

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ**

Кафедра промышленной электроники (ПрЭ)

В. А. Скворцов, А. В. Топор, В. С. Мишуров

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

**Методические указания
по выполнению выпускной квалификационной работы
для студентов направления 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника»,
профиль «Промышленная электроника», обучающихся с применением
дистанционных образовательных технологий**

Томск 2017

Корректор: А. Н. Миронова

Скворцов В. А., Топор А. В., Мишуров В. С.

Выпускная квалификационная работа : методические указания по выполнению выпускной квалификационной работы для студентов направления 11.03.04 «Электроника и микроэлектроника», профиль «Промышленная электроника», обучающихся с применением дистанционных образовательных технологий / В. А. Скворцов, А. В. Топор, В. С. Мишуров. – Томск : ФДО, ТУСУР, 2017. – 97 с.

© Скворцов В. А., Топор А. В.,
Мишуров В. С., 2017

© Оформление.
ФДО, ТУСУР, 2017

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
1 Цель и задачи выполнения ВКР.....	5
2 Организация выполнения ВКР.....	12
3 Структура выпускной квалификационной работы	15
4 Требования к структурным элементам квалификационной работы	17
4.1 Общие требования	17
4.2 Титульный лист.....	17
4.3 Реферат	17
4.4 Техническое задание.....	19
4.5 Содержание	32
4.6 Введение	33
4.7 Основная часть.....	33
4.7.1 Последовательность выполнения основной части ВКР	33
4.7.2 Анализ технического задания	35
4.7.3 Обзор технических решений по заданной тематике	35
4.7.4 Выбор и обоснование структурной (функциональной) схемы устройства	36
4.7.5 Принципиальные схемы, элементы настройки, управления, контроля и защиты	37
4.7.6 Электрический расчет принципиальных схем	39
4.7.7 Выбор элементов.....	40
4.7.8 Оценка погрешности измерений	40
4.7.9 Оценка точности поддержания заданных параметров в устройствах стабилизации напряжения (тока)	42
4.7.10 Стил ь изложения, сокращения	42
4.7.11 Ссылки на используемые источники	43
4.7.12 Рисунки в тексте, чертежи	44

4.8 Заключение.....	45
4.9 Список использованных источников.....	45
4.10 Приложения.....	45
5 Защита выпускной квалификационной работы	47
Приложение А (обязательное) Форма титульного листа	48
Приложение Б (справочное) Пример оформления реферата	49
Приложение В (обязательное) Пример оформления технического задания	50
Приложение Г (справочное) Пример оформления содержания.....	52
Приложение Д (справочное) Пример оформления фрагмента текстового документа (ТД)	53
Приложение Е (справочное) Пример оформления рисунков (иллюстраций)	54
Приложение Ж (обязательное) Список используемых источников	55
Приложение К Пример выполнения выпускной квалификационной работы	56

ВВЕДЕНИЕ

Методические указания являются руководством для студентов и руководителей выпускной квалификационной работы (ВКР), содержат необходимые сведения о порядке организации, выполнения и защиты выпускной квалификационной работы по направлению **11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»** в соответствии с рекомендациями научно-методического совета ТУСУРа. В пособии приведены примеры выполнения ВКР по различным спектрам направления подготовки бакалавров в области промышленной электроники.

1 ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ВЫПОЛНЕНИЯ ВКР

Выпускная квалификационная работа (ВКР) является самостоятельной работой выпускника, выполняемой по учебному плану на завершающем этапе обучения. ВКР служит основным средством итоговой аттестации выпускников, претендующих на получение соответствующей степени «бакалавр».

Выполнение ВКР преследует цель подготовки студента для решения профессиональных задач в следующих видах деятельности:

- ***в проектно-конструкторской деятельности:***
 - сбор и анализ исходных данных для расчета и проектирования электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения;
 - расчет и проектирование электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования;
 - разработка проектной и технической документации, оформление законченных проектно-конструкторских работ;
 - контроль соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам;

- ***в производственно-технологической деятельности:***

- внедрение результатов исследований и разработок в производство;
- выполнение работ по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники;
- подготовка документации и участие в работе системы менеджмента качества на предприятии;
- организация метрологического обеспечения производства материалов и изделий электронной техники;
- контроль соблюдения экологической безопасности;

- ***в научно-исследовательской деятельности:***

- анализ научно-технической информации отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования;
- математическое моделирование электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования;
- участие в планировании и проведении экспериментов по заданной методике, обработка результатов с применением современных информационных технологий и технических средств;
- подготовка данных и составление обзоров, рефератов, отчетов, научных публикаций и докладов на научных конференциях и семинарах, участие во внедрении результатов исследований и разработок;
- организация защиты объектов интеллектуальной собственности и результатов исследований и разработок как коммерческой тайны предприятия;

- ***в организационно-управленческой деятельности:***

- организация работы малых групп исполнителей;
- участие в разработке организационно-технической документации (графиков работ, инструкций, планов, смет) и установленной отчетности по утвержденным формам;

- выполнение работ по сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов;

- профилактика производственного травматизма, профессиональных заболеваний, предотвращение экологических нарушений;

- ***в монтажно-наладочной деятельности:***

- участие в монтаже, наладке, настройке, регулировке и опытной поверке измерительного, диагностического, технологического оборудования и программных средств, используемых для решения различных научно-технических, технологических и производственных задач в области электроники и микроэлектроники;

- участие в наладке, испытаниях и сдаче в эксплуатацию опытных образцов материалов и изделий электронной техники;

- ***в сервисно-эксплуатационной деятельности:***

- эксплуатация и сервисное обслуживание аппаратно-программных средств и технологического оборудования производства материалов и изделий электронной техники;

- проверка технического состояния и остаточного ресурса оборудования, организация профилактических осмотров и текущего ремонта;

- составление заявок на оборудование и запасные части, подготовка технической документации на ремонт;

- составление инструкций по эксплуатации оборудования и программ испытаний.

При выполнении ВКР студентом решаются следующие задачи:

- закрепление и более глубокое усвоение теоретических знаний и практических навыков;

- развитие самостоятельности при постановке задачи исследований, выборе методов достижения цели и выявлении творческой инициативы при решении конкретных задач;

- приобретение навыков в использовании методов анализа и синтеза;
- самостоятельное проведение научно-практических исследований;
- обоснование и нахождение эффективного пути решения поставленных задач при исследовании и проектировании различных объектов;
- подготовка к защите работы и аргументированная защита разработанных предложений.

Результатом выполнения ВКР должно стать овладение следующими компетенциями:

- **общекультурными (ОК):**

- способностью владеть культурой мышления, способностью к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей её достижения (ОК-1);
- способностью логически верно, аргументировано и ясно строить устную и письменную речь (ОК-2);
- способностью к кооперации с коллегами, работе в коллективе (ОК-3);
- способностью осознавать социальную значимость своей будущей профессии, обладать высокой мотивацией к выполнению профессиональной деятельности (ОК-8);
- способностью использовать основные положения и методы социальных, гуманитарных и экономических наук при решении социальных и профессиональных задач, анализировать социально-значимые проблемы и процессы (ОК-9);
- способностью использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования (ОК-10);

- способностью понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, сознавать опасности и угрозы, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны (ОК-11);

- способностью владеть основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, иметь навыки работы с компьютером как средством управления информацией (ОК-12);

- способностью работать с информацией в глобальных компьютерных сетях (ОК-13);

- способностью владеть одним из иностранных языков на уровне не ниже разговорного (ОК-14);

- **профессиональными (ПК):**

- способностью владеть основными приемами обработки и представления экспериментальных данных (ПК-5);

- способностью собирать, обрабатывать, анализировать и систематизировать научно-техническую информацию по тематике исследования, использовать достижения отечественной и зарубежной науки, техники и технологии (ПК-6);

- способностью владеть элементами начертательной геометрии и инженерной графики, применять современные программные средства выполнения и редактирования изображений и чертежей, подготовки конструкторско-технологической документации (ПК-7);

- способностью осуществлять сбор и анализ исходных данных для расчета и проектирования электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения (ПК-9);

- готовностью выполнять расчет и проектирование электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения

в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования (ПК-10);

- способностью разрабатывать проектную и техническую документацию, оформлять законченные проектно-конструкторские работы (ПК-11);

- готовностью осуществлять контроль соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам (ПК-12);

- готовностью внедрять результаты разработок в производство (ПК-13);

- способностью выполнять работы по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники (ПК-14);

- способностью готовить документацию и участвовать в работе системы менеджмента качества на предприятии (ПК-15);

- готовностью организовывать метрологическое обеспечение производства материалов и изделий электронной техники (ПК-16);

- способностью осуществлять контроль соблюдения экологической безопасности (ПК-17);

- способностью собирать, анализировать и систематизировать отечественную и зарубежную научно-техническую информацию по тематике исследования в области электроники и нанoeлектроники (ПК-18);

- способностью строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования (ПК-19);

- способностью аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения (ПК-20);

- готовностью анализировать и систематизировать результаты исследований, представлять материалы в виде научных отчетов, публикаций, презентаций (ПК-21);

- способностью внедрять результаты исследований и разработок и организовывать защиту прав на объекты интеллектуальной собственности (ПК-22);

- способностью организовывать работу малых групп исполнителей (ПК-23);

- готовностью участвовать в разработке организационно-технической документации (графиков работ, инструкций, планов, смет) установленной отчетности по утвержденным формам (ПК-24);

- способностью выполнять задания в области сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов (ПК-25).

2 ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ВКР

К выполнению ВКР допускаются студенты, успешно завершившие полный курс обучения (228 зачетных единиц) по основной образовательной программе и успешно прошедшие все предусмотренные учебным планом аттестационные испытания. Трудоемкость выпускной квалификационной работы составляет 12 зачетных единиц (8 недель).

ВКР (выпускная квалификационная работа) выполняется выпускником самостоятельно в форме *бакалаврской работы*, содержащей анализ известного технического решения, изделия, технологического процесса, программного продукта и т. д., раскрывающей знания выпускника, приобретенные им в процессе изучения общепрофессиональных и специальных дисциплин. ВКР может основываться как на углублении выполненных ранее курсовых работ и проектов по профильным дисциплинам, так и на выполнении конкретных технических заданий предприятий и организаций, являющихся базой учебных (в том числе и производственно-технологической) практик.

Территориально ВКР могут выполняться:

- на кафедрах ТУСУР под руководством преподавателей, научных сотрудников, аспирантов;
- в научных подразделениях ТУСУРа;
- в НИИ, на предприятиях и организациях г. Томска и других городов.

В последних двух случаях руководителями ВКР могут быть штатные сотрудники этих учреждений и организаций, имеющие квалификацию не ниже дипломированного специалиста.

Сроки выполнения и время защиты ВКР регламентируются учебным планом (8 недель по окончании теоретического курса обучения). **Темы ВКР** согласуются с **выпускающей** кафедрой. Следует отметить, что студенту предоставляется право выбора темы вплоть до предложения своей

тематики с необходимым обоснованием целесообразности ее разработки. В основу выполнения ВКР могут быть положены результаты наработок, полученные при групповом проектном обучении (ГПО) или выполнении задания по дисциплине «Научно-исследовательская работа». Вопрос об изменении темы в целом после ее утверждения или частичной ее корректировки решается в каждом отдельном случае администрацией кафедры и фиксируется дополнительными приказами или распоряжениями.

Тема ВКР, её руководитель, консультанты (при необходимости) утверждаются по представлению заведующего кафедрой не позднее чем за полгода до начала итоговой аттестации.

Выполнение ВКР состоит из следующих этапов:

- Выбор *темы* ВКР студентом по согласованию с руководителем.
- Формирование *технического задания на ВКР* (на бланке установленной формы) студентом совместно с руководителем работы и утверждение его на кафедре.
- Выполнение ВКР (работа должна быть полностью завершена, соответствовать техническому заданию, иметь необходимые разделы и подразделы и надлежащим образом оформлена).
- Составление *письменного отзыва* о ВКР руководителем.
- Представление выполненной и подписанной руководителем ВКР заведующему кафедрой с целью решения вопроса о допуске студента к защите.
- Решение вопроса о *пробной защите ВКР* в установленное время перед комиссией в составе двух-трех преподавателей и специалистов выпускающей кафедры по распоряжению зав. кафедрой, которая может быть назначена в следующих случаях:
 - 1) по представлению руководителя ВКР;
 - 2) при появлении мотиваций к дополнительному обсуждению ВКР и самой деятельности выпускника на стадиях как выполнения, так и представления готовой ВКР;

3) по заявлению студента.

- **Защита** ВКР перед экзаменационной комиссией.

После получения допуска к защите, студент представляет секретарю аттестационной комиссии **следующие документы**:

— зачетная книжка (заверенные печатью деканата по семестрам результаты зачетных и экзаменационных сессий, запись названия ВКР, запись руководителя ВКР о допуске к защите);

— бакалаврская работа (пояснительная записка к ВКР);

— графический материал (не менее 3 листов формата А1);

— отзыв руководителя ВКР.

В Государственную аттестационную комиссию (ГАК) могут быть представлены и другие материалы, характеризующие научную и практическую деятельность студента, например, презентация, экспериментальный макет и т. д.

3 СТРУКТУРА ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ

3.1 Работа в общем случае должна содержать:

- текстовый документ (ТД). См. «Работы выпускные квалификационные: методические указания по оформлению технической документации / составитель В.П. Родюков». Раздел 6. Требования к оформлению ТД;
- графический материал. См. «Работы выпускные квалификационные: методические указания по оформлению технической документации / составитель В.П. Родюков». Раздел 7. Правила оформления графического материала.

Текстовый документ ВКР бакалавра именуется «Пояснительная записка к бакалаврской работе».

Примечание

Работа может быть частично представлена на технических носителях данных ЭВМ (ГОСТ 28388), если это установлено техническим заданием (ТЗ).

3.2 Выпускная квалификационная работа должна включать следующие разделы в указанной ниже последовательности:

- титульный лист;
- реферат на русском языке;
- реферат на иностранном языке;
- техническое задание (ТЗ);
- содержание;
- введение;
- основную часть;
- заключение;
- список использованных источников;
- приложения.

Примечание

После приложений в работе могут быть помещены самостоятельные конструкторские, технологические, программные и другие проектные документы, разработанные в ходе выполнения технического задания.

3.3 К графическому материалу относят:

- чертежи и схемы;
- демонстрационные листы (плакаты).

Чертежи и схемы в зависимости от характера работы могут представляться как на отдельных листах, используемых при публичной защите, так и в составе ТД.

Демонстрационные листы служат для наглядного представления материала работы при ее публичной защите.

В квалификационной работе должно быть не менее 3 чертежей формата А1, количество демонстрационных листов не регламентируется.

4 ТРЕБОВАНИЯ К СТРУКТУРНЫМ ЭЛЕМЕНТАМ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ

4.1 Общие требования

4.1.1 Пояснительная записка к ВКР объёмом 25–40 страниц печатного текста должна в краткой и чёткой форме раскрывать творческий замысел работы, содержать описание методов исследования и (или) расчетов, сравнение рассматриваемых вариантов решений, описание проведенных экспериментов, анализ результатов экспериментов и выводы по ним. Как правило, текст должен сопровождаться иллюстрациями (графиками, эскизами, диаграммами, схемами и т. п.).

4.1.2 Работа должна быть выполнена на русском языке.

Допускается выполнение работы на иностранном языке, если это установлено техническим заданием.

4.2 Титульный лист

Образец титульного листа представлен в приложении А.

4.3 Реферат

4.3.1 Реферат (ГОСТ 7.9, ГОСТ 7.32) размещается на отдельном листе (странице). Образец реферата приведен в приложении Б.

Заголовком служит слово «Реферат» (для реферата на иностранном языке – соответствующий иностранный термин), записанное с прописной буквы в центре страницы.

4.3.2 Реферат должен содержать:

- сведения о количестве листов (страниц) работы, количестве иллюстраций, таблиц, использованных источников, приложений, листов графического материала;
- перечень ключевых слов;
- текст реферата.

4.3.2.1 Перечень ключевых слов должен включать от 5 до 15 слов или словосочетаний из текста работы, которые в наибольшей мере характеризуют его содержание. Ключевые слова приводятся в именительном падеже и записываются прописными буквами в строку через запятые.

4.3.2.2 Текст реферата должен отражать:

- краткое описание объекта исследования или разработки;
- цель работы;
- методы исследования и перечень используемых при исследованиях приборов;
- полученные результаты и их новизну;
- основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики;
- степень внедрения;
- рекомендации по внедрению или итоги внедрения результатов работы;
- область применения;
- экономическую эффективность или значимость работы;
- прогнозные предположения о развитии объекта исследования (разработки);
- дополнительные сведения (особенности выполнения и оформления работы и т. п.).

Если работа не содержит сведений по какой-либо из перечисленных структурных частей реферата, то в тексте реферата она опускается, при этом последовательность изложения сохраняется.

4.3.3 Изложение материала в реферате должно быть кратким и точным. Следует избегать сложных грамматических оборотов.

4.4 Техническое задание

Образец технического задания приведен в приложении В.

4.4.1 В каждой работе должна быть разработана тема в соответствии с заданием, утвержденным заведующим кафедрой. Форма технического задания определяется кафедрой. Формулировка темы выпускной квалификационной работы в техническом задании **должна полностью** соответствовать её формулировке в приказе по вузу.

4.4.2 Техническое задание должно быть составлено на русском языке.

4.4.3 После утверждения ТЗ вносить в него изменения и дополнения **не разрешается**.

4.4.4 Рекомендации по заполнению бланка технического задания:

- П.1 «Тема бакалаврской работы».

Из названия темы должно быть ясно, что конкретно разрабатывается в данной работе. Не допускается выполнение работы на отвлеченную тему, например: «Микропроцессорная система управления», должно быть точно указано для чего или для кого ведется разработка («Микропроцессорная система управления установки индукционного нагрева»). Не допускается в названии работы использовать слово **Разработка** (вместо «Разработка установки индукционного нагрева стальных труб» необходимо – «Установка индукционного нагрева стальных труб»). Название темы выпускной квалификационной работы должно начинаться с имени существительного, например: не «**Автоматизированная система управления коллекторным двигателем**», а «**Система автоматического управления коллекторным двигателем**».

- П.2 «Технические параметры».

Указываются не более 10 основополагающих технических параметров проектируемого устройства, дополнительные технические параметры могут быть введены в текстовую часть соответствующих разделов работы.

- П.3 «Конструкторские параметры».

Заполняется при наличии в работе задания на конструкторскую проработку.

- П.4 «Условия эксплуатации».

Заполняется при выполнении разработки для специфических климатических условий.

- П.5 «Перечень разделов, подлежащих разработке» должен содержать следующие пункты:

Обзорная часть:

- обоснование актуальности разработки;
- обзор и анализ существующих решений (аналогов);
- выбор критериев оценки и анализа.

Проектировочная часть:

- разработка структурной или функциональной схемы объекта или системы;
- описание алгоритмов работы;
- разработка принципиальной схемы объекта или его составляющих узлов, модулей.

Расчетная часть (расчет параметров элементов силовой части, схемы управления, отдельных блоков системы):

- обоснование принятых допущений;
- расчет электрических параметров схемы;
- выбор элементов в соответствии с результатами расчетов.

Компьютерное моделирование:

- выбор среды моделирования, позволяющей наиболее полно отразить специфику проектируемого объекта;
- обоснование принятых допущений;
- составление математической модели объекта;

- получение требуемых характеристик (параметров элементов схемы, и т. д.).

Экспериментальная часть:

- описание проведенных экспериментов (устройства, блока, системы);
- протоколы испытаний (таблицы результатов, графики, рисунки).

Сопоставительный анализ результатов расчета, моделирования, эксперимента.

- П. 6.1 «Чертежи».

Указываются конкретные наименования чертежей. В работе необходимо выполнить не менее трех чертежей формата А1 в соответствии с ЕСКД.

Бакалаврская работа должна содержать 25–40 страниц печатного текста, в том числе:

- обзорная часть – 5–8 страниц;
- проектировочная часть – 5–8 страниц;
- расчетная часть – 10–12 страниц;
- экспериментальная часть – 5–6 страниц.

4.4.5 Широкий спектр профильной подготовки бакалавров в области промышленной электроники включает многообразие вариантов выполнения ВКР. Содержание основной части работы должно соответствовать всем пунктам ТЗ и удовлетворять требованиям, изложенным в настоящих методических указаниях. В основу ВКР могут быть положены **курсовые проекты** по дисциплинам, изучаемым в теоретических курсах с расширенным техническим заданием и содержанием рекомендуемых ниже подразделов:

а) при проектировании устройств энергетической электроники и управляющей техники

1. Постановка задачи проектирования:

- актуальность проектирования данного объекта;

— обзор аналогичных устройств, реализующих подобные задачи, по материалам научно-технической литературы, включая патентную информацию;

— сравнительный анализ аналогов по структурным или функциональным схемам на основании выбранных критериев оценки.

2. Разработка структурной или функциональной схемы объекта и описание алгоритма работы.

3. Разработка принципиальной схемы объекта (устройства):

а) силовая часть;

б) схема управления;

в) дополнительные блоки (блок питания собственных нужд, обратной связи, защиты, контроля и т. д.).

Примечание: если устройство (объект) многофункционально, то отдельные блоки могут быть представлены на функциональном уровне.

4. Расчет параметров и выбор элементов в соответствии с техническими условиями (ТУ):

а) силовая часть;

б) схема управления;

в) дополнительные блоки (блок питания собственных нужд, обратной связи, защиты, контроля и т. д.).

Примечание: при выборе элементной базы ссылка на справочную литературу **обязательна**.

5. Моделирование объекта проектирования (отдельных блоков, узлов):

а) выбор среды моделирования, позволяющей наиболее полно отразить специфику проектируемого объекта;

б) обоснование принятых допущений;

в) составление математической модели объекта;

г) получение требуемых характеристик (параметров элементов схемы и т. д.).

6. Конструкторский раздел (печатная плата, монтажная схема, объемная конструкция блока).

7. Экспериментальная часть (приводятся схемы эксперимента, перечень используемых измерительных приборов).

Примечания:

— конструкторский и экспериментальный разделы выполняются в тех случаях, если они предусмотрены ТЗ.

— результаты эксперимента подтверждаются протоколом испытаний.

Рекомендуемый графический материал:

- Схемы электрические структурные (функциональные):
 - а) прототипов;
 - б) разработанного устройства.
 - Схема электрическая принципиальная разработанного устройства или его составных частей (при наличии оригинальных решений).
 - Модель, формулы, результаты моделирования.
 - Схема эксперимента.
 - Статические (регулирующие, нагрузочные, входные) и динамические характеристики устройства (расчетные и экспериментальные).
 - Печатные платы, сборочные чертежи устройства (отдельных блоков).
- (Составили: В. С. Мишуков, В. А. Скворцов, А. В. Топор.)*

б) при разработке микропроцессорных средств автоматизации и управления

1. Конкретизация технического задания:

- описание объекта управления (состав, режимы работы);
- актуальность проектирования микропроцессорного устройства;
- описание механических и климатических условий работы устройства, массогабаритных, энергетических, технологических, стоимостных требований (при необходимости).

2. Системное проектирование микропроцессорного устройства:

- анализ известных прототипов устройства и обоснование выбора оптимального варианта;
- формализация функций, выполняемых объектом управления;
- разделение функций на реализуемые:
 - а) аппаратным;
 - б) программным способом;
- определение архитектуры, состава компонентов (исполнительные элементы, датчики, интерфейсные элементы, микропроцессор) и основных характеристик устройства при данном способе построения;
- обоснование разрядности обрабатываемых данных, исходя из заданных требований по точности, и выбор средств аналого-цифрового и цифро-аналогового преобразования сигналов;
- выбор типа микропроцессора с учетом необходимой разрядности, быстродействия, экономичности потребления, температурного диапазона работы, наличия на кристалле необходимых интерфейсных средств.

3. Структурно-алгоритмическое проектирование микропроцессорного устройства:

- разработка структурных схем (электрической, кинематической, гидравлической, пневматической и др.) устройства для выбранного варианта реализации (при необходимости);
- формализация задачи аппаратных и программных средств;
- разработка алгоритма работы аппаратных средств (при необходимости);
- разработка схемы алгоритма прикладной программы с разбиением ее на функциональные модули (подпрограммы);
- при использовании вычислительных алгоритмов необходимо рассчитать погрешность, связанную с накапливающейся ошибкой округления

(усечения) промежуточных результатов, на основании которых сформулировать требования к разрядности микропроцессора (при необходимости);

- при функционировании микропроцессорного устройства в режиме замкнутой системы автоматического управления необходимо осуществить моделирование этого режима с определением статических и динамических характеристик устройства, на основании которых сформулировать требования к быстродействию микропроцессора (при необходимости).

4. Функционально-логическое проектирование микропроцессорного устройства.

5. Разработка принципиальных схем конструктивных блоков:

- разбиение устройства на блоки по конструктивному признаку (плата микроконтроллера, блок питания и т. п.);

- разработка принципиальных схем блоков с перечнями элементов в соответствии с ГОСТом;

- расчет параметров элементов принципиальной схемы (номинальная величина, погрешность, мощность, дрейф нулевого уровня, погрешности коэффициента передачи и т. п.).

6. Разработка прикладных программ:

- подготовка исходного текста прикладных программ;

- трансляция исходного текста программ, формирование листинга с подробным комментарием;

- автономная отладка программных модулей путем эмуляции с помощью отладочных средств. Фиксация результатов отладки для конкретных тестовых примеров как результатов эксперимента;

- разработка и отладка программных модулей для автономного тестирования аппаратной части микропроцессорной системы (при необходимости);

- методика интеграции программных и аппаратных средств микропроцессорной системы при работе в реальном времени (при необходимости);

- испытание микропроцессорной системы (при необходимости).

7. Конструкторско-технологическое проектирование микропроцессорного устройства:

- разработка топологии одной из печатных плат (схемы расположения элементов и схемы печатного монтажа) желательно с применением какой-либо системы САПР и соответствующих конструкторских чертежей в соответствии с ГОСТом (при необходимости);

- разработка общей конструкции устройства или отдельного блока желательно с применением какой-либо системы САПР и соответствующих конструкторских чертежей в соответствии с ГОСТом (при необходимости).

Примечание: отдельные пункты ТЗ отмеченные скобками (при необходимости) выполняются, если они предусмотрены ТЗ.

Иллюстрационно-графический материал:

- Схема электрическая структурная или функциональная.
- Схемы электрические принципиальные с перечнем элементов.
- Схема соединений (при необходимости).
- Схема расположения элементов (микросхем и др.) на одной из плат и схема печатного монтажа (желательно с использованием пакета САПР) (при необходимости).
- Блок-схема алгоритма прикладной программы.
- Листинг результата трансляции прикладной программы с комментариями (как демонстрационный материал).
- Иллюстративный лист с основными формулами и соотношениями, поясняющими алгоритм работы устройства, или результатами экспериментальных исследований.

(Составили: профессор каф. ПрЭ А. В. Шарапов и ст. преподаватель каф. ПрЭ В. В. Русанов.)

в) при автоматизации технологических процессов и производств:

1. Постановка задачи по автоматизации объекта управления. Цель работы. Актуальность. Новизна. Функции, выполняемые объектом управления. *(Объектом управления может являться: технологический процесс, передвижной комплекс, обрабатывающий центр и т. д.)*

2. Разработка требований к системе управления объектом:

- выявление контролируемых параметров;
- анализ условий эксплуатации;
- разработка функциональной спецификации;
- определение функций диспетчера, которые необходимо автоматизировать и определение функций, которые система должна выполнять автоматически.

3. Обзор известных технических решений по материалам научно-технической литературы и патентной документации.

4. Анализ достоинств и недостатков известных технических решений.

5. Выбор и обоснование одного из подходов к решению поставленной задачи:

5.1. *Создание системы автоматического управления на основе логики:*

- *логики жесткой либо программируемой (в данном случае корректнее говорить о создании схемы управления на основе логики);*
- разработка алгоритма работы схемы управления;
- разработка принципиальной схемы управляющего автомата *(рекомендуется реализация автомата с жёсткой логикой с обоснованием выбора типа – автомат Мура, либо автомат Мили);*

- разработка узлов сопряжения управляющего автомата с объектом управления. Выбор схем сопряжения (интерфейсов). Расчёт электрических параметров элементов принципиальной схемы;

- отладка цифрового автомата на эмуляторе.

- разработка печатной платы схемы цифрового автомата либо проверка на эмуляторе работы всей принципиальной схемы.

5.2. Создание системы автоматического управления с использованием процедурного подхода:

- разработка дерева вызова процедур;

- разработка на языке проектирования программных процедур одной ветви дерева вызова процедур. Выбранная ветвь должна определять работу главного технологического процесса объекта управления (*процедуры нижнего уровня дерева вызова процедур должны представлять собой реализацию расчётных формул параметров технологического процесса на языке проектирования*);

- разработка архитектуры системы управления. Разделение процедур на процедуры верхнего уровня (выполняемые компьютером) и процедуры среднего уровня (выполняемые контроллерами);

- выбор (обоснование выбора) контроллера (контроллеров) и блоков периферии. Выбор датчиков и исполнительных элементов;

- разработка узлов сопряжения контроллера с объектом управления (с датчиками и с исполнительными элементами). Выбор схем сопряжения (интерфейсов). Расчёт электрических параметров элементов принципиальной схемы;

- реализация процедуры на конкретном языке программирования для компьютера, либо реализация конкретной функции в программной среде контроллера.

5.3. Применение искусственного интеллекта для решения поставленной задачи.

- сбор, подготовка и нормализация данных для обучения сети;
- выбор топологии сети;
- экспериментальный подбор характеристик и параметров сети;
- обучение сети;
- проверка адекватности обучения, корректировка параметров, окончательное обучение;
- вербализация сети.

Выпускная квалификационная работа может представлять собой и автоматизированную (а не автоматическую) систему управления. В этом случае работа фактически сводится к созданию автоматизированного рабочего места (АРМ) оператора. В этом случае пункты 5.1–5.3 могут выглядеть следующим образом:

- выбор SCADA-системы, либо среды проектирования АРМа;
- создание мнемосхемы системы;
- создание связей элементов мнемосхемы с аппаратно-программными блоками системы;
- расчет времени реакции системы управления на сигнал с наиболее удаленного элемента объекта управления;
- расчет времени реакции системы управления на наиболее приоритетный сигнал;
- разработка мероприятий по повышению быстродействия системы;
- программная реализация модели системы управления или создание макетного образца;
- анализ полученных результатов, выводы.

Ориентировочный перечень иллюстративно-графического материала к выпускной квалификационной работе:

- Структурная схема объекта управления.
- Мнемосхема системы.
- Структурная схема системы управления.
- Дерево вызова процедур.
- Нейронная сеть.
- Блок-схема алгоритмов работы системы управления.
- Основные экранные формы АРМа.
- Функциональная или принципиальная электрические схемы системы управления.
- Результаты экспериментов.

(Составил: доцент каф. ПрЭ А. В. Тырышкин.)

г) при разработке программного обеспечения средств автоматизации устройств или производственных комплексов:

1. Постановка задачи проектирования:
 - назначение проектируемого программного продукта;
 - область применения программного продукта;
 - формирование уточненных параметров интерфейсов модулей программного комплекса.
2. Обзор аналогичных программных продуктов, используемых для решения подобных задач:
 - выбор критериев анализа;
 - сопоставительный анализ известных решений с указанием их достоинств и недостатков (возможно представление структурных схем).

3. Разработка структурной (функциональной) схемы программного комплекса, в состав которого вводится разрабатываемый модуль:

- определение характеристик входных и выходных информационных потоков разрабатываемого модуля;
- формулировка требований к платформе реализации с указанием основных функций операционной системы, необходимых для работы модуля;
- выбор состава модулей, необходимых для реализации поставленной задачи;
- обоснование целесообразности разработки оригинальных модулей программного обеспечения.

4. Выбор технологии программирования:

- обоснование выбора среды разработки;
- возможности выбранной технологии.

5. Разработка форм организации входных, выходных и промежуточных (внутримодульных) информационных потоков.

6. Оценка необходимых ресурсов оперативной и дисковой памяти, обоснование необходимости промежуточной буферизации данных.

7. Разработка интерфейса пользователя с учетом эргономических критериев (выбор цветовой палитры экранных форм, расположение элементов управления на них, использование «горячих» клавиш акселераторов, выпадающих меню и пр.).

8. Создание справочной системы пользователя для разрабатываемого модуля и формулирование требований к уровню квалификации пользователя.

9. Создание программы с комментариями, поясняющими работу основных блоков.

10. Представление оригинальных алгоритмов работы программных модулей в виде блок-схем (1–3 блок-схемы, каждая не более чем на 1 лист формата А4).

11. Апробация (тестирование) разработанного программного модуля.

12. Определение и расчет минимальных ресурсов оборудования.

Иллюстрационно-графический материал:

- Структурная или функциональная схемы программного обеспечения, в составе которого функционирует разрабатываемый модуль.
- Структурная или функциональная схемы разрабатываемого программного модуля с обозначением входящих в него функциональных элементов и связей между ними.
- Основные математические соотношения в виде формул и выражений.
- Блок-схема алгоритма работы оригинальных модулей.
- Материал, иллюстрирующий работу программы на тестовом или реальном примере, с использованием графиков, таблиц и пр.
- При разработке интерфейсных модулей изображения экранных форм (скриншоты) в различных режимах работы программы (представляется как демонстрационный материал).

(Составил: доцент каф. ПрЭ И. М. Егоров.)

4.5 Содержание

4.5.1 Содержание должно отражать все материалы, представляемые к защите ВКР.

4.5.2 Слово «Содержание» записывают в виде заголовка, симметрично тексту, с прописной буквы.

4.5.3 В содержании перечисляют заголовки разделов, подразделов, список используемой литературы, каждое приложение работы и указывают номера листов (страниц), на которых они начинаются.

При наличии самостоятельных конструкторских, технологических, программных и иных документов, помещаемых в работу, их перечисляют в содержании с указанием обозначений и наименований.

Материалы, представляемые на электронных носителях, должны быть перечислены в содержании с указанием вида носителя, обозначения и наименования документов, имен и форматов соответствующих файлов, а также места расположения носителя в бакалаврской работе.

В конце содержания перечисляют графический материал, представляемый к публичной защите, с указанием: «На отдельных листах».

4.5.4 Пример оформления содержания приведен в приложении Г.

4.6 Введение

4.6.1 В разделе «Введение» указывают основную цель работы, область применения разрабатываемой проблемы, её научное, техническое значение и экономическую целесообразность для народного хозяйства.

4.6.2 Заголовок «Введение» записывают с абзаца с прописной буквы.

4.7 Основная часть

4.7.1 Последовательность выполнения основной части ВКР

Пример выполнения «выпускной квалификационной работы» приведен в приложении К.

На рис. 1 схематически представлен порядок проведения работ по основным пунктам задания на примере **проектирования электронного устройства**.



Рис. 1 – Порядок проведения работ

4.7.2 Анализ технического задания

На основании технического задания определяется область применения проектируемого устройства и на базе заданных характеристик определяется его класс, а затем проводится подбор литературных источников и поиск прототипов.

4.7.3 Обзор технических решений по заданной тематике

Начиная работу над ВКР, необходимо подобрать литературу по теме разработки и по ней ознакомиться с существующими техническими решениями. Результатом изучения литературы должен стать её обзор.

Обзор представляет собой краткий литературно обработанный конспект научно-технических статей и монографий. Он должен начинаться введением, в котором дано определение электронного устройства данного вида, указаны области их применения и задачи, решаемые с их помощью. Обзор обычно содержит анализ, выбор и обоснование наиболее рационального метода, способа и решения поставленной задачи. Приводятся описания нескольких (не менее двух) схем (прототипов), позволяющих решать задачи, близкие по сути к техническому заданию на разработку.

Работа над обзором позволяет студенту полнее вникнуть в поставленную перед ним задачу. В процессе работы он начинает оценивать положительные и отрицательные стороны известных устройств, тем самым, решая часть поставленной перед ним задачи, связанной с выбором и обоснованием структурной схемы устройства, которое ему необходимо спроектировать.

Обзор входит в работу как существенная часть. Средний объем обзора – 5–8 страниц. В ходе выполнения обзора формируются критерии оценки, по которым проводится сопоставительный анализ.

4.7.4 Выбор и обоснование структурной (функциональной) схемы устройства

Целью анализа является разработка структурной (функциональной) схемы устройства.

Теоретически рассматривая структурные схемы электронных устройств, описанных в обзоре, студент старается найти те из них, которые удовлетворяют одному или нескольким требованиям технического задания.

Анализ проводится применительно ко всем пунктам своего технического задания. На основании анализа разработчик переходит к синтезу своей структурной (функциональной) схемы объекта для реализации поставленной задачи в соответствии с ТЗ.

В принципе возможен такой вариант, когда свое устройство студент может выполнить по уже известной структурной схеме, которая может обеспечить выполнение требований его технического задания. Но при этом необходимо привести соответствующее обоснование выбора уже известной структурной схемы для выполнения своего технического задания.

Если проектируемое электронное устройство представляет собой систему, которая состоит из ряда последовательно соединенных подсистем (узлов или блоков), то синтез ее начинают с синтеза той подсистемы (узла, блока), выход которой является выходом всей системы (всего устройства).

Такой порядок естественен, так как главными являются требования к выходным параметрам устройства, что дает возможность синтезировать сначала выходной блок, узел.

В процессе синтеза выходной подсистемы (узла, блока) будут сформированы требования к ее входным параметрам, которые в свою очередь являются выходными параметрами предыдущей подсистемы (узла, блока). Теперь становится возможным синтез всей этой подсистемы и, таким образом, синтез последовательно соединенных подсистем (узлов, блоков) производится от выхода системы к ее входу.

4.7.5 Принципиальные схемы, элементы настройки, управления, контроля и защиты

На основе структурной (функциональной) схемы разрабатывается принципиальная схема устройства (объекта). Полная принципиальная схема **устройства** составляется после разработки принципиальных схем отдельных функциональных блоков. Естественно, синтез схемы происходит в процессе всестороннего анализа свойств и параметров описанных в литературе схем.

Разработка принципиальной схемы функционального блока (узла) заключается в выборе одной из известных схем, которая будет наиболее полно удовлетворять совокупности технико-экономических требований при максимальной ее простоте и надежности.

Для некоторых функциональных элементов такие требования могут быть сформулированы лишь после электрического расчета принципиальных схем других функциональных частей (узлов) устройства.

Без широкого использования литературных данных очень мала вероятность выбора хорошей схемы устройства согласно предложенному техническому заданию.

Во многих устройствах приходится предусматривать элементы настройки и регулировки, в качестве которых выступают обычно переменные резисторы, конденсаторы переменной емкости и подстраиваемые катушки индуктивности.

Элементы, значения которых изменяют в процессе производства или ремонта, называют *элементами настройки*. Элементы, значения параметров которых меняют при эксплуатации, называют *регулируемыми*.

В качестве элемента настройки желательно выбирать тот элемент схемы, изменение параметра которого в большей степени влияет на настраиваемый выходной параметр, но мало влияет на другие выходные параметры. Органы управления регулирующими элементами выводят на лицевые

панели устройства, в то время как органы регулирования элементов настройки (оси подстроечных резисторов и т. п.) обычно располагают внутри устройства.

К элементам управления, кроме элементов регулирования выходных параметров, относятся тумблеры, кнопки, многопозиционные переключатели и др., служащие для подключения устройства к источникам питания, для включения резерва и включения отдельных частей устройства в необходимой последовательности и т. п.

Элементами контроля являются стрелочные измерительные приборы, световые табло, индикаторы и панели, сигнальные лампы и др. Элементы контроля дают возможность оператору получать необходимую информацию о функционировании устройства.

При выборе элементов контроля можно воспользоваться такими рекомендациями:

1. Количество контролируемых параметров должно быть минимальным.
2. Информация, получаемая от элемента контроля, должна быть минимально необходимой для заданных условий. Например, для информации о наличии напряжения питания достаточно сигнальной лампы. Но если разработанное устройство питается от аккумулятора, то применение стрелочного прибора может дать более важную информацию: о включении устройства и о величине напряжения питания.

3. Потребление энергии элементами контроля должно быть минимальным. Элементы электрической **защиты** входят в схему для предотвращения выхода из строя и гибели устройства при отклонении значений **внешних параметров**: напряжения питания, сопротивления нагрузки, изменения температуры и т. п., от своих номинальных величин, а также при возникновении аварийных режимов в самом устройстве вследствие отказа какого-либо из его элементов.

Таким образом, полностью разработанная принципиальная схема устройства должна быть дополнена элементами настройки, регулирования, управления, контроля и защиты.

4.7.6 Электрический расчет принципиальных схем

Основной задачей расчета является определение значений электрических параметров компонентов принципиальной схемы. Задачу расчета полагают решенной, если выбраны активные элементы схемы и определены номинальные значения параметров всех пассивных элементов схемы, определены их типы с учетом требований технического задания.

Расчет любого сложного устройства сводится к последовательному расчету узлов, из которых данное устройство синтезировано. В настоящее время в технической литературе приведено множество методов расчета схем (выпрямителей, генераторов импульсов, синусоидальных генераторов, усилителей и т. п.). Использование той или иной методики расчета электрических схем основано на принятии ряда допущений, и, как правило, носит итерационный характер. После выполнения ряда расчетов возникает необходимость повторить предыдущие операции для улучшения режимов блока (узла) или изменения структуры.

В списке рекомендуемой литературы имеется ряд таких пособий по расчетам электронных схем.

Расчет устройства состоящего из ряда последовательно соединенных функциональных блоков (узлов) начинают со стороны его выхода (нагрузки). Это потому, что выходной функциональный блок (узел) является единственным в устройстве, для которого в ТЗ сформулированы достаточные требования.

4.7.7 Выбор элементов

При проектировании возникает задача выбора элементов из очень широкого ассортимента. При выполнении работы студенту, не имеющему необходимых знаний и опыта, правильно выбрать элементы в справочной литературе не просто. В связи с этим ниже приводятся некоторые рекомендации.

1. В справочниках приводятся значения параметров электронных элементов для соответствующего оптимального режима эксплуатации (или для предельного режима). Рабочий режим элементов в проектируемом узле устройства чаще всего отличается от указанных в справочнике. При необходимости по имеющимся данным в справочнике характеристикам и формулам (или методом интерполяции) определяют значения параметров элементов, соответствующие выбранному режиму.

2. Не допускается превышение максимально допустимых значений токов, напряжений, мощности рассеяния и температуры. Для надежной работы элементов величины всех параметров на нем должны составлять не более 70–80% от максимально допустимых значений. Не следует забывать, что рассеиваемая мощность многих элементов в справочной литературе указывается с учетом элементов теплоотвода (радиаторов).

4.7.8 Оценка погрешности измерений

Нередко темами бакалаврских работ являются различные измерительные устройства. После проведения электрических расчетов принципиальных схем блоков и узлов устройства необходимо провести оценку погрешности измерительного устройства.

Как известно, погрешностью измерения называется отклонение значения величины от ее истинного значения.

Погрешности измерений систематизируются по ряду признаков.

По способу выражения погрешности разделяются на абсолютные и относительные.

Абсолютная погрешность Δ равна разности между значением величины X_N и ее истинным значением X и имеет размерность измеряемой величины

$$\Delta = X_N - X.$$

Относительная погрешность δ равна отношению абсолютной погрешности к истинному значению измеряемой величины и выражается в относительных единицах

$$\delta = \Delta / X.$$

По характеру изменения погрешности подразделяются на систематические и случайные. **Систематическая** погрешность – составляющая погрешности измерения, которая при повторных измерениях одной и той же величины при неизменных условиях остается постоянной или изменяется по известному закону. **Случайная** погрешность – составляющая погрешности измерения, которая при повторных измерениях одной и той же величины изменяется случайным образом.

По месту возникновения погрешности измерений подразделяются на инструментальные и методические.

Инструментальные погрешности возникают из-за несовершенства средств измерения: от нестабильности параметров схем и механизмов приборов во времени, от подверженности их действию внешних и внутренних влияющих величин (температуры, влажности, изменений напряжений источников питания, магнитных и электрических полей).

Методические погрешности возникают из-за несовершенства измерения как метода отражения, из-за несовершенства метода косвенного измерения, метода совокупного или совместного измерения, а также вследствие несоответствия модели измеряемой величине.

По зависимости **абсолютной** погрешности от значений измеряемой величины X погрешности подразделяются на **аддитивные** – не зависящие от X и мультипликативные – пропорциональные X .

При оценке погрешности разработанного устройства необходимо определиться с видами преобладающих погрешностей, дать им оценку. Более подробно это описано в технической литературе, к которой студенту необходимо обратиться.

4.7.9 Оценка точности поддержания заданных параметров в устройствах стабилизации напряжения (тока)

Темой работы может быть проектирование узлов управления разнообразных систем управления (СУ) в замкнутых преобразовательных устройствах.

При разработке таких устройств необходимо не только обеспечить требуемый алгоритм работы СУ, но и обеспечить заданную точность поддержания выходных параметров, например, напряжения при наличии возмущающих воздействий (тока нагрузки, напряжения питания и т. д.).

Для решения подобных задач требуется определение необходимого коэффициента усиления сигнала рассогласования при выполнении условия устойчивости замкнутой системы по методикам, изученным в курсе ТАУ.

4.7.10 Стиль изложения, сокращения

При работе над текстом пояснительной записки следует использовать точные, законченные и, в то же время, наиболее простые и понятные фразы, формулировки и выводы. Пример фрагмента текстового документа приведен в приложении Д.

В научно-технической литературе приняты неопределенно-личностная и безличная формы изложения, подчеркивающие объективный характер явлений и процессов, общепринятый характер действий и решений.

Часто студенты пишут так: «выбираю диод...», «рассчитываю по формуле...» и т. п. Правильно писать в зависимости от времени свершения действия: «выбирается диод...» или «выбран диод...», «коэффициент нелинейности находится по формуле [3]».

Если в состав предложений входят формулы, то предложения необходимо строить так, чтобы слова, символы и знаки формулы составляли грамматически правильную конструкцию с законченным смыслом.

Не следует злоупотреблять сочетаниями «имеет место», глаголами «имеется», «предусмотрена», «бывают» в значении «есть».

Буквенные индивидуальные аббревиатуры широко применяют, когда в тексте многократно встречаются устойчивые словосочетания. Индивидуальные сокращения следует оговаривать при первом упоминании, поместив за словом (термином) его аббревиатуру, написанную прописными буквами в скобках. Например, мощный высокочастотный каскад (МВЧК) и т. п.

4.7.11 Ссылки на используемые источники

При разработке проектов, создании научных трудов и т. п. широко используют различные литературные источники, из которых заимствуют теоретические положения, результаты экспериментальных исследований, методы расчета, цитаты, основные формулы, справочные данные и др.

Принято указывать источники заимствования, т. е. делать на них ссылки, позволяющие читателю познакомиться с этими источниками при разборе работы или для других целей.

Ссылки на литературный источник в тексте сопровождают порядковым номером, под которым этот источник включен в общий список литературы. Номер источника в тексте заключают в прямые скобки.

Например:

«Расчет многокаскадного усилителя начинают с определения числа каскадов [28]...».

Если ссылка дается с указанием страницы, то, кроме номера по списку, внутри скобок ставится номер страницы, например, [28, с. 2].

Недопустимо оперировать номерными ссылками на источник, как словами для построения фраз.

Например:

Неправильно

«В [28] показано, что
у транзистора усилителя...»

Правильно

«Показано [28], что
у транзистора усилителя...»

Часто студенты перед каждой формулой делают ссылки на литературный источник. При расчете какой-либо электронной схемы ссылку на источник следует делать только один раз, в начале расчета. Например: «Расчет мультивибратора проводится по широко известной [31] методике...».

Источники следует располагать в порядке появления первых ссылок на них в тексте.

4.7.12 Рисунки в тексте, чертежи

В бакалаврской работе иллюстрации независимо от их содержания (схема, чертеж, диаграмма, фотография) называют рисунком. Другие обозначения не допускаются. Рисунки нумеруются в порядке расположения их в тексте, в котором о них упоминается. Пример оформления рисунков (иллюстраций) приведен в приложении Е.

Чертежи бакалаврской работы выполняются на листе ватмана форматов А1, которые могут быть разделены на более мелкие форматы разграничением их тонкими линиями.

Правила построения и выполнения принципиальных электрических схем установлены стандартами ЕСКД (ГОСТ 2.701–76, 2.705–75).

4.8 Заключение

4.8.1 Заключение должно содержать краткие выводы по результатам выполненной работы, оценку полноты решения поставленных задач, рекомендации по конкретному использованию результатов работы, её экономическую, научную, социальную значимость.

4.8.2 Заголовок «Заключение» записывают с абзаца с прописной буквы.

4.9 Список использованных источников

4.9.1 Заголовок «Список использованных источников» записывают с прописной буквы в центре страницы.

4.9.2 В список включают все источники, на которые имеются ссылки в ТД. Источники в списке нумеруют в порядке их упоминания в тексте ТД арабскими цифрами без точки.

***Пример.** Список использованных источников*

1. Шило В. Л. Популярные цифровые микросхемы. – М. : Радио и связь, 1989. – 240 с.

2. ГОСТ 28388–89 Система обработки информации. Документы на магнитных носителях данных. Порядок выполнения и обращения.

3... и т. д.

4.9.3 Сведения об источниках приводят в соответствии с требованиями ГОСТ 7.1. Пример оформления раздела «Список использованных источников» приведен в приложении Ж.

4.10 Приложения

4.10.1 В приложения рекомендуется включать материалы иллюстративного и вспомогательного характера.

В приложения могут быть помещены:

- таблицы большого формата;
- дополнительные расчеты;
- описания применяемого в работе нестандартного оборудования;
- распечатки с ЭВМ;
- протоколы испытаний;
- акты внедрения;
- отчеты о патентных исследованиях.

4.10.2 На все приложения в тексте ТД должны быть даны ссылки.

4.10.3 Приложения располагают в ТД и обозначают в порядке ссылок на них в тексте.

4.10.4 Приложения обозначают заглавными буквами русского алфавита, начиная с А, за исключением букв Ё, З, И, О, Ч, Ъ, Ы, Ъ. Например: «Приложение Б».

4.10.5 Каждое приложение ТД следует начинать на новом листе с указанием наверху посередине страницы слова «Приложение» и его обозначения, а под ним в скобках – «обязательное» (если его выполнение предусмотрено заданием) или «справочное».

4.10.6 Приложение должно иметь заголовок, который записывают с прописной буквы отдельной строкой в центре страницы.

5 ЗАЩИТА ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Защита ВКР проводится на открытом заседании Государственной аттестационной комиссии. **На защиту должен быть представлен в обязательном порядке графический материал.** Процедура защиты может протекать с использованием презентации и включать в себя доклад выпускника и ответы на вопросы членов ГАК. При необходимости может быть оглашен отзыв руководителя, возможно выступление научного руководителя.

На доклад студенту дается 5–7 минут. Доклад начинается словами **«Уважаемая комиссия, Вашему вниманию представляется ...»**. Далее:

- называется **тема работы**;
- формулируются задачи проводимой работы (обосновывается ее актуальность);
- обосновываются (на основе выбора из нескольких вариантов, реализующих подобные) пути решения поставленной задачи;
- формулируются критерии выбора решения;
- излагается ход проведенных работ;
- указывается личный вклад студента в решение поставленной задачи;
- излагаются основные результаты работы, делаются окончательные выводы по полученному решению поставленной задачи.

По ходу доклада необходимо осуществлять ссылки на графический материал и демонстрационные листы (описывать, что изображено на том или ином листе не следует).

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(обязательное)
Форма титульного листа

Министерство образования и науки РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)**

Кафедра промышленной электроники (ПрЭ)

(наименование темы работы прописными буквами)

Пояснительная записка к выпускной бакалаврской работе
ФЭТ БР . XXXXXX . 001 ПЗ

Студент гр. _____ И.О. Фамилия
подпись _____

дата

Руководитель практики _____ И.О. Фамилия
подпись _____

дата

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
(справочное)
Пример оформления реферата

РЕФЕРАТ

Выпускная бакалаврская работа XX стр., XX рис., XX источников, X приложений, 3 листа графического материала.

ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ ПК, СИЛОВАЯ ЧАСТЬ, ПРЯМОХОДОВЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ, ШИМ-КОНТРОЛЛЕР.

Объектом проектирования является источник питания для персонального компьютера.

Цель работы – разработать двухканальный источник питания, входом подключенный к промышленной сети переменного напряжения $\sim U_C = 220 \text{ В}$, 50 Гц, удовлетворяющий стандартам современных ПК.

В процессе работы проводился сравнительный анализ существующих решений, выбраны критерии их оценки, разработаны функциональная и принципиальная электрические схемы источника, проведен расчет параметров элементов силовых цепей, моделирование отдельных узлов источника и как конечный результат выбор элементов.

Достигнутые технико-эксплуатационные результаты:

– опытный (экспериментальный) образец используется в качестве источника питания в ПК.

Работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Office Word и представлена на CD-диске (в конверте на обороте обложки).

ПРИЛОЖЕНИЕ В**(обязательное)****Пример оформления технического задания****Министерство образования и науки РФ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)**

Кафедра промышленной электроники (ПрЭ)

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой ПрЭ

д-р техн. наук, доцент

_____ С. Г. Михальченко

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

на бакалаврскую работу студенту Иванову Петру Сидоровичу
группа 368-1 факультет ЭТ

1. Тема работы: Источник питания для персонального компьютера
(утверждена приказом по вузу № _1111_ от « 5 » января 2017 г.

2. Срок сдачи студентом законченной работы 10.06.2017.

3. Назначение и область применения системы (устройства)

Источник предназначен для питания силовых цепей и системы управления персонального компьютера (ПК). Может использоваться для питания РЭА с соответствующими напряжениями и потребляемыми токами.

4. ТРЕБОВАНИЯ К РАБОТЕ**4.1. Технические параметры:**

- напряжение питания $\sim 220\text{ В} \pm_{15}^{10} \%$, 50 Гц;
- напряжение 1^{го} канала – $20\text{ В} \pm 5\%$;
- напряжение 2^{го} канала – $100\text{ В} \pm 5\%$;
- ток 1^{го} канала – 2 А;
- ток 2^{го} канала – 1 А;
- коэффициент пульсаций выходных напряжений – 5%.

4.2. Конструкторские параметры:**4.3. Условия эксплуатации:****4.4. Дополнительные условия:**

5. ПЕРЕЧЕНЬ РАЗДЕЛОВ ПОДЛЕЖАЩИХ РАЗРАБОТКЕ

- 5.1 – Обзор существующих технических решений, обеспечивающих требуемые характеристики выходных напряжений;
 – выбор критериев оценки источников питания ПК;
 – сравнительный анализ аналогов по функциональным схемам.
- 5.2 – разработка функциональной схемы источника питания и описание алгоритма работы.
- 5.3 – разработка принципиальной схемы источника питания:
 а) силовой части;
 б) схемы управления.
- 5.4 – расчет параметров элементов:
 а) силовой части;
 б) схемы управления;
- 5.5 – моделирование силовой цепи источника питания:
 а) выбор среды моделирования, позволяющей наиболее полно отразить специфику проектируемого объекта;
 б) обоснование принятых допущений;
 в) составление математической модели объекта;
 г) получение требуемых характеристик (параметров элементов схемы, и т. д.).
- 5.6 – сопоставительный анализ результатов расчетов и моделирования.
- 5.7 – выбор элементов источника питания.

6. ПОДЛЕЖИТ РАЗРАБОТКЕ СЛЕДУЮЩАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ:

6.1. Чертежи

(выполняются в соответствии с ГОСТ и ЕСКД)

1. Схема источника питания ПК электрическая функциональная.
2. Схема источника питания ПК электрическая принципиальная.
3. Модель и результаты моделирования.

6.2. Демонстрационные иллюстрации:

ЗАДАНИЕ СОГЛАСОВАНО:

Консультант по нормам и требованиям ЕСКД

Руководитель проектирования

Ф.И.О. должность, место работы

«_____» _____ 20__ г. Подпись _____

Задание принято к исполнению

«_____» _____ 20__ г.

Студент _____ Подпись _____

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

(справочное)

Пример оформления содержания

СОДЕРЖАНИЕ

1 Введение.....	5
2 Назначение и область применения усилителя	6
3 Расчеты	8
3.1 Электрический расчет схемы усилителя	8
3.2 Расчет надежности	12
4 Разработка печатной платы усилителя	30
5 Заключение.....	35
6 Список использованных источников.....	40
Приложение А Методика расчета надежности	45
Приложение Б Программа расчета надежности усилителя	50
ФЭТ БР.468740.003 Усилитель	52
ФЭТ БР.468740.003ПЭЗ Усилитель. Перечень элементов	54
ФЭТ БР.468790.001 Плата усилителя (спецификация)	56
Уменьшенные копии документов:	
ФЭТ БР.468790.001 Плата усилителя. Сборочный чертеж	58
ФЭТ БР.758724.007 Плата.....	59

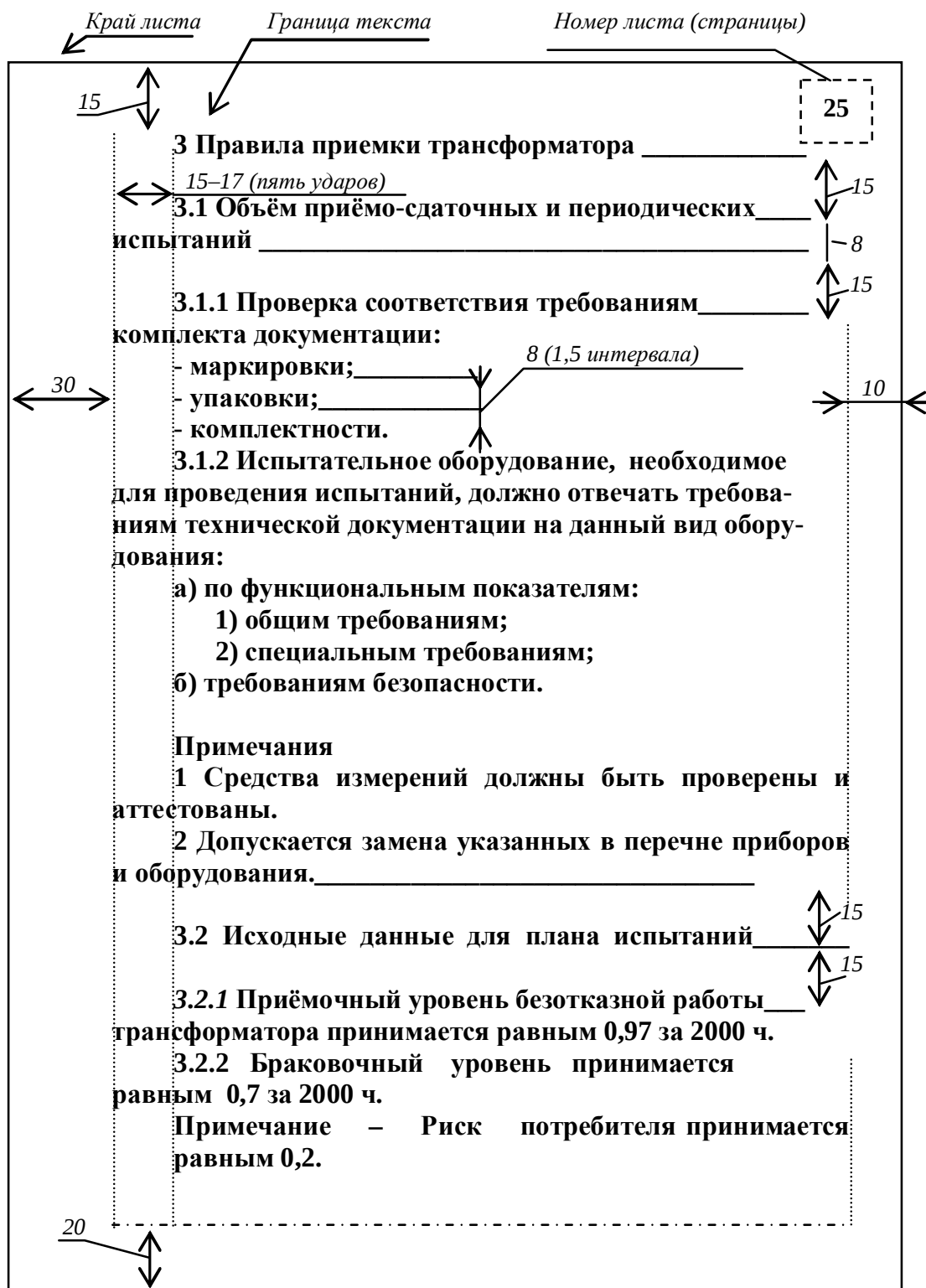
CD диск В конверте на обороте обложки
ФЭТ БР.468790.001 Плата усилителя. Сборочный чертеж.
Файл plus.pkg в формате PCAD8.5
ФЭТ БР.758724.007 Плата. Файл plus.pcb в формате PCAD8.5

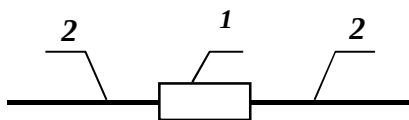
Графический материал: На отдельных листах
ФЭТ БР.468740.003ВО Усилитель. Чертеж общего вида
ФЭТ БР.468740.003ЭЗ Усилитель. Схема электрическая принципиальная
ФЭТ БР.468740.003 Печатная плата усилителя

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

(справочное)

Пример оформления фрагмента текстового документа (ТД)



ПРИЛОЖЕНИЕ Е**(справочное)****Пример оформления рисунков (иллюстраций)**

1 – корпус; 2 – выводы

Рис. 3.1 – Конструкция резистора

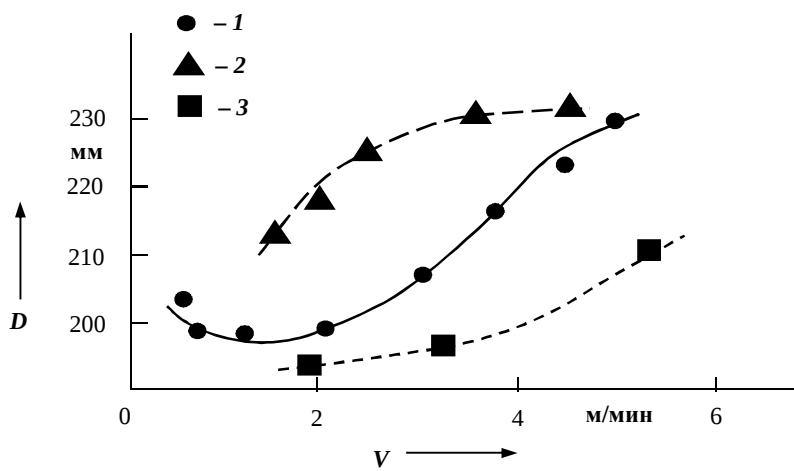


Рис. 5.7 – Зависимость $D(V)$

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

(обязательное)

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Скворцов В. А. Выпускная квалификационная работа: методические указания по выполнению выпускной бакалаврской работы для студентов направления 210100 «Электроника и микроэлектроника» / В. А. Скворцов, А. В. Топор, В. С. Мишуров. – Томск : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2013. – 51 с.

2. Мелешин В. И. Транзисторная преобразовательная техника / В. И. Мелешин. – М. : Техносфера, 2005. – 632 с.

3. Иоффе Дмитрий. Разработка импульсного преобразователя напряжения с топологией SEPIC // Компоненты и технологии. – 2006. – № 9. – 30 с.

4. Родюков В. П. Методические указания по оформлению технической документации / В. П. Родюков. – Томск : Томский межвузовский центр дистанционного образования, 2011. – 110 с.

5. ГОСТ 2.304–81 Шрифты чертёжные. Введ. 1981-03-28. – М. : Госстандарт Союза ССР ; Изд-во стандартов, 2001. – VII. – 27 с.

6. ГОСТ 2.702–75 Правила выполнения электрических схем. Введ. 1977-07-01. – М. : Госстандарт Союза ССР; Изд-во стандартов, 2001. – VII. – 39 с.

7. ГОСТ 2.728–74 УГО Резисторы, конденсаторы. Введ. 1975-07-01. – М. : Госстандарт Союза ССР ; Изд-во стандартов, 2001. – VII. – 22 с.

8. ГОСТ 2.72–68 УГО Приборы электроизмерительные. Введ. 1977-01-01. – М. : Госстандарт Союза ССР ; Изд-во стандартов, 2001. – VII. – 14 с.

9. ГОСТ 2.730–73 УГО Приборы полупроводниковые. Введ. 1974-07-01. – М. : Госстандарт Союза ССР ; Изд-во стандартов, 2001. – VII. – 23 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ К**Пример выполнения выпускной квалификационной работы**

Министерство образования и науки РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)**

Кафедра промышленной электроники (ПрЭ)

К ЗАЩИТЕ ДОПУСТИТЬ
Заведующий кафедрой ПрЭ
д-р техн. наук, доцент
_____ С. Г. Михальченко
« ____ » _____ 2017 г.

**ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ НА ОСНОВЕ НЕИНВЕРТИРУЮЩЕГО
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ С РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫМ
КОНДЕНСАТОРОМ И НЕПРЕРЫВНЫМ ВХОДНЫМ ТОКОМ**

Пояснительная записка к выпускной квалификационной работе
ФЭТ ВКР.435151.085 ПЗ

Студент гр. 379-1
_____ А. В. Петров
« ____ » _____ 2017 г.

Руководитель проекта:
канд. техн. наук проф. каф. ПрЭ
_____ В. Д. Семёнов
« ____ » _____ 2017 г.

2017

Министерство образования и науки РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)**

Кафедра промышленной электроники (ПрЭ)

УТВЕРЖДАЮ
Зав. кафедрой ПрЭ
д.т.н., доцент
_____ С. Г. Михальченко
« ____ » _____ 2017 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

на выпускную квалификационную работу студенту Петрову Андрею Владимировичу группа 370-1 факультет электронной техники

1. Тема работы: Источник питания на основе неинвертирующего преобразователя с разделительным конденсатором и непрерывным входным током (утверждена приказом по ВУЗу № 1111 от « 11 » 01 2017 г.

2. Срок сдачи студентом законченной работы 05.06. 2017 г.

3. Назначение и область применения системы (устройства)

Обеспечение питания ноутбука от розетки прикуривателя автомобиля

4. ТРЕБОВАНИЯ К РАБОТЕ

4.1. Технические параметры:

Входное напряжение $U_{ВХ} = 10,5 \div 14,5 \text{ В}$

Ток нагрузки $I_{Н} \leq 8 \text{ А}$

Выходное напряжение источника $U_{ВЫХ} = 19 \text{ В} \pm 2\%$

Коэффициент пульсаций выходного напряжения $\Delta U_{Н} \leq 5,0\%$

4.2. Конструкторские параметры:

На входе: универсальный штекер разъема, для подключения электрооборудования к розетке прикуривателя.

На выходе: штекер ноутбука 10*5 мм.

4.3. Условия эксплуатации:

Температура окружающей среды от +10 °С до +25 °С

4.4. Дополнительные условия: не предусматриваются.

5. ПЕРЕЧЕНЬ РАЗДЕЛОВ, ПОДЛЕЖАЩИХ РАЗРАБОТКЕ

- Введение
- Обзор аналогов и разработка функциональной схемы источника питания
- Разработка схемы электрической принципиальной источника питания
- Расчет и выбор элементов схемы источника питания
- Моделирование источника питания
- Заключение

6. ПОДЛЕЖИТ РАЗРАБОТКЕ СЛЕДУЮЩАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ:

6.1. Чертежи: (выполняются в соответствии с ГОСТ и ЕСКД)

1. Источник питания. Схема электрическая функциональная
2. Источник питания. Схема электрическая принципиальная
3. Модель источника питания и результаты моделирования

6.2. Демонстрационные иллюстрации: Презентация

ЗАДАНИЕ СОГЛАСОВАНО:

Консультант по нормам и требованиям ЕСКД:

Башкиров Вячеслав Николаевич, ведущий электроник каф. ПрЭ

«_____»_____ 20__ г. Подпись_____

Руководитель проектирования:

Семёнов Валерий Дмитриевич, к.т.н. проф. каф. ПрЭ

«_____»_____ 20__ г. Подпись_____

Задание принято к исполнению

«_____»_____ 20__ г. Студент_____

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 39 стр., 17 рис., 18 источников, 3 листа графического материала.

ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ, ШИМ-КОНТРОЛЛЕР, НЕИНВЕРТИРУЮЩИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ, ТОПОЛОГИЯ SEPIC, ИМПУЛЬСНЫЙ ИСТОЧНИК.

Объектом проектирования является источник питания для ноутбука.

Цель работы – разработать одноканальный источник питания, входом подключенный к источнику постоянного напряжения $U = 12 \text{ В}$.

В процессе работы проведен сравнительный анализ существующих решений, выбраны критерии их оценки, разработаны функциональная и принципиальная электрические схемы источника, печатная плата источника, рассчитаны параметры элементов силовых цепей, выполнено моделирование отдельных узлов источника и выбор элементов.

Работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Office Word 2007 и представлена на CD-диске (в конверте на обороте обложки).

ABSTRACT

Graduate qualification work. 39 pages, 17 pictures, 18 sources, 3 sheets of graphic material.

ENERGY SOURCE, WIDTH MODULATION CONTROLLER, INVERTING REFORMER, TOPOLOGY SEPIC, IMPACT SOURCE.

The object of engineering is energy source for notebook.

The aim of work is development of single-channel energy source, which entry connects continuous voltage source $U = 12$ volt.

In the process of work comparative analysis of existing decisions was done, criteria of these assessed value were chosen, functional and principle electrical schematics of the source, printed circuit of the source were developed, calculation parameters of elements power circuit, simulation separate component of the source and as a final result choosing elements were done.

The work was written in text editor Microsoft Office Word 2007 and have been keeping on the CD disk (in the cover on the turn).

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	9
1 Обзор аналогов и разработка функциональной схемы ИП	10
1.1 Обзор аналогов.....	10
1.2 Разработка функциональной схемы ИП	11
2 Разработка схемы электрической принципиальной ИП.....	14
2.1 Разработка схемы электрической принципиальной ИП.....	14
2.2 Описание работы схемы ИП	16
3 Расчет и выбор элементов схемы ИП	17
3.1 Расчёт силовой части.....	17
3.2 Расчёт системы управления	25
4 Моделирование ИП	32
5 Разработка печатной платы.....	38
Заключение	41
Список использованных источников.....	42
Графический материал	43

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время широкое применение получили различные устройства, адаптированные для питания устройств электронной техники, таких как ноутбук, КПК, сотовый телефон и т. д. от электрической сети автомобиля. Одновременно эти устройства решают задачу подзарядки аккумуляторных батарей вышеперечисленных потребителей электрической энергии.

Наиболее приемлемым решением создания такого устройства является преобразователь топологии SEPIC с разделительным конденсатором и непрерывным входным током. Данный преобразователь способен работать как в качестве понижающего, так и в качестве повышающего преобразователя, кроме этого SEPIC имеет минимум активных элементов, а его схема управления может быть реализована на контроллере, позволяющем реализовать систему автоматического регулирования выходного напряжения. При включении в систему звена отрицательной обратной связи обеспечивается стабилизация выходного напряжения.

Применение современной элементной базы позволяет осуществлять преобразование энергии на частотах до нескольких сотен кГц.

Работа устройств на повышенных частотах позволяет уменьшить объем и массу электромагнитных элементов.

В импульсных источниках применяются три способа регулирования напряжения:

- широтно-импульсный метод, при котором период коммутации остается постоянным, а время нахождения транзистора в области насыщения изменяется;
- частотно-импульсный метод, при котором период коммутации варьируется, а время нахождения транзистора в области насыщения постоянно;

– двухпозиционный (релейный) метод, при котором период и время нахождения транзистора в области насыщения изменяются.

В данном курсовом проекте реализован широтно-импульсный способ регулирования выходного напряжения.

1 ОБЗОР АНАЛОГОВ И РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ

1.1 Обзор аналогов

При разработке импульсных источников вторичного электропитания часто встречаются ситуации, когда при работе устройства напряжение на входе источника может быть как выше, так и ниже требуемого напряжения на выходе.

В таких случаях часто используют преобразователи с двухступенчатой передачей энергии от источника в нагрузку (сочетание повышающего и понижающего регуляторов) или преобразователи с гальваническим разделением входа и выхода одноконтурные прямоходовые и обратноконтурные ячейки.

В качестве аналога рассмотрим схему обратноконтурного преобразователя:

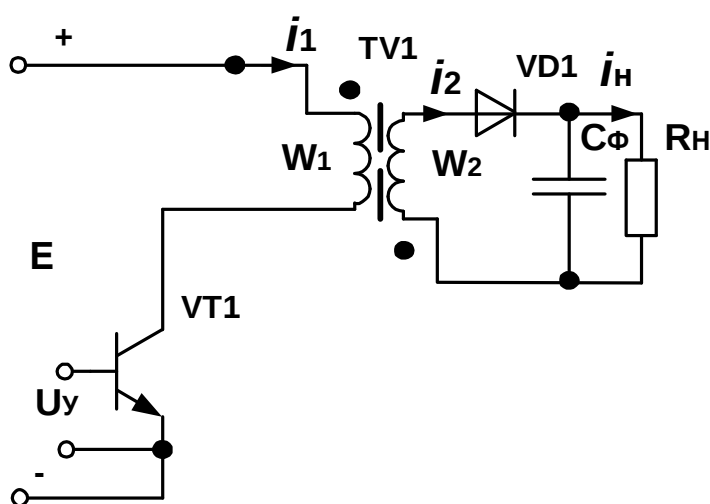


Рис. 1.1 – Схема обратноконтурного преобразователя

В обратноходовой ячейке постоянное напряжение первичного источника питания преобразуется в переменное напряжение, далее выпрямляется с одновременным широтно-импульсным (ШИМ) либо частотно-импульсным (ЧИМ) регулированием.

В выражении, связывающем входное и выходное напряжения обратноходового преобразователя $\gamma = \frac{U_{\text{н}} K_{\text{тр}}}{U_{\text{вх}}}$ два независимых параметра, отно-

сительная длительность импульса выходного напряжения γ (или открытого состояния силового транзистора) и коэффициент трансформации $K_{\text{тр}}$. Задаваясь одним из них, находят другой параметр. Целесообразность свободного выбора одного из них определяется исходными условиями. Так, например, увеличение γ приводит к завышению емкости выходного конденсатора, а неравенство $K_{\text{тр}}$ единице ухудшает потокоцепление и увеличивает потери в трансформаторе.

Недостатки обратноходового преобразователя:

- двухступенчатое преобразование напряжения (постоянного в переменное и обратно);
- наличие моточного изделия, сопровождающееся сложностью в выборе немагнитного зазора в сердечнике с целью обеспечения требуемой индуктивности намагничивания при изготовлении трансформатородросселя;
- повышенный уровень электромагнитных помех, создаваемых в питающей сети;
- для обратноходовых преобразователей не допустим режим холостого хода (т. е. отсутствие нагрузки).

Большинство из перечисленных недостатков присуще и прямоходовому преобразователю (рис. 1.2).

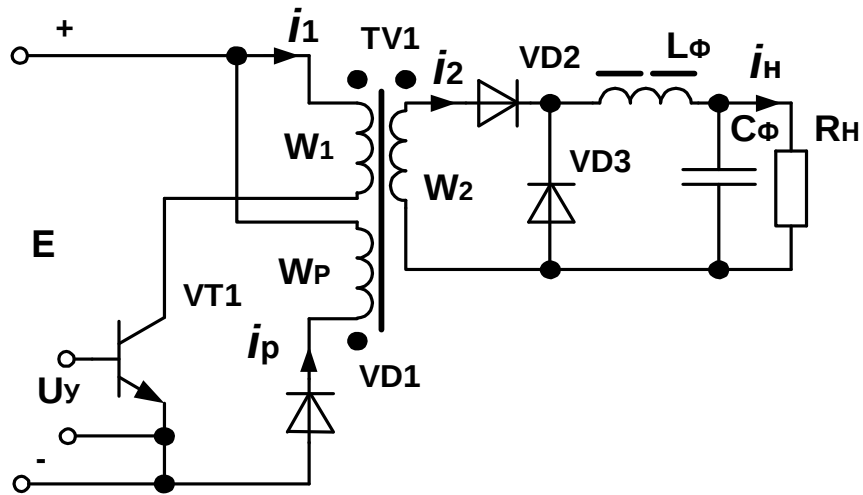


Рис. 1.2 – Схема прямоходового преобразователя

Схемы на основе двухтактных инверторов с трансформаторным выходом (рис. 1.3) более громоздки и менее надежны в режимах регулирования.

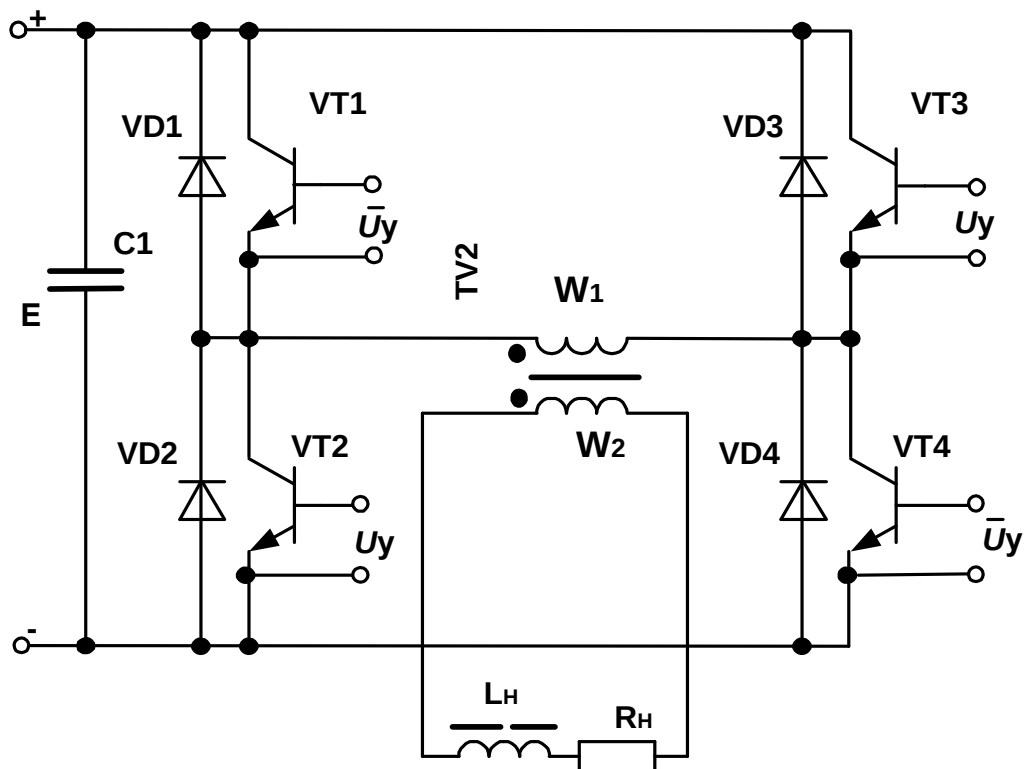


Рис. 1.3 – Схема двухтактного мостового инвертора с трансформаторным выходом

Преимущества преобразователя «Серіс» по отношению к преобразователям с гальваническим разделением входа и выхода:

- отсутствие трансформатора, как правило, несерийного производства;
- пониженный уровень импульсных помех в цепи первичного источника;
- возможность работы на холостом ходу.

1.2 Разработка функциональной схемы источника питания

Разрабатываемый источник представляет собой устройство для питания ноутбука и заряда литий-ионных аккумуляторов типа «Li-ion» от автомобильной сети с постоянным напряжением $10,5 \div 14,5$ В.

Функциональная схема, изображенная на рисунке 1.4, представляет собой преобразователь напряжения, подключаемый через розетку прикуривателя Р1 к сети постоянного тока автомобиля. К выходу преобразователя подключается ноутбук через штекер Р2. Регулирование и стабилизация выходного напряжения обеспечивается системой управления за счет отрицательной обратной связи по напряжению.

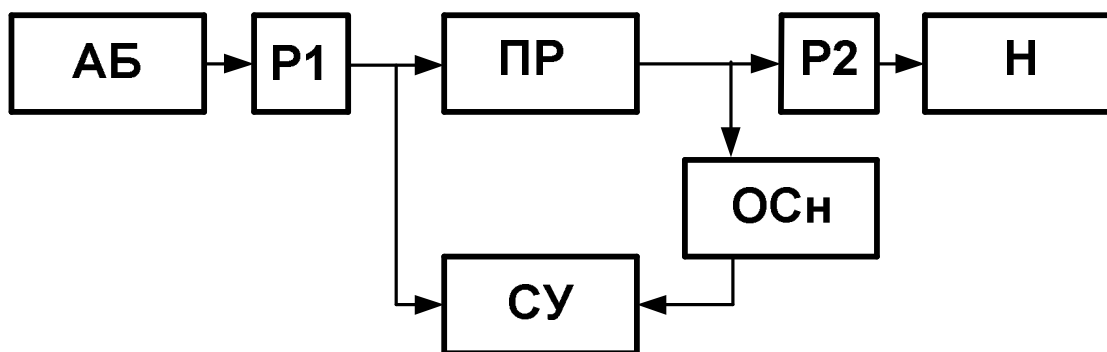


Рис. 1.4 – Функциональная схема источника питания

АБ – аккумуляторная батарея автомобиля.

P1 – разъем для подключения источника питания к гнезду прикуривателя автомобиля.

ПР – силовая часть преобразователя (SEPIC).

P2 – разъем для подключения к источнику питания нагрузки (ноутбук).

СУ – схема управления.

ОСн – обратная связь по напряжению.

Н – нагрузка (ноутбук).

Источник питания, выполненный по одной из наиболее распространенных схем преобразователей топологии SEPIC, обеспечивает потребление от бортовой автомобильной сети непрерывный ток, снимает задачу снижения уровня электромагнитных помех, кроме того, формирует выходное напряжение, не инвертированное по отношению к автомобильной сети. Отрицательная обратная связь по напряжению обеспечивает необходимую стабильность напряжения на нагрузке.

2 РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ «SEPIC»

2.1 Разработка схемы электрической принципиальной источника питания

Принципиальная электрическая схема силовой части преобразователя «SEPIC» приведена на рисунке 2.1.

Преобразователь «SEPIC» подключается к бортовой сети автомобиля через разъем XP1, а разъем XP2 соединяет преобразователь с нагрузкой (ноутбуком). Регулирующий орган выполнен на базе непосредственного преобразователя постоянного напряжения (НПН), в котором транзистор, работающий в ключевом режиме, обеспечивает широтно-импульсное регулирование выходного напряжения, а дросселя L1, L2 и конденсатор C2, C3 являются промежуточными накопителями энергии, позволяющими получать выходное напряжение как ниже, так и выше входного. Индуктивность дросселя L1 в данной схеме обеспечивает непрерывность потребляемого из автомобильной сети тока и может быть выполнена как отдельно от L2, так и на одном сердечнике вместе с L2. Для двух независимых дросселей можно использовать стандартные изделия, что даёт преимущество при выборе элементной базы для снижения себестоимости конечного продукта. Подобрать дроссель с двумя требуемыми индуктивностями значительно сложнее, а применение заказных элементов увеличивает стоимость изделия. Конденсатор C3 обеспечивает заданный уровень пульсаций в выходном напряжении. Резистивный делитель R3, R4 служит датчиком напряжения отрицательной обратной связи в замкнутой системе стабилизации выходного напряжения. Резистор R1 играет роль датчика в схеме контроля тока транзистора и его защиты.

Для реализации схемы управления целесообразно использовать микросхему LM3478, обладающую большим диапазоном рабочих частот преобразования, возможностью регулировки выходного напряжения, наличием встроенной тепловой защиты и защиты от короткого замыкания и рядом других преимуществ, что делает эту микросхему наиболее перспективной для использования в разрабатываемом источнике питания.

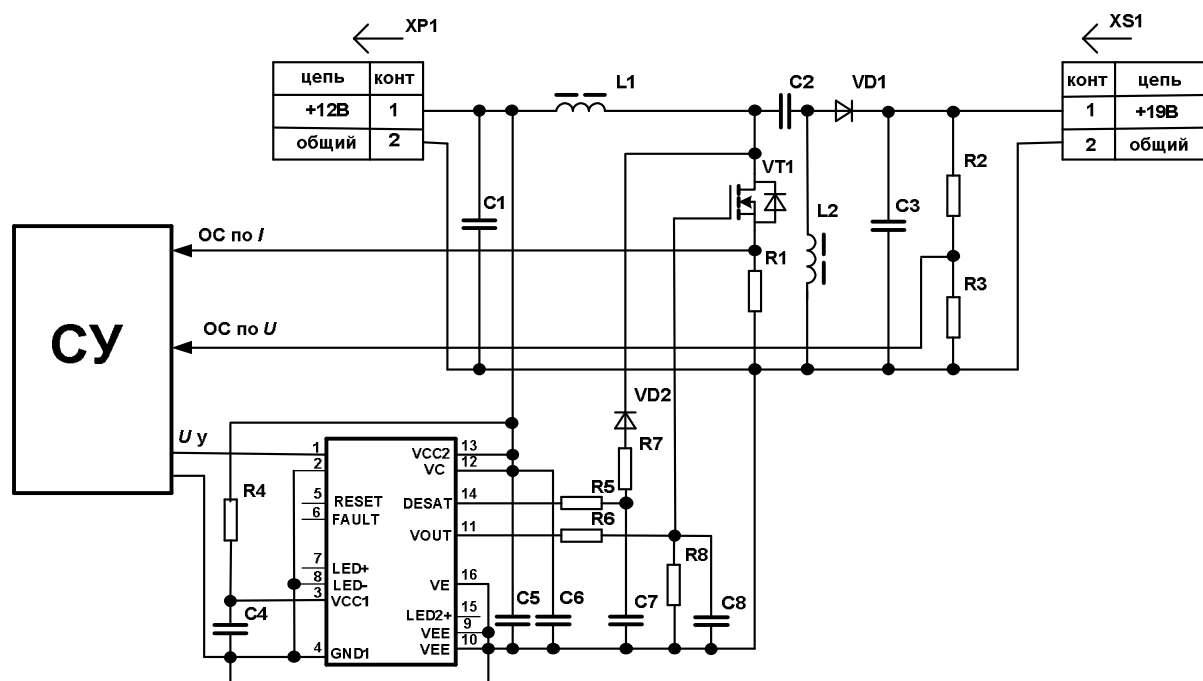


Рис. 2.1 – Принципиальная схема преобразователя «SEPIC»

Временные диаграммы работы силовой части источника питания приведены на рисунке 2.2.

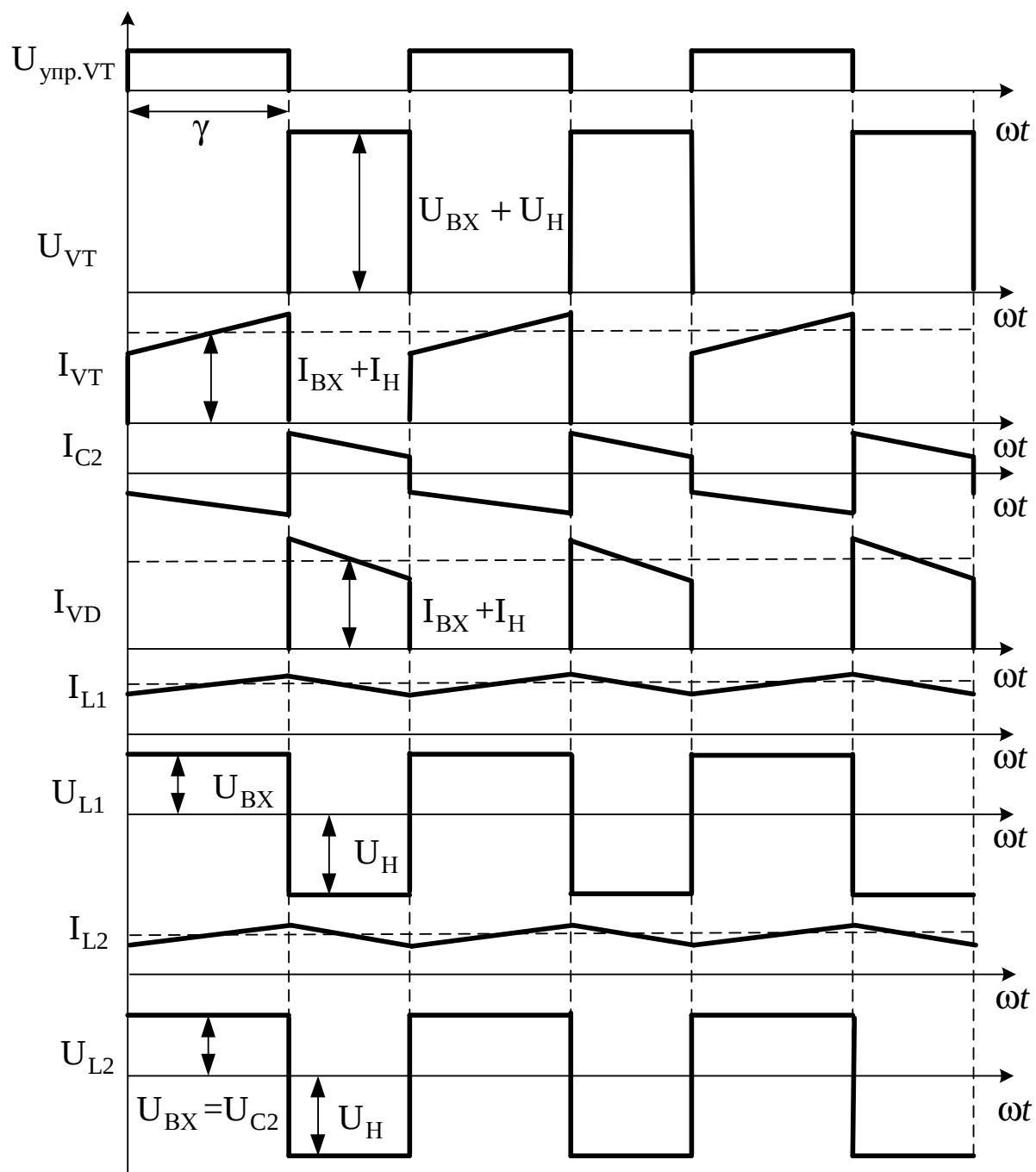


Рис. 2.2 – Временные диаграммы работы преобразователя «SEPIC»

2.2 Описание принципа работы источника питания

В основу работы устройства положен способ широтно-импульсного регулирования выходного напряжения. Напряжение автомобильного аккумулятора поступает на вход схемы НПП-преобразователя. В установившемся режиме через открытый ключ VT1 нарастающим током заряжается дроссель L1, а конденсатор C2 разряжается через него на дроссель L2, нагрузка при этом питается энергией конденсатора C3. При закрытом ключе VT1 конденсатор C2 заряжается по цепи: + E, индуктивность L1, конденсатор C2, диод VD1, конденсатор C3. Одновременно подзаряжается и конденсатор C3, при этом энергию в конденсатор C3 и нагрузку отдает и дроссель L2. После повторного открытия ключа процесс повторяется.

Использование режима непрерывного тока дросселей приводит к минимизации энергетических характеристик накопительных элементов схемы.

Сигнал пропорциональный выходному напряжению с резистивного делителя R2, R3, включенного параллельно нагрузке, поступает на вход системы управления, обеспечивая отрицательную обратную связь замкнутой системы по напряжению. При отклонении выходного напряжения от номинального схема управления изменяет длительность открытого состояния силового ключа таким образом, чтобы отклонение выходного напряжения не превышало допустимого значения. Таким образом, обеспечивается стабилизация выходного напряжения с заданной точностью.

Одновременно с питанием ноутбука осуществляется при необходимости и зарядка его собственной АБ. При выключенном ноутбуке происходит только подзарядка аккумуляторной батареи, и по окончании заряда батареи преобразователь отключается.

3 РАСЧЕТ И ВЫБОР ЭЛЕМЕНТОВ СХЕМЫ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ

3.1 Расчет силовой части источника

Используя второй закон Кирхгофа для средних значений напряжений в контурах, выразим напряжения на обмотках дросселей на интервалах открытого состояния транзистора (импульса) и закрытого (паузы). Условие равенства напряжений для дросселя L1 описывается выражением [1, 5]:

$$U_{AB}\gamma = (U_H + U_C - U_{AB})(1 - \gamma), \quad (3.1)$$

где U_{AB} – напряжение на входе преобразователя;

$\gamma = \frac{t_{и}}{T}$ – относительная длительность открытого состояния транзистора на периоде квантования (импульса),

U_H – напряжение нагрузки.

Для дросселя L2

$$U_C\gamma = U_H(1 - \gamma). \quad (3.2)$$

Выразив из (3.2) напряжение нагрузки

$$U_H = U_C \frac{\gamma}{1 - \gamma}$$

и, подставив его в (1), получим: $U_C = U_{AB}$ – напряжение на разделительном конденсаторе C1 всегда равно напряжению на входе преобразователя.

Регулировочная характеристика преобразователя имеет вид

$$U_H = U_{AB} \frac{\gamma}{1 - \gamma}. \quad (3.3)$$

На интервале паузы конденсатор заряжается от источника током дросселя L1, а на интервале импульса происходит разряд конденсатора на дроссель L2. Средний ток конденсатора за период можно записать выражением:

$$I_C = I_{L1}(1 - \gamma) - I_{L2}\gamma = 0. \quad (3.4)$$

В режиме непрерывного тока дросселей с минимальной переменной составляющей потребляемого тока (такой режим целесообразен с позиций уменьшения помех в бортовой сети)

$$I_{L1} = I_{\Pi}; \quad (3.5)$$

$$I_{L2} = I_H = I_{VDcp}. \quad (3.6)$$

Воспользовавшись выражениями (3.4), (3.5), (3.6), можно получить зависимость потребляемого тока от тока нагрузки:

$$I_{\Pi} = I_H \frac{\gamma}{1 - \gamma}. \quad (3.7)$$

Для режима стабилизации выходного напряжения из выражения регулировочной характеристики (3.3) требуется определить значения минимальной и максимальной относительной длительности импульсов управления силовым транзистором во всем диапазоне изменения входного напряжения.

$$\gamma_{\max} = \frac{U_H}{U_{AB\min} + U_H} = \frac{19}{10,5 + 19} = 0,65. \quad (3.8)$$

$$\gamma_{\min} = \frac{U_H}{U_{AB\max} + U_H} = \frac{19}{14,5 + 19} = 0,57. \quad (3.9)$$

Задавшись пульсациями тока дросселей в пределах 20%, определим их индуктивности по выражению:

$$L2 = \frac{U_{C\min} \gamma_{\max}}{0,2 I_{L2} f_K} = \frac{10,5 \cdot 0,65}{0,2 \cdot 8 \cdot 100 \cdot 10^3} = 42,6 \cdot 10^{-6} \text{ Гн},$$

где $0,2 I_{L2} = 0,2 I_H$ – пульсации тока дросселя L2;

$f_K = 100 \text{ кГц}$ – частота коммутации силового транзистора.

$$L1 = \frac{U_{AB\min} \gamma_{\max}}{0,2 I_{L1} f_K} = \frac{10,5 \cdot 0,65}{0,2 \cdot 15 \cdot 100 \cdot 10^3} = 23 \cdot 10^{-6} \text{ Гн},$$

где $0,2 I_{L1}$ – пульсации тока дросселя L1;

$$I_{L1} = I_{\Pi} = I_{\text{H}} \frac{\gamma_{\max}}{1 - \gamma_{\max}} = \frac{8 \cdot 0,65}{1 - 0,65} \approx 15 \text{ А} - \text{средний ток дросселя L1.}$$

Для реализации индуктивности L1 используем двухобмоточный дроссель Д13-22 ($L = 80 \text{ мкГн}$, $I = 8 \text{ А}$, $R = 0,025 \text{ Ом}$, $\Delta U = 25 \text{ В}$ при последовательном соединении обмоток) с параллельно соединенными обмотками ($L1 = 20 \text{ мкГн}$, $I = 16 \text{ А}$, $R_{\text{др}} = 0,00625 \text{ Ом}$). Индуктивность L2 получим, если включим два дросселя Д13-22 в параллель ($L2 = 40 \text{ мкГн}$, $I = 16 \text{ А}$, $R = 0,0125 \text{ Ом}$).

Эффективное значение токов дросселей L2 и L1:

$$I_{L2\text{эфф}} = \sqrt{I_{\text{H}}^2 + \frac{\Delta I_{L2}^2}{12}} = \sqrt{8^2 + \frac{0,8^2}{12}} \approx 8 \text{ А};$$

$$I_{L1\text{эфф}} = \sqrt{I_{\Pi}^2 + \frac{\Delta I_{L1}^2}{12}} = \sqrt{15^2 + \frac{3,4^2}{12}} \approx 15 \text{ А},$$

где $\Delta I_{L1} = \frac{U_{\text{АБmin}} \gamma_{\max}}{L f_{\text{К}}} = \frac{10,5 \cdot 0,65}{20 \cdot 10^{-6} \cdot 100 \cdot 10^3} = 3,4 \text{ А};$

$$\Delta I_{L2} = \frac{U_{\text{АБmax}} (1 - \gamma_{\min})}{L f_{\text{К}}} = \frac{14,5(1 - 0,57)}{40 \cdot 10^{-6} \cdot 100 \cdot 10^3} = 1,6 \text{ А}.$$

Рассеиваемая мощность:

$$\text{на L1} \quad P_{L1} = I_{L1}^2 R_{L1} = 15^2 \cdot 0,00625 = 1,4 \text{ ВА},$$

$$\text{на L2} \quad P_{L2} = I_{L2}^2 R_{L2} = 8^2 \cdot 0,0125 = 0,8 \text{ ВА}.$$

Максимальный ток транзистора:

$$I_{VT\text{max}} = I_{L1\text{max}} + I_{L2\text{max}} = 15 + 1,7 + 8 + 0,8 = 25,5 \text{ А}.$$

Максимальное напряжение на транзисторе:

$$U_{VT\text{max}} = U_{\text{АБmax}} + U_{\text{H}} = 14,5 + 19 = 33,5 \text{ В}.$$

Выбираем полевой транзистор IRF3710Z с параметрами:

$$U_{\text{СИ}} = 100 \text{ В}, I_{\text{СИ}} = 57 \text{ А}, R_{\text{СИ}} = 0,025 \text{ Ом}, C_{\text{ЗИ}} = 2900 \text{ пФ}.$$

Приняв линейным изменение тока и напряжения транзистора при переключении, потери мощности на транзисторе рассчитаем по формуле:

$$P_{VT} = I_{СИ}^2 R_{СИ} \gamma_{\max} + \frac{(U_{АБ\max} + U_H) I_{СИ} (t_{ВКЛ} + t_{ВЫКЛ}) f_K}{4} = \quad (3.10)$$

$$= 23^2 \cdot 0,025 \cdot 0,65 + \frac{33,5 \cdot 23 \cdot (0,05 + 0,05) \cdot 10^{-6} \cdot 100 \cdot 10^3}{4} \approx 10,5 \text{ ВА},$$

где $I_{СИ} = 23 \text{ А}$ – ток транзистора;

$R_{СИ} = 0,025 \text{ Ом}$ – сопротивление открытого транзистора;

$\gamma_{\max} = 0,65$ – максимальная длительность открытого состояния транзистора;

$U_{ВХ\max} = 14,5 \text{ В}$ – максимальное значение входного напряжения;

$U_{ВЫХ}$ – напряжение нагрузки;

$t_{ВКЛ} = t_{ВЫКЛ} = 0,05 \cdot 10^{-6} \text{ с}$ – время включения и выключения транзистора.

Необходимо установить транзистор на радиатор.

Рассчитаем параметры импульсов управления силовым транзистором.

Переключение силового транзистора за $t_{ВКЛ} = t_{ВЫКЛ} = 0,05 \cdot 10^{-6} \text{ с}$ обеспечивается перезарядом его входной емкости $C_{ЗИ}$.

Максимальный ток затвора определяется выражением:

$$I_{ЗИ} = \frac{C_{ЗИ} U_{ЗИ}}{t_{ВКЛ.(ВЫКЛ.)}} = \frac{2,9 \cdot 10^{-9} \cdot 10,5}{0,05 \cdot 10^{-6}} = 0,6 \text{ А}.$$

Сопротивление резистора в цепи затвора:

$$R_3 = \frac{U_{ЗИ}}{I_{ЗИ}} = \frac{10,5}{0,6} = 18 \text{ Ом}.$$

Выбираем резистор МЛТ-0,25-18 кОм-10%.

Диод VD1 выбирается по среднему току и обратному напряжению.

Среднее значение тока через диод равно току нагрузки.

$$I_{VDcp} = I_H = 8 \text{ А}.$$

Максимальное обратное напряжение диода рассчитываем по формуле:

$$U_{VD\max} = U_{BX\max} + U_{ВЫХ} = 14,5 + 19 = 33,5 \text{ В}, \quad (3.10)$$

где $U_{BX\max}$ – максимальное входное напряжение;

$U_{ВЫХ}$ – выходное напряжение.

Выбираем диод КДШ2965А с параметрами ($U_{VD\text{доп}} = 40 \text{ В}$; $I_{VD\text{ср}} = 25 \text{ А}$; $\Delta U_{VD\max} = 0,7 \text{ В}$).

Мощность, рассеиваемая диодом, определяется выражением:

$$P_{VD} = \Delta U_{\max} \cdot I_{VD\text{ср}} = 0,7 \cdot 8 = 5,6 \text{ ВА}.$$

Необходимо установить диод на радиатор.

Учитывая допустимые пульсации напряжения на частоте 100 кГц, емкость разделительного конденсатора С2 рассчитаем по формуле:

$$C2 = \frac{I_{L2} \gamma_{\max}}{\Delta U_{C(f)} f_K} = \frac{8 \cdot 0,65}{0,03 \cdot 100 \cdot 10^3} \approx 1,8 \cdot 10^3 \text{ мкФ}, \quad (3.11)$$

где $\Delta U_{C(f)} = 0,01 \Delta U_{C(50)} = 0,01 \cdot 0,12 \cdot 25 = 0,03 \text{ В}$ – переменная составляющая напряжения на конденсаторе на частоте 100кГц при 10-ти вольтах амплитуды пульсаций напряжения на частоте 50 Гц, допустимых для электролитических конденсаторов К50-29 с напряжением 25 В.

Соединяем параллельно 2 конденсатора К50-29 с параметрами: 1000 мкФ 25 В.

Среднеквадратичное значение тока во входном конденсаторе вычисляется по формуле:

$$I_{C1} = \frac{\Delta I_{L1}}{\sqrt{12}} = \frac{1,7}{\sqrt{12}} = 0,5 \text{ А}. \quad (3.13)$$

Емкость входного конденсатора определяется выражением:

$$C1 = \frac{\Delta I_{L1} \gamma_{\max}}{\Delta U_C f_K} = \frac{0,5 \cdot 0,65}{0,03 \cdot 100 \cdot 10^3} \approx 0,11 \cdot 10^3 \text{ мкФ}. \quad (3.14)$$

С учетом унификации для С1 выбираем конденсатор К50-29 1000 мкФ 25 В.

Несмотря на то что для «SEPIC» емкость входного конденсатора не-критична, конденсатор емкостью 1000 мкФ позволит предотвратить влияние импеданса источника питания бортовой сети.

Расчет емкости выходного конденсатора C_3 аналогичен предыдущим.

$$C_3 = \frac{I_H \gamma_{\max}}{\Delta U_C f_K} = \frac{8 \cdot 0,65}{0,03 \cdot 100 \cdot 10^3} \approx 1,8 \cdot 10^3 \text{ мкФ}. \quad (3.15)$$

Устанавливаем параллельно 2 конденсатора К50-29 – 1000 мкФ 25 В.

3.2 Расчёт системы управления

Для реализации широтно-импульсного способа регулирования выходного напряжения систему управления реализуем на контроллере LM3478. Внутренняя структура микросхемы представлена на рис. 3.2.

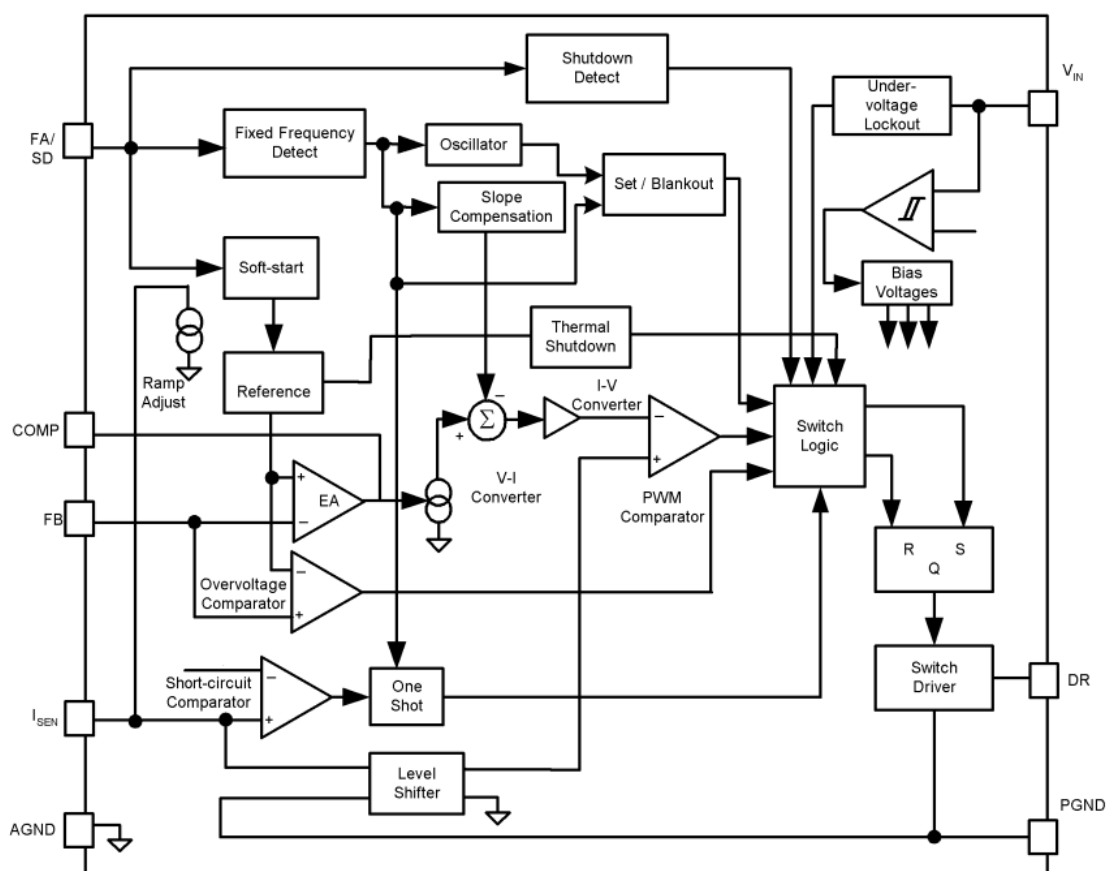


Рис. 3.2 – Внутренняя структура микросхемы LM3478

Условные обозначения основных функциональных узлов внутренней структуры микросхемы:

- Oscillator – генератор пилообразного напряжения;
- Switch logic – логика коммутатор;
- Switch driver – выходной драйвер;
- PWM comparator – ШИМ-преобразователь.

Многофункциональный N-канальный контроллер LM3478 имеет встроенный драйвер и может быть использован для управления силовым ключом импульсного стабилизатора, выполненного по схеме «SEPIC».

Диапазон рабочих частот от 100 кГц до 1 МГц контроллера LM3478 регулируется внешним резистором. Наличие защиты по току силового транзистора обеспечивает высокую надежность. Уровень срабатывания защиты по току задается внешним резистором (шунтом в цепи транзистора).

LM3478 имеет встроенные функции, такие как тепловая защита, защита от коротких замыканий, максимальная защита по напряжению и т. д. Работа схемы в режиме молчания снижает общий потребляемый ток до 5 мкА, что обеспечивает энергосберегающий режим. Схема плавного включения ограничивает пусковой ток при запуске.

Описание работы ШИМ-контроллера LM3478:

С датчика напряжения через вход FB сигнал обратной связи поступает на схему вычитания, на второй вход которого подается задающее напряжение с источника опорного напряжения. Сигнал ошибки поступает на вход компаратора и сравнивается с пилообразным напряжением, поступающим с ГЛИН. Таким образом, при изменении выходного напряжения преобразователя отрицательная обратная связь по напряжению компенсирует влияние возмущающих факторов (изменение напряжения АБ, изменение тока нагрузки преобразователя). В данном случае ШИМ-контроллеру LM3478 не требуется дополнительный источник питания собственных

нужд, так как технические характеристики микросхемы позволяют использовать для этого напряжение питания силовой части схемы.

На рисунке 3.3 изображена схема включения ШИМ-контроллера LM3478.

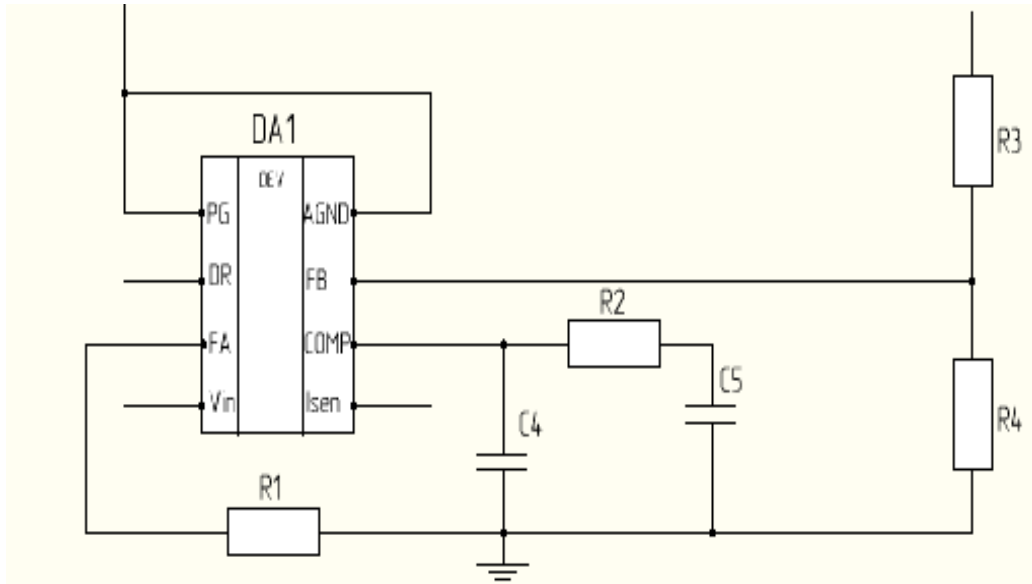


Рис. 3.3 – Схема включения ШИМ – контроллера LM3478

Выбор части элементов схемы осуществляется в соответствии с рекомендациями технической документации [3, 4], прилагаемой к данной микросхеме.

Сопротивление частото задающего резистора R1 выбирается в соответствии с графиком (рис. 3.4) по технической документации на микросхему LM3478.

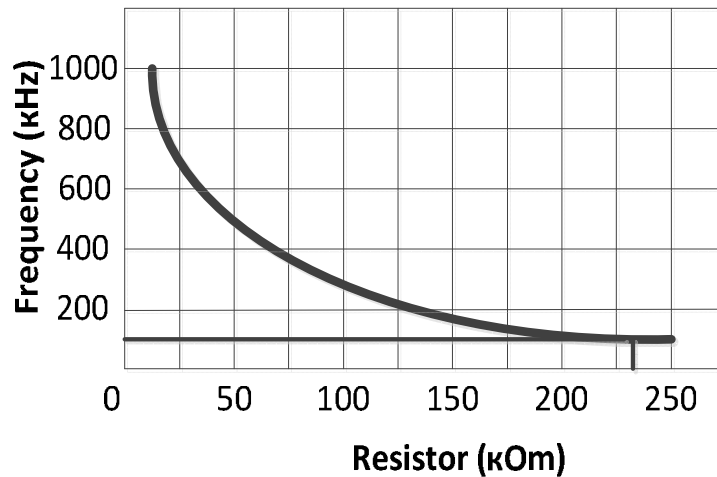


Рис. 3.4 – Характеристика зависимости рабочей частоты от сопротивления R4

Из графика (рисунок 3.4) определяем номинал резистора R1 в пределах 150–200 кОм для рабочей частоты контроллера 100 кГц.

Выбираем резистор R1: МЛТ-0,25-180 кОм-10%.

Делитель напряжения R3,R4 обеспечивает напряжение обратной связи 1.26V на выводе FB.

Задавшись сопротивлением $R3 = 47 \text{ кОм}$, R4 вычисляем по выражению:

$$R4 = \frac{U_{OC}}{U_H - U_{OC}} \cdot R3 = \frac{1,26}{19 - 1,26} \cdot 47 \cdot 10^3 \text{ Ом} = 3,3 \text{ кОм}, \quad (3.17)$$

где U_{OC} – напряжение обратной связи.

Выбираем резистор R3: МЛТ-0,125-47 кОм-5%,

Выбираем резистор R4: МЛТ-0,125-3,3 кОм-5%.

Необходимое напряжение на входе контроля тока $U_{SL} = 60 \div 105 \text{ мВ}$, типовое значение $U_{SL} = 83 \text{ мВ}$, $U_{SENS} = 130 \div 190 \text{ мВ}$, типовое значение $U_{SENS} = 160 \text{ мВ}$ – из характеристик микросхемы LM3478 [4].

Сопротивление шунта R1 считается по выражению:

$$R1 = \frac{U_{SENS} - \gamma_{\max} \cdot U_{SL}}{I_{VT1\max}} = \frac{160 \cdot 10^{-3} - 0,65 \cdot 83 \cdot 10^{-3}}{25,5} = 4,2 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}, \quad (3.18)$$

где $I_{VT1\max} = 25,5 \text{ A}$ – максимальный ток ключа.

Токовый шунт R1 с сопротивлением $4,2 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}$ может быть самодельным.

Элементы R2, C4 и C5 формируют корректирующую цепь. Сопротивление R2 рассчитывается по выражению [4]:

$$\begin{aligned} R2 &= \frac{2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot C3 \cdot U_H^2 \cdot (1 + D_{\max})}{G_{MA} \cdot G_{CS} \cdot U_{FB} \cdot U_{in\min} \cdot D_{\max}} = \\ &= \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 3,8 \cdot 10^3 \cdot 0,1 \cdot 10^{-3} \cdot 19^2 \cdot (1 + 0,65)}{800 \cdot 10^{-6} \cdot 250 \cdot 1,26 \cdot 10,5 \cdot 0,65} = 826 \text{ Ом}, \end{aligned} \quad (3.24)$$

где $f_c = 3,8 \cdot 10^3 \text{ Гц}$ – частота среза;

$G_{MA} = 800 \text{ мкс}$ – крутизна усилителя ошибки [4];

$G_{CS} = \frac{1}{R1} = \frac{1}{4,2 \cdot 10^{-3}} = 250$ – усиление в цепи измерения тока;

$U_{FB} = 1,26 \text{ В}$ – напряжение обратной связи.

Выбираем резистор R2: МЛТ-0,25 820 Ом 5%.

Емкость конденсатора C4 определяем выражением [4]:

$$C4 = \frac{C3 \cdot 0,5 \cdot \Delta U_H}{R2(I_{L1} + I_{L2})} = \frac{2 \cdot 10^{-3} \cdot 0,5 \cdot 0,03}{820 \cdot (8 + 15)} = 1,6 \text{ нФ}. \quad (3.25)$$

Выбираем конденсатор КМ5 1,8 пФ.

Рассчитываем емкость конденсатора C5 по формуле [4]:

$$C5 = \frac{4}{2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot R2} = \frac{4}{2 \cdot 3,14 \cdot 3,8 \cdot 10^3 \cdot 820} = 0,2 \text{ мкФ}. \quad (3.26)$$

Выбираем конденсатор КМ5 2,2 пФ.

4 МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ

Для моделирования силовой части преобразователя используем Multisim 12.2. Моделирование преобразователя позволяет определить основные параметры элементов схемы и режимы их работы без макетирования.

Модель схемы представлена на рисунке 4.1.

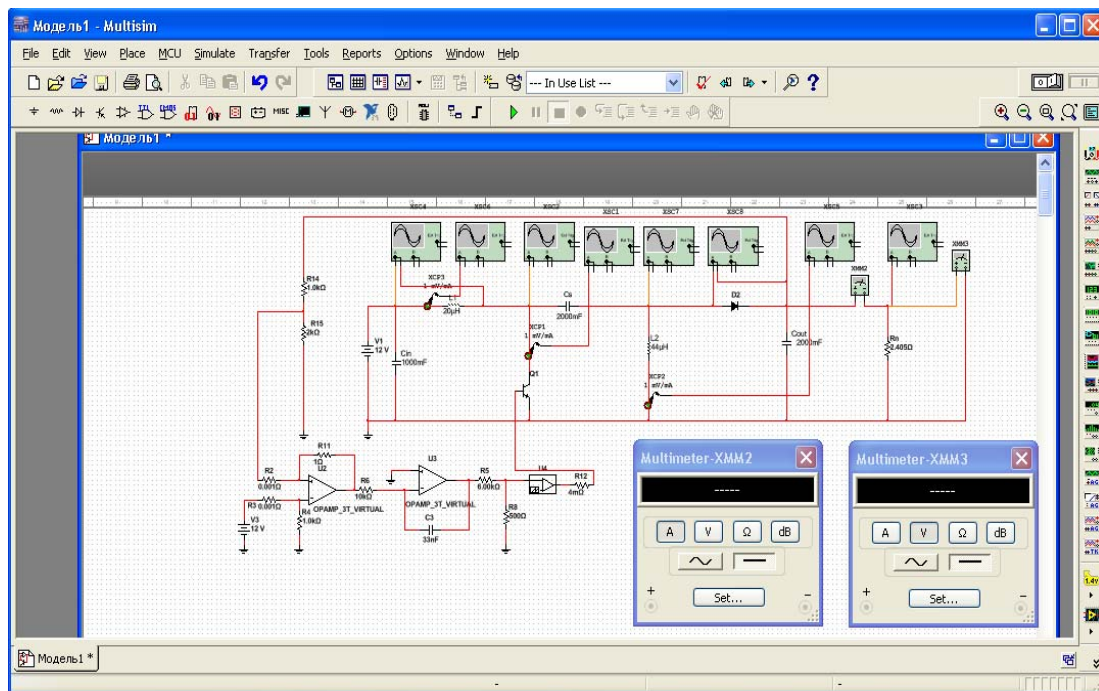


Рис. 4.1 – Модель схемы преобразователя

Результаты моделирования представлены в виде временных диаграмм токов и напряжений на элементах схемы.

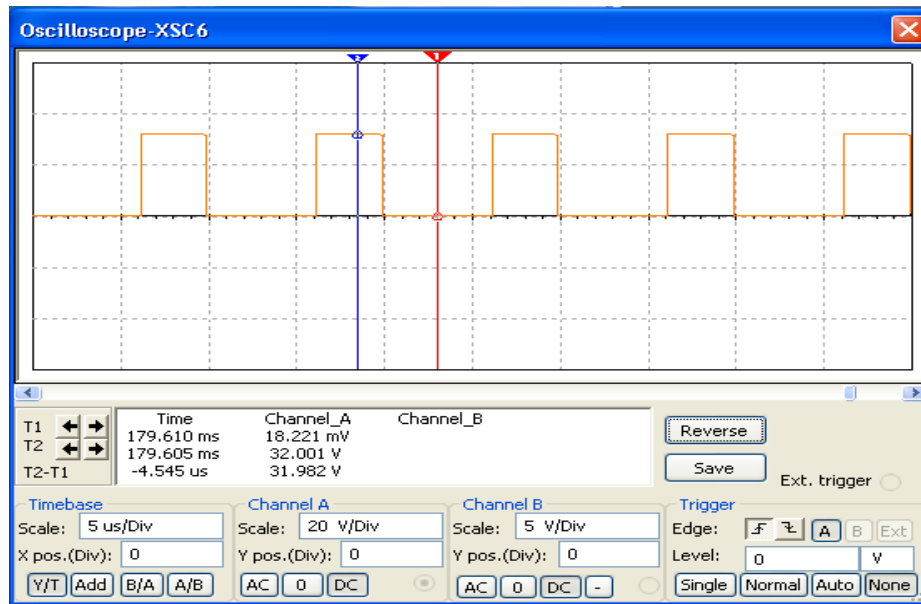


Рис. 4.2 – Диаграмма напряжения на ключе VT1

Напряжение на транзисторе в установившемся режиме не превышает расчетную величину $U_{VTmax} \leq 34$ В.

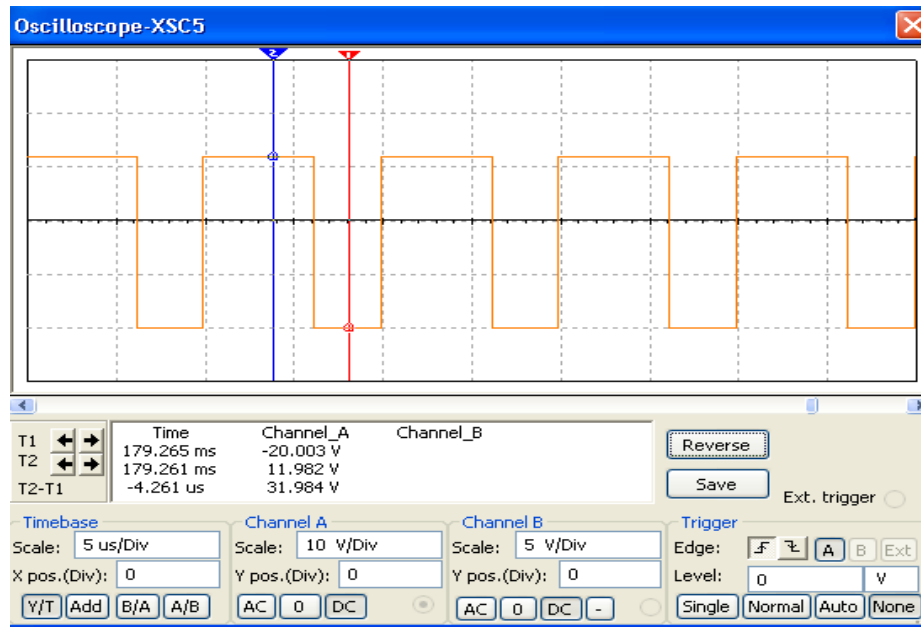


Рис. 4.3 – Диаграмма напряжения на индуктивности L1

Напряжение на L1 на интервале открытого ключа определяется источником питания U_{AB} , что показывает осциллограмма, изображенная на рисунке 4.3, а на интервале закрытого ключа равно выходному U_H .

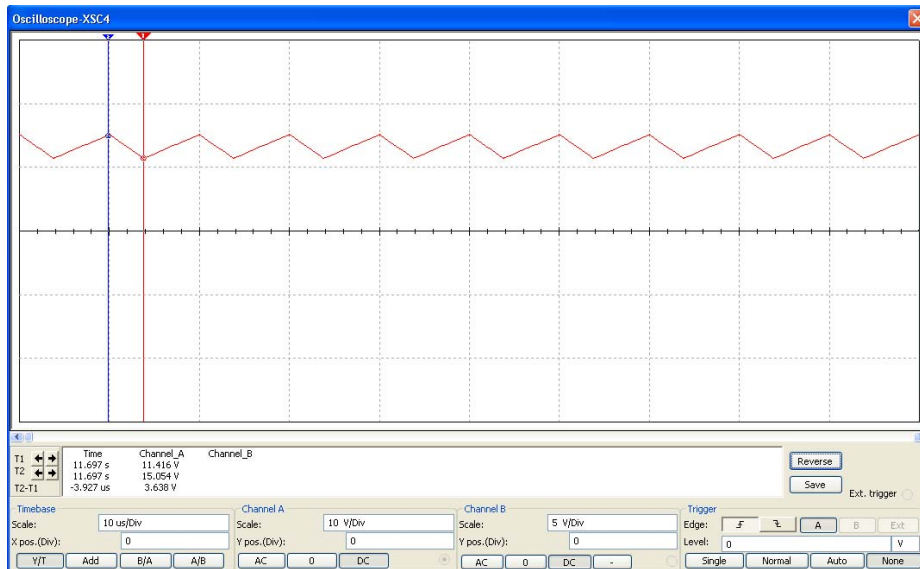


Рис. 4.4 – Диаграмма тока индуктивности L1

Из графика, изображенного на рисунке 4.4 видно, что расчётные данные тока совпадают с результатами моделирования. Пульсации тока в индуктивности не превышают расчетных значений.

Диаграммы, представленные на рисунках 4.5, 4.6, иллюстрируют напряжение и ток на дросселе L2.

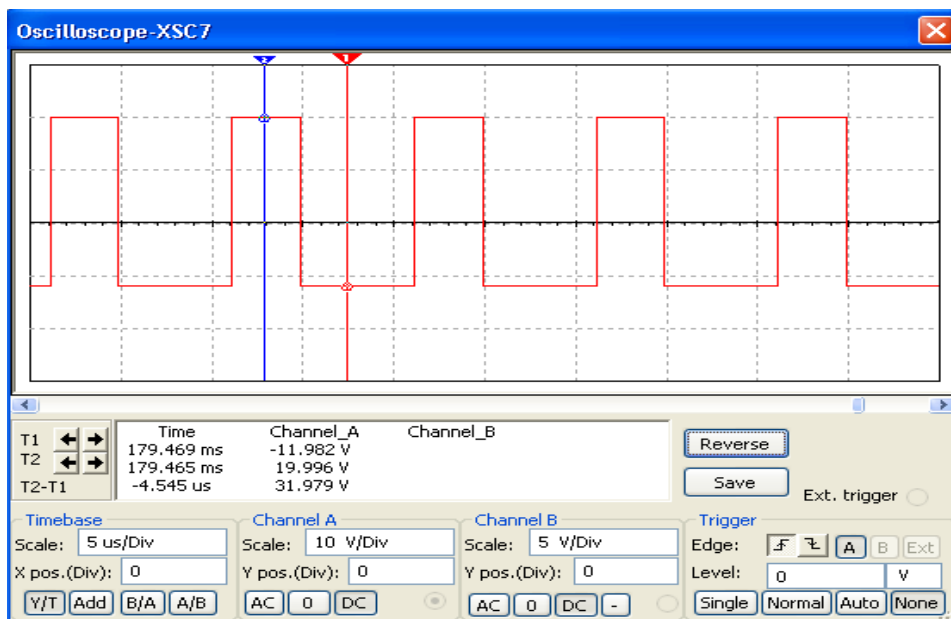


Рис. 4.5 – Диаграмма напряжения на индуктивности L2



Рис. 4.6 – Диаграмма тока в индуктивности L2

Напряжение на дросселе L2 на интервале открытого ключа определяется выходным напряжением U_H , что показывает осциллограмма, изображенная на рисунке 4.7, а на интервале закрытого ключа равно напряжению источника питания U_{AB} .

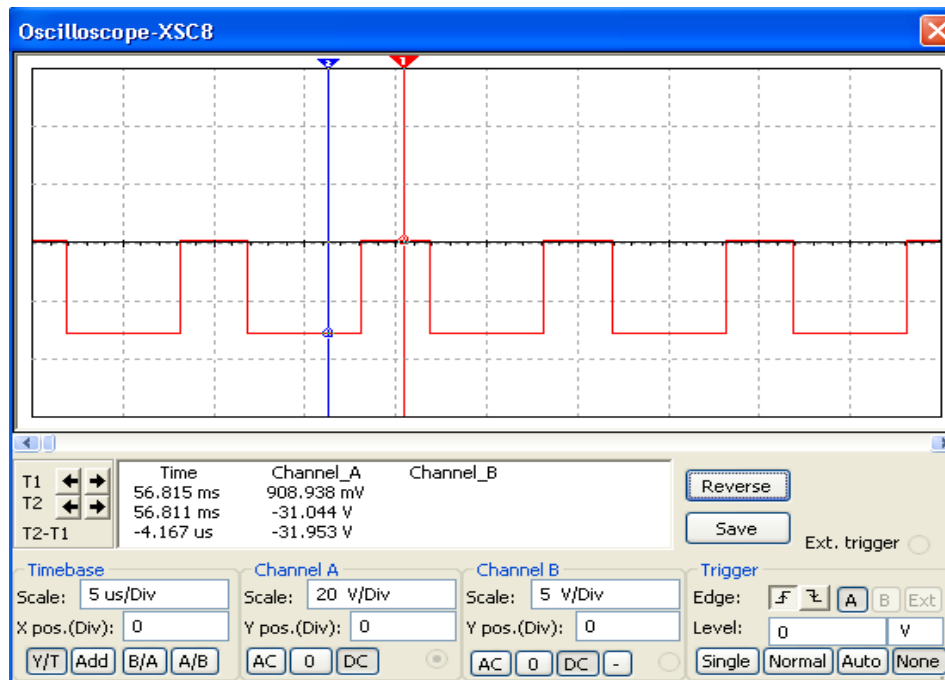


Рис. 4.7 – Диаграмма напряжения на диоде VD1

Максимальное напряжение, прикладываемое к диоду, не превышает расчетного значения и равно сумме входного и выходного напряжений преобразователя.

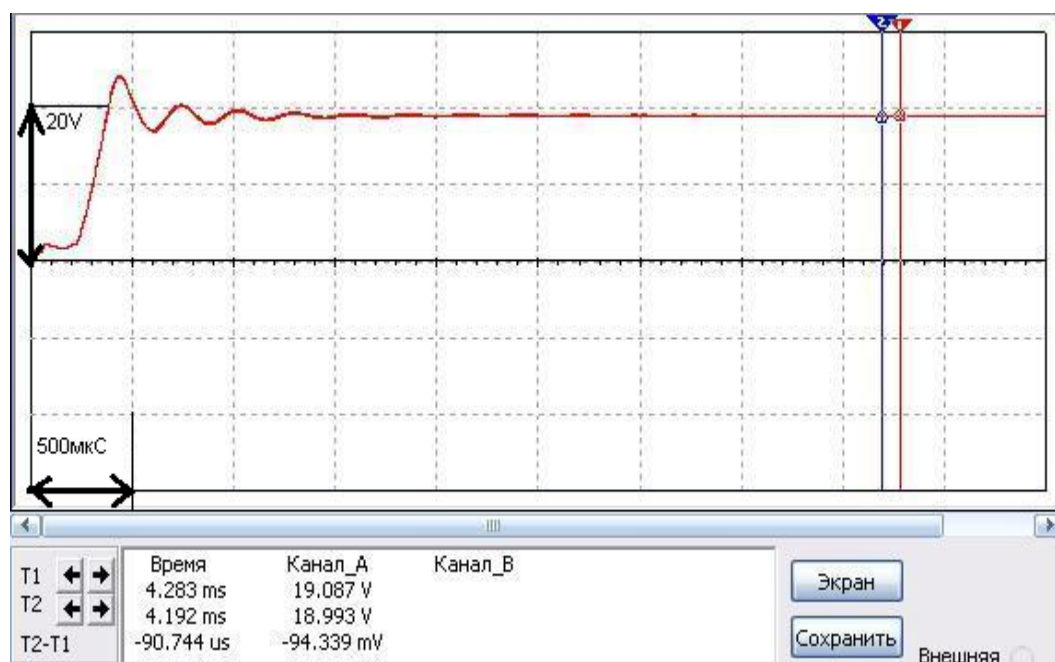


Рис. 4.8 – Диаграмма выходного напряжения

Осциллограмма, представленная на рисунке 4.8, отображает режим пуска преобразователя. Анализ кривой выходного напряжения показывает, что пульсации выходного напряжения укладываются в пределы допустимые для выбранного типа конденсаторов на заданной частоте и удовлетворяют требованиям технического задания.

5 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ

Печатная плата выполняется, как правило, на пластине из диэлектрического материала, на поверхности которой наносятся электропроводящие цепи электронной схемы. Печатная плата предназначена для механического крепления и электрического соединения различных электронных компонентов.

В отличие от навесного монтажа, на печатной плате электропроводящий рисунок выполнен из фольги, целиком расположенной на твердой изолирующей основе. Печатная плата содержит монтажные отверстия и контактные площадки для монтажа выводных или планарных компонентов. Кроме того, в печатных платах имеются переходные отверстия для электрического соединения участков фольги, расположенных на разных слоях платы. На внешнюю сторону платы наносится защитное покрытие и маркировка (вспомогательный рисунок и текст согласно конструкторской документации).

Основой печатной платы служит диэлектрический материал. Наиболее часто используются такие материалы, как стеклотекстолит или гетинакс. Основой печатных плат может служить металлическое основание, покрытое диэлектриком (например, анодированный алюминий), на поверхность которого наносится медная фольга дорожек. Такие печатные платы обеспечивают теплоотвод электронных компонентов и применяются, как правило, в силовой электронике.

Проектирование печатной платы может быть выполнено с помощью специализированной программы Sprint Layout 5. Эта программа содержит встроенные функции, обеспечивающие соблюдение норм ГОСТ.

ГОСТ Р 51040–97 Платы печатные. Шаги координатной сетки.

ГОСТ Р 53386–2009 Платы печатные. Термины и определения.

ГОСТ 9.301–86 Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Общие требования.

ГОСТ 11284–75 Отверстия сквозные под крепежные детали. Размеры.

ГОСТ 14140–81 Основные нормы взаимозаменяемости. Допуски расположения осей отверстий для крепежных деталей.

ГОСТ 25347–82 Основные нормы взаимозаменяемости. Единая система допусков и посадок. Поля допусков и рекомендуемые посадки.

На рисунке 5.1 представлена инженерная модель печатной платы

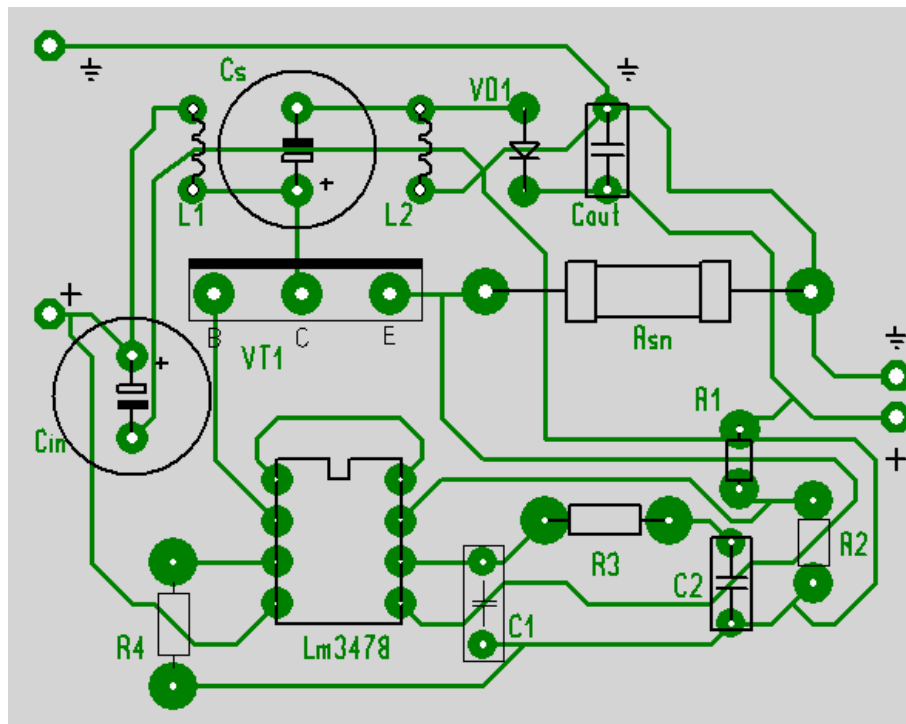


Рис. 5.1 – Инженерная модель печатной платы

Спроектированная печатная плата предназначена для установки элементов электрической схемы источника питания, указанных в перечне элементов. Размер печатной платы: 55×45 мм.

Размеры платы определены с помощью «среды разработки печатной платы» в соответствии с габаритными размерами элементов схемы и требованиями их компоновки.

На рисунке 5.2 представлена печатная плата.

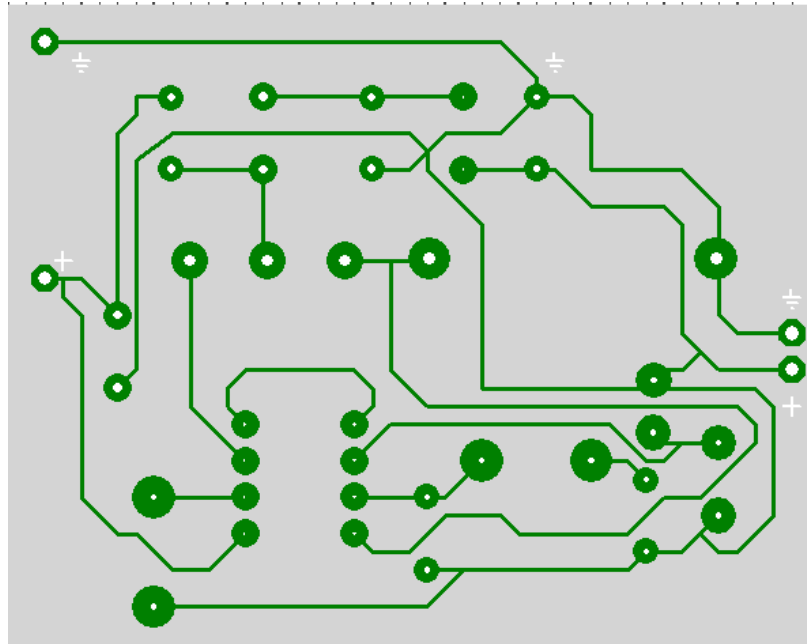


Рис. 5.2 – Печатная плата

Разработанная печатная плата позволяет при использовании инженерной модели (рис. 5.1) выполнить крепление элементов источника питания, электрическое соединение элементов способом ручной пайки, конечным результатом чего будет готовое для эксплуатации изделие.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведена разработка источника питания на основе непосредственного преобразователя постоянного напряжения с разделительным конденсатором и непрерывным входным током, в качестве схемы преобразователя использовалась схема топологии SEPIC, система управления реализована на микросхеме LM3478, выполняющей ШИМ модуляцию. Разработанный источник питания соответствует параметрам технического задания, в результате обеспечивает выходное напряжение $U_H = 19 \text{ В} \pm 2\%$ при токе нагрузки $I_H = 8 \text{ А}$.

Анализируя результаты моделирования, делаем вывод о том, что спроектированный источник питания работоспособен, так как теоретические расчёты совпали с результатами моделирования.

Разработанный источник питания предназначен для питания ноутбуков ACER Covers Aspire Models 1700, Covers Aspire 1705SM, Covers Aspire 1705SCi, Covers Aspire 1705, Covers Aspire 1703SM, Covers Aspire 1703SCMe, Covers Aspire 1703SC, Covers Aspire 1703ESM, Covers Aspire 1703ESC, Covers Aspire 1703, Covers Aspire 1702SC, Covers Aspire 1702, Aspire 1700 Series, ASUS L5000, MEDION FID2130, от бортовой электрической сети автомобиля с номинальным напряжением 12В.

Данный тип источников питания востребован потребителями, удаленными от стационарных электрических сетей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. National Semiconductor Application Note 1484 «Designing A SEPIC Converter» [Электронный ресурс]. – URL:
[\[http://www.ekis.kiev.ua/UserFiles/Image/pdfArticles/BUCK-BOOST%20DC-DC-CONVERERS%20Analog%20Devices_EKIS_2_2011-2.pdf\]](http://www.ekis.kiev.ua/UserFiles/Image/pdfArticles/BUCK-BOOST%20DC-DC-CONVERERS%20Analog%20Devices_EKIS_2_2011-2.pdf)
2. Скворцов В. А. Выпускная квалификационная работа: методические указания по выполнению выпускной бакалаврской работы для студентов направления 210100 «Электроника и наноэлектроника» / В. А. Скворцов, А. В. Топор, В. С. Мишуров. – Томск : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2013. – 51 с.
3. Texas Instruments «AN-1484 Designing A SEPIC converter». 2006 [Электронный ресурс]. – URL:
[\[http://www.ti.com/lit/an/snva168e/snva168e.pdf\]](http://www.ti.com/lit/an/snva168e/snva168e.pdf)
4. National Semiconductor «LM3478 High Efficiency Low-Side N-Channel Controller for Switching Regulator». 2001 [Электронный ресурс]. – URL:
[\[http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/nationalsemiconductor/LM3478.pdf\]](http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/nationalsemiconductor/LM3478.pdf)
5. Мелешин В. И. Транзисторная преобразовательная техника / В. И. Мелешин. – М. : Техносфера, 2005. – 632 с.
6. Иоффе Дмитрий. Разработка импульсного преобразователя напряжения с топологией SEPIC // Компоненты и технологии. – 2006. – № 9. – 30 с.
7. Родюков В. П. Методические указания по оформлению технической документации / В. П. Родюков. – Томск : Томский межвузовский центр дистанционного образования, 2011. – 110 с.
8. International Rectifier «IRFZ34N» [Электронный ресурс]. – URL:
[\[http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/irfz34n.pdf\]](http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/irfz34n.pdf)
9. Интеграл «КДШ2965А» [Электронный ресурс]. – URL:
http://tec.org.ru/bd/12/1227_2965.pdf

10. ГОСТ 2.304–81 Шрифты чертёжные. Введ. 1981-03-28. – М. : Госстандарт Союза ССР ; Изд-во стандартов, 2001. – VII. – 27 с.

11. ГОСТ 2.702–75 Правила выполнения электрических схем. Введ. 1977-07-01. – М. : Госстандарт Союза ССР. Изд-во стандартов, 2001. – VII. – 39 с.

12. ГОСТ 2.708–81 Правила выполнения схем ЦВТ. Введ. 2007-11-01. – М. : Межгос. стандарт ; Изд-во стандартов 2009. – VII. – 15 с.

13. ГОСТ 2.710–81 Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах. Введ. 1981-07-01. – М. : Госстандарт Союза ССР ; Изд-во стандартов, 2001. – VII. – 28 с.

14. ГОСТ 2.723–68 УГО Моточные изделия. – Введ. 2002-05-01. – М. : Межгос. стандарт ; Изд-во стандартов, 2009. – VII. – 15 с.

15. ГОСТ 2.728–74 УГО Резисторы, конденсаторы. Введ. 1975-07-01. – М. : Госстандарт Союза ССР ; Изд-во стандартов, 2001. – VII. – 22 с.

16. ГОСТ 2.72–68 УГО Приборы электроизмерительные. Введ. 1977-01-01. – М. : Госстандарт Союза ССР ; Изд-во стандартов, 2001. – VII. – 14 с.

17. ГОСТ 2.730–73 УГО Приборы полупроводниковые. Введ. 1974-07-01. – М. : Госстандарт Союза ССР ; Изд-во стандартов, 001. – VII. – 23 с.

18. ГОСТ 2.743–91 УГО в схемах Элементы ЦТ. Введ. 1993-01-01. – М. : Госстандарт Союза ССР ; Изд-во стандартов, 2001. – VII. – 78 с.

[illegible]