

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Государственное образовательное учреждение высшего профессионально-
го образования
“ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ”

Ю.А. Чурсин

ОСНОВЫ СХЕМОТЕХНИКИ

Учебное пособие
к курсовому проекту по дисциплине «ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И
ЭЛЕКТРОНИКА» для студентов специальности 150600
«Материаловедение и технология новых материалов»

Издательство ТПУ
Томск 2008

УДК

Чурсин Ю.А.

Основы схемотехники: Учебное пособие к курсовому проекту по дисциплине «ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА» для студентов специальности 150600 «Материаловедение и технология новых материалов». – Томск: Изд-во ТПУ, 2008 124 – с.

Учебное пособие состоит из шести разделов, в которых рассматриваются требования к структуре, объему и содержанию курсового проекта, порядок его выполнения и защиты, тематика курсовых проектов, требования к оформлению. Приведены типовые и распространенные схемы электронных устройств, дан пример выбора и расчёта.

Пособие подготовлено на кафедре «Электроника и автоматика физических установок», соответствует программе дисциплины «Электротехника и электроника» и предназначено для студентов специальности 150600 «Материаловедение и технология новых материалов», может быть использовано студентами других специальностей.

УДК

Рекомендовано к печати Редакционно-издательским
Советом Томского политехнического университета

Рецензент

Редакция автора

Учебное пособие обсуждено и утверждено на заседании кафедры «Электроника и автоматика физических установок» ТПУ.

Протокол № _____ от _____

© Томский политехнический университет, 2008

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 Структура и правила оформления курсового проекта, порядок работы	8
1.1 Цели и задачи курсового проектирования, требования к курсовому проекту	8
1.2 Тематика курсового проектирования	10
1.3 Объем и содержание курсового проекта	10
1.4 Содержание разделов пояснительной записки	13
1.5 Оформление курсового проекта	18
1.5.1 Требования к оформлению пояснительной записки	18
1.5.2 Графическая часть курсового проекта	26
1.6 Порядок работы над курсовым проектом	35
1.7 Защита курсового проекта	37
2 Анализ различных типов электронных устройств, обоснование выбора или разработка функциональной схемы устройства	39
3 Разработка принципиальной схемы устройства, расчет элементов и выходных параметров схемы	41
4 Основы схемотехники аналоговых, аналогово-цифровых и цифровых электронных устройств	44
4.1 Принципы построения аналоговых и импульсных электронных устройств	44
4.1.1 Аналоговые усилители	44
4.1.2 Интегральные операционные усилители	49
4.1.3 Аналоговые компараторы	55
4.1.4 Электронные генераторы	56
4.1.5 Триггер на транзисторах	62
4.1.6 Выпрямительные устройства	63
4.1.7 Стабилизаторы напряжения	74

4.2 Основные устройства цифровой электроники. Схемотехника цифровых устройств	76
4.2.1 Цифровой режим работы	76
4.2.2 Логические элементы	77
4.2.3 Комбинационные логические схемы.....	79
Сумматоры.....	80
4.2.4 Регистры.....	88
4.2.5 Счетчики и делители частоты	89
4.2.6 Микропроцессор: структурная схема и назначение ее элементов.....	93
4.3 Цифро-аналоговые и аналого-цифровые преобразователи.....	97
4.4 Таймеры	100
4.5 Релейные и электронные коммутаторы.....	101
5 Образец выполнения расчетной части курсового проекта. Расчет однополярного блока питания.....	105
Библиографический список.....	110
Список рекомендуемой литературы.....	112
Приложение А	118
Приложение Б.....	119
Приложение В	120
Приложение Г	121
Приложение Д	122

ВВЕДЕНИЕ

Развитие современной техники характеризуется непрерывным усложнением решаемых с помощью электроники задач, что требует постоянного совершенствования имеющихся и разработки новых схмотехнических решений. Эффективное использование известных и разработка новых схмотехнических решений на современной элементной базе позволяет решать поставленные задачи.

Элементная база современной электроники содержит огромное количество радиокомпонентов и устройств на их основе. Промышленность выпускает все электронные функциональные узлы, необходимые для создания устройств измерительной и вычислительной техники: интегральные усилители, коммутаторы, логические элементы, цифровые устройства и т.д. Типовые электронные узлы позволяют собрать нужный электронный блок без детального расчета отдельных каскадов. Необходимо только подобрать интегральные микросхемы, разработать схему их соединения и ввести обратные связи требуемого вида.

Наряду с традиционными компонентами, такими как транзисторы, диоды, электронные лампы, тиристоры и пр., в настоящее время стали широко применяться не только аналоговые и цифровые интегральные микросхемы различной степени сложности, но и микроконтроллеры, полупроводниковые модули и микросборки. Основными факторами, вызывающими необходимость применения новой элементной базы, являются повышение точностных характеристик и надежности аппаратуры, уменьшение ее стоимости, массы, габаритов и потребляемой мощности.

Изучая основы электротехники и электроники важно научиться практическим методам построения различного рода электронных устройств с использованием современной элементной базы. Для этого в курсе предусмотрен курсовой проект, выполнение которого позволяет более детально рассмотреть принципы построения и функционирования базовых схем аналоговой, импульсной и цифровой электроники, изучить методы анализа и синтеза электронных устройств с заданными статическими и динамическими характеристиками.

Настоящее пособие посвящено курсовому проектированию в области анализа и синтеза электронных устройств и написано в соответствии с программой курса «Электротехника и электроника» для студентов, обучающихся по специальности 150600 «Материаловедение и технология новых материалов». Пособие также может быть использовано студентами других специальностей, выполняющих курсовой проект по данной дисциплине.

Пособие представляет собой практическое руководство, в котором изложены наиболее важные, с точки зрения разработки курсового проекта, содержательные, организационные и оформительские особенности этапов работы.

Учебное пособие состоит из шести разделов и Приложений.

В первом разделе рассмотрены общие положения, касающиеся учебно-методических задач курсового проектирования, требований к курсовому проекту и этапов его выполнения.

Второй раздел – «Анализ различных типов электронных устройств, обоснование выбора или разработка функциональной схемы устройства» посвящен методике построения аналоговых и импульсных электронных устройств, цифровой электроники.

В третьем разделе - «Разработка принципиальной схемы устройства, расчет элементов и выходных параметров схемы» - рассматривается подход к расчету и построению аналоговых и цифровых электронных устройств, даны практические рекомендации.

В четвертом – показаны типовые схемы электронных устройств. Особое внимание уделяется принципам функционирования, выбора и практической реализации электронных устройств различного назначения, методам их анализа.

В пятом – предлагается список учебной литературы для самостоятельной работы по освоению курса «Электротехника и электроника», выполнения курсовых проектов, и дан список справочной литературы по элементам электроники и конструированию радиоэлектронной аппаратуры.

В шестом разделе приведен образец расчетной части курсового проекта.

Приложения содержат справочную информацию по оформлению пояснительной записки.

Автор выражает признательность коллективу кафедры «Электроника и автоматика физических установок» физико-технического факультета Томского политехнического университета за ценные рекомендации и замечания.

Автор

1 Структура и правила оформления курсового проекта, порядок работы

1.1 Цели и задачи курсового проектирования, требования к курсовому проекту

Курсовой проект – это самостоятельная учебная работа студента, которая содержит результаты поставленной задачи по отдельной учебной дисциплине или группе учебных дисциплин, оформленные в виде конструкторских, технологических, программных и других проектных документов. Роль руководителя курсового проекта при этом заключается в оценке принципиальных решений, методической помощи, контроле сроков и содержания проекта.

Выполнение курсового проекта имеет своей целью решение следующих задач:

- закрепление и более глубокое усвоение теоретических знаний и практических навыков в применении методов для решения конкретных задач;
- приобретение навыков и освоение методов анализа и синтеза, выбора и обоснования при проектировании заданных объектов;
- развитие самостоятельности при выборе методов достижения цели и творческой инициативы при решении конкретных задач;
- подготовка к выполнению выпускной квалификационной работы.

Общая формулировка требований к курсовому проекту может быть определена следующим образом:

1 Курсовой проект должен разрабатываться на конкретных практически применяемых в отрасли материалах, его тема должна быть обусловлена реальными техническими задачами проектирования и производства. Курсовой проект должен содержать конкретные разработки по созданию функциональных устройств и объектов.

2 Курсовой проект должен носить комплексный характер, т.е. в процессе его выполнения должны рассматриваться аналитические вопросы разного на-

правления, например научно-технические, производственно-технологические, организационные и другие стороны объекта проектирования.

3 Предложения и выводы курсового проекта должны иметь высокий уровень критериального обоснования выбора методов исследования, расчета и проектирования.

Курсовой проект по дисциплине «Электротехника и электроника» базируется на материале, изложенном как в данном курсе, так и в курсе «Общая физика».

Выполнение данного курсового проекта имеет своей целью закрепление теоретических знаний путем разработки структурной и принципиальной схемы, а также проведением расчетов различных электронных устройств, узлов и элементов, использования справочной литературы, ЕСКД и ГОСТов.

В курсовом проекте разрабатываются различные узлы и устройства, используемые в промышленной и бытовой аппаратуре, в частности, в блоках ЭВМ и периферийных устройствах.

Основной задачей курсового проекта является комплексное решение вопросов проектирования устройств, работающих в аналоговом или импульсном режиме, а также цифровых электронных устройств. При этом студенты самостоятельно решают следующий круг вопросов:

- анализ существующих структур аналогичных устройств, выявление их достоинств и недостатков, обзор литературных источников.
- выбор и обоснование структурной схемы проектируемого устройства;
- анализ существующих схмотехнических решений, выполняющих аналогичные заданию функции, выявление их достоинств и недостатков;
- выбор и обоснование принципиальной схемы устройства, удовлетворяющей техническому заданию;
- выбор элементной базы и расчет их параметров в установившемся режиме работы и переходных режимах;
- коррекция принципиальной схемы в случае получения неудовлетворительных параметров и повторный их расчет;

- разработка временных диаграмм работы проектируемого устройства в различных режимах.

1.2 Тематика курсового проектирования

В качестве проектируемых предлагаются модификации известных устройств. Кроме того, студенты могут по согласованию с преподавателем выполнять курсовой проект по реальной теме профильной кафедры или какого-либо предприятия. В этих случаях техническое задание (ТЗ) и объем работы определяются преподавателем.

В соответствии с программой дисциплины «Электротехника и электроника» приняты такие темы курсовых проектов:

- усилители электрических сигналов;
- генераторы синусоидального напряжения;
- генераторы прямоугольных импульсов;
- вторичные источники питания;
- преобразователи напряжения;
- релейные коммутаторы;
- компараторы токов;
- таймеры;
- делители частоты;
- и др.

1.3 Объем и содержание курсового проекта

Курсовой проект состоит из пояснительной записки и графической части и оформляется в соответствии с требованиями стандарта ТПУ СТО ТПУ 2.5.01-2006 [1].

Курсовой проект должен строго соответствовать указанному стандарту, а также государственным, отраслевым и ведомственным стандартам, действующим на момент выполнения проекта.

Пояснительная записка представляет собой текстовый документ (ТД), является основным содержательным документом, включающим в себя все этапы разработки выбранного варианта устройства, и базируется на ГОСТ 2.105 [2].

Общий объем пояснительной записки должен составлять 15-25 листов формата А4.

К графическому материалу следует относить чертежи и схемы в виде законченных самостоятельных конструкторских документов или рисунков. Графическая часть данного проекта должна обязательно содержать три отдельных листа формата А3 (420 x 397 мм) в составе ТД, а именно:

на первом листе приводится структурная или функциональная схема устройства, на втором листе изображается принципиальная схема с перечнем элементов, а на третьем - временные диаграммы напряжений и токов, характеризующие работу устройства в различных режимах. В случае, если для какой-либо схемы требуется немного места, то по согласованию с преподавателем лист формата А3 может быть заменен на лист формата А4.

Пояснительная записка должна обязательно включать следующие структурные элементы в указанной ниже последовательности (таблица 1):

- титульный лист;
- техническое задание (ТЗ);
- реферат *;
- содержание;
- определения **;
- обозначения и сокращения;
- введение;
- основную (расчетную) часть;
- заключение;
- список использованных источников;
- приложения.

* – этот элемент при подготовке курсового проекта опускается, **- допускается объединить с элементом «обозначения и сокращения».

Таблица 1 - Структура пояснительной записки курсового проекта

Наименование и объем разделов	Краткое содержание разделов
Титульный лист 1стр	Форма титульного листа и образец его заполнения приведены в Приложениях А, Б
Задание (ТЗ) 1-2 стр	Индивидуальное задание, содержащее требуемые для решения поставленных задач исходные данные. Форма ТЗ приведена в Приложении В
Содержание 1 стр	Оформление содержания – в соответствии с Приложением Г
Определения, обозначения и сокращения 1-2 стр	Определения, необходимые для уточнения или уставновления терминов, используемых в работе. Перечень обозначений и сокращений, применяемых для данного проекта
Введение 1-2 стр.	Постановка и формулирование целей и задач курсового проекта, область применения разрабатываемого устройства, его техническое и практическое значение
Основная часть: (См. ниже в таблице 1)	Содержание основной части проекта должно отвечать заданию (ТЗ) и требованиям, изложенным в настоящем учебном пособии Наименования разделов основной части отражают выполнение задания. Содержание и объем основной части студент и руководитель формируют совместно, исходя из требований настоящего учебного пособия кафедры, ведущей данный курсовой проект
Обзор литературных источников	Обзор существующих аналогичных разработок, анализ вариантов реализации и выбор прототипа разрабатываемого устройства.
Выбор и обоснование структурной или функциональной схемы устройства, 3-4 стр.	Обоснование и выбор новой структуры устройства, удовлетворяющей техническому заданию
Выбор и обоснование принципиальной схемы устройства или его час-	Теоретический анализ и выбор принципиальной схемы устройства. Определение возможных критериев выбора схемы

тей, 3-4 стр.	
Расчёт элементов устройства, выбор типов и номиналов отдельных элементов 5-8 стр.	Расчет элементов устройства с оценкой эффективности выбора каждого применяемого и выбором критерия эффективности для каждого
Расчет коэффициента полезного действия 3-4 стр.	Расчет коэффициента полезного действия. Оценка эффективности Разработка рекомендаций, обеспечивающих реализацию устройства
Заключение, 1-2 стр.	Краткое описание проделанной работы. Выводы и рекомендации по результатам выполнения курсового проекта
Список использованных источников	В соответствии с Приложением Д
Приложения	Справочная информация

1.4 Содержание разделов пояснительной записки

Содержание пояснительной записки курсового проекта имеет свою специфику, однако общие рекомендации, которые могут быть использованы независимо от полученного задания, сводятся к следующим моментам.

Введение

Введение кратко характеризует современное состояние электроники в целом и, в частности, в области разработки устройств по теме курсового проекта, назначение и область применения устройства. Студент должен сформулировать цели курсового проекта и основные задачи, решения которых предусматриваются в курсовом проекте. При необходимости там же указываются ограничения и условности представляемого проекта в связи с его учебным характером.

Основная часть

В основной части раскрывается содержание основных этапов разработки выбранного варианта электронного устройства.

Основная часть курсового проекта должна содержать следующие разделы:

- обзор литературных источников; анализ существующих решений;

- выбор и обоснование структурной или функциональной схемы устройства;
- выбор и обоснование принципиальной схемы этого устройства или его частей (по согласованию с преподавателем);
- расчёт элементов устройства, выбор типов и номиналов отдельных элементов;
- расчет коэффициента полезного действия.

В первом разделе основной части курсового проекта описывается две-три структуры аналогичных устройств, известных из технической, учебной или патентной литературы, приводится анализ их недостатков и достоинств. На основе анализа указываются пути устранения недостатков, и обосновывается построение новой структуры, удовлетворяющей техническому заданию. Возможно логическое обоснование построения структурной схемы без анализа известных структур.

Во втором разделе курсового проекта в соответствии с выбранной структурой приводятся две-три известные принципиальные схемы каждого отдельного узла или блока, анализируются их достоинства и недостатки и выбирается схема, предположительно удовлетворяющая техническому заданию.

Предназначение этого раздела – показать способность студента обоснованно обеспечивать процесс выбора схемы проектируемого устройства.

При теоретическом анализе известных принципиальных схем студенту рекомендуется показать свои знания всех возможных методов анализа и проектирования, применимых в основах конструирования радиоэлектронной аппаратуры.

При определении возможных критериев выбора схемы устройства рекомендуется в каждом случае выявить общие для них параметры исходя из ТЗ, т.е. построить модель устройства. Набор этих параметров и является набором возможных критериев выбора конкретной схемы.

При определении критериальных параметров не следует игнорировать то, что кроме специфических параметров подавляющее большинство электронных устройств обладают общими для всех параметрами: стоимостью, сроком реализации, трудоемкостью, точностью, доступностью элементной базы и т.п.

Расчёт элементов устройства (раздел 3) ведется на основе знаний соответствующих курсов лекций, технической и справочной литературы. Предметом расчетов должны быть все основные параметры элементов. Выбор элементов обосновывается этим расчётом, при этом выбор транзисторов и резисторов должен учитывать рассеиваемую на них мощность. Если расчет показывает, что схема не позволяет получить заданные параметры, производится коррекция схемы или выбирается новая. Лучше использовать стандартную программу моделирования аналоговых и импульсных устройств, такую, как пакет «Workbench». Однако можно использовать аналогичные по возможностям программы Micro-Cap, CircuitMaker, Tanner T-Spice, Or-Cad и другие.

С их помощью возможен подбор элементов схемы с целью улучшения её параметров. Результаты моделирования проводятся в конце третьего раздела отдельным параграфом.

Это наиболее сложная и ответственная часть курсового проекта. Именно здесь необходимо проявить умение решать на научной основе конкретные расчетные задачи проектирования устройств. Разработку этого раздела рекомендуется осуществлять одновременно с предыдущим разделом.

При выборе критерия эффективности для каждого элемента рекомендуется из набора параметров для типового элемента выбрать критериальный параметр на основании базовых критериев, вытекающих из ТЗ.

При оценке эффективности выбора каждого элемента рекомендуется воспользоваться выбранным критерием эффективности. Набор выбранных элементов рекомендуется взять за основу для разработки всей схемы устройства.

Четвертый раздел посвящается расчёту коэффициента полезного действия разработанного устройства и расчету источника питания. Для этого рассчитывается мощность, потребляемая от источников питания, и мощность, отда-

ваемая в нагрузку. Первая из них может быть определена либо по суммарному потребляемому току, либо по сумме мощностей, рассеиваемых в каждом элементе устройства.

В этом разделе курсового проекта студент должен показать свою способность переходить из процесса проектирования в процесс реализации проекта.

При разработке рекомендаций, обеспечивающих реализацию схемы проектируемого устройства, рекомендуется оценить риски осуществления возможных изменений и разработать пути минимизации этих рисков. При оценке эффективности изменений схемы рекомендуется воспользоваться базовыми критериями, прямо вытекающими из ТЗ.

Заключение

Дается краткий итог проведенного проектирования. В сжатом виде формулируются важнейшие выводы, к которым пришел студент в результате проделанной работы, приводится оценка полученных результатов, их сравнение с ТЗ. Возможно сравнение с устройством, выпускаемым промышленностью. Рекомендуется указать мероприятия, направленные на дальнейшее улучшение параметров разработанного устройства, а также привести методы и аппаратуру испытания и проверки устройства.

Список использованных источников

Список использованной литературы приводится после заключения и оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ 7.1 и ГОСТ 7.82 [3, 4]. Списку литературы должно предшествовать заглавие “Список использованных источников“. В список входит техническая и патентная литература, ГОСТы, периодические издания, справочники, учебные и методические пособия, использованные в ходе выполнения курсового проекта. В список включают все источники, на которые имеются ссылки в пояснительной записке. Источники в списке располагают и нумеруют в порядке их упоминания в тексте записки арабскими цифрами без точки. Примеры библиографических описаний источников приведены в приложении Д.

Приложения

В приложения включается спецификация и вспомогательный материал: использованные вольтамперные характеристики (ВАХ) полупроводниковых приборов, таблицы зависимостей и графики большого формата, необходимые для расчётов, алгоритмы и программы машинных расчётов, иллюстрации вспомогательного характера.

Приложения располагаются в порядке появления ссылок на них в тексте основных разделов пояснительной записки.

Приложения могут быть обязательными и информационными, а последние могут быть рекомендуемого или справочного характера.

Приложения оформляют как продолжение данного документа на последующих его листах или выпускают в виде самостоятельного документа (например, спецификацию или перечень элементов). Приложения должны иметь общую с остальной частью документа сквозную нумерацию страниц.

Каждое приложение начинают с новой страницы с указанием наверху по середине страницы слова “Приложение” и его обозначения, а под ним в скобках для обязательного приложения пишут слово “Обязательное”, а для информационного - “Рекомендуемое” или “Справочное”. Приложение должно иметь заголовков, записываемый симметрично относительно текста с прописной буквы отдельной строчкой.

Обозначением приложений служат буквы русского алфавита, начиная с А, за исключением букв Е, З, Й, О, Ч, Ь, Ы, Ъ, например “Приложение А”. Допускается обозначение приложений буквами латинского алфавита, за исключением букв *I* и *O*.

Текст каждого приложения может быть разделен на разделы, подразделы, пункты, подпункты, которые нумеруют в пределах каждого приложения. Перед номером ставится буквенное обозначение этого приложения.

Все приложения должны быть перечислены в содержании пояснительной записки с указанием их обозначений и заголовков. При наличии только одного приложения, оно обозначается “Приложение А”. Рисунки, таблицы, формулы,

помещаемые в приложении, нумеруют арабскими цифрами в пределах каждого приложения, например: “рисунок Б.5.”.

Приложения, как правило, выполняют на листах формата А4. Допускается оформлять приложения на листах формата А3, А4х3, А4х4, А2 и А1 по ГОСТ 2.301[1,5].

1.5 Оформление курсового проекта

1.5.1 Требования к оформлению пояснительной записки

Общие положения

Пояснительная записка должна быть выполнена на белой бумаге формата А4 (210х297 мм) с одной стороны листа с применением печатающих или графических устройств вывода ЭВМ - через 1,5 интервала, высота букв и цифр не менее 1,8 мм, цвет – черный. Рекомендуется использовать гарнитуру шрифта Times New Roman-14, допускается Arial-12. При печати текстового материала следует использовать двухстороннее выравнивание.

Размеры полей: левое - не менее 30 мм, правое - не менее 10 мм, верхнее и нижнее - не менее 20 мм. Абзацный отступ выполняется одинаковым по всему тексту документа и равен пяти знакам (15-17 мм).

Иллюстрации, таблицы и распечатки с компьютера допускается выполнять на листах формата А3, при этом они должны быть сложены на формат А4.

Буквы греческого и иных алфавитов, формулы, отдельные условные знаки допускается вписывать черными чернилами, пастой или тушью. При этом плотность вписанного текста должна быть приближена к плотности остального текста. Если чертежи, схемы, диаграммы, рисунки и/или другой графический материал невозможно выполнить машинным способом, для него используют черную тушь или пасту.

Опечатки, описки, графические неточности, обнаруженные в тексте записки, допускается исправлять аккуратным заклеиванием или закрашивание белой краской и нанесением на том же месте и тем же способом исправленного тек-

ста. Повреждение листов записки, помарки и следы не полностью удаленного текста не допускаются [1].

Построение пояснительной записки

Вся пояснительная записка состоит из структурных элементов, приведенных в таблице 1. Текст основной части документа разделяют на разделы, подразделы, пункты. Пункты, при необходимости, могут делиться на подпункты. При делении текста на пункты и подпункты необходимо, чтобы каждый пункт содержал законченную информацию.

Разделы, подразделы, пункты и подпункты нумеруют арабскими цифрами и записывают с абзацного отступа. Разделы нумеруют сквозной нумерацией в пределах текста основной части. Подразделы нумеруют в пределах каждого раздела. Номер подраздела включает номер раздела и порядковый номер подраздела, разделенные точкой.

Если текст не имеет подразделов, то нумерация пунктов должна быть в пределах каждого раздела, и номер пункта должен состоять из номеров раздела и пункта, разделенных точкой.

Пункты должны иметь нумерацию в пределах каждого раздела или подраздела. Точка в конце номеров разделов, подразделов, пунктов, подпунктов не ставится.

Разделы и подразделы могут состоять из одного или нескольких пунктов. Если раздел состоит из одного подраздела, то подраздел не нумеруется. Отдельные разделы могут не иметь подразделов и состоять непосредственно из пунктов. Если раздел или подраздел имеет только один пункт, или пункт имеет только один подпункт, то нумеровать его не следует. Разделы и подразделы должны иметь заголовки. Пункты, как правило, заголовков не имеют. Заголовки должны четко и кратко отражать содержание разделов, подразделов.

Заголовки разделов, подразделов и пунктов следует печатать с абзацного отступа, с прописной буквы без точки в конце, не подчеркивая.

В начале заголовка помещают номер соответствующего раздела, подраздела, либо пункта. Если заголовок состоит из двух предложений, их разделяют точкой. Переносы слов в заголовках не допускаются.

Расстояние между заголовком и текстом должно быть равно удвоенному межстрочному расстоянию; между заголовком раздела и подраздела – одному межстрочному расстоянию.

Каждый раздел пояснительной записки рекомендуется начинать с нового листа [1].

Изложение текста пояснительной записки

Полное наименование разработанного устройства на титульном листе, в основной надписи и при первом упоминании в тексте должно быть одинаковым. Наименования, используемые в тексте и на иллюстрациях, должны быть одинаковыми.

В тексте пояснительной записки должны применяться научно-технические термины, обозначения и определения, установленные соответствующими стандартами, а при их отсутствии - общепринятые в научно-технической литературе.

В тексте пояснительной записки не допускается:

- применять обороты разговорной речи, техницизмы, профессионализмы;
- применять для одного и того же понятия различные научно-технические термины, близкие по смыслу (синонимы), а также иностранные слова и термины при наличии равнозначных слов и терминов в русском языке;
- применять произвольные словообразования;
- сокращать обозначения единиц физических величин, если они употребляются без цифр, за исключением единиц физических величин в таблицах и в расшифровках буквенных обозначений, входящих в формулы и рисунки.

В тексте, за исключением формул, таблиц и рисунков, не допускается:

- применять знак минус (-) перед отрицательными значениями величин; следует писать слово “минус“;

- применять без числовых значений математические знаки, например, $>$ (больше), $<$ (меньше), $=$ (равно), \geq (больше или равно), \leq (меньше или равно), \neq (не равно), а также знаки № (номер), % (процент).

Условные буквенные обозначения или знаки должны соответствовать принятым в действующем законодательстве и государственных стандартах.

В тексте документа перед значением параметра дают его пояснение, например, “Сопротивление нагрузки R_n ”.

При применении условных обозначений, не установленных действующими стандартами, их следует пояснять в тексте или в перечне обозначений.

В пояснительной записке следует применять стандартные единицы физических величин, их наименования и обозначения в соответствии с ГОСТ 8.417[10]. При этом применение разных систем обозначения физических величин не допускается.

В тексте числовые значения величин с обозначением единиц физических величин и единиц счета пишутся цифрами, а числа без обозначения единиц физических величин и единиц счета от единицы до девяти - словами.

Примеры:

1 В качестве нагрузочного резистора берут четыре резистора сопротивлением 200 Ом, соединенных параллельно.

2 Для испытаний отобрать 50 транзисторов.

Если в тексте проводится ряд числовых значений, выраженных в одной и той же единице физической величины, то ее указывают только после последнего числового значения, например 5,6; 6,8; 7,5 Ом. Если в тексте приводят диапазон числовых значений, выраженных в одной и той же единице физической величины, то обозначение этой единицы указывается после последнего числового значения диапазона.

Примеры:

1 От 6 до 9 А.

2 От минус 40 до плюс 60°C.

Недопустимо переносить на разные строки или страницы числовое значение и единицу физической величины, кроме таковых, помещенных в таблицах.

Дробные числа в тексте приводят в виде десятичных дробей. При невозможности выражения чисел в этом виде, допускается их записывать в виде простой дроби в одну строчку через косую черту, например, 5/32.

В формулах в качестве символов следует применять обозначения, установленные государственными стандартами. Пояснения символов и числовых коэффициентов, входящих в формулу, если они не пояснены ранее в тексте, должны быть приведены непосредственно под формулой. Пояснения каждого символа следует давать с новой строки в той последовательности, в которой символы приведены в формуле. Первая строка пояснения должна начинаться с начала строки со слова “где“ без двоеточия после него.

Пример. Ток покоя коллектора $I_{кп}$, А, вычисляют по формуле

$$I_{кп} = \frac{E_k - U_{кэ.п}}{R_k}, \quad (1)$$

где E_k - напряжение источника питания, В; $U_{кэ.п}$ - напряжение на транзисторе в режиме покоя, В; R_k - сопротивление коллекторного резистора, Ом.

Формулы, следующие одна за другой и не разделенные текстом, разделяют запятой.

Числовые значения символов подставляют в том же порядке, что и символы в аналитической формуле.

Переносить формулы на следующую строку допускается только на знаках выполняемых операций, причем знак в начале следующей строки повторяют. При переносе формулы на знаке умножения применяют знак “х”. Применение машинописных и рукописных символов в одной формуле не допускается. Формулы должны нумероваться сквозной нумерацией арабскими цифрами, которые

записывают на уровне формулы в круглых скобках справа в конце строки. Ссылки на формулы дают также в скобках, например, согласно формуле (1).

Формулы приложений нумеруются с добавлением перед цифрой обозначения приложения, разделенных точкой, например, формула (В.1). Допускается нумерация формул в пределах раздела. В этом случае номер формулы состоит из номера раздела и порядкового номера формулы, разделенных точкой, например, (3.1) [1].

Оформление рисунков

Количество рисунков должно быть достаточным для пояснения излагаемого текста. Рисунки располагают либо в тексте как можно ближе к их описанию, либо в конце текста. Иллюстрации должны быть выполнены в соответствии с требованиями ЕСКД и должны быть пронумерованы арабскими цифрами сквозной нумерацией. Если рисунок один, то он обозначается “Рисунок 1”.

Допускается нумеровать иллюстрации в пределах раздела. В этом случае номер рисунка состоит из номера раздела и порядкового номера иллюстрации, разделенных точкой, например - Рисунок 1.1.

Нумерация иллюстраций приложений состоит из обозначения приложения и порядкового номера иллюстрации, например - Рисунок А.3.

При ссылках на иллюстрации следует писать “...в соответствии с рисунком 4” или “... в соответствии с рисунком 1.4” в зависимости от принятого вида нумерации.

Иллюстрации, при необходимости, могут иметь наименование и пояснительные данные (подрисуночный текст). Пояснительные данные располагают ниже рисунка, а слово “Рисунок” и наименование помещают после подрисуночного текста, и располагают в середине строки следующим образом: “Рисунок 1 - Схема входного каскада”.

На приводимых в пояснительной записке электрических схемах около каждого элемента указывают его позиционное обозначение (в соответствии с ГОСТ 2.710) [5] , его порядковый номер в пределах данного вида элемента и,

при необходимости, номинальное значение величины или типа полупроводникового прибора.

Построение таблиц

Таблицы в пояснительной записке нумеруются арабскими цифрами сквозной нумерацией. Таблицы каждого приложения нумеруются отдельной нумерацией арабскими цифрами с добавлением перед цифрой обозначения приложения и точки. Допускается нумеровать таблицы в пределах раздела с указанием перед номером таблицы номера раздела и разделением их точкой.

Название таблицы, при его наличии, должно отражать ее содержание, быть точным и кратким. Название таблицы помещают над таблицей слева без точки в конце, например, Таблица 1 - Параметры транзистора КТ315А.

При переносе части таблицы на ту же или другие страницы название помещают только над первой частью таблицы, над другими частями пишут “Продолжение таблицы...”, “Окончание таблицы...”.

На все таблицы пояснительной записки в ее тексте должны быть приведены ссылки, например, “Параметры транзистора КТ315А приведены в таблице 1”.

В общем случае таблицы оформляют в соответствии с рисунком 1.

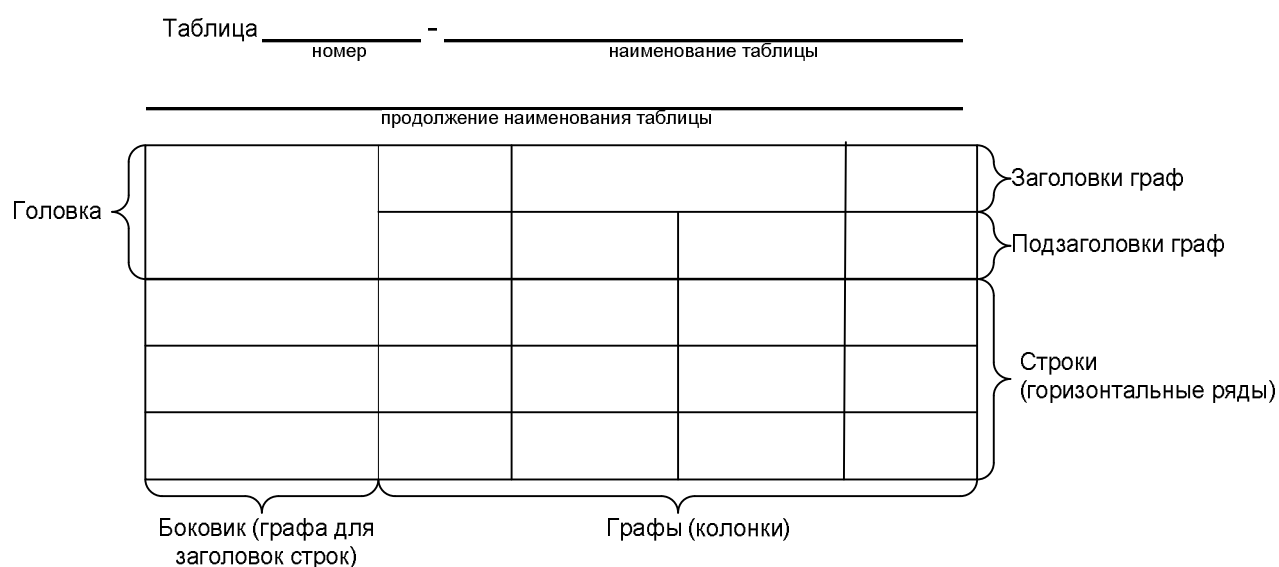


Рисунок 1

Заголовки граф и строк пишутся с прописной буквы, а подзаголовки граф - со строчной буквы, если они составляют одно предложение с заголовком, или с прописной буквы, если они имеют самостоятельное значение. В конце заголовков и подзаголовков таблиц точки не ставят. Заголовки и подзаголовки граф указывают в единственном числе.

Таблицы слева, справа и снизу, как правило, ограничивают линиями. Разделять заголовки и подзаголовки боковика и граф диагональными линиями не допускается. Головка таблицы должна быть отделена линией от остальной части таблицы, в которой допускается разграничительные линии не проводить, если их отсутствие не затрудняет пользование таблицей.

Таблицу помещают под текстом с первой ссылкой на неё, или на следующей странице, а при необходимости, в приложении. Допускается помещать таблицу вдоль длинной стороны листа.

Допускается делить таблицу на части, помещая одну часть под другой или рядом, при этом в каждой части таблицы повторяют её головку и боковик. При делении таблицы на части допускается её головку или боковик заменять соответственно номером графа и строк. При этом нумеруют арабскими цифрами грады и (или) строки первой таблицы. При размещении частей таблицы рядом друг с другом, рекомендуется их разделять двойной линией толщиной 2S.

Если в конце страницы таблица прерывается и ее продолжение приводится на следующей странице, в первой части нижнюю горизонтальную линию, ограничивающую таблицу, не проводят.

Графу “Номер по порядку” в таблицу включать не допускается. Нумерация граф таблицы арабскими цифрами допускается в случаях, когда есть ссылка на них, при делении таблицы на части, при переносе части таблицы на следующую страницу.

При необходимости нумерация показателей, параметров или других данных порядковые номера следует указывать в первой графе (боковике) таблицы непосредственно перед их наименованием. Перед числовыми значениями величин и обозначением типов, марок и т.п. порядковые номера не проставляют.

Заменять кавычками повторяющиеся в таблице цифры, математические знаки, знаки процента и номера, обозначение типов и марок и.д. не допускается.

Если в таблице приводится интервал изменения параметра, между его крайними значениями ставится тире.

Числовое значение показателя проставляют на уровне последней строки наименования показателя, а значение показателя, приведенное в виде текста, записывают на уровне первой строки наименования показателя [1].

1.5.2 Графическая часть курсового проекта

Основные термины и понятия

Элемент схемы – составная часть схемы, которая выполняет определенную функцию в изделии и не может быть разделена на части, имеющие самостоятельное значение (резистор, конденсатор, транзистор, трансформатор и т.п.).

Устройство – совокупность элементов, представляющая единую конструкцию (блок, плата, шкаф, разделительная панель и т.п.). Устройство может не иметь в изделии определенного функционального назначения.

Функциональная группа – совокупность элементов, выполняющих в изделии определенную функцию и не объединенных в единую конструкцию.

Функциональная часть – элемент. Устройство, функциональная группа.

Функциональная цепь – линия, канал, тракт определенного назначения (канал звука, видеоканал, тракт СВЧ и т.п.).

Линия взаимосвязи – отрезок линии, указывающей на наличие связи между функциональными частями изделия.

Установка – условное наименование объекта в энергетических сооружениях, на который выпускается схема, например, главные цепи.

Схема структурная – схема, определяющая основные функциональные части изделия, их назначение и взаимосвязи. Схемы структурные разрабатывают при проектировании изделий (установок) на стадиях, предшествующих разра-

ботке схем других типов, и пользуются ими для общего ознакомления с изделием (установкой). Код структурной схемы в шифре – цифра 1.

Схема функциональная – схема, разъясняющая определенные процессы, протекающие в отдельных функциональных цепях изделия (установки) или в изделии (установке) в целом. Схемами функциональными пользуются для изучения принципов работы изделий (установок), а также при их наладке, контроле и ремонте. Код функциональной схемы – цифра 2.

Схема принципиальная (полная) – схема, определяющая полный состав элементов и связей между ними и, как правило, дающая детальное представление о принципах работы изделия (установки). Схемами принципиальными пользуются для изучения принципов работы изделий (установок), а также при их наладке, контроле и ремонте. Они служат основанием для разработки других конструкторских документов, например, схем соединений (монтажных) и чертежей. Код принципиальной схемы – цифра 3.

Схема соединений (монтажная) – схема, показывающая соединения составных частей изделия (установки) и определяющая провода, жгуты или кабели, которыми осуществляются эти соединения, а также места их присоединений и ввода (разъемы, платы, зажимы и т.п.). Схемами соединений (монтажными) пользуются при разработке других конструкторских документов, в первую очередь, чертежей, определяющих прокладку и способы крепления проводов, жгутов или кабелей в изделии (установке), а также для осуществления присоединений и при контроле, эксплуатации и ремонте изделий (установок). Код схемы соединений – цифра 4 [1].

Правила выполнения структурных схем

На структурной схеме изображают все основные функциональные части изделия (элементы, устройства и функциональные группы) и основные взаимосвязи между ними. Функциональные части на схеме изображают в виде прямоугольника или условных графических обозначений.

Графическое построение схемы должно давать наиболее наглядное представление о последовательности взаимодействия функциональных частей в изделии. На линиях взаимосвязей рекомендуется стрелками обозначать направление хода процессов, происходящих в изделии.

На схеме должны быть указаны наименования каждой функциональной части изделия, если для ее обозначения применен прямоугольник. На схеме допускается указывать тип элемента (устройства) и (или) обозначение документа (основной конструкторский документ, государственный стандарт, технические условия), на основании которого этот элемент (устройство) применен. При изображении функциональных частей в виде прямоугольников наименования, типы и обозначения рекомендуется вписывать внутрь прямоугольников.

При большом количестве функциональных частей допускается взамен наименований, типов и обозначений проставлять порядковые номера справа от изображения или над ним, как правило, сверху вниз в направлении слева направо. В этом случае наименования, типы и обозначения указывают в таблице, помещаемой под схемой или справа от нее.

Допускается помещать на схеме поясняющие надписи, диаграммы или таблицы, определяющие последовательность процессов во времени, а также указывать параметры в характерных точках (величины токов, напряжений, формы и величины импульсов, математические зависимости и т.п.).

Правила выполнения функциональных схем

На функциональной схеме изображают функциональные части изделия (элементы, устройства и функциональные группы), участвующие в процессе, иллюстрируемой схемой, и связи между этими частями. Функциональные части и связи между ними на схеме изображают в виде условных графических обозначений, установленных в стандартах Единой системы конструкторской документации. Отдельные функциональные части допускается изображать в виде прямоугольников.

Графическое построение схемы должно давать наиболее наглядное представление о последовательности процессов, иллюстрируемых схемой.

На схеме должны быть указаны:

- для каждой функциональной группы – обозначение, присвоенное ей на принципиальной схеме, и (или) ее наименование; если функциональная группа изображена в виде условного графического обозначения, то ее наименование не указывают;

- для каждого устройства, изображенного в виде прямоугольника, - позиционное обозначение, присвоенное ему на принципиальной схеме, его наименование и тип и (или) обозначение документа (основной конструкторский документ, государственный стандарт, технические условия), на основании которого это устройство применено;

- для каждого устройства, изображенного в виде условного графического обозначения, - позиционное обозначение, присвоенное ему на принципиальной схеме, и (или) его тип.

Обозначение документа, на основании которого применено устройство, и тип элемента допускается не указывать. Наименования, типы и обозначения рекомендуется вписывать в прямоугольники.

На схеме рекомендуется указывать технические характеристики функциональных частей (рядом с графическими обозначениями или на свободном поле схемы).

На схеме помещают поясняющие надписи, диаграммы или таблицы, определяющие последовательность процессов во времени, а также указывают параметры в характерных точках (величины токов, напряжений, формы и величины импульсов, математические зависимости и т.п.).

Правила выполнения принципиальных схем

Оформление электрических схем должно соответствовать требованиям стандартов от ГОСТ 2.701-84 [6] до ГОСТ 2.797-81[7].

Перечень элементов для электрических схем следует выполнять в соответствии с ГОСТ 2.702[8].

На принципиальной схеме изображают все электрические элементы или устройства, необходимые для осуществления и контроля в изделии заданных электрических процессов, все электрические связи между ними, а также электрические элементы (соединители, зажимы, разъемы и т.п.), которыми заканчиваются входные и выходные цепи.

На схеме допускается изображать соединительные и монтажные элементы, устанавливаемые в изделии по конструктивным соображениям.

Схемы выполняют для изделий, находящихся в отключенном положении. В технически обоснованных случаях допускается отдельные элементы схемы изображать в выбранном рабочем положении с указанием на поле схемы режима, для которого изображены эти элементы.

Элементы на схеме изображают в виде условных графических обозначений (УГО), установленных в стандартах ЕСКД.

Элементы, используемые в изделии частично, приводятся на схеме не полностью, ограничиваясь изображением только используемых частей. Элементы и устройства изображают на схемах совмещенным или разнесенным способом. При совмещенном способе составные части элементов или устройств изображают на схеме в непосредственной близости друг к другу. При разнесенном способе составные части элементов и устройств или отдельные элементы устройств изображают на схеме в разных местах таким образом, чтобы отдельные цепи изделия были изображены наиболее наглядно. Разнесенным способом допускается изображать все и отдельные элементы или устройства. При выполнении схем рекомендуется пользоваться строчным способом. При этом УГО элементов или их составных частей, входящих в одну цепь, изображают последовательно друг за другом по прямой, а отдельные цепи – рядом, образуя параллельные (горизонтальные или вертикальные) строки. При выполнении схемы строчным способом допускается нумеровать строки арабскими цифрами.

При изображении элементов разнесенным способом допускается на свободном поле схемы помещать УГО элементов, выполненные совмещенным способом. При этом элементы, используемые в изделии частично, изображают полностью с указанием использованных и неиспользованных частей (например, все контакты реле). Выводы неиспользованных частей изображают короче, чем выводы использованных частей.

Для упрощения схемы допускается несколько электрически не связанных линий связи сливать в линию групповой связи, но при подходе к контактам (элементам) каждую линию связи изображают отдельной линией. При слиянии линий связи каждую линию помечают в месте слияния и ответвления цифрами, буквами, сочетанием букв и цифр или обозначениями по ГОСТ 2.709-89 [9].

Линии электрической связи, сливаемые в линию групповой связи, как правило, не должны иметь разветвлений, т.е. всякий условный номер должен встречаться на линии групповой связи два раза. При необходимости разветвлений их количество указывают после порядкового номера линии через дробную черту в соответствии с рисунком 2.

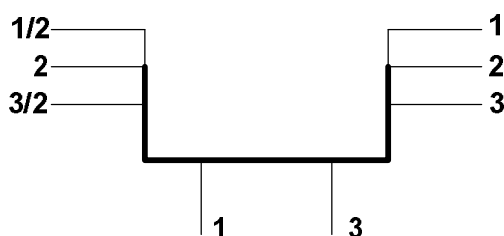


Рисунок 2 - Пример линии групповой связи

Каждый элемент и устройство, имеющее самостоятельную принципиальную схему и рассматриваемое как элемент, входящее в изделие, и изображенные на схеме, должны иметь позиционное обозначение в соответствии с ГОСТ 2.710 – 81[5] . Позиционные обозначения элементам (устройствам) присваиваются в пределах изделия (установки). Порядковые номера элементам (устройствам) следует присваивать, начиная с единицы, в пределах группы элементов (устройств), которым на схеме присвоено одинаковое буквенное позиционное обозначение, например, R_1, R_2, R_3 и т.д., C_1, C_2, C_3 и т.д. Порядковые номера

должны быть присвоены в соответствии с последовательностью расположения элементов и устройств на схеме сверху вниз в направлении слева направо.

Позиционные обозначения проставляют на схеме рядом с УГО элементов и устройств с правой стороны или над ними.

На схеме изделия, в состав которого входят устройства, не имеющие самостоятельных принципиальных схем, допускается позиционные обозначения элементам присваивать в пределах каждого устройства. Если в состав изделия входит несколько одинаковых устройств, позиционные обозначения элементам присваиваются в пределах этих устройств по правилам, указанным выше. Элементам, не входящим в устройства, позиционные обозначения присваивают, начиная с единицы, по тем же правилам.

На схеме изделия, в состав которого входят функциональные группы, позиционные обозначения присваивают вначале элементам, не входящим в функциональные группы, а затем элементам, входящим в функциональные группы.

При наличии в изделии нескольких одинаковых функциональных групп позиционные обозначения элементов, присвоенные в одной из этих групп, следует повторять во всех последующих группах. Обозначение функциональной группы, присвоенное в соответствии с ГОСТ 2.710 – 81[5], указывают сверху или справа от изображения функциональной группы.

При изображении на схеме элемента или устройства разнесенным способом позиционное обозначение элемента или устройства проставляют около каждой составной части в соответствии с рисунком 3.

При изображении отдельных элементов устройств в разных местах в состав позиционных обозначений этих элементов должно быть включено позиционное обозначение устройства, в которое они входят, например, =A3-C5 – конденсатор C5, входящий в устройство A3.

При разнесенном способе изображения функциональной группы (при необходимости и при совмещенном способе) в состав позиционных обозначений элементов, входящих в эту группу, должно быть включено обозначение функ-

циональной группы, например, $\neq T1-C5$ – конденсатор $C5$, входящий в функциональную группу $T1$.

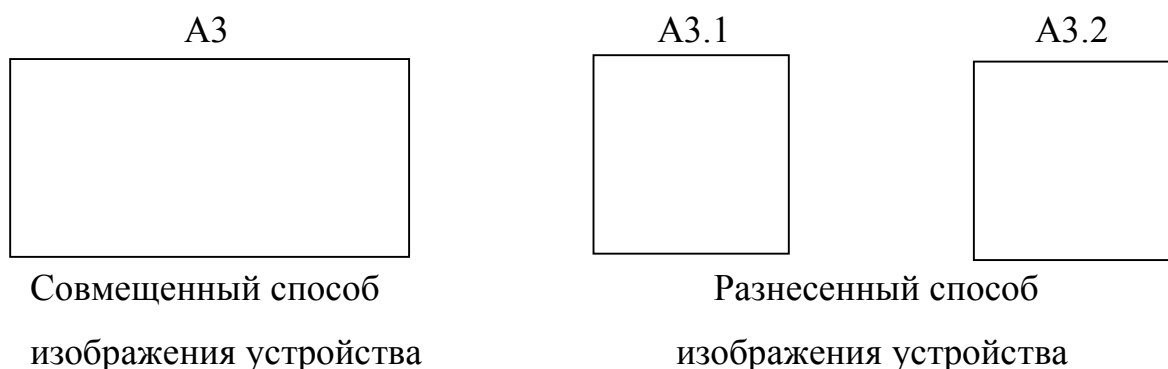


Рисунок 3 - Способы изображения устройства

При однолинейном изображении около одного УГО, заменяющего несколько условных графических изображений одинаковых элементов, указывают позиционные обозначения всех этих элементов.

На принципиальной схеме должны быть однозначно определены все элементы, входящие в состав изделия и изображенные на схеме. Данные об элементах должны быть записаны в перечень элементов. При этом связь перечня с УГО элементов должна осуществляться через позиционные обозначения.

При сложном вхождении, например, когда в устройство, не имеющее самостоятельной принципиальной схемы, входит одно или несколько устройств, имеющих самостоятельные принципиальные схемы, и (или) функциональных групп, или если в функциональную группу входит одно или несколько устройств и т.д., то в перечне элементов в графе «Наименование» перед наименованием устройств, не имеющих самостоятельных принципиальных схем, и функциональных групп допускается проставлять порядковые номера (т.е. подобно обозначению разделов, подразделов и т.п.) в пределах всей схемы изделия. Если на схеме в позиционное обозначение элемента включено позиционное обозначение устройства, или обозначение функциональной группы, то в перечне элементов в графе «Поз. обозначение» указывают позиционное обо-

значение элемента без позиционного обозначения устройства или обозначения функциональной группы.

При указании около УГО номиналов резисторов и конденсаторов допускается применять упрощенный способ обозначения единиц измерений:

для резисторов:

– от 0 до 999 Ом – без указания единиц измерения;

– от $1 \cdot 10^3$ до $999 \cdot 10^3$ Ом – в килоомах с обозначением единицы измерения строчной буквой к;

– от $1 \cdot 10^6$ до $999 \cdot 10^6$ Ом – в мегаомах с обозначением единицы измерения прописной буквой М;

– свыше 10^9 Ом – в гигаомах с обозначением единицы измерения прописной буквой Г;

для конденсаторов:

– от 0 до $9999 \cdot 10^{-12}$ Ф – в пикофарадах без указания единицы измерения;

– от $1 \cdot 10^{-8}$ до $9999 \cdot 10^{-6}$ Ф – в микрофарадах с обозначением единицы измерения строчными буквами мк.

Шифровка курсового проекта

Согласно ЕСКД текстовые документы и чертежи должны иметь шифр, в который закладываются сведения о производителе работ, содержании и назначении документа.

Шифры в курсовом проекте следует присваивать в соответствии с ЕСКД и требованиями, приведенными в разделе 8 стандартов ТПУ [1].

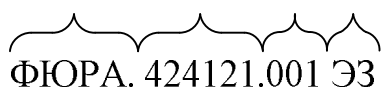

ФЮРА.424121.001 ЭЗ

Рисунок 4 - Пример шифровки курсового проекта.

Пример шифровки технической документации приведен на рисунке 4. Шифр включает в указанной последовательности следующее:

- четырехзначный буквенный код организации-разработчика, назначаемый по кодификатору. Для ТПУ Госстандартом утвержден код ФЮРА;

- шестизначный код классификационной характеристики разрабатываемого изделия, составленный в соответствии с классификатором ЕСКД;

- порядковый регистрационный номер. Для изделий его присваивают по классификационной характеристике от 001 до 999 в пределах кода организации - разработчика. Чертежам деталей присваивают порядковые номера позиций по чертежам общего вида. Если деталь имеет позицию 15, то порядковый регистрационный номер ее - 015;

Буквенные обозначения, проставляемые после цифровой части шифра, означают:

- ПЗ – пояснительная записка;
- СБ – сборочный чертеж;
- ТЧ – теоретический чертеж;
- Э1 – схема электрическая структурная;
- Э2 – схема электрическая функциональная;
- Э3 – схема электрическая принципиальная;
- ПЭ3 – перечень элементов к схеме Э3.

1.6 Порядок работы над курсовым проектом

В ходе курсового проектирования должны быть выполнены следующие этапы работы:

- закрепление студента за руководителем курсового проектирования;
- выдача задания на курсовое проектирование;
- выполнение первой части курсового проекта, выбор и согласование модели проектируемого устройства;
- составление примерной структуры и плана остальных частей курсового проекта;
- выполнение курсового проекта, его оформление и представление его на кафедру;

- допуск курсового проекта к защите;
- подготовка курсового проекта к защите;
- защита курсового проекта.

Сроки выполнения этапов курсового проектирования регламентируются графиком учебного процесса, рабочего учебного плана и устанавливаются кафедрой, ведущей курсовой проект.

Рекомендуется следующий график работы над курсовым проектом:

Задание на курсовой проект выдается согласно расписанию занятий на первой неделе интервала проектирования преподавателем кафедры, где выполняется данный проект.

При выдаче задания со студентами проводится вводная беседа о целях и задачах курсового проекта, порядке выполнения и защиты, указываются пособия и технические материалы, которые студенты могут использовать при проектировании.

Студенты, желающие выполнить проект по тематике предприятия, должны явиться на вводную беседу, имея на руках четко сформулированное техническое задание, в противном случае преподаватель имеет право выдать им свое задание, чтобы не задерживать начало работы над проектом.

К первому контрольному сроку (вторая неделя проектирования) студентами должно быть выполнено около 25% проекта (проработка литературы, составление структурной схемы).

Ко второму контрольному сроку (четвертая неделя) завершается составление принципиальной схемы, энергетический расчет всего устройства, что соответствует примерно 50% проекта.

К третьему контрольному сроку (шестая неделя) должны быть выполнены все расчетные работы, выбор типов и номиналов отдельных элементов, что соответствует примерно 75% проекта.

К четвертому контрольному сроку (седьмая неделя) должна быть написана пояснительная записка и выполнены графические работы. В ходе работы над

проектом студенты должны посетить не менее четырех консультаций в контрольные сроки по расписанию, согласованному с преподавателем.

Выполненный и оформленный проект сдается на проверку преподавателю за 3-5 дней до защиты. После исправления замечаний проект подписывается преподавателем и может быть допущен к защите.

1.7 Защита курсового проекта

Защита курсовых проектов проводится комиссией из 2 - 3 преподавателей. На защите могут присутствовать все желающие студенты проектирующей группы.

Защита курсовых проектов состоит из краткого доклада студента (8 - 10 минут) и в ответах на вопросы членов комиссии.

При защите курсового проекта студент в своем докладе должен раскрыть основные вопросы:

- назначение, область применения и технико-экономическая характеристика объекта проектирования; анализ существующих разработок;
- методика расчета и иные методы проектирования;
- полученные результаты и степень новизны принятых технических решений.

Вопросы, задаваемые студенту членами комиссии, не должны выходить за рамки тематики курсового проекта и тех конкретных задач, которые решались студентом в процессе курсового проектирования.

Оценка курсового проекта осуществляется согласно действующему Положению о курсовых экзаменах и зачетах в высших учебных заведениях - «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно» в соответствии с критериями оценок, утвержденными кафедрой и записывается в ведомость, представляемую в учебную часть (деканат) университета. Копия ведомости хранится в делах кафедры (до одного года). При положительном результате защиты соответствующая оценка записывается в зачетную книжку за подписью

руководителя проекта, а также проставляется на обложке пояснительной записки за подписью председателя комиссии.

Защита курсовых проектов должна быть завершена не позднее, чем за 1-2 недели до окончания семестра.

2 Анализ различных типов электронных устройств, обоснование выбора или разработка функциональной схемы устройства

Выполнение курсового проекта необходимо начинать с аналитической части, которая включает проведение комплексного анализа ТЗ на курсовое проектирование, информационный поиск и разработку укрупненных вариантов основных схемотехнических решений.

Разработка вариантов схемотехнических решений объекта проектирования должна сопровождаться **техническим анализом** (экономический анализ не входит в рамки курсового проекта) **и обоснованием каждого варианта** с целью получения оснований для выбора оптимального из них, который и будет подробно рассматриваться в дальнейшем (рассчитываться и вновь анализироваться).

Анализ ТЗ включает в себя **качественный и количественный анализ** технических требований к объекту проектирования и позволяет:

- конкретизировать функциональное назначение предложенного для разработки электронного устройства;
- уточнить количество физических входов и выходов, электрические параметры входных и выходных сигналов;
- уточнить количество и параметры органов управления и/или отображения информации;
- уточнить функции преобразования информации.

Одной из наиболее важных и значимых составных частей анализа задания является **изучение требований стандартов и нормативных документов**, на которые имеются ссылки в задании.

В результате анализа у студента должно сформироваться комплексное представление о проектируемом объекте, которое выражается в обобщенном описании особенностей функционирования разрабатываемого устройства.

Информационный поиск производится с целью выявления аналогов объекта проектирования, его узлов и элементов, прогрессивных принципов построения устройства и его частей.

Информационный поиск производится по учебной литературе, периодическим изданиям, учебным пособиям.

По результатам поиска делается вывод о принципиальной реализуемости объекта проектирования и его техническом уровне, систематизируется информация, необходимая для принятия основных схмотехнических решений при проектировании.

Рекомендуется предварительно получить консультацию руководителя, изучить реальные типы устройств, имеющихся в лабораториях кафедры.

Зная основные признаки создаваемых электронных устройств, и учитывая отличительные, можно найти несколько путей для решения поставленной задачи. Желательно собрать полный перечень недостатков и достоинств, которыми обладает известное устройство. Собранный материал полезен для технического описания и конкретного пояснения физической сущности работы проектируемого электронного устройства.

В итоге осуществляется выбор наилучшего варианта схемы.

3 Разработка принципиальной схемы устройства, расчет элементов и выходных параметров схемы

На основе выбранной структурной схемы электронного устройства проводится разработка принципиальной схемы. Последовательно подбираются и описываются элементы. Расчет элементов и выходных параметров устройства проводится с использованием известных методов, приведенных в технической литературе.

Алгоритмы расчета различных устройств помещены в разделе 4 настоящего пособия.

Перед выполнением расчетов формулируют задачи поэтапного расчета принципиальной схемы устройства, выбирают и обосновывают методы их решения, приводят необходимые в каждом этапе исходные данные.

Вычисления проводятся на основании формул, приведенных в литературе.

В результате этого должны быть обеспечены функционирование и надежность работы проектируемого электронного устройства. При этом должен использоваться обширный справочный материал по элементной базе и другие материалы.

Для того чтобы узнать, удовлетворяет ли разработанная схема заданным техническим требованиям, вовсе не обязательно ее собирать в виде макета. Особенно это касается силовых схем с дорогими комплектующими, а также интегральных микросхем, требующих больших затрат на подготовку производства. Подобрать параметры элементов или оптимизировать режимы работы можно практически беззатратным способом - применив математический анализ электронных схем. При этом требуется решать ряд задач, связанных с созданием и реализацией на компьютере математических моделей электронных устройств самого разнообразного назначения [11].

Для проведения компьютерного моделирования в курсовом проекте следует использовать такие программы как Electronics Workbench, MathCAD, OrCAD и др. При этом использовать:

- Модели простейших элементов электронных схем

- Матричные методы описания электронных схем
- Методы формирования уравнений цепи
- Численные методы решения уравнений
- Характеристики цепи и их параметры
- Расчет характеристик линейных цепей

Анализ схем с помощью программы Electronics Workbench

Приведем некоторые рекомендации [11], которые следует использовать при анализе проектируемых электронных схем.

Используем программу **Electronics Workbench** [11]: после составления схемы и подключения к схеме измерительных приборов для начала анализа цепи достаточно нажать кнопку Activate/Stop. Рассчитанные значения токов, напряжений или сопротивлений показываются на экранах измерительных приборов. Аналогичный порядок работы имеет место в реальной лаборатории с реальными измерительными приборами.

На втором этапе моделирования можно изменить параметры элементов, удалить или добавить радиоэлементы, подключить приборы к другим контрольным точкам схемы и т.п. После таких изменений, как правило, требуется снова активизировать цепь, нажимая кнопку Activate/Stop. Отметим, что при использовании переменных резисторов, конденсаторов или катушек изменение процессов в цепи можно наблюдать, как правило, не прекращая моделирование. Однако при этом увеличивается погрешность получаемых результатов. Поэтому для получения надежных результатов расчет рекомендуется повторить при фиксированных параметрах, заново нажимая кнопку Activate/Stop.

В зависимости от типа подключенного прибора программа Electronics Workbench автоматически настраивается на выполнение следующих основных видов анализа:

- DC Operation Point – расчет режима по постоянному току, при включении мультиметра, амперметров и вольтметров для измерения постоянных токов и напряжений;

- AC Frequency – расчет частотных характеристик, при включении измерителя АЧХ и ФЧХ, а также мультиметра, амперметров и вольтметров для измерения гармонических токов и напряжений;

- Transient – расчет переходных процессов, при использовании осциллографа.

В программе Electronics Workbench предусмотрен другой (обычный для большинства других программ моделирования) порядок анализа схемы – выбор режимов анализа с помощью меню Analysis. Указанные выше режимы анализа электрической цепи можно получить, выбирая соответствующие команды меню Analysis. Настройка основных параметров в диалоговых окнах указанных видов анализа аналогична настройке параметров измерительных приборов.

Отметим, что в программе Electronics Workbench по умолчанию установлен слишком большой шаг численного интегрирования. Для повышения точности и корректности результатов анализа переходных процессов, особенно в узкополосных цепях, в цепях с нелинейными элементами и в других сложных цепях рекомендуется выбрать пункт меню Analysis\ Analysis Option\ Transient и установить следующие значения параметров программы Electronics Workbench: ITL4=100...1000 и TRTOL= 1...0, 1.

Кроме указанных трех основных видов анализа, с помощью меню Analysis можно дополнительно провести и другие, реже используемые виды анализа, такие как, например, анализ спектров сигналов (Fourier), расчет чувствительности и разброса характеристик схемы при изменении параметров компонентов (Sensitivity, Worst Case и Monte Carlo) и др.

Анализ вольтамперных характеристик полупроводниковых приборов удобно проводить с использованием вариации параметров (пункт меню Analysis\Parameter Sweep).

Например, варьируя напряжение на элементе и измеряя ток через него, можно получить вольтамперную характеристику нелинейного элемента.

4 Основы схемотехники аналоговых, аналогово-цифровых и цифровых электронных устройств

Ниже приведем основные положения схемотехники электронных устройств на основе обзора и анализа литературных источников.

Приведенные здесь базовые сведения по принципам работы, построению, расчету и применению аналоговых и цифровых электронных устройств помогут целенаправленно осуществлять синтез и расчет принципиальных схем различного рода электронной аппаратуры, проводить выбор компонентов и структур этих схем.

4.1 Принципы построения аналоговых и импульсных электронных устройств

4.1.1 Аналоговые усилители

Усилитель - устройство, предназначенное для усиления входных электрических сигналов по напряжению, току или мощности за счет преобразования энергии источника питания в энергию выходного сигнала [11,12]. На рисунке 5 показана структурная схема усилительного устройства. Усилитель включает в себя нелинейный элемент, управляемый входным электрическим сигналом $U_{вх}$, источник питания $U_{п}$ и нагрузочное устройство с сопротивлением $Z_{н}$.

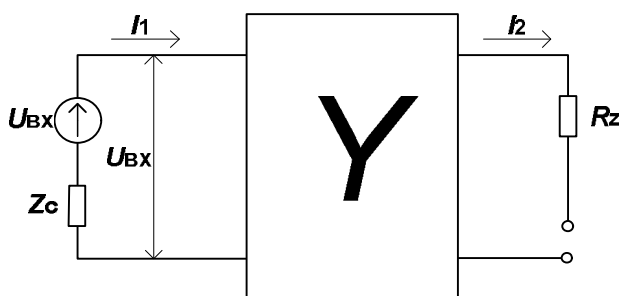


Рисунок 5 - Структурная схема усилительного устройства

Входной сигнал $U_{вх}$ управляет параметрами нелинейного элемента. В качестве нелинейного элемента используются электровакуумные приборы, транзисторы и другие элементы.

Следует уяснить, что входное усиливаемое напряжение не попадает в выходную цепь. В выходной цепи только воспроизводится входной сигнал. Выходной сигнал отличается от входного только величиной.

Усилитель может иметь один или два входа и один или два выхода. Один из входов обычно является прямым, а второй – инверсным.

Классификация усилителей производится по многим признакам:

- **по виду усиливаемого сигнала** они делятся на усилители гармонических и импульсных сигналов;

- **по типу усиливаемого сигнала** усилители подразделяют на усилители напряжения, тока и мощности;

- **по диапазону усиливаемых частот** различают усилители постоянного тока и усилители переменного тока. В свою очередь усилители переменного тока в зависимости от диапазона усиливаемых частот делятся на усилители низкой частоты (УНЧ), высокой частоты (УВЧ), широкополосные и избирательные усилители. Последние обеспечивают усиление в узком диапазоне частот;

- **по виду нагрузки** различают усилители с активной, с активно-индуктивной и емкостной нагрузкой [12].

Усилители могут быть однокаскадными и многокаскадными с гальванической, емкостной и индуктивной связью.

В зависимости от режима работы можно выделить два класса усилителей: усилители с линейным режимом работы и усилители с нелинейным режимом работы.

Основными характеристиками любого усилителя являются [12]:

амплитудная характеристика, которая представляет собой зависимость: $U_{\text{вых}} = \varphi(U_{\text{вх}})$. Для линейных усилителей это прямая, проходящая через начало координат;

амплитудно-частотная характеристика (АЧХ): $U_{\text{вых}} = \varphi(f)$ отражает зависимость амплитуды выходного сигнала от частоты. Реально в усилителях из-

за наличия паразитных емкостей и индуктивностей различные частоты усиливаются неодинаково;

фазово-частотная характеристика: ($U_{\text{ВЫХ}} = \lambda(f)$) отражает зависимость угла сдвига фазы выходного сигнала по отношению к фазе входного сигнала;

переходная характеристика – отражает реакцию усилителя на единичный скачок входного напряжения. Переходная характеристика определяется по ее изображению на экране осциллографа при подаче на вход усилителя входного сигнала прямоугольной формы. Процесс изменения выходного сигнала может быть колебательным (кривая 1) либо апериодичным (кривая 2).

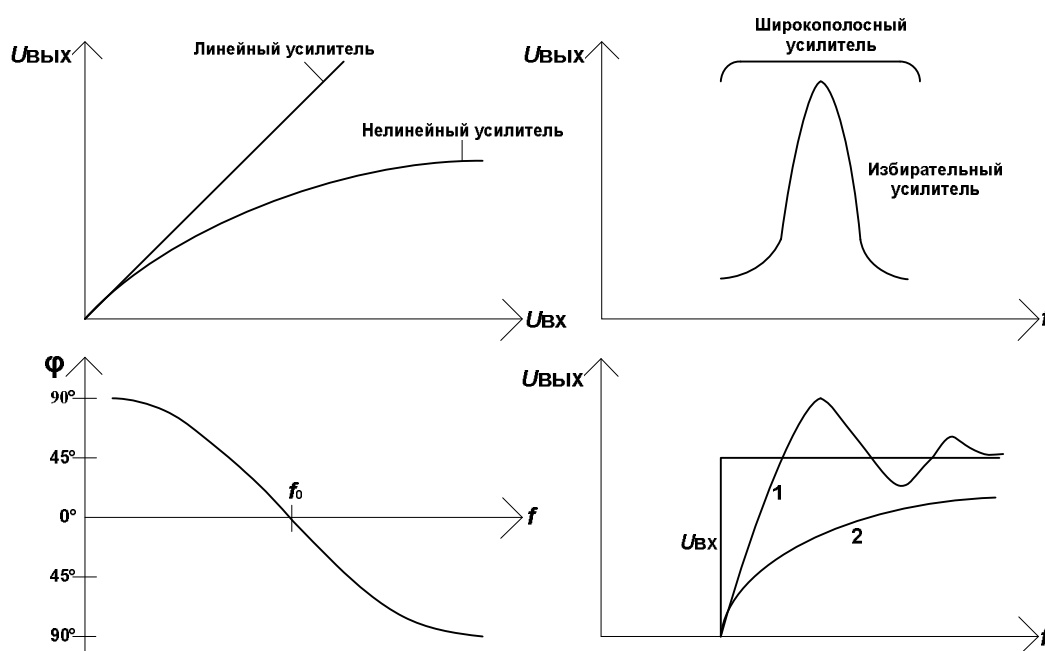


Рисунок 6 - Характеристики усилителя: амплитудная (а), амплитудно-частотная (б), фазово-частотная (в) и переходная (г)

Важнейшими параметрами усилителя являются [12]:

коэффициенты усиления по току K_I , напряжению K_U и мощности K_P :

$$K_I = \frac{I_{\text{ВЫХ}}}{I_{\text{ВХ}}}; K_U = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}}; K_P = \frac{P_{\text{ВЫХ}}}{P_{\text{ВХ}}};$$

где $I_{\text{ВХ}}, I_{\text{ВЫХ}}, U_{\text{ВХ}}, U_{\text{ВЫХ}}, P_{\text{ВХ}}, P_{\text{ВЫХ}}$ – действующие значения токов напряжений и мощностей на входах и выходах усилителя;

полоса пропускания усилителя $2\Delta f$ - характеризует частотные свойства усилителя (измеряется на уровне 0,707 от K_{max} , $2\Delta f = f_{\text{в}} - f_{\text{н}}$ [12]);

выходная мощность усилителя – это мощность, которая выделяется на нагрузке.

Схемотехника усилителей на транзисторах отличается многообразием и сложностью. Однако в этом многообразии можно выделить **три основные схемы**, на основе которых строятся более сложные схемы. При использовании биполярных транзисторов различают: усилитель с общим эмиттером (ОЭ), усилитель с общей базой (ОБ) и усилитель с общим коллектором (ОК). По переменному напряжению в этих схемах с корпусом усилителя соединяется, соответственно, эмиттер, база или коллектор транзистора [11].

При построении усилительных устройств наибольшее распространение получили каскады на биполярных и полевых транзисторах, включенных с ОЭ или с ОК.

Для получения высоких коэффициентов усиления в состав усилителя входит обычно несколько каскадов. Первым каскадом как правило является предварительный усилитель, затем идут промежуточный усилитель и усилитель мощности. Предварительный усилитель обеспечивает связь источника сигнала с усилителем. Он должен иметь большое входное сопротивление для того, чтобы не ослаблять входной сигнал. Промежуточный усилитель обеспечивает основное усиление, а усилитель мощности обеспечивает заданную выходную мощность.

Основное назначение каскадов предварительного усиления – как можно большее усиление по напряжению. Эти каскады работают в режиме малого сигнала, т.е. в линейном режиме. К ним также предъявляются требования обеспечения равномерной амплитудно-частотной характеристики и требуемого по техническому заданию динамического диапазона. Промежуточный усилитель обеспечивает на своем выходе сигнал, как по напряжению, так и по мощности достаточный для возбуждения транзисторов усилителя мощности. Усилитель мощности выделяет в нагрузку полезную мощность благодаря огромному усилению по мощности $K_p = n(10 \dots 1000)$. Вносимые усилителем мощности и отчас-

ти предварительным усилителем искажения могут быть уменьшены, если усилитель охватить петлей общей отрицательной обратной связи (ООС) [12].

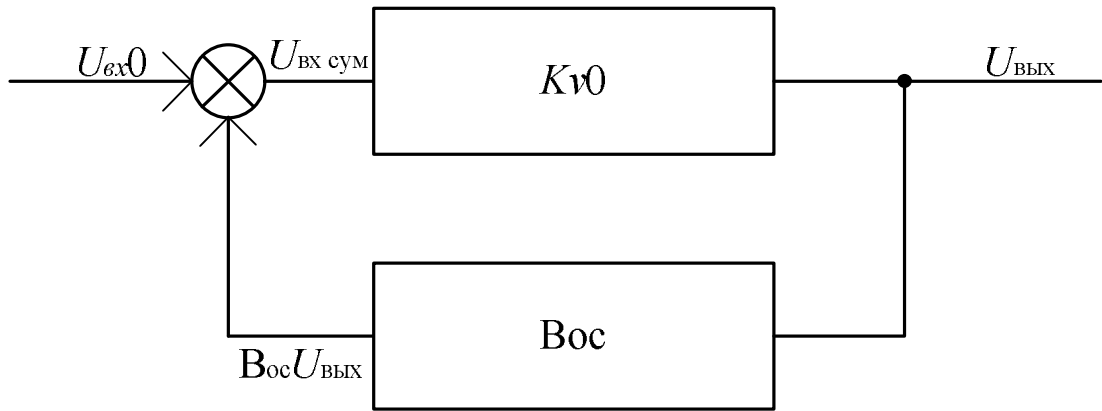


Рисунок 7 - Структурная схема усилителя с обратной связью

Коэффициент усиления многокаскадного усилителя равен произведению коэффициентов усиления всех каскадов, входящих в него.

Связь отдельных каскадов друг с другом осуществляется с помощью конденсаторов, трансформаторов или непосредственно. В соответствии с этим различают многокаскадные усилители с емкостной, индуктивной или гальванической связями. Ниже приведен пример многоканального усилителя с емкостными связями (рисунок 8) [12].

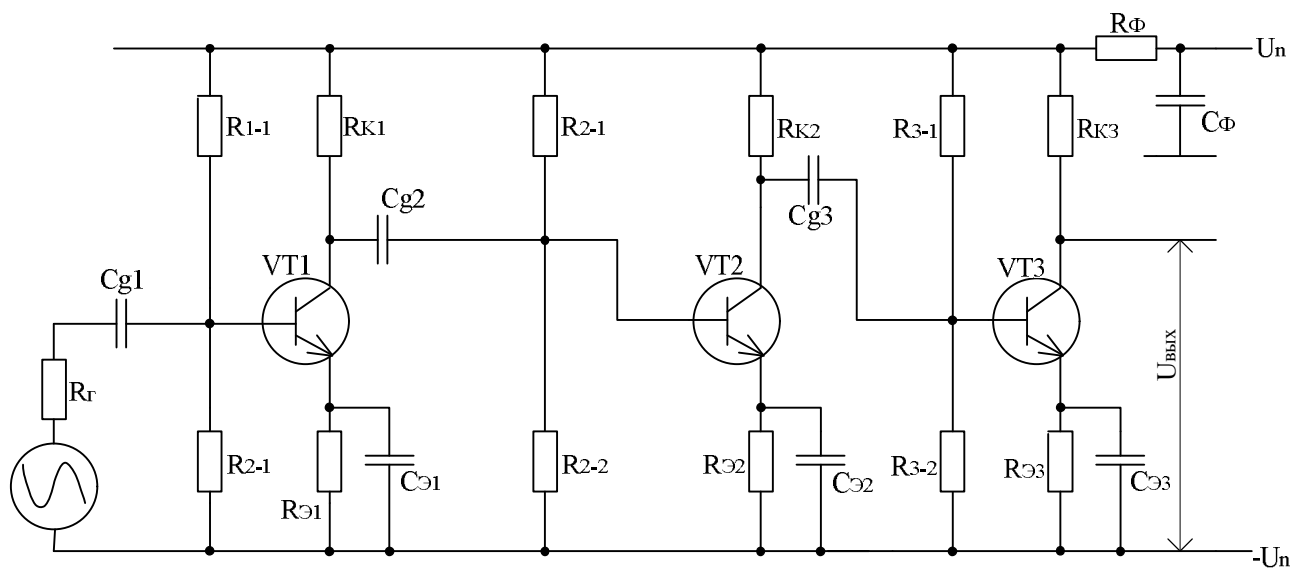


Рисунок 8 - Схема многокаскадного усилителя с емкостными связями

Усилитель состоит из трех каскадов. Разделительные емкости C_g не пропускают постоянную составляющую коллекторного напряжения в базовую цепь последующего каскада. Элементы R_3, C_3 стабилизируют работу каскада в широком интервале температур.

Расчет многокаскадного усилителя производят, начиная с окончного каскада к первому. Оконечный каскад рассчитывается по обеспечению требуемой мощности или тока (напряжения). Количество каскадов определяется общим коэффициентом усиления. В многокаскадных усилителях широко используются обратные связи, с помощью которых достигаются требуемые технические параметры.

Последовательность проектирования и расчета усилительных устройств широко освещена в специальной литературе [13 - 16]. В указанных работах даются основные характеристики, принципы работы и расчет усилителей; рассматриваются вопросы применения усилительных устройств в радиоэлектронике и технике связи; приведен материал об устройствах с обратной связью и усилителях на микросхемах.

4.1.2 Интегральные операционные усилители

Операционный усилитель (ОУ) представляет собой усилитель постоянного и переменного тока с большим коэффициентом усиления и глубокой отрицательной обратной связью. За счёт наличия глубокой отрицательной обратной связи коэффициент усиления, свойства и параметры ОУ зависят только от параметров и структуры цепи обратной связи и структуры входной цепи.

Широкое распространение операционных усилителей связано с их универсальностью (возможность построения на их основе различных электронных устройств, причём, как аналоговых, так и импульсных), широким диапазоном частот (усиление сигналов постоянного и переменного токов), независимость основных параметров от внешних дестабилизирующих факторов (изменение температуры, напряжения питания и др.).

Присутствие в названии слова “операционные” объясняется возможностью выполнения данными усилителями ряда математических операций суммирования, вычитания, дифференцирования, интегрирования и др.

В основном используются интегральные усилители (ИОУ) [17], что объясняется их более высокой технологичностью, надёжностью, дешевизной и меньшими массогабаритными характеристиками по сравнению с усилителями на дискретных элементах.

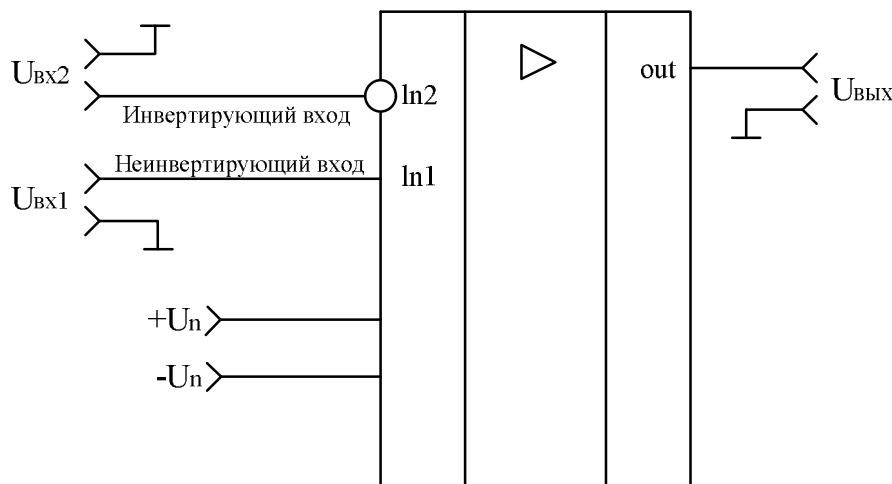


Рисунок 9 - Условно-графическое обозначение и основные выводы ИОУ

В литературе, особенно зарубежной, часто используют условные графические обозначения, не соответствующие стандарту, принятому у нас (рисунок 9) [18].

На рисунке 9 изображено условно-графическое обозначение и основные выводы ИОУ. Усилитель имеет два входа (входная цепь ОУ построена на дифференциальном усилителе) и один выход. При подаче входного сигнала на неинвертирующий вход, выходной сигнал той же полярности (фазы) - рис 10 а.

При использовании инвертирующего входа фаза выходного сигнала будет сдвинута на 180° по отношению к фазе входного сигнала (полярность изменяется на противоположную) - рисунок 10 б.

В случае использования обоих входов выходное напряжение пропорционально разности входных напряжений:

$$U_{\text{вых}} = K(U_{\text{вх1}} - U_{\text{вх2}}),$$

где K – коэффициент усиления.

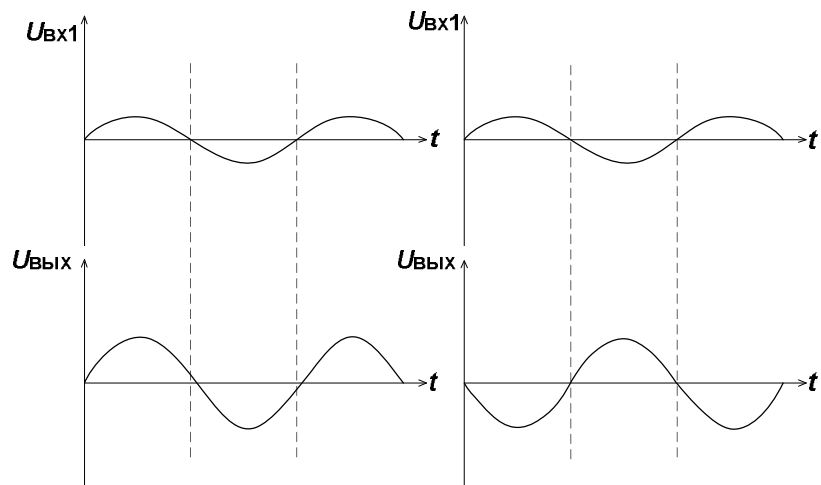


Рисунок 10 - Временные диаграммы ОУ

- а) $U_{ВХ}$ подано на неинвертирующий вход б) $U_{ВХ}$ подано на инвертирующий вход

Питание ОУ чаще всего осуществляется от двухполярного источника питания, обычно +15В -15В.

Рассмотрим работу ИОУ на основании амплитудной (передаточной) характеристики – рисунок 11.

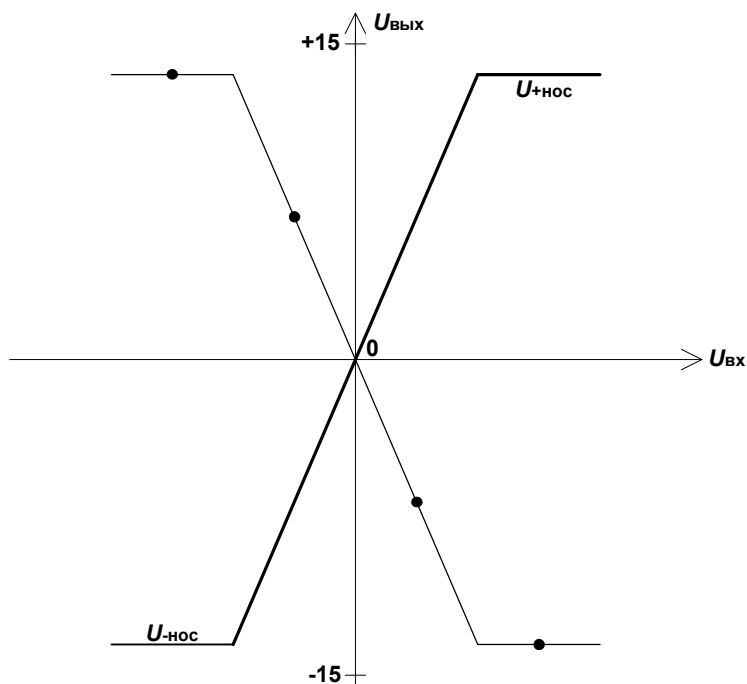


Рисунок 11 - Амплитудная характеристика ИОУ

На характеристике можно выделить линейный или рабочий участок, на котором с увеличением входного напряжения пропорционально увеличивается выходное, и два участка насыщения $U_{+ \text{нас}}$ и $U_{- \text{нас}}$. При определённом значении входного напряжения $U_{\text{вхmax}}$ усилитель переходит в режим насыщения, при котором выходное напряжение принимает максимальное значение (при значении $U_{\text{п}} = 15\text{В}$ примерно $U_{\text{нас}} = 13\text{В}$) и остаётся неизменным при дальнейшем увеличении входного сигнала.

Переход усилителя в насыщения приводит к большим нелинейным искажениям (рисунок 12), поэтому данный режим используется только в импульсных устройствах на ОУ.

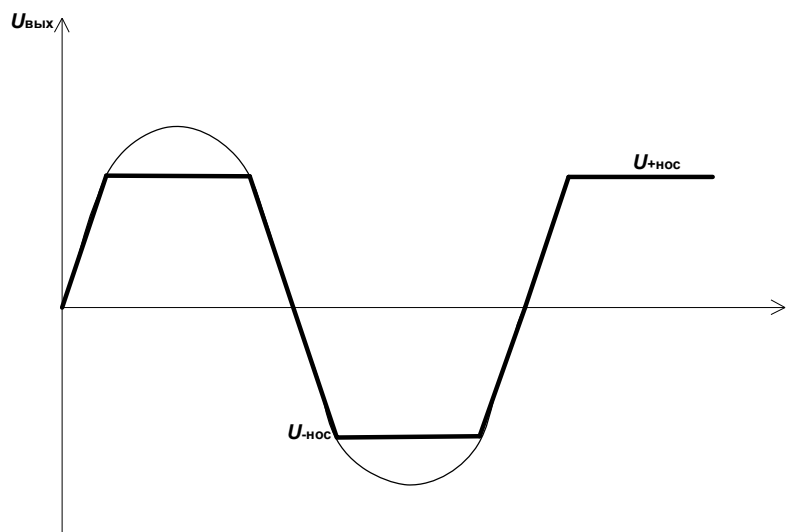


Рисунок 12 - Временные диаграммы ОУ в режиме насыщения

При наличии обратной связи на входе усилителя действует входное напряжение и напряжение обратной связи, и коэффициент усиления находится по формуле:

$$K = U_{\text{вых}} - U_y,$$

где $U_y = U_{\text{вх}} - U_{\text{ос}}$,

Отрицательная ОС – напряжение обратной связи имеет противоположную полярность (фазу) по отношению к входному сигналу, и поэтому имеет знак “минус”. Т.о. отрицательная обратная связь (ООС) уменьшает коэффици-

ент усиления, но при этом повышает стабильность работы усилителя, уменьшает нелинейные искажения и расширяет полосу пропускания.

При глубокой ООС коэффициент усиления зависит только от коэффициента обратной связи, что позволяет избавиться от влияния нестабильности параметров полупроводникового материала, на котором выполняются усилители.

Неинвертирующий усилитель - (рисунок 13) не переворачивает фазу входного сигнала. Напряжение ООС через делитель на резисторах R_1 и R_2 подаётся на инвертирующий вход. Коэффициент усиления определяется по формуле:

$$U_y = U_{\text{мввых}} / U_{\text{мвх}} = 1 + R_2 / R_1,$$

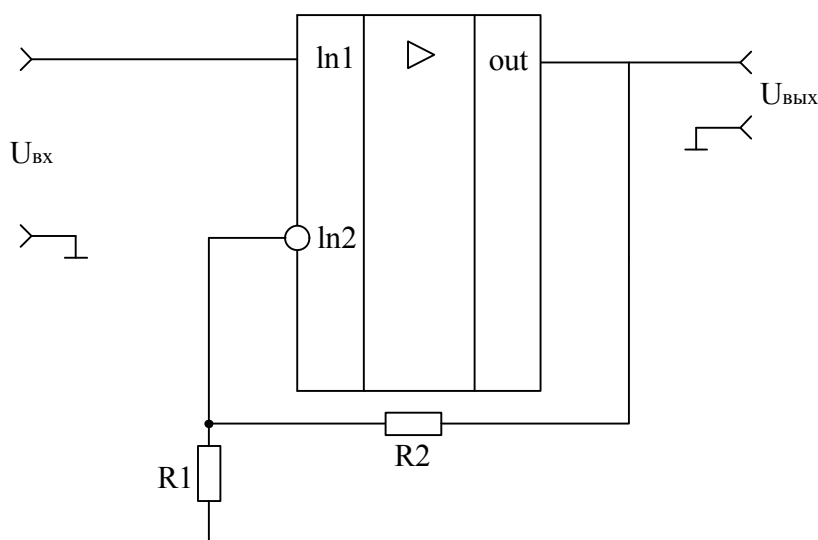


Рисунок 13 - Неинвертирующий усилитель

Для обеспечения заданного коэффициент усиления необходимо задать соответствующие значения R_1 и R_2 . Значение R_1 выбирается в диапазоне 2 - 10 кОм. Задавшись значением R_1 , определяется значение R_2 .

Инвертирующий усилитель - (рисунок 14) не только усиливает входной сигнал, но и инвертирует (переворачивает) фазу сигнала на 180° .

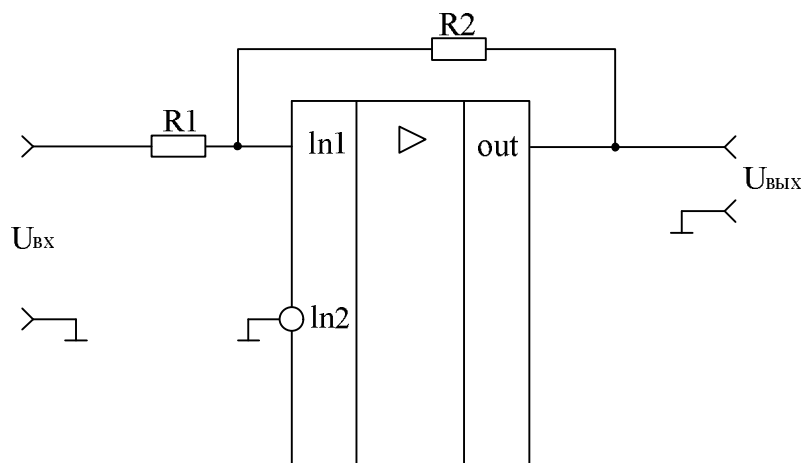


Рисунок 14 - Инвертирующий усилитель

Цепь обратной связи выполнена на резисторах R_1 и R_2 . Коэффициент усиления определяется по формуле:

$$U_y = U_{\text{твых}} / U_{\text{твх}} = -R_2 / R_1,$$

Знак минус показывает инвертирование фазы (изменение полярности).

Суммирующий усилитель - (рисунок 15) выполняет операцию сложения с усилением суммы в K раз.

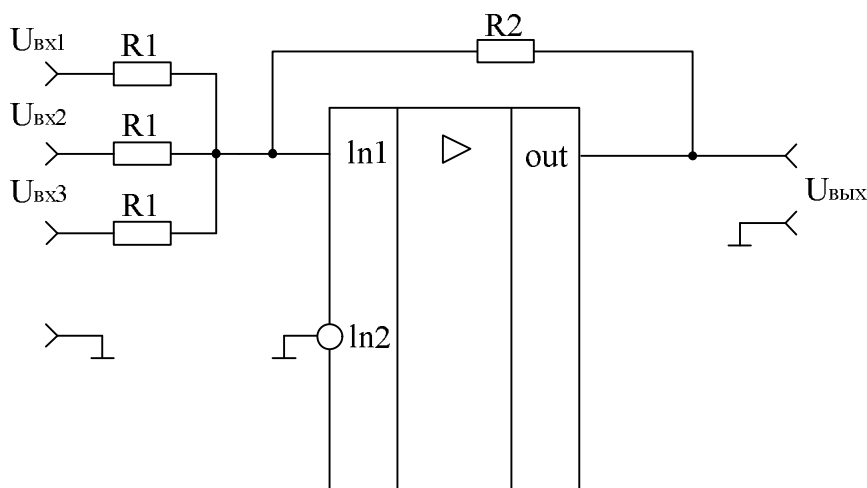


Рисунок 15 - Суммирующий усилитель

При равенстве входных сопротивлений выходное напряжение определяется по формуле:

$$U_{\text{твых}} = -R_2 / R_1 (U_{\text{твх1}} + U_{\text{твх2}} + U_{\text{твх3}}),$$

Сложение входных сигналов происходит с учётом их полярности.

Вычитающий усилитель - (рисунок 16) выполняет операцию вычитания двух напряжений с усилением разности в K раз.

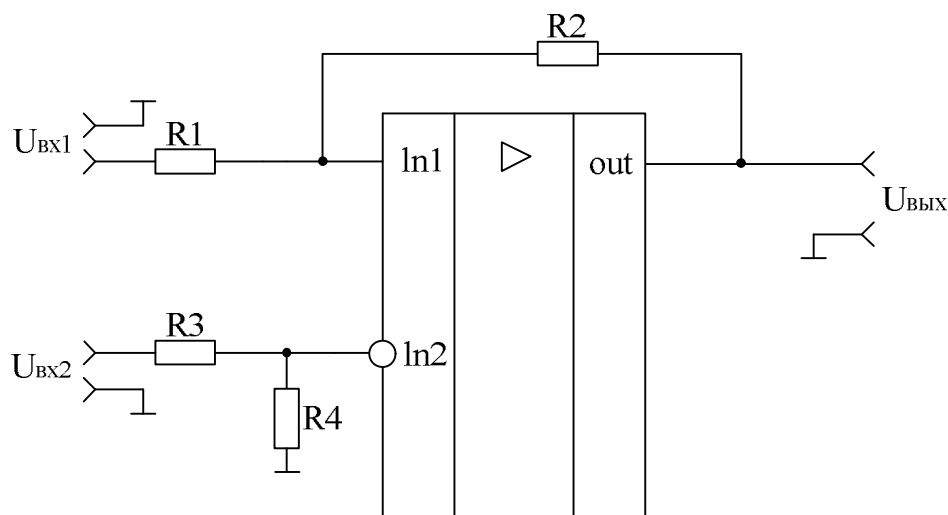


Рисунок 16 - Вычитающий усилитель

При условии $R_2/R_1 = R_4/R_3$ выходное напряжение определяется по формуле:

$$U_{\text{мввых}} = R_2 / R_1 (U_{\text{мвх2}} - U_{\text{мвх1}}),$$

Также с учётом полярности входных напряжений.

Подробно схемотехника на ОУ рассмотрена в работах [11, 12, 16].

В монографии [17] представлена подборка аналоговых схем на операционных усилителях с подробными техническими описаниями и практическими рекомендациями, что поможет подобрать нужную схему, изготовить и настроить необходимое устройство.

4.1.3 Аналоговые компараторы

Аналоговые компараторы предназначены для сравнения двух аналоговых сигналов между собой или одного входного аналогового сигнала с заданным эталонным уровнем.

Компараторы представляют собой специализированные ОУ с дифференциальным входом и высоким коэффициентом усиления и быстродействием без обратной связи. Обычно они изготавливаются в виде интегральных схем. На входы компаратора поступают аналоговые сигналы, а с выхода снимаются напряжение $+U_n$ или $-U_n$, т.е. снимается “1” или “0”.

Выходной сигнал компаратора почти всегда действует на входы логических цепей и потому согласуется с ними по уровню и мощности. Таким образом, компаратор – это элемент перехода от аналоговых к цифровым сигналам, поэтому его иногда называют однобитным аналого-цифровым преобразователем [12].

Основными параметрами компаратора являются: чувствительность, быстродействие и нагрузочная способность.

Компараторы бывают однопороговые и двухпороговые. На рисунке 17 представлена схема однопорогового компаратора и его передаточная характеристика.

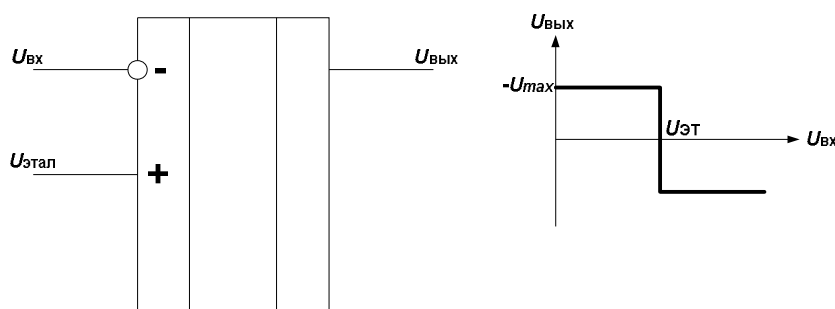


Рисунок 17 - Однопороговый компаратор (а) и его передаточная характеристика (б)

Принципы построения компараторов, расчет и применение подробно описаны в монографиях [4,16].

4.1.4 Электронные генераторы

Генераторами называются электронные устройства, преобразующие энергию источника постоянного тока в энергию переменного тока (электромагнитных колебаний) различной формы требуемой частоты и мощности.

Генераторы в радиовещании, радиолокации, обработке металлов, для формирования применяются сигналов заданной формы: для питания параметрических датчиков; для микропроцессорных систем и т. д. [18]

Классификация генераторов:

- по форме выходных сигналов: генераторы синусоидальных сигналов,

генераторы сигналов прямоугольной формы (мультивибраторы), генераторы сигналов треугольной формы, генераторы сигналов линейно изменяющегося напряжения (ГЛИН) или их еще называют генераторами пилообразного напряжения, сигналов специальной формы;

- по частоте генерируемых колебаний генераторы подразделяют условно на генераторы низкой частоты (до 100 кГц) и генераторы высокой частоты (свыше 100 кГц);

- по способу возбуждения: генераторы с независимым (внешним) возбуждением и генераторы с самовозбуждением (автогенераторы).

Условия самовозбуждения генераторов

Для самовозбуждения генераторов сигналов любой формы необходимо наличие цепи положительной обратной связи (ПОС) соответствующей структуры для каждой формы сигнала (рисунок 18). Заданная частота колебаний обеспечивается частотозадающей LC или RC -цепью, в которой перезаряд конденсатора происходит во времени с заданной скоростью.

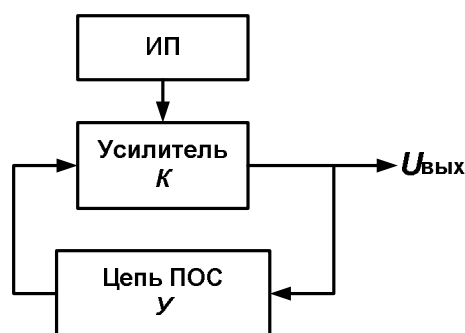


Рисунок 18 - Структурная схема генератора

Для возникновения автоколебательного процесса необходимо выполнение двух условий (балансов):

1) в генераторе должна быть положительная обратная связь (ПОС), т. е. сигнал, проходя через цепь ПОС, сдвигается по фазе на угол φ , а проходя через усилитель, сдвигается на тот же угол и возвращается на выход усилителя в той же фазе, в какой начинался цикл прохождения сигнала по петле ПОС. Это условие называют **балансом фаз**.

2) сигнал, проходя по цепи ПОС, ослабляется в K раз, а проходя через усилитель, увеличивается в K раз и приходит на выход усилителя с той же самой амплитудой. Это условие называют **балансом амплитуд**.

Генераторы RC-типа

В генераторах RC-типа для обеспечения заданной частоты f_0 синусоидальных колебаний используют различные RC-цепи, имеющий наибольший коэффициент передачи на резонансной частоте f_0 . При этом f_0 определяется:

$$f_0 = 1 / (2\pi RC), \quad (8)$$

Для создания генераторов низкой частоты обычно используют ИОУ, в качестве цепи ПОС у которых устанавливают RC-цепи.

На рисунке 19 приведена схема синусоидального генератора. Для выполнения баланса фаз необходимо, чтобы в усилителе сдвиг по фазе был $\varphi = 0$, а для выполнения баланса амплитуд необходимо установить коэффициент усилителя $K = 1/\gamma = 3$. Для обеспечения сдвига по фазе $\varphi = 0$, цепь ПОС подключена между выходом усилителя и его неинвертирующим входом. Необходимый коэффициент усиления задаётся с помощью цепи ООС на резисторах $R1, R2$.

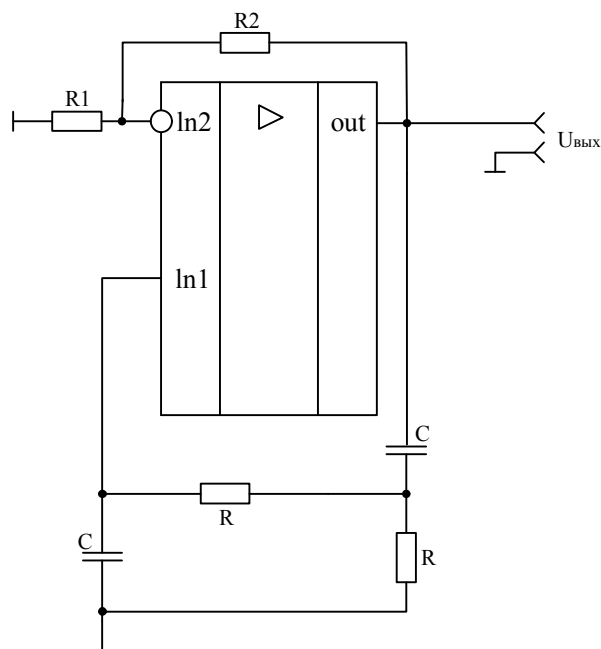


Рисунок 19 - RC-генератор

При упрощенном расчете RC-генератора для заданного значения частоты колебаний f_0 из уравнения (8) определяют $\tau = RC$, затем задаются стандартным

значением C (или R), определяют величину $R = \tau / C$ (или C) и выбирают ближайшее стандартное значение R (или C). Обычно величину R выбирают в пределах нескольких единиц или десятков кОм.

Расчет сопротивлений резисторов $R1$ и $R2$ осуществляют на основе равенства $K = 1 + R2/R1$ для неинвертирующего усилителя. Так как $K = 3$, то отношение $R2/R1 = 2$. Задаваясь $R1$ (единицы-десятки кОм), определяют $R2$. При таком соотношении амплитуда выходного напряжения принимает максимальное значение (при значении $U_{\text{п}} = 15\text{В}$ примерно $U_{\text{нас}} = 13\text{В}$).

Мультивибраторы

Мультивибраторы - это генераторы сигналов прямоугольной формы.

На рисунке 20 приведена схема симметричного мультивибратора на ИОУ, широко используемого в импульсных устройствах. Симметричный – время импульса равно времени паузы $t_{\text{имп}} = t_{\text{паузы}}$.

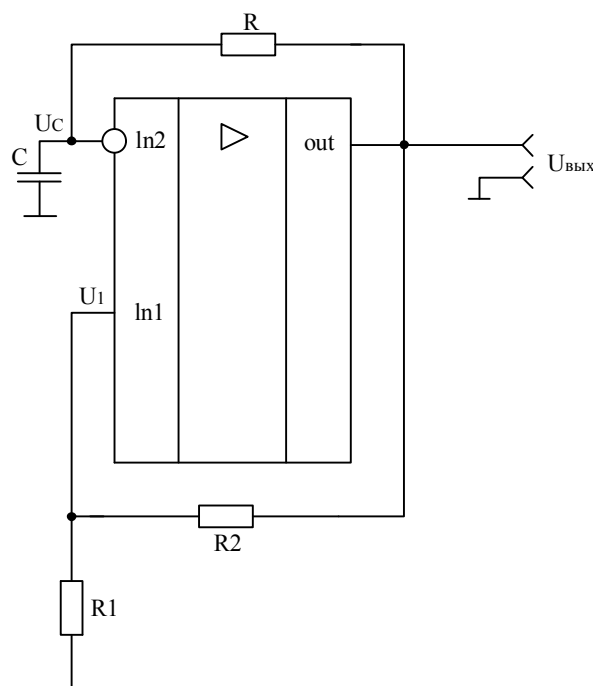


Рисунок 20 - Мультивибратор

ИОУ охвачен положительной обратной связью – цепь $R1, R2$ с коэффициентом передачи γ , действующей одинаково на всех частотах. Входное напряжение мультивибратора формируется при помощи ООС через цепочку RC .

Напряжение на неинвертирующем входе постоянно и равно:

$$\pm U_{\text{Н}} = \frac{\gamma}{1 + \gamma} U_{\text{ВЫХ}} = \frac{\gamma}{1 + \gamma} \pm U_{\text{НАС}}$$

Если напряжение выхода $U_{\text{ВЫХ}} = +U_{\text{нас}}$ конденсатор заряжается и напряжение U_c , действующее на инвертирующем входе возрастает по экспоненциальному закону (рисунок 21). При равенстве $U_{\text{н}} = U_c$ произойдёт скачкообразное изменение выходного напряжения $U_{\text{ВЫХ}} = -U_{\text{нас}}$, что вызовет перезаряд конденсатора.

При достижении равенства $-U_{\text{н}} = -U_c$ снова произойдёт изменение состояния $U_{\text{ВЫХ}}$.

Процесс повторяется.

Изменение постоянной времени τRC -цепи приводит к изменению времени заряда и разряда конденсатора, а значит и частоты колебаний мультивибратора.

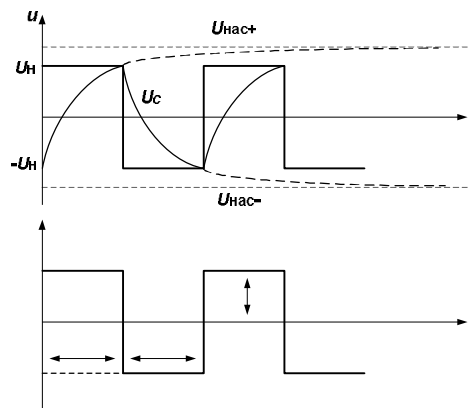


Рисунок 21 - Временные диаграммы работы мультивибратора

Кроме того, частота зависит от параметров ПОС и определяется по формуле:

$$f = 1/T = 1/2t_{\text{н}} = 1/[2\Phi_{\text{н}}(1 + 2R_1/R_2)], \quad (10)$$

При необходимости получить несимметричные прямоугольные колебания для $t_{\text{и}} \neq t_{\text{п}}$, используют несимметричные мультивибраторы (рисунок 22), в которых перезаряд конденсатора происходит по разным цепочкам с различными постоянными времени.

Для перезаряда конденсатора при $U_{\text{ВЫХ}} = +U_{\text{нас}}$ диод $VD2$ закрыт и $\tau_{\text{и}} = R_{\text{и}}C$, а для перезаряда конденсатора при $U_{\text{ВЫХ}} = -U_{\text{нас}}$ диод $VD1$ закрыт и $\tau_{\text{п}} = R_{\text{п}}C$. При этом длительности импульса и паузы определяются:

$$t_{\text{н}} = \Phi_{\text{н}} \ln(1 + 2R_1/R_2), \quad (11)$$

$$t_{\text{п}} = \phi_{\text{п}} \ln(1 + 2R_1 / R_2), \quad (12)$$

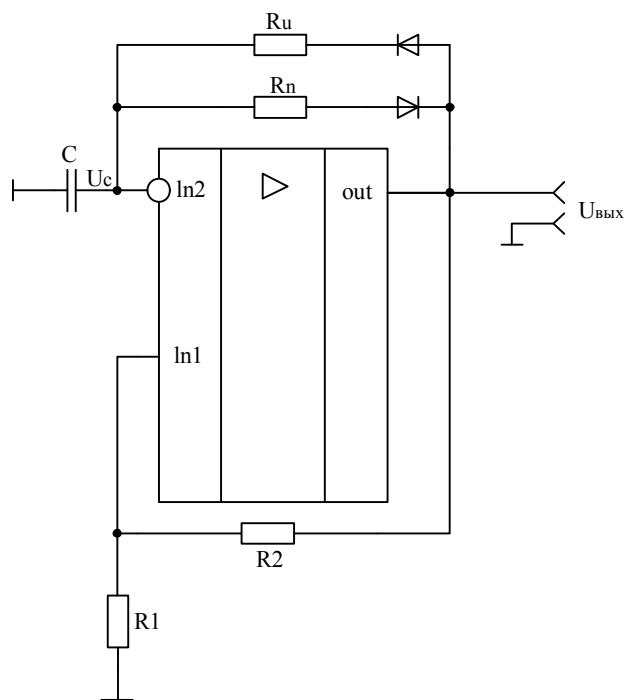


Рисунок 22 - Несимметричный мультивибратор

Частота колебаний:

$$f = 1 / [(\phi_{\text{н}} + \phi_{\text{п}}) \ln(1 + 2R_1 / R_2)],$$

При расчете симметричного мультивибратора обычно известна требуемая частота f колебаний. Задаваясь отношением $R_1/R_2 \leq 0.5$, из уравнения (10) определяют $\tau = RC$. В свою очередь, задаваясь величиной C (или R), определяют R (или C).

При расчете несимметричного мультивибратора обычно известны длительность импульса $t_{\text{н}}$ и паузы $t_{\text{п}}$. Тогда, определив период T , находят частоту f . Из уравнений (11) и (12) определяют $\tau_{\text{н}}$ и $\tau_{\text{п}}$. Задаваясь значением C , определяют $R_{\text{н}}$ и $R_{\text{п}}$. А из заданного значения $R_1/R_2 \leq 0.5$, определяют величину R_2 , задаваясь R_1 (или наоборот). Значения R_1 , R_2 , $R_{\text{н}}$, $R_{\text{п}}$ надо выбирать не менее десятка кОм.

Мультивибратор может быть построен и без применения ИОУ. На рисунке 23 представлена схема мультивибратора, составленная на транзисторах [12].

Элементами положительной обратной связи являются конденсаторы C_{61} и C_{62} , которые соединяют коллектора транзисторов $VT1$, $VT2$ с базами транзисторов $VT2$, $VT1$.

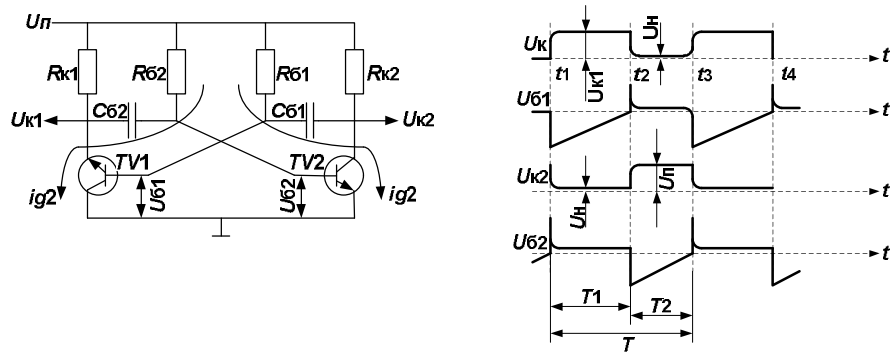


Рисунок 23 - Схема мультивибратора (а) и временная диаграмма его работы (б)

Длительность формируемых импульсов определяется постоянной времени R_6C_6 .

$$T_1 = 0,7R_{g1}C_{g1}, T_2 = 0,7R_{g2}C_{g2}, T = T_1 + T_2,$$

Для симметричного мультивибратора: $R_{g1}=R_{g2}$; $C_{g1}=C_{g2}$; $T=1,4R_gC_g$. Длительность переднего фронта формируемых импульсов равна $t_{\phi}=2,2C_6R_k$. Обычно $R_g > 3R_k$.

4.1.5 Триггер на транзисторах

Триггер представляет собой элемент памяти, имеющий два устойчивых состояния. Переход из одного состояния в другое происходит под воздействием внешних сигналов S и R , рисунок 24 а), б).

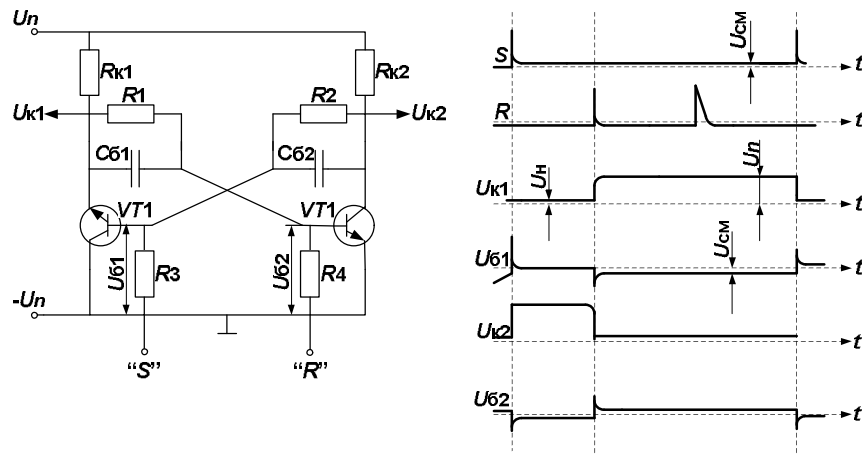


Рисунок 24 - Схема триггера (а) и его временная диаграмма (б)

В исходном состоянии один из транзисторов находится в закрытом состоянии, а второй – в насыщенном. При поступлении положительного сигнала в базу закрытого транзистора триггер переходит во второе устойчивое состояние. Емкости $C_{б1}$ и $C_{б2}$ являются ускоряющими и предназначены для повышения быстродействия схемы, рисунок 24 а) [12].

4.1.6 Выпрямительные устройства

Выпрямителем называется статическое устройство, предназначенное для преобразования электрической энергии переменного тока в постоянный. Необходимость в таком преобразовании возникает, когда питание потребителя осуществляется постоянным током, а источником электрической энергии является источник переменного тока, например промышленная сеть частотой 50 Гц [20].

Выпрямители классифицируются:

- по числу фаз первичной обмотки трансформатора - однофазные и трехфазные;
- по числу выпрямленных полупериодов - однополупериодные и двухполупериодные;
- по принципу регулирования выпрямленного напряжения – управляемые и неуправляемые;
- по мощности – малой (до сотен ватт), средней (до 5 кВт), большой (свыше 5 кВт).

В настоящее время разработано и применяется на практике много схем выпрямителей однофазного и трехфазного тока. Выбор той или иной схемы определяется свойствами применяемых вентилях (обычно полупроводниковых диодов и тиристоров) и условиями работы выпрямителя.

Для простоты расчетов параметров обычно предполагают, что выпрямитель работает на активную нагрузку и состоит из идеальных вентилях и трансформаторов, в которых можно пренебречь падениями напряжения, а также об-

ратными токами вентилях, индуктивностями и намагничивающим током трансформатора.

Основными элементами, параметры которых подлежат расчету в схемах выпрямления, являются вентильные элементы и трансформатор. Исходными данными при расчете служат выпрямленные напряжения U_d (напряжение в нагрузке U_H) и ток I_d (ток в нагрузке I_H), а также действующее значение напряжения питающей сети U_1 .

Устройство и основные элементы выпрямителей

В общем случае выпрямитель состоит из:

- силового трансформатора, служащего для получения заданного напряжения на выходе выпрямителя, а также для электрического разделения цепи выпрямленного тока с питающей сетью;

- блока вентилях, соединенных по определенной схеме и обеспечивающих протекание тока в цепи нагрузки в одном направлении, в результате чего переменное напряжение преобразуется в пульсирующее;

- сглаживающего фильтра, который ослабляет пульсации выпрямленного напряжения в цепи нагрузки;

Если выпрямитель управляемый, то в него входит система управления вентилями. Для поддержания с определенной точностью значения $U_{\text{ВЫХ}}$ при изменениях напряжения питающей сети U_c и сопротивления нагрузки R_H — стабилизатор напряжения или тока.

В некоторых случаях в схеме могут отсутствовать отдельные элементы, например фильтр при работе выпрямителя на нагрузку индуктивного характера или силовой трансформатор в случае бестрансформаторного включения выпрямителя, что может иметь место в мостовых схемах выпрямления.

Выпрямители однофазного тока

При небольшой мощности нагрузки (до нескольких сотен ватт) преобразование переменного тока в постоянный осуществляют с помощью однофазных выпрямителей, питающихся от однофазной сети переменного тока.

Такие выпрямители предназначены для питания постоянным током различных устройств промышленной электроники, обмоток возбуждения двигателей постоянного тока небольшой и средней мощности и т.д.

Однофазная однопериодная схема выпрямления

В этой схеме (рисунок 25) трансформатор имеет одну вторичную обмотку, напряжение u_2 которой изменяется по синусоидальному закону. Ток в цепи нагрузки проходит только в положительные полупериоды, когда точка a вторичной обмотки, к которой присоединен анод вентиля $V1$, имеет положительный потенциал относительно точки B , к которой через нагрузку присоединен катод.

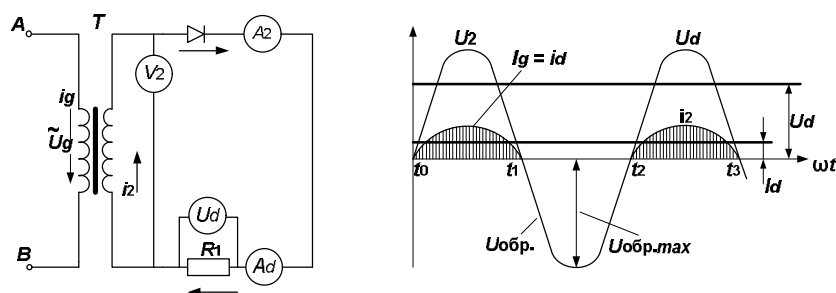


Рисунок 25 - Однофазный однополупериодный выпрямитель: схема и диаграммы напряжений и токов на элементах схемы

В результате напряжение u_2 оказывается приложенным к резистору R_d , через который начинает протекать ток нагрузки i_d .

Поскольку при активной нагрузке ток по фазе совпадает с напряжением, вентиль $V1$ будет пропускать ток до тех пор, пока напряжение u_2 не снизится до нуля. В отрицательные полупериоды (интервал времени $t_1 - t_2$ на рисунке 25) к вентилю $V1$ прикладывается все напряжение источника u_2 . Оно является для диода обратным, и он будет закрыт.

Таким образом, на резисторе R_d будет пульсирующее напряжение U_d только одной полярности, т.е. выпрямленное напряжение, которое будет описываться положительными полуволнами напряжения u_2 вторичной обмотки трансформатора T . Ток в нагрузке i_d проходит в одном направлении, но имеет также пульсирующий характер и представляет собой выпрямленный ток.

Выпрямленные напряжения u_d и ток i_d содержат постоянную (полезную) составляющую U_d, I_d и переменную составляющую (пульсации). Качественная сторона работы выпрямителя оценивается соотношениями между полезной составляющей и пульсациями напряжения и тока. Коэффициент пульсаций данной схемы составляет 1,57.

Среднее за период значение выпрямленного напряжения при идеальных вентилях и трансформаторе:

$$U_d = 0,45U_2,$$

Максимальное значение обратного напряжения на вентиле в непроводящую часть периода:

$$U_{\text{обр. max}} = \sqrt{2}U_2 = 3,14U_d,$$

где U_2 - действующее значение напряжения вторичной обмотки трансформатора T .

Среднее значение тока, протекающего через вентиль и нагрузку:

$$I_{\text{в. ср}} = I_d = I_m / \rho,$$

где $I_m = U_m/R_d$ - амплитуда тока цепи.

Действующее значение тока цепи:

$$I_2 = I_m / 2 ,$$

Таким образом, в однополупериодной схеме выпрямления среднее значение выпрямленного тока в π раз меньше его амплитуды, а действующее значение — в 2 раза меньше амплитуды тока.

В результате напряжение u_2 оказывается приложенным к резистору R_d , через который начинает протекать ток нагрузки i_d .

Поскольку при активной нагрузке ток по фазе совпадает с напряжением, вентиль VI будет пропускать ток до тех пор, пока напряжение u_2 не снизится до нуля. В отрицательные полупериоды (интервал времени $t_1 - t_2$ на рисунке 25) к вентилю VI прикладывается все напряжение источника U_2 . Оно является для диода обратным, и он будет закрыт.

Таким образом, на резисторе R_d будет пульсирующее напряжение u_d только одной полярности, т.е. выпрямленное напряжение, которое будет

описываться положительными полуволнами напряжения u_2 вторичной обмотки трансформатора T . Ток в нагрузке i_d проходит в одном направлении, но имеет также пульсирующий характер и представляет собой выпрямленный ток.

Выпрямленные напряжения u_d и ток i_d содержат постоянную (полезную) составляющую U_d, I_d и переменную составляющую (пульсации). Качественная сторона работы выпрямителя оценивается соотношениями между полезной составляющей и пульсациями напряжения и тока. Коэффициент

пульсаций данной схемы составляет 1,57.

Среднее за период значение выпрямленного напряжения при идеальных вентилях и трансформаторе:

$$U_d = 0,45,$$

Максимальное значение обратного напряжения на вентиле в непроводящую часть периода

$$U_{\text{обр. max}} = \sqrt{2}U_2 = 3,14U_d,$$

где U_2 - действующее значение напряжения вторичной обмотки трансформатора T .

Среднее значение тока, протекающего через вентиль и нагрузку:

$$I_{\text{в. ср}} = I_d = I_m / \pi,$$

где $I_m = U_m/R_d$ - амплитуда тока цепи.

Действующее значение тока цепи:

$$I_2 = I_m / 2,$$

Таким образом, в однополупериодной схеме выпрямления среднее значение выпрямленного тока в π раз меньше его амплитуды, а действующее значение — в 2 раза меньше амплитуды тока.

Средняя мощность, отдаваемая в нагрузку, определяется:

$$P_d = U_d I_d,$$

Расчетную (типовую) мощность S_m трансформатора, определяющую его габариты, можно представить как полусумму расчетных мощностей первичной $S_1 = U_1 I_1$ и вторичной $S_2 = U_2 I_2$ обмоток, т.е.:

$$S_m = (S_1 + S_2) / 2 = 3,09P_d,$$

Следовательно, расчетная мощность трансформатора, работающего на выпрямитель, больше мощности в нагрузке в 3,09 раза, так как во вторичной обмотке проходит несинусоидальный ток, имеющий постоянную и переменные составляющие, а в первичной обмотке кроме тока основной частоты f_1 токи высших гармоник. По отношению к сети питания эти токи являются реактивными и, не создавая полезной мощности, лишь нагревают обмотки трансформатора выпрямителя. Наличие во вторичной обмотке постоянной составляющей тока I_d увеличивает степень насыщения магнитопровода трансформатора, что вызывает возрастание тока холостого хода, и как следствие этого возникает необходимость в завышении расчетной мощности трансформатора.

Действующее значение тока вторичной обмотки трансформатора определяется формулой:

$$I_2 = 1,57I_d,$$

Действующее значение напряжения вторичной обмотки:

$$U_2 = 2,22U_d,$$

Действующее значение тока первичной обмотки с учетом коэффициента трансформации трансформатора $n = U_1/U_2$ равно:

$$I_1 = I_2 / n,$$

Недостатки этой схемы выпрямления следующие: плохое использование трансформатора, большое обратное напряжение на вентилях, большой коэффициент пульсации выпрямленного напряжения. Достоинства выпрямителя: простота схемы и питающего трансформатора; применяется только один вентиль или одна группа последовательно соединенных вентилях.

Двухполупериодная однофазная схема со средней точкой

Схема, представленная на рисунке 26, состоит из трансформатора T , имеющего одну первичную и две последовательно соединенные вторичные обмотки с выводом общей (нулевой) точки у этих обмоток. Коэффициент трансформации n определяется отношением U_1/U_2 , где U_2 - напряжение каждой из вторичных обмоток (фазные напряжения), сдвинутые относительно друг друга на 180° .

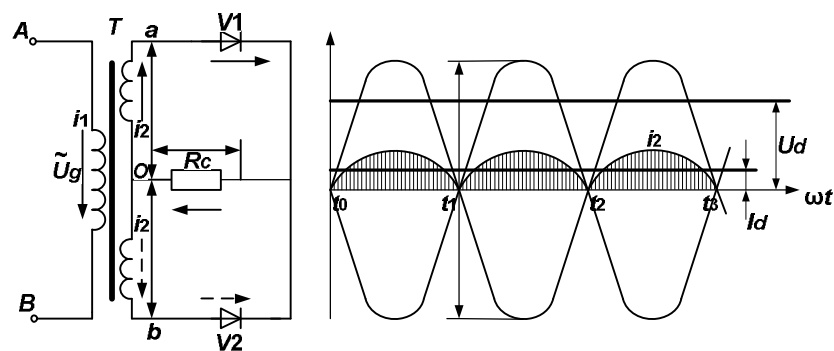


Рисунок 26 - Однофазный двухполупериодный выпрямитель со средней точкой:
схема и диаграммы напряжений и токов на элементах схемы

Свободные концы вторичных обмоток a и b присоединяются к анодам вентилей $V1$ и $V2$, катоды которых соединяются вместе. Нагрузка R_d включается между катодами вентилей, которые являются положительным полюсом выпрямителя, и нулевым выводом 0 трансформатора, который служит отрицательным полюсом.

Вентили в этой схеме, как и вторичные обмотки трансформатора, работают поочередно, пропуская в нагрузку ток при положительных значениях анодных напряжений u_{2a} и u_{2b} (рисунок 26).

Действительно, при изменении напряжения в точках a и b , в тот полупериод, когда напряжение в обмотке $0a$ положительно, ток проводит вентиль $V1$, анод которого положителен по отношению к катоду, связанному через резистор R_d с точкой 0 вторичных обмоток. Анод вентиля $V2$, так же как вывод b обмотки $0b$, в этот полупериод (t_0-t_1) отрицателен по отношению к нулевому выводу 0 и, следовательно, тока не пропускает.

В следующий полупериод (интервал времени t_1-t_2 на рисунке 26), когда напряжения на первичной и вторичной обмотках трансформатора изменяют свою полярность на обратную, ток будет пропускать вентиль $V2$. В результате к нагрузке R_d будет теперь приложено напряжение u_{2b} , а ток i_d будет равен току i_{b2} вентиля $V2$. Вентиль $V1$ выключится, так как к нему будет приложено обратное напряжение. Спустя полупериод, начиная с момента времени t_2 , процесс повторяется: ток будет проводить вентиль $V1$, а вентиль $V2$ выключится и т.д.

Ток i_d в нагрузке все время течет в одном направлении - от катодов вентиля к нулевой точке 0 вторичных обмоток трансформатора, и на резисторе R_d появляется выпрямленное пульсирующее напряжение u_d содержащее постоянную и переменную составляющие.

Среднее значение выпрямленного напряжения:

$$U_d = 0,9U_2,$$

где U_2 - действующее значение напряжения на вторичной полуобмотке:

$$U_2 = 1,11 U_d$$

Среднее значение выпрямленного тока в нагрузке:

$$I_d = U_d / R_d,$$

Среднее значение тока через каждый клапан в 2 раза меньше тока I_d , проходящего через нагрузку, т.е.:

$$I_{в.ср} = 0,5I_d,$$

Действующее значение тока клапана $I_в$ равно действующему значению тока вторичной обмотки трансформатора I_2 и определяется формулой:

$$I_2 = 1,57 I_{в.ср},$$

Клапан, не работающий в отрицательную часть периода, оказывается под воздействием обратного напряжения, равного двойному фазному напряжению $2U_2$. Максимальное значение обратного напряжения:

$$U_{обр.макс} = 2\sqrt{2}U_2 = 3,14U_d,$$

Действующее значение тока первичной обмотки с учетом коэффициента трансформации n , выраженное через ток I_d :

$$I_1 = \sqrt{2 I_2 / n} = 1,11 I_d / n,$$

Расчетные мощности обмоток трансформатора определяют по произведениям действующих значений токов и напряжений: $S_1 = U_1 I_1 = 1,23 P_d$ и $S_2 = 2U_2 I_2 = 1,74 P_d$, а типовую мощность — как полусумму мощностей S_1 и S_2 , т.е.:

$$S_T = (S_1 + S_2) / 2 = 1,48 P_d,$$

Оценка качества выпрямленного напряжения производится посредством коэффициента пульсации, который представляет собой отношение амплитуды первой (основной) гармонической U_{d1m} , как наибольшей из всех остальных к среднему значению напряжения U_d и определяется по формуле:

$$q = U_{d1m} / U_d = 2 / (m2 - 1),$$

где m - число фаз выпрямления, т.е. число полуволн выпрямленного напряжения, приходящихся на один период переменного тока, питающего выпрямитель.

Для рассматриваемой схемы частота первой гармоники пульсации $f_{n1} = 2f_c$ при частоте питающей сети $f_c = 50$ Гц составляет 100 Гц. Подставляя в (5.17) $m = 2$, определяем коэффициент пульсации: $q = 0,67$.

Однофазная мостовая схема

Состоит из трансформатора T с двумя обмотками и четырех диодов $V1 - V4$, соединенных по схеме моста (рисунок 27, а). К одной диагонали моста (точки 1,3) присоединяется вторичная обмотка, а в другую (точки 2, 4) включается нагрузка R_d . Общая точка катодов вентилей $V1$ и $V2$ является положительным полюсом выпрямителя, а отрицательным - точка связи анодов вентилей $V3$ и $V4$.

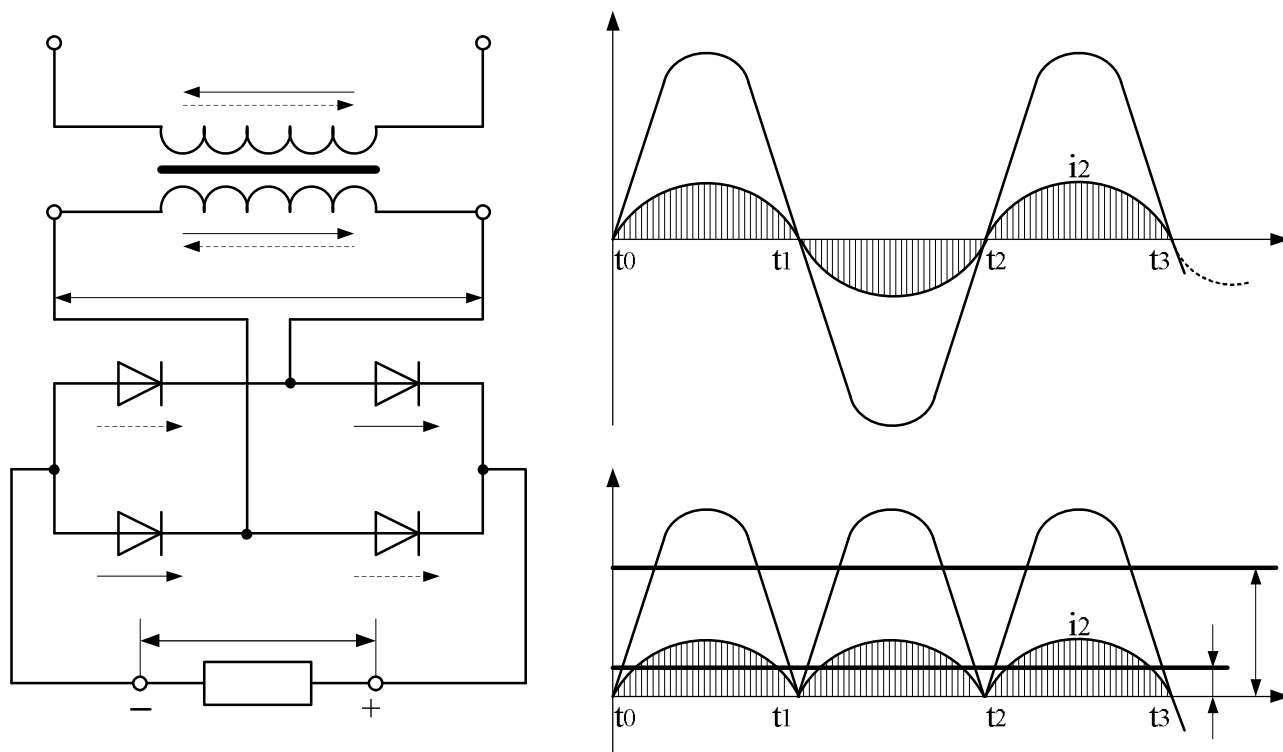


Рисунок 27 - Однофазный мостовой выпрямитель:

а - схема включения; *б* и *в* — временные диаграммы напряжений и токов на элементах схемы

Вентили в этой схеме работают парами поочередно. В положительный полупериод напряжения u_2 , соответствующая полярность которого обозначена без скобок, проводят ток вентили $V1$ и $V3$, а к вентилям $V2$ и $V4$ прикладывается обратное напряжение, и они закрыты. В отрицательный полупериод напряжения u_2 будут проводить ток вентили $V2$ и $V4$, а вентили $V1$ и $V3$ закрыты и выдерживают обратное напряжение $u_{обр} = u_2$.

Далее указанные процессы периодически повторяются. Диаграммы токов и напряжений на элементах схемы (рисунок 27, в) будут такими же, как для однофазного двухполупериодного выпрямителя со средней точкой.

Ток i_d в нагрузке проходит все время в одном направлении — от соединенных катодов диодов $V1$ и $V2$ к анодам диодов $V3$ и $V4$. Ток I_2 во вторичной обмотке трансформатора (рисунок 27, б) меняет свое направление каждые полупериода и будет синусоидальным. Постоянной составляющей тока во вторичной обмотке нет. Следовательно, не будет подмагничивания сердечника трансформатора постоянным магнитным потоком. Ток i_1 в первичной обмотке трансформатора также синусоидальный.

Средние значения выпрямленного напряжения U_d и тока $I_{в.ср}$ через вентиль в этой схеме получаются такими же, как и в двухполупериодной схеме с нулевой точкой.

Обратное напряжение, приложенное к закрытым вентилям, определяется напряжением U_2 вторичной обмотки трансформатора, так как не работающие в данный полупериод вентили оказываются присоединенными ко вторичной обмотке трансформатора T через два других работающих вентиля, падением напряжения в которых можно пренебречь. Следовательно,

$$U_{обр.макс} = \sqrt{2U_2} = 1,57U_d,$$

Токи во вторичной и первичной обмотках трансформатора определяются по формулам:

$$I_2 = U_2 / R_d, \quad I_1 = I_2 / n,$$

Типовая мощность трансформатора:

$$S_T = 1,23P_d,$$

Сравним достоинства двухполупериодных однофазных схем выпрямления.

Однофазная нулевая схема:

- Число вентиля в 2 раза меньше, чем в однофазной мостовой.

- Потери мощности в выпрямителе будут меньше, так как в нулевой схеме ток проходит через один вентиль, а в мостовой - последовательно через два.

Однофазная мостовая схема:

- Амплитуда обратного напряжения на вентилях в 2 раза меньше, чем в нулевой схеме.

- Вдвое меньше напряжение (число витков) вторичной обмотки трансформатора при одинаковых значениях напряжения U_d .

- Трансформатор имеет обычное исполнение, так как нет вывода средней точки на вторичной обмотке.

- Расчетная мощность трансформатора на 25% меньше, чем в нулевой схеме, следовательно, меньше расходуется меди и железа, меньше будут размеры и масса.

- Данная схема выпрямителя может работать и без трансформатора, если напряжение сети U_1 подходит по значению для получения необходимого напряжения U_d и не требуется изоляции цепи выпрямленного тока от питающей сети.

Фильтры [12] применяются для уменьшения напряжения пульсации на выходе выпрямителя. В настоящее время наиболее распространенными являются: емкостной фильтр, индуктивный фильтр и П-образный фильтр.

Емкостной фильтр состоит из конденсатора, подключаемого параллельно нагрузке. Для фильтра необходимо выполнить условие:

$$X_C = \frac{1}{\omega C} \ll R_H,$$

где ωC – сопротивление емкости.

Индуктивный фильтр представляет собой дроссель низкой частоты, включенный между выпрямителем и нагрузкой. Для обеспечения большого коэффициента сглаживания необходимо, чтобы

$$X_L = \omega L \gg R_H,$$

Индуктивность дросселя можно определить по формуле:

$$L = q \frac{R_H}{2\pi \times f_1},$$

где q – коэффициент сглаживания, f_1 – частота первой гармоники.

Недостатком индуктивного фильтра являются большие габариты и вес дросселя.

Г-образный фильтр сочетает в себе свойства индуктивного и емкостного фильтров. Его можно рассматривать как делитель напряжения с частотно-зависимым коэффициентом передачи. Для фильтра необходимо, чтобы

$$\omega \cdot L \gg R_H \gg \frac{1}{\omega C}$$

Г-образные фильтры применяются в выпрямителях большой и средней мощности.

П-образные фильтры применяются в выпрямителях с большим внутренним сопротивлением. Они сложные, дорогие, но обеспечивают высокий коэффициент сглаживания.

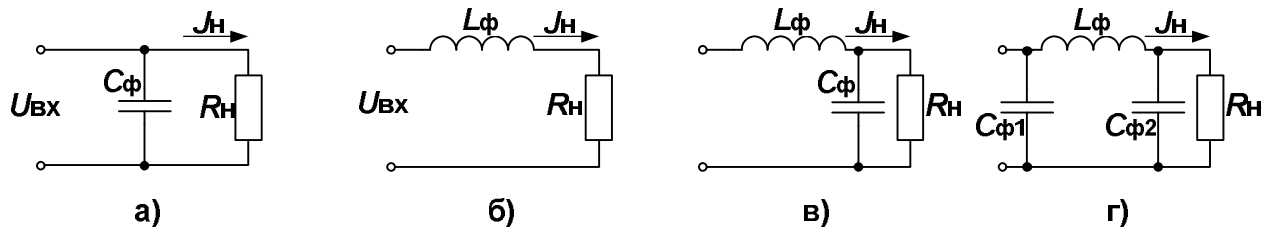


Рисунок 28 - Варианты сглаживающих фильтров: емкостной (а), индуктивный (б), Г-образный (в), П-образный (г)

4.1.7 Стабилизаторы напряжения

Стабилизатор напряжения – это электронное устройство, которое обеспечивает постоянство входного напряжения или тока нагрузки.

Стабилизаторы напряжения подразделяются на параметрические, компенсационные и импульсные. Основными параметрами стабилизаторов являются:

- выходное напряжение $U_{вых}$;

- выходной ток $I_{\text{ВЫХ}}$;
- пределы изменения входного напряжения $\Delta U_{\text{ВХ}}$;
- рассеиваемая мощность $P_{\text{рас}}$;
- коэффициент неустойчивости по напряжению $K_{\text{НВ}}$ и току $K_{\text{НИ}}$;
- температурный коэффициент напряжения и др [12].

Варианты схем стабилизаторов напряжения показаны на рисунках 29 – 31.

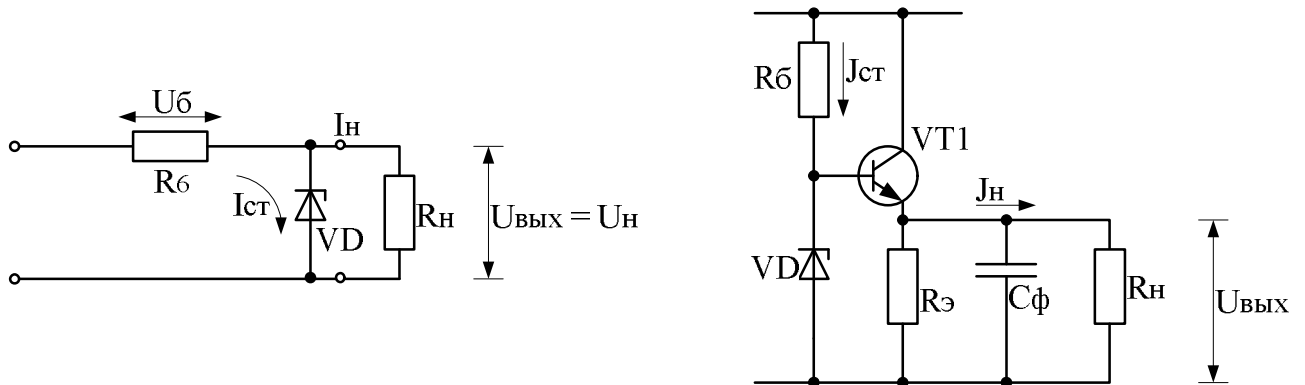


Рисунок 29 - Схема параметрического стабилизатора напряжения (а), параметрический стабилизатор напряжения с эмиттерным повторителем (б)

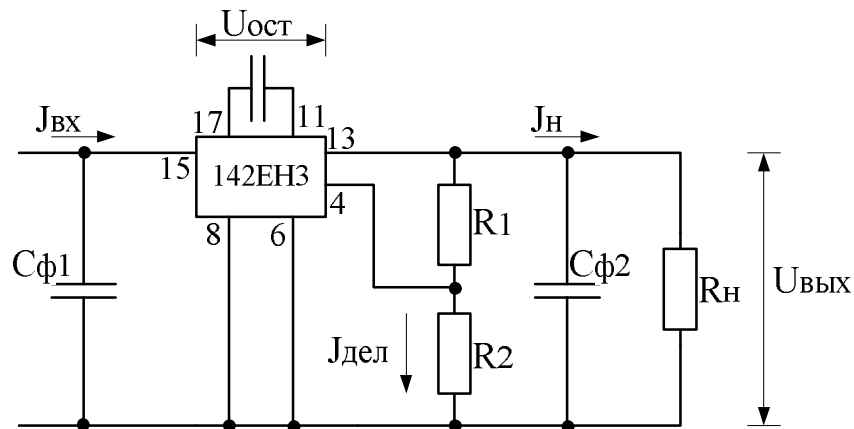


Рисунок 30 - Стабилизатор напряжения на ИС К142ЕН3

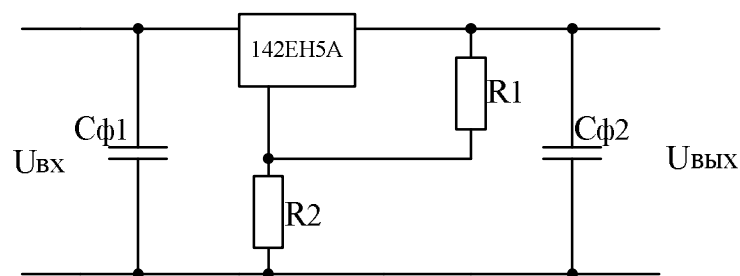


Рисунок 31 - Стабилизатор с повышенным фиксированным напряжением

Формулы для расчета параметров разного вида стабилизаторов приведены в учебном пособии [19].

4.2 Основные устройства цифровой электроники. Схемотехника цифровых устройств

4.2.1 Цифровой режим работы

Наибольшую точность и помехоустойчивость обеспечивают число - импульсные (**цифровые**) методы: информация передается в виде числа, которому соответствует определенный набор импульсов (код).

Цифровые устройства чаще всего работают только с двумя значениями сигналов – нулём «0» (обычно низкий уровень напряжения или отсутствие импульса) и «1» (обычно высокий уровень напряжения или наличие прямоугольного импульса), т.е. информация представляется в **двоичной системе счисления**.

Системы счисления, применяемые в цифровых устройствах, ориентированы на двоичную систему, т.к. основой цифровых устройств является элемент, имеющий два устойчивых состояния.

Благодаря высокой эффективности цифровые методы широко используются для передачи, отбора и запоминания информации, даже в тех случаях, когда входные и выходные данные имеют непрерывную или аналоговую форму. В этом случае информацию необходимо преобразовывать при помощи цифро-аналоговых (ЦАП) и аналогово-цифровых преобразователей (АЦП) [18].

Реализуются цифровые устройства на цифровых интегральных микросхемах. Для справки - в таблице 2 приведены виды серий интегральных схем.

Таблица 2

Уровень сложности ИС	Количество интегрированных элементов	Параметры функционального назначения ИС
----------------------	--------------------------------------	---

МИС	≤ 10	Биполярные ячейки, простые логические элементы, дифференциальные усилительные каскады
СИС	10 – 100	Триггеры, регистры, сумматоры, операционные усилители, коммутаторы
БИС	100 – 1000	Полупроводниковые запоминающие и арифметико-логические устройства
СБИС	> 1000	Микропроцессоры, однокристалльные микро- ЭВМ, аналого-цифровые преобразователи

4.2.2 Логические элементы

Логические и запоминающие элементы составляют основу устройств цифровой обработки информации – вычислительных машин, цифровых измерительных приборов и устройств автоматики. Их называют **базовые логические элементы** – это схемы, содержащие электронные ключи и выполняющие основные логические операции.

Логические элементы выполняют простейшие логические операции над цифровой информацией: преобразуют по определенным правилам входную информацию в выходную. Операции, используемые при обработке цифровой информации, основаны на двоичной системе счисления, представляющей информацию в виде слов – комбинаций символов 1 и 0.

Каждая простая логическая функция может быть технически реализована простыми элементами, к которым относятся элементы И, ИЛИ, НЕ и их комбинации. Базовые логические элементы могут изготавливаться в виде отдельных интегральных микросхем.

На практике применяют комбинированные элементы, реализующие две логические операции, например, элементы И-НЕ и ИЛИ-НЕ. Они называются функционально полными, т.к. позволяют реализовать любую логическую функцию. Например, имея набор элементов И-НЕ можно построить схему ИЛИ.

В зависимости от уровня напряжения, при котором воспринимается или вырабатывается информация, различают прямые и инверсные входы и выходы ЛЭ [11].

На принципиальных схемах ЛЭ изображается в виде прямоугольника (рисунок 32). В верхней части прямоугольника указывается символ функции:

1-для логических функций НЕ и ИЛИ и & - для логической функции И. Если вход или выход является инверсным, то вместе пересечения изображающей его линии со стороной прямоугольника ставится кружок.

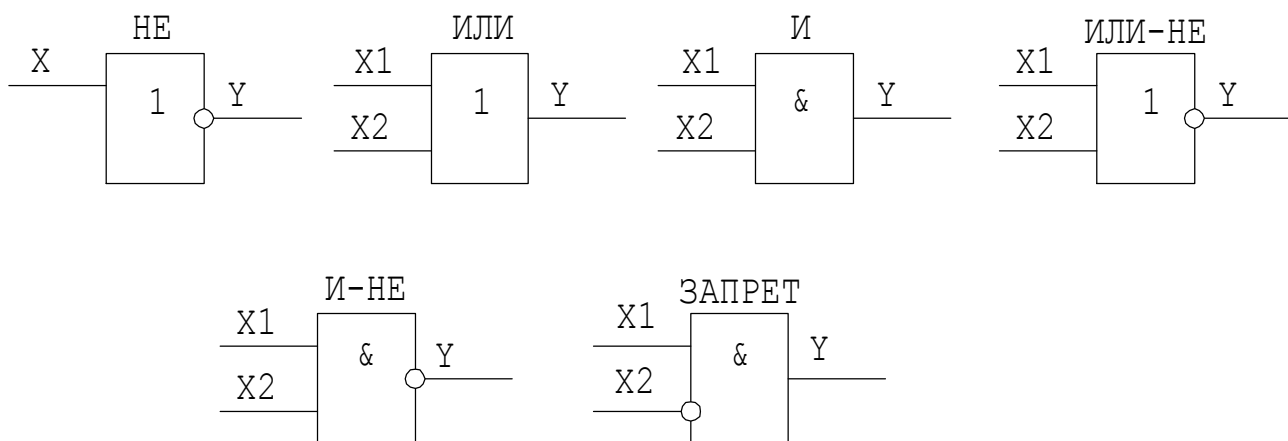
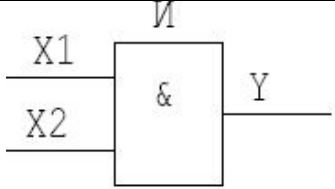
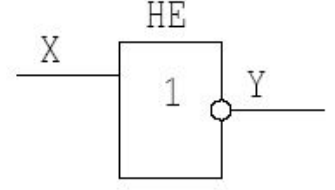
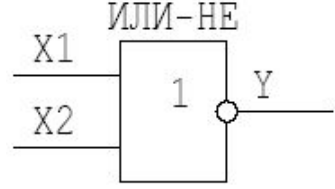
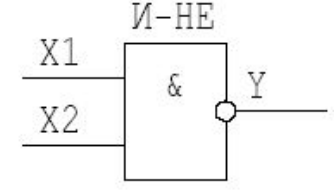


Рисунок 32 - Условное обозначение основных логических элементов

В таблице 3 приведены условные обозначения логических элементов и таблицы истинности. Из простых элементов можно составить сколь угодно сложные логические устройства, например, счетчики импульсов, регистры, сумматоры, блоки памяти и т.п.

Таблица 3

Наименование функции	Условное графическое обозначение	Выражение функции	Таблицы истинности				
			x1	0	0	1	1
			x2	0	1	0	1
ИЛИ		$y = x1 + x2$	y	0	1	1	1

И		$y = x1 \cdot x2$	y	0	0	0	1
НЕ		$y = x1$	y	1	1	1	0
ИЛИ-НЕ		$y = x1 + x2$	y	1	0	0	0
И-НЕ		$y = x1 \cdot x2$	y	1	1	1	0

4.2.3 Комбинационные логические схемы

Комбинационными называются логические устройства, выходные сигналы которых однозначно определяются комбинацией входных сигналов в тот же момент времени. Они используются в информационно-измерительных системах и ЭВМ, в системах автоматического управления, в устройствах промышленной автоматики и т.п.

Построение **комбинационного логического устройства** осуществляется следующим образом. По требуемому алгоритму работы составляются таблица истинности и соответствующее ей логическое уравнение. Это уравнение минимизируется по правилам алгебры логики с целью упрощения и затем строится логическая схема на базе логических элементов (ЛЭ) И-НЕ, ИЛИ-НЕ. Наряду с построением устройств промышленность изготавливает наиболее часто встречающиеся **комбинационные логические схемы (КЛС)** в виде интегральных микросхем. Примерами КЛС являются шифраторы, дешифраторы, кодопреобразователи, устройства сравнения (компараторы), мультиплексоры, демультиплексоры, сумматоры, арифметико-логические устройства и др. [11].

Сумматоры

Сумматор – комбинационная схема, выполняющая арифметическое сложение двух двоичных чисел. Различают две разновидности сумматоров: полусумматор и полный сумматор. Полный сумматор отличается тем, что на его дополнительный вход поступает сигнал переноса от предыдущей схемы суммирования. Такого дополнительного входа у полусумматора нет. Сумматоры характеризуются разрядностью. Различают одно - и многоразрядные сумматоры. Как правило, многоразрядные сумматоры строятся на основе одноразрядных сумматоров.

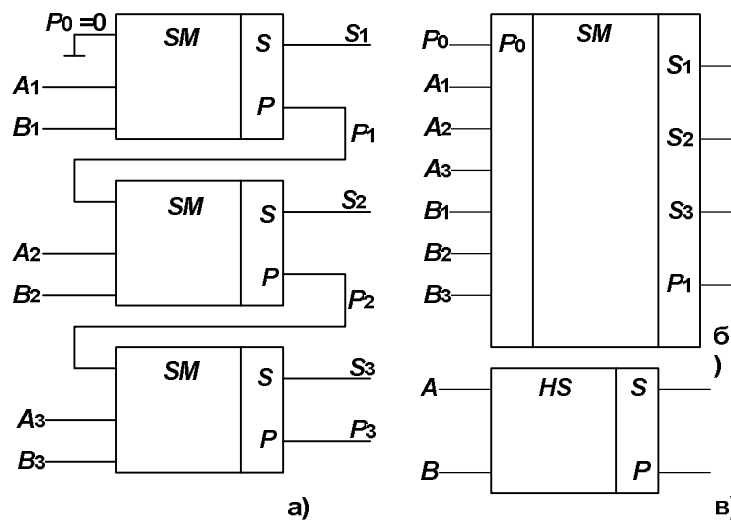


Рисунок 33 – Сумматор (а, б) и полусумматор (в)

Условные обозначения полусумматора и полного сумматора приведены на рисунке 33, в и а, б соответственно. На рисунке $A_1, A_2, A_3, A, B_1, B_2, B_3, B$ – входные двоичные числа, P и P_3 – сигналы переноса, P_0 – входной сигнал переноса, S и S_n – суммы двух чисел.

Правила сложения двоичных и десятичных чисел одинаковы:

- сложение производится поразрядно — от младшего разряда к старшему разряду;

- в младшем разряде вычисляется сумма младших разрядов слагаемых A_1 и B_1 . Эта сумма в данной системе счисления может быть записана однозначным числом S_1 либо двухзначным числом P_1S_1 . Функция P называется переносом;

- во всех последующих разрядах находится сумма данных разрядов слагаемых A_i и B_i причем при $P_{i-1} = 1$ к этой сумме добавляется единица (в числовых примерах, приведенных выше), результат сложения в i -м разряде записывается в виде однозначного S_i или двухзначного $P_i S_i$ числа [18].

Таким образом, в каждом разряде необходимо найти сумму A_i , B_i и P_{i-1} (если $P_{i-1} = 1$), т. е. определить S_i и P_i . Одноразрядный двоичный сумматор характеризуется таблицей истинности (таблица 4).

Таблица 4 - Таблица истинности одноразрядного сумматора

A_i	B_i	P_{i-1}	S_i	P_i
0	0	0	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	1	0	0	1
1	1	1	1	1

Одноразрядный сумматор состоит из двух комбинационных схем: одна для формирования S_i , вторая для определения P_i . Многоразрядный сумматор строится на основе одноразрядных сумматоров в соответствии с правилами сложения по схеме рисунка 33, а.

Многоразрядные сумматоры выпускаются промышленностью в виде ИМС, обозначение которой приведено на рисунке 33,6.

Полусумматор отличается от одноразрядного сумматора отсутствием сигнала P_{i-1} . Таблица истинности полусумматора приведена в таблице 5. Полусумматоры выпускаются в виде ИМС (рисунок 33, а).

Таблица 5 – Таблица истинности полусумматора

A_i	B_i	S_i	P_i
-------	-------	-------	-------

0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

Дешифратор

Дешифратором называется комбинационная цифровая схема с несколькими входами и выходами, преобразующая код, подаваемый на входы, в сигнал на одном из выходов. Дешифратор называется полным, если число выходов n равно числу возможных наборов сигналов на m входах, т.е. $n=2^m$. Неполный дешифратор имеет меньшее число выходов.

Логическая схема дешифратора на четыре выхода приведена на рисунке 34.

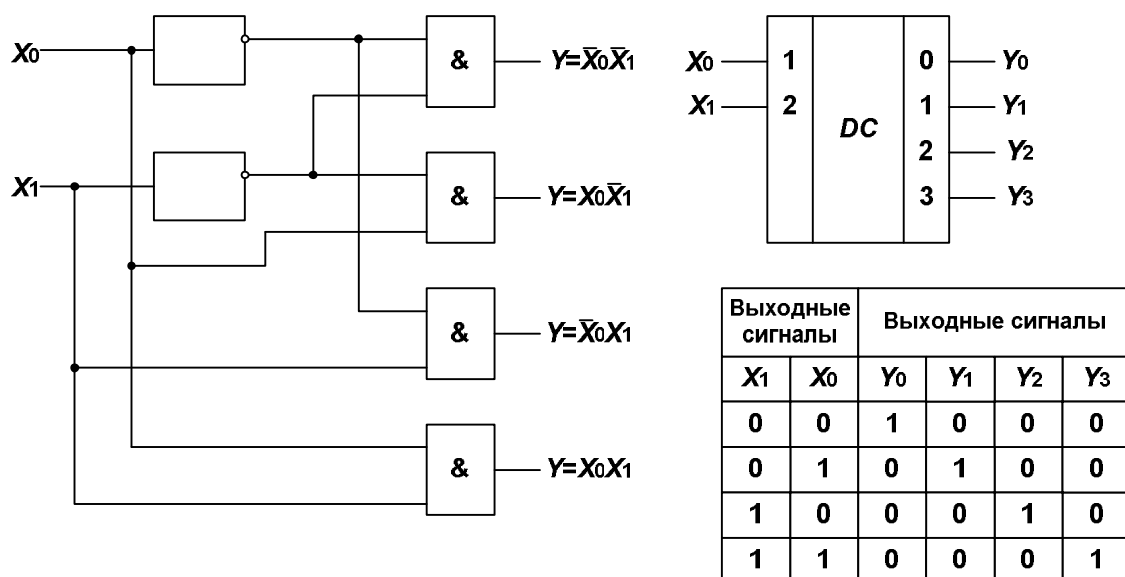


Рисунок 34 - Схема дешифратора (а), условное обозначение (б), таблица истинности (в)

Поведение дешифратора описывается таблицей истинности (рисунок 34, в). Используя карту Вейча [3], получаем:

$$Y_0 = \overline{X_1} \times \overline{X_0}, Y_1 = \overline{X_1} \times X_0, Y_2 = X_1 \times \overline{X_0}, Y_3 = X_1 \times X_0$$

Дешифраторы выпускаются, как правило, в виде микросхем с количеством выходов 4, 8, 10, 16, 32. Ряд микросхем имеют инверсные выходы, например, К555ИД3 [12].

Мультиплексор

Мультиплексором называется комбинационное цифровое устройство, предназначенное для управляемой передачи информации с нескольких источников в один выходной канал. Мультиплексор можно реализовать, используя логические элементы "И" и дешифратор. Мультиплексор имеет один выход, информационные входы и адресные или управляющие входы (рис.121). В зависимости от кода, подаваемого в адресные шины X_0, X_1 один из информационных входов подключается к выходному каналу [12].

Функция алгебры логики, описывающая работу мультиплексора, имеет вид:

$$Y = D_0 \overline{x_1 x_0} + D_1 \overline{x_1} x_0 + D_2 x_1 \overline{x_0} + D_3 x_1 x_0,$$

Арифметико-логическое устройство (АЛУ)

Арифметико-логическое устройство (АЛУ) является основным функциональным узлом микропроцессора, предназначенным для обработки данных. АЛУ представляет собой комбинационную логическую схему, выполняющую логические и арифметические действия.

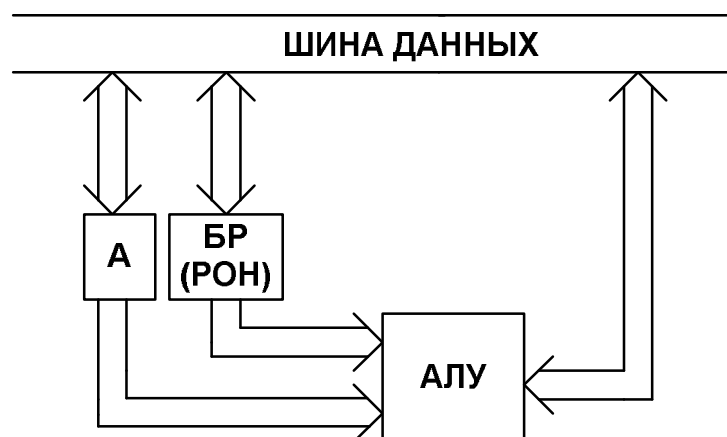


Рисунок 35.

Для ввода, вывода и оперативного хранения информации, а также ее пошаговой загрузки по тактовому импульсу в АЛУ предназначен блок регистров: аккумулятор (А), буферные регистры (БР) или регистры общего назначения (РОН) (Рисунок 35).

Совместная работа АЛУ и аккумулятора позволяет реализовать ряд арифметических и логических операций, в том числе сложение, вычитание, инверсию, сравнение, положительное или отрицательное приращение, сдвиг влево или вправо, логическое И, ИЛИ, исключаящее ИЛИ и т.п. Из перечисленных элементарных операций набираются сложные задачи современной микропроцессорной техники.

Триггеры на логических элементах

Напомним, что основное назначение триггера – хранение двоичной информации.

Триггеры можно классифицировать по способу приема информации, принципу построения, функциональным возможностям. По способу приема информации триггеры подразделяются на асинхронные и синхронные. **Асинхронный триггер** изменяет свое состояние в момент прихода сигнала на его информационные входы. **Синхронные триггеры** изменяют свое состояние под воздействием входных сигналов только в момент прихода активного сигнала на его синхронизирующий вход C [11, 12].

По виду активного сигнала, действующего на информационных входах триггеры подразделяются на статические и динамические. Первые переключаются потенциалом (уровнем напряжения), а вторые – перепадом (передним или задним фронтом импульса). Входные информационные сигналы могут быть прямыми и инверсными.

По принципу построения триггеры со статическим управлением можно подразделить на одноступенчатые и двухступенчатые. В одноступенчатых триггерах имеется одна ступень запоминания. В двухступенчатых триггерах имеются две ступени запоминания. Вначале информация записывается в первую ступень, а затем переписывается во вторую и появляется на выходе.

По функциональным возможностям триггеры делятся на: *RS*-триггер, *D*-триггер, *T*-триггер, *JK*-триггер, *VD* и *VT*-триггеры.

Триггеры характеризуются быстродействием, чувствительностью, потребляемой мощностью, помехоустойчивостью, функциональными возможностями [18].

Асинхронный RS – триггер

Асинхронный RS -триггер имеет две входные информационные шины R и S и две выходные шины Q и \bar{Q} . Под действием входного сигнала S триггер устанавливается в состояние 1 ($Q=1, \bar{Q}=0$), а под действием сигнала R – переходит в состояние "0" ($Q=0, \bar{Q}=1$).

Таблица 11 - Таблица истинности для R - S триггера

Входные		Вых	
S_n	R_n	Q_{n+1}	Операц.
0	0	Q_n	Хранение
0	1	0	Запись 0
1	0	1	Запись 1
1	1	x	Запрет

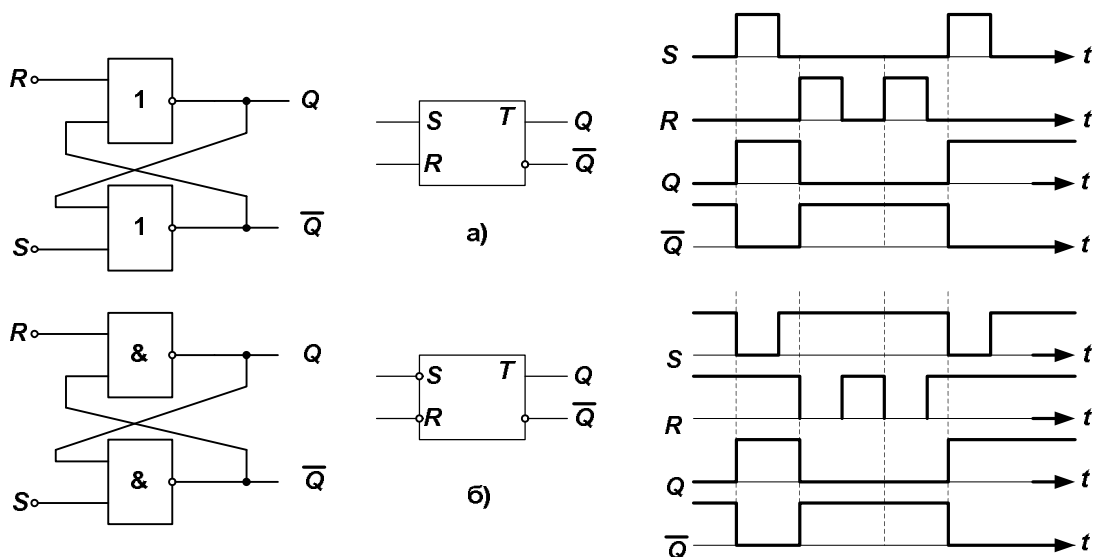


Рисунок 36 - Схема, условное обозначение и временная диаграмма работы асинхронного RS –триггера, построенного на логических элементах ИЛИ-НЕ (а) и И-НЕ (б)

Таблица истинности для R - S триггера приведена в таблице 11.

RS -триггеры строятся на базе логических элементов ИЛИ-НЕ или И-НЕ (рисунок 36).

Синхронные RS -триггеры [12]

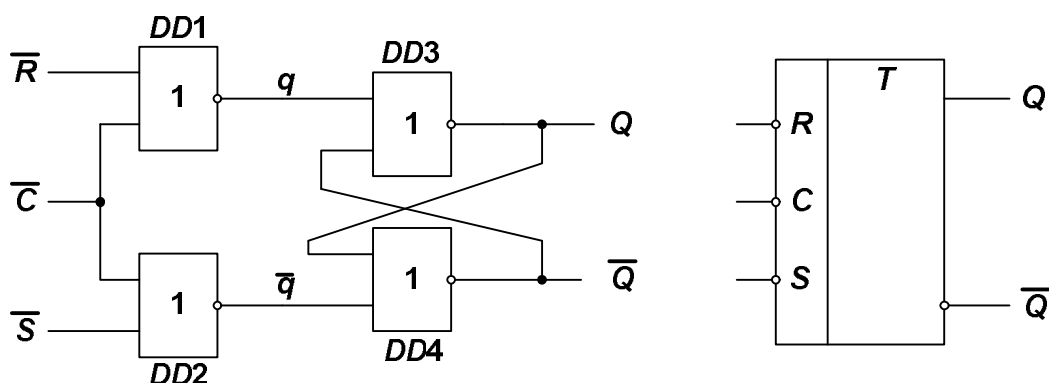


Рисунок 37 – Схема и условное обозначение синхронного RS -триггера

Синхронные RS – триггеры (рисунок 37) имеют два информационных входа R и S и синхровход C . Схема триггера и его условное обозначение показаны на рисунке 40. Асинхронный RS - триггер дополнен схемой управления на ЛЭ $DD1-2$, которая формирует сигналы q и \bar{q} , поступающие на его установочные входы. Управление осуществляется низким уровнем сигнала (0), поэтому на входах показан знак инверсии. При $\bar{C}=1$ любая комбинация \bar{R} и \bar{S} дает на выходах $q=\bar{q}=0$, и асинхронный триггер на элементах $DD3-4$ находятся в режиме хранения информации. Схема управления сработает только при поступлении низкого уровня на синхровход ($\bar{C}=0$). Тогда $\bar{R}=1$ и $\bar{S}=0$ приведет к $q=0$ и $\bar{q}=1$. Триггер перейдет с состояние $Q=1$, а при $\bar{R}=0$, $\bar{S}=1$ - в состояние $Q=0$. Комбинация $\bar{R}=\bar{C}=\bar{S}=0$ запрещена. Так как при $\bar{C}=1$ любое изменение сигналов на входах \bar{R} и \bar{S} игнорируется, синхронные триггеры защищены от воздействия помех [12].

Синхронный D -триггер

Синхронный D - триггер состоит из асинхронного RS -триггера и схемы управления на ЛЭ. Он имеет информационный вход D и синхровход C . Его схема и условное обозначение показаны на рисунке 38. ЛЭ $DD3-4$ представляют собой RS -триггер, управляемый инверсными сигналами. Его устойчивое со-

остояние обеспечивается комбинацией $q = \bar{q} = 1$. При $C=0$ выходах обоих ЛЭ И-НЕ $DD1-2$ независимо от значения сигнала на входе D будут поддерживаться высокие уровни и триггер сохраняет предыдущее состояние. С приходом синхроимпульса $C=1$, при $D=1$ $q=0$, а $\bar{q}=1$, и RS -триггер оказывается в состоянии $Q=1$. При $D=0$ $q=1$, $\bar{q}=0$, и триггер переходит в состояние $Q=0$. Это значение не может измениться до прихода следующего синхроимпульса. Поэтому D -триггеры называют триггерами задержки - они задерживают информацию на такт. На схеме пунктиром показан вход E , объединяющий два дополнительных И-входа. Этот вход расширяет возможности схемы. Его называют разрешающим. При $E=1$ триггер работает в нормальном режиме, $E=0$ дает возможность сохранить информацию при изменении сигналов на D - и C -входах. Такой триггер называют DV -триггером с разрешающим входом [12].

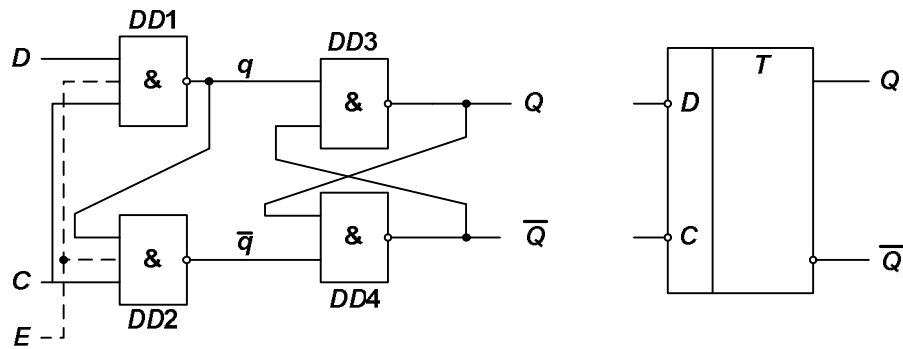


Рисунок 38

Двухтактный D -триггер

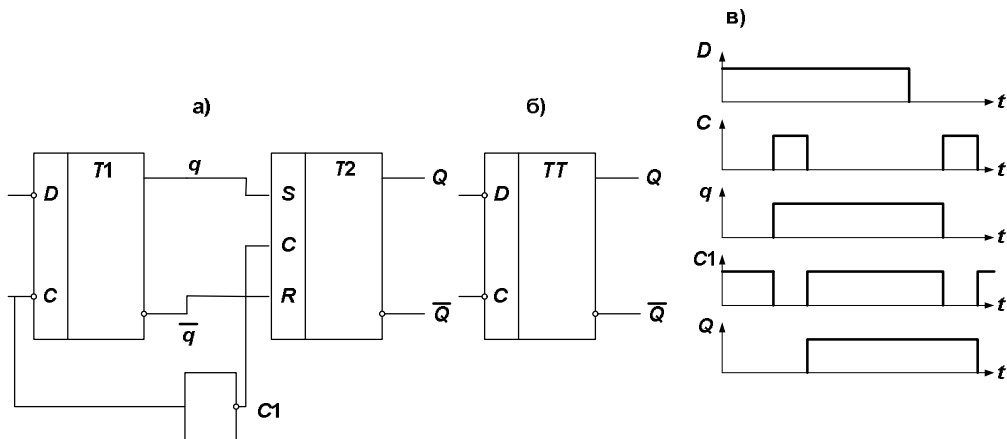


Рисунок 39 - Схема и условное обозначение двухтактного D -триггера – а),б); временная диаграмма – в)

Широкое применение получили **двухтактные D - триггеры**. Схема и условное обозначение приведены на рисунке 39 а, б. Он состоит из D-триггера и синхронного RS-триггера с объединенными через инвертор C-входами. Принцип работы триггера можно проследить по временной диаграмме (рисунок 42 в). Сигнал со входа D записывается в T1 по фронту синхроимпульса. При этом $C_1 = 0$ и T2 сохраняет прежнюю информацию. После окончания синхроимпульса $C = 0$, и T1 отключается от D-входа, $C_1 = 1$ и T2 переписывает информацию из T1 [12].

4.2.4 Регистры

Регистром называется последовательное цифровое устройство, предназначенное для записи, хранения, выдачи или сдвига информации. В ряде случаев в регистре могут выполняться логические операции или операции преобразования кодов, например, из параллельного кода в последовательный и обратно. Регистр представляет собой совокупность триггеров, число которых соответствует числу разрядов в слове, и вспомогательных схем для выполнения операций.

По способу приема информации регистры подразделяются на параллельные, последовательные и последовательно-параллельные.

В параллельных регистрах запись информации производится параллельным кодом одновременно по всем разрядам. Параллельные регистры применяются для хранения информации и поэтому называются еще регистрами памяти.

Параллельный регистр может быть выполнен на RS или D-триггерах.

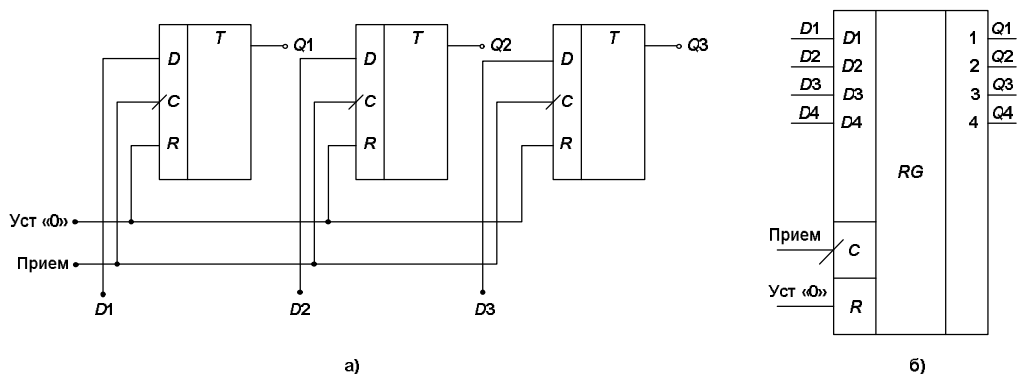


Рисунок 40 - Функциональная схема параллельного регистра (а), условное обозначение (б)

Прием информации производится по переднему фронту тактового импульса. На входах и выходах триггеров регистра могут стоять логические схемы для преобразования кодов в прямые или инверсные коды.

В сдвигающих регистрах выполняется сдвиг информации влево или вправо. Информация на регистр может поступать в последовательном или параллельном коде и выдаваться с выходных шин в последовательном или параллельном коде. Следовательно, в сдвигающих регистрах можно преобразовывать коды из последовательного в параллельный и обратно [12].

Сдвигающие регистры могут строиться на *D*-триггерах (рисунок 41)

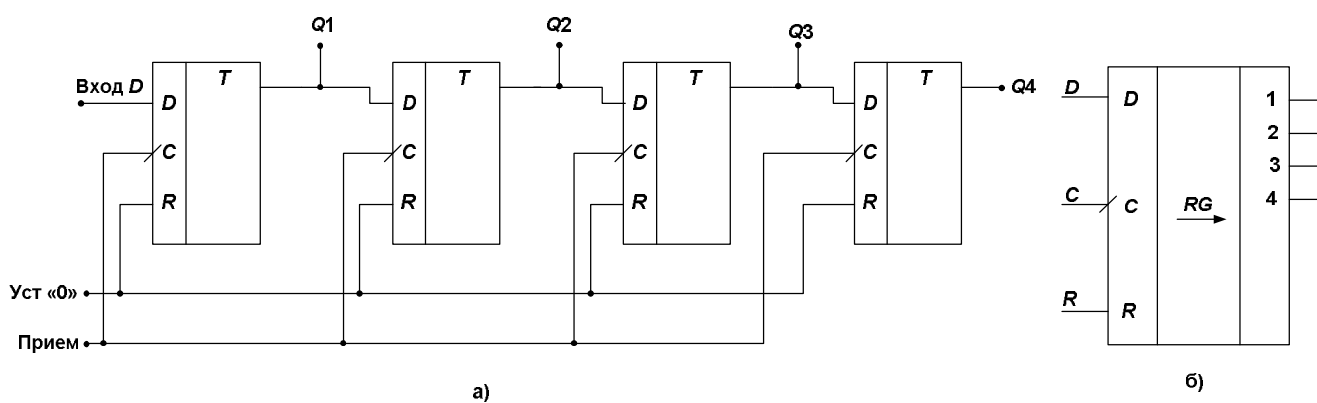


Рисунок 41 - Функциональная схема сдвигающего регистра (а) и его условное обозначение (б)

4.2.5 Счетчики и делители частоты

Счетчиком называется последовательное цифровое устройство, предназначенное для подсчета входных импульсов. Счетчики строятся на триггерах *T*-типа и некоторых логических схемах для формирования управляющих сигналов.

Основными параметрами счетчика являются коэффициент пересчета и быстродействие. В зависимости от коэффициента пересчета (M) счетчики подразделяются на двоичные (коэффициент пересчета $M = 2^n$) и счетчики с произвольным коэффициентом пересчета ($M \neq 2^n$). Разновидностью последних являются двоично-десятичные счетчики ($M = 10$).

В зависимости от направления счета счетчики бывают: суммирующие, вычитающие и реверсивные. Последние, в зависимости от управляющего сигнала, работают как суммирующие или как вычитающие.

По способу организации межразрядных связей счетчики делятся на счетчики с последовательным переносом, счетчики с параллельным переносом и счетчики с параллельно-последовательным переносом.

Самые простые и вместе с тем самые медленные – это счетчики с последовательным переносом. Наибольшим быстродействием обладают счетчики с параллельным переносом. Двоичные счетчики обеспечивают коэффициент пересчета $M = 2n$.

На рисунке 42 приведена схема и временная диаграмма работы двоично-десятичного счетчика. Здесь, при поступлении десятого импульса (код 1010), на выходах схемы И формируется сигнал, который переводит счетчик в ноль (код 0000). Если на входы системы *DD2* подать сигналы Q_3 и Q_4 , то получится счетчик с коэффициентом пересчета $M = 12$ и т.д.

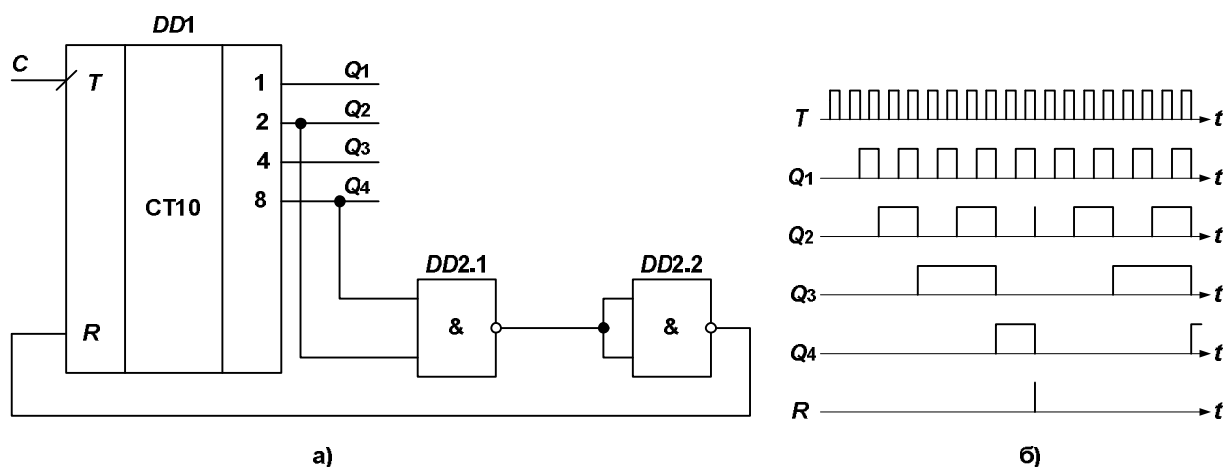


Рисунок 42 - Схема двоично-десятичного счетчика (а) и временная диаграмма его работы (б)

Цифровые последовательные устройства, выполненные по схеме счетчика, но имеющие один счетный вход и один выход называются **делителями частоты**. Таким образом, любой счетчик может служить в качестве делителя частоты, если используется информация только одного из его выходов.

Делитель частоты - устройство для уменьшения в целое число раз частоты подводимых к нему периодических электрических колебаний. Используется в синтезаторах частот, хронизаторах, кварцевых часах и др. [12].

Делитель с фиксированным коэффициентом деления

Принцип действия такого делителя состоит в том, что по достижении определенного состояния, соответствующего выбранному коэффициенту деления $K_{\text{дел}}$, он принудительно обнуляется, чем исключаются избыточные состояния.

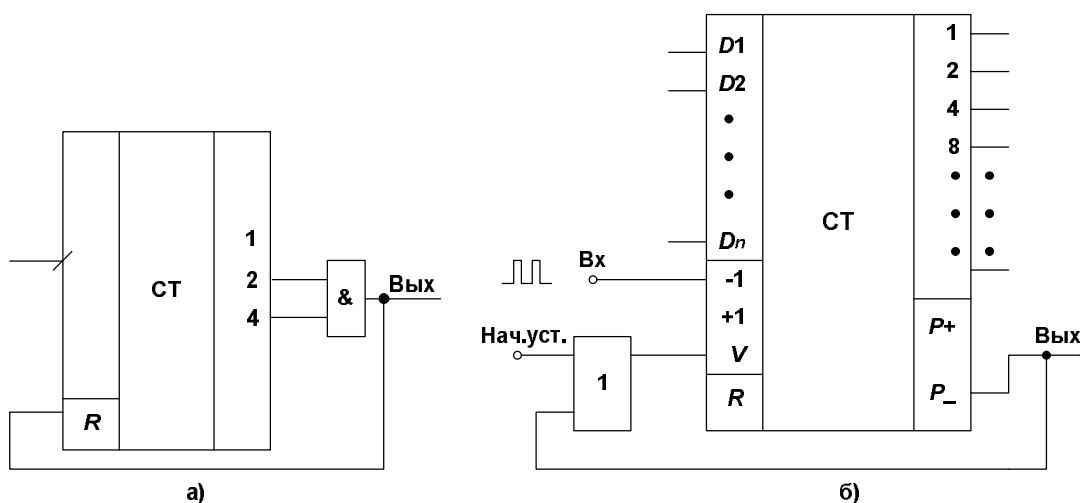


Рисунок 43 – Схема трехразрядного делителя

На рисунке 43, а приведена схема такого трехразрядного делителя (счетчика) с $K_{\text{дел}} = 6$. После поступления на вход шести импульсов на выходах второго и третьего разрядов устанавливаются единицы, благодаря чему единицей с выхода конъюнктора (элемента И) счетчик будет сброшен в 0. При этом на выходе третьего разряда потенциал U_1 появляется с поступлением четвертого входного импульса, а потенциал U_0 – с поступлением шестого. Перепад 1/0 на выходе конъюнктора, свидетельствующий о том, что на входе делителя прошло шесть импульсов, может быть использован для воздействия на следующий делитель частоты [22].

Делитель с устанавливаемым коэффициентом деления

У такого делителя можно менять коэффициент деления в широких пределах. Выполняется он на счетчике, имеющем входы предварительной записи (рисунок 43,б). На выход переноса P_+ проходит входной импульс, осуществ-

ляющий обнуление (переполнение) счетчика, а на выход заема P_- проходит входной импульс, поступающий вслед за осуществившим обнуление. Так как в данном случае (рисунок 46,б) задействован выход заема, то с учетом предыдущего замечания коэффициент деления $K_{\text{дел}} = N+1$, а $N = K_{\text{дел}} - 1$ – число, которое должно быть предварительно занесено в счетчик по входах $D_0 \dots D_n$. С приходом на вход разрешения предварительной записи (V) импульса “Начальная установка” двоичный код числа N записывается в счетчик. Входные импульсы на вычитающем входе уменьшают содержимое счетчика. Когда на вход поступят $N = K_{\text{дел}} - 1$ импульсов, счетчик обнулится. Следующий N -ый импульс пройдет на выход P_- (на выход делителя), а также на вход V , вновь разрешая занесение в счетчик числа N . Таким образом, N импульсам на входе будет соответствовать один импульс на выходе. Изменяя предварительно заносимое в счетчик число N , можно менять коэффициент деления $K_{\text{дел}}$.

Аналогично можно организовать делитель с коэффициентом $K_{\text{дел}}$, подавая входные импульсы на вход суммирования и связывая с входом V выход переноса P_+ . При этом по входам $D_0 \dots D_n$ должно быть занесено число $N = C - K_{\text{дел}}$, где C – емкость счетчика (количество входных импульсов, поданных на обнуленный счетчик, которым он вновь обнуляется).

Особое место среди делителей занимают десятичные (декадные) делители, имеющие коэффициент деления $K_{\text{дел}} = 10$. Десятичные делители позволяют представить число поступивших импульсов десятичными разрядами (числа в которых не превышают 910 и представлены двоичным кодом) – в двоично-десятичном коде. Для получения указанного значения $K_{\text{дел}}$ такой делитель содержит четыре триггера, избыточные состояния которых исключают тем или иным образом.

Для получения коэффициента деления, большего того, что может обеспечить один делитель, их соединяют последовательно (аналогично тому, как расширяют емкость счетчика). Соединенные таким образом десятичные делители представляют в двоично-десятичном коде многоразрядное двоичное число [22].

4.2.6 Микропроцессор: структурная схема и назначение ее элементов

Общие сведения о микропроцессорах

Любая ЭВМ служит для переработки вводимой в нее информации и выдачи окончательных результатов в виде таблиц, графиков, последовательности чисел, текста и т. п.. Несмотря на присущие отдельным ЭВМ отличия, в каждой из них можно выделить четыре основных устройства: арифметико-логическое, управляющее, запоминающее и устройства ввода-вывода информации, называемое обычно периферийным (рисунок 44).

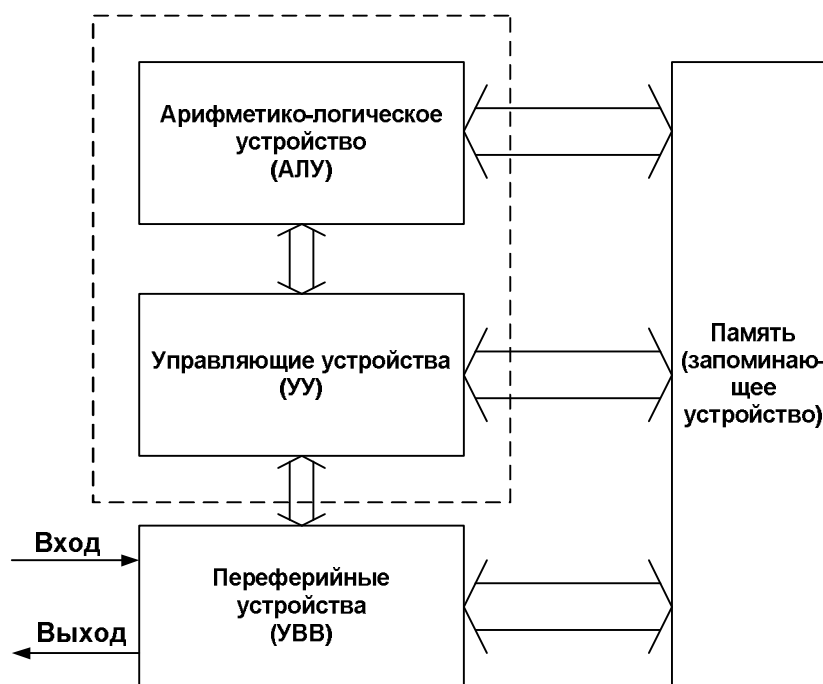


Рисунок 44 – Структурная схема ЭВМ

Арифметико-логическое устройство (АЛУ) служит для выполнения арифметических и логических операций над числами, представленными в двоичном коде.

Управляющее устройство (УУ) управляет работой АЛУ и других устройств ЭВМ. Управление работой этих устройств осуществляется по специальным командам, порядок исполнения которых определяется заданной программой.

Запоминающее устройство (ЗУ), или память, предназначено для хранения Программой информации (данных).

Периферийные устройства, или устройства ввода-вывода информации, служат для приведения входной информации к требуемому виду для ввода в ЭВМ и вывода из ЭВМ результатов переработки информации в нужном виде.

Структура микропроцессора (МП)

Структурная схема МП показана на рисунке 45. Микропроцессор включает **три основных узла**: АЛУ, УУ и узел регистров. Для осуществления связи между этими узлами используется внутренняя шина данных. Она состоит из восьми (для восьми разрядных МП) линий, по которым передаются 8- разрядные слова (байты) и командная информация. Передача слов по внутренней шине данных между узлами МП осуществляется в обоих направлениях, но в разные непересекающиеся временные интервалы.

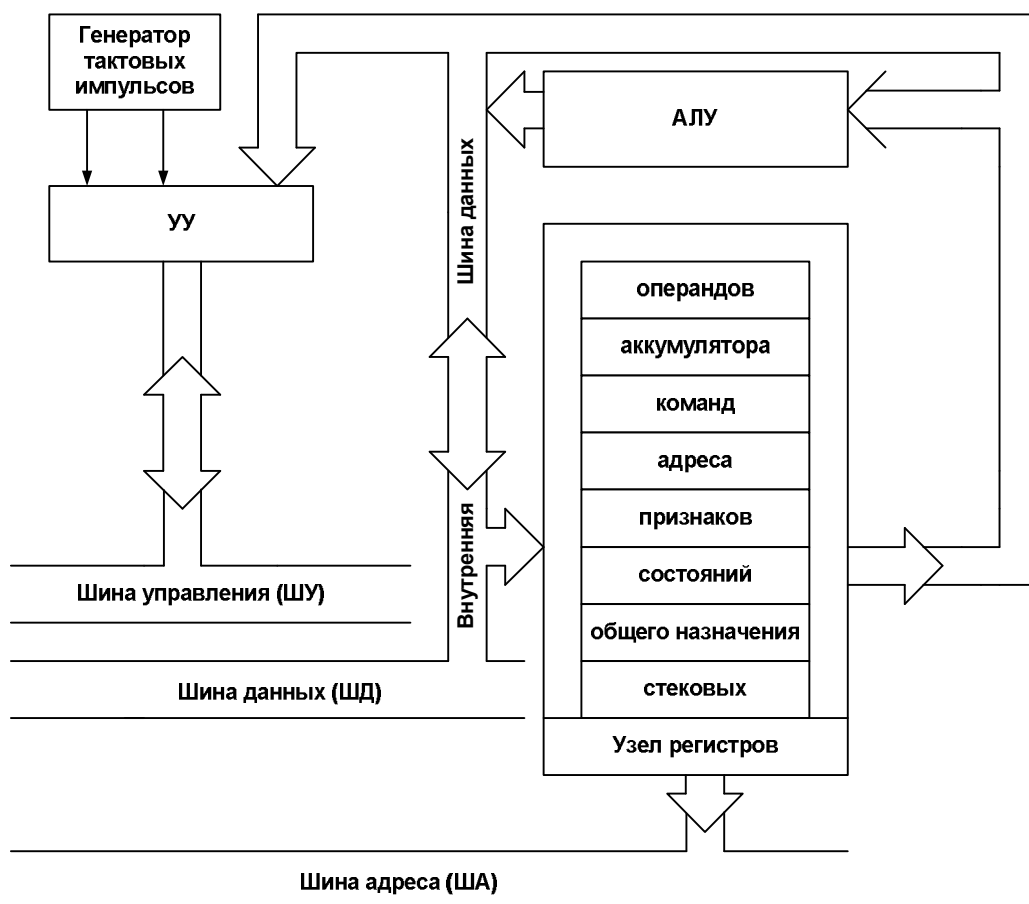


Рисунок 45 – Структурная схема микропроцессора

Основная часть, или ядро, МП- это АЛУ осуществляющее обработку данных. Типичными операциями, выполняемыми АЛУ, являются: сложение, вычитание, логическое сложение (ИЛИ), логическое умножение (И), сложение по

модулю 2 (ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ), инверсия, сдвиг, пересылка. Обычно АЛУ имеет два входа, которые называются входными портами, и один выход, или выходной порт. Данные на входные порты АЛУ поступают с внутренней шины данных или из специального регистра, называемого аккумулятором, через буферные регистры, или регистры операндов, предназначенного для временного хранения данных.

Буферные регистры, через которые на вход АЛУ поступают данные из аккумулятора, называют буфером аккумулятора. Результат, полученный при выполнении операции, с выходного порта АЛУ поступает в аккумулятор, называемый также накопительным регистром или накопителем. Буфер аккумулятора, таким образом, исключает ситуацию, при которой вход и выход АЛУ подключается одновременно к аккумулятору.

Работой АЛУ и внутренними регистрами управляет УУ, которое извлекает из регистра команд, очередную команду, дешифрирует ее, т.е. определяет, какая операция должна осуществляться и обеспечивает выполнение этой операции в АЛУ.

Любая задача решается по программе, которая представляет собой строгую последовательность нужных команд. Эту последовательность поступления команд обеспечивает регистр, называемый счетчиком команд. Счетчик команд может иметь большое число разрядов, чем длина слова данных. Например, в 8-разрядных МП с объемом памяти $64\text{К} = 65536$ слов используется 16-разрядный счетчик команд. В результате можно записать команду в любую ячейку памяти.

Перед выполнением программы в счетчик команд записывают число, которое определяет адрес первой программы, хранящееся в ЗУ. Затем это число из счетчика команд переписывается в 16-разрядный регистр адреса памяти. Из регистра адреса памяти по шине адреса (ША) адрес первой команды посылается в устройство управления памятью. По указанному адресу из ЗУ осуществляется считывание первой команды, которая переписывается в регистр команд. Рассмотренный цикл операций называют циклом выборки или фазой адресации.

После записи команды в регистр УУ осуществляет ее распознавание (декодирование) и в АЛУ поступают сигналы, стимулирующие выполнение данной команды.

Цикл выборки совместно с циклом выполнения команды образуют цикл команд.

В начале цикла выполнения команды, показания счетчика команд автоматически увеличиваются на 1, и он настраивается на следующую команду. Следовательно, в процессе выполнения команды счетчик команд содержит адрес следующей команды.

Регистр признаков состоит из отдельных триггеров, называемыми флажками, которые в зависимости от появления того или иного признака устанавливаются в состоянии 0 или 1.

Наличие команд условного перехода делает МП более универсальным, позволяет выбирать различные пути решения задачи в зависимости от возникающих в ходе решения условий.

Регистры общего назначения используются в качестве запоминающих устройств промежуточных результатов вычислений, адресов и команд, а иногда и в качестве аккумуляторов. Число таких регистров в МП может достигать до 16, причем разрядность их может быть различной. Отдельные регистры общего назначения могут соединяться между собой последовательно и рассматриваться как один регистр с большим числом разрядов.

Особую группу составляют стековые регистры, подразделяющиеся на регистры стека и указатель стека. Эти регистры позволяют без обмена с ЗУ организовать необходимую последовательность выполнения команд.

Количество регистров (глубина) стека является важнейшей характеристикой МП. Для увеличения глубины стека его часто организуют в некоторой области внешнего ЗУ.

Взаимодействие координация работы всех узлов микропроцессорной системы осуществляется высокостабильным генератором тактовых импульсов, с

помощью которых формируются машинные циклы (МЦ) и циклы команд. МЦ - это время, требуемое для извлечения одного байта информации из памяти [18].

4.3 Цифро-аналоговые и аналого-цифровые преобразователи

Цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) предназначен для преобразования входной величины, представленной числовым кодом, в эквивалентную аналоговую величину. Эти преобразователи широко используются в системах автоматического управления, в цифровых системах обработки информации, в вычислительной технике.

В ЦАП в качестве входного сигнала используются цифровые коды, а выходным сигналом является, как правило, напряжение.

Принцип работы ЦАП состоит в суммировании эталонных значений напряжений (токов), соответствующих разрядам входного кода, причем в суммировании участвуют, только те эталоны, для которых в соответствующих разрядах стоит "1".

При построении ЦАП в качестве эталонов используются токи или напряжения. Принцип построения ЦАП, реализующих метод суммирования токов, показан на рисунке 46.

Данное устройство (рисунок 46,а) содержит n источников тока, которые подключаются с помощью ключей S к общей нагрузке R_n . На общей нагрузке R_n будут протекать только токи тех разрядов, в которых значение цифры - единица. Если нагрузка R_n постоянна, то выходное напряжение $U_{\text{вых}}$ пропорционально входному коду. На практике для получения выходного напряжения, пропорционального входному коду, в качестве нагрузки используется операционный усилитель, играющий роль преобразователя тока в напряжение. Действительно в ОУ напряжение между входами равно нулю.

$$U_{\text{вых}} = J_y \cdot R_{\text{оос}}$$

Выходное напряжение в ОУ прямо пропорционально выходному току ЦАП и не зависит от сопротивления выходной нагрузки.

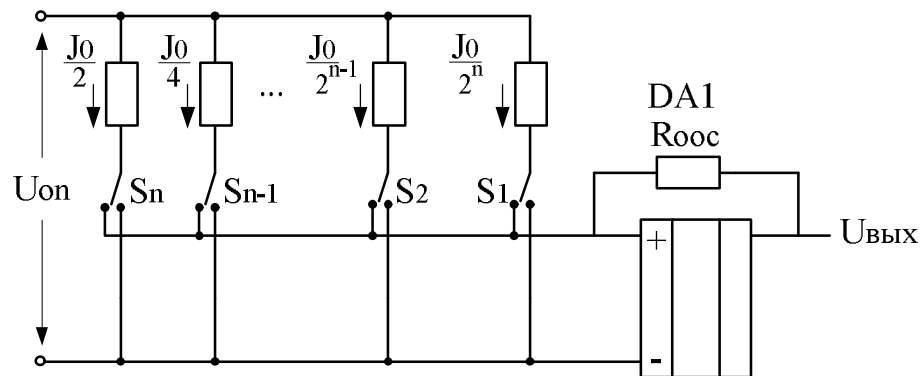
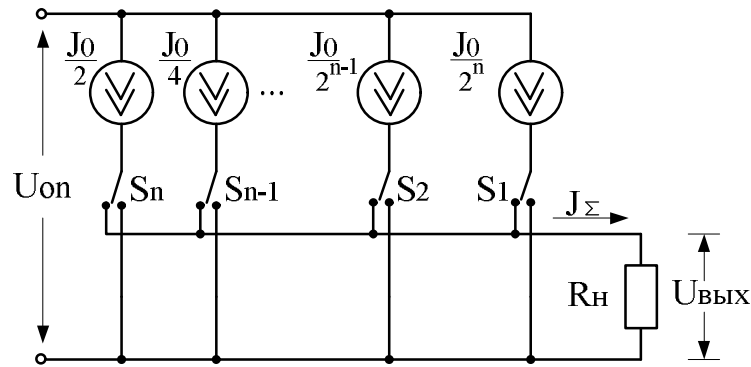


Рисунок 46 - Структурная схема ЦАП с суммированием токов (а) и ее реализация (б)

В современных ЦАП используются резистивные матрицы типа $R-2R$. Эти матрицы включают в себя резисторы двух номиналов R и $2R$ (рисунок 47).

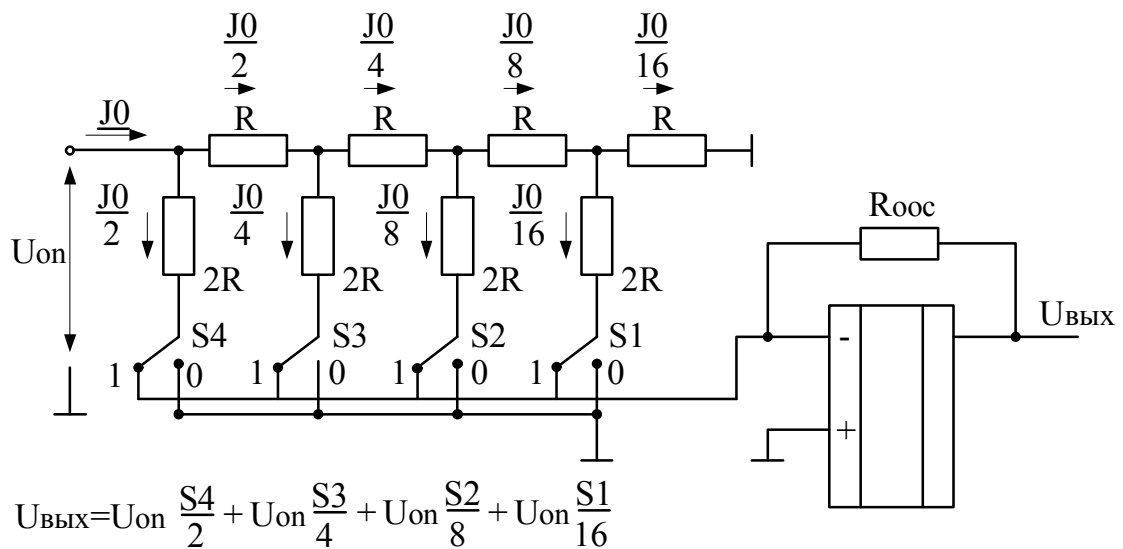


Рисунок 47 - ЦАП с матрицей $R-2R$

Для уменьшения погрешностей, возникающих из-за транзисторов токовых ключей, площади транзисторов выполняются пропорциональными протекаю-

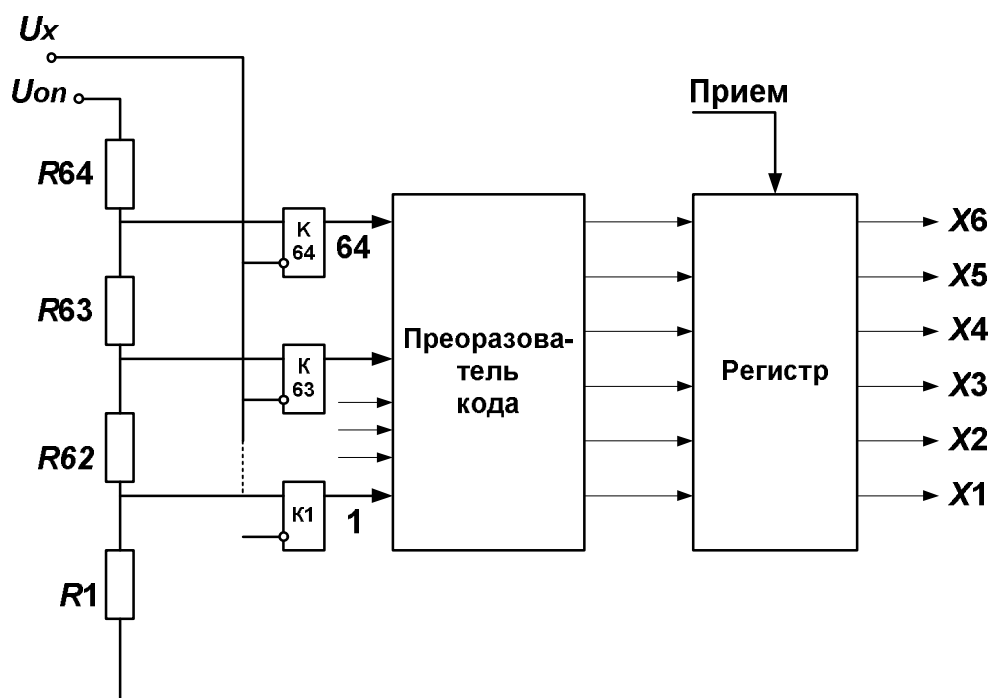


Рисунок 49 - Структурная схема параллельного АЦП (на базе микросхемы К1107ПВ1)

4.4 Таймеры

Таймером называется устройство, предназначенное для формирования импульсных сигналов с регулируемой длительностью и скважностью.

Таймеры делятся на две группы: одноктактные и многотактные.

Одноктактные таймеры применяются для формирования импульсов длительностью от 1 мксек до часа и более. Многотактные таймеры включают в себя одноктактный таймер и счетчик и предназначены для формирования временных интервалов длительностью в десятки часов.

Наиболее распространенным типом одноктактного таймера является ИС К1006ВИ1 (NE555) (рисунок 50).

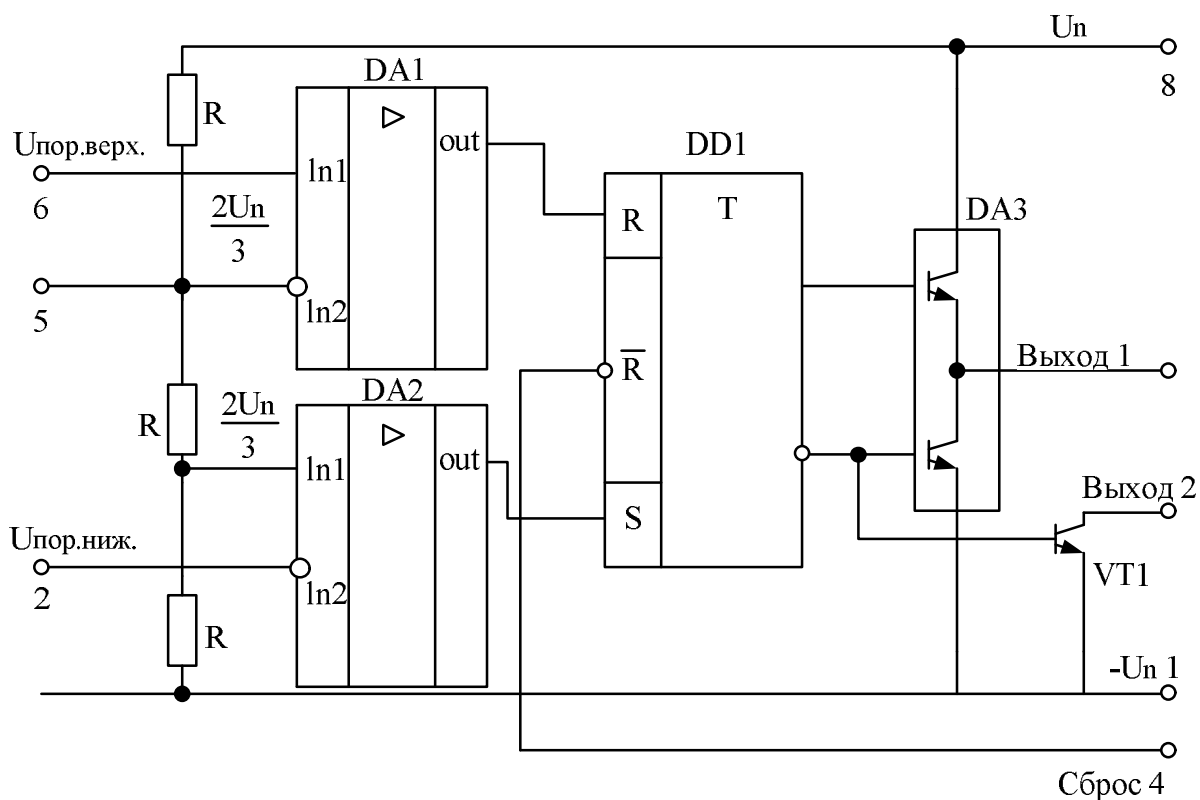


Рисунок 50 - Структурная схема одноканального таймера К1006ВИ1

Таймер состоит из четырех функциональных устройств: двух компараторов $DA1$ и $DA2$, RS -триггера $DD1$, усилителя мощности $DA3$. Внутренний резистивный делитель задает пороговые напряжения равные $2U_{\text{п}}/3$ для компаратора $DA1$ и $U_{\text{п}}/3$ для компаратора $DA2$. Напряжение питания $U_{\text{п}}=5\dots 16,5\text{В}$. потребляемый ток $I_{\text{п}}=0,7U_{\text{п}}$. Входные токи таймера не превышают $0,5\text{мкА}$. Максимальная частота 10МГц . Таймер имеет второй высокоомный выход 2.

Таймеры широко используются во многих импульсных устройствах [12].

4.5 Релейные и электронные коммутаторы

Коммутатор - электромеханическое, электронное или электронно-лучевое устройство (переключатель, выключатель, распределитель), обеспечивающее выбор требуемой выходной электрической цепи и соединения с ней входной цепи. Выбор производится вручную либо автоматически. Простейшие электромеханические коммутаторы - рубильники, наборы электромагнитных реле, электромеханические искатели.

Наиболее применяемые виды коммутаторов: релейные и электронные.

Релейные коммутаторы предназначены для коммутации внешних устройств, путем замыкания (размыкания) установленных в них реле.

Реле – техническое устройство для автоматической коммутации электрических цепей по сигналу извне; состоит из релейного элемента (с двумя состояниями устойчивого равновесия) и группы электрических контактов, которые замыкаются (или размыкаются) при изменении состояния релейного элемента. Различают реле тепловые, механические, электрические, оптические, акустические. Реле используются в системах автоматического управления, контроля, сигнализации, защиты, коммутации и т. д.

В релейном элементе при определенном значении (даже плавно изменяемой) входной величины энергии сигнала X выходная величина энергии (даже может быть и другого вида) Y принимает скачкообразно фиксированное число значений. Здесь имеется ввиду скачкообразное изменение Y не во времени, а в зависимости от величины X . Такая зависимость $Y = f(X)$ имеет форму петли (кусочно-линейная функция) и называется **релейной характеристикой**.

Релейный блок - это многоканальный переключатель, предназначенный для коммутации нагрузок любого типа.

Релейные коммутаторы имеют невысокую цену и ряд преимуществ:

- надежная гальваническая развязка между управляющими и выходными цепями;
- большая коммутируемая мощность;
- отсутствие тока утечки при разомкнутом контакте;
- возможность увеличения количества контактов.

Применение релейных коммутаторов ограничивается низкой частотой коммутации и сроком службы контактов.

Типовые схемы релейных коммутаторов приведены ниже (рисунок 51 и рисунок 52).

На рисунке 51 дана схема релейного коммутатора с прямым управлением.

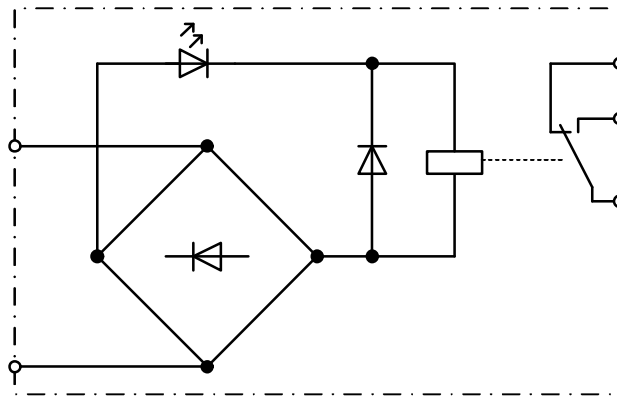


Рисунок 51 – Релейный коммутатор с прямым управлением

В данном случае (рисунок 54) релейная катушка питается управляющим сигналом.

Схема релейного коммутатора с усилительным входом представлена на рисунке 52.

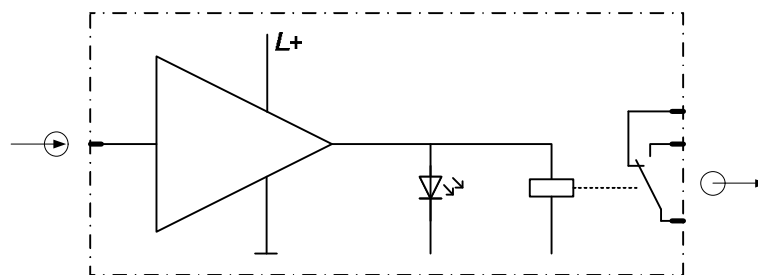


Рисунок 52 – Релейный коммутатор с усилительным входом

Коммутатор может управляться сигналами, которые не в состоянии активировать реле напрямую, без предварительного усиления. Требуется дополнительная подача питания (рисунок 52).

Электронные коммутаторы выполняются на транзисторах, чаще всего на биполярных и полевых. Схема основного элемента такого коммутатора – триггера на транзисторах - была рассмотрена в пункте 4.1.5 раздела 4 настоящего пособия. Эти коммутаторы не имеют недостатков, свойственных контактным коммутаторам: дребезга контактов, ограниченного срока службы, низкой частоты коммутации и ограниченной надежности переключения при малых мощностях. Электронные коммутаторы имеют широкий диапазон управляющих на-

пряжений. К недостаткам относится падение напряжения в выходной цепи во включенном состоянии и токи утечки в выключенном состоянии.

Подробное описание и расчет релейных и электронных коммутаторов можно найти в монографиях [16, 18].

5 Образец выполнения расчетной части курсового проекта. Расчет однополярного блока питания

Исходные данные

Спроектировать и рассчитать однополярный блок питания со следующими данными:

$U_H = 5(B)$ - требуемое напряжение нагрузки, $I_H^{\max} = 0.2(A)$ - максимальный ток нагрузки, $U_{BX} = 220(B)$ - входное напряжение блока питания, частота входного напряжения $f = 50(Гц)$, допустимое отклонение питающего напряжения $\alpha = 0.15$, т.е. $\pm 15\%$.

Выбор структурной схемы

Согласно ТЗ необходимо спроектировать маломощный блок питания, относящийся к вторичным источникам питания. Последние предназначены для получения напряжения, необходимого для непосредственного питания электронных и других устройств и получают энергию чаще всего от сети, что относится и к данному случаю.

Выбираем типичную структурную схему источника питания, получающего энергию от промышленной сети частотой 50 Гц (рисунок 53):

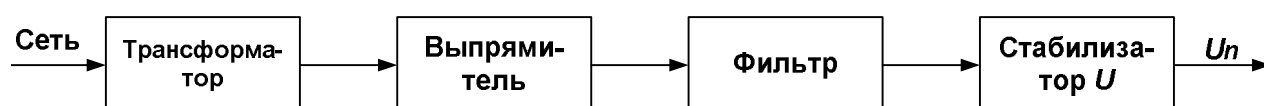


Рисунок 53 – Структурная схема блока питания

Трансформатор предназначен для гальванической развязки питающей сети и нагрузки и изменения уровня переменного напряжения, трансформатор выбираем понижающий. Выпрямитель преобразует переменное напряжение в напряжение одной полярности (пульсирующее). Сглаживающий фильтр будет уменьшать пульсации напряжения на выходе выпрямителя. Стабилизатор необходим для уменьшения изменения напряжения на нагрузке, вызванные изменением напряжения сети и изменением тока, потребляемого нагрузкой (в на-

шем случае задано допустимое отклонение питающего напряжения от номинального значения в пределах 15%).

Выбор принципиальной схемы и расчет параметров

Переходим к компоновке принципиальной схемы однополярного блока питания, используя элементную базу радиоэлектронной аппаратуры. В соответствии со структурной схемой проектируемого устройства составляем схему стабилизатора напряжения на базе интегральной микросхемы $DA1$, двухполупериодного мостового выпрямителя $VD1$, сглаживающего конденсатора $C1$ и понижающего сетевого трансформатора $T1$ (рисунок 54, где U_I -напряжение первичной обмотки, U_{II} -напряжение вторичной обмотки, U_{VD1} -падение напряжения на диодном мосте, U_{C1} -напряжение на конденсаторе $C1$, U_{DA1} -падение напряжение на микросхеме $DA1$).

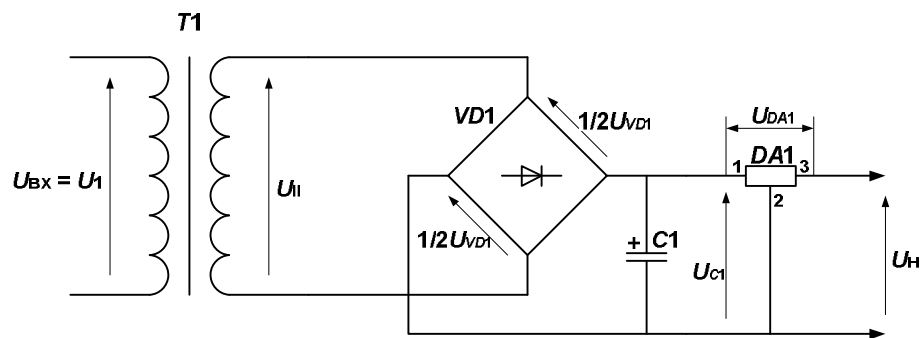


Рисунок 54

1. Выбираем микросхему стабилизатора $DA1$

Характеристики данной микросхемы должны удовлетворять следующим условиям:

$$U_{DA1}^{ВЫХ} = U_H \quad (46)$$

$$I_{DA1}^{max} \leq I_H^{max} \quad (47)$$

Выбираем в качестве $DA1$ микросхему типа КР142ЕН5А, которая обладает следующими параметрами [23]:

	Ед. изм.	Значение
Выходное напряжение микросхемы (фиксированное)	В	5

Предельный ток нагрузки	А	2
Разность напряжений вход-выход	В	2,5
Предельная рассеиваемая мощность (без радиатора)	Вт	2
Максимальное входное напряжение	В	15

Данная микросхема удовлетворяет условию(46): $5(\text{В}) = 5(\text{В})$ и условию (47): $2(\text{А}) \geq 0,2(\text{А})$.

2. Рассчитываем минимально необходимую величину постоянного напряжения U_C , которая требуется для работы $DA1$.

$$U_{C1(\text{пост.})}^{\min} = U_H + U_{DA1}^{\min} = U_H + U_{\text{вх-вых}} = 5 + 2.5 = 7.5(\text{В})$$

Таким образом, напряжение на конденсаторе $C1$ никогда не должно падать ниже уровня $7.5(\text{В})$.

3. Рассчитываем емкость конденсатора $C1$

Напряжение на конденсаторе $C1$ имеет вид (рисунок 55).

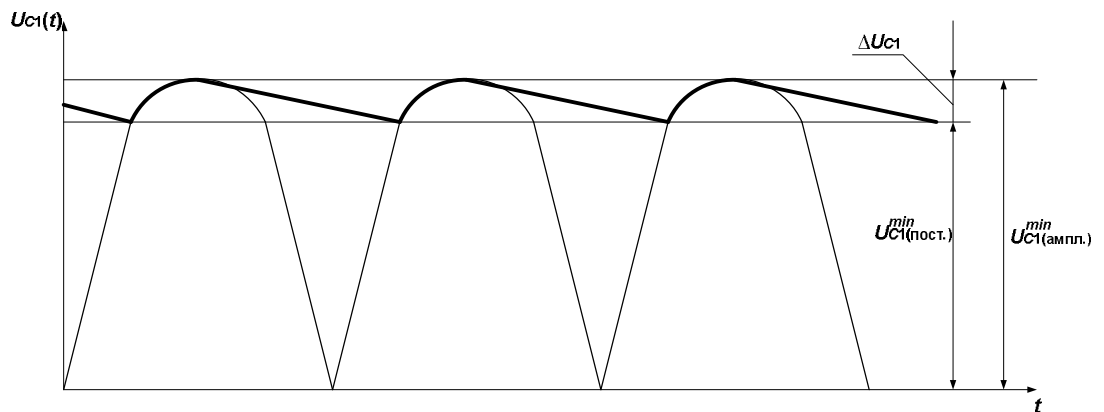


Рисунок 55

Пусть $\Delta U_C = 1(\text{В})$. Конденсатор $C1$ можно рассчитать по следующей формуле

$$C1 = \frac{I_H^{\max}}{2\Delta U_C f}, \quad (49)$$

Формула (49) справедлива только для двухтактной схемы выпрямления.

$$C1 = \frac{0.2}{2 \times 1 \times 50} = 2000(\text{мкФ}),$$

При этом минимально необходимое амплитудное значение напряжение на конденсаторе U_{C1} составит:

$$U_{C1(\text{ампл.})}^{\min} = U_{C1(\text{пост.})}^{\min} + \Delta U_{C1} \quad 7.5 + 1 = 8.5(\text{В}),$$

4. Рассчитываем минимальное амплитудное значение напряжения вторичной обмотки трансформатора $T1$:

$$U_{II(\text{ампл.})}^{\min} = U_{C1(\text{ампл.})}^{\min} + U_{VD1} \quad 8.5 + 1.4 \gg 10(\text{В}),$$

где $U_{VD1} = 1.4(\text{В})$ - падение напряжения на диодном мосте $VD1$, оно рассчитывается как сумма падения напряжений на двух открытых диодах и равна $0.7 \cdot 2 = 1.4(\text{В})$.

5. Рассчитываем минимальное действующее значение на вторичной обмотке

$$U_{II(\text{действ.})}^{\min} = \frac{U_{II(\text{ампл.})}^{\min}}{\sqrt{2}} = \frac{10}{\sqrt{2}} \gg 7.1(\text{В}),$$

6. Рассчитываем номинальное действующее значение напряжения на вторичной обмотке, т.е. при $U_{\text{ex}} = 220(\text{В})$:

$$U_{II(\text{действ.})}^{\text{ном}} = U_{II(\text{действ.})}^{\min} (1 + \delta) \quad 7.1(1 + 0.15) \gg 8.2(\text{В}),$$

Выбор трансформатора $T1$.

В данной схеме к трансформатору предъявляются следующие требования:

$$U_{II(\text{действ.})}^{T1} \geq U_{II(\text{действ.})}^{\text{ном}}, \quad (55)$$

$$I_{II}^{\max} \leq I_{II}^{\max}, \quad (56)$$

Выбираем трансформатор $T1$ типа ТПК2-9 обладающий следующими характеристиками [24]:

	Ед. изм.	Значение
Выходное напряжение	В	9
Допустимый ток нагрузки	А	0,28
Мощность	Вт	2

Для трансформатора выбранного типа условия (55) и (56) выполняются: $9(\text{В}) \geq 8.2(\text{В})$, $0.28(\text{А}) \leq 0.2(\text{А})$.

С учетом параметров выбранного трансформатора рассчитываем максимальное амплитудное значение напряжения на конденсаторе $C1$:

$$U_{C(\text{ампл.})}^{\max} = \sqrt{2} \times U_{II(\text{действ.})}^{\text{НОМ}} (1 + \delta) - U_{VD1} = \sqrt{2} \times 9(1 + 0.15) - 1.4 = 13.2(\text{В}),$$

Напряжение $U_{C(\text{ампл.})}^{\max}$ не превышает 15(В) – максимально возможного входного напряжения стабилизатора $DA1$. Кроме того, зная точно $U_{C(\text{ампл.})}^{\max}$, определяем тип конденсатора $C1$: выбираем электролитический конденсатор марки К50-6 [25], максимальное напряжение 16(В), емкость 2000(мкФ).

7. Рассчитываем мощность, выделяемую на микросхеме $DA1$:

$$P_{DA1} = (U_{C(\text{ампл.})}^{\max} - U_{H}^{\max}) I_{H}^{\max} = (13.2 - 5) \times 0.2 = 1.64(\text{Вт}),$$

Мощность P_{DA1} не превышает предельного для выбранного типа микросхемы значения – 2(Вт).

8. Выбор диодного моста $VD1$.

Данный диодный мост должен удовлетворять следующим условиям:

$$\text{обратное напряжение моста} > U_{II(\text{ампл.})}^{\max}$$

$$\text{средний выпрямленный ток моста} > I_{H}^{\max}$$

Выбираем диодный мост типа КЦ405Е [26]: обратное напряжение 100(В), средний выпрямленный ток 1(А). Очевидно, что условия выполняются:

$$U_{II(\text{ампл.})}^{\max} = \sqrt{2} \times U_{II(\text{действ.})}^{\text{НОМ}} (1 + \delta) = \sqrt{2} \times 9 \times (1 + 0.15) = 14.6(\text{В}),$$

$$100(\text{В}) \gg 14.6(\text{В})$$

$$1(\text{А}) > 0.2(\text{А})$$

Библиографический список

1 СТО ТПУ 2.5.01-2006 «Система образовательных стандартов. Работы выпускные квалификационные, проекты и работы курсовые. Структура и правила оформления» Утвержден и введен в действие Приказом ректора от 12.04.06 № 22/од

2 ГОСТ 2.105-95 Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам

3 ГОСТ 7.1-2003 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Библиографическое описание

4 ГОСТ 7.82 -2001 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Библиографическое описание электронных ресурсов

5 ГОСТ 2.301- 68 Единая система конструкторской документации. Форматы

6 ГОСТ 2.701- 84 Единая система конструкторской документации. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению

7 ГОСТ 2.797 – 81 Единая система конструкторской документации. Обозначения условные графические в схемах

8 ГОСТ 2.702 - 75 Единая система конструкторской документации. Правила выполнения электрических схем

9 ГОСТ 2.709 - 89 Единая система конструкторской документации. Обозначения условные проводов и контактных соединений электрических элементов, оборудования и участков цепей в электрических схемах

10 ГОСТ 8.417 – 2002 Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин

11 Кучумов А.И. Электроника и схемотехника: Учебное пособие, М., ГЕЛИОС АРВ, 2002 – 304 с

12 Лаврентьев Б.Ф. Аналоговая и цифровая электроника: Учебное пособие. — Йошкар-Ола: МарГТУ , 2000 — 155 с

- 13 Проектирование усилительных устройств: Учеб. пособие/ Ефимов В.В. и др.; под ред. Н.В. Терпугова. - М.: Высш. шк., 1982. - 190с.
- 14 Войшвилло Г.В. Усилительные устройства. -М.: Радио и связь. 1983.- 264с.
- 15 Мамонкин И.Г. Усилительные устройства. -М.:Связь.1977.-359с.
- 16 Волович Г.И. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств, М, Додэка-XXI, 2005 – 528 с.
- 17 Пейтон А. Дж., Волш В. Аналоговая электроника на операционных усилителях -М.: БИНОМ, 1994.-352 с.
- 18 Галкин В.И., Пелевин Е.В. Промышленная электроника и микроэлектроника. – Минск, 2000 - 115 с
- 19 Лачин В.И., Савёлов Н.С. Электроника: учеб.пособие, Ростов н/Д, Феникс, 2007 – 703 с
- 20 Преображенский В.И. Полупроводниковые выпрямители, М, Энергоиздат, 1986 – 48 с
- 21 Горобец А.И. и др. Справочник по конструированию радиоэлектронной аппаратуры, К, Техніка, 1985 – 312 с
- 22 Калабеков Б.А. Цифровые устройства и микропроцессорные системы: Учебник для техникумов связи. – 2-е – изд. – М.: «Радио и связь», 1997. – 338 с.
- 23 Интегральные микросхемы: Микросхемы для линейных источников питания и их применение. Издание второе, исправленное и дополненное. – М. ДОДЭКА, 1998. – 400с.
- 24 L:\Методички\Кафедра 24 \Эл_техн_Эл_ника(КП)\ Электропитание\ Трансформаторы\ТП.pdf
- 25 Справочник по электрическим конденсаторам/под общ. редакцией И.И.Четверткова и В.Ф.Смирнова.-М.: "Радио и связь", 1983.
- 26 Хрулев А.К., Черепанов В.П. Диоды и их зарубежные аналоги: Справочник. В трех томах. Том 1. – М.:ИП Радиософт, 1998. – 640с.

Список рекомендуемой литературы

1. Алексенко А.Г. и др. Применение прецизионных аналоговых микросхем / А.Г. Алексенко, Е.А. Коломбет, Г.И. Стародуб. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1985. – 256 с.
2. Аналоговая и цифровая электроника (Полный курс): Учебник для вузов/Ю.Ф. Осадчий, О.П. Глудкин, А.И. Гуров: Под ред. О.П. Глудкина. М.:Горячая Линия-Телеком, 2005.-768 с
3. Войшвилло Г.В. Усилительные устройства. -М.: Радио и связь. 1983.-264с.
4. Волович Г.И. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств. – М: Издательский дом «Додэка – XXI», 2005. –528 с.
5. Воробьев Н.И. Проектирование электронных устройств.- М.: Высшая школа , 1989. – 223 с.
6. Галкин В.И., Пелевин Е.В. Промышленная электроника и микроэлектроника. – Минск, 2000 - 115 с
7. Горбачев Г.Н., Чаплыгин Е.В. Промышленная электроника." М.: "Энерго-атомиздат", 1988,- 320 с.
8. Горобец А.И. и др. Справочник по конструированию радиоэлектронной аппаратуры, К, Техніка, 1985 – 312 с
9. Грумбина А.Б. Электрические машины и источники питания радиоэлектронных устройств: учебник / А.Б. Грумбина. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 366 с.
10. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. Спц. вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1991. – 622 с.
11. Жеребцов И. П. Основы электроники. – 5-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1989.-352 с.
12. Забродин Ю.С. Промышленная электроника. - М.: Высш. шк., 1982.- 496с.

13. Игумнов Д.В., Костюнина Г.П. Полупроводниковые устройства непрерывного действия. – М.: Радио и связь, 1990. – 256 с.
14. Изерман, Р. Цифровые системы управления : пер. с англ. / Р. Изерман. — М.: Мир, 1984. — 541 с.
15. Калабеков Б.А. Цифровые устройства и микропроцессорные системы: Учебник для техникумов связи. – 2-е – изд. – М.: «Радио и связь», 1997. – 338 с.
16. Кучумов А.И. Электроника и схемотехника: Учебное пособие.—, М.: ГЕЛИОС АРВ, 2002. — 304 с.
17. Лаврентьев Б.Ф. Аналоговая и цифровая электроника: Учебное пособие. — Йошкар-Ола: МарГТУ , 2000 — 155 с
18. Лачин В.И., Савёлов Н.С. Электроника: учеб.пособие /В.И.Лачин, Н.С.Савёлов. — Изд. 6-е, перераб. и доп. — Ростов н/Д: Феникс, 2007.— 703 с.
19. Лысенко Е.В. Функциональные элементы релейных устройств на интегральных микросхемах / Е.В. Лысенко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 192 с.
20. Мамонкин И.Г. Усилительные устройства. -М.:Связь.1977.-359с.
21. МИКРОКОНВЕРТОРЫ ADUC ОТ ФИРМЫ «ANALOG DEVICES» [Электронный ресурс]: Analog Device — Режим доступа: L:\Study\ЭЛЕКТРОНИКА_КП\Контроллеры\Analog Device\Основные направления поставок.htm, свободный.
22. МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ СЕМЕЙСТВА MSC-51 [Электронный ресурс]: Atmel —Режим доступа: L:\Study\ЭЛЕКТРОНИКА_КП\Контроллеры\Atmel\Основные направления поставок.htm, свободный.
23. Новиков Ю.В. Основы цифровой схемотехники. Базовые элементы и схемы. Методы проектирования. — М.: Мир, 2001. —379 с.
24. Ногин Б.А.,Бутков П.П. Аналоговые электронные устройства:Учеб.посо-бие для вузов.-М.:Радиои связь,1992.-304с.

25. Основы промышленной электроники: Учеб. для неэлектротехнических спец. вузов / В.Г. Герасимов, О.М. Князьков, А.Е. Краснопольский, В.В. Сухоруков; Под ред. В.Г. Герасимова. - М.: Высш. шк.,- 1986. - 336 с.
26. Павлов В.Н., Ногин В.Н. Схемотехника аналоговых электронных устройств : Учебник для вузов-2-е издание, исправ. -М.: Горячая линия-Телеком, 2001.-320с.
27. Пейтон А. Дж., Волш В. Аналоговая электроника на операционных усилителях -М.: БИНОМ, 1994.-352 с.
28. Преображенский В.И. Полупроводниковые выпрямители, М, Энергоиздат, 1986 – 48 с
29. Проектирование усилительных устройств: Учебное пособие/ Ефимов В.В. и др.; под ред. Н.В. Терпугова. - М.: Высш. шк., 1982. - 190с.
30. Сташин В. В. Проектирование цифровых устройств на однокристалльных микроконтроллерах / В. В. Сташин, А. В. Урусов, О. Ф. Мологонцева. — М.: Энергоатомиздат, 1990. — 224 с.
31. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника: Справочное руководство: Пер. с нем.-М.: Мир, 1982.-512с.
32. Уваров А. С. P-CAD. Проектирование и конструирование электронных устройств / А. С. Уваров. — СПб. : Горячая линия-Телеком, 2004. — 760 с.
33. Федорков Б.Г. Микросхемы ЦАП и АЦП: функционирование, параметры, применение / Б.Г. Федорков, В.А. Телец. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 320 с.
34. Федосеева Е.О., Федосеева Г.П. Основы электроники и микроэлектроники, М.: Искусство, 1990. – 240 с.
35. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. Пер. с англ.5-е изд.перераб. – М.: Мир, 1998. – 704 с.
36. Юферов Ф.М. Электрические машины автоматических устройств: учебное пособие / Ф.М. Юферов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1988. – 479 с.

37. СТО ТПУ 2.5.01-2006 «Система образовательных стандартов. Работы выпускные квалификационные, проекты и работы курсовые. Структура и правила оформления» Утвержден и введен в действие Приказом ректора от 12.04.06 № 22/од
38. ГОСТ 2.105-95 Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам
39. ГОСТ 7.1-2003 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Библиографическое описание
40. ГОСТ 7.82 -2001 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Библиографическое описание электронных ресурсов
41. ГОСТ 2.301- 68 Единая система конструкторской документации. Форматы
42. ГОСТ 2.701- 84 Единая система конструкторской документации. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению
43. ГОСТ 2.797 – 81 Единая система конструкторской документации. Обозначения условные графические в схемах
44. ГОСТ 2.702 - 75 Единая система конструкторской документации. Правила выполнения электрических схем
45. ГОСТ 2.709 - 89 Единая система конструкторской документации. Обозначения условные проводов и контактных соединений электрических элементов, оборудования и участков цепей в электрических схемах
46. ГОСТ 8.417 – 2002 Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин
47. Цифровые и аналоговые интегральные микросхемы: Справочник / Под ред. С. В. Якубовского. – М.: Радио и связь, 1990. – 496 с.
48. Электротехнический справочник: В 3т. Т.2. Электротехнические изделия и устройства.- М.: Энергоатомиздат, 1986.- 712 с.

Учебные пособия:

1 Удут Л.С. Проектирование автоматизированных тиристорных электроприводов постоянного тока: учебное пособие по курсовому проектированию / Л. С. Удут, О.П. Мальцева, Н.В. Кояин; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во ТПИ, 1991. — 104 с.: ил.

2 Хорьков К.А. Электромеханические системы. Элементы энергетического канала: учебное пособие / К.А. Хорьков, А.К. Хорьков; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во ТПУ, 1999. – 337 с.

3 Горюнов А.Г., Ливенцов С.Н. Система команд микропроцессора [Электронный ресурс]: Учебное пособие к выполнению лабораторной работы по дисциплине «Микропроцессорная техника» и курсового проекта по дисциплине «Электроника и микроэлектроника» для студентов ФТФ специальности 200600. — Томск, 2004. — Режим доступа: L:\Study\МПТ\Лаб_Работы\LAB3.doc, свободный.

4 Горюнов А.Г., Ливенцов С.Н. Интерфейсы микропроцессорных систем [Электронный ресурс]: Учебное пособие к выполнению лабораторной работы по дисциплине «Микропроцессорная техника» и курсового проекта по дисциплине «Электроника и микроэлектроника» для студентов ФТФ специальности 200600. — Томск, 2004. — Режим доступа: L:\Study\МПТ\Лаб_Работы\LAB4.doc, свободный.

5 Горюнов А.Г., Ливенцов С.Н. Реализация ввода и вывода сигналов в реальном масштабе времени [Электронный ресурс]: Учебное пособие к выполнению лабораторной работы по дисциплине «Микропроцессорная техника» и курсового проекта по дисциплине «Электроника и микроэлектроника» для студентов ФТФ специальности 200600. — Томск, 2004. — Режим доступа: L:\Study\МПТ\Лаб_Работы\LAB5.doc, свободный.

6 Лопаткин А. В. P-CAD 2004 : наиболее полное руководство / А. Лопаткин. — СПб.: БХВ-Петербург, 2006. — 545 с.

7 Слащев И. В. Конструирование печатных плат. Создание конструкторской документации: учебное пособие / И. В. Слащев; Томский политехнический университет. — Томск: Изд-во ТПУ, 2006. — 172 с

8 Ливенцов С.Н., Ливенцова Н.В. Цифровое моделирование параметрически оптимизируемых П, ПИ, ПИД-регуляторов с использованием метода дискретно-аналогового моделирования [Электронный ресурс]: Методические указания для выполнения лабораторной работы №2 по курсу “Цифровые системы управления”. — Томск, 2005. — Режим доступа: L:\Study\ЦСУ\ЦСУлб2.doc, свободный.

9 Интерфейс RS-232 [Электронный ресурс]. — Mega-Milas, 2003. — Режим доступа: L:\Study\Микроконтроллеры\Интерфейсы\RS232.htm, свободный.

10 Интерфейс RS-485 [Электронный ресурс]. — Mega-Milas, 2003. — Режим доступа: L:\Study\Микроконтроллеры\Интерфейсы\RS485.htm, свободный.

Приложение А

Форма титульного листа курсового проекта

Наименование ведомства, в систему которого входит вуз - строчными буквами кроме первой прописной	
Наименование вуза - прописными буквами	
Наименование факультета - _____	
Наименование направления (специальности) -	
Наименование выпускающей кафедры - строчными буквами кроме первой прописной	
Тема работы - прописными буквами	
Наименование текстового документа работы - строчными буквами кроме первой прописной	
Обозначение (при наличии)	
Студент, группа	(подпись) И.О.Фамилия
Руководитель	(должность, ученая степень, звание) (подпись) И.О.Фамилия
	(дата)
Город –20 __	

Приложение Б

Пример оформления титульного листа

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет - Факультет естественных наук и математики
Направление (специальность) - материаловедение и технология новых материалов
Кафедра - электроника и автоматика физических установок

РАСЧЕТ ГЕНЕРАТОРА ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ИМПУЛЬСОВ

Курсовой проект
по дисциплине «Электротехника и электроника»

Студент гр. _____ Г. И Ветров
(номер группы) (подпись)

Руководитель _____ П. А. Лапин
доцент, канд. техн наук (подпись)

(дата) _____

Томск - 2008

Приложение В

Форма задания на выполнение курсового проекта
Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра _____

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой _____ (И.О.Ф.)
(Подпись, дата)

ЗАДАНИЕ

на выполнение курсового проекта по дисциплине «Электротехника и электроника»

Студенту гр. _____
(номер группы) (Фамилия, имя, отчество)

1 Тема курсового проекта

_____ (утверждена распоряжением декана от ____ № ____)

2 Срок сдачи студентом готового проекта _____

3 Исходные данные к проекту _____

4 Содержание текстового документа (перечень подлежащих разработке вопросов)

5 Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

5.1

6 Дата выдачи задания на выполнение курсового проекта

Руководитель _____ (И.О.Ф.)
(подпись, дата)

Задание принял к исполнению
_____ (И.О.Ф.)
(подпись, дата)

Приложение Г

Пример оформления содержания

Содержание

	С.
Введение	5
1 Технические характеристики датчика электромагнитных колебаний	6
2 Выбор и обоснование принципа построения датчиков электромагнитных колебаний	9
2.1 Классификация датчиков электромагнитных колебаний	9
2.2 Пути повышения точности датчиков частоты	14
3 Разработка функциональной схемы датчика электромагнитных колебаний	17
3.1 Электронный датчик электромагнитных колебаний	17
3.2 Описание и обоснование метода измерения высокочастотных электромагнитных колебаний с помощью электронного датчика	31
4 Техничко-экономическое обоснование	35
Заключение	41
Список использованных источников	43
Приложение А Методика расчета надежности	45
Приложение Б ФЮРА. 424121.001 РЭ Блок питания. Руководство по эксплуатации.	46
Приложение В Development of a function chart of the sensor, of electromagnetic fluctuations Part 3 (<i>Изм.№1</i>)	47
ФЮРА. 424121.001 ЭЗ Блок питания. Схема электрическая принципиальная	49
ФЮРА. 424121.001 ПЭЗ Блок питания. Перечень элементов	50
Дискета 3,5 " :	В конверте на обороте обложки
ФЮРА. 424121.001 Блок питания. Сборочный чертеж. Файл blok.pkd в формате PCAD 8.5	
ФЮРА. 424121.001 Плата. Файл blok.pob в формате PCAD 8.5	
Графический материал:	На отдельных листах
ФЮРА. 424121.001 Э1 Блок питания. Схема структурная.	
ФЮРА. 424121.001 ВО Блок питания. Чертеж общего вида.	
ФЮРА. 424121.001 ПЗ Блок питания. Диаграммы временные	

Приложение Д

Список использованных источников

- 1 Булавин И. А. Теплотехника в производстве фарфора и фаянса. - М: Легкая индустрия, 1989. – 440 с.
- 2 Теоретические основы электротехники / Л. Р. Нейман, Н. С. Демирчяк, Л. А. Тимохин и др. - М: Высшая школа, 1990. - 125 с.
- 3 Справочник по электроизмерительным приборам.- Л.: Энергоатомиздат, 1983-732 с.
- 4 Свинолулов Ю. Г., Войтко В. П., Степаненко Н. М. и др. Автоматизация поверки стрелочных измерительных приборов // Проблемы метрологии: Сборник. -Томск: Изд-во ТПИ, 1985. - С. 137-147.
- 5 Алешин Н. Н. Оптико-телевизионная система считывания показаний стрелочных приборов // Изв. вузов. Сер. Приборостроение. - 1987. - №2. - С.3-5.
- 6 Иесперса П., Ванде Вилле Ф., Цайга М./ Пер с англ.; Под ред..А. Суржа. -М.:Мир,1977.-372 с.
- 7 Измерения и техника измерения: Сб. статей/ Под ред. С. Ройтмана, Томский политехнический институт. - Томск: 1983. – 103 с.
- 8 Гаврилов А. М. Методическое обеспечение вопросов стандартизации в курсовом проектировании // Стандартизация в учебном процессе вузов: Межвуз. сб. научных трудов. - М.: ВЗМИ, 1984. - С. 54-56.
- 9 А.с. 137418 СССР, МКИ³ В 25 J K7/16. Устройство для автоматической поверки электроизмерительных приборов / В.Н.Чинков и др. - №3631077/24-10: заяв. 5.08.83; опубл. 10.07.85, Бюл. №12. - 4 с.
- 10 Преобразователь тока в частоту следования импульсов: а. с. 196092 СССР: МКИ³ В 25 J 15/00 / А. С. Андреев, В. И. Смирнов - заяв. 23.07.81; опубл. 03.01.83, Бюл. №12. – 3 с.
- 11 Сталь высококачественная. Сортовой и фасонный прокат: Сборник стандартов. - М.: Изд-во стандартов, 1973. - 79 с.
- 12 ГОСТ 7.1-2003 Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие правила составления. - М.: ИПК Изд-во стандартов, 2004. - 48 с.

13 Хохлов Ю. А. Автоматические установки для градуировки и поверки электроизмерительных приборов / ЦНИИ ТЭИ. - М., 1983.-84 с. - Деп. в ВИНТИ 3.10.84, №2572.

14 Кучеров А. Б. Попеременно-треугольный интеграционный метод решения разностных управлений: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. – М., 1979. - 10 с.

15 Проведение испытаний и исследование теплотехнических свойств камер КХ-2-12-ВЗ и КХ-2-12-ВЗБ: отчет о НИР (промежуточ.)/ Всесоюзный заочный институт пищевой промышленности (ВЗИПП); рук. Шавра В. М.; исп.:Алешин Г.П.- М., 1981.- 90 с. – № ГР 80057138.– Инв. №Б119699

16 Букреев В.Г., Гусев Н.В. Обзор методов интерполяции дискретных траекторий движения электромеханических систем // Промышленная энергетика [Электронный ресурс]. - 2004.- Режим доступа: <http://www.energy-journals.ru>. – Загл. с экрана.

17 Букреев В.Г., Гусев Н.В. Обзор методов интерполяции дискретных траекторий движения электромеханических систем // Промышленная энергетика [Электронный ресурс].- 2004.- 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).- Загл. с этикетки диска.

18 European Association for Quality Assurance in Higher Education. [Электронный ресурс].- Режим доступа: <http://www.enqa.net>, свободный. – Загл. с экрана.

19 Цветков, Виктор Яковлевич. Компьютерная графика: рабочая программа [Электронный ресурс]: для студентов заоч. формы обучения геодез. и др. специальностей / В.Я. Цветков. - Электрон. дан. и прогр. - М.: МИИГАиК, 1999. - 1 дискета. - Систем. требования: IBM PC, Windows 95, Word 6.0. - Загл. с экрана. - N гос. регистрации 0329900020.

20 Электронный каталог ГПНТБ России [Электронный ресурс] : база данных содержит сведения о всех видах лит., поступающей в фонд ГПНТБ России - Электрон. дан. (5 файлов, 178 тыс. записей). - М., [199-]. - Режим доступа: <http://www.gpntb.ru/win/search/hclp/el-cat.html>. - Загл. с экрана.

В авторской редакции

Подписано в печать Формат Бумага офсетная

Гарнитура . Усл. печ. л. Уч.-изд. л.

Тираж экз. Заказ №

Типография Томского политехнического университета

Адрес университета: 634050, Томск, пр. Ленина, 30