

Федеральное агентство по образованию

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

Кафедра промышленной электроники (ПрЭ)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

Методические указания по выполнению
выпускной бакалаврской работы

*Для студентов направления 210100
«Электроника и микроэлектроника»*

2007

Федеральное агентство по образованию
**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)**

Кафедра промышленной электроники

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

**Методические указания по выполнению
выпускной бакалаврской работы**

*Для студентов направления 210100
«Электроника и микроэлектроника»*

Разработчики:

Доцент каф. ПрЭ
В.А.Скворцов
Ст. преподаватель каф. ПрЭ
А.В.Топор

2007

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1 Цель и задачи выполнения ВКР	3
2 Организация выполнения ВКР	4
3 Структура ВКР бакалавра.....	6
4 Требования к структурным элементам бакалаврской работы	7
4.1 Общие требования.....	7
4.2 Титульный лист	7
4.3 Реферат.....	7
4.4 Задание (техническое задание).....	8
4.5 Содержание.....	10
4.6 Введение	11
4.7 Основная часть	11
4.7.1 Анализ технического задания.....	11
4.7.2 Обзор технических решений по заданной тематике	12
4.7.3 Выбор и обоснование структурной схемы устройства	12
4.7.4 Выбор элементной базы.....	13
4.7.5 Принципиальные схемы, элементы настройки, управления, контроля и защиты	16
4.7.6 Электрический расчет принципиальных схем	19
4.7.7 Выбор электрорадиоэлементов	21
4.7.8 Оценка погрешности измерений	24
4.7.9 Оценка точности поддержания заданных параметров в устройствах стабилизации напряжения	25
4.7.10 Стиль изложения, сокращения	26
4.7.11 Ссылки на литературу	26
4.7.12 Рисунки в тексте, чертежи	27
4.7.13 Последовательность выполнения работы над основной частью	28
4.8 Заключение	29
4.9 Список использованных источников	29
4.10 Приложения	29
5. Защита выпускной квалификационной работы	30
Приложение А Форма титульного листа.....	32
Приложение Б Форма технического задания.....	33
Приложение В Пример оформления фрагмента ТД	36
Приложение Г Пример оформления реферата	37
Приложение Д Пример оформления содержания.....	38

ВВЕДЕНИЕ

Методические указания являются руководством для руководителей выпускной квалификационной работы (ВКР) и студентов, содержат необходимые сведения о порядке организации, выполнения и защиты работы в соответствии с рекомендациями научно-методического совета ТУСУРа.

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».

Разработка ВКР может осуществляться на конкретных материалах предприятий и организаций, являющихся базой производственно-технологической практики.

ВКР — бакалаврская работа — выполняется выпускником самостоятельно в форме анализа известного технического решения, изделия, технологического процесса, программного продукта и т.д., раскрывающего знания выпускника, приобретенные им в процессе изучения общепрофессиональных и специальных дисциплин. Работы могут основываться на обобщении выполненных курсовых работ и проектов и подготавливаться к защите в завершающий период теоретического обучения.

ВКР выполняется студентом для решения следующих задач:

- 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.

2 ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ВКР

К выполнению ВКР допускаются студенты, успешно завершившие полный курс обучения по основной образовательной программе и успешно прошедшие все предусмотренные учебным планом аттестационные испытания.

Территориально ВКР могут выполняться:

- на факультете Электронной техники ТУСУР, на кафедрах Промышленной электроники, Физической электроники, Электронных приборов под руководством опытных преподавателей, научных сотрудников, аспирантов, магистров;
- 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, либо сотрудники выпускающей кафедры, но в любом случае тема ВКР согласуется с профилирующей кафедрой.

Период, время выполнения и защита ВКР регламентируется учебным планом. **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. 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.

Руководитель ВКР назначается приказом ректора (или распоряжением декана) одновременно с закреплением за студен-

том темы ВКР по представлению заведующего кафедрой *не позднее, чем за 16 недель до ее защиты.*

Выполнение ВКР состоит из следующих этапов:

- Выбор *темы* ВКР студентом по согласованию с руководителем.

- Формирование *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.

ВКР, после допуска к защите заведующим кафедрой, (он ставит визу на титульном листе) передается секретарю экзаменационной комиссии.

В экзаменационную комиссию на каждого студента, защищающего ВКР, должны быть представлены *следующие документы:*

- Зачетная книжка (заполненная в соответствии с требованиями).

- Выпускная бакалаврская работа.

- Графический материал.

- Отзыв руководителя ВКР.

Другие материалы, характеризующие научную и практическую деятельность студента.

3 СТРУКТУРА ВКР БАКАЛАВРА

3.1 Работа в общем случае должна содержать:

- текстовый документ (ТД),
- графический материал.

Текстовый документ ВКР бакалавра именуется «Бакалаврская работа».

Примечания.

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

3.2 Бакалаврская работа должна включать следующие разделы в указанной ниже последовательности:

- титульный лист,
- реферат на русском языке;
- реферат на иностранном языке;
- 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, выполненные в ходе проектирования согласно заданию (ТЗ).

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 Бакалаврской работе должно быть не менее 3-х чертежей формата А1, количество демонстрационных листов не регламентируется.

4 ТРЕБОВАНИЯ К СТРУКТУРНЫМ ЭЛЕМЕНТАМ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

4.1 Общие требования

4.1.1 ТД должен 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 заданием (ТЗ).

4.2 Титульный лист

4.2.1 Образец титульного листа приведен в приложении А.

4.3 Реферат

4.3.1 Реферат (ГОСТ 7.9, ГОСТ 7.32) размещается на отдельном листе (странице).

Заголовком служит слово «Реферат» (для реферата на иностранном языке — соответствующий иностранный термин), записанное с прописной буквы симметрично тексту.

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:

- объект исследования или разработки;
- цель работы;
- метод исследования и аппаратуру;
- полученные результаты и их новизну;
- основные конструктивные, технологический 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.

4.3.4 Пример составления реферата приведен в приложении Г.

4.4 Задание (техническое задание)

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

4.4.2 Задание (ТЗ) должно быть составлено на русском языке.

4.4.3 После утверждения задания (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.4.1 «Технические параметры»

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

- П.4.2 «Конструкторские параметры»

Заполняется при наличии в работе задания на конструкторскую проработку.

- П. 4.3 «Условия эксплуатации»

Заполняется при выполнении разработки для климатических условий, отличающихся от нормальных.

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

Обзорная часть:

- постановка задачи (обоснование необходимости проведения данных работ);
- обзор существующих решений;
- выбор критериев оценки и анализа;
- выбор и обоснование структурной схемы.

Проектировочная часть:

- разработка функциональной схемы системы;
- разработка структур, подчиненных функциональной схеме;
- разработка структурных модулей;
- выбор алгоритмов работы.

Расчетная часть (не менее 3÷4 модулей):

- выбор методики расчета или моделирования;
- обоснование принятых допущений;
- расчет;
- выбор элементов в соответствии с результатами расчетов.

Экспериментальная часть:

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

• П. 6.1 «Чертежи»

Указываются конкретные наименования чертежей. При выполнении работы необходимо выполнить не менее трех чертежей формата А1 в соответствии с ЕСКД, в том числе:

Бакалаврская работа должна содержать 20÷30 страниц машинописного текста, в том числе:

- обзорная часть — 5÷10 страниц;
- проектировочная часть — 5÷10 страниц;
- расчетная часть — не менее 10 страниц.

4.5 Содержание

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

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

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

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

Материалы, представляемые на технических носителях данных ЭВМ, 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».

5.5.4 Пример оформления содержания приведен в приложении Д.

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

Содержание основной части работы должно отвечать заданию (ТЗ) и требованиям, изложенным в настоящих методических указаниях.

4.7.1 Анализ технического задания

На основании технического задания определяется область применения проектируемого устройства и на базе заданных характеристик определяется его класс и затем проводится подбор

литературных источников и поиск прототипов.

4.7.2 Обзор технических решений по заданной тематике

Начиная работу над бакалаврской работой, необходимо подобрать литературу по теме разработки и по ней ознакомиться с существующими техническими решениями. Результатом изучения литературы должен стать 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 трех) 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, как бы уже 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 — 10—15 страниц. В ходе выполнения обзора формируются критерии оценки, по которым проводится сопоставительный анализ.

4.7.3 Выбор и обоснование структурной схемы устройства

Целью анализа является разработка структурной 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 схемы устройства. 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.

4.7.4 Выбор элементной базы

После выбора и обоснования структурной схемы электронного устройства (ЭУ) разработчик приступает к выбору его элементной базы. В первую очередь необходимо решить, какие функциональные части ЭУ могут быть построены на интегральных микросхемах (ИМС), а какие построены на дискретных элементах (ДЭ).

Если какая-либо функциональная часть (либо все устройство) может быть построена только на ИМС, то нужно отдать им предпочтение ввиду их значительных преимуществ, связанных с разработкой, производством и эксплуатацией микроэлектронной аппаратуры.

В принципе, возможны три типа элементной базы:

- 1) только ИМС;
- 2) ИМС и ДЭ;
- 3) только ДЭ.

Практически же устройства, построенные на ИМС, всегда имеют некоторое количество дискретных элементов, которые выполняют вспомогательные функции. На ИМС строят устройства для переработки информации на низком уровне напряжения и мощности. Смешанную элементную базу могут иметь как мощные, так и маломощные ЭУ.

Выбор элементной базы должен обосновываться расчетом. При этом, например, для цифровых ИМС необходимо определиться — какому критерию отдать предпочтение исходя из требований технического задания:

- 1) высокому быстродействию;
- 2) малому энергопотреблению;
- 3) низкой себестоимости;
- 4) относительно невысоким величинам напряжения источников питания;
- 5) высокому запасу по помехоустойчивости;
- 6) коэффициентам объединения по входу и выходу;
- 7) малым габаритам корпусов.

При выборе типов дискретных элементов также необходимо определиться — каким основным показателям, отвечающих требованиям ТЗ, необходимо отдать предпочтение:

- 1) рассеиваемой мощности;
- 2) максимальному напряжению на переходах (для транзисторов);
- 3) максимальному обратному напряжению (для диодов);
- 4) величинам постоянного и импульсного тока через элемент (транзистор, диод);
- 5) граничной частоте коэффициента передачи тока (для транзисторов) или рабочей частоте (для диодов);
- 6) допустимой температуре перехода (для полупроводниковых приборов);
- 7) величине напряжения насыщения коллектор-эмиттер (для транзисторов) и величине постоянного и импульсного прямого напряжения (для диодов).

При выборе типов аналоговых ИМС также необходимо определить, какие основные параметры, исходя из требований ТЗ, будут определяющими.

Если это операционные усилители, которые наиболее часто используются разработчиками, то для них основные параметры:

- 1) коэффициент усиления;
- 2) входное сопротивление;
- 3) выходное сопротивление;
- 4) частота единичного усиления;
- 5) скорость нарастания выходного напряжения;
- 6) коэффициент ослабления синфазных входных напряжений;
- 7) напряжение смещения;
- 8) входной ток;
- 9) разность входных токов;
- 10) допустимый диапазон синфазного и дифференциального входного сигнала.

Параметры компараторов схожи с параметрами ОУ, но добавляются некоторые другие:

- 1) время задержки включения;
- 2) нагрузочная способность;
- 3) ток потребления;
- 4) наличие стробирования;
- 5) возможность работы от низковольтных источников питания (например, +5 В, как для ТТЛ цифровых микросхем);
- 6) чувствительность.

Очень часто в различных ЭУ применяются аналоговые ключи. Они относятся к аналого-цифровым микросхемам потому, что управляются такие ключи дискретными сигналами, а переключают аналоговые (непрерывные) сигналы. Выполняются интегральные аналоговые ключи, как правило, на основе МОП-транзисторов, которые удобны тем, что в открытом состоянии могут пропускать ток в обоих направлениях. При этом цепь управления электрически изолирована от сигнальной цепи. Важными параметрами аналоговых ключей являются:

- 1) сопротивление открытого ключа;
- 2) ток утечки ключа в закрытом состоянии;
- 3) диапазон коммутируемых напряжений;
- 4) время коммутации ключа.

Выбор типов пассивных элементов — резисторов, конденсаторов осуществляется после проведения расчета принципиальной схемы какого-либо узла. Например, для резисторов необходимо учитывать допустимый разброс параметров при выборе их по ГОСТу. Необходимо оценить, с каким разбросом можно выбрать рассчитанный резистор по ГОСТу для данной схемы. То же самое относится и к выбору конденсаторов. При их выборе, например, необходимо обращать внимание на величину токов утечки, допустимую амплитуду переменной составляющей приложенного напряжения, у электролитических конденсаторов, тангенс угла потерь, температурный коэффициент емкости. Конечно же, для каждой конкретной принципиальной схемы какого-либо узла определяющими параметрами, по которым будут выбираться типы конденсаторов, станут не все перечисленные выше, а некоторые из них.

В основу классификации конденсаторов положено деление их на группы по виду применяемого диэлектрика и по конструктивным особенностям, определяющим использование их в конкретных цепях аппаратуры. Вид диэлектрика определяет основные параметры конденсаторов: сопротивление изоляции, стабильность емкости, потери и др. Конструктивные особенности определяют характер их применения: помехоподавляющие, подстроечные, импульсные и др.

Номинальные значения емкости стандартизированы и выбираются из определенных рядов, номера которых такие же, как и для резисторов (см. ниже).

Номинальные значения сопротивлений резисторов также стандартизированы. Для постоянных резисторов согласно ГОСТ установлено шесть рядов E6, E12, E24, E48, E96, E192, а для переменных резисторов — один ряд E6. Цифра после буквы E указывает число номинальных значений в каждом десятичном интервале.

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

По структурной схеме проектируется принципиальная схема устройства на основе анализа требований технического задания, а

также требований, предъявляемых разработчиком к каждому функциональному элементу, узлу. Для некоторых функциональных элементов такие требования могут быть сформулированы лишь после электрического расчета принципиальных схем других функциональных частей (узлов) устройства.

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.

Полная принципиальная схема устройства составляется после разработки принципиальных схем функциональных блоков структурной схемы. Естественно, синтез схемы происходит в процессе всестороннего анализа свойств и параметров описанных в литературе схем.

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. Элементы настройки могут быть *подборными* или *подстроечными*.

Большой *диапазон регулирования* какого-либо выходного параметра (амплитуда сигнала, частота следования, длительность импульсов и т.п.) лучше всего разбить на несколько поддиапазонов. Это повысит точность настройки и удешевит узел регулирования.

Органы управления регулирующими элементами выводят на лицевые панели устройства, в то время как органы регулиро-

вания 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 человеку-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.). В списке рекомендуемой литературы имеется ряд таких пособий по расчетам электронных схем.

Расчет устройства, как говорилось выше, если оно состоит из ряда последовательно соединенных функциональных блоков (узлов) начинают со стороны его выхода, с конца. Это потому, что выходной функциональный блок (узел) является единственным в устройстве, для которого в ТЗ сформулированы достаточные требования.

Расчет какого-либо блока или узла носит итерационный характер. После выполнения ряда расчетов возникает необходимость повторить предыдущие операции для улучшения режимов блока (узла) или изменения структуры.

Примерный план расчета принципиальных схем:

- а) ориентировочный расчет выходных параметров функциональных блоков (узлов), проводимый при выборе их принципиальных схем;
- б) расчеты, на основе которых выбирают типы активных элементов (ИМС, транзисторы, диоды и др.);
- в) расчеты рабочих режимов активных элементов, включая расчет температурной нестабильности;
- г) расчет значений параметров пассивных элементов принципиальной схемы, расчет протекающих через них токов, падающих на них напряжений и рассеиваемых ими мощностей;
- д) определение номинальных значений (согласно существующих рядов) параметров пассивных элементов и выбор их типов;

е) расчет выходных параметров устройства с целью проверок их соответствия требованиям технического задания (проверочный расчет).

Электрические расчеты принципиальных схем блоков (узлов) в работе выделяются в виде самостоятельных параграфов, которые снабжают краткими конкретными заголовками, вносимыми в оглавление.

После заголовка формулируется задача расчета с указанием, что именно требуется определить при расчете. Перечисление задач расчета должно быть кратким и конкретным. Далее приводятся исходные данные для расчета, причем, если какая-либо величина появляется в расчетах впервые, дают ей наименование. Это требование распространяется также на все величины, появляющиеся в процессе расчета.

Обязательно должна быть показана принципиальная электрическая схема рассчитываемого функционального узла (блока). Обозначения элементов устанавливаются для каждой схемы свои, независимо от обозначений на полной принципиальной схеме. Принципиальную схему узла (блока) или ее фрагмент допускается вычерчивать в произвольном масштабе, обеспечивающем четкое ее прочтение.

Расчет приводят полностью. Кроме расчетных формул с ссылкой на литературу, откуда они взяты, должны быть представлены взятые из справочников характеристики (или основные параметры) полупроводниковых приборов. Если какие-то параметры взяты из громоздких номограмм, таблиц, то приводить их не нужно, а необходимо сделать ссылку на источник заимствования.

В конце расчета должна быть составлена табличка произвольной формы, в которой приводятся исчерпывающие данные о рассчитанных элементах. Например, для резисторов: расчетное сопротивление и расчетная мощность рассеяния, тип выбранного резистора, записанный по ГОСТу. Для конденсаторов: расчетная емкость, максимальное рабочее напряжение (с учетом аварийного режима цепи), тип выбранного конденсатора, записанный по ГОСТу. В дальнейшем из этих табличек складывается перечень элементов принципиальной схемы всего устройства.

4.7.7 Выбор электрорадиоэлементов

При проектировании возникает задача выбора электрорадиоэлементов (ЭРЭ) из очень широкого ассортимента. При выполнении работы студенту, не имеющему необходимых знаний и опыта, правильно выбрать ЭРЭ из справочников не просто. В связи с этим ниже приводятся некоторые рекомендации.

Транзисторы

1. По целевому назначению транзисторы делятся на усилительные, переключающие (импульсные), генераторные и специальные (лавинные, двухэмиттерные, сдвоенные и т.п.). В справочниках транзисторы чаще всего приводятся по трем разделам: транзисторы малой, средней и большой мощности. В каждом разделе транзисторы разделены по трем группам, определяемым диапазоном частот: диапазоны низких, средних и высоких частот. Отдельным разделом приводятся справочные данные по полевым транзисторам.

2. В справочнике приводятся значения параметров транзистора для соответствующего оптимального режима эксплуатации (или для предельного режима). Рабочий режим транзистора 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 транзистора, соответствующие выбранному режиму.

3. Применение высокочастотных транзисторов в низкочастотных устройствах нежелательно, так как они дороги, склонны к самовозбуждению, обладают меньшими эксплуатационными запасами.

4. Не допускается превышение максимально допустимых значений токов, напряжений, мощности рассеяния и температуры. Как правило, транзистор устойчиво работает при неполном использовании его по напряжению и при полном — по току. Для надежной работы транзистора напряжение на его коллекторе и рассеиваемая мощность на нем должны составлять не более 70÷80 % от максимально допустимых значений.

5. Не следует применять мощные транзисторы там, где мож-

но применить маломощные, т.к. при использовании мощных транзисторов в режиме малых токов их коэффициент передачи по току становится малым и сильно зависимым от тока и температуры окружающей среды. Лучше применить транзистор малой мощности с небольшим теплоотводом, чем большей мощности без теплоотвода.

6. Если нет особых причин для применения германиевого транзистора, лучше применить кремниевый, который лучше будет работать при высоких температурах. Кроме того, кремниевые транзисторы имеют более высокие значения пробивных напряжений и на один-два порядка меньше, чем германиевые, обратные токи.

7. Коэффициент передачи тока базы транзистора зависит от тока коллектора и принимает максимальное значение при каком-то конкретном токе. Это необходимо учитывать при проектировании.

Следует отметить, что не во всех справочниках по транзисторам приводятся входные, выходные характеристики, а только в некоторых. В других могут быть приведены зависимости коэффициента передачи от тока коллектора, от температуры и др.

Полупроводниковые диоды

1. Необходимо применять диоды по указанному в справочнике назначению, например, импульсные диоды следует применять в схемах, в которых происходит формирование или обработка импульсных сигналов, в выпрямителе нужно применять выпрямительные диоды и т.д.

2. Обратное напряжение на диоде и прямой ток через него (в том числе импульсный) не должны превышать 0,7—0,8 от максимально допустимых значений.

3. Рабочая частота диода не должна превышать указанного в справочнике предельного значения.

Резисторы

1. При проектировании можно рекомендовать резисторы постоянные общего назначения типа МЛТ, хотя для разработчика остается право самостоятельного выбора и обоснования других типов постоянных резисторов.

2. Допускаемое отклонение сопротивления от номинального

значения следует выбирать с учетом чувствительности к нему выходных параметров, принимая при этом во внимание требование ограничения номенклатуры электрорадиоэлементов.

3. Переменные резисторы следует применять по назначению. Резисторы, подвижная система которых рассчитана на небольшое число перемещений (до 1000 циклов), необходимо применять только как подстроечные. Для регулировочных резисторов требования выше.

Конденсаторы

1. Тип конденсатора выбирают по совокупности значений его номинальной емкости и рабочего напряжения. Если конденсатор выбирается для работы в цепи переменного или импульсного тока, то принимают во внимание его тангенс угла потерь.

2. Допустимое отклонение емкости от номинального значения следует также (как и для резисторов) выбирать с учетом чувствительности к нему выходных параметров устройства.

3. Для большинства типов конденсаторов в справочниках указывается номинальное рабочее напряжение постоянного тока. Эффективное значение переменного напряжения на конденсаторе должно быть в 1,5—2 раза меньше указанного рабочего напряжения для постоянного тока.

При работе конденсатора в цепи пульсирующего тока сумма постоянного напряжения и амплитудного значения переменного напряжения на нем не должна превышать его номинального рабочего напряжения.

4. Не следует без необходимости применять конденсаторы с номинальным напряжением, значительно превышающим рабочее, т.к. при этом ухудшаются массогабаритные и стоимостные показатели изделия.

Применение конденсаторов, номинальное напряжение которых намного превышает рабочее, может быть оправданным в прецизионных устройствах, в которых конденсаторы также входят в состав хранирующих цепей, где требуется получить минимальный ток утечки конденсатора.

5. Оксидные конденсаторы изготавливаются двух типов: полярные и неполярные. Полярные конденсаторы можно устанавливать лишь в тех цепях, в которых постоянная составляющая

напряжения на конденсаторе будет меньше амплитуды переменной составляющей. На неполярные конденсаторы это ограничение не распространяется.

Микросхемы

Требования по выбору цифровых микросхем студентам известны из ранее изученных дисциплин по изучению и проектированию цифровых устройств.

Рекомендации по применению аналоговых интегральных схем приводятся в справочной литературе и в различной литературе по проектированию радиоэлектронных устройств.

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

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

При разработке таких устройств необходимо не только обеспечить требуемый алгоритм работы СУ, но и обеспечить заданную точность поддержания выходных параметров, например, стабилизатора.

Для решения данной задачи требуется определение коэффициента усиления контура обратной связи согласно методик, изученных в курсе ТАУ.

4.7.10 Стил ь изложения, сокращения

При работе над текстом пояснительной записки следует добиваться точного, законченного и в то же время наиболее простого и понятного построения фраз, формулировок и выводов.

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, например: «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 их нужно строить так, чтобы слова, символы и знаки формулы составляли грамматически правильную конструкцию с законченным смыслом.

Не нужно злоупотреблять сочетаниями «имеет место», глаголами «имеется», «предусмотрена» и «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 сокращенным сочетанием слов его аббревиатуру, написанную прописными буквами в скобках. Например, мощный высокочастотный каскад (МВЧК) и т.п.

4.7.11 Ссылки на литературу

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 этим источником при критическом разборе работы или для других целей.

Ссылки на литературный источник в тексте сопровождаются 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 буквально 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 нумеруют в порядке расположения их в тексте, в котором о них упоминается.

Чертежи бакалаврской работы, как было сказано выше, выполняются на листе ватмана форматов А1—А3, 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).

4.7.13 Последовательность выполнения работы над основной частью

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

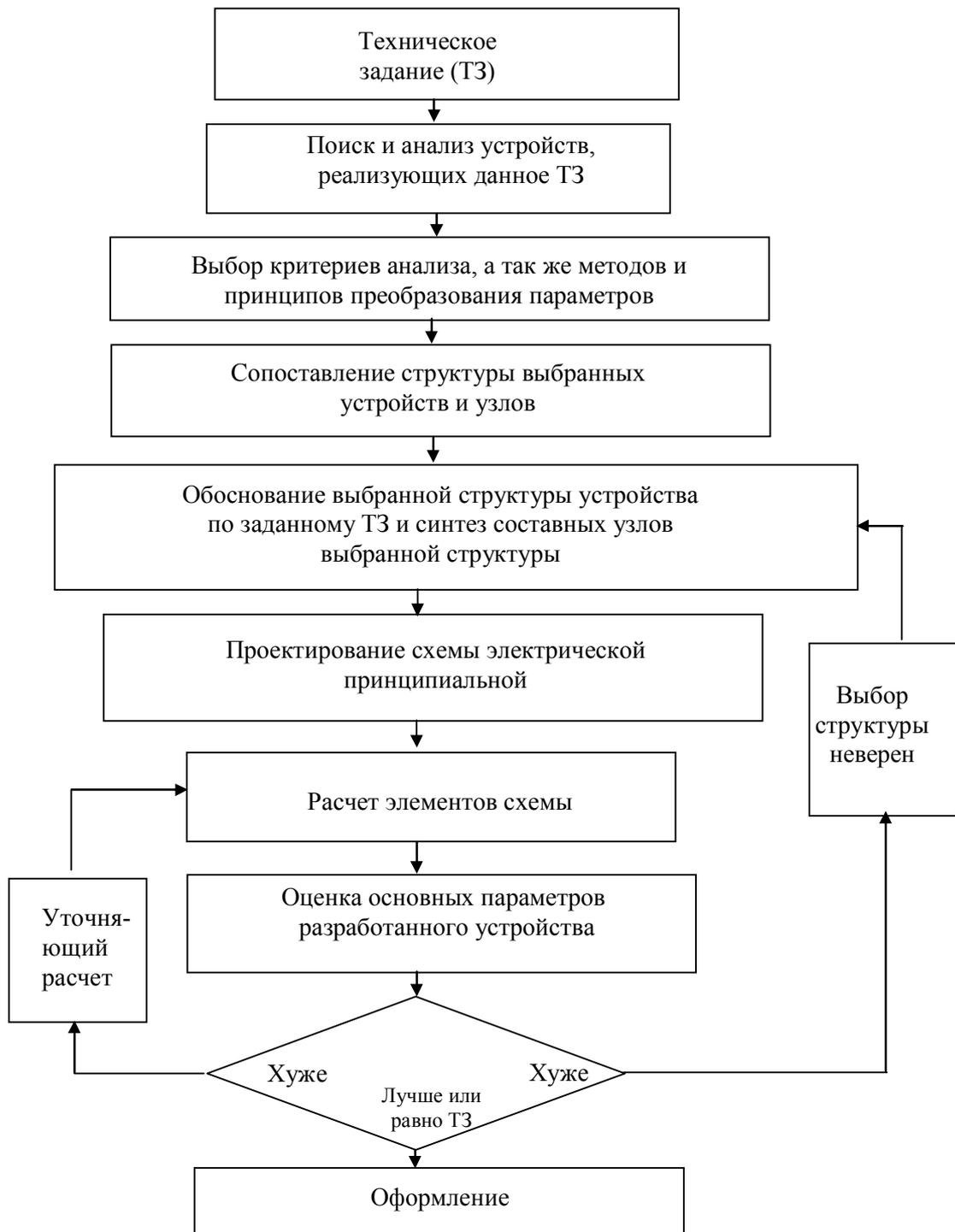


Рис. 1 — Алгоритм выполнения основной части работы

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 симметрично тексту с прописной буквы.

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.

5.9.3 Сведения об источниках приводят в соответствии с требованиями ГОСТ 7.1. Примеры библиографических описаний источников приведены 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, Ь. Например: «Приложение Б».

4.10.5 Каждое приложение ТД следует начинать с нового листа (страницы) с указанием наверху посередине страницы слова «Приложение» и его обозначения, а под ним в скобках — «обязательное» (если его выполнения предусмотрено заданием, ТЗ) или «справочное».

4.10.6 Приложение должно иметь заголовок, который записывают симметрично относительно текста с прописной буквы отдельной строкой.

5. ЗАЩИТА ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Защита ВКР проводится на открытом заседании Государственной аттестационной комиссии. Процедура защиты включает 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. В докладе излагается:

- тема работы;
- формулируются задачи проводимой работы (обосновывается ее актуальность);
- обосновываются (на основе выбора из нескольких) 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

Федеральное агентство по образованию

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

(обязательное)

Форма технического задания

Федеральное агентство по образованию

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

Кафедра промышленной электроники (ПрЭ)

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой ПрЭ
д.т.н., профессор

_____ А.В. Кобзев

ЗАДАНИЕ

на бакалаврскую работу студенту _____

_____ группа _____ факультет _____

1. Тема работы: _____

(утверждена приказом по ВУЗу № _____ от «__» _____ 200__ г.

2. Срок сдачи студентом законченной работы _____

3. Назначение и область применения системы (устройства)

4. ТРЕБОВАНИЯ К РАБОТЕ

4. 1. Технические параметры:

4.2. Конструкторские параметры:

4.3. Условия эксплуатации:

4.4. Дополнительные условия:

5. ПЕРЕЧЕНЬ РАЗДЕЛОВ ПОДЛЕЖАЩИХ РАЗРАБОТКЕ

6. ПОДЛЕЖИТ РАЗРАБОТКЕ СЛЕДУЮЩАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

6.1. Чертежи:

(выполняются в соответствии с ГОСТ и ЕСКД)

1. _____
2. _____
3. _____

6.2. Демонстрационные иллюстрации:

ЗАДАНИЕ СОГЛАСОВАНО:

Руководитель проектирования

« _____ » _____ 200 г. Ф.И.О. должность, место работы

Подпись

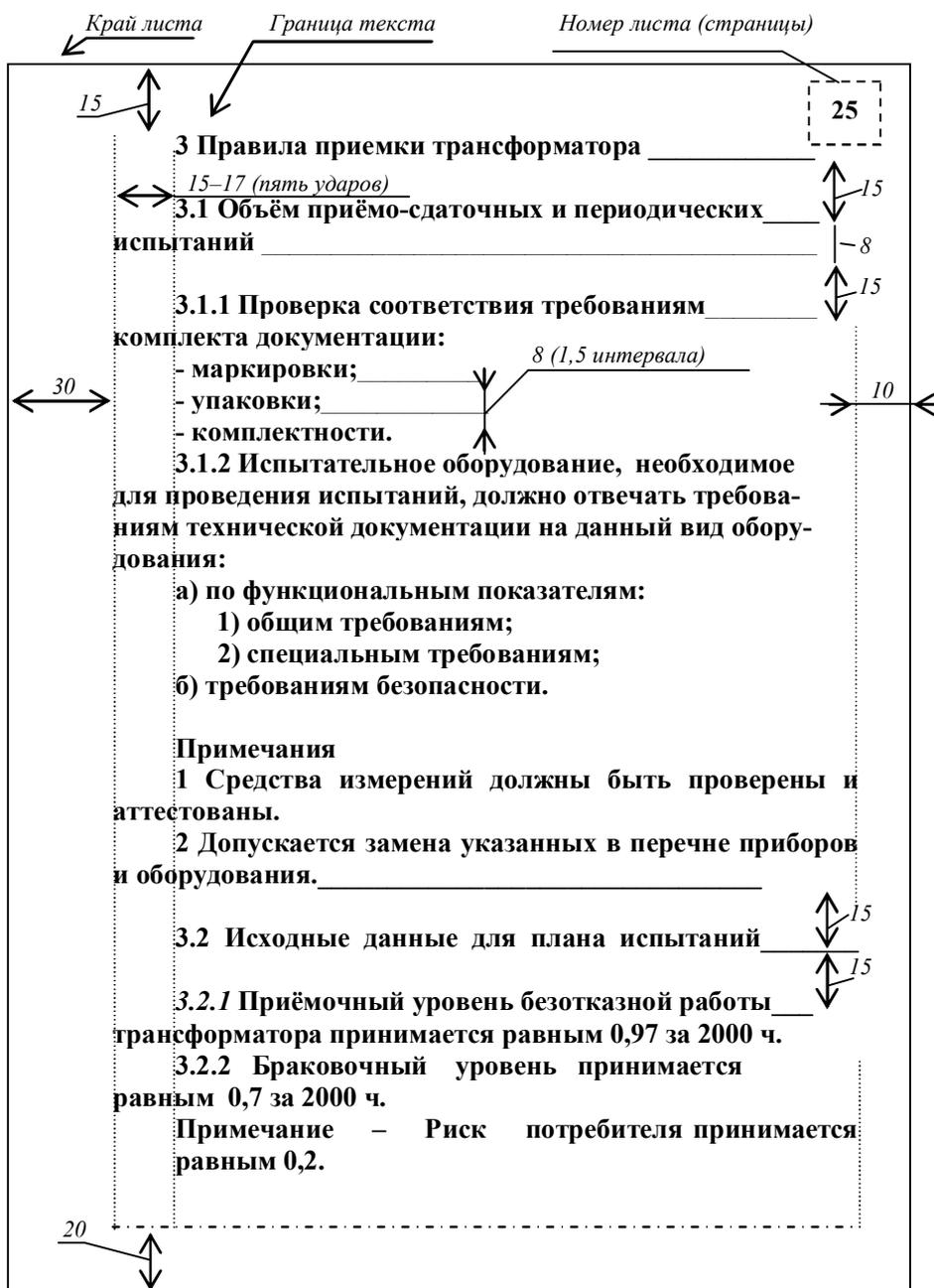
Задание принято к исполнению

« _____ » _____ 200 г.

Студент _____
подпись

ПРИЛОЖЕНИЕ В (справочное)

Пример оформления фрагмента ТД



ПРИЛОЖЕНИЕ Г (справочное)

Пример оформления реферата

РЕФЕРАТ

Выпускная бакалаврская работа 27 с., 14 рис., 2 табл., 22 источника, 3 прил., 3 листа графического материала.

РАСХОДОМЕРНЫЕ УСТАНОВКИ, ПОРШНЕВЫЕ РАСХОДОМЕРЫ, ТАХОМЕТРИЧЕСКИЕ РАСХОДОМЕРЫ, ИЗМЕРЕНИЕ, БОЛЬШИЕ РАСХОДЫ, ГАЗЫ.

Объектом исследования являются поршневые установки для точного воспроизведения и измерения больших расходов газа.

Цель работы — разработка методики метрологических исследований установок с применением радиоэлектронной аппаратуры.

В процессе работы проводились экспериментальные исследования отдельных составляющих и общей погрешности установок.

В результате исследования были модернизированы две поршневые реверсивные расходомерные установки первая на расходы до $0,07 \text{ м}^3/\text{с}$, вторая — до $0,33 \text{ м}^3/\text{с}$.

Достигнутые технико-эксплуатационные показатели: повышение точность измерения при больших значениях расхода газа.

Степень внедрения: вторая установка по разработанной методике аттестована как образцовая и используется в АО «Томскгаз».

Эффективность установок определяется их малым влиянием на ход измеряемых процессов.

Обе установки могут применяться для градуировки и поверки промышленных ротационных счетчиков газа, а также тахометрических расходомеров.

Работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Office Word 2003 и представлена на CD диске (в конверте на обороте обложки).

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

(справочное)

Пример оформления содержания

Содержание

1 Введение	5
2 Назначение и область применения усилителя.....	6
3 Расчеты.....	8
3.1 Электрический расчет схемы изделия.....	8
3.2 Расчет надежности.....	12
4 Ожидаемые технико-экономические показатели.....	30
5 Заключение.....	35
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

Технико-экономическое обоснование разработки усилителя