



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

ФАКУЛЬТЕТ _____ «Радиоэлектроника и лазерная техника» _____

КАФЕДРА _____ «Радиоэлектронные системы и устройства» _____

РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

К КУРСОВОМУ ПРОЕКТУ

НА ТЕМУ:

«Лабораторный макет для исследования
низковольтного импульсного модулятора»

Студент _____ РЛ1-71 _____
(Группа)

_____ Баранов Д.С.
(Подпись, дата) (И.О.Фамилия)

Руководитель курсового проекта

_____ к.т.н. Родин М.В.
(Подпись, дата) (И.О.Фамилия)

Консультант

_____ (Подпись, дата) (И.О.Фамилия)

2021 г.

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)**

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой _____
(Индекс)

(И.О.Фамилия)
« ____ » _____ 20 ____ г.

**З А Д А Н И Е
на выполнение курсового проекта**

по дисциплине Основы конструирования и технологии производства РЭС

Студент группы РЛ1-71

Баранов Данила Сергеевич
(Фамилия, имя, отчество)

Тема курсового проекта: Лабораторный макет для исследования низковольтного импульсного модулятора

Направленность КП (учебный, исследовательский, практический, производственный, др.)
учебный

Источник тематики (кафедра, предприятие, НИР) кафедра РЛ1

График выполнения проекта: 25% к 8 нед., 50% к 10 нед., 75% к 12 нед., 100% к 16 нед.

Задание: В соответствии с выданным руководителем эскизом принципиальной схемы разработать двустороннюю печатную плату лабораторного макета для исследования низковольтного импульсного модулятора на отечественной элементной базе. Разработку принципиальной схемы и проектирование платы вести в программе Altium Designer. Электрические характеристики модулятора задаются руководителем и приводятся в тексте расчетно-пояснительной записки. Габариты и масса лабораторного макета должны быть минимально возможными. При выборе элементной базы отдавать предпочтение выводным компонентам с учетом их тепловых режимов.

Список литературы для обязательного ознакомления:

1. Проектирование источников электропитания электронной аппаратуры / О.К. Березин, В.Г. Костиков, Е.М. Парфенов и др.; под ред. В.А. Шахнова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 504 с.

2. Пирогова Е.В. Проектирование и технология печатных плат. – М.: ИНФРА-М, 2005. – 560 с.

3. Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры / К.И. Билибин, А.И. Власов, Л.В. Журавлева и др.; под ред. В.А. Шахнова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 568 с.

Список государственных стандартов для обязательной проработки: ГОСТ 2.119-2013, ГОСТ 7.32-2017, ГОСТ 2.102-2013, ГОСТ 2.105-95, ГОСТ Р 7.0.5-2008, ГОСТ Р 54073-2010.

Рекомендуется применение следующих компьютерных программ: КОМПАС, Altium Designer.

Оформление курсового проекта:

Расчетно-пояснительная записка на 25 листах формата А4.

Расчетно-пояснительная записка должна включать в себя:

1. Введение (актуальность разработки, решаемые задачи и т. д.). 2. Основная часть (разработка схемы электрической принципиальной, расчет основных элементов схемы, обоснование применения той

или иной элементной базы, тепловые расчеты, проработка конструкторских вопросов). 3. Заключение (соответствие результатов техническому заданию, практическая ценность разработки). 4. Список использованной литературы 5. Приложения (со схемами).

Перечень графического (иллюстративного) материала (чертежи, плакаты, слайды и т.п.):

1. Схема электрическая функциональная. 2. Схема электрическая принципиальная с перечнем элементов. 3. Топология и чертеж печатной платы. 4. Сборочный чертеж печатной платы со спецификацией. 5. Слайды презентации в Power Point.

Дата выдачи задания « 2 » октября 2021 г.

Руководитель курсового проекта

(Подпись, дата) к.т.н. Родин М.В.
(И.О.Фамилия)

Студент

(Подпись, дата) Баранов Д.С.
(И.О.Фамилия)

Примечание: Задание оформляется в двух экземплярах: один выдается студенту, второй хранится на кафедре.

РЕФЕРАТ

Расчётно-пояснительная записка к курсовому проекту по дисциплине «Основы конструирования и технологии производства радиоэлектронных средств» 25 с., 10 рис., 1 таблица, 4 использованных источника.

ЛАБОРАТОРНЫЙ МАКЕТ, НИЗКОВОЛЬТНЫЙ ИМПУЛЬСНЫЙ МОДУЛЯТОР, ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ, ТОПОЛОГИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ, ТЕПЛОВОЙ РАСЧЁТ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ

Объект исследования – лабораторный макет низковольтного импульсного модулятора.

Цель работы – в соответствии с выданным руководителем эскизом принципиальной схемы разработать двустороннюю печатную плату лабораторного макета для исследования низковольтного импульсного модулятора.

В результате исследования была разработана двусторонняя печатная плата (габаритные размеры: 70 мм; 36,5 мм; 1,5мм) в программной среде Altium Designer, подобрана элементная база, проведен тепловой расчёт элементов платы, подготовлена и оформлена конструкторская документация.

В работе были использованы следующие программные продукты: Altium Designer, Microcap 12, Microsoft Word, Microsoft PowerPoint, Компас 3D.

СОДЕРЖАНИЕ

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ	6
ВВЕДЕНИЕ	7
1 Общие теоретические сведения об импульсном модуляторе, схема лабораторного макета	8
2 Компонентная база, тепловые расчёты параметров схемы, работа с библиотеками Altium	12
2.1 Тепловой расчёт режима работы компонентов, вопросы охлаждения ...	12
2.2 Работа с библиотеками УГО и посадочных мест в Altium Designer.....	14
3 Работа с проектом Altium – принципиальная схема, проектирование печатной платы.....	16
3.1 Создание принципиальной схемы, печатной платы, топология	16
3.2 Формирование конструкторской документации.....	19
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	20
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	21
Приложение А Исследование импульсного модулятора в программе Microcap 12	22
Приложение Б Конструкторская документация проекта	23

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

ИМ	—	импульсный модулятор
ИЭП	—	источник импульсного электропитания
К	—	коммутатор
НЭ	—	накопительный элемент
РЭА	—	радиоэлектронная аппаратура
СУ	—	схема управления
УГО	—	условно графическое обозначение

ВВЕДЕНИЕ

Все устройства, обеспечивающие радиоэлектронную аппаратуру (РЭА) электропитанием, по типу нагрузки подразделяют на обеспечивающие на своем выходе непрерывную либо импульсную мощность. Последние называются устройствами импульсного электропитания. Таким образом, в отличие от нагрузки, непрерывно потребляющей одно и то же количество электроэнергии, нагрузка импульсного характера потребляет электрическую энергию лишь в небольшие отрезки времени. Импульсное электропитание широко применяется в различных областях современной науки и техники: в технологиях обработки материалов, установках экспериментальной физики, медицинском оборудовании, промышленных озонаторах, лазерах, радиолокационных системах, электромагнитном оружии и т. д. Для электропитания импульсной нагрузки чаще всего применяют способ, подразумевающий использование импульсного источника электропитания (ИЭП), у которого выходная мощность сравнима со средним значением мощности формируемого импульса за период.

В данной работе рассматривается импульсный модулятор – устройство импульсного электропитания, обеспечивающее на своём выходе импульсную мощность.

1 Общие теоретические сведения об импульсном модуляторе, схема лабораторного макета

Простейший вариант функциональной схемы ИЭП, использующего накопление электроэнергии, представлен на рисунке 1.1.

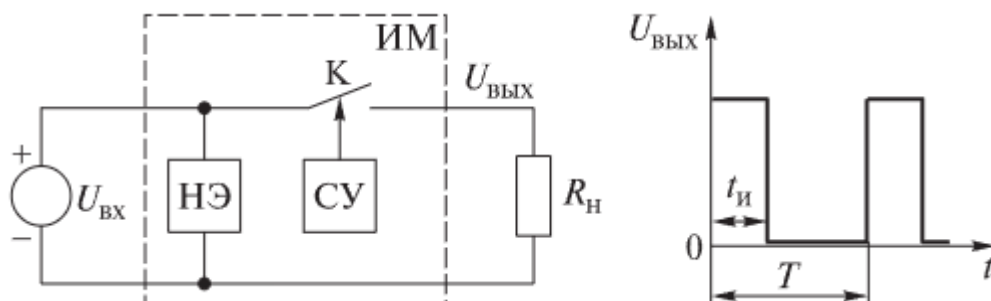


Рисунок 1.1 – Функциональная схема ИЭП с накоплением электроэнергии и осциллограмма его выходного напряжения

В разомкнутом положении управляемого коммутатора K происходит накопление электроэнергии, т. е. заряд накопительного элемента (НЭ) от источника напряжения $U_{ВХ}$ в течение времени $T - t_{и}$. В замкнутом положении коммутатора K накопленная электроэнергия расходуется в течение длительности импульса напряжения электропитания $t_{и}$. Накопитель электроэнергии и управляемый под действием системы управления (СУ) коммутатор обычно рассматривают как один функциональный каскад, называемый импульсным модулятором (ИМ). Роль НЭ могут выполнять реактивные элементы: обычно это катушки индуктивности и конденсаторы. В современных ИМ чаще всего используют емкостные НЭ. В общем случае ИМ преобразует электроэнергию с выхода НЭ в электроэнергию с параметрами, требуемыми нагрузкой, и выполняет функцию вывода этой электроэнергии. Кроме того, ИМ необходимо для управления формой импульса электропитания. Таким образом, управляемый коммутатор K в схеме ИЭП обеспечивает поступление в нагрузку R_H электроэнергии от НЭ. При замкнутом коммутаторе в нагрузке формируется импульс напряжения $U_{ВЫХ}$, при разомкнутом – напряжения $U_{ВЫХ}$, в нагрузке нет. В качестве управляемых коммутаторов

широко используют МОП-транзисторы, а также биполярные транзисторы с изолированным затвором.

Структурная схема лабораторного стенда приведена на рисунке 1.2. В его состав входят:

1. Лабораторный макет;
2. Осциллограф АКИП-4115/1А;
3. Вольтметр В7-38;
4. Генератор импульсов Г5-63;
5. Блок питания Б5-47.

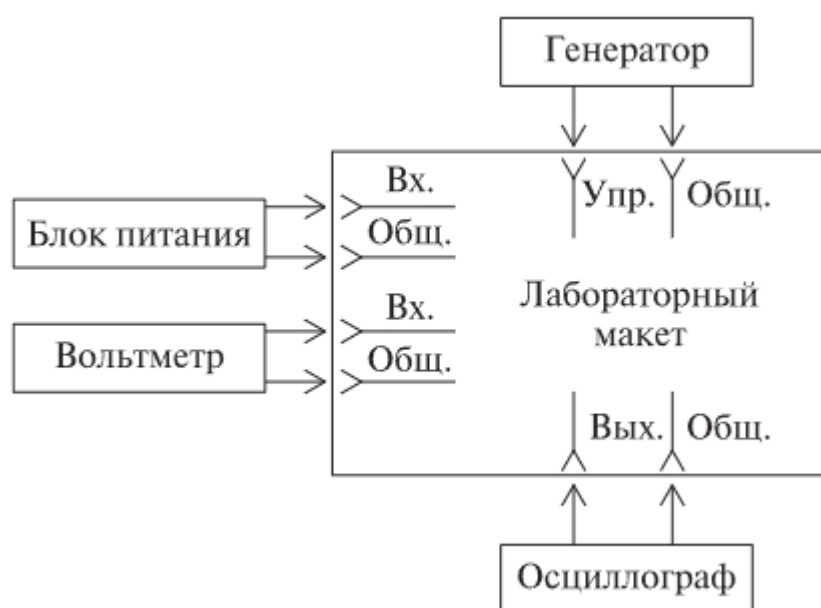


Рисунок 1.2 – Структурная схема лабораторного стенда

Блок питания предназначен для заряда емкостного накопителя. Его выходное напряжения должно составлять 12 ± 1 В, максимальный ток – 1А. Генератор сигналов обеспечивает подачу управляющих импульсов напряжения. Временные параметры управляющих импульсов совпадают с соответствующими параметрами импульсов напряжения на выходе импульсного модулятора. Лицевая панель лабораторного макета, приведенная на рисунке 1.3, содержит его упрощенную принципиальную схему, органы управления и гнезда для подключения средств измерения, блока питания и генератора.

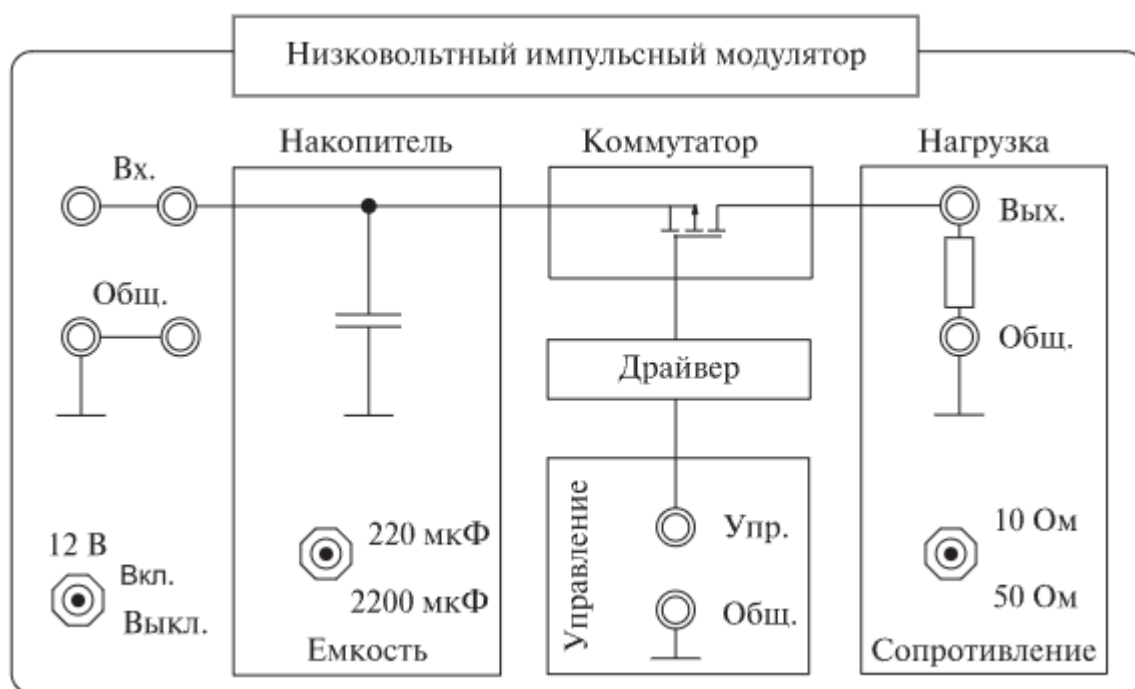


Рисунок 1.3 – Лицевая панель лабораторного макета для исследования низковольтного импульсного модулятора

В макете предусмотрена возможность дискретного изменения сопротивления нагрузки модулятора и емкости накопителя. Тумблер «Емкость» позволяет изменять емкость накопителя (220 или 2200 мкФ), тумблер «Сопротивление» – сопротивление нагрузки (50 или 10 Ом). Принципиальная схема лабораторного макета приведена на рисунке 1.4. Основу макета составляет схема ИМ с емкостным накопителем, включенным параллельно нагрузке. В качестве коммутатора использован р-канальный МОП-транзистор VT3, управляемый посредством драйвера (транзисторы VT1 и VT 2) от генератора сигналов. Заряд накопительного конденсатора (C1 и C2) осуществляется от блока питания через резистор R1, ограничивающий ток заряда. Для защиты модулятора от перенапряжения на входе предусмотрен супрессор VD1. Как только напряжение на входе модулятора превысит допустимое значение, ток через супрессор резко увеличится, и сработает предохранитель FU1, который отключит схему макета от источника входного напряжения.

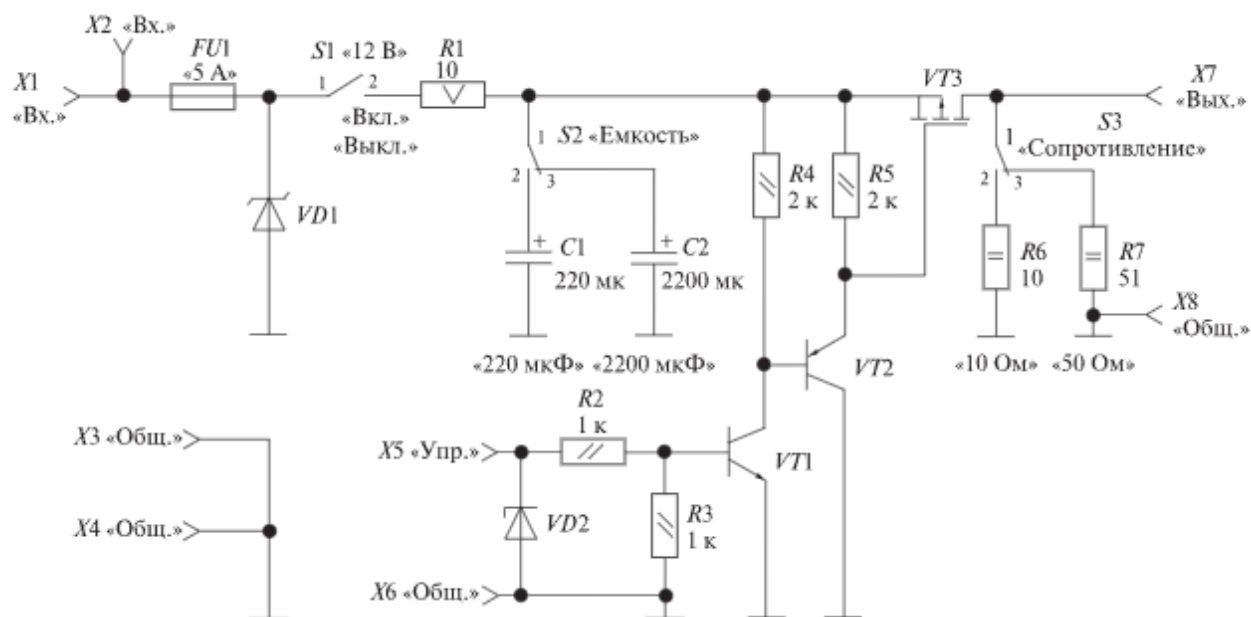


Рисунок 1.4 – Принципиальная схема лабораторного макета

В соответствии с данной принципиальной схемой ведутся все исследования в данной работе.

2 Компонентная база, тепловые расчёты параметров схемы, работа с библиотеками Altium

Важным вопросом при создании изделия радиоэлектронной промышленности является вопрос выбора компонентной базы. Радиоэлектронные компоненты должны соответствовать заданным параметрам, которые определяются принципиальной схемой устройства. В данном разделе рассматриваются вопросы теплового режима работы, принимается решение о необходимости обеспечения охлаждения, описываются методы работы с библиотеками условно графических обозначений (УГО) и посадочных мест в программе Altium Designer.

2.1 Тепловой расчёт режима работы компонентов, вопросы охлаждения

Алгоритм работы на данном этапе можно представить следующим образом:

1. Моделирование схемы лабораторного макета в программе Microcap 12 (Приложение А).
2. Определение мощности на каждом компоненте схемы $P_{\text{комп.мод}}$.
3. Сравнение мощности на компоненте, полученной в результате моделирования $P_{\text{комп.мод}}$, с мощностью, указанной в спецификации на компонент $P_{\text{комп.спец}}$.
4. Принятие решения о целесообразности использования охлаждения ($P_{\text{комп.мод}} < P_{\text{комп.спец}}$ – охлаждение не требуется, $P_{\text{комп.мод}} > P_{\text{комп.спец}}$ – охлаждение требуется).

Для удобства представления информации данные занесены в таблицу 1 (обозначения компонентов соответствуют принципиальной схеме ИМ – рисунок 1.4). При разных конфигурациях схемы параметры мощности на компонентах разные, в таблице указываются наибольшие значения $P_{\text{комп.мод}}$.

Таблица 1 – Тепловой режим работы компонентов, охлаждение

<div> <div>Параметр</div> <div>Компонент</div> </div>	$P_{\text{комп.мод}}$	$P_{\text{комп.спец}}$	Потребность в охлаждении
C1	3,7 Вт	4 Вт	Не требуется
C2	1,66 Вт	2 Вт	Не требуется
FU1	3,726 Вт	1250 Вт	Не требуется
R1	3,726 Вт	5 Вт	Не требуется
R2	0,019 Вт	0,125 Вт	Не требуется
R3	0,06 мВт	0,125 Вт	Не требуется
R4	0,071 Вт	0,125 Вт	Не требуется
R5	0,064 Вт	0,125 Вт	Не требуется
R6	1,8 Вт	2 Вт	Не требуется
R7	1,3 Вт	2 Вт	Не требуется
VD1	54 нВт	1 Вт	Не требуется
VD2	61 мкВт	1 Вт	Не требуется
VT1	2,5 Вт	10 Вт	Не требуется
VT2	300 мВт	10 Вт	Не требуется
VT3	9,5 Вт	66 Вт	Не требуется

В соответствии с таблицей 1 делаем вывод о том, что потребности в охлаждении радиокомпонентов нет, поэтому при проектировании будем располагать элементы на одной стороне.

2.2 Работа с библиотеками УГО и посадочных мест в Altium Designer

Работа с библиотеками УГО в Altium Designer сводится к созданию обозначений, удовлетворяющих требованиям ГОСТ. В процессе работы выбираются соответствующий тип и размер шрифта, толщины линий, внутренние настройки программы для дальнейшего построения топологии печатной платы. Некоторые УГО, соответствующие требованиям ГОСТ, представлены на рисунке 2.2.1.

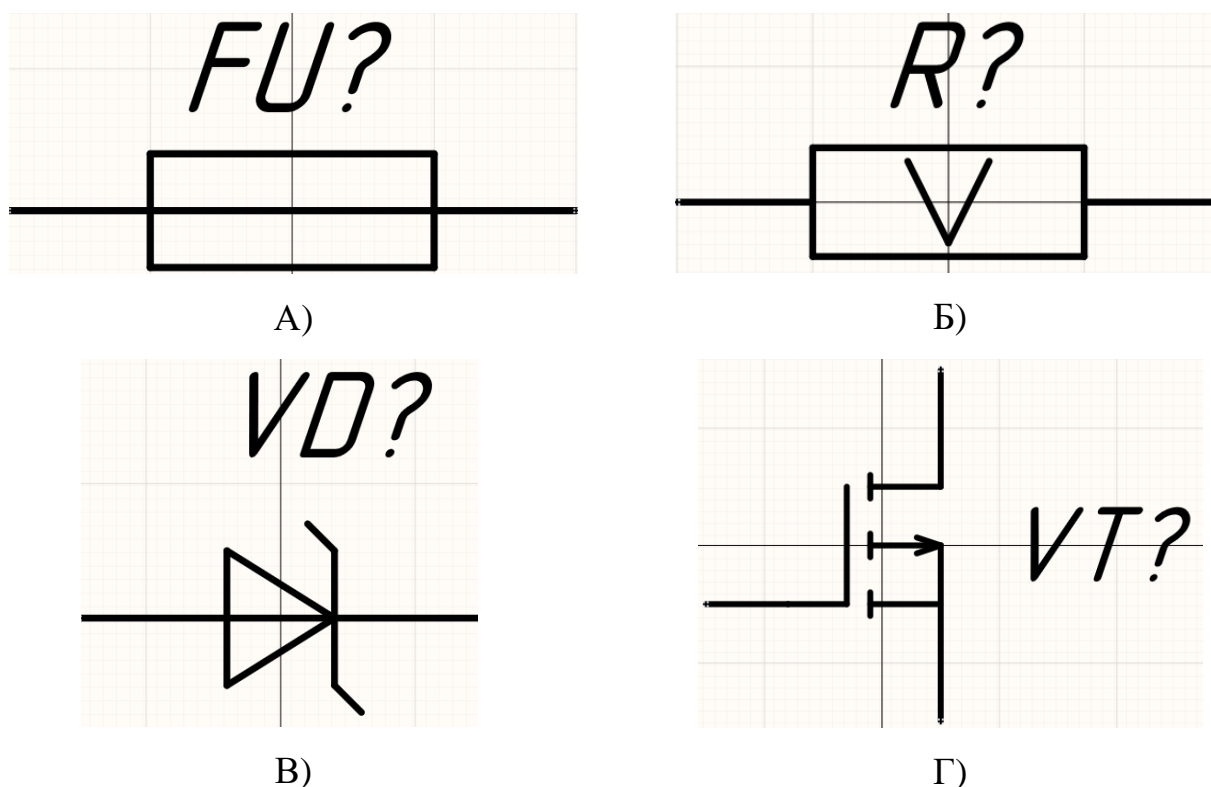
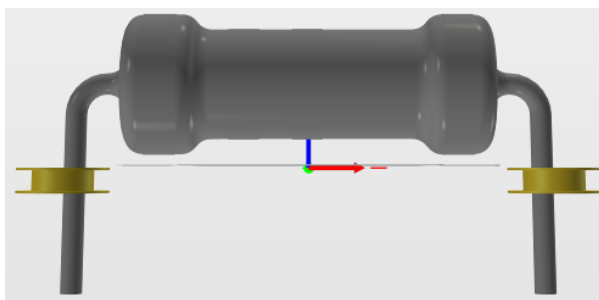


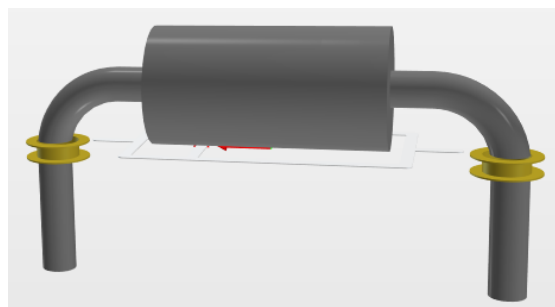
Рисунок 2.2.1 – Созданные УГО для некоторых компонентов в Altium Designer

Работа с библиотеками посадочных мест в Altium Designer сводится к использованию примитивов, например отверстий под монтаж или контактных площадок, заданию размеров в соответствии со спецификациями компонентов. Также на данном этапе к посадочным местам компонентов прикрепляются 3D-модели компонентов для создания в дальнейшем реалистичного сборочного чертежа, визуализации в трехмерном режиме печатной платы.

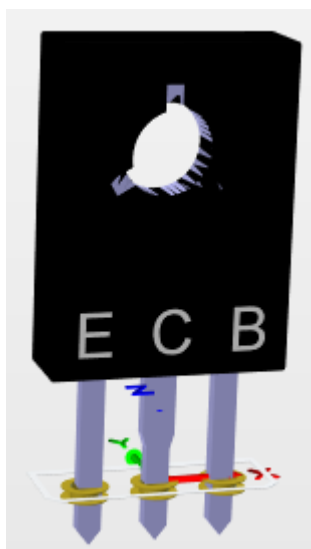
На рисунке 2.2.2 представлены некоторые посадочные места и 3D-модели компонентов в трехмерном режиме.



А)



Б)



В)



Г)

Рисунок 2.2.2 – Созданные посадочные места и 3D-модели для некоторых компонентов в Altium Designer

После создания отдельных библиотек УГО и посадочных мест они соединятся для дальнейшего создания платы.

3 Работа с проектом Altium – принципиальная схема, проектирование печатной платы

Разработанные в предыдущем пункте библиотеки могут быть подключены к проекту Altium Designer, при этом дальнейшая работа будет строиться в соответствии с алгоритмом:

1. Построение принципиальной схемы устройства с использованием библиотек УГО, к которым подключены соответствующие библиотеки посадочных мест.
2. Создание печатной платы из соответствующих компонентов (передаются автоматически).
3. Задание правил проектирования.
4. Размещение компонентов на плате.
5. Создание топологии печатной платы, заливка полигонов, создание крепежных отверстий.

Трехмерные модели компонентов и платы позволяют визуализировать созданное изделие на заключительном этапе проектирования.

3.1 Создание принципиальной схемы, печатной платы, топология

Принципиальная схема ИМ в программе Altium Designer строится в соответствии с заданной (рисунок 1.2.3) из соответствующих библиотек. Реализованная принципиальная схема устройства приведена на рисунке 3.1.1.

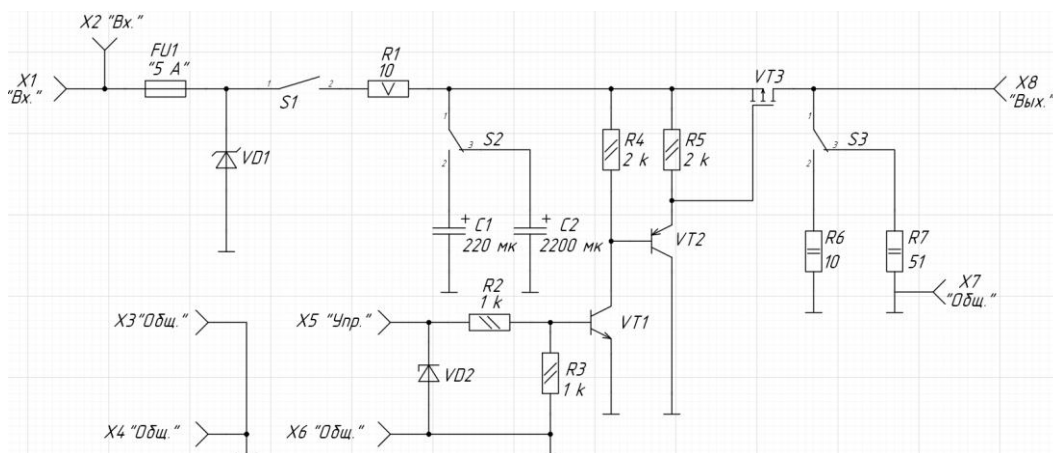


Рисунок 3.1.1 – Реализованная принципиальная схема

Прикрепленная к библиотеке УГО библиотека посадочных мест позволяет легко перенести компоненты на плату.

Правила проектирования при создании печатной платы можно сформулировать следующим образом:

1. Минимальная толщина проводника определяется током, текущим по нему. В нашем случае токи невелики, поэтому минимальная толщина 1 мм, рекомендуемая 1,3 мм.
2. Минимальные расстояния между компонентами определяются возможностями их монтажа.
3. Минимальное расстояние между проводником (дорожкой) и полигоном 0,7 мм.
4. Минимальное расстояние между отверстием для крепления и полигоном 0,6 мм.
5. Размеры платы должны удовлетворять требованиям технического задания – необходим наименьший размер платы.
6. В углах платы необходимы отверстия для крепления, минимальный диаметр 2,5 мм.

Созданная с учётом всех правил плата представлена на рисунках 3.1.2 – 3.1.5.

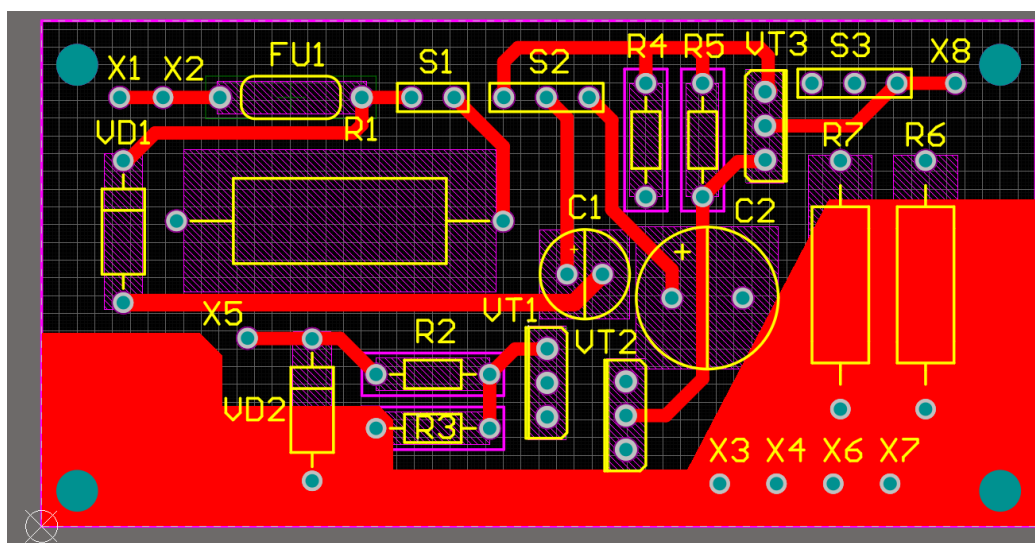


Рисунок 3.1.2 – Топология печатной платы (Верхний слой, слой шелкографии, слой 3D-моделей компонентов)

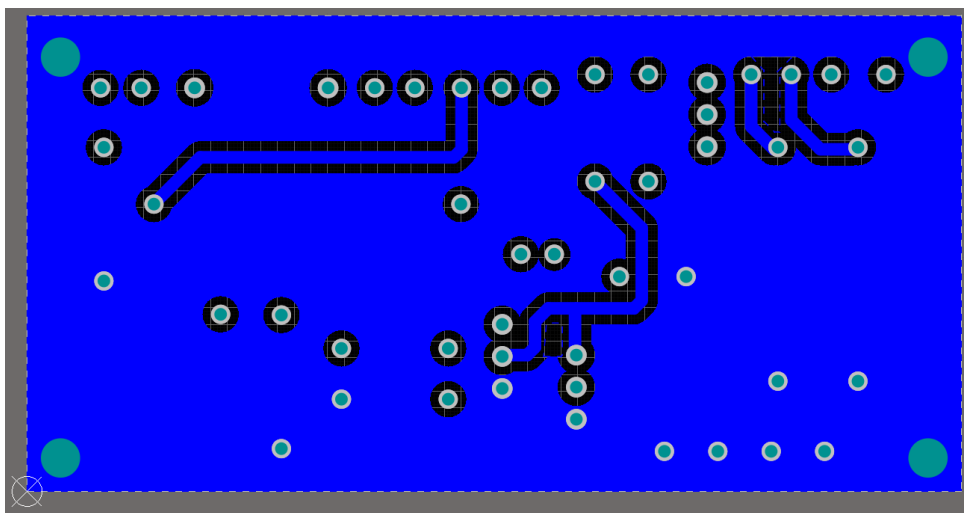


Рисунок 3.1.3 - Топология печатной платы (нижний слой)

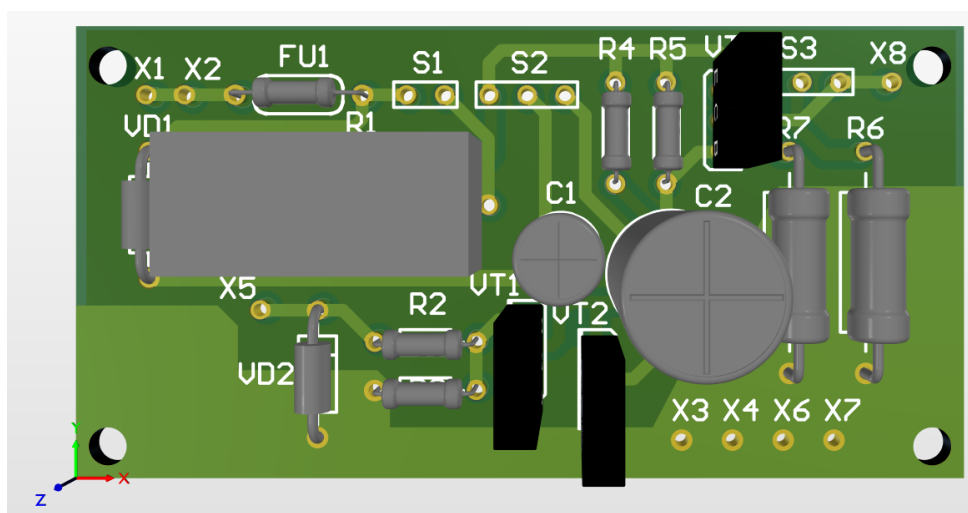


Рисунок 3.1.4 – Трехмерный вид платы (верхний слой)

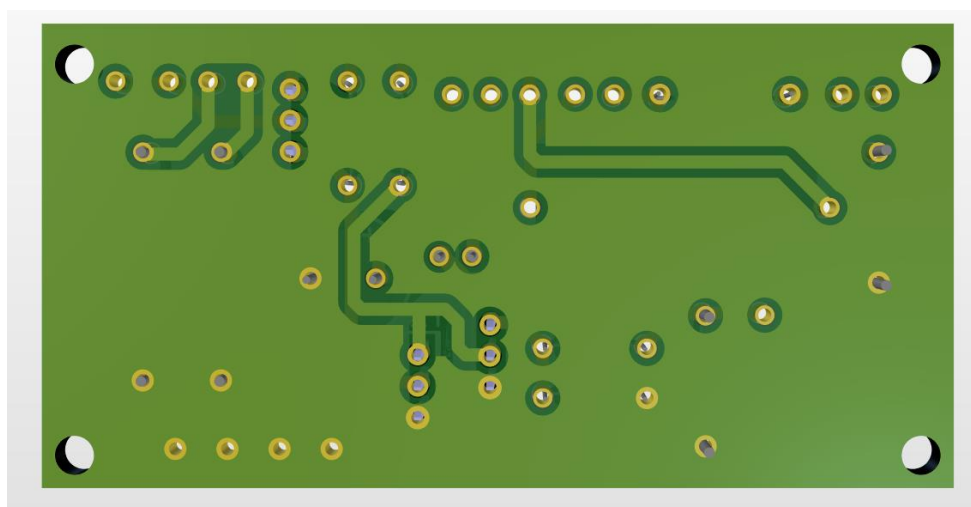


Рисунок 3.1.5 – Трехмерный вид платы (нижний слой)

Спроектированная плата обладает следующими характеристиками:

1. Габаритные размеры: 70 x 36,5 x 1,5 мм.
2. Минимальная толщина проводника: 1 мм, для цепи земли 1,3 мм.
3. Крепежные отверстия 4 шт., диаметр 3 мм.
4. Все требования по заливке полигона соблюдены.

3.2 Формирование конструкторской документации

Вся составленная в ходе работы конструкторская документация приведена в приложении Б к данному отчёту.

Для формирования документации использовались как средства Altium Designer (чертёж платы с топологией, схема электрическая принципиальная, схема структурная, сборочный чертёж изделия), так и средства программного продукта Компас 3D (спецификация на изделие, перечень элементов).

Обозначение конструкторской документации формируется согласно ГОСТ:

1. Код предприятия разработчика: МГТУ.
2. Код классификационной характеристики (децимальный номер): 436421 (средства вторичного электропитания, одноканальные с входным одноканальным постоянным напряжением, выходным переменным напряжением, мощностью до 10 Вт включительно, напряжением до 100 В включительно); код классификационной характеристики для печатной платы: 758723 (двусторонние печатные платы на жёстком основании, ширина от 30 до 50 мм включительно).
3. Порядковый регистрационный номер 001.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проделанной работы разработана двусторонняя печатная плата лабораторного макета для исследования низковольтного импульсного модулятора. Разработка велась в соответствии с выданной руководителем принципиальной схемой. Параметры и характеристики спроектированной печатной платы:

1. Габаритные размеры: 70 x 36,5 x 1,5 мм.
2. Минимальная толщина проводника: 1 мм, для цепи земли 1,3 мм.
3. Компоненты с верхней стороны платы, не нуждаются в охлаждении.
4. Предусмотрены 4 отверстия диаметром 3 мм для установки платы.
5. Масса менее 600 гр.

Таким образом, разработанное изделие полностью удовлетворяет техническому заданию.

На завершающем этапе работы была подготовлена конструкторская документация, полностью описывающая изделие:

1. Сборочный чертёж изделия;
2. Схема электрическая структурная;
3. Схема электрическая принципиальная;
4. Перечень элементов;
5. Чертёж платы с топологией;
6. Спецификация на изделие.

Разработанная в ходе данного курсового проекта печатная плата в дальнейшем может быть использована для создания физического лабораторного макета для исследования низковольтного импульсного модулятора.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Родин М.В. Электропреобразовательные устройства радиоэлектронных средств: методические указания к выполнению лабораторного практикума – М.: Издательство МГТУ им Н.Э. Баумана, 2021. – 78 с.
2. Проектирование источников электропитания электронной аппаратуры / О.К. Березин, В.Г. Костиков, Е.М. Парфенов и др.; под ред. В.А. Шахнова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 504 с.
3. Пирогова Е.В. Проектирование и технология печатных плат. – М.: ИНФРА-М, 2005. – 560 с.
4. Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры / К.И. Билибин, А.И. Власов, Л.В. Журавлева и др.; под ред. В.А. Шахнова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 568 с.

Приложение А

(Обязательное)

Исследование импульсного модулятора в программе Microcap 12

А.1 Схема лабораторного макета в программе Microcap 12 (рисунок А.1).

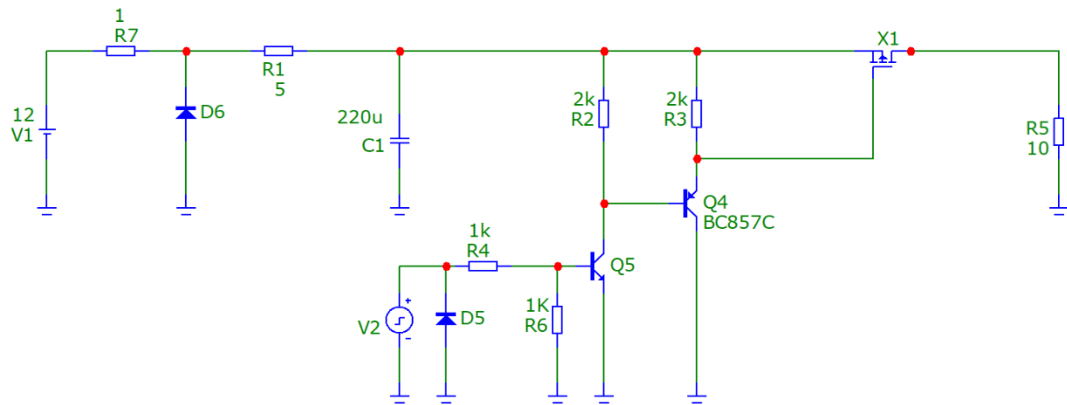


Рисунок А.1 – Схема лабораторного макета в программе Microcap 12

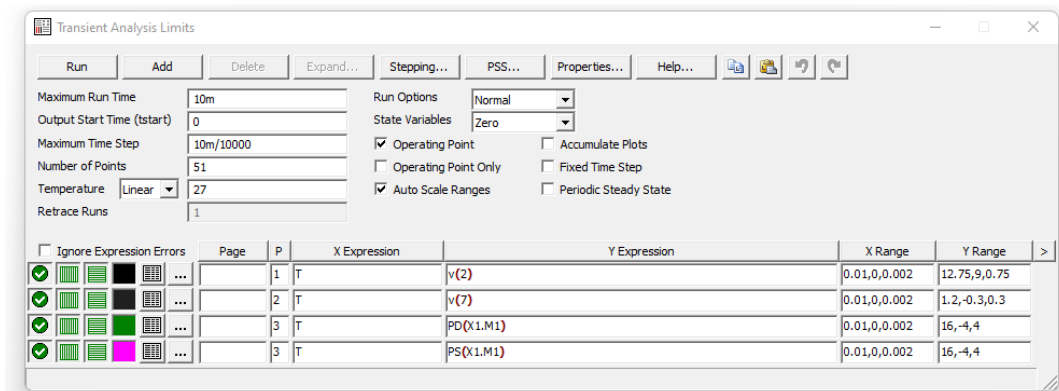


Рисунок А.2 – Настройки временного анализа в программе Microcap 12

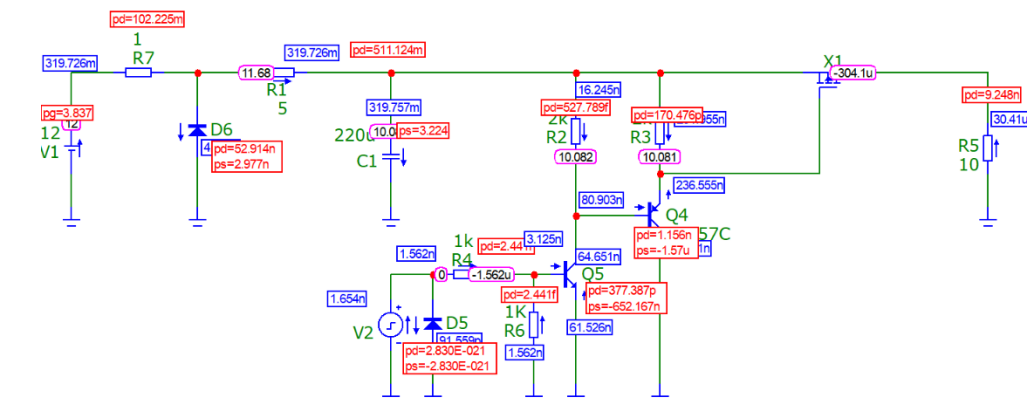


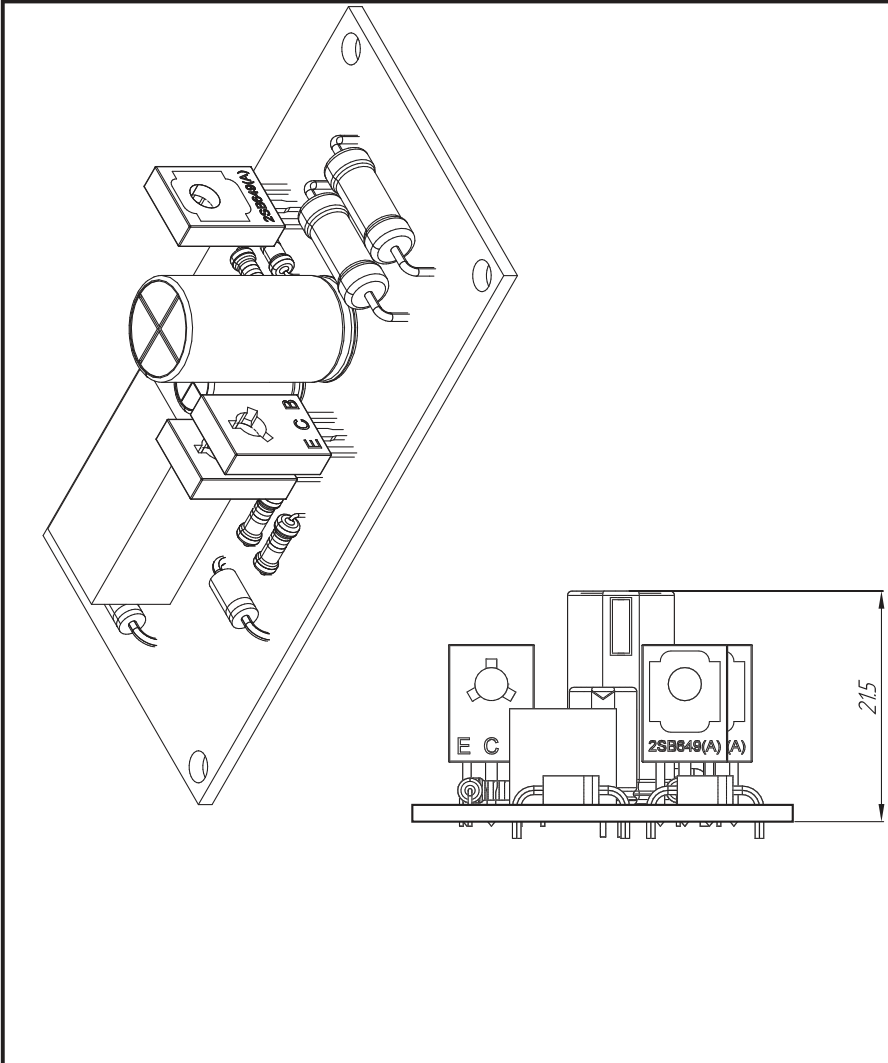
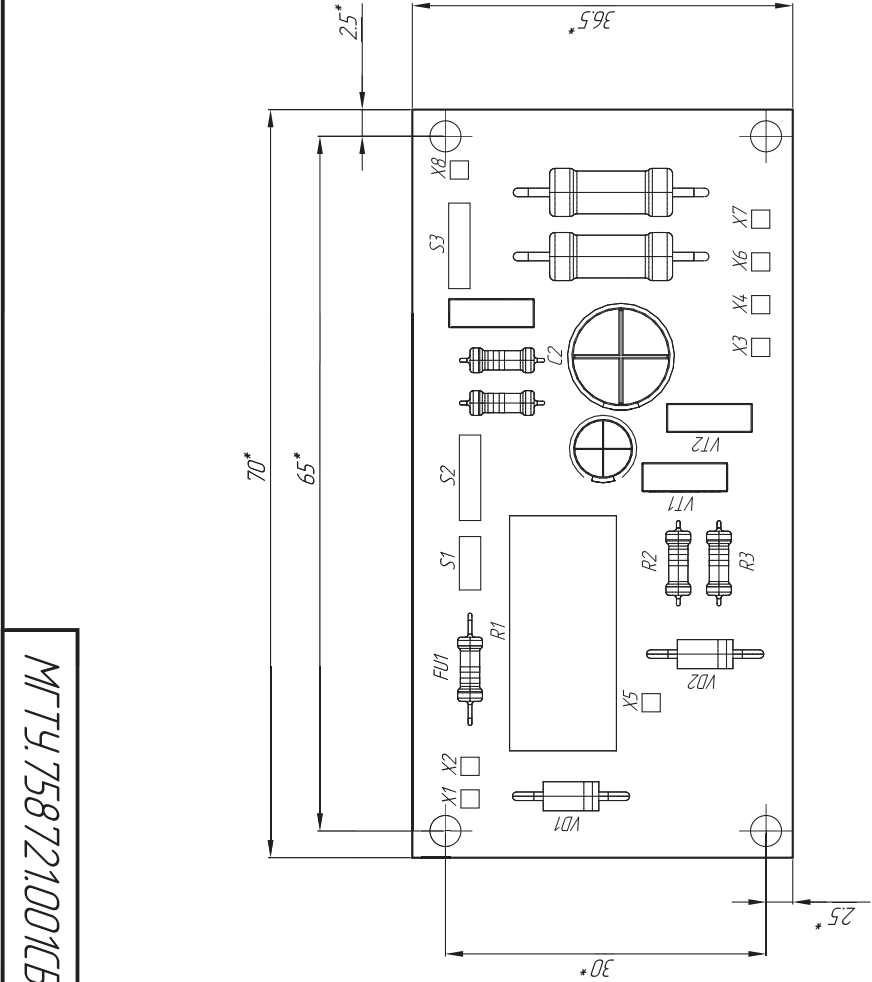
Рисунок А.3 – Результат выполнения анализа

Приложение Б
(Обязательное)

Конструкторская документация проекта

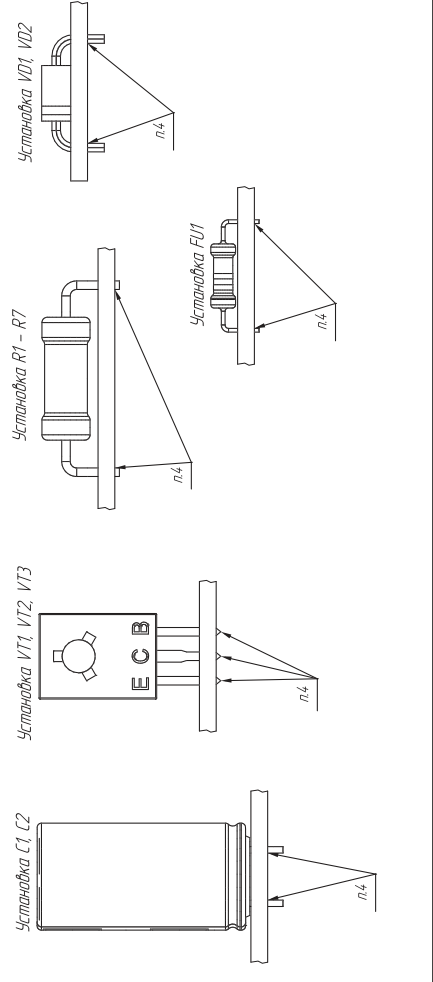
МГТУ.758721.001СБ

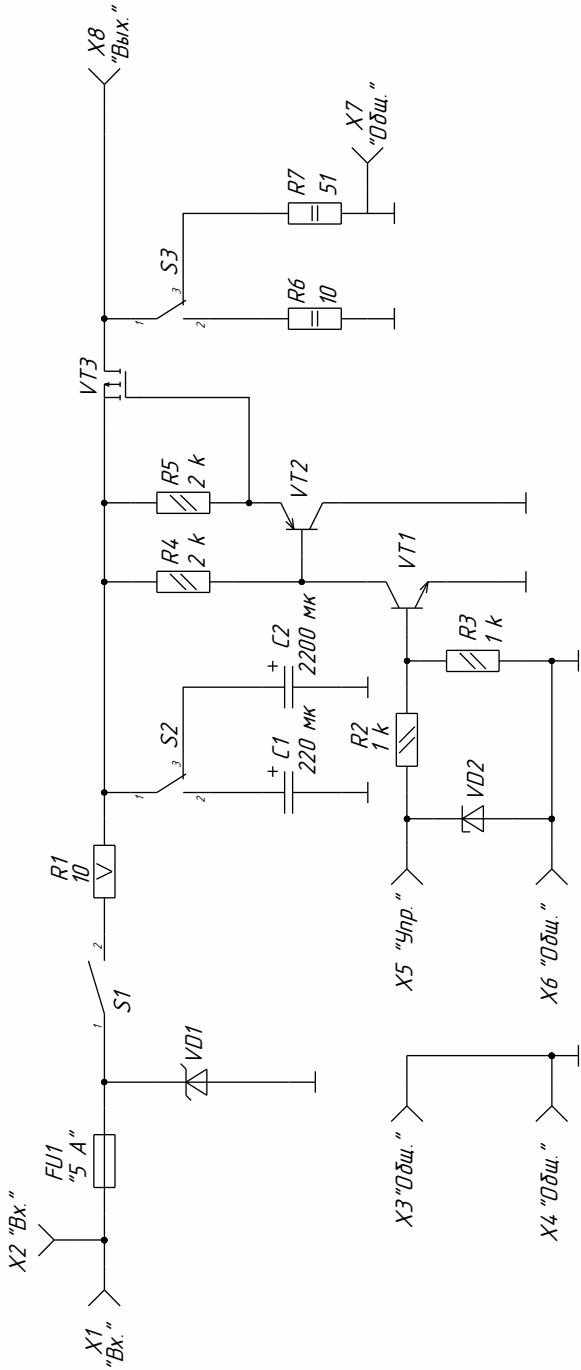
Инд. № подл.	Подп. и дата
Взам. инд. №	Инд. № подл.
Инд. № подл.	Подп. и дата
Сгр.б. №	Испр. докум.



1. Установку элементов производить по чертежу.
2. * Размеры для справок.
3. Меры защиты от статического электричества по ОСТ 92-1615-74. Степень жесткости II по ОСТ11073.062-2001.
4. Элементы поверхностного монтажа паять припойной пастой ПОС-61 ЛОК ТУ 400 К"Р"-1805-22-91, флюс ФПС-3 ТУ400 СП "ЗВ"-2178-137-98.
5. Покрытые лак УР-231 ТУ6-21-14-90(3). Допускается покрытие лаком ЭП-730 ГОСТ 20824-81(3).
6. Компоненты обозначаются и выбираются в соответствии с МГТУ.43642.1001ПЗ3

МГТУ.43642.1001СБ									
Импульсный модулятор									
Сборочный чертёж									
МГТУ им. Н.Э.Баумана									
Кафедра Р/П									
Формат А3									



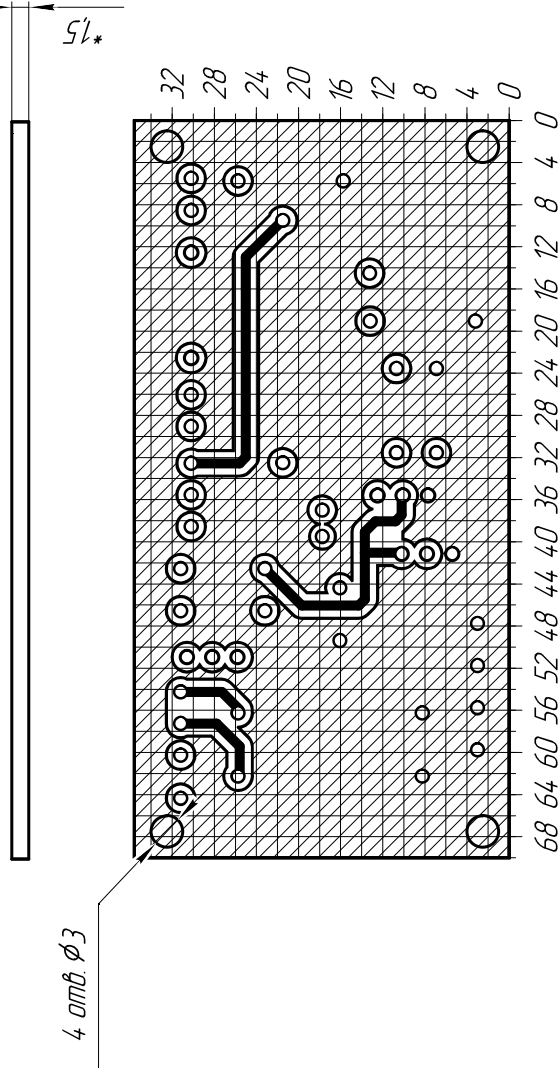
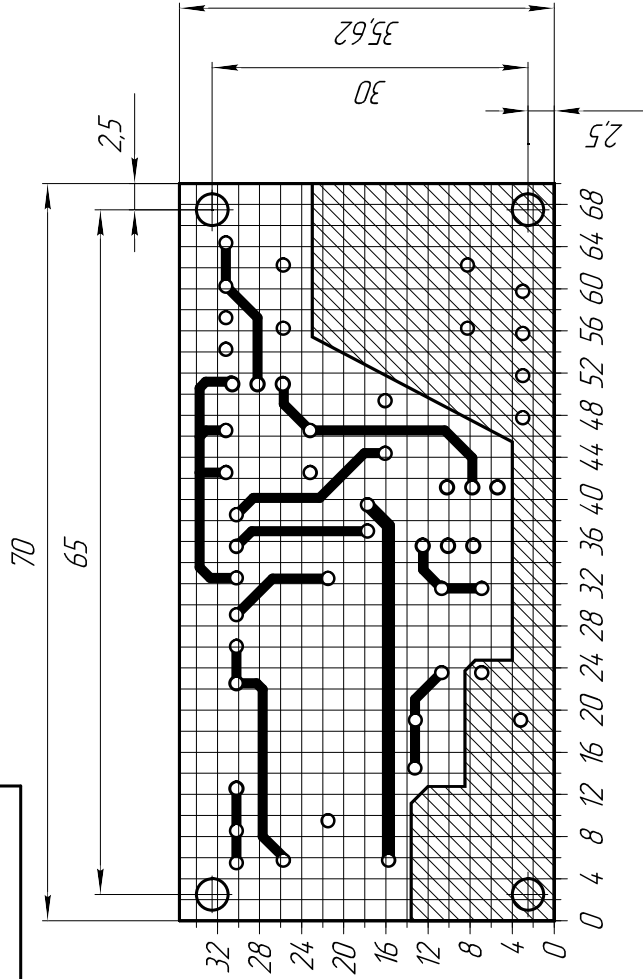


1. Компоненты выбираются по МГТУ.4364.21.001П33.

МГТУ.4364.21.001П33				Импульсный модулятор				Лист 1		Листов 1		МГТУ им. Н.Э. Баумана		Кафедра РП		Формат А3	
				Схема электрическая принципиальная													

КОМПАС-3D v19 Учебная версия © 2021 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.

Перв. примен.		Поз. обозначение	Наименование			Кол.	Примечание					
Справ. №			Конденсаторы									
		C1	K50-35-16B-220мкФ-B ОЖО.464.214 ТУ			1						
		C2	K50-35-16B-2200мкФ-B ОЖО.464.214 ТУ			1						
		FU1	Предохранитель плавкий									
			ВП1-2 5,0 А 250 В АГО.481.303 ТУ			1						
			Резисторы									
		R1	SQP 5 Вт 10 Ом ±5% KLS Electronic			1						
		R2, R3	P1-71-0,125 1 кОм ±5% - А АБШК.434110.048 ТУ			2						
		R4, R5	P1-71-0,125 2 кОм ±5% - А АБШК.434110.048 ТУ			2						
		R6	P1-71-2 10 Ом ±5% - А АБШК.434110.048 ТУ			1						
		R7	P1-71-2 51 Ом ±5% - А АБШК.434110.048 ТУ			1						
			Устройства коммутационные									
S1	KN3(B)-101AAP-A1 Jietong Switch			1								
S2, S3	MT1 АГО.360.207 ТУ			2								
	Диоды											
VD1	P4KE13A DO-41 DC COMPONENTS CO			1								
VD2	ZPY100-DIO DO-41 Diotec Semiconductor			1								
	Транзисторы											
VT1	KT646Б/КБ NPN АДБК.432140.991 ТУ			1								
VT2	KT626Г/КБ PNP АДКБ.432140.270 ТУ			1								
VT3	SFP9530 TO-220AB ON Semiconductor			1								
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	МГТУ.436421.001ПЭЗ							
					Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата			
					Разраб.	Баранов Д.С.						
					Пров.	Родин М.В.						
					Н.контр.	Родин М.В.						
	Утв.											
					Импульсный модулятор			Лит.	Лист	Листов		
					Перечень элементов				1	2		
								МГТУ им.Н.Э.Баумана				
								Кафедра Р/Л1				



√ Rz 40 (✓)

Таблица 1

Обозначение отв.	Диаметр отв., мм	Диаметр конт. площадки, мм	Наличие металлизации	Кол. отв.
⊙	1±0,05	1,5	Да	49
⊖	3±0,2	-	Нет	4

1. * Размер для справок.
2. Класс точности 3 по ГОСТ Р 53429-2009.
3. Печатная плата должна соответствовать ГОСТ Р 53429-2009, группе жесткости 3
4. Шаг координатной сетки 1,25 мм. Линии сетки нанесены через одну.
5. Конфигурацию печатных проводников выдерживать по координатной сетке с отклонениями от чертежа ±1,5 мм.
6. Ширина печатных проводников не менее (1±0,05) мм.
7. Расстояние между печатными проводниками и контактными площадками не менее 0,5 мм
8. Форма контактной площадки произвольная. Допускается занижение контактных площадок до 0,05 мм от края отверстия.
9. Предельные отклонения расстояний между центрами отверстий ±0,2 мм, кроме оговоренных особо.
10. Допускается полное или частичное заполнение припоём переходных отверстий, их диаметры контролю не подлежат.

МГТУ.758723.001				Лист		Масса	Масштаб
Импульсный модулятор							2:1
Плата печатная				Лист		Листов	1
Спектроанализатор СГФ-1-35-15				МГТУ им Н.Э.Баумана			
ТУ 16-503 161-83				Кафедра Р/П			
Исполн.				Копировал			