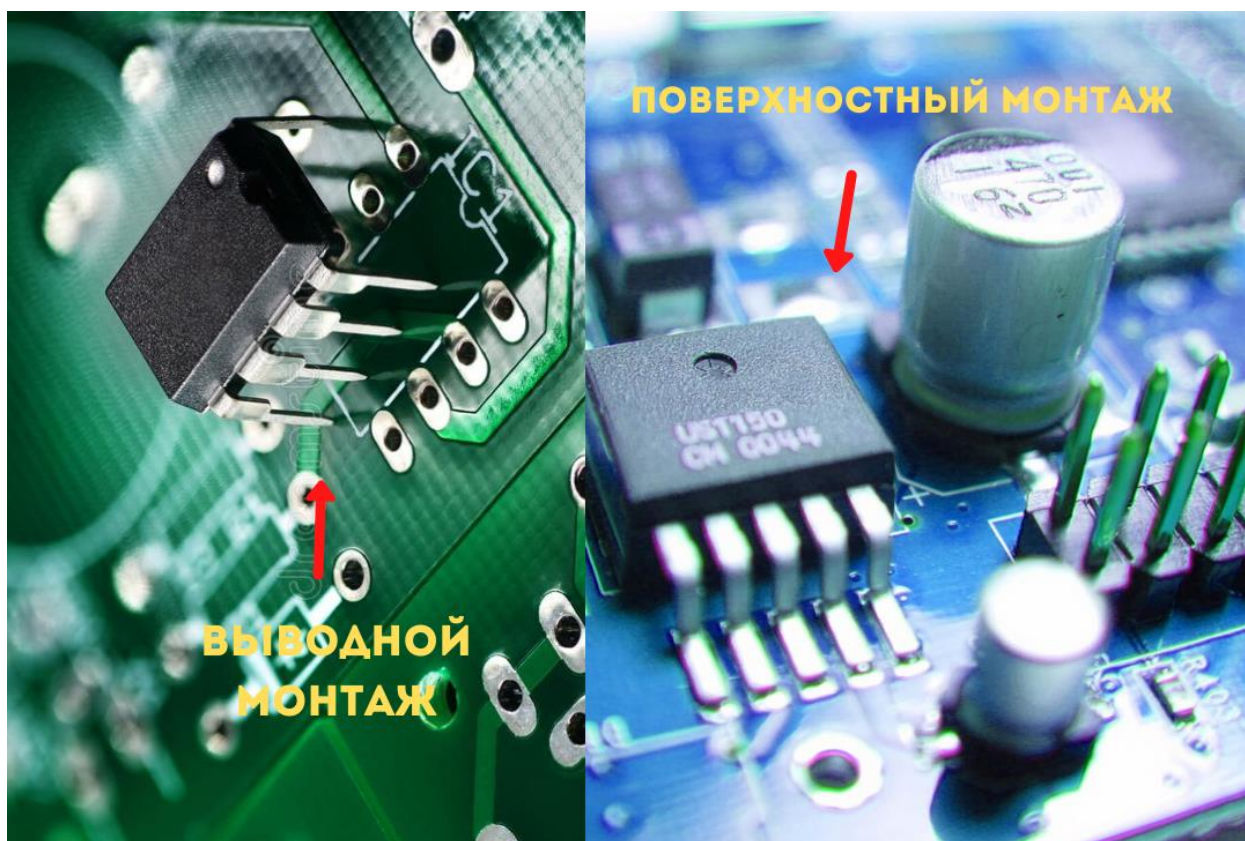
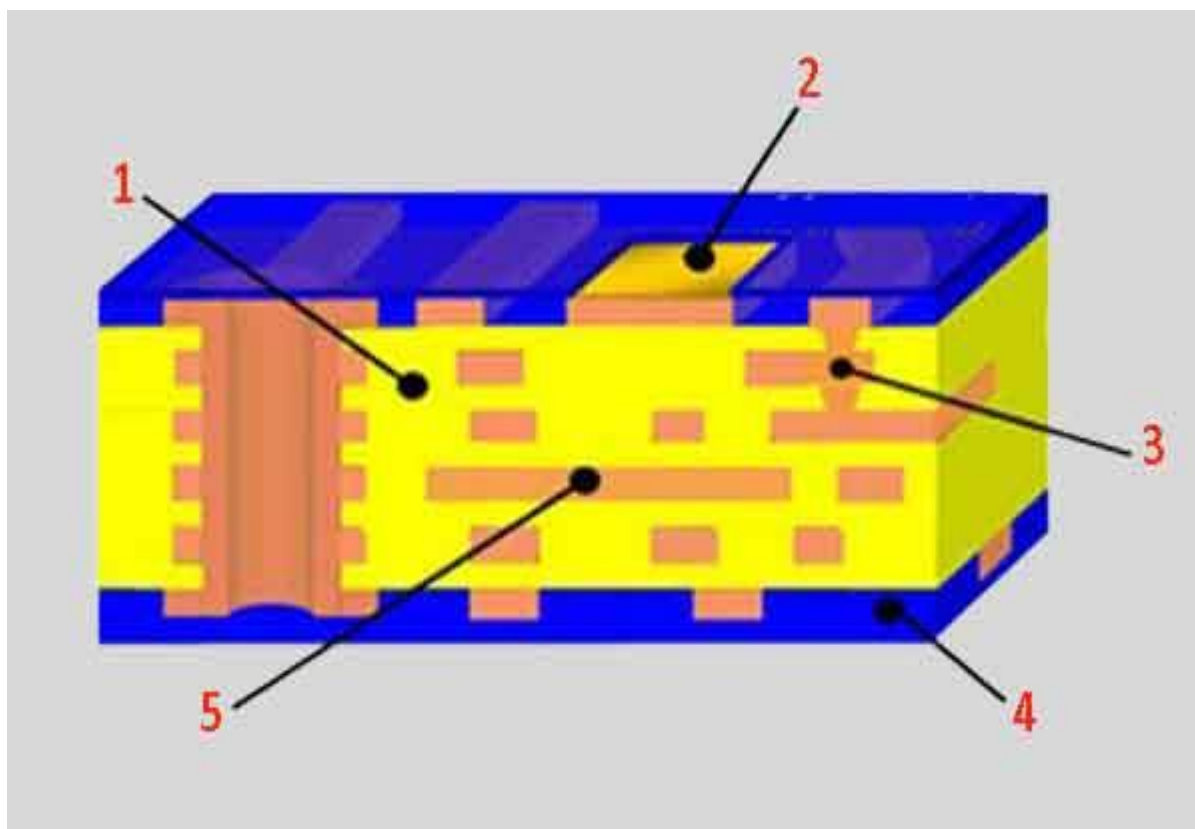


Рисунок 3.1 – Технология поверхностного монтажа

Состав печатной платы представлен на рисунке 3.2.

Печатная плата состоит из четырех основных частей [19]:

- 1) Подложка. Ключевым и наиболее важным элементом печатной платы является материал подложки, который обычно изготавливается из стекловолокна. Этот материал выбран благодаря своим уникальным характеристикам, обеспечивающим надежность и долговечность конструкции.



1 — диэлектрический материал; 2 — верхнее покрытие; 3 — материал сквозных отверстий; 4 — маска припоя; 5 — материал кольцевого контура

Рисунок 3.2 – Состав печатной платы

- 2) Медный слой.
- 3) Паяльная маска.
- 4) Шелкография.

«Подложка печатной платы чаще всего изготавливается из тканого стекловолокна, пропитанного огнестойким связующим на основе эпоксидной смолы. Эта комбинация обеспечивает практически нулевое водопоглощение, высокую механическую прочность при минимальном весе, а также отличные изоляционные свойства вне зависимости от уровня влажности окружающей среды. Одним из ключевых компонентов, придающих материалу огнестойкость, является бром, широко используемый в производстве компонентов печатных плат» [19].

Стеклотекстолит является самым популярным материалом для подложек, поскольку он прост в производстве и экономичен, что делает его доступным для массового применения. Однако выбор подложки зависит от условий эксплуатации платы, выделенного бюджета и требуемых характеристик схемы. В зависимости от конкретных требований могут использоваться альтернативные материалы с особыми свойствами.

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 импорта перечня соединений» [20, 21].

Получим изображение посадочных мест и связей между элементами, представленных на рисунке 3.3.

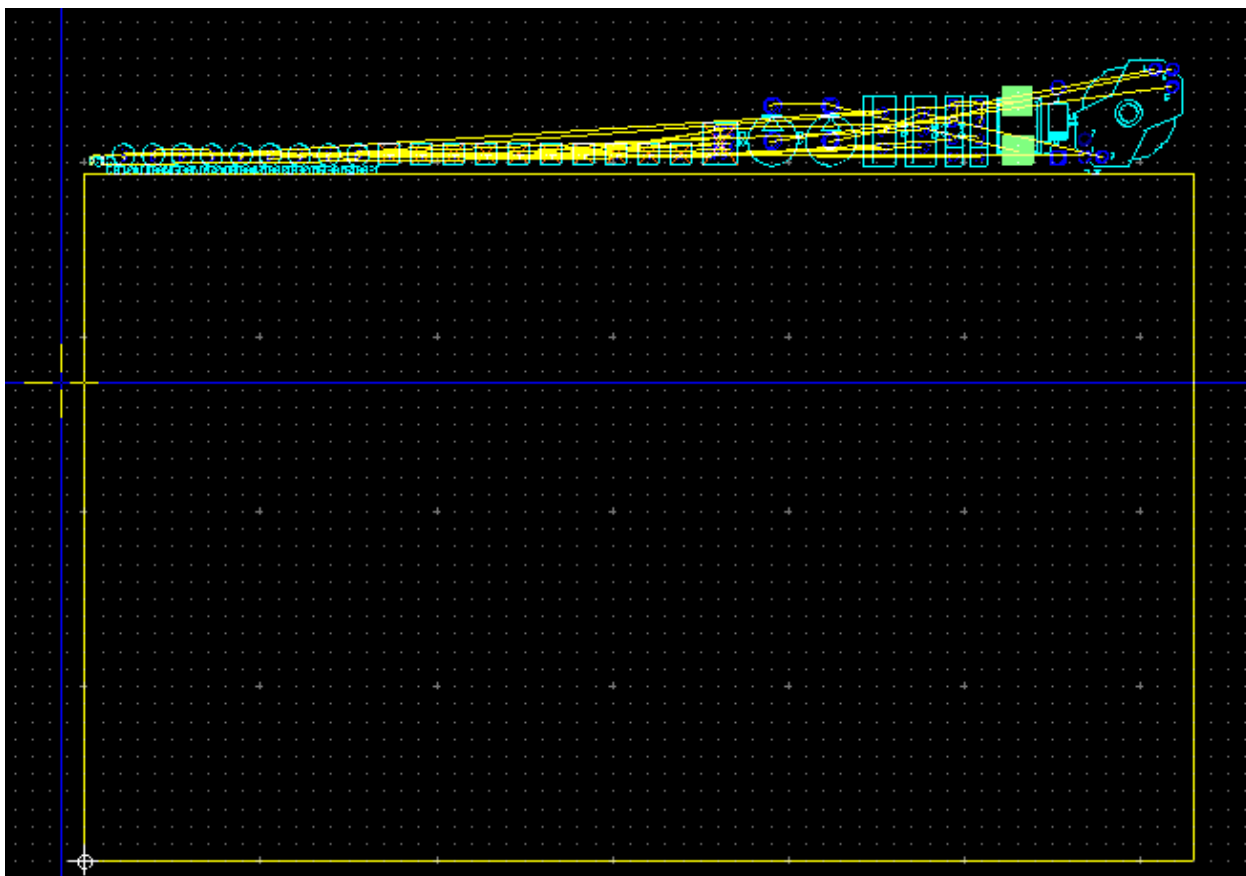


Рисунок 3.3 - Изображение посадочных мест и связей между элементами платы

«Для дальнейшего преобразования схемы произведем настройку программы. Первое, что следует сделать – открыть меню «Вид» и разрешить отображение тех элементов, которые отмечены красными стрелками» [21].

«Переходим к вкладке «Установки»-«Установки конструирования платы», имеющее в своем составе восемь подвкладок (рисунок 3.4). 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» [21].

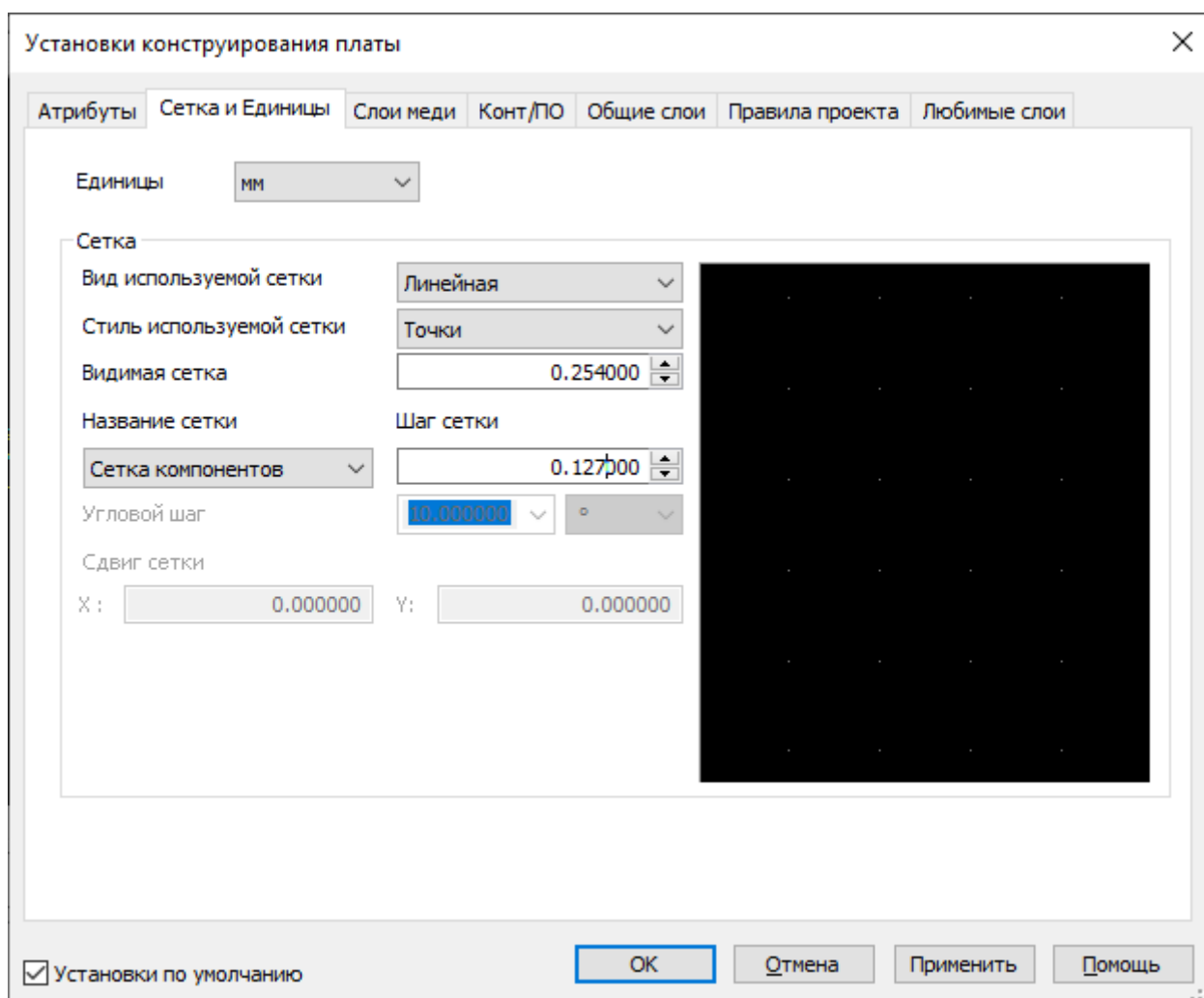


Рисунок 3.4 - Настройка программы NI Ultiboard, меню «Установка и конструирование платы», вкладка «Сетка и Единицы»

«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» [22].

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

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

«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 (рисунок 3.5). «Шелкография, верх» и «Контур платы», а также «Маска пасты, верх». Нажав на «Инструментарий» – «Вид 3D» можно посмотреть объемное изображение готового устройства» [22].

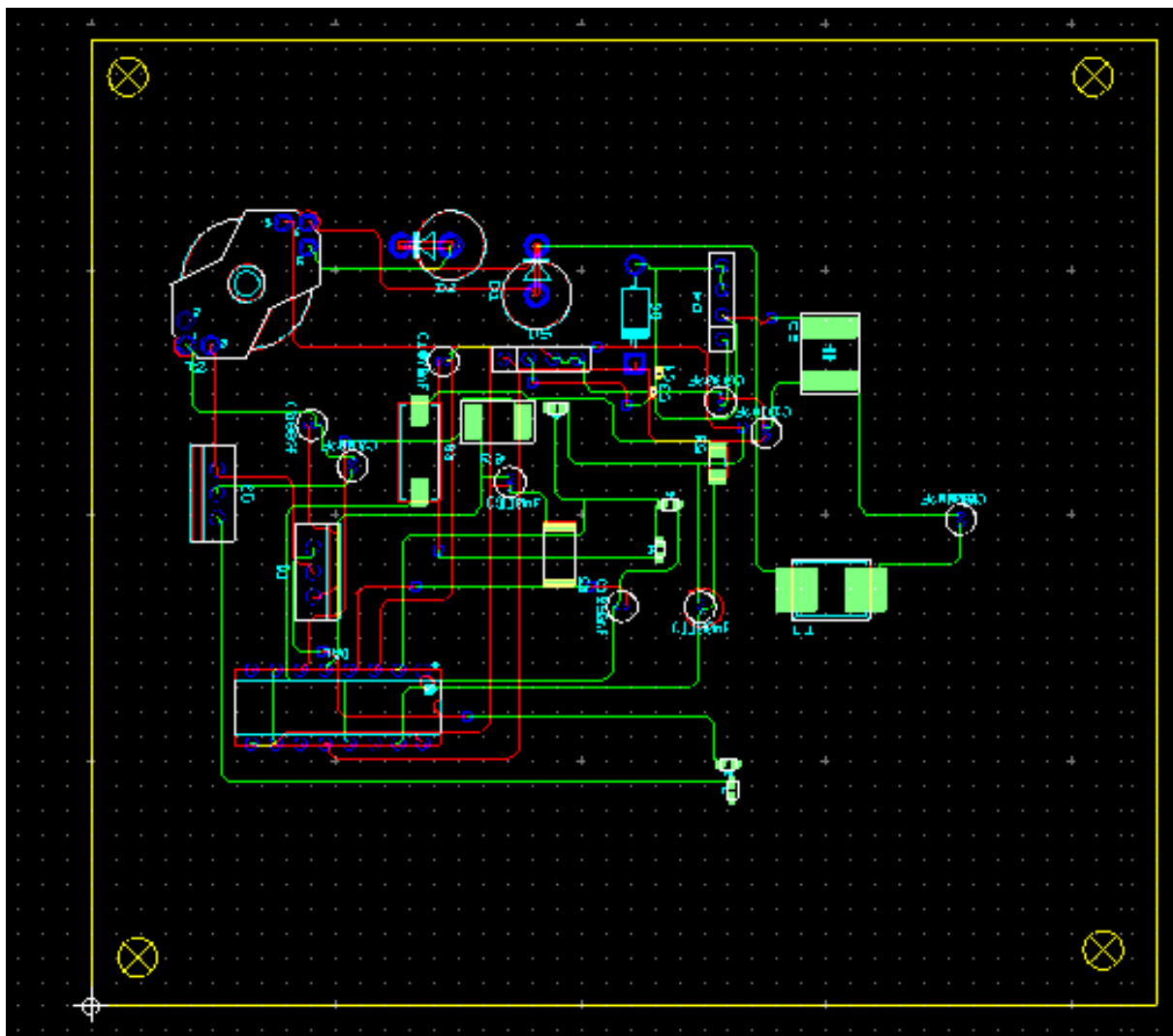


Рисунок 3.5 - Контур платы

Размеры платы составляют 100 x 100 мм. Крепление печатной платы осуществляется к корпусу источника питания при помощи 4 винтов, для которых предусмотрены соответствующие технологические отверстия.

Принимаем следующие размеры печатных проводников:

- для печатных проводников, обеспечивающих протекание тока до 10 А принимаем ширину 10 мм;
- для выполнения линий связи на печатной плату ширину печатных проводников принимаем равной 0,8 мм.

На рисунке 3.6 представлена 3D-модель печатной платы.



Рисунок 3.6 - 3D-модель устройства

Разработанная модель печатной платы может быть использована для изготовления реальной платы устройства. Изготовление печатной платы осуществляется с помощью электрохимического метода, который включает несколько последовательных этапов.

Первым шагом является химическое растворение незащищенной медной фольги, что позволяет сформировать нужные проводящие дорожки и участки. На этом этапе медь удаляется с тех областей платы, которые не будут использоваться для соединений, оставляя только те участки, которые должны выполнять роль проводников.

После этого сверлятся монтажные и переходные отверстия, которые необходимы для установки компонентов и подключения различных слоев платы. Эти отверстия могут быть как сквозными (для многослойных плат), так и местными (для однослойных).

На следующем этапе производится обслуживание проводников, то есть их дополнительная обработка для устранения дефектов и повышения

проводимости. В некоторых случаях могут быть использованы дополнительные технологии для улучшения качества проводников, такие как напыление или гальванизация.

«Участки платы, которые не будут подвергаться пайке, защищаются с помощью защитного лака. Это предотвращает коррозию и повреждение этих участков, а также снижает риск коротких замыканий в процессе эксплуатации. Лак наносится на неиспользуемые или изолированные участки, обеспечивая долговечность и надежность устройства в целом» [22].

Выводы по разделу 3: 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 процессе выполнения данной ВКР была спроектирована схема ЭЗ и разработана печатная плата импульсного блока питания, обеспечивающего стабильное выходное напряжение до 5 В и выходной ток до 10 А. Важным этапом работы стало изучение различных типов блоков питания, с особым вниманием к различиям между линейными и импульсными конструкциями. Это позволило выбрать оптимальный вариант для достижения заявленных характеристик по напряжению и току.

После анализа существующих решений было принято решение о создании импульсного блока питания, что обеспечивало более высокую эффективность и компактность устройства. На следующем этапе было выполнено проектирование схемы ЭЗ блока питания, в соответствии с техническим заданием ВКР. В ходе работы был проведен подбор необходимых компонентов, что позволило точно соответствовать заявленным требованиям по выходным параметрам и обеспечить надежную работу устройства в условиях максимальной нагрузки.

На основании вышеизложенного была спроектирована печатная плата в САПР Multisim, где было выполнены расчеты на электромагнитную совместимость и помехоустойчивость. Итоги расчетов позволили сравнить полученные значения с заявленными требованиями, как было установлено, что подобранные элементы и спроектированная печатная плата удовлетворяет требованиям блока питания постоянного напряжения.

В САПР Multisim выполнено проектирование печатной импульсного платы блока питания в соответствии с размерами корпусов используемых компонентов, также выполнена разводка всех цепей питания печатной платы. Проект в виде 3D модели печатной платы также представлен для обозрения.

Все требования, установленные для импульсного блока питания постоянного напряжения были соблюдены в соответствии с ГОСТ.

Список используемой литературы и используемых источников

- 1 Опадчий Ю.Ф., Глудкин О.П., Гуров А.И. Аналоговая и цифровая электроника Учебник для ВУЗов. — Под ред. О.П. Глудкина. — М.: Радио и связь, 1996. — 768 с.: ил. — ISBN 5-256-01247-9.
- 2 Гальперин М.В. Электронная техника Учебник. — 2-е изд., испр. и доп. — М.: Форум, Инфра-М, 2010. — 352 с.: ил. — (Профессиональное образование). — ISBN: 978-5-8199-0176-2 (Форум), ISBN: 978-5-16-002314-4 (Инфра-М).
- 3 Кучеров Д.П. Источники питания ПК и периферии 4-е издание, переработанное и дополненное. — Санкт-Петербург: Наука и Техника, 2005. — 432 с. — (Профи). — ISBN 5-94387-356-2.
- 4 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.
- 5 Найвельт Г.С. (ред.) Источники электропитания радиоэлектронной аппаратуры Справочник. — Г.С. Найвельт, 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.
- 6 Шмаков С.Б. Как создать источники питания своими руками Санкт-Петербург: Наука и Техника, 2013. — 288 с. — ISBN: 978-5-94387-834-3.
- 7 Овчинников Н.И. Основы радиотехники М.: Военное издательство Минобороны СССР, 1968. — 408 с.
- 8 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.

9 Шевцов Д.А. Источники вторичного электропитания на основе высокочастотных транзисторных преобразователей постоянного напряжения Учебное пособие. — Москва: МАИ, 2003. — 60 с.

10 Попов В.Н. Расчет электронных устройств: учебно-метод. пособие / В.Н. Попов. — Кострома: Изд-во Костром. гос. технол. ун-та, 2009. - 18 с.

11 ГОСТ 16541-76. Сердечники кольцевые из магнитомягких ферритов. Основные размеры.

12 Электронные компоненты <https://www.chipdip.ru/> (дата обращения 31.05.2024).

13 Данилин, А. А. Измерения в радиоэлектронике / А. А. Данилин, Н. С. Лавренко. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2023. — 408 с. — ISBN 978-5-507-45731-1.

14 Изъюрова Г.И. и др. «Расчет электронных схем» М.: Высшая школа, 1987г. — 335с., ил.

15 Руководящий документ РД50-708-91 «Инструкция. Платы печатные. Требования к конструированию». Госстандарт СССР 1992г.

16 Мелешин В.И. Транзисторная преобразовательная техника. — М.: Техносфера, 2005. — 632 с.

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

18 Розенблат М.Г., Михайлов Г.Х. Источники калиброванных напряжений постоянного тока М.: Энергия, 1976. - 208 с. с ил.

19 Массовая радиобиблиотека. Выпуск 0857. Журавлев А.А., Мазель К.Б. Преобразователи постоянного напряжения на транзисторах 3-е издание, переработанное и дополненное. — Москва: Энергия, 1974. — 88 с.: ил.

20 Кудряков С.А. и др. Основы компьютерного моделирования радиоэлектронных систем и сигналов. Multisim, MatLAB, Simulink и Mmana

Gal Учебное пособие. Примеры моделирования. — СПб.: Университет гражданской авиации, 2018. — 301 с.

21 Шегал А.А. Применение программного комплекса Multisim для проектирования устройств на микроконтроллерах Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. — 116 с. — ISBN: 978-5-7996-1117-0.

22 Mitolo M. Simulation-based Labs for Circuit Analysis: Discovering Circuits with Multisim Live and Tinkercad River Publishers, 2024. — 451 p.

23 Хернитер М.Е. Multisim 7. Современная система компьютерного моделирования и анализа схем электронных устройств Пер. с англ. Осипов А.И. — М.: ДМК Пресс, 2006. — 488 с.: ил. — ISBN 5-9706-0026-1.