

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Южно-Уральский государственный университет»
(национальный исследовательский университет)
Высшая школа электроники и компьютерных наук
Кафедра «Конструирование и производство радиоаппаратуры»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой
_____ Н.И. Войтович
«__» _____ 2020 г.

РАЗРАБОТКА СТАБИЛИЗИРОВАННОГО ИМПУЛЬСНОГО
ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ
ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ-110303.2020.251.00 ПЗ ВКР

Консультант
Начальник лаборатории
_____ Валеев Ф.Р.
_____ 2020 г.

Руководитель работы
доцент кафедры КиПР
_____ Кудрин Л.П.
_____ 2020 г.

Автор работы
студент группы КЭ-412
_____ Гаврилов С.С.
_____ 2020 г.

Нормоконтролер
_____ Юнгайтис Е.М.
_____ 2020 г.

Челябинск 2020 г.

АННОТАЦИЯ

Гаврилов С.С. Разработка стабилизированного импульсного источника питания. в целях программы импортозамещения – Челябинск: ЮУрГУ, ВШЭКН, 2020, 37с. 28 ил., библиогр. список-8 наим., приложений 4, плакат А3-1шт., чертеж А0-1шт., чертеж А3-4 шт..

Цель выпускной квалификационной работы – разработать стабилизированный импульсный источник питания. Работа включает в себя анализ существующих конструкций и на их основе решение поставленной задачи, выбор радиоэлементов и способов их соединения, выбор оборудования для производства ограничен станочным парком предприятия, компоновка внутренних узлов и размещение органов управления определены техническим заданием. В работе производится разработка печатной платы, подбор радиоэлементов, размещение радиоэлементов на печатной плате. По окончанию работы должен быть собран опытный образец.

					<i>110303.2020.251.00.00 ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>	<i>Гаврилов С.С.</i>				<i>Разработка Стабилизированного Импульсного источника питания</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>	<i>Кудрин Л.П.</i>					8	49	
<i>Реценз.</i>						<i>ЮУрГУ Кафедра КиПР</i>		
<i>Н. Контр.</i>	<i>Юнгайтис Е.М.</i>							
<i>Утверд.</i>	<i>Войтович НИ.</i>							

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	10
1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ	
2 АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ	
3 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ИМПУЛЬСНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ	
3.1 Источник питания стабилизированный БЗ-701.1.....	14
3.2 Источник питания стабилизированный ВЗ-781.4.....	15
3.3 Источник питания постоянного тока программируемый серии PPS- 2019А.....	16
4 ВЫБОР КОНСТРУКЦИИ, ИЗУЧЕНИЕ СТАНДАРТНЫХ СХЕМНЫХ РЕШЕНИЙ ИМПУЛЬСНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ	
4.1 Обоснование выбора конструкции источника питания.....	17
4.2 Общая структура импульсных источников питания.....	17
4.3 Входной фильтр.....	18
4.4 Низкочастотный выпрямитель	20
4.5 Полумостовой преобразователь.....	21
4.6 ШИМ – контроллер.....	22
4.7 Вспомогательный преобразователь.....	24
4.8 Каскад управления.....	27
4.9 Цепи защиты и контроля.....	28
4.10 Выходной выпрямитель.....	29
4.11 Стабилизаторы напряжения.....	31
5 КОНСТРУКТОРСКИЙ РАЗДЕЛ	
5.1 Анализ схемы электрической принципиальной.....	32
5.2 Создание посадочных мест для элементов в Altium Designer.....	36
5.3 Расположение элементов на плате.....	40
5.4 Расположение печатных проводников.....	41
6 БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	45

										Лист
										9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	110303.2020.251.00.00 ПЗ					

ВВЕДЕНИЕ

Для проведения лабораторных работ, исследований и испытаний приборов необходим источник питания. Требования к СИИП. В зависимости от проводимых работ предъявляемые к ним требования могут сильно различаться.

Для проверки правильной работы блоков сравнения и усиления (БСУ) к источникам питания предъявляется определенный ряд требований. Особенное внимание уделяется таким из них как коэффициенты пульсации и стабилизации. Так же обязательны всевозможные защиты как самого источника, так и нагрузки. Основными достоинствами импульсных источников питания являются улучшенные массогабаритные характеристики и повышенное кпд. Для повышения надежности такие преобразователи снабжаются различными устройствами защиты: тепловой защитой от повышения температуры силовых ключей преобразователя, токовой защитой от превышения тока в силовых ключах, защитой от повышения или понижения напряжения питающей силовой сети, защитой от короткого замыкания в нагрузке. Все эти защиты усложняют преобразователь, но делают его более надёжным. В настоящее время самой дорогой частью таких источников являются именно силовые ключи.

Целью данного проекта является разработка импульсного СИИП вторичного электропитания, предназначенного для питания лабораторных образцов и других низковольтных устройств. В настоящем устройстве должны быть предусмотрены регулировка тока и напряжения, защита от превышения напряжения, защита по току. Разрабатываемый источник питания должен полностью удовлетворять техническому заданию.

										Лист
										10
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	110303.2020.251.00.00 ПЗ					

1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для выполнения выпускной квалификационной работы требуется разработать стабилизированный импульсный источник питания, необходимый для испытаний работы блока сравнения и усиления сигналов (БСУ). Разрабатываемая конструкция не должна превышать габаритные размеры указанные в техническом задании.

Печатная плата должна иметь расстояния между печатными проводниками и их ширину согласно выданному техническому заданию.

Для этого необходимо:

- разработать и выпустить комплект конструкторской документации, а именно:
- принципиальная электрическая схема;
- спецификация печатного узла;
- чертеж передней панели;
- сборочный чертеж печатного узла;
- выполнить требования к конструкции;
- размещение элементов регламентируется техническим заданием.

					<i>110303.2020.251.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		11

2 АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ

Темой данной выпускной квалификационной работы является разработать стабилизированный импульсный источник питания.

Данный источник питания предназначен для проверки платы блока сравнения и усиления сигналов во время климатических испытаний, а также контроля, калибровки, отладки и диагностики БСУ на разных стадиях сборки продукции завода в целом.

Для анализа задана исходная схема электрическая принципиальная, максимально допустимые размеры источника питания, требования к электрическим характеристикам конструкции.

Разрабатываемый мной источник питания представляет собой печатную плату из фольгированного стеклотекстолита с лицевой панелью управления, которые будут закрепляться в один из имеющихся вариантов корпусов выпускаемых предприятием АО НПО СПЛАВ для основного изделия.

На печатной плате необходимо разместить элементы навесного монтажа на верхнюю сторону платы, а элементы поверхностного монтажа на нижнюю. Так как Челябинский филиал завода может изготавливать печатные платы до 3 класса точности включительно, то толщина печатных проводников и расстояние между ними должно быть не менее 0.25 мм. Для печатных проводников отходящих от силового импульсного трансформатора и несущих основную токовую нагрузку до 5 ампер толщина дорожки 4 мм, так как используемый на производстве текстолит имеет толщину медного слоя 18 мкм.

Кнопки управления, силовые клеммы для подключения питания БСУ, цифровой дисплей расположенные на передней панели управления должны согласно техническому заданию соединяться пайкой с печатной платой проводом МГТФ 0.2. Панель управления будет изготавливаться из листового алюминия толщиной 1 мм. при помощи станка лазерной резки с ЧПУ управлением.

					110303.2020.251.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

3 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ИМПУЛЬСНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

В настоящее время для проведения лабораторных исследований необходим СИИП, который удовлетворял бы всем требованиям и в то же время обладал бы низкой стоимостью.

Современная промышленность и отечественная, и зарубежная выпускает множество источников удовлетворяющих данным техническим требованиям.

3.1 Источник питания стабилизированный БЗ-701.1

Источники напряжения и тока специализированные БЗ-700 ТУ 3185-016-20883295-98, МКИЯ.318572.002 ТУ сертифицированы и зарегистрированы в Государственном реестре средств измерений под №24114-02 и допущены к применению в Российской Федерации.

Сертификат RU.C.34.005.A №13784.

Источники соответствуют требованиям ГОСТ 12997-84 "Изделия ГСП. Общие технические условия" (Раздел 3 Требования безопасности).

Сертификат соответствия № РОСС RU ME27. Н05027

Производится в России по предварительному заказу. Гарантия 24 месяца. Стоимость 11542р. [4]

Рисунок 3.1.1 - Источник питания БЗ-701.1

					110303.2020.251.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

Таблица 3.1.1- Характеристики источника питания В3-701.1

Диапазон регулирования напряжения, В	0..10
Диапазон регулирования тока, А	0..4
Максимальная мощность на нагрузке, Вт, не менее	60
Пульсации выходного напряжения в режиме стабилизации напряжения, мВ	2
Пульсации выходного тока в режиме стабилизации напряжения, мА	10
Потребляемая мощность, Вт, не более	100
Масса, кг, не более	7
Габаритные размеры,мм	160 × 130 × 300

3.2 Источник питания стабилизированный В3-781.4

Источники напряжения и тока специализированные В3-700 ТУ 3185-016-20883295-98, МКИЯ.318572.002 ТУ сертифицированы и зарегистрированы в Государственном реестре средств измерений под №24114-02 и допущены к применению в Российской Федерации.

Сертификат RU.C.34.005.A №13784.

Источники соответствуют требованиям ГОСТ 12997-84 "Изделия ГСП. Общие технические условия" (Раздел 3 Требования безопасности).

Сертификат соответствия № РОСС RU ME27. Н05027

Производится в России по предварительному заказу. Гарантия 24 месяца. Стоимость 19830р. [5]

Рисунок 3.2.1- Источник питания В3-781.4

Таблица 3.1.1- Характеристики источника питания В3-781.4

Диапазон регулирования напряжения, В	0..10
Диапазон регулирования тока, А	0..12
Максимальная мощность на нагрузке, Вт, не менее	180
Пульсации выходного напряжения в режиме стабилизации напряжения, мВ	10
Потребляемая мощность, Вт, не более	360
Масса, кг, не более	10
Габаритные размеры,мм	300 × 260 × 160

3.3 Источник питания постоянного тока программируемый серии PPS-2019A

Источники напряжения и тока от фирмы-производитель

Motech, Тайвань, сертифицированы и зарегистрированы в Государственном реестре средств измерений под №46658-11 и допущены к применению в Российской Федерации.

Стоимость 31265р. [6]

Рисунок 3.3.1- Источник питания постоянного тока серии PPS-2019A

Таблица 3.3.1- Характеристики источника питания PPS-2019A

Диапазон регулирования напряжения, В	0..250
Диапазон регулирования тока, А	0..5
Максимальная мощность на нагрузке, Вт, менее	250
Пульсации выходного напряжения в режиме стабилизации напряжения, мВ	5
Потребляемая мощность, Вт, не более	360
Масса, кг, не более	10
Габаритные размеры, мм	255 × 145 × 346

У приведенных выше источников питания можно отметить один большой недостаток, это большой вес, габариты и стоимость. Основной задачей данного проекта является разработка лабораторного источника питания, не уступающего по характеристикам заводским аналогам, но с меньшей массой и размерами.

4 ВЫБОР КОНСТРУКЦИИ, ИЗУЧЕНИЕ СТАНДАРТНЫХ УЗЛОВ ИМПУЛЬСНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

4.1 Обоснование выбора конструкции источника питания

Из данных технического задания блок питания по характеристикам можно сравнить с блоками питания настольных персональных компьютеров.

Современные компьютерные блоки питания некоторых производителей по параметрам мощности на выходе, максимальным току превосходят требования предъявляемые заказчиком. Например блок питания ZALMAN GigaMax 750W ATX, может отдавать ток до 62 ампер при напряжении 12 Вольт что соответствует мощности 744 Вата. Данный блок имеет стабилизацию по напряжению и току на выходе, защиту от токов короткого замыкания и перегрева, размеры корпуса 140x150x86 и вес 2 кг. Данные параметры вполне устраивают наши потребности.

Из недостатков блока питания ZALMAN GigaMax 750W можно отметить отсутствие возможностей регулировки параметров тока и напряжения в зависимости от требований технического процесса на производстве. [8]

4.2 Общая структура импульсных источников питания

В источнике питания формата ATX (от англ. Advanced Technology Extended) напряжение питания через внешний размыкатель сети, расположенный в корпусе системного блока, поступает на сетевой фильтр и низкочастотный выпрямитель. Далее выпрямленное напряжение, величиной порядка 300В, полумостовым преобразователем преобразуется в импульсное. Развязка между первичной сетью и потребителями осуществляется импульсным трансформатором. Вторичные обмотки импульсного трансформатора подключены к высокочастотным выпрямителям +12В и +5В и соответствующим сглаживающим фильтрам.

Сигнал PS ON Good (питание в норме), подаваемый на системную плату через 0,1..0,5 с после появления питающих напряжений +5В, выполняет начальную установку процессора. Выход из строя силовой части источника предотвращается узлом защиты и блокировки. При отсутствии аварийных режимов работы эти цепи

					<i>110303.2020.251.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>16</i>

формируют сигналы, разрешающие функционирование широтно-импульсного модулятора (ШИМ) - контроллера, который управляет полумостовым преобразователем посредством согласующего каскада. В аварийных режимах работы осуществляется сброс сигнала Power Good. Длительность открытого состояния ключей преобразователя определяет величину напряжения выходных источников.

Поддержание выходных напряжений постоянному значению в контроллере обеспечивается системой управления с обратной связью, при этом в качестве ошибки используется отклонение выходного напряжения от источника +5 В.

Источник питания формата АТХ (рисунок 2.2.1) отличается:

- наличием вспомогательного преобразователя;
- выпрямителя источника дежурного режима +5В;
- дополнительного источника +3,3В;
- устройств управления дистанционным включением блока питания по сигналу PS ON, управляющим работой ШИМ - контроллера. [2]

Рисунок 4.2.1 - Структурная схема источника питания формата АТХ

4.3 Входной фильтр

Блок питания представляет собой серьезный источник помех выбрасываемых в сеть. Причины помех:

- ключевой режим работы полупроводниковых элементов;
- наличие реактивных элементов, таких как индуктивность и емкость, выводы элементов и емкость монтажа, которые приводят к возникновению паразитных

					<i>110303.2020.251.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>17</i>

автоколебаний.

Интенсивность помех существенно зависит от быстродействия транзисторов и диодов силовой части, а также длины выводов элементов и емкости монтажа.

Наличие помех оказывает неблагоприятное воздействие и на работу самого блока питания, проявляющееся в ухудшении характеристик стабилизации источника.

При анализе схем импульсных источников питания принято различать синфазную и дифференциальную составляющие помехи. Синфазное напряжение помехи измеряется относительно корпуса устройства с каждым из полюсов шин питания источника. Дифференциальная составляющая измеряется между полюсами шин питания (первичной, нагрузочной), еще ее определяют как разность синфазных составляющих помехи между шинами соответствующей цепи.

Наилучшим средством снижения уровня помех считается устранение их в местах возникновения, следовательно, место включения фильтра строго определено – на входе источника питания. При разработке фильтра источников питания наибольшее внимание уделяют подавлению именно синфазной и дифференциальной составляющих помех в сети.

С целью предотвращения проникновения в электрическую сеть импульсных помех, создаваемых источником питания, на его входе включается, как правило, заградительный фильтр. Кроме подавления помех, фильтр как входной элемент выполняет также защитную функцию в аварийных режимах эксплуатации источника питания: защита по току, защита от перенапряжения. В некоторых схемах источников питания в состав фильтра включают нелинейный элемент – варистор, предназначенный для ограничения зарядного тока высоковольтного емкостного фильтра.

Типовая схема заградительного фильтра источника питания (рисунке 2.3.1) включает элементы, предназначенные для подавления синфазной и дифференциальной составляющей помехи. На входе фильтра включен конденсатор С1, далее напряжение питания сети переменного тока подается на блок питания системного модуля через сетевой индуктивно-емкостной фильтр.

					<i>110303.2020.251.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>18</i>

**Рисунок 4.3.1 Ошибка! Текст указанного стиля в документе
отсутствует.- Схема заградительного фильтра**

Конденсатор С2 и дроссель L1 снижают дифференциальную составляющую помехи. Дроссель L2, конденсаторы С3...С5 подавляют обе составляющие помехи. Защита по току осуществляется предохранителем FU1, который ограничивает ток нагрузки на уровне не более 1,25 номинального значения, а от перенапряжения осуществляется варистором RU1.

При повышении напряжения питающей сети выше некоторого уровня сопротивление элемента RU1 резко уменьшается, вызывая срабатывание предохранителя. В качестве ограничителя пускового тока, а также для плавного заряда конденсаторов емкостного фильтра высоковольтного выпрямителя могут использоваться термисторы с отрицательным температурным коэффициентом.

4.4 Низкочастотный выпрямитель

Питание преобразователей осуществляется постоянным напряжением, которое вырабатывается низкочастотным выпрямителем (рисунок 2.4.1). Мостовая схема выпрямления, выполненная на диодах VD1...VD4, обеспечивает надлежащее качество выпрямления сетевого напряжения. Последующее сглаживание пульсаций выпрямленного напряжения осуществляется фильтром на дросселе L1 и последовательно включенных конденсаторах C1, C2. Резисторы R1, R2 создают цепь разряда конденсаторов C1, C2 после отключения блока питания от сети.

Выходное напряжение соответствует суммарному значению напряжения на конденсаторах C1, C2. Для защиты диодов и конденсаторов от чрезмерно высокого тока в момент включения применяют термисторы. Термистор имеет некоторое сопротивление в «холодном» состоянии, после прохождения пика зарядного тока резистор разогревается и его сопротивление становится в 20...50 раз меньше. Преимущества этой схемы очевидны: простота и надежность. В высококачественных источниках питания используются варисторы RU1, RU2. Их

					110303.2020.251.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

применение объясняется необходимостью защиты блока от превышения напряжения в питающей сети. [3]

Рисунок 4.4.1 **Ошибка! Текст указанного стиля в документе отсутствует.**–
Низкочастотный выпрямитель

4.5 Полумостовой преобразователь

На вход преобразователя сигналы управления могут передаваться через согласующий трансформатор. В некоторых источниках роль согласующего выполняет пара отдельных трансформаторов. Однако более привлекательной с точки зрения размеров, стоимости а, следовательно, и более распространенной считается схема, использующая единый трансформатор с отдельными обмотками согласующего трансформатора (рисунок 2.5.1). И как следствие этого, в этих схемах первичная обмотка импульсного трансформатора Т2 подключена к дополнительной секции одной из вторичных обмоток согласующего трансформатора через конденсатор С3.

Рисунок 4.5.1 - Полумостовой преобразователь

					110303.2020.251.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

Последовательное включение конденсаторов с первичной обмоткой импульсного трансформатора позволяет устранить несимметричный характер перемагничивания трансформатора Т1 в переходных режимах работы преобразователя. Последовательно с первичной обмоткой полумостового преобразователя может быть включена обмотка дополнительного трансформатора Т3, выполняющего функцию контроля тока нагрузки в преобразователе.

На входы активных элементов преобразователя сигналы управления со вторичных обмоток согласующего трансформатора в схемах передаются через форсирующую резисторно-конденсаторную цепь. Параллельно переходному конденсатору, как правило, емкостью в 1,0 мкФ подключена цепь, состоящая из диода и резистора, эти элементы обеспечивают быстрый разряд конденсатора.

Для облегчения режима пуска преобразователя в базовых цепях ключевых транзисторов включают резисторы, устанавливающие режим «отсечки» транзисторов преобразователя так, что отпирание транзистора происходит только по сигналу управления.

В состав практически всех приведенных схем входят диоды, включенные встречно по отношению к току, протекающему через транзисторы. Этим исключается нежелательное явление «сквозных» токов при переключениях.

4.6 ШИМ – контроллер

На вход ключевых транзисторов полумостового преобразователя поступают модулированные по длительности последовательности входных импульсов. Эти сигналы формируются ШИМ - контроллером, выполненном на интегральной микросхеме TL494 (TEXAS INSTRUMENTS). Микросхема содержит:

Микросхема TL494 начинает функционировать при подаче напряжения питания на вывод 12. Если рабочий диапазон питающих напряжений на этом выводе находится в пределах 7...40 В, то запускаются встроенный генератор и источник эталонного напряжения.

Генератор работает на фиксированной частоте, с этой же частотой на выводе 5 формируется пилообразное напряжение амплитудой 3,2 В. Частота следования

									Лист
									21
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	110303.2020.251.00.00 ПЗ				

«пилы» зависит от двух внешних компонентов: конденсатора C_T и резистора R_T ; подключенным к выводам 5 и 6 соответственно. Приблизительно частота генератора определяется по формуле $f_T = 1,1/(R_T C_T)$.

Выходной транзисторный каскад открывается, когда пилообразное напряжение на входах компараторов превышает сигналы управления, поэтому увеличение амплитуды управляющих сигналов вызывает соответствующее уменьшение длительности выходных импульсов микросхемы. Обратное соотношение сигналов исключает наличие импульсов на выходах микросхемы.

Дополнительной мерой исключения явления «сквозного» тока в полумостовом преобразователе является фиксированное смещение компаратора «паузы» 0,12В. При напряжении пилы меньшем 0,12В и нулевом потенциале на выводе 4, на выходе компаратора будет сохраняться нулевой уровень, этот интервал соответствует максимальной длительности выходного импульса и минимальной длительности интервала «пауза», величина которой в этом случае не будет превосходить 4% от периода пилообразного напряжения. Максимальная длительность паузы соответствует напряжению равному +3,3В на выводе 4 микросхемы.

В двухтактном режиме вход управления выходными каскадами (вывод 13) подключается к источнику опорного напряжения (вывод 14). Когда вход управления выходными каскадами (вывод 13) соединен с источником опорного напряжения (вывод 14), транзисторы выходного каскада управляются противофазно. В этом случае частота переключения каждого транзистора равна половине частоты генератора, а ток, протекающий через каждый выходной транзистор, не превышает величины 200 мА.

Защита транзисторов полумостового преобразователя в микросхеме реализована на компараторах низкого напряжения: по питающему и эталонному. Опорные напряжения для компараторов подводятся к неинвертирующим входам, информационные - к инвертирующим. Уменьшение значения какого-либо из контролируемых напряжений ниже установленных пределов устанавливает соответствующий компаратор в единичное состояние, при этом импульсная последовательность на выходе ШИМ - компаратора прекращается [1]

					110303.2020.251.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

Рисунок 4.6.1 - Типовая схема включения микросхемы TL494

4.7 Вспомогательный преобразователь

Вспомогательный преобразователь является конструктивной особенностью источников питания формата АТХ. Данный преобразователь формирует напряжение +5 в выключенном состоянии системного модуля. Устройство представляет собой блокинг-генератор, функционирующий в автоколебательном режиме в течение всего времени замкнутого состояния сетевого выключателя блока питания.

Упрощенная схема автоколебательного блокинг-генератора для обратного преобразователя (рисунок 4.7.1). Основными элементами блокинг-генератора являются транзистор VT и трансформатор T1.

Цепь положительной обратной связи образована вторичной обмоткой трансформатора, конденсатором С и резистором R, ограничивающим ток базы. Резистор Re создает контур разряда конденсатора на этапе закрытого состояния транзистора. Диод D исключает прохождение в нагрузку R, импульса напряжения отрицательной полярности, возникающего при запирации транзистора. Ветвь, состоящая из диода D1, резистора R1 и конденсатора C1, выполняет функцию защиты транзистора от перенапряжения в коллекторной цепи. Работа схемы

					<i>110303.2020.251.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		23

автоколебательного блокинг-генератора поясняется временными диаграммами (рисунок 4.7.2 а...д). При включении питания конденсатор С разряжен ($U_C=0$, момент t рисунок 4.7.2 а), через транзистор протекает небольшой ток базы, приводящий к заряду конденсатора С. Наличие положительной обратной связи, обеспечивающейся соответствующим включением базовой обмотки трансформатора Т1, приводит к лавинообразному процессу увеличения базового и коллекторного токов транзистора VT. Процесс продолжается так до тех пор, пока транзистор не перейдет в процесс насыщения (момент t_2 , рисунок 4.7.2 а).

В режиме насыщения происходит уменьшение базового тока i_B и рост тока намагничивания i_M (рисунок 4.7.2 г), вызванного намагничиванием сердечника трансформатора Т1. В некоторый момент времени t_j (рисунок 4.7.2 г) базовый ток уменьшается настолько, что транзистор выходит из режима насыщения и его коллекторный ток i_K уменьшается. Действие обратной связи приводит к запирающему транзистора. В этот период происходит разряд конденсатора и рассеивание энергии, накопленной в магнитном поле трансформатора. В закрытом состоянии транзистора коллекторная обмотка импульсного трансформатора отключена от источника питания, а его нагрузочная обмотка отключена от сопротивления R_H диодом VD. Диод VD1 относительно напряжения коллекторной обмотки транзистора VT включен в прямом направлении. При этом считается, что ток намагничивания переводится из цепи коллектора в демпфирующую цепь VD1, R1, C1, где и происходит рассеивание энергии накопленной трансформатором. В тот момент, когда при разряде конденсатора напряжение U_3 станет равным нулю, транзистор открывается и начинается формирование следующего импульса. [2]

Рисунок 4.7.1 - Схема автоколебательного блокинг-генератора

										Лист
										24
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	<i>110303.2020.251.00.00 ПЗ</i>					

Рисунок 4.7.2 - Временные диаграммы автоколебательного блокинг-генератора

Схема типового преобразователя автогенераторного типа (рисунок 4.7.3), во всех схемах преобразователей ключевой транзистор работает в режиме с большими коммутационными перегрузками по току коллектора, поэтому в автогенераторе использован мощный транзистор. Для увеличения длительности «паузы» ключевого транзистора в автоколебательном режиме использован дополнительный источник отрицательного смещения. Ограничение выбросов управляющего сигнала осуществляется стабилитроном VD2, включенным в цепь базы ключевого транзистора VT3. В цепи демпфирования допустимо использование RC-цепи, включенной в коллекторную цепь транзистора, в некоторых случаях демпфирующая RC-цепь устанавливается и в цепи базы ключа.

					<i>110303.2020.251.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>25</i>

Рисунок 4.7.3 - Вспомогательный преобразователь блока питания

4.8 Каскад управления

Управление транзисторами полумостового преобразователя осуществляется каскадом на транзисторах VT1, VT2 (рисунок 4.8.1). Кроме этой функции схема управления осуществляет согласование и гальваническую развязку мощных силовых каскадов от маломощных цепей управления. Транзисторы VT1, VT2 схемы работают в ключевом режиме с соединенными эмиттерами поочередно. Коллекторными нагрузками являются полу обмотки трансформатора T1 (вывод 1-2, 2-3), в среднюю точку которого (вывод 2) подается питание на схему через элементы R4, VD5. Диод VD5 предотвращает влияние сигналов в первичных обмотках трансформаторов на работу ШИМ - формирователя по шине питания. Резисторы R1, R2 и R3 формируют смещение в цепи базы транзисторов VT2 и VT1 соответственно. Импульсы управления с микросхемы ШИМ-формирователя поступают на базы транзисторов схемы. Под воздействием управляющих импульсов один из транзисторов, например VT1 открывается, а второй VT2, соответственно, закрывается. Надежное запираение транзистора осуществляется цепочкой VD1, VD2, C1. Так, при протекании тока в открытом транзисторе VT1 по цепи: +25В, R4, D5, T1(выв. 2-1), VT1 (к-э), VD2, VD1, корпус в эмиттере транзистора VT1 формируется падение напряжения +1,6 В. Оно достаточно для запираения

					<i>110303.2020.251.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		26

транзистора VT2. Наличие конденсатора C1 способствует поддержанию запирающего потенциала во время «паузы». Диоды VD3, VD4 предназначены для рассеивания магнитной энергии накопленной полуобмотками трансформатора. Наличие транзисторов в выходном каскаде микросхемы позволяет выполнить эту схему без использования дополнительного транзисторного каскада. [8]

Рисунок 4.8.1 - Транзисторный каскад управления

4.9 Цепи защиты и контроля

Защита источников питания проявляется в критических режимах работы, а также в тех случаях, когда действие обратной связи может привести к предельным режимам работы элементов схемы, предупреждая тем самым выход из строя силовых и дорогостоящих элементов схемы. К ним относятся транзисторы полумостового преобразователя и выходные выпрямители.

В результате действия цепей защиты снимаются выходные управляющие сигналы с ШИМ - контроллера, транзисторы преобразователя находятся в выключенном состоянии, выходное вторичное напряжение отсутствует. Исключая внутренние цепи защиты ШИМ - контроллера рассмотрим действие внешних элементов схем защиты, встречающихся в типовых схемах преобразователей.

Следует различать такие цепи защиты:

- от короткого замыкания в нагрузке;
- от чрезмерного тока в транзисторах полумостового преобразователя;
- защиту от превышения напряжения.

					<i>110303.2020.251.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						27
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Первые два типа защиты близки по действию и связаны с необходимостью отдачи преобразователем большой мощности в нагрузку. Действуют они при перегрузках источника питания или же неисправностях в преобразователе. Защита от превышения напряжения может возникать при перепадах питающего напряжения и в некоторых других случаях.

Интересный вариант схемы защиты от короткого замыкания в нагрузке, встречающийся в схемах источников питания (рисунок 4.9.1). В этой схеме защита от коротких замыканий реализована с помощью транзисторных каскадов VT5, VT6. Датчиком короткого замыкания в выходных каналах отрицательной полярности -12 В, -5 В служит уже известная диодно-резистивная цепь VD26, R24, а в выходном канале +12 В имеются диод VD27, транзистор VT6 и резистор R32. При отсутствии короткого замыкания на коллекторе VT6 низкий уровень напряжения, поступающий через развязывающий диод VD21 на вход управления паузой (вывод 4 D1).

Рисунок 4.9.1 - Схема защиты источника питания

4.10 Выходной выпрямитель

Выходные выпрямители источника питания различают по значению напряжения выходного канала. Они выполнены по двухтактной схеме и, как уже отмечалось, имеются на $U_{Bb1} \geq +12 В, +5 В, -12 В$ и $-5 В$. Вследствие высокой частоты работы преобразователя объясняется использование специальных элементов, допускающих работу при повышенных частотах и температурах. Так, в

					<i>110303.2020.251.00.00 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		28

качестве выпрямительных используются диоды Шоттки, обладающие малым падением напряжения в прямом направлении (0,2...0,3 В для кремниевых диодов), и конденсаторы с малыми потерями, допускающими работу при высоких температурах.

Схема представлена на рисунке 4.10.1. Выпрямитель каждого канала выполнен по двухполупериодной схеме выпрямления, обладающей меньшим коэффициентом пульсаций по сравнению с однополупериодной. Фильтрацию выходного напряжения выходных напряжений осуществляют индуктивными (L1, L3, L4) и емкостными фильтрами (C19, C20, C21, C22 и C25). Включение последовательных RC-цепочек R9, C10 и R10, СП параллельно обмоткам трансформаторов позволяет уменьшить интенсивность помех создаваемых источником. Возможность значительного повышения напряжения на выходе выпрямителя при отключенной нагрузке устраняется резисторами R31, R32, R33, R34.

Формирование отрицательных напряжений источника питания может осуществляться не только с помощью выпрямителей, но и с применением интегральных стабилизаторов.

Рисунок 4.10.1 - Высокочастотный выпрямитель источника питания

					<i>110303.2020.251.00.00 ПЗ</i>	Лист
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		29

4.11 Стабилизаторы напряжения

Общее описание. Интегральные схемы LM 317, LM3Н представляют собой регулируемые 3-выводные стабилизаторы положительного напряжения, обеспечивающие выходной ток 1,5 А в диапазоне выходного напряжения от 1,2 до 37 В. Они очень удобны в обращении и требуют только два внешних резистора для установки выходного напряжения. Стабилизация по сети (по входу) и по выходу выше, чем при использовании стандартных фиксированных (заземленным стабилизаторов). Кроме того LM317 размещен в стандартных транзисторных корпусах, которые удобно устанавливать на печатные платы. Помимо того что схемы серии LM317 обладают лучшими характеристиками, чем фиксированные стабилизаторы, они обеспечивают полную защиту от перегрузки, что возможно только в ИМС. Типовая схема включения микросхемы приведена на рисунке 4.11.1

Свойства:

- Регулируемый выход вплоть до 1,2 В
- Гарантированный выходной ток 1,5 А
- Типовая стабилизация по входу 0,01%,В
- Типовая стабилизация по нагрузке 0.1%
- 100%-ная повторяемость по электрическим характеристикам
- Нет необходимости иметь запасы источников на различные напряжения
- Используем» стандартный 3-выводной Транзисторный корпус
- Ослабление пульсаций на 80 дБ

Рисунок 4.11.1 - Типовая схемы включения LM317

					<i>110303.2020.251.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>30</i>

5 РАЗРАБОТКА СТАБИЛИЗИРОВАННОГО ИМПУЛЬСНОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ

5.1 Выбор радиоэлементов.

На основании технического задания и приложенной к нему принципиальной схемы в выборе комплектующих, для изготовления источников питания стоит обратить внимание в первую очередь на отечественных производителей радиоэлементов. Среди них своей продукцией нам интересны такие как: ЗАО «НТЦ СИТ» в Брянске, «Ангстрем» в Зеленограде, ООО «Кузнецкий завод конденсаторов», в Кузнецк и другие.

При постановке задания запрета на использование радиоэлементов импортного производства не было, рассмотрим некоторые конкурентные отечественным производителям иностранные компании, такие как: ON Semiconductor в США, Jietong Switch в Китае, Vishay в США.

Так как партии радиоэлементов поставляемых непосредственно самими заводами изготовителями слишком велики (от 1000 единиц), а в розничной торговле не представлены по причинам либо низкой конкурентоспособности либо из-за специфики их использования. Например ЗАО «НТЦ СИТ» выпускает микросхему 1401УД2, стоимостью 140 рублей, которая является полным аналогом LM 324 от ON Semiconductor стоимостью всего 13 рублей. Кроме этого микросхема LM 324 гораздо доступнее при заказе, ее можно заказать у любого поставщика что позволит значительно снизить количество поставщиков, а следовательно временные и финансовые затраты. Аналогичный пример можно провести с чип резисторами. Минимальная упаковка 25 штук от Российского производителя АО НПО «ЭРКОН» стоят 340 рублей и обладают такими же параметрами как и производимые фирмой Panasonic стоимостью 200 рублей за 25 штук. Кроме того Российская промышленность не имеет аналогов зарубежным микроконтроллерам ATMEGA фирмы Atmel.

Проанализировав полученную информацию и согласовав решение с руководителем на производстве Валеевым Ф.Р для электромонтажа на печатную

					<i>110303.2020.251.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>31</i>

плату будут применяться выводные и безвыводные радиоэлементы отечественных и зарубежных производителей.

Чип резисторы ERA6, размером 0805. Производимые фирмой Panasonic с номиналами: 1 Ом, 220 Ом, 300 Ом, 1 кОм, 10 кОм, 11 кОм, 1.2 Мом и другие. Имеющие сертификацию МЭК 61191-1-2010. Для создания рисунка контактных площадок в программе Altium Designer необходимы размеры, которые можно найти в документации к ним либо в интернет, все фирмы производители придерживаются единого стандарта размеров SMD компонентов. Таблица из паспорта для резисторов ERA6 приведена на рисунке 5.1.1.

Рисунок 5.1.1- Стандартные размеры SMD резисторов

Электролитические конденсаторы K50-35-470мкФ±35% (рисунок 5.1.2) это алюминиевые электролитические конденсаторы, обладающие высокой удельной емкостью, высоким максимально допустимым током пульсации и высокой надежностью.

Рисунок 5.1.2 - конденсатор K50-35

					<i>110303.2020.251.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>32</i>

Данные конденсаторы при сравнении с продукцией Российского производителя ОАО «Элеконд» имеют меньшие габаритные размеры и больший предел по току пульсации, а это важный параметр для источника питания (таблица 5.1.1).

Таблица 5.1.1 – Сравнение характеристик конденсаторов

	К50-35 производства JAMICON Япония	К50-35 производства ОАО «Элеконд» Россия
Емкость, мкФ	470	470
Размер, DxL мм	8x11	30x77
Uном	250	250
Ипульс. мА	2000	1500

Дисплей LCD 1602 жидкокристаллический с подсветкой и установленным I2C/SPI конвертером. В отличие от обычного дисплея общается с микроконтроллерами серии Atmega по средствам 2-х проводной связи, это поможет сэкономить цифровые пины контроллера для подключения дополнительной периферии. Так же на I2C/SPI конвертере присутствует опция регулировки подсветки, что повысит комфорт работы с прибором. Дисплей имеет разрешение 16x2 пикселей и габаритные размеры 80x36 (рисунок 5.1.3) что удовлетворяет нашим требованиям.

Рисунок 5.1.3 – Дисплей LCD 1602

Кнопка тактовая ВКн1 В от Российского производителя ООО "НПО НИИРК" имеет гарантированный ресурс в 50 000 коммутационных циклов, допустимый коммутационный ток 0.15 мА, рабочее напряжение до 15 Вольт (рисунок 5.1.4).

Рисунок 5.1.4 **Ошибка! Текст указанного стиля в документе отсутствует.**- Кнопка тактовая ВКн1

					<i>110303.2020.251.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		34

5.2 Создание посадочных мест для элементов в Altium Designer

В связи с отсутствием конструкторского отдела в Челябинском филиале АО “НПО СПЛАВ” создание базы необходимых элементов для создания схемы электрической принципиальной и чертежа печатной платы была выбрана программа Altium Designer. Данное программное обеспечение было выбрано по причине изучения его в программе получаемой специальности по направлению 11.03.03 конструирование и технология электронных средств. Программа Altium Designer является система автоматизированного проектирования, предоставляющая широчайшие возможности по созданию электронных устройств.

Состав программного пакета Altium Designer включает весь необходимый набор инструментов для создания, редактирования и правки работ на основе электрических и программируемых интегральных схем. Редактор схем позволяет работать с проектами любого размера и сложности. Редактор печатных плат программы содержит уникальные средства для автоматического и интерактивного размещения компонентов. Топологический трассировщик использует полностью настраиваемый алгоритм для решения задач разводки печатных плат с большой плотностью установки элементов. Он может работать по неортогональным направлениям и с самостоятельным выбором слоев. Программа позволяет создавать собственные и использовать готовые библиотеки компонентов.

По причине отсутствия готовых библиотек все посадочные места (рисунки 5.2.1-5.2.10) были созданы в ручную, по данным указанным в прилагаемых к выбранным радиоэлементам документам. [7]

Рисунок 5.2.1 Ошибка! Текст указанного стиля в документе отсутствует.–
посадочное место сетевой вилки

					<i>110303.2020.251.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>35</i>

Рисунок 5.2.2 – Посадочное место ATMEGA64-16AU

Рисунок 5.2.3 – Посадочное место силового трансформатора ERL-35

					<i>110303.2020.251.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>36</i>

Рисунок 5.2.4 – Посадочное место фильтра L2

Рисунок 5.2.5 – **Ошибка! Текст указанного стиля в документе отсутствует.**Посадочное место конденсатора К50-35

					110303.2020.251.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

Рисунок 5.2.6 **Ошибка! Текст указанного стиля в документе отсутствует.**–
Посадочное место диода DO-35

Рисунок 5.2.7- Посадочное место микросхемы LM7805

					110303.2020.251.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		38

Рисунок 5.2.8- Посадочное место транзистора BC337

Рисунок 5.2.9 **Ошибка! Текст указанного стиля в документе отсутствует.**–
Посадочное место резистора размером 0805

Рисунок 5.2.10 – посадочное место оптопары МСТ62

					110303.2020.251.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

5.3 Расположение элементов на плате.

От позиций размещения элементов на плате зависит количество печатных проводников между ними, количество пересечений между печатными проводниками работоспособность изделия, срок его службы и внешний эстетический вид изделия в целом.

Размещение необходимо начать с элементов имеющих наибольшее количество связей – микросхем. Микросхемы следует разместить в центральной части печатной платы, а далее рассматривать последующие элементы по уровню связанности с ними. Исключением является микропроцессор Atmega 64. Так как его большая часть выводов соединена с кнопками, дисплеем и световой сигнализацией работы источника питания. Контактные площадки для подключения кнопок, дисплея, вентилятора, входа и выхода питания необходимо разместить по краю печатной платы, это уменьшит длину мягких проводников и упростит сборку изделия.

Все остальные радиоэлементы будут располагаться на двух сторонах печатной платы. Все элементы имеющие выводы разместим на верхней стороне, а большинство не имеющих выводы на нижней стороне.

Такая компоновка позволит значительно уменьшить занимаемую радиокомпонентами площадь, что положительно скажется на размерах будущего печатного узла, к которым в техническом задании предъявляются особые требования.

Трансформаторы и помехоподавляющие фильтры разместить последовательно движению токов по схеме. Так как на предприятии используется фольгированный текстолит толщинами только 1 и 2 миллиметра с толщиной фольги 18 микрон выберем текстолит 2 миллиметра. В таком случае расстояние между радиоэлементами противоположных сторонах будет увеличено, а следовательно уменьшатся возможные паразитные наводки, шанс диэлектрического пробоя, прогара и печатный узел будет обладать высокой механической прочностью в целом.

					<i>110303.2020.251.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>40</i>

Электролитические конденсаторы необходимо разместить по возможности дальше от тепловых источников — транзисторные ключи, трансформаторы, диоды. Это продлит их срок службы.

В целом при размещении компонентов целью было минимизировать длину печатных проводников, избегать близкого размещения компонентов негативно влияющих друг на друга, минимизировать размеры проектируемого печатного узла, но при этом оставить коридоры для циркуляции воздуха во избежание перегрева. [7]

5.4 Расположение печатных проводников.

Так как двухсторонние печатные платы имеют проводящий рисунок на обеих сторонах диэлектрического основания и обеспечивают высокую плотность установки компонентов и трассировки. На предприятии применяется субтрактивный метод изготовления печатной платы. Условия позволяют производить печатные платы не выше 3 класса точности и размерами не более 300х300 миллиметров.

Из учета возможностей предприятия прописанных в требованиях технического задания, для уменьшения сопротивления и как следствие падения напряжения ширина сигнальных печатных проводников будет составлять 0.25 мм и проводников выходных цепей питания нагрузки 4 миллиметра. Заказчик не стал предъявлять требования к проведению расчетов протекающих по ним токов из соображений что нагрузка слишком мала по сравнению с нагрузками испытываемыми блоками питания в персональных компьютерах. Стоит заметить что в блоках питания персональных компьютерах чьи схемотехнические решения взята за основу толщина сигнальных проводников и линии питания 12 вольт имеют меньшую ширину.

По требованиям заказчика минимальное расстояние между печатными проводниками должно составлять 0.25 миллиметров, ограничений в большую сторону не имеется. По возможности для снижения индуктивных и других вредных влияний проводников друг на друга расстояние следует увеличивать.

					<i>110303.2020.251.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		41

Количество переходных отверстий необходимо стараться свести к минимуму, так как они занимают полезное пространство, удлиняют цепь, увеличивают ее сопротивление и снижают надежность печатного узла в будущем.

Также для снижения влияния проводников верхней и нижней сторон друг на друга их пересечения необходимо выполнять под углом в 90 градусов.

Не перегружать печатную плату большим количеством отверстий различных диаметров.

					<i>110303.2020.251.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		42

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе выполнена разработка стабилизированного импульсного источника питания. Выбраны радиоэлементы и созданы для них посадочные места в программе Altium Designer, разработана печатная плата, на основании требований технического задания, подготовлена конструкторская документация а именно:

- принципиальная электрическая схема;
- чертеж передней панели управления;
- сборочный чертеж печатного узла;
- чертеж печатной платы;
- спецификация;

Создана 3D модель печатного узла в программе Autodesk Inventor.

Техническое задание на разработку стабилизированного импульсного источника питания для обеспечения подачи заданного напряжения и поддержания его величины в процессе операций внутреннего выходного контроля, наладки и измерений сигналов в блоках сравнения и усиления выполнен в полном объеме.

					110303.2020.251.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хорвиц, П. Искусство схемотехники / П. Хорвиц, У. Хилл. Х — 2-е изд. — Москва: Издательство БИНОМ, 2014. — 704 с.
2. Проектирование стабилизированных источников электропитания радиоэлектронной аппаратуры/Л. А. Краус, Г. В. Гейман, М. М. Лапиров-Скобло, В. И. Тихонов — М.: Энергия, 1980.— 288 с.
3. Белов, Г.А. Высокочастотные тиристорно-транзисторные преобразователи постоянного напряжения /Г.А. Белов. — Москва: Издательство Энергоатомиздат, 1987. — 120 с.
4. Электронный каталог магазина ООО «Импульс-НДТ» / Источник питания БЗ-701.1. — <http://impuls-ndt.ru> istochniki-pitaniya/istochniki-pitaniya-b3-701.1...b3-706.1.
5. Электронный каталог магазина ООО «Импульс-НДТ» / Источник питания ВЗ-781.4. — <http://impuls-ndt.ru> istochniki-pitaniya/istochniki-pitaniya-b3-781.4...b3-787.4.
6. Электронный каталог магазина Принцип / Источник питания постоянного тока серии PPS-2019А. — <http://printsip.ru> radioizmeritelnye-pribory/istochniki-pitaniya/istochniki-pitaniya-motech/item/pps-2019a (20.02.2020);
7. Лопаткин, А.В. Проектирование печатных плат в системе Altium Designer: учебное пособие/ А.В. Лопаткин. — Москва: Издательство ДМК Пресс, 2017. — 554 с.
8. Куличков, А. В. Импульсные блоки питания для IBM PC/ А.В. Куличков. — Москва: Издательство ДМК пресс, 2016. — 120 с.

					110303.2020.251.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44