

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса»
(ГОУ ВПО «ЮРГУЭС»)

*В.В. Семёнов, Ю.Б. Ханжонков,
А.Н. Берёза, Н.Н. Никуличев*

АТТЕСТАЦИОННО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА СТУДЕНТА

Методические указания

к выполнению курсового проекта для студентов 4 курса
очной и заочной форм обучения направлений
210300 (552500) «Радиотехника»,
210400.62 (550400) «Телекоммуникации»,
специальностей 210302.65 (200700) «Радиотехника»,
210303.65 (201500) «Бытовая радиоэлектронная аппаратура»



ШАХТЫ
ГОУ ВПО «ЮРГУЭС»
2010

УДК 621.37 (07)
ББК 32.84я73
С302

*Рекомендованы к внутривузовскому изданию
редакционно-издательским советом ЮРГУЭС*

Рецензенты:

д.т.н., профессор кафедры «Информационные технологии в сервисе»
РАС (филиал) ГОУ ВПО «ЮРГУЭС»

Д.А. Безуглов

к.т.н., доцент кафедры «Информационные системы и радиотехника»
ГОУ ВПО «ЮРГУЭС»

В.Г. Манжула

Семёнов, В.В.

С302 **Аттестационно-исследовательская работа студента : методические указания / В.В. Семёнов, Ю.Б. Ханжонков, А.Н. Берёза, Н.Н. Никуличев. – Шахты : ГОУ ВПО «ЮРГУЭС», 2010. – 58 с.**

Данная методическая разработка предназначена для студентов 4 курса очной и заочной форм обучения направлений 210300 (552500) «Радиотехника», 210400.62 (550400) «Телекоммуникации», специальностей 210302.65 (200700) «Радиотехника», 210303.65 (201500) «Бытовая радиоэлектронная аппаратура» и содержит информацию о порядке выполнения курсового проекта по дисциплине «Аттестационно-исследовательская работа студента».

УДК 621.37 (07)
ББК 32.84я73

**Режим доступа к электронному аналогу печатного издания:
<http://www.libdb.sssu.ru>**

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	4
1. Техническое задание на курсовой проект	4
2. Тематика проектов	6
3. Стадии разработки курсового проекта.....	7
4. Состав курсового проекта.....	10
4.1. Литературный и патентный обзор	10
4.2. Анализ технического задания	13
4.3. Разработка структурной схемы	14
4.4. Использование программ Matlab Simulink и SystemVue для синтеза и анализа структурной схемы	16
4.5. Выбор элементной базы, разработка электрической принципиальной схемы.....	32
4.6. Электрические расчёты электрической принципиальной схемы, окончательный подбор электрорадиоэлементов	34
4.7. Моделирование работы электронных схем в программах Proteus и Multisim	43
5. Оформление курсового проекта	48
6. Рекомендации по защите курсового проекта.....	51
Библиографический список.....	52
Приложение А. Календарный план выполнения курсового проекта.....	54
Приложение Б. Пример оформления структурной схемы	55
Приложение В. Пример оформления принципиальной схемы	56
Приложение Г. Пример оформления перечня элементов	57

ПРЕДИСЛОВИЕ

Самостоятельная разработка курсового проекта по дисциплине «Аттестационно-исследовательская работа студента» (АИРС) подготавливает студента к успешному выполнению дипломного проекта и является важным этапом в формировании специалиста в области радиоэлектроники и телекоммуникаций.

Работа над курсовым проектом предоставляет студенту следующие основные возможности:

- познакомиться с организацией и основными этапами проектирования радиоэлектронной и телекоммуникационной аппаратуры;
- усвоить основные понятия и термины, относящиеся к проектированию радиоэлектронной и телекоммуникационной аппаратуры;
- научиться анализировать техническое задание (ТЗ) на проектирование, составлять структурную и функциональную схемы, а на их основе создавать рациональную принципиальную схему электронного устройства;
- закрепить и углубить знание методов расчёта электронных цепей (ЭЦ);
- познакомиться с элементной базой радиоэлектронной и телекоммуникационной аппаратуры;
- получить навыки поиска научно-технической литературы и работы с ней, правильного составления и оформления конструкторской документации.

Работая над курсовым проектом, студент решает творческие задачи и оформляет конструкторские документы, которые присущи стадиям технического предложения и эскизного проекта.

Увлечённая творческая работа над проектом значительно расширяет кругозор студента, систематизирует, углубляет и расширяет его знания в области электроники и телекоммуникаций, создаёт у него уверенность в своих способностях.

1. ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

Процесс разработки любого нового изделия расчлениют на два этапа: научно-исследовательская работа (НИР) и опытно-конструкторская работа (ОКР) (рис. 1.1). На этапе НИР выявляется принципиальная возмож-

ность создания изделия. При положительном результате НИР заканчивается разработкой технического задания (ТЗ). ТЗ – это исходный документ, устанавливающий основное назначение, технические и тактико-технические характеристики, показатели качества и технико-экономические требования, предъявляемые к изделию. Оно определяет также выполнение необходимых стадий разработки конструкторской документации, её состав и специальные требования к изделию. ТЗ на промышленную разработку электронного устройства представляет собой объёмистый документ, содержащий ряд разделов, включающих в совокупности десятки показателей, характеристик, требований и т.п.



Рис. 1.1. Блок-схема разработки нового изделия

Техническое задание на курсовое проектирование имеет несравненно меньший объём и обычно содержит:

- а) наименование проектируемого изделия;
- б) область его применения (может быть указана в наименовании);
- в) основные технические характеристики (преимущественно электрические параметры);
- г) условия эксплуатации (как правило, диапазон изменения температуры окружающей среды);
- д) состав проекта;
- е) перечень расчётных работ;
- ж) перечень графических работ;
- з) сроки выполнения этапов и завершения проекта.

Указываемые в задании значения параметров электронного устройства: постоянные и переменные напряжения и токи питания, предельные отклонения от номинальных значений и др. – соответствуют стандартным, если они установлены ГОСТом или ОСТом. Другие параметры имеют реальные значения, т.е. эти значения достижимы с применением типовых функциональных элементов и устройств.

В ТЗ задают минимально необходимое число технических характеристик. Другие характеристики при необходимости определяют расчётом по заданным.

2. ТЕМАТИКА ПРОЕКТОВ

В качестве проектируемого объекта студенту может быть предложена модификация известного или вновь разрабатываемого электронного устройства. Студенты заочного обучения по разрешению руководителя курсового проекта могут выполнять проекты по тематике предприятий, на которых они работают, а студенты дневного отделения – научно-исследовательских работ, в которых они участвуют. Для этого необходимо, чтобы должностные лица предприятий или кафедр, желающие привлечь студентов к разработке своих тем, письменно выразили свое согласие в заявлении студента на тему АИРС. При согласии преподавателя фактическое руководство такими студентами осуществляют инженеры предприятий или научные сотрудники кафедр при общем контроле за ходом проектирования со стороны преподавателя, руководящего курсовым проектированием.

Выбор разрабатываемых электронных устройств может быть весьма широким: это различного типа усилители; аналоговые и цифровые управляющие или контрольно-измерительные устройства, оперирующие с аналоговой либо цифровой информацией; телекоммуникационные устройства и системы; различного типа преобразователи энергии; стабилизированные источники питания и т.п.

Темы курсовых проектов выбираются с учётом таких критериев:

1. Проектируемое электронное устройство должно иметь достаточно сложную структурную схему, чтобы её разработка потребовала от студента определённых творческих усилий. При этом электрические расчёты могут выполняться только для некоторой функционально увязанной части блоков структурной схемы.

2. Проектируемое электронное устройство должно быть функционально законченным и по возможности иметь самостоятельное эксплуатационное назначение.

3. Параметры электронного устройства назначаются такими, чтобы оно могло быть скомпоновано в виде ячейки, блока или прибора.

4. Тема и задание должны быть обеспечены литературой и другими пособиями, имеющимися в библиотеке, читальном зале и на кафедре.

3. СТАДИИ РАЗРАБОТКИ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

ГОСТ 2.103–68 ЕСКД устанавливает этапы промышленной разработки изделий: техническое предложение, эскизный проект, технический проект, рабочая конструкторская документация.

Техническое предложение – совокупность проектных документов, содержащих обоснование целесообразности разработки изделия на основе анализа технического задания и различных вариантов возможных решений изделия, сравнительной оценки решений с учётом конструктивных и эксплуатационных особенностей разрабатываемого и существующих изделий, а также патентных исследований. Этапы работы: подбор материалов, разработка технического предложения с присвоением документам литеры «П», утверждение технического предложения.

Эскизный проект – совокупность конструкторских документов, которые содержат принципиальные конструктивные решения, дающие общее представление об устройстве и принципе работы изделия, а также данные, определяющие его назначение, основные параметры и габаритные размеры. Этапы работы: разработка проекта с присвоением документам литеры «Э», изготовление и испытание макетов (при необходимости), утверждение проекта.

Технический проект – совокупность конструкторских документов, которые содержат окончательные технические решения, дающие полное представление об устройстве изделия, и исходные данные для разработки рабочей документации. Этапы работы: разработка проекта присвоением документам литеры «Т», изготовление, испытание макетов (при необходимости), утверждение проекта.

Технический проект служит основанием для разработки *рабочей конструкторской документации*, которая содержит необходимые данные для изготовления, испытания, приёмки, эксплуатации, транспортирования и хранения изделия. Разработка рабочей документации сочетается с изготовлением по ней последовательно опытных образцов, опытных партий и установочной серии, по результатам испытаний которых проводится корректировка конструкторской документации.

Допускается исключать стадии эскизного или технического проектирования и вести разработку по схемам: техническое предложение – технический проект – рабочая документация, техническое предложение – эскизный проект – рабочая документация.

Комплектность конструкторских документов, выпускаемых на каждой стадии разработки изделия, установлена ГОСТ 2.103–68.

Указанные стадии определяют наиболее целесообразную организацию проектирования, делят его на уровни. От стадии к стадии объём и стоимость проектных работ увеличиваются, разработка становится всё

детальнее, всё шире определяются различные стороны и свойства электронной аппаратуры. Можно сказать, деление на стадии изображает проектирование «по вертикали», поскольку базой для каждой последующей стадии разработки служит предыдущая.

Процесс создания электронной аппаратуры условно делится на три основных этапа: *системотехническое проектирование*, *схемотехническое проектирование* и *конструкторское проектирование* – отражает последовательное изменение содержания проектных процедур. Это «горизонтальная» схема процесса создания электронной аппаратуры (рис. 3.1).

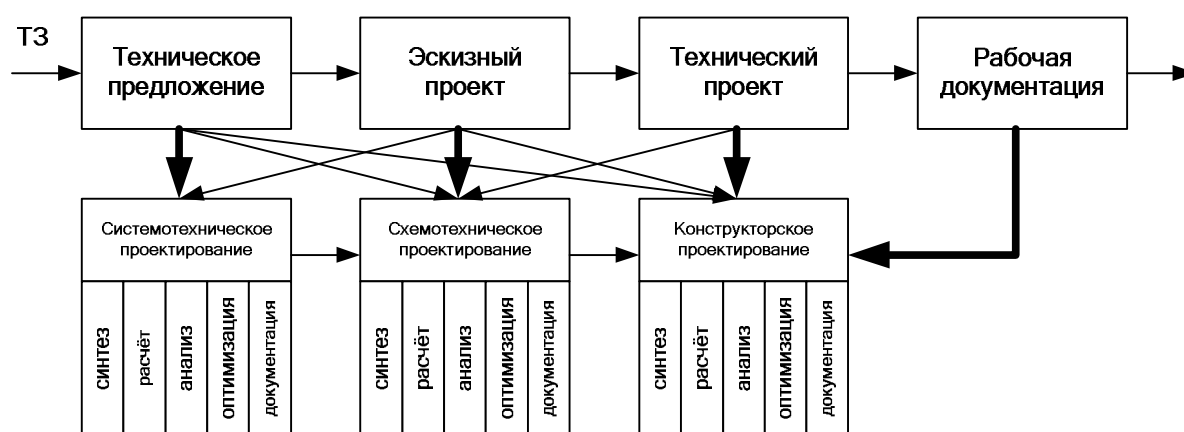


Рис. 3.1. Схема последовательности разработки электронной аппаратуры

Этапы, характерные для каждой стадии, показаны толстой стрелкой. Тонкой стрелкой показано обращение к процедурам других этапов. Например, на стадии технического предложения основной является разработка оптимальной структуры, но эта задача не может быть решена без выбора наиболее важных в принципиальном отношении схем элементной базы без определения контуров конструкции.

Как показано на схеме, каждый этап включает последовательное выполнение процедур синтеза, расчёта, анализа, оптимизации, выпуска технической документации. Проектирование на каждом этапе может иметь итерационный характер, т.е. возможно неоднократное возвращение к предыдущим процедурам этапа, если технические требования не удовлетворены. Итерационный характер могут иметь отдельные процедуры, например расчёты.

Разработка курсового проекта ведётся тем же путём и по той же схеме, что и при промышленном проектировании (рис. 3.1).

Так как объектом курсового проектирования является электронное устройство, а не электронный аппарат, то курсовое проектирование завершается на стадии эскизного проектирования, т.е. оно содержит только стадии технического предложения и эскизного проекта.

Из рисунка 3.1 видно, что основным содержанием указанных стадий является системотехническое и схемотехническое проектирование. Но стадия технического предложения предусматривает «...сравнительную оценку решений с учётом конструктивных и эксплуатационных особенностей...», а стадия эскизного проекта – разработку «...документов, которые содержат принципиальные конструктивные решения, дающие общее представление об устройстве и принципе работы изделия...».

Примерный перечень работ и документов, выполняемых на каждой стадии курсового проектирования, приведён в таблице 3.1.

Таблица 3.1

Стадии разработки курсового проекта

Стадия	Этап проектирования	Перечень работ	Документ с результатами работы
Техническое предложение	Системотехнический	1. Подбор и изучение литературы 2. Составление обзора по литературным источникам 3. Анализ технического задания	Пояснительная записка То же
	Схемотехнический	4. Разработка структурной схемы 5. Выбор элементной базы 6. Разработка принципиальных схем блоков структурной схемы 7. Составление полной принципиальной схемы электронного устройства 8. Дополнение принципиальной схемы элементами управления, контроля и защиты 9. Расчёт параметров элементов схемы 10. Составление перечня элементов схемы 11. Другие расчёты (если указаны в ТЗ)	Структурная схема Пояснительная записка Пояснительная записка То же Пояснительная записка То же Принципиальная схема Пояснительная записка
	Конструкторский*	12. Разработка печатной платы и компоновка ЭУ	Чертежи и пояснительная записка
*Примечание. Конструкторский раздел выполняется в ходе освоения дисциплины «Научно-исследовательская работа студента» (НИРС).			

4. СОСТАВ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Пояснительная записка (ПЗ) курсового проекта обычно содержит следующие разделы:

1. Введение.
2. Литературный обзор электронных устройств данного класса.
3. Анализ ТЗ и синтез структурной схемы электронного устройства.
4. Разработка принципиальной схемы электронного устройства.
5. Электрический расчёт электронных схем.
6. Моделирование электронной схемы.
7. Заключение.
8. Библиографический список.

Она может быть дополнена за счёт сокращения объёма некоторых других разделов. Одним из таких разделов является:

1. Расчёт одной или нескольких электрических характеристик.
2. Расчёт надёжности устройства или его частей.
3. Расчёт температурной стабильности устройства.
4. Расчёт точности параметров устройства или его частей.
5. Анализ рассчитанной схемы или её части на ЭВМ.

Средний объём записки – 25–35 с.

Чертежам в проекте отводится важная роль. В курсовом проекте разрабатывают:

- а) чертёж структурной схемы устройства (А3);
- б) чертёж принципиальной схемы устройства (А3);
- в) чертежи временной диаграммы или алгоритма работы устройства (А3).

В начале выполнения курсового проекта кроме технического задания студент заполняет Календарный план выполнения курсового проекта (прил. А).

4.1. Литературный и патентный обзор

Проектирование электронной аппаратуры для промышленного производства выполняют крупные коллективы, включающие разработчиков систем и схем, конструкторов, технологов, специалистов по стандартизации, по выпуску технической документации, экономистов и многих других специалистов, имеющих необходимые знания и опыт. При проектировании нового изделия они собирают и перерабатывают обширную информацию, источники которой схематично показаны на рисунке 4.1.

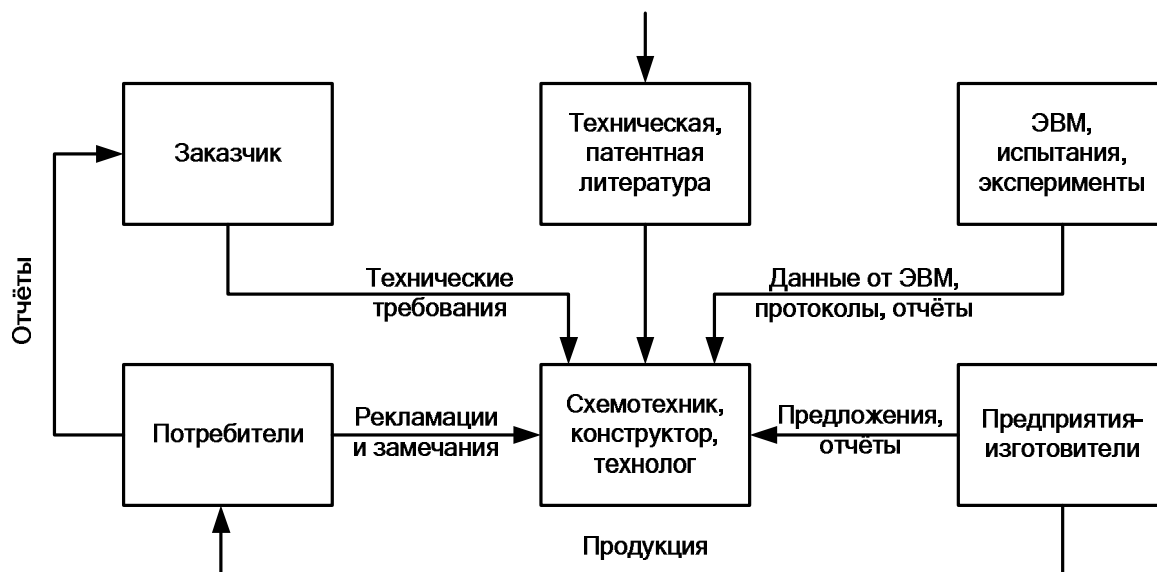


Рис. 4.1. Схема процесса накопления информации при проектировании нового изделия

Промышленное проектирование нового изделия, как правило, проводится на базе прототипа, производство и эксплуатация которого, как это показано на схеме, дают разработчикам часть информации. Остальную информацию даёт изучение литературы, анализ математических моделей на ЭВМ и испытания макетов электронных устройств или его частей.

Любой вид электронных устройств представляет собой некоторое множество разновидностей, выполняющих одинаковые функции, но имеющих отличия или в структуре, или в схемной реализации хотя бы одного из функциональных элементов, что, естественно, приводит к различным значениям их выходных параметров.

Одни разновидности электронных устройств реализованы, апробированы и описаны в технической литературе. Другие – вследствие их новизны, сложности ещё не реализованы, и сведения о них содержатся преимущественно в патентной литературе. Изучение технической и патентной литературы позволяет выявить новые решения, применение которых может повысить качество нового изделия. Изучение патентной литературы необходимо, кроме того, для проверки патентной чистоты новых решений, полученных при разработке изделия, и выявления предполагаемых изобретений.

При промышленном проектировании работа над проектом начинается с анализа ТЗ. Разработчики, имеющие опыт создания подобных электронных устройств, создававшие, например, прототип этого электронного устройства, конечно же, сначала выявляют, анализируя ТЗ, что нового должно быть в разрабатываемом устройстве, чем оно будет отличаться от прототипа.

Если же разработчики не знакомы с классом таких устройств (ситуация возможная, например, при переходе на выпуск новых изделий), то они попросту будут неспособны анализировать ТЗ, а должны будут вначале заняться за техническую литературу, потом изучить техническую документацию на прототип. И только основательно подготовившись, они окажутся в состоянии заняться анализом ТЗ и поиском путей удовлетворения его требований.

Студент приступает к проектированию в одиночку с весьма общими представлениями об электронном устройстве, проект которого ему предстоит разработать, и без опыта проектирования, поэтому он должен в полной мере использовать единственно доступный ему источник информации – техническую литературу. Уже в начале проектирования необходимо синтезировать структурную схему электронного устройства, которая может быть реализована заведомо не единственным способом. Качество структурной схемы, понимаемое как мера её близости к некоторой неизвестной оптимальной схеме, целиком определяется знаниями, опытом и творческими способностями разработчика. Неудачный выбор структуры требует в дальнейшем её изменения, что сопряжено с потерями времени и средств, в противном случае будет подвергаться оптимизации возможно далеко не оптимальная структура. Поэтому так важно перед проектированием расширить и углубить свои знания о проектируемом устройстве.

Начиная работу над проектом, необходимо подобрать литературу по теме проекта и по ней хорошо ознакомиться с существующими разновидностями проектируемого устройства. Первым результатом изучения литературы должен быть обзор.

Обзор представляет собой краткий литературно обработанный конспект произведений печати. Он должен начинаться введением, в котором дано определение электронных устройств данного вида, указаны области их применения и задачи, решаемые с их помощью. Обзор обычно содержит классификацию электронных устройств, сжатое изложение принципов их действия, особенностей электронных схем и их применения, достоинств и недостатков. Как правило, в обзоре приводят более простые в изготовлении структурные и функциональные схемы, но в необходимых случаях изложение сопровождается фрагментами принципиальных схем и диаграммами.

Обстоятельная работа над обзором значительно расширяет кругозор и является залогом успешного выполнения проекта. Обзор входит в проект как существенная его часть. Средний объём обзора 6–8 с. После написания обзора можно приступать к анализу ТЗ и синтезу структурной схемы электронного устройства.

4.2. Анализ технического задания

Анализ ТЗ – необходимый этап разработки любого изделия. Он проводится на начальной стадии проектирования – при разработке технического предложения.

Целью анализа является разработка в основном структуры электронного устройства (ЭУ). Решение таких творческих задач основано на системно-структурном анализе и синтезе, особенностью которого является то, что процесс расчленения целого на части и соединения частей в единое целое соответствует действительному расчленению того или иного объекта на отдельные явления, качественно определённые стороны и свойства и действительной естественной взаимосвязи этих сторон и свойств. Здесь анализ ТЗ и синтез (структуры ЭУ) находятся в органическом единстве, совершаются в одно и то же время. Аналитическое действие здесь представляет собой в то же время и синтетическое действие. Полнота синтеза определяется глубиной анализа, которая зависит от степени разработки ТЗ.

Теоретически анализ состоит в том, что каждому требованию ТЗ из множества M известных разновидностей устройств данного вида ставится в соответствие подмножество разновидностей (элементов), удовлетворяющих данное требование.

На практике подмножества ЭУ, каждому из которых удовлетворяет одно из требований ТЗ, составляют в виде списков. После исключения ЭУ, не входящих во все списки, останутся ЭУ, удовлетворяющие все требования ТЗ.

Разновидности разрабатываемого ЭУ предстают перед разработчиком не как некоторое хаотичное множество, а упорядоченными системой классификации, существующей для данного вида устройств и разделяющей их в зависимости от свойств на классы, подклассы, группы, подгруппы и т.п. На первых этапах анализа ТЗ и синтеза ЭУ имеют дело не с отдельными разновидностями устройства, а с классами, подклассами, группами устройств и т.д. Завершают анализ и синтез выбором отдельных функциональных элементов устройства. Поэтому перед тем, как приступить к анализу ТЗ, его требования следует сформировать в соответствии со ступенями классификации устройств данного вида. Первыми, главными будут требования, соответствующие наиболее крупным единицам классификации, последними – мелким.

Если разрабатываемое ЭУ представляет собой систему, функциональные части которой, в свою очередь, могут рассматриваться как системы и т.д., то анализ ТЗ и синтез ЭУ подразделяется на ряд уровней абстракции и выполняется начиная с высшего уровня. Очевидно, что для каждого уровня абстракции используется некоторый ряд требований ТЗ и разрабатываются свои структурные схемы, которые в совокупности дадут полное представление о структуре ЭУ.

Если ЭУ представляет собой систему, состоящую из ряда последовательно соединённых подсистем (рис. 4.2), то синтез её начинают с синтеза правой подсистемы, т.е. той подсистемы, выход (выходы) которой являются выходом (выходами) всей системы.



Рис. 4.2. Структурная схема системы, состоящей из последовательно соединённых подсистем

Такой порядок естествен, т.к. главным всегда являются требования к выходным параметрам ЭУ, а следовательно, и к выходным параметрам правой подсистемы, что и даёт возможность её синтезировать. В процессе синтеза правой подсистемы будут сформулированы требования к её входным параметрам, которые в то же время являются выходными параметрами подсистемы, соединённой с её входом. Теперь становится возможным синтез этой подсистемы. Таким образом, синтез последовательно соединённых подсистем производится от выхода системы к её входу.

4.3. Разработка структурной схемы

Структурная схема – схема, определяющая основные функциональные части изделия, их назначение и взаимосвязи.

Структурные схемы (ГОСТ 2702–75) разрабатывают при проектировании электронных устройств (ЭУ) на стадии анализа ТЗ и синтеза структуры устройства. Разработка структурной схемы предшествует разработке схем других видов (функциональной, принципиальной и др.). Структурная схема при синтезе концентрирует в себе всё наиболее важное и существенное о составе, структуре и функциях ЭУ. Это свойство структурной схемы обусловлено особенностью системного подхода к ЭУ на этапе его системотехнического проектирования, при котором математическая модель каждой функциональной части ЭУ отображает только основной аспект её функционирования, т.е. отображает лишь правило преобразования входных сигналов X в выходные Y .

На структурной схеме изображают обычно в виде прямоугольников все основные функциональные части ЭУ и основные взаимосвязи между ними. Второстепенные для данного аспекта функциональные части на структурных схемах обычно не показывают (например, блоки питания), а если показывают, то линии взаимосвязи с основными функциональными частями изображают пунктиром. Предполагается, что необходимым пита-

нием основные функциональные части будут обеспечены. Однако если объектом синтеза является сам блок питания, то его функциональные части для его структурной схемы будут, конечно, основными частями.

Графическое построение схемы должно давать наиболее наглядное представление о последовательности взаимодействия функциональных частей устройства. На линиях взаимосвязи рекомендуется стрелками указывать направления действия сигналов или потоков энергии. Заметим, что на структурных схемах линия взаимосвязи может обозначать как одну линию электрической связи (два проводника), так и множество линий электрической связи (шина).

На схеме должны быть указаны наименования каждой функциональной части, если для её обозначения применён прямоугольник, а не условное графическое обозначение. Наименования рекомендуется вписывать в прямоугольники. Если полные наименования в прямоугольники не помещаются, в них вписывают аббревиатуры наименований, которые разъясняют в таблице, помещаемой на схеме.

Если функциональных частей много, вместо наименований можно присваивать им порядковые номера, возрастающие сверху вниз в направлении слева направо. Номера проставляют справа от изображения или над ним. Наименования функциональных частей указывают в таблице, помещаемой на схеме. Конечно, система обозначений на схеме должна быть единая (наименования, аббревиатуры или порядковые номера).

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

Структурная схема является первой моделью ЭУ. Достоинством структурной схемы при изучении ЭУ является то, что по ней можно быстро получить представление о составе, структуре и выполняемой им функции (функциях), не отвлекая внимание на схемную реализацию его функциональных частей.

В качестве иллюстрации на рисунке 4.3 дана структурная схема электронных часов. Все показанные на схеме функциональные части часов (блоки схемы) пронумерованы. Блоки 1–4, 6, 9 изображены в виде условных графических обозначений по ГОСТ 2.737–68. На схеме приведены данные, поясняющие работу часов. По данной схеме принцип действия часов можно понять в считанные минуты, в то время как по принципиальной схеме, содержащей 20 микросхем и других радиоэлементов, понять работу часов без подробного описания оказалось бы затруднительно даже для высококвалифицированного специалиста.

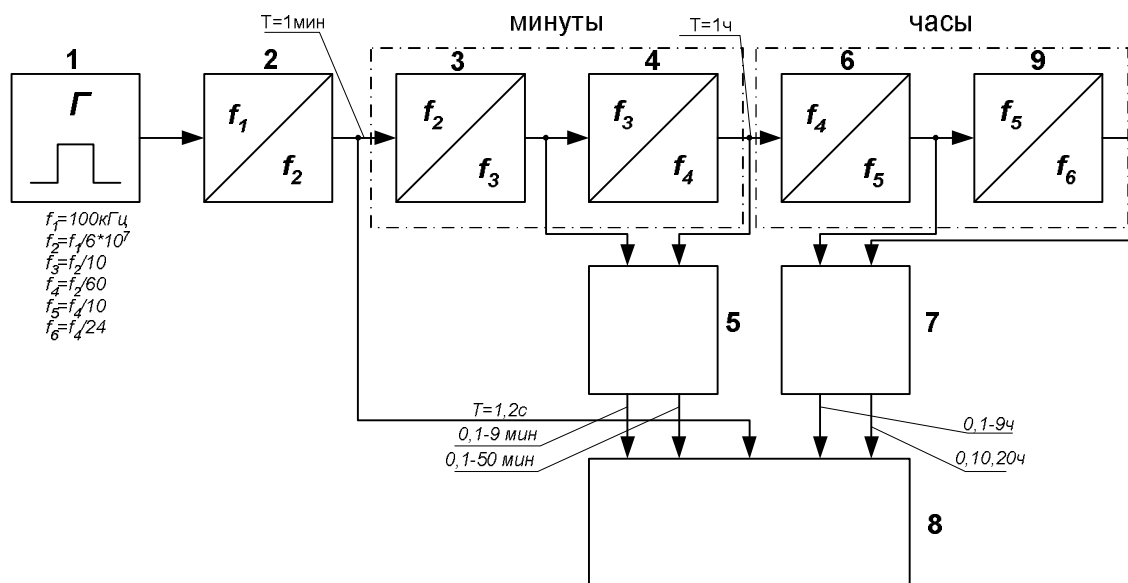


Рис. 4.3. Структурная схема электронных часов:

- 1 – кварцевый генератор; 2 – делитель частоты; 3, 4 – счётчики минутных импульсов;
 5, 7 – дешифраторы; 6, 9 – счётчики часовых импульсов;
 8 – блок индикации

Структурные схемы могут иметь иерархию. Например, в структурной схеме сложного электронного комплекса ЭВМ представляет собой функциональную часть. В структурной схеме ЭВМ функциональной частью является, например, процессор. В свою очередь, структурная схема процессора имеет свои функциональные части, например, оперативное запоминающее устройство и т.д.

В курсовом проекте, как правило, разрабатывается структурная схема низшего уровня, состоящая из простейших функциональных элементов.

Разработкой структурной схемы завершается этап системотехнического проектирования.

4.4. Использование программ Matlab Simulink и SystemVue для синтеза и анализа структурной схемы

Для подтверждения работоспособности, анализа и оптимизации разработанной структурной схемы ЭУ в настоящее время широко применяются специализированные программные средства разработки и анализа схем на структурном уровне. К наиболее популярным среди них относятся Simulink (Matlab) и SystemVue (SystemView).

Simulink – интерактивный инструмент для моделирования, имитации и анализа динамических систем. Он даёт возможность строить графические блок-диаграммы, имитировать динамические системы, исследовать


работоспособность систем и совершенствовать проекты. Simulink полностью интегрирован с Matlab, обеспечивая немедленный доступ к широкому спектру инструментов анализа и проектирования.

Программа Simulink является приложением к пакету Matlab. При моделировании с использованием Simulink реализуется принцип визуального программирования, в соответствии с которым, пользователь на экране из библиотеки стандартных блоков создаёт модель устройства и осуществляет расчёты.

При работе с Simulink пользователь имеет возможность модернизировать библиотечные блоки, создавать свои собственные, а также составлять новые библиотеки блоков.

При моделировании пользователь может выбирать метод решения дифференциальных уравнений, а также способ изменения модельного времени (с фиксированным или переменным шагом). В ходе моделирования имеется возможность следить за процессами, происходящими в системе. Для этого используются специальные устройства наблюдения, входящие в состав библиотеки Simulink. Результаты моделирования могут быть представлены в виде графиков или таблиц.

Для создания модели в среде Simulink необходимо последовательно выполнить ряд действий:

1. Создать новый файл модели с помощью команды File/New/Model, или используя кнопку  на панели инструментов (рис. 4.4).

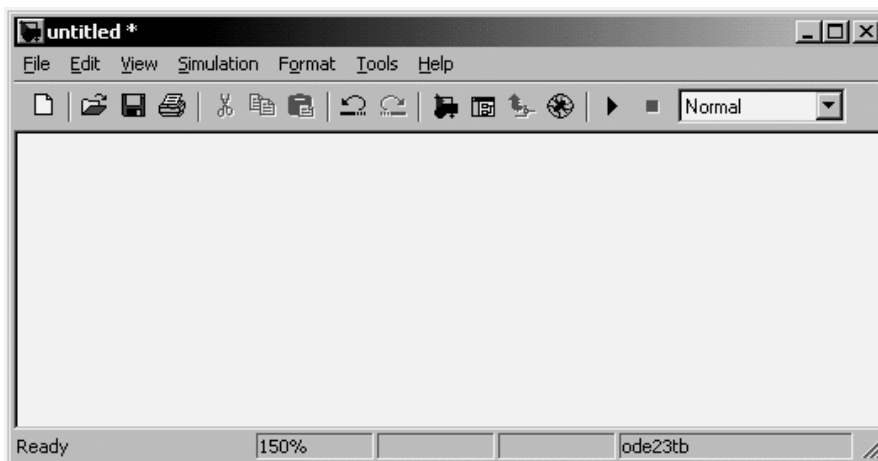


Рис. 4.4. Пустое окно модели

2. Расположить блоки в окне модели. Для этого необходимо открыть соответствующий раздел библиотеки (например, Sources – Источники). Далее, указав курсором на требуемый блок и нажав на левую клавишу мыши, «перетащить» блок в созданное окно. На рисунке 4.5 показано окно модели, содержащее блоки.

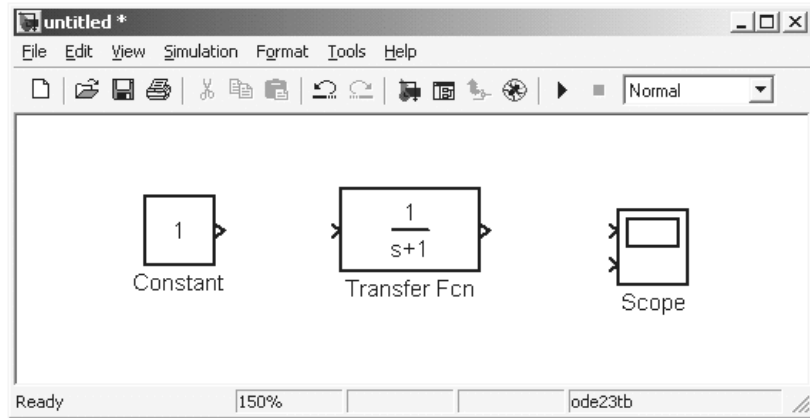


Рис. 4.5. Окно модели, содержащее блоки

Для удаления блока необходимо выбрать блок (указать курсором на его изображение и нажать левую клавишу мыши), а затем нажать клавишу Delete на клавиатуре.

3. Для изменения параметров блока, установленных программой по умолчанию, необходимо дважды щёлкнуть левой клавишей мыши, указав курсором на изображение блока. Откроется окно редактирования параметров данного блока. При задании численных параметров следует иметь в виду, что в качестве десятичного разделителя должна использоваться точка, а не запятая. После внесения изменений нужно закрыть окно кнопкой ОК. На рисунке 4.6 в качестве примера показаны блок, моделирующий передаточную функцию и окно редактирования параметров данного блока.

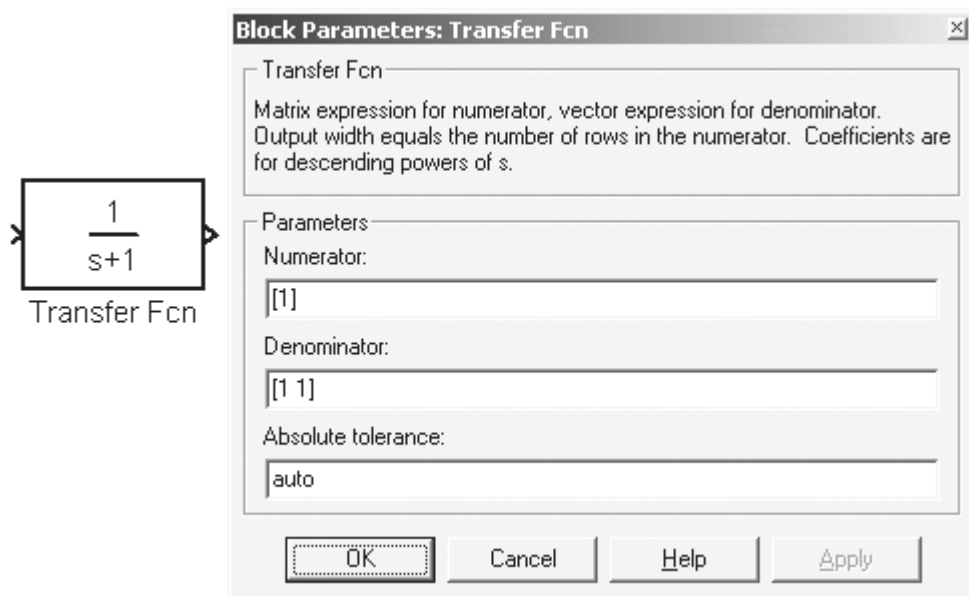


Рис. 4.6. Блок, моделирующий передаточную функцию и окно редактирования параметров блока

4. После установки на схеме всех блоков из требуемых библиотек нужно выполнить соединение элементов схемы. Для соединения блоков необходимо указать курсором на выход блока, а затем нажать и, не отпуская левую клавишу мыши, провести линию к входу другого блока. После чего отпустить клавишу. В случае правильного соединения изображение стрелки на входе блока изменяет цвет. Для создания точки разветвления в соединительной линии нужно подвести курсор к предполагаемому узлу и, нажав *правую* клавишу мыши, протянуть линию. Для удаления линии требуется выбрать линию (так же, как это выполняется для блока), а затем нажать клавишу Delete на клавиатуре. Схема модели, в которой выполнены соединения между блоками, показана на рисунке 4.7.

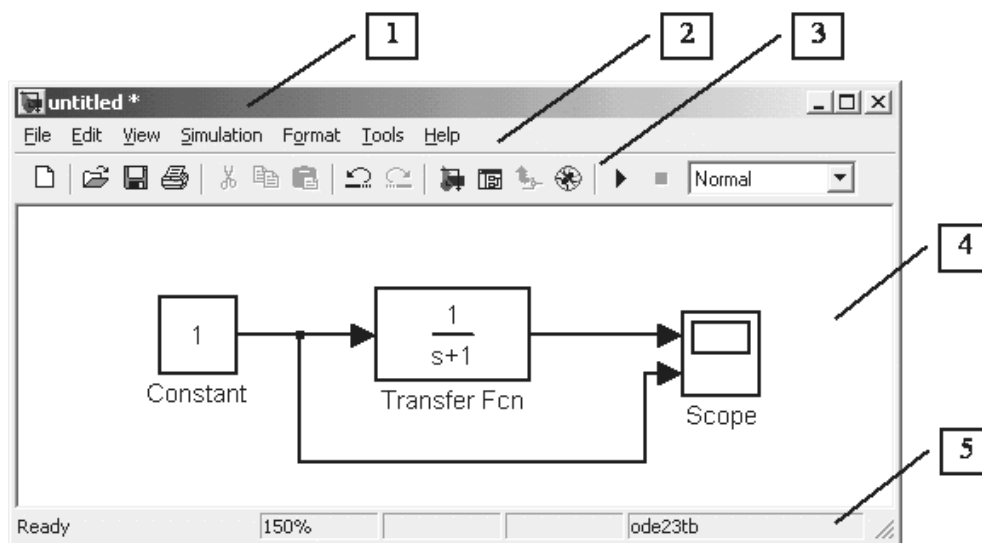


Рис. 4.7. Схема модели

5. После составления расчётной схемы необходимо сохранить её в виде файла на диске, выбрав пункт меню File/Save As... в окне схемы и указав папку и имя файла.

Установка параметров расчёта и его выполнение. Перед выполнением расчётов необходимо предварительно задать параметры расчёта. Задание параметров расчёта выполняется в панели управления меню Simulation/Parameters. Вид панели управления приведён на рисунке 4.8.

Окно настройки параметров расчёта имеет 4 вкладки:

- Solver (Расчёт) – Установка параметров расчёта модели.
- Workspace I/O (Ввод/вывод данных в рабочую область) – Установка параметров обмена данными с рабочей областью Matlab.
- Diagnostics (Диагностика) – Выбор параметров диагностического режима.
- Advanced (Дополнительно) – Установка дополнительных параметров.

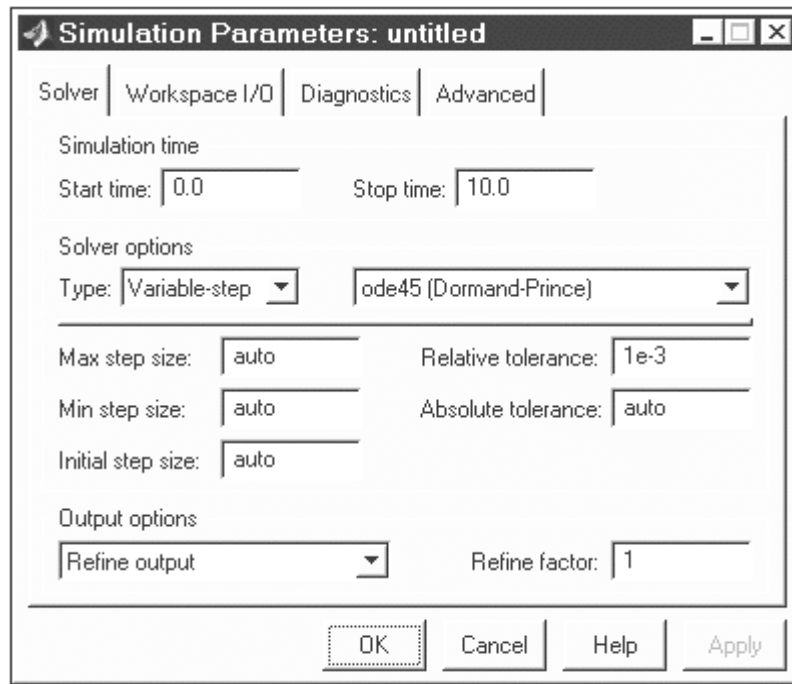


Рис. 4.8. Панель управления

Установка параметров расчёта модели выполняется с помощью элементов управления, размещённых на вкладке Solver. Эти элементы разделены на три группы: Simulation time (Интервал моделирования или, иными словами, время расчёта), Solver options (Параметры расчёта), Output options (Параметры вывода) (рис. 4.8).

Установка параметров расчёта модели

1. Simulation time (Интервал моделирования или время расчёта). Время расчёта задаётся указанием начального (Start time) и конечного (Stop time) значений времени расчёта. Начальное время, как правило, задаётся равным нулю. Величина конечного времени задаётся пользователем исходя из условий решаемой задачи.

2. Solver options (Параметры расчёта). При выборе параметров расчёта необходимо указать способ моделирования (Type) и метод расчёта нового состояния системы. Для параметра Type доступны два варианта – с фиксированным (Fixed-step) или переменным (Variable-step) шагом. Как правило, Variable-step используется для моделирования непрерывных систем, а Fixed-step – для дискретных.

Список методов расчёта нового состояния системы содержит несколько вариантов. Первый вариант (discrete) используется для расчёта дискретных систем. Остальные методы используются для расчёта непрерывных систем. Эти методы различны для переменного (Variable-step) и для фиксированного (Fixed-step) шага времени, но, по сути, представляют

собой процедуры решения систем дифференциальных уравнений. Подробное описание каждого из методов расчёта состояний системы приведено во встроенной справочной системе Matlab.

Ниже двух раскрывающихся списков Type находится область, содержимое которой меняется в зависимости от выбранного способа изменения модельного времени. При выборе Fixed-step в данной области появляется текстовое поле Fixed-step size (величина фиксированного шага), позволяющее указывать величину шага моделирования (рис. 4.9). Величина шага моделирования по умолчанию устанавливается системой автоматически (auto). Требуемая величина шага может быть введена вместо значения auto либо в форме числа, либо в виде вычисляемого выражения (то же самое относится и ко всем параметрам, устанавливаемым системой автоматически).

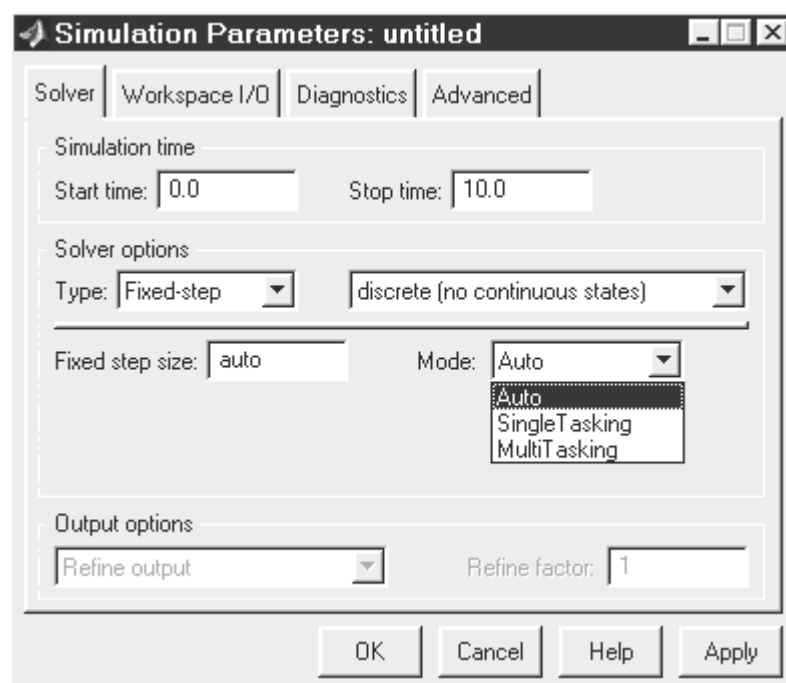


Рис. 4.9. Вкладка Solver при выборе фиксированного шага расчёта

При выборе Fixed-step необходимо также задать режим расчёта (Mode). Для параметра Mode доступны три варианта:

- MultiTasking (Многозадачный) – необходимо использовать, если в модели присутствуют параллельно работающие подсистемы, и результат работы модели зависит от временных параметров этих подсистем. Режим позволяет выявить несоответствие скорости и дискретности сигналов, пересылаемых блоками друг другу.
- SingleTasking (Однозадачный) – используется для тех моделей, в которых недостаточно строгая синхронизация работы отдельных составляющих не влияет на конечный результат моделирования.

- Auto (Автоматический выбор режима) – позволяет Simulink автоматически устанавливать режим MultiTasking для тех моделей, в которых используются блоки с различными скоростями передачи сигналов и режим SingleTasking для моделей, в которых содержатся блоки, оперирующие одинаковыми скоростями.

При выборе Variable-step в области появляются поля для установки трёх параметров:

- Max step size – максимальный шаг расчёта. По умолчанию он устанавливается автоматически (auto), и его значение в этом случае равно $(SforTime - StartTime)/50$. Довольно часто это значение оказывается слишком большим, и наблюдаемые графики представляют собой ломаные, а не плавные линии. В этом случае величину максимального шага расчёта необходимо задавать явным образом.
- Min step size – минимальный шаг расчёта.
- Initial step size – начальное значение шага моделирования.

При моделировании непрерывных систем с использованием переменного шага необходимо указать точность вычислений: относительную (Relative tolerance) и абсолютную (Absolute tolerance). По умолчанию они равны соответственно 10^{-3} и auto.

3. Output options (Параметры вывода). В нижней части вкладки Solver задаются настройки параметров вывода выходных сигналов моделируемой системы (Output options). Для данного параметра возможен выбор одного из трёх вариантов:

- Refine output (Скорректированный вывод) – позволяет изменять дискретность регистрации модельного времени и тех сигналов, которые сохраняются в рабочей области Matlab с помощью блока To Workspace. Установка величины дискретности выполняется в строке редактирования Refine factor, расположенной справа. По умолчанию значение Refine factor равно 1, это означает, что регистрация производится с шагом $Dt = 1$ (то есть для каждого значения модельного времени). Если задать Refine factor равным 2, это означает, что будет регистрироваться каждое второе значение сигналов, 3 – каждое третье и т.д. Параметр Refine factor может принимать только целые положительные значения.
- Produce additional output (Дополнительный вывод) – обеспечивает дополнительную регистрацию параметров модели в заданные моменты времени; их значения вводятся в строке редактирования (в этом случае она называется Output times) в виде списка, заключённого в квадратные скобки. При использовании этого варианта базовый шаг регистрации (Dt) равен 1. Значения времени в списке Output times могут быть дробными числами и иметь любую точность.

- Produce specified output only (Формировать только заданный вывод) – устанавливает вывод параметров модели только в заданные моменты времени, которые указываются в поле Output times (Моменты времени вывода).

Установка параметров обмена с рабочей областью. Элементы, позволяющие управлять вводом и выводом в рабочую область Matlab промежуточных данных и результатов моделирования, расположены на вкладке Workspace I/O (рис. 4.10).

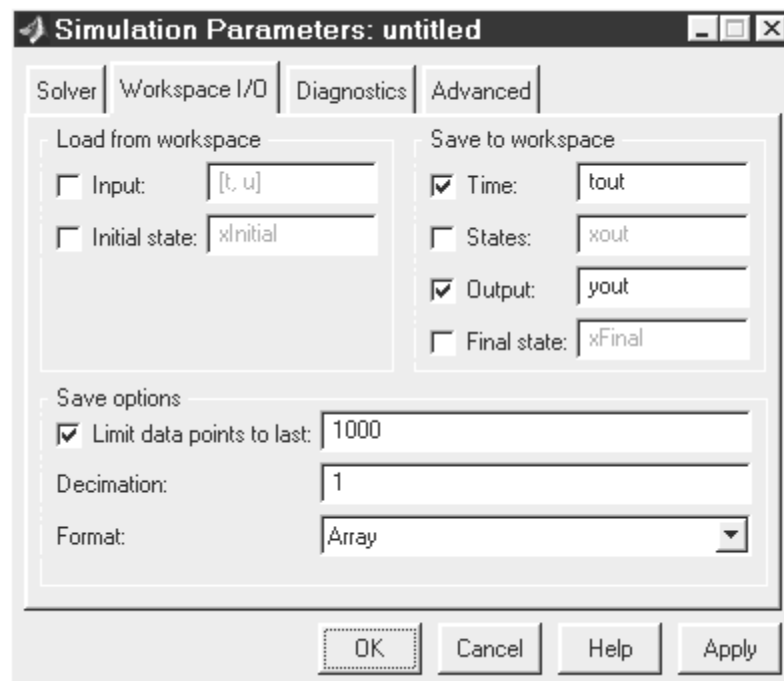


Рис. 4.10. Вкладка Workspace I/O диалогового окна установки параметров моделирования

Элементы вкладки разделены на 3 поля:

- Load from workspace (Загрузить из рабочей области). Если флажок Input (Входные данные) установлен, то в расположенном справа текстовом поле можно ввести формат данных, которые будут считываться из рабочей области Matlab. Установка флажка Initial State (Начальное состояние) позволяет ввести в связанном с ним текстовом поле имя переменной, содержащей параметры начального состояния модели. Данные, указанные в полях Input и Initial State, передаются в исполняемую модель посредством одного или более блоков In (из раздела библиотеки Sources).
- Save to workspace (Записать в рабочую область) – позволяет установить режим вывода значений сигналов в рабочую область Matlab и задать их имена.

- Save options (Параметры записи) – задаёт количество строк при передаче переменных в рабочую область. Если флажок Limit rows to last установлен, то в поле ввода можно указать количество передаваемых строк (отсчёт строк производится от момента завершения расчёта). Если флажок не установлен, то передаются все данные. Параметр Decimation (Исключение) задаёт шаг записи переменных в рабочую область (аналогично параметру Refine factor вкладки Solver). Параметр Format (формат данных) задаёт формат передаваемых в рабочую область данных. Доступные форматы Array (Массив), Structure (Структура), Structure With Time (Структура с дополнительным полем – «время»).

Установка параметров диагностирования модели. Вкладка Diagnostics позволяет изменять перечень диагностических сообщений, выводимых Simulink в командном окне Matlab, а также устанавливать дополнительные параметры диагностики модели (рис. 4.11).

Сообщения об ошибках или проблемных ситуациях, обнаруженных Simulink в ходе моделирования и требующих вмешательства разработчика выводятся в командном окне Matlab. Исходный перечень таких ситуаций и вид реакции на них приведён в списке на вкладке Diagnostics. Разработчик может указать вид реакции на каждое из них, используя группу переключателей в поле Action (они становятся доступны, если в списке выбрано одно из событий):

- None – игнорировать;
- Warning – выдать предупреждение и продолжить моделирование;
- Error – выдать сообщение об ошибке и остановить сеанс моделирования.

Выборный вид реакции отображается в списке рядом с наименованием события.

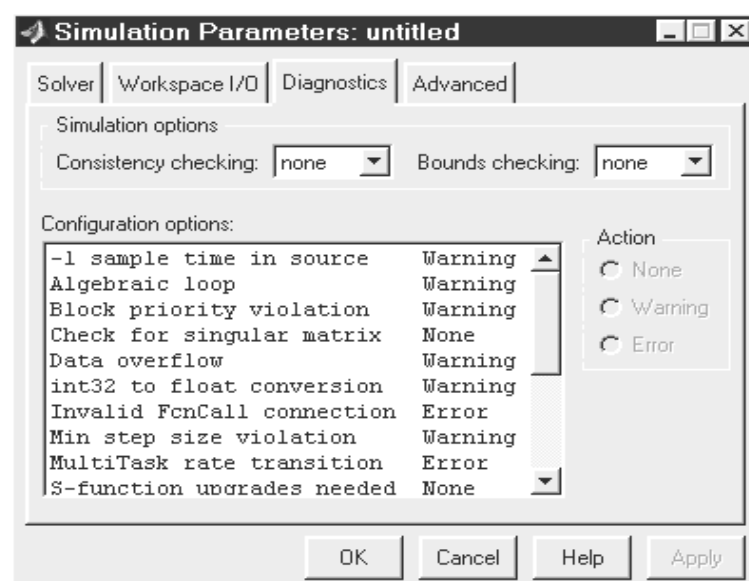




Рис. 4.11. Вкладка Diagnostics окна установки параметров моделирования

Выполнение расчёта. Запуск расчёта выполняется с помощью выбора пункта меню Simulation/Start или инструмента  на панели инструментов. Процесс расчёта можно завершить досрочно, выбрав пункт меню Simulation/Stop или инструмент . Расчёт также можно остановить (Simulation/Pause) и затем продолжить (Simulation/Continue).

Более подробно с принципами работы в данной оболочке можно ознакомиться в работах [15, 23, 24].

SystemVue (SystemView). В качестве мощного и удобного средства анализа радиотехнических средств удобно использовать пакет SystemView компании Elanix, которая обеспечивает возможность всестороннего анализа свойств систем, включая алгоритмы аналоговой или цифровой обработки сигналов, синтеза фильтров, анализа и синтеза систем управления и систем связи. Пакет SystemView осуществляет моделирование динамических систем на уровне функциональных блоков.

Открытая архитектура пакета позволяет пользователям и разработчикам выпускать собственные дополнения и подключать их в виде динамических библиотек.

Пользовательский интерфейс программы достаточно прост в использовании и интуитивно понятен, по крайней мере, он значительно проще интерфейса Simulink. Основу пакета составляет базовый модуль SystemView Professional Edition, к которому подключаются различные специализированные библиотеки. В случае, если уже имеющаяся модель не устраивает разработчика, существует возможность создать собственную пользовательскую модель, в том числе и внешними средствами (Matlab, Delphi и т.п).

В состав пакета SystemView входят следующие библиотеки:

- Communications Library – содержит модели каналов, кодеров и декодеров, модуляторов и демодуляторов;
- DSP Library – предназначена для моделирования цифровых сигнальных процессоров, в том числе содержит прототипы для реализации ПЛИС;
- RF/Analog Library – содержит модели различных радиотехнических устройств трактов аналоговой обработки сигналов;
- Logic Library – библиотека цифровых логических схем;
- CDMA/PCS Library – включает модели устройств, используемых в современных системах персональной связи, в том числе и с кодовым разделением каналов;
- Digital Video Broadcasting (DVB) Library – объединяет модели функциональных блоков, используемых в аппаратуре цифрового телевизионного вещания;
- EnTegra Adaptive Filter Library – библиотека компонентов адаптивных фильтров;

Интерфейс SystemView с пакетом Matlab обеспечивает возможность использования отработанных алгоритмов этого пакета, что сильно расширяет возможности разработчика.

Система содержит множество дополнительных средств для наращивания и усложнения модели, с целью максимального приближения её к реальной аппаратуре. Внутренние средства анализа ограничены осциллографом и анализатором спектра, однако, в системе имеется возможность записи временной реализации в файл, это позволяет выполнять обработку данных с помощью других программных средств, таких как LabView фирмы National Instruments [13,14].

Рассмотрим основные приёмы работы с пакетом SystemView. Окно программы (рис. 4.12) содержит меню, панель инструментов (рис. 4.13), полосы горизонтальной и вертикальной прокрутки, область проектирования, область сообщений и перечень модулей.

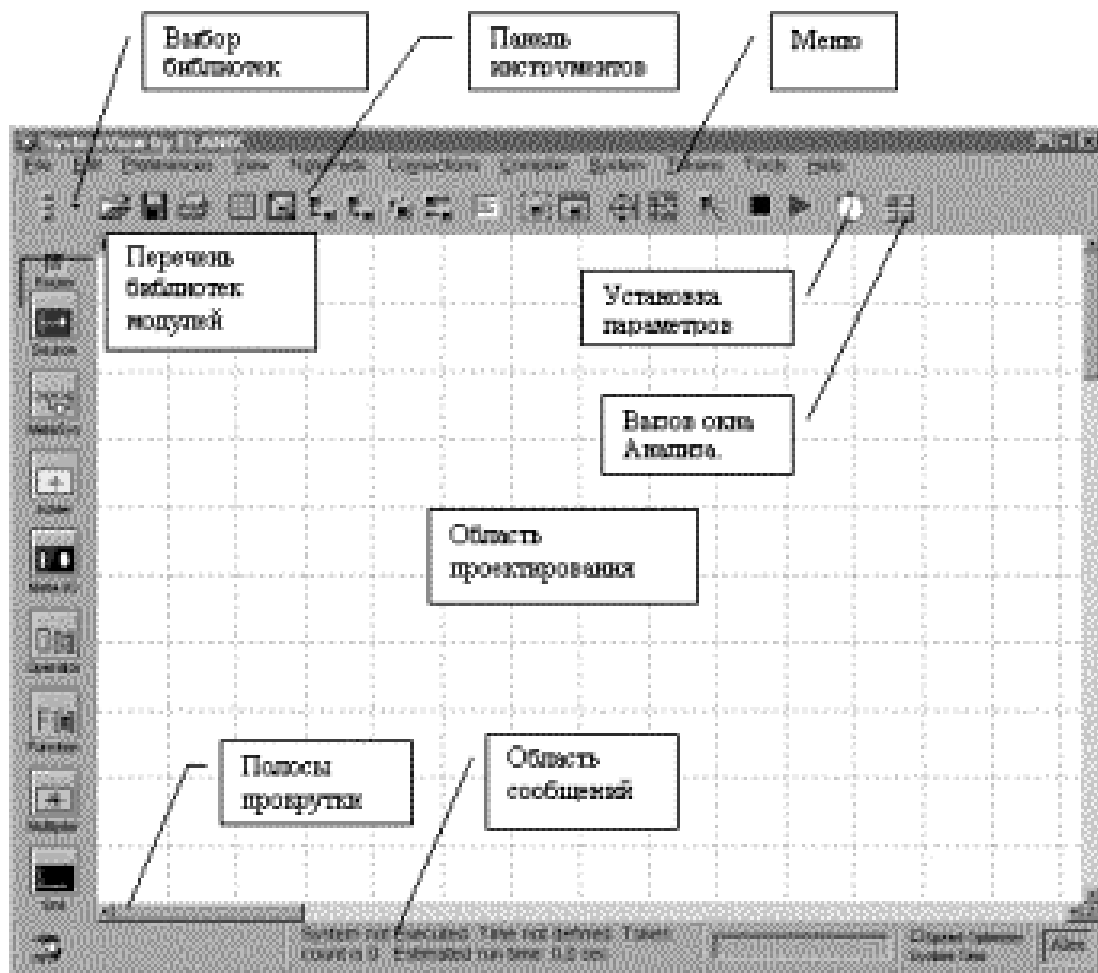


Рис. 4.12. Окно программы SystemView

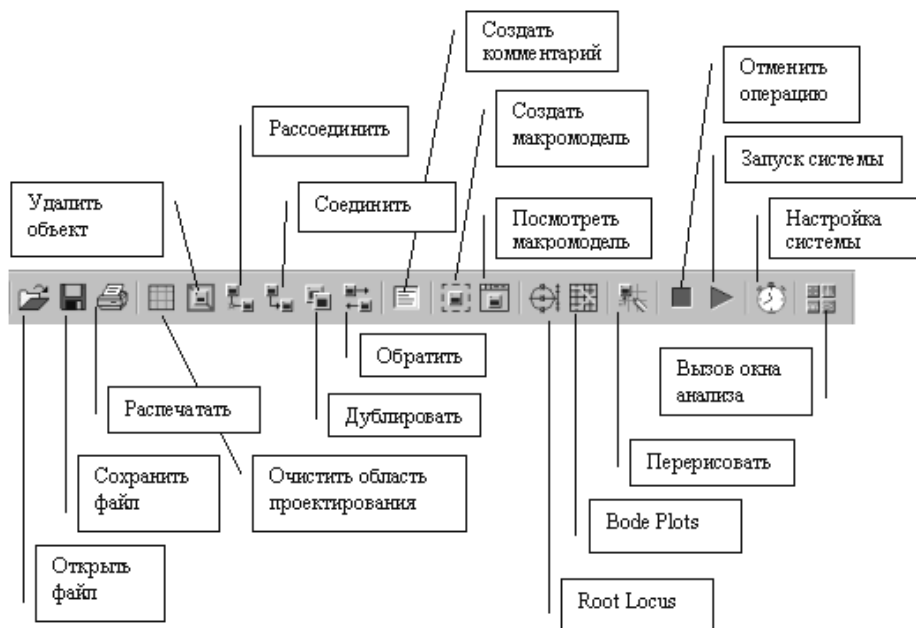


Рис. 4.13. Панель инструментов программы SystemView

Рассмотрим создание схем в пакете SystemView. Программа SystemView по сути представляет собой конструктор, с помощью которого из модулей строится функциональная схема. Доступные библиотеки модулей расположены в левой части окна программы, представленного на рисунке 4.12. Для того, чтобы добавить модуль в функциональную схему, нужно перетащить мышью значок соответствующего модуля в область проектирования, затем дважды щёлкнуть левой кнопкой мыши на перенесённом значке (или нажать правую кнопку мыши и в появившемся меню выбрать пункт Library) и выбрать в появившемся окне библиотеки (рис. 4.14) необходимый функциональный модуль. Для установки параметров и характеристик необходимо нажать кнопку «Parameters», расположенную справа.

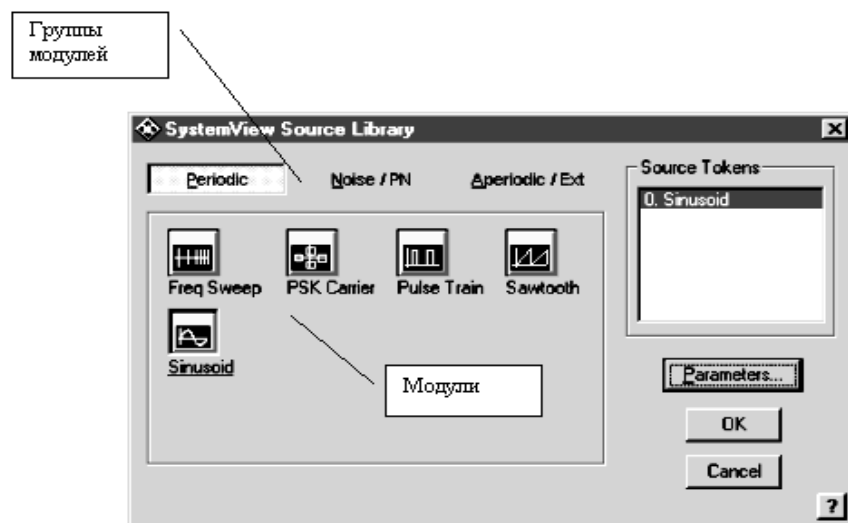


Рис. 4.14. Окно библиотеки программы SystemView

При вводе числовых значений доступны функции калькулятора, например, возможно при вводе значения амплитуды написать $(3*0.5)^2$ – система подсчитает значение амплитуды, равное 2,25 В. Приоритет операторов приведён ниже:

1. функции – (sin(..) , sinh(..), ...);
2. ^ (возведение в степень);
3. *,/,+,- (умножение, деление, унарное сложение, вычитание);
4. +,- (сложение, вычитание).

Для смены библиотек модулей, отображаемых в перечне, необходимо нажать кнопку выбора библиотек, которая расположена в левом верхнем углу основного окна программы (рис. 4.12).

Рассмотрим пример построения самой простой системы. Эта система генерирует синусоидальный сигнал, который впоследствии возводится в квадрат. Готовая система представлена на рисунке 4.15.

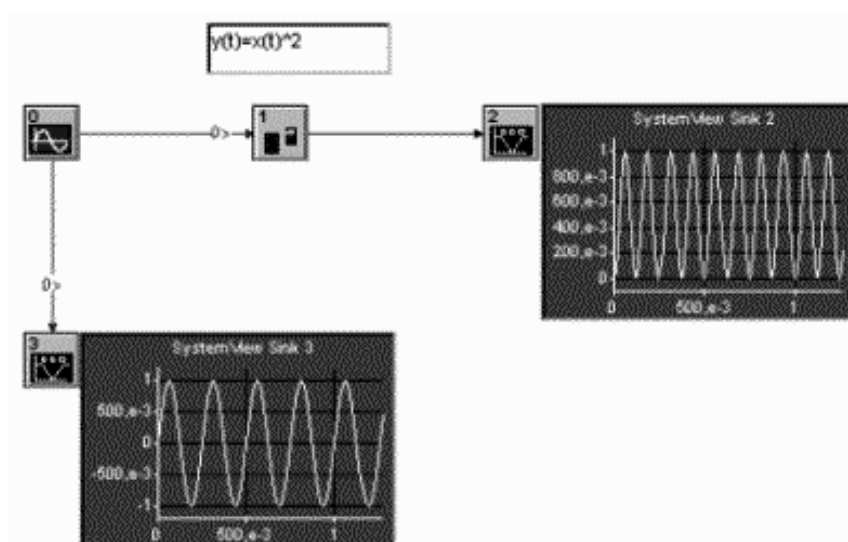







Рис. 4.15. Пример простой системы в программе SystemView

Рассмотрим порядок ввода системы и её моделирования. Для начала следует нажать кнопку настройки системы , расположенную на панели инструментов. В появившемся окне настроек следует нажать кнопку «Ok» для установки параметров, принятых по умолчанию. Затем перетаскиваем мышью значок источника сигнала  из перечня библиотек модулей, расположенный в левой части основного окна, в область проектирования. Дважды щёлкнув мышкой на перенесённом значке для вызова окна библиотеки модулей, следует выбрать источник синусоидального сигнала (Sinusoid) . Затем нажатием кнопки Parameters, осуществляется вызов окна установки параметров. Устанавливаем значение частоты (Frequency) равное 4 Гц.

Для задания модуля возведения в квадрат перетаскиваем мышкой значок функционального модуля  из перечня библиотек модулей в область проектирования, затем выбираем группу Algebraic и модуль возведения в степень (X^a)  (рис. 4.16).

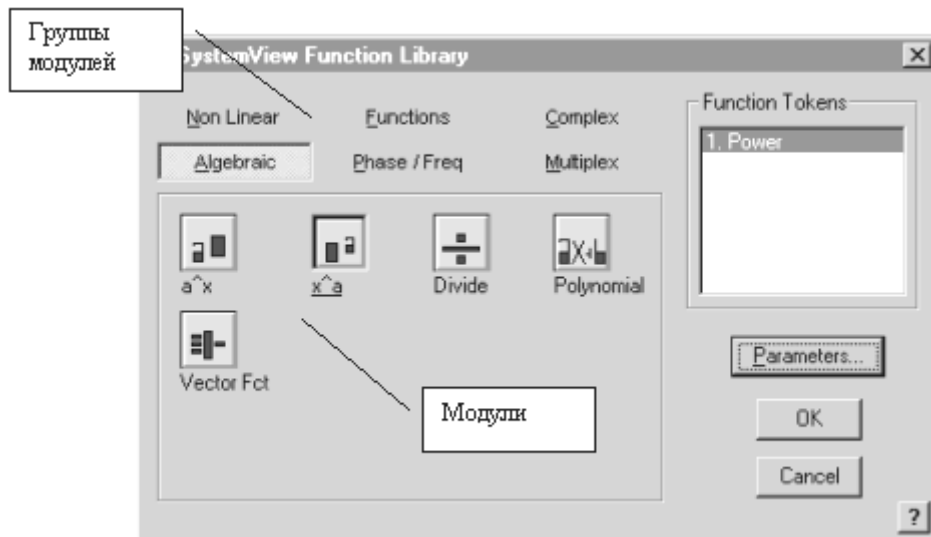


Рис. 4.16. Задание модуля возведения в квадрат

Таким образом система готова, осталось только её запустить. Рассмотрим моделирование простой системы с обратной связью. Структура системы приведена на рисунке 4.17.

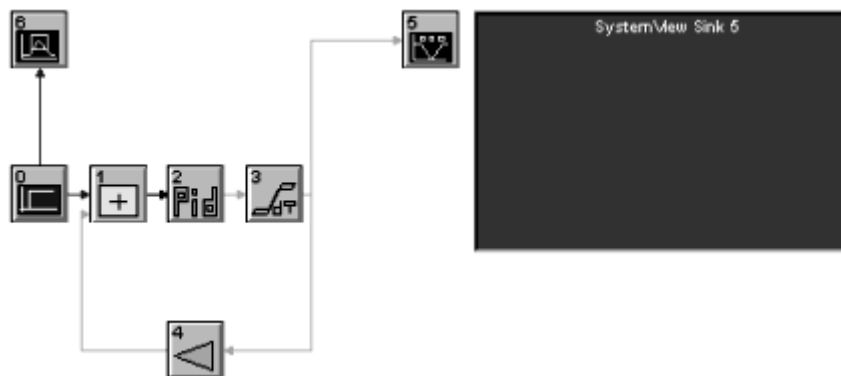







Рис. 4.17. Модель системы с обратной связью

Произведём установку параметров системы: количество отсчётов (выборок) (number of samples) установим равным 512, частоту дискретизации (sample rate) – 100 Гц. Установим источник сигнала  из перечня библиотек модулей, расположенного в левой части основного окна, в область проектирования. Дважды щёлкая мышкой на перенесённом значке для вызова окна библиотеки модулей, затем в появившемся окне выбираем

группу Aperiodic/Ext и модуль Step Fct (функция единичного скачка) . Затем устанавливаем следующие значения параметров источника - амплитуда (Amplitude) равна 1, начальное время (Start time) – 0, смещение (Offset) – 0.


Затем аналогичным образом добавляем в систему сумматор (Adder) , перетащив мышью его значок из перечня библиотек модулей.

Далее добавляем в систему модуль – оператор (Operator)  для выбора пропорционального интегро-дифференциального регулятора. Для этого в окне библиотеки выбирается группа Integral/Diff и модуль PID. В настройках устанавливаются следующие параметры: Proportional Gain и Integrator Gain = 1, Derivative Gain = 0. Аналогично добавляются модули Integral и усилитель Gain (усиление) в группе Gain/Scale. В настройках усилителя устанавливаем следующие параметры: Gain units = Linear, Gain = -2.

С помощью кнопки Обратить , расположенной на панели инструментов, развернём модуль усилителя.

Для индикации результатов добавим в систему модуль – приёмник данных (Sink). Для этого в окне библиотеки выбирается модуль SystemView в группе Graphic Display.

Для вывода в файл в систему добавляется ещё один модуль – приёмник данных (Sink). В окне библиотеки выбирается модуль Analysis в группе Analysis/Export.

После ввода модулей производят их соединение между собой. Запуская процесс моделирования нажатием кнопки  в окне анализа, можно наблюдать процессы, происходящие в соответствующих точках модели.

Как видно из примера, работа в системе интуитивно понятна.

Теперь рассмотрим реализацию радиотехнического устройства в пакете SystemView. Рассмотрим реализацию супергетеродинного приёмника АМ-сигнала в системе SystemView. На рисунках 4.18 и 4.19 приведены, соответственно, структурная схема и модель приёмника. На вход приёмника подаётся ансамбль АМ сигналов, характеристики которых приведены в таблице 4.1, с плавно изменяющимися частотами модулирующих сигналов от 0 до W .

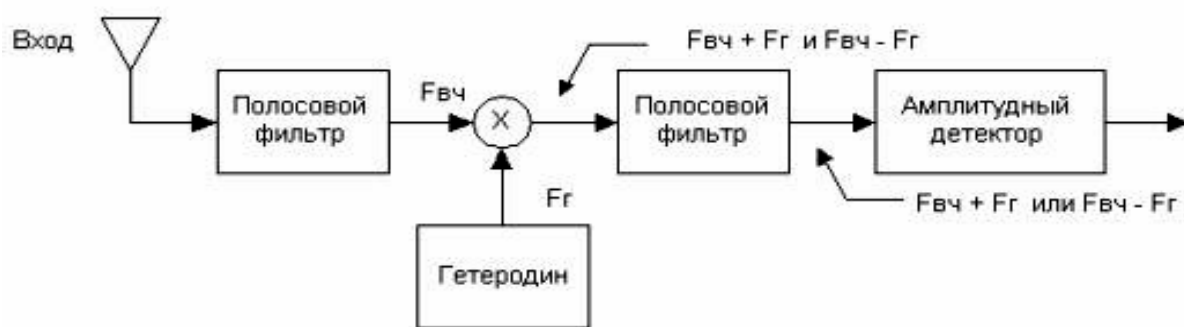


Рис. 4.18. Структурная схема супергетеродинного приёмника

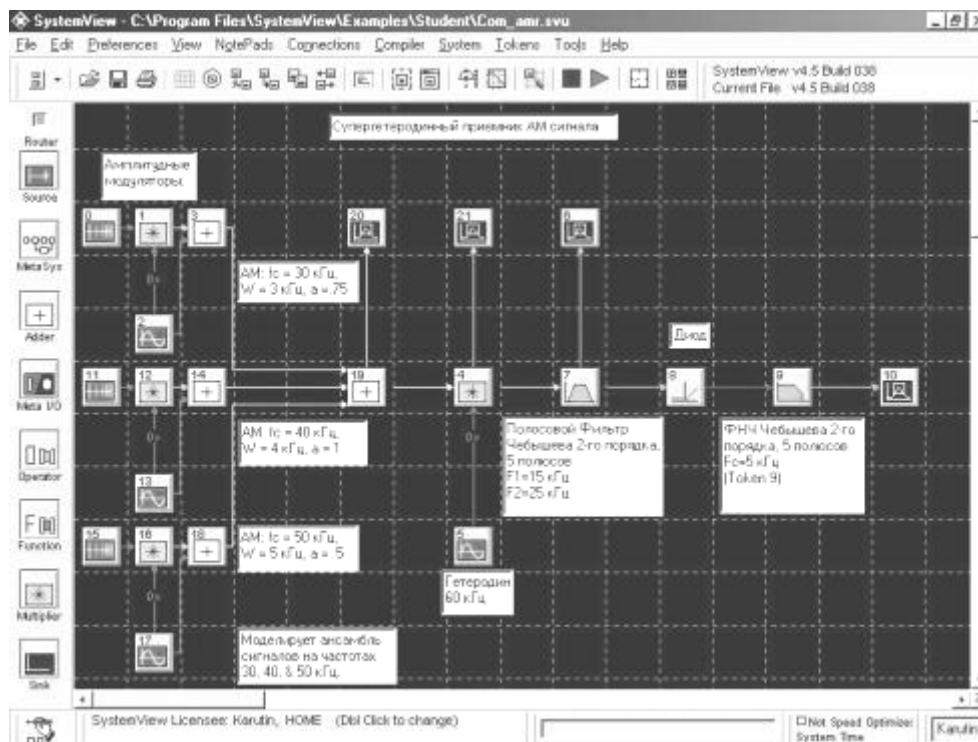



Рис. 4.19. Модель супергетеродинного приёмника в программе SystemView

Таблица 4.1

Параметры сигналов супергетеродинного приёмника

Несущая частота, кГц	Максимальная частота модуляции W , кГц	Индекс модуляции, a
30	3	0,75
40	4	1
50	5	0,5

В данной модели отсутствует входной фильтр, но при необходимости он может быть добавлен. Настойка фильтра промежуточной частоты определяет, какой из трёх входных сигналов необходимо принять. В данной реализации принимается сигнал с несущей частотой 40 кГц. Амплитудный детектор выполнен на диоде, который моделируется характеристикой.

В пакете SystemView имеются средства анализа происходящих в модели процессов. На рисунке они представлены в виде пиктограмм с белым рисунком на синем фоне (пиктограммы 6, 10, 20 и 21). Запуск процесса моделирования осуществляется нажатием кнопки , в окне анализа можно наблюдать процессы, происходящие в соответствующих точках модели. На рисунке 4.20 представлены результаты анализа процессов, происходящих при приёме выбранных сигналов. В левом верхнем углу приведён спектр группового сигнала на входе приёмника, под ним – спектр сигнала

после преобразования частоты. В правом верхнем углу – спектр сигнала после полосового фильтра промежуточной частоты, и наконец, в правом нижнем углу – зависимость от времени сигнала на выходе диодного детектора.

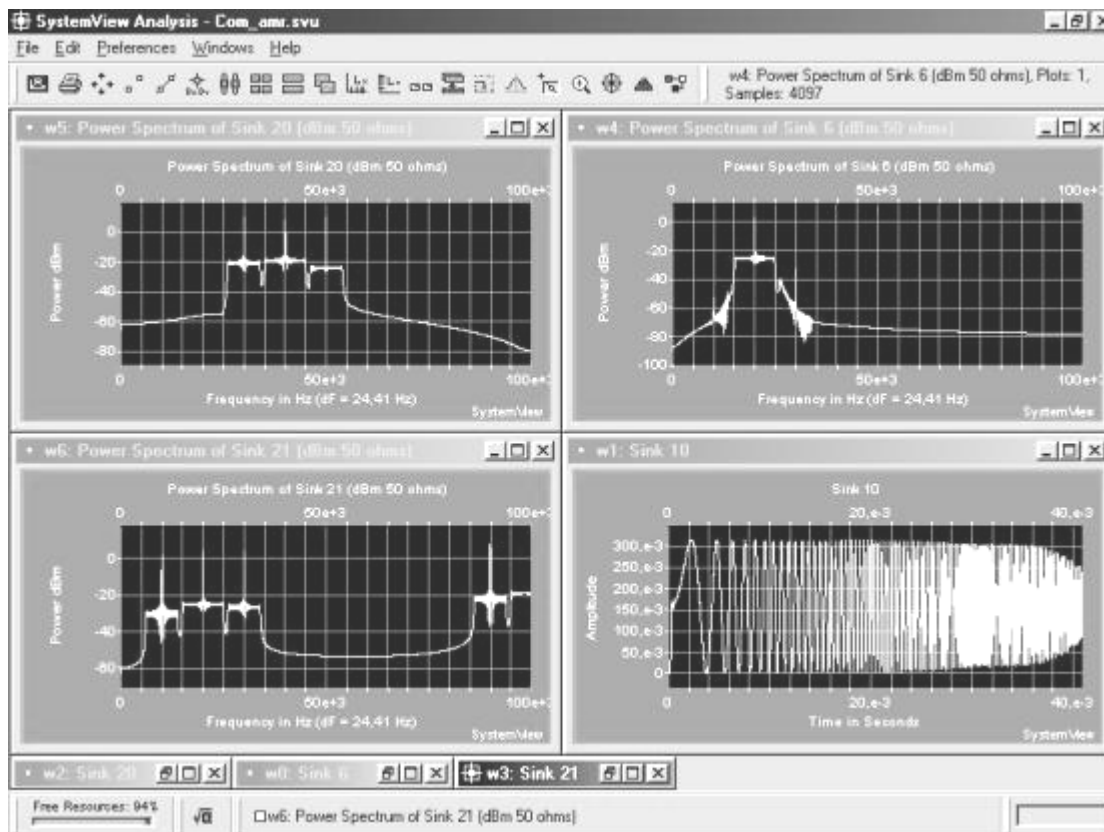


Рис. 4.20. Результаты моделирования процессов супергетеродинного приёмника

Более подробно с основами работы в пакете SystemView можно ознакомиться в [5, 6].

4.5. Выбор элементной базы, разработка электрической принципиальной схемы

После разработки структурной схемы появляется возможность выбора элементной базы ЭУ. В первую очередь, необходимо решить, какие функциональные части ЭУ могут быть построены на интегральных микросхемах (ИМС), а какие – построены на дискретных электро радио элементах (ЭРЭ).

Если какая-либо функциональная часть или все ЭУ могут быть построены на ИМС, то нужно выбирать именно их ввиду значительных преимуществ, которые связаны с разработкой, производством и эксплуатацией микроэлектронной аппаратуры.

Возможны три типа элементной базы: ИМС, дискретные ЭРЭ, ИМС и дискретные ЭРЭ. Практически любое ЭУ, построенное на ИМС, имеет некоторое количество дискретных ЭРЭ. Однако если все основные функции в ЭУ выполняют ИМС, а дискретные ЭРЭ выполняют вспомогательные функции (фильтры в цепях питания, согласование с помощью мощных транзисторов, тиристоров или оптронов выходов ЭУ с нагрузками и т.п.), то такое ЭУ является, несомненно, микроэлектронным. На ИМС обычно строят ЭУ, перерабатывающие информацию на низком уровне напряжения и мощности. Так, например, электронные часы, структурная схема которых показана на рисунке 4.3, могут быть полностью построены на ИМС. Смешанную элементную базу имеют ЭУ, содержащие как маломощные, так и мощные функциональные элементы. Например, смешанную элементную базу имеют усилители, содержащие каскады предварительного усиления напряжения сигнала (ИМС) и мощные каскады (транзисторы).

На дискретных элементах создают ЭУ, которые не могут быть построены на ИМС по следующим двум основным причинам: а) значения некоторых электрических параметров не могут быть получены с применением ИМС; б) промышленность не выпускает ИМС данного функционального назначения.

Таким образом, если элементной базой являются цифровые ИМС, данный этап завершается выбором конкретной их серии. В других случаях он завершается лишь установлением типа элементной базы (дискретные ЭРЭ или дискретные ЭРЭ и ИМС), а выбор конкретных типов ЭРЭ производится при разработке принципиальной схемы и расчёте параметров её элементов.

Разработка принципиальной схемы. Выполняется на схемотехническом этапе проектирования и представляет собой более высокий уровень синтеза ЭУ, чем уровень синтеза структурной схемы. В то время как структурная схема есть совокупность формальных моделей функциональных частей ЭУ, принципиальная схема является совокупностью электрических моделей этих частей. Чтобы получить формальную модель, например, делителя частоты, достаточно изобразить прямоугольник и написать в нём «делитель частоты f/n »; чтобы получить электрическую модель этого делителя, необходимо изобразить электронную цепь (электронную схему), способную выполнять эту функцию. Таким образом, принципиальная схема является второй, менее абстрактной моделью ЭУ. Естественно, она значительно полнее, чем структурная схема, отображает свойства ЭУ.

Принципиальная схема синтезируется по структурной схеме ЭУ на основе анализа требований ТЗ, а также требований, предъявляемых разработчиком к каждому функциональному элементу. Эти требования разработчик устанавливает, руководствуясь нормативно-техническими документами (ГОСТ, ОСТ, ТУ и др.), результатами различных экспериментов и испытаний, общими конструкторскими нормами и правилами с целью ограничения, типизации и унификации изделия.

Для некоторых функциональных элементов такие требования могут быть сформулированы лишь после электрического расчёта принципиальных схем других функциональных частей. В результате складывается вполне определённый алгоритм разработки принципиальной схемы и её расчёта для каждого вида ЭУ.

Разработка принципиальной схемы функционального элемента заключается в выборе одной из известных схем, наиболее полно удовлетворяющей совокупности технико-экономических требований при максимальной её простоте и надёжности.

Принципиальная схема служит основанием для разработки других конструкторских документов, например, схем соединений (монтажных) и чертежей. Пользуются ими для изучения принципов работы ЭУ, а также при наладке, контроле и ремонте ЭЛ.

Приступая к разработке принципиальной схемы какого-либо функционального элемента, необходимо хорошо ознакомиться с имеющимися в литературе схемами этого элемента. Синтез схемы происходит в процессе всестороннего анализа свойств и параметров описанных в литературе схем, выяснения их соответствия предъявляемым требованиям, выбора наиболее соответствующей этим требованиям схемы. Поэтому при разработке схемы необходимая литература должна быть постоянно под руками. Без широкого использования литературных данных маловероятно создание хорошей схемы ЭУ.

Обычно возникает вопрос, с какого блока и в какой последовательности разрабатывать принципиальную схему? Можно рекомендовать принципиальные схемы блоков синтезировать в той же последовательности, какая была принята для структурной схемы (п. 4.2).

4.6. Электрические расчёты электрической принципиальной схемы, окончательный подбор электрорадиоэлементов

Требования к точности расчётов. Расчётные формулы, получаемые в результате анализа упрощённой математической модели схемы (ММС) ЭУ, оказываются приближёнными, точность их различна и зависит от характера и количества упрощений.

Так как точное значение определяемой по формуле величины неизвестно, погрешность оценивают, сопоставляя результаты расчёта и эксперимента. Разница в 1–5 % обычно воспринимается как свидетельство весьма хорошей ММС. Иногда, например, при расчёте потерь в магнитопроводах, значений паразитных ёмкостей, индуктивностей, считается приемлемой погрешность в 20 % и более.

Проводя расчёты по приближённым формулам, следует соблюдать правила приближённых вычислений. Всегда необходимо помнить о той точности, которую нужно или которую можно получить. Совершенно недопустимо вести вычисления с большой точностью, если данные задачи не позволяют или не требуют этого.

Для определения точности, с которой следует получать данные, необходимо знать погрешности, вносимые приближёнными расчётными формулами. В технической литературе, содержащей методы расчёта электронной схемы (ЭС), погрешности формул не указывают. Это связано с тем, что, с одной стороны, точные значения рассчитываемых величин неизвестны, и потому определить аналитически погрешности невозможно, а даваемые этими формулами (других нет) значения данных наиболее близки к точным. С другой стороны, данные расчёта являются исходными для макетирования (или для анализа и оптимизации на ЭВМ при автоматизированном проектировании) и уточняются экспериментально на этой завершающей стадии разработки ЭУ. Наличие стадии макетирования даёт веские основания полагать, что точность расчётных формул в среднем заметно ниже 1 %.

Другим источником приближённых данных при расчёте ЭС являются различные диаграммы и графические построения на них. Оценка средней относительной погрешности данных, получаемых из диаграмм, также составляет 1 %.

Следовательно, для расчётов в курсовом проекте можно принять точность, равную 1 %, поэтому у получаемых данных будут две верные значащие цифры. Например, числа 8510; 27,6; 1,836; 0,0764 следует представлять, соответственно, в виде $8,5 \cdot 10^2$; 10^2 ; 28; 1,8; 0,076 или $7,6 \cdot 10^{-2}$.

Фактором, снижающим требования к точности расчётов, является также то обстоятельство, что расчётные значения для постоянных резисторов и постоянных конденсаторов необходимо заменять *номинальными величинами*, соответствующими *стандартным шкалам этих компонентов*, а вероятность точного совпадения расчётного значения с номинальным весьма мала. Например, расчётное сопротивление 1,7 кОм. Ближайшие стандартные значения ряда E24 – 1,6 и 1,8 кОм заметно отличаются от расчётного. Ещё больше отличаются значения рядов E12 (1,5 и 1,8 кОм) и E6 (1,5 и 2,2 кОм).

К сожалению, примеры расчёта ЭС во многих книгах даны без соблюдения правил приближённых вычислений. В одном и том же примере можно встретить данные с одной, двумя, тремя и даже с четырьмя значащими цифрами, что, конечно же, дезориентирует читателя.

Основная задача расчёта. Основной задачей расчёта является определение значений электрических параметров компонентов принципиальной схемы, обеспечивающих её эффективную оптимизацию в дальнейшем. Таким образом, электрический расчёт даёт значения параметров ЭРЭ, которые на стадии оптимизации ЭС будут уточнены.

Задачу расчёта полагают решённой, если определены номинальные значения параметров всех пассивных ЭРЭ, значения параметров компонентов схем замещения активных ЭРЭ, определены типы ЭРЭ при значениях выходных параметров, гарантирующих работоспособность ЭА в случайных условиях её производства и эксплуатации.

Решение данной задачи далеко не единственное. Для любой ЭС существует некоторое множество подмножеств значений параметров компонентов, удовлетворяющее предъявляемым к ней техническим требованиям (ТТ). Множественность решения вытекает из того обстоятельства, что параметры всех компонентов входят в *уравнения равновесия – уравнения Кирхгофа*, и вариации значений параметров одних компонентов могут быть компенсированы вариациями значений параметров других компонентов при неизменных значениях одних и меняющихся в допустимых пределах значениях других выходных параметров. Отсюда следует также, что вариация значения параметра любого компонента схемы x в той или иной мере влияет на значения её выходных параметров y . Другими словами, каждый выходной параметр $y(x)$ является функцией параметров компонентов, образующих вектор X . В частных случаях в вектор X входят не все параметры компонентов, а лишь те, значения которых могут изменяться. Такие параметры называют *управляемыми*. Например, часто к управляемым параметрам относят только параметры пассивных компонентов, поскольку типы активных компонентов выбраны заранее.

Среди множества вариантов, удовлетворяющих ТТ, имеется некоторый вариант, наиболее полно удовлетворяющий частные критерии оптимальности. Как отыскать этот вариант? Единственный способ отыскания оптимального варианта состоит в том, чтобы, рассчитав один вариант и зная физический принцип действия ЭС, определить управляемый параметр, изменение значения которого благоприятно отразится на качестве ЭС, и, задав новое значение этому параметру, рассчитать второй вариант. Рассчитав второй вариант, нужно сопоставить его с первым, и если сделанный шаг ведёт в правильном направлении, необходимо сделать в этом направлении второй шаг. Таким образом, делая шаг за шагом, меняя значения ряда управляемых параметров, можно было бы отыскать вариант, наиболее полно соответствующий всем частным критериям оптимальности.

К сожалению, присущие аналитическим методам большая трудоёмкость расчётов при переборе множества вариантов и невысокая точность расчётных формул приводят практически к отказу от поиска оптимального варианта расчётным путём. Рассчитывают обычно один вариант ЭС, который затем подвергают оптимизации на макете или моделируют в системах автоматического проектирования (САПР) на ЭВМ.

Последовательность и типы расчёта. Отметим основные черты расчёта ЭУ на дискретных элементах.

1. Расчёт любого сложного ЭУ сводится к последовательному расчёту функциональных элементов, из которых сложное ЭУ синтезировано. Приводимые в технической литературе методы расчёта разработаны для применяемых на практике схем функциональных элементов (усилительных каскадов, выпрямителей, мультивибраторов и т.д.) и для наиболее широко распространённых типов сложных ЭУ (электронных стабилизаторов, радиоприёмных устройств и т.д.).

2. Расчёт ЭУ, состоящего из ряда последовательно соединённых функциональных элементов, начинают со стороны его выхода, с конца. Выходной функциональный элемент – единственный в ЭУ, для расчёта которого в ТЗ сформулированы достаточные требования. Необходимые для расчёта дополнительные данные – значения входных и внешних для данного элемента параметров – разработчик устанавливает сам, стремясь оптимизировать режим работы ЭУ. Эти значения входных параметров являются выходными параметрами при расчёте функционального элемента, предшествующего в схеме входному. Так, последовательно, шагами рассчитывают все устройство.

Нетрудно видеть, что задача расчёта ЭУ является *многошаговой оптимизационной задачей*. Решение такой задачи методом динамического программирования всегда начинают с конца, с оптимизации её последнего шага.

3. Расчёт ЭУ часто имеет итерационный характер. После выполнения ряда расчётных операций возникает необходимость повторить предыдущие операции для улучшения структуры или режимов всего ЭУ, или его функциональных частей. Например, расчёт может показать необходимость введения дополнительных обратных связей, что, естественно, потребует повторения некоторой части расчётов.

4. Детальному расчёту функциональных элементов должен предшествовать ориентировочный расчёт значений выходных параметров тех функциональных элементов, которые определяют значения выходных параметров всего ЭУ. Это позволяет достаточно быстро оценить практическую возможность их реализации. Например, перед тем как рассчитывать каскады многокаскадного усилителя, необходимо распределить между ними все виды искажений, определить их коэффициенты усиления и полосы пропускания. Если полученные значения представляются достижимыми, то можно переходить к расчёту функциональных элементов.

При проектировании ЭУ наиболее часто выполняют:

- а) ориентировочный расчёт выходных параметров функциональных элементов, производимый при выборе их принципиальных схем;
- б) расчёты, на основе которых выбирают типы активных ЭРЭ (транзисторы, диоды, ИМС и др.);
- в) расчёты рабочих режимов активных ЭРЭ, включая расчёт температурной неустойчивости;

- г) расчёт значений параметров R , C , L пассивных ЭРЭ, обеспечивающих выбранные режимы активных ЭРЭ, а также расчёт протекающих через пассивные ЭРЭ токов, падающих на них напряжений и рассеиваемых ими мощностей;
- д) определение номинальных значений параметров пассивных ЭРЭ и выбор их типов;
- е) расчёт выходных параметров ЭУ с целью проверки их соответствия требованиям ТЗ (проверочный расчёт).

Расчёты по п. а–д входят в расчётную процедуру стадии синтеза принципиальной схемы, в по п. е – её анализа.

Задача анализа наиболее ответственная, его результаты должны быть достаточно точными. Поскольку аналитические методы не обеспечивают требуемой точности, анализ ЭС чаще производят или на физической модели (макете), или на ЭВМ, что значительно удобнее и быстрее, если, конечно, имеется необходимое математическое и программное обеспечение ЭВМ. Отметим, что достоверность результатов макетирования обычно выше, чем полученных на ЭВМ.

Расчёт электронных схем. Электрические расчёты схем функциональных элементов в курсовом проекте выделяют в виде самостоятельных параграфов, которые снабжают краткими конкретными заголовками, выносимыми в оглавление.

После заголовка формулируют задачи расчёта с указанием, что именно требуется определить при расчёте. Перечисление задач расчёта должно быть конкретным, но обобщённым. Далее приводят исходные для расчёта данные, причём если какая-либо величина появляется в расчётах впервые, дают её наименование. Это требование распространяется также на все величины, появляющиеся в процессе расчёта.

Обязательно должна быть показана (ГОСТ 2.106–68) принципиальная электрическая схема рассчитываемого функционального элемента. Обозначения ЭРЭ устанавливают для каждой схемы независимо с учётом места их нахождения в схеме (например, R_k – резистор в цепи коллектора, C_b – конденсатор в цепи базы транзистора и т.п.) или выполняемых функций (например, $R_{огр}$ – ограничительный резистор, C_ϕ – конденсатор фильтра и т.п.). Принципиальную схему или её фрагменты допускается вычерчивать в произвольном масштабе, обеспечивающем чёткое представление о рассчитываемой цепи.

Расчёт приводят полностью. Кроме расчётных формул должны быть представлены использованные при расчёте характеристики полупроводниковых приборов и другие диаграммы. Не следует приводить громоздкие таблицы, из которых заимствованы данные, сложные номограммы, а также различного вида диаграммы и таблицы общего применения из математических и электротехнических справочников. В подобных случаях в соответствующих местах текста должны быть сделаны ссылки на источники заимствования.

Расчёт рекомендуется заканчивать составлением таблиц произвольной формы, в которых приводятся исчерпывающие данные для резисторов и конденсаторов схемы. Для резисторов такими данными являются: расчётное сопротивление и расчётная мощность рассеяния, тип резистора, номинальное сопротивление, допускаемое отклонение от номинального значения (в процентах), номинальная мощность рассеяния. Для конденсаторов необходимо указывать: расчётную ёмкость, максимальное рабочее напряжение (с учётом аварийных режимов цепи), тип конденсатора, номинальную ёмкость, допускаемые отклонения ёмкости от номинального значения, номинальное рабочее напряжение.

В дальнейшем сведения из этих таблиц будут использованы при разработке таблицы с перечнем элементов полной принципиальной схемы.

Окончательный подбор электрорадиоэлементов. При проектировании возникает задача выбора ЭРЭ из чрезвычайно широкого их ассортимента. При промышленном проектировании эта задача благодаря правовому ограничению номенклатуры ЭРЭ, действующему в отрасли, на предприятии или при разработке определённых видов ЭА, опыту разработчиков не представляется сложной.

При курсовом проектировании студенту, не имеющему необходимых знаний и опыта, правильно выбрать ЭРЭ из справочников отнюдь не просто. В связи с этим ниже даны рекомендации по выбору основных типов ЭРЭ.

Полагаем, что стандартный ЭРЭ выбран правильно, если номинальные значения его параметров находятся в допускаемых отношениях (равны, больше или меньше) с расчётными значениями этих параметров, а условия эксплуатации соответствуют ТУ.

Транзисторы

1. Хотя транзисторы являются приборами универсального применения и могут быть успешно использованы в функциональных элементах различных классов, их следует применять преимущественно по назначению, указанному в справочнике.

Набор параметров и характеристик, приводимый в справочнике, соответствует, в первую очередь, этому назначению транзистора и обеспечивает детальный расчёт ЭС указанного класса.

По целевому назначению транзисторы обычно делят на усилительные, переключательные (импульсные), генераторные и специальные (лавинные, сдвоенные, двухэмиттерные и т.п.).

2. В справочнике приводятся значения параметров транзистора для соответствующих оптимальных или предельных режимов эксплуатации. Рабочий режим транзистора в проектируемом ЭУ часто отличается от указанного в справочнике. В таком случае необходимо по имеющимся в справочнике характеристикам и формулам, а также методом интерполяции определить значения параметров транзистора, соответствующие выбранному режиму.

3. Применение высокочастотных транзисторов в низкочастотных ЭУ нежелательно, т.к. они дороги, склонны к самовозбуждению и развитию вторичного пробоя, обладают меньшими эксплуатационными запасами.

Эксплуатационный запас — это разница между максимальным (предельным) значением какого-либо параметра и его максимально допустимым (предельно допустимым) значением.

Максимальные значения параметров определяют такие режимы, при которых работа транзистора (или другого ЭРЭ) недопустима ввиду его низкой надежности; *максимально допустимые значения* параметров — такие значения, в пределах которых гарантируют максимально допустимые значения параметров.

4. Не допускается превышение максимально допустимых значений напряжений, токов, температуры, мощности рассеяния. Как правило, транзистор работает более устойчиво при неполном использовании его по напряжению и полному использованию по току.

Для надёжной работы транзистора напряжение на его коллекторе и рассеиваемая на нём мощность должны составлять не более 70–80 % от максимально допустимых значений. Создаваемый тем самым *второй эксплуатационный запас* предотвращает превышение этими параметрами их максимально допустимых значений при колебаниях, например, питающих напряжений, при переходных режимах, возникающих при включении ЭА, и др.

5. Не следует применять мощные транзисторы там, где можно применить маломощные, т.к. при использовании мощных транзисторов в режиме малых токов их коэффициент передачи по току мал и сильно зависит как от тока, так и от температуры окружающей среды. Кроме того, ухудшаются массогабаритные и стоимостные показатели ЭА.

Необходимо применить транзистор минимально возможной для данных конкретных условий мощности, но так, чтобы он при этом не перегревался. Лучше применить транзистор малой мощности с небольшим теплоотводом, чем большой мощности без теплоотвода.

6. Если нет особых причин для применения германиевого транзистора, лучше применить кремниевый. Кремниевые транзисторы лучше работают при высоких температурах, имеют более высокие пробивные напряжения и у них на один-два порядка меньше, чем у германиевых, обратные токи.

7. Коэффициент передачи тока базы $h_{21Э}$ зависит от тока коллектора и при некотором его значении обычно имеет максимальное значение. Для хорошего усиления на низких частотах желательно выбирать это максимальное значение $h_{21Э}$ или близкое к нему по приводимым в справочнике графикам. В других случаях коэффициент передачи тока следует принимать равным указанному в справочнике типовому значению или среднему арифметическому от минимального и максимального значений параметра.

Полупроводниковые диоды

1. Необходимо применять диоды по указанному в справочнике назначению, например, в выпрямителе следует применять выпрямительные диоды, в импульсных устройствах – импульсные диоды и т.д.

2. Обратное напряжение на диоде и прямой ток через него (в том числе импульсный) не должны превышать 70–80 % от максимально допустимых значений.

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

Резисторы

1. В разрабатываемом ЭУ в качестве различных нагрузок, поглотителей и делителей в цепях питания, элементов фильтров, в цепях формирования импульсов и т.п. следует применять *резисторы постоянного общего назначения*.

2. При курсовом проектировании рекомендуется применять резисторы постоянного общего назначения типа МЛТ.

3. *Резисторы постоянные специальные* (прецизионные, высокочастотные, высокоомные, высоковольтные и др.) следует применять в тех случаях, когда значения соответствующих параметров резисторов общего назначения оказываются недостаточными, например, малы точность и сопротивление и т.д.

4. Допускаемое отклонение сопротивления от номинального значения следует выбирать с учётом чувствительности к нему выходных параметров, принимая при этом во внимание требование ограничения номенклатуры ЭРЭ.

5. *Переменные резисторы* следует применять по назначению. *Подстроенные резисторы*, подвижная система которых рассчитана на небольшое число перемещений (до 1000 циклов), – только в качестве подстроенных, регулировочных, масса, габариты и стоимость которых выше, – только в качестве регулировочных.

Конденсаторы

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

2. Допускаемое отклонение ёмкости от номинального значения следует выбирать с учётом чувствительности к нему выходных параметров ЭС.

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

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

4. Не следует без необходимости применять конденсатор с номинальным напряжением, значительно превышающим рабочее, т.к. при этом ухудшаются массо-габаритные и стоимостные показатели изделия.

5. Оксидные конденсаторы изготавливаются двух типов: полярные и неполярные. *Полярные* конденсаторы можно устанавливать лишь в тех цепях, в которых постоянная составляющая напряжения на конденсаторе будет больше амплитуды переменной составляющей. На *неполярные* конденсаторы это ограничение не распространяется.

Микросхемы

1. Главным условием применения микросхем является строгое соблюдение режимов работы, рекомендованных в технических условиях на выбранную микросхему. Это относится, в первую очередь, к величине напряжения питания, сопротивления нагрузки и диапазону температуры.

2. Необходимо рассмотреть возможность применения микросхем общего применения, характеризующихся низкой стоимостью, широким диапазоном напряжения питания, защищённым входом и выходом.

3. Рекомендации по применению аналоговых интегральных схем приводятся в справочной литературе.

4. При выборе микросхем необходимо избегать применения ИС разных серий. Если это неизбежно, то лучше применять микросхемы с одинаковым напряжением питания.

5. В заключение отметим некоторые особенности ИС, которые необходимо учитывать при монтаже и эксплуатации.

Для устранения паразитной генерации по цепям питания в их шинах, возле каждого операционного усилителя (ОУ), рекомендуется установить конденсаторы ёмкостью 0,01–0,05 мкФ.

Проводники печатной платы, подводящие напряжение питания, могут создавать паразитные токи, воздействующие на входы ОУ. Для схем, чувствительных к малым токам, нужно предусмотреть защиту входов ОУ от токов утечки. Защиту целесообразно выполнить в виде проводящего кольца печатной дорожки, которое располагают вокруг входов ОУ и соединяют с землей.

Для защиты от всплесков дифференциального сигнала при переходных процессах между входами ОУ можно включить встречно-параллельные диоды. Если ОУ не имеют встроенной защиты от короткого замыкания на выходе, то необходимо последовательно с выходным зажимом включить резистор сопротивлением 200 Ом, а цепь обратной связи подключить к другому выводу резистора. Такое включение практически не увеличивает выходное сопротивление ОУ.

Эксплуатация ТТЛ-ИС также имеет ряд особенностей. При проектировании и монтаже аппаратуры для повышения устойчивости работы ТТЛ-ИС их свободные входы необходимо подключить через резистор сопротивлением 1 кОм к источнику питания. К каждому резистору допускается

подключение 20 свободных входов. При монтаже микросхем на печатных платах необходимо предусмотреть вблизи разъёма подключение конденсаторов из расчёта не менее 0,1 мкФ на одну ИС, исключающих низкочастотные помехи. С целью устранения высокочастотных помех рекомендуется устанавливать по одному керамическому конденсатору на группу микросхем числом не более 10 из расчёта 0,002 мкФ на одну ИС.

4.7. Моделирование работы электронных схем в программах Proteus и Multisim

Для подтверждения работоспособности, анализа и оптимизации разработанной электрической принципиальной схемы ЭУ в настоящее время широко применяются специализированные программные средства разработки и анализа схем на элементном уровне. К наиболее популярным среди них относятся Proteus и Multisim.

Proteus. Программа компьютерного моделирования электронных устройств ISIS, входящей в состав системы PROTEUS VSM, созданной фирмой Labcenter Electronics на основе разработанного в университете Беркли (Berkeley) программного ядра SPICE3P5. Имеется огромная библиотека готовых моделей основных электронных компонентов, пополнять которую может сам пользователь. В ISIS имеется следующий набор виртуальных измерительных приборов: вольтметр, амперметр, осциллограф, логический анализатор, генераторы всевозможных сигналов.

В отличие от многих других эта программа способна моделировать устройства не только на дискретных компонентах, обычных аналоговых и цифровых микросхемах, но и на микроконтроллерах. В ISIS имеется возможность наблюдать за состоянием внутренних регистров микроконтроллеров разных семейств, корректировать и отлаживать их программы. Симулятор даёт возможность заглянуть внутрь микроконтроллера, сопоставив форму и характер сигналов на его выводах с ходом исполнения программы и изменениями состояния внутренних регистров. К этим регистрам модели (в отличие от реальной микросхемы) всегда имеется доступ.

Основное окно программы ISIS изображено на рисунке 4.21. Самое большое пространство отведено в нём под окно редактирования (Edit Window). Именно здесь происходят все основные операции по созданию, редактированию и отладке модели устройства. Слева вверху – маленькое окно предварительного просмотра (Overview Window). Оно помогает увидеть в окне редактирования нужную часть схемы отлаживаемого устройства, если она не помещается в нём целиком. Достаточно щёлкнуть по нужной точке уменьшенного изображения схемы в окне предварительного просмотра.

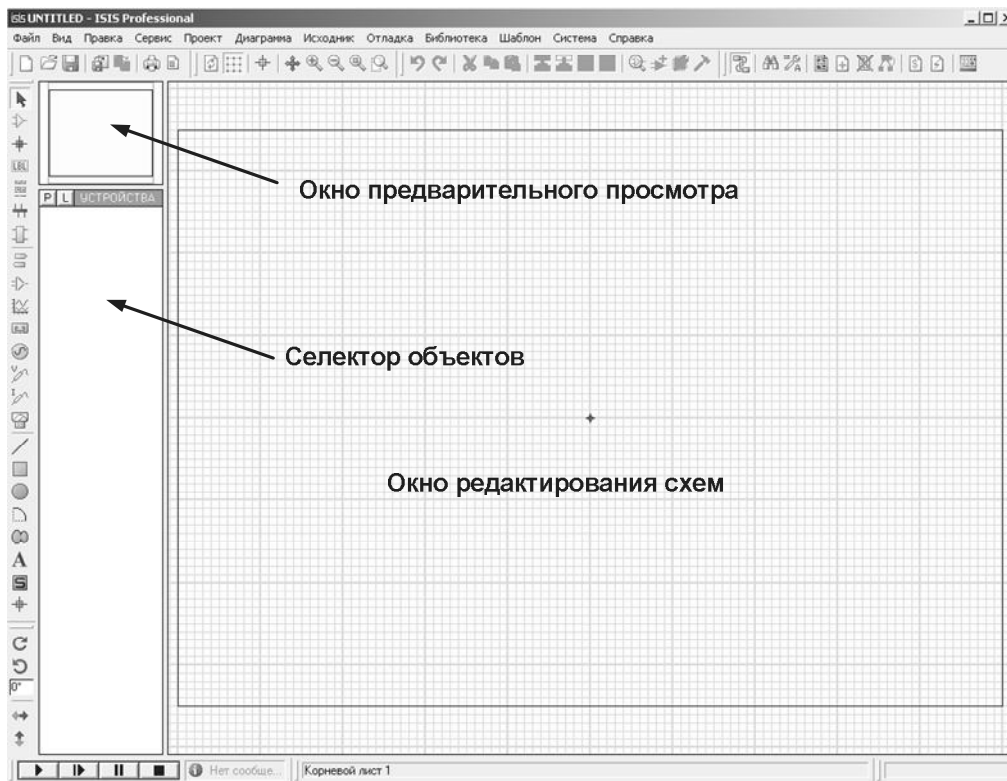


Рис. 4.21. Внешний вид интерфейса программы ISIS (Proteus)

Ниже окна предварительного просмотра находится селектор объектов (Object Selector). На рисунке 4.21 он пуст, однако в процессе работы сюда помещён список используемых в создаваемой модели компонентов, символов и других объектов. В окне предварительного просмотра будет изображён выделенный в списке объект.

Все возможные функции и инструменты ISIS доступны через меню, расположенное в самом верху основного окна программы, через находящиеся под меню и с левой стороны основного окна кнопки с пиктограммами и через «горячие клавиши», которые могут быть переназначены пользователем.

В самой нижней части основного окна расположены кнопки управления положением условного обозначения компонента на экране. С их помощью можно, например, расположить условное обозначение резистора горизонтально или вертикально, а выводы транзистора направить в нужную сторону. Находящаяся рядом панель управления симуляцией выглядит как магнитофонная и содержит кнопки: «Пуск»; «Шаг»; «Пауза»; «Стоп». В окне статуса справа от этих кнопок программа выводит подсказки оператору, сообщения об ошибках, прочую полезную информацию и текущие координаты курсора на экране (в дюймах).

Более подробно с принципами работы в данной оболочке можно ознакомиться в работе [22].

Multisim. Multisim – это редактор схем и приложение для их симуляции, входящее в систему разработки электрических схем, систему средств EDA (Electronics Design Automation).

Multisim так же как и Proteus базируется на промышленном стандарте SPICE 3F5. Её поддерживаемые модели созданы с использованием стандартного синтаксиса SPICE. Симуляторы, основанные на SPICE, преобразуют нелинейные дифференциальные уравнения в систему линейных алгебраических уравнений. Эти уравнения далее линеаризуют, используя модифицированный метод Ньютона-Рафсона. Полученная система линейных алгебраических уравнений эффективно решается с помощью LU метода факторизации обработки разреженных матриц (представление матрицы A в виде LU , где L – нижняя треугольная матрица с диагональными элементами, равными единице, а U – верхняя треугольная матрица).

В Multisim можно создать свою модель, используя Model Makers и назначая значения параметров модели примитива или создавая модель-подсхему (subcircuit model). Модель примитива – это модель, которая определяется набором параметров. Они используются как базовые строительные блоки в схемах и подсхемах (например, модель полупроводниковых резистора или конденсатора, конкретного транзистора, микросхемы и т.д.).

Интерфейс Multisim состоит из следующих базовых элементов (рис. 4.22.):

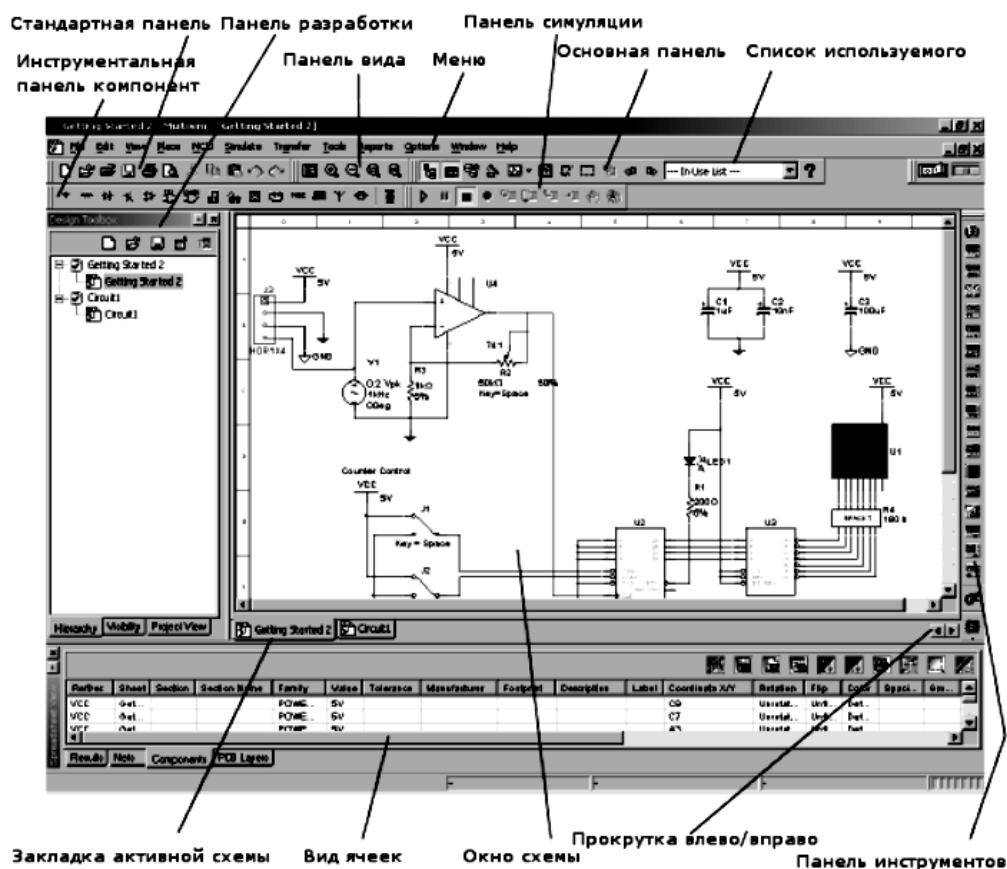


Рис. 4.22. Внешний вид интерфейса программы Multisim

Меню. Здесь можно найти команды для всех функций.

Стандартная инструментальная панель содержит кнопки для наиболее употребительных функций.

Панель симуляции имеет кнопки для старта, остановки и других функций симуляции.

Панель инструментов имеет кнопки для каждого инструмента.

Инструментальная панель компонентов имеет кнопки, которые позволяют выбрать компоненты из базы данных Multisim для размещения в схеме.

Окно схемы (или рабочего пространства) – место, где ведётся разработка электрической принципиальной схемы.

Панель разработки позволяет перемещаться по разным типам файлов проекта (схема, разводка платы, сообщения), видеть иерархию схемы и показывать или скрывать разные слои.

Вид ячеек позволяет быстро обзирать и редактировать такие детали, как параметры, включая цоколёвку, ссылки, атрибуты и пр. Пользователь может менять параметры за один шаг и производить некоторые другие операции.

Настройка интерфейса. Пользовательский интерфейс Multisim хорошо приспособлен к настройке. Отдельные настройки могут быть применены, когда различные типы листов становятся активны. Например, панели инструментов и подвижные окна могут реконфигурироваться при перемещении со схемного листа на лист описания.

Для настройки интерфейса необходимо выбрать Options/Customize User Interface и сделать изменения в соответствующих закладках.

Когда схемный файл открывается или создаётся в Multisim, по определению он становится схемой верхнего уровня текущей разработки. Все схемы могут ссылаться на другие, дополнительные (подсхемы) или связанные (иерархический блок) вложенные схемы. Вдобавок, любая схема может иметь множество страниц для облегчения понимания и распечатки.

Ввод схемы. На этой стадии выбираются нужные компоненты, размещаются в рабочем поле чертежа в нужных местах и с нужной ориентацией и соединяются. Multisim позволяет модифицировать свойства компонентов, сориентировать схему по сетке, добавить текст и штамп, добавить подсхемы и шины, управлять цветом фона, компонентов и соединений. Чтобы упростить соединения, можно использовать шины для соединения множества сетей. Шины могут использоваться внутри страницы, между страницами и опускаться во вложенные схемы (подсхемы и иерархические блоки).

Каждый компонент, помещённый в окно схемы, имеет набор свойств, который управляет некоторыми его аспектами, и хранящийся в базе данных Multisim. Эти свойства эффективны только для размещённых компонентов. В зависимости от типа компонента эти свойства определяют что-то или всё из следующего:

- идентификационная информация и этикетки размещённого компонента, которые отображаются в окне схемы (детально рассмотрено в «Модификации этикеток и атрибутов компонентов»);
- модель размещённого компонента;
- для нескольких компонентов, как размещённые компоненты будут использоваться при анализе;
- значение или модель и цоколевка компонента;
- пользовательские поля.

Multisim объединяет ядро системы симуляции SPICE3F5 и XSPICE с добавлениями, разработанными Electronics Workbench специально для оптимизации процесса при цифровой и смешанной симуляции. SPICE3F5 и XSPICE – промышленно принятые, общедоступные стандарты.

С помощью встроенного в программу модуля симуляции Multisim RF Design, который использует оптимизированную моделирующую машину SPICE, можно определить многие свойства схемы без физической сборки схемы или использования реальных приборов.

Для просмотра результатов симуляции нужно использовать либо виртуальный прибор, либо запустить анализ для отображения вывода симуляции. Этот вывод будет включать комбинированные результаты всех моделирующих машин Multisim. Когда используется интерактивная симуляция в Multisim (Run/ Resume Simulation), результат симуляции немедленно выводится на виртуальный осциллограф.

Можно запустить несколько анализов схемы. Результаты анализов отображаются в Grapher и могут также сохраняться для последующей обработки в Postprocessor.

Скорость симуляции. Есть много параметров, влияющих на скорость симуляции и сходимость. Они доступны в диалоговом окне Interactive Simulation Settings

Самая важная установка для контроля скорости симуляции – это TMax. TMax – максимальное время шага, которое симулятору разрешено принимать. С тем, чтобы достигнуть результата, симулятор может на своё усмотрение использовать время шагов меньше, однако он никогда не использует шаг больше, чем задано в TMax. Чем меньше значение TMax, тем точнее будут результаты симуляции. Однако это займет больше времени для получения таких результатов симуляции.

Более подробно с принципами работы в данной оболочке можно ознакомиться в работе [21].

Следует работе предостеречь студентов от слепого доверия к результатам компьютерного моделирования и отладки. Они верны лишь в той мере, в которой свойства использованных моделей компонентов совпадают с реальностью. Нередко учтены лишь главные свойства прототипа, например, ёмкость конденсатора или сопротивление резистора. А существенными для проверяемой конструкции, но неучтёнными, зачастую оказываются второстепенные характеристики: нелинейная зависимость того или иного параметра от напряжения и тока, поведение элемента за пределами области допустимых режимов. Поэтому компьютерное моделирование во все не отменяет необходимости знания принципов и особенностей работы тех или иных узлов и экспериментальной проверки полученных результатов на реальном устройстве или его макете.

5. ОФОРМЛЕНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Курсовой проект оформляется согласно СТО ЮРГУЭС 01–2009 «Стандарт организации Выпускные квалификационные работы. Курсовые проекты (работы). Основные требования к объёму и оформлению».

При работе над текстом проекта следует добиваться точного, законченного и в то же время наиболее простого и понятного построения фраз, формулировок и выводов. Необходимо избегать длинных и запутанных предложений. При этом без ущерба для излагаемой мысли повышается эффективность её восприятия.

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

Анализ стилистики курсовых проектов показывает, что некоторые студенты ведут изложение от собственного имени, что попросту неграмотно. Например, пишут, «выбираю диод...», «принимаю равным...», «рассчитываю по формуле...» и т.п. Многие употребляют обороты с местоимением «мы»: «выбираем транзистор...», «округляем до...» «выбираем схему» и т.д.

Правильно писать в зависимости от времени совершения действия: «выбирается диод...» или «выбран диод...», «принимается равным...» или «принята равным...» и т.д.

Стремясь быстрее написать пояснительную записку, многие студенты широко применяют произвольные сокращения слов и словосочетаний, а некоторые слова заменяют математическими знаками и т.п. Безусловно,

сокращения в пояснительной записке нужны и полезны, но они должны выполняться по установленным правилам и соответствовать нормам литературного русского языка.

Сокращениями необходимо пользоваться умеренно. Многочисленные сокращения утомляют читателя и затрудняют понимание смысла написанного.

Основные требования к сокращениям: понятность читателю, благозвучность, соблюдение правил сокращений в тексте и последовательность в их применении, которая означает, что все однотипные слова должны либо сокращаться, либо не сокращаться.

При разработке проектов, создании научных трудов и т.п. широко используют различные литературные источники, из которых заимствуют теоретические положения, результаты экспериментальных исследований, методы расчёта, цитаты, справочные данные и др. Принято указывать источники заимствования, т.е. делать на них ссылки, позволяющие читателю познакомиться с этим источником при критическом разборе работы или для углубления своих знаний в данной области.

Ссылку на литературный источник в тексте сопровождают порядковым номером, под которым этот источник включён в общий указатель (библиографический список) литературы. Номер источника в тексте заключают в прямые скобки, например: [1].

Изготовление структурных и принципиальных электрических схем. Для изготовления схем рекомендуется использовать пакет MSVisio.

Пример структурной и принципиальной схем приведён в приложениях Б и В.

Правила построения и выполнения принципиальных электрических схем установлены стандартами ЕСКД (ГОСТ 2.701–76, 2.705–75). Чтобы правильно и быстро начертить принципиальную электрическую схему, необходимо знать следующие основные правила:

1. Все элементы ЭУ (ЭРЭ и ИМС) на схеме изображают в виде условных графических обозначений, установленных в стандартах ЕСКД.

2. Условные графические обозначения изображают в размерах, установленных в стандартах на условные графические обозначения.

Допускается все обозначения пропорционально уменьшать, при этом расстояние (просвет) между двумя соседними линиями условного графического обозначения должно быть не менее 1,0 мм.

Допускается размеры условных графических обозначений увеличивать при вписывании в них поясняющих знаков (обозначения микросхем и т.п.).

Обычные для курсовых проектов масштабы: уменьшения 1:2, увеличения 2:1. На схемах, приводимых в пояснительной записке, рекомендуется изображать условные графические обозначения в одном и том же масштабе.

3. Графические обозначения элементов и соединяющие их линии электрической связи следует располагать на схеме так, чтобы обеспечить наилучшее представление о структуре и действии ЭУ. Линии связи должны состоять из горизонтальных и вертикальных отрезков и иметь наименьшее количество изломов и пересечений. Расстояние между соседними параллельными линиями связи должно быть не менее 3 мм.

Наглядность, удобочитаемость схемы – важные её достоинства. Хаотичное расположение элементов схемы, неудачная трассировка линий связи между ними с большим числом поворотов и пересечений, нетрадиционное изображение типовых схем – всё это делает схему труднопонимаемой. Напротив, схемы, у которых условные обозначения элементов, линии связи выровнены по горизонтали и по вертикали, трассы линий связи проложены экономно, легко читаются, и их действие постигается значительно быстрее.

4. Графические обозначения элементов следует выполнять линиями той же толщины, что и линии связи. Линии связи выполняют толщиной от 0,2 до 1,0 мм в зависимости от формата схем и графических обозначений. Рекомендуемая толщина линий от 0,3 до 0,4 мм.

5. В соответствии с ГОСТ 2.751–73 в узлах электрической связи необходимо показать точки в виде зачернённых кружков. Особенно важно отчётливо показывать точки в местах пересечения линий.

6. При изготовлении схем, имеющих входы и выходы, входы, как правило, располагают слева, а выходы – справа.

Нумерация элементов принципиальных схем. Для быстрого нахождения упоминаемых в тексте элементов на схеме принята *позиционная система* их нумерации (ГОСТ 2.702–75). По этой системе порядковые номера элементам схем следует присваивать начиная с единицы в пределах каждого вида элементов (резисторы, конденсаторы, полупроводниковые приборы и т.д.), которым на схеме дано одинаковое буквенное обозначение, например $R1, R2, R3; C1, C2, C3$ и т.д. Порядковые номера присваивают в соответствии с последовательностью расположения элементов на схеме сверху вниз в направлении слева направо.

Позиционные обозначения проставляют на схеме рядом с условными графическими обозначениями элементов с правой стороны или над ними.

Около условных графических обозначений элементов допускается указывать *номиналы* резисторов, конденсаторов и катушек индуктивности, а также *маркировку* полупроводниковых приборов и микросхем. Для разгрузки принципиальной схемы от излишних надписей применяют упрощённый способ обозначения единиц измерения величин (ГОСТ 2702–75).

В условных обозначениях резисторов могут быть нанесены символы, показывающие номинальную мощность резисторов.

Если для принципиальной схемы разработан перечень элементов, то дополнительную информацию на схеме не помещают.

Перечень элементов принципиальной схемы. Данные об элементах принципиальной схемы, полученные в результате электрического расчёта и выбора типоминалов элементов, записывают в перечень элементов. Перечень выполняют в виде таблицы либо на листе ватмана с изображением полной принципиальной схемы, либо на листах формата А4 самостоятельным документом, который помещают в пояснительную записку (прил. Г).

Связь перечня с условными графическими обозначениями элементов на схеме осуществляется через позиционные обозначения элементов.

Если перечень элементов помещают на листе со схемой, его располагают, как правило, над основной надписью. Расстояние между перечнем элементов и основной надписью должно быть не менее 12 мм. Продолжение перечня элементов помещают слева от основной надписи, повторяя заголовки таблицы.

Элементы в перечень записывают группами в алфавитном порядке буквенных позиционных обозначений. Наименования элементов указывают в графе «Наименование» в виде общего заголовка группы. В пределах каждой группы элементы располагают по возрастанию порядковых номеров.

6. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ЗАЩИТЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Законченный курсовой проект, подписанный руководителем проекта, защищается перед комиссией, состоящей не менее чем из трёх преподавателей.

При защите студент в течение 8–10 мин, используя презентацию, подготовленную в программе MSOfficePowerPoint, докладывает о поставленной перед ним задаче и путях её реализации в проекте, приводит анализ этого решения и обосновывает полученные результаты, ссылаясь на выполненные чертежи и расчётно-пояснительную записку. При этом отмечаются оригинальные технические решения и пути дальнейшего совершенствования схемы ЭУ.

План защиты проекта строится в следующей последовательности:

- 1) тема и актуальность проекта;
- 2) цель и задачи проекта;
- 3) результаты литературного обзора, классификация ЭУ;
- 4) предложенное техническое решение: структурная, принципиальная схемы и описание их работы;
- 5) результаты расчётов;
- 6) применение ЭВМ: результаты моделирования;
- 7) выводы о выполнении ТЗ и перспективах развития разработанной схемы ЭУ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Основная литература:

1. Зибров В.А. Оформление дипломных проектов (работ): учебно-метод. пособие для вузов / Южно-Рос. гос. ун-т экономики и сервиса; Рост. акад. сервиса (филиал). – Ростов н/Д.: ЮРГУЭС РИС, 2004. – 84 с.
2. Федосов В.П. Методологические основы подготовки, написания и оформления диссертационной работы: монография / Южно-Рос. гос. ун-т экономики и сервиса. – Шахты: ЮРГУЭС, 2009. – 44 с.
3. Кузин Ф.А. Магистерская диссертация: методика написания, правила оформления и процедура защиты: практич. пособие для студентов-магистрантов. – М.: Ось-89, 1997. – 304 с.
4. Кузин Ф.А. Кандидатская диссертация: методика написания, правила оформления и порядок защиты: практич. пособие для аспирантов и соискателей учёной степени. – М.: Ось-89, 1997. – 208 с.
5. Разевиг В.Д. SystemView – средство системного проектирования радиоэлектронных устройств. – М.: Горячая линия-Телеком, 2002. – 352 с.
6. Загидуллин Р.Ш. SystemView: системотехническое моделирование устройств обработки сигналов. – М.: Горячая линия-Телеком, 2005. – 294 с.

Дополнительная литература:

7. СТО ЮРГУЭС 01–2009. Выпускные квалификационные работы. Курсовые проекты (работы). Основные требования к объёму и оформлению: дата введ. 2009–04–01 (взамен СТП 01-01) / Южно-Рос. гос. ун-т экономики и сервиса. – Изд. офиц. – Шахты: ЮРГУЭС, 2009. – 34 с.
8. Воробьев Н.И. Проектирование электронных устройств: учеб. пособие для вузов. – М.: Высш. шк., 1989. – 224 с.
9. Автоматизация разработки и выполнения конструкторской документации: учеб. пособие для вузов / под ред. Э.Т. Романычевой. – М.: Высш. шк., 1990. – 176 с.
10. Разработка и оформление конструкторской документации РЭА / под ред. Э.Т. Романычевой. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1989. – 448 с.
11. Справочник по учебному проектированию приёмно-усилительных устройств / под ред. М.К. Белкина. – 2-е изд., перераб. и доп. – Киев: Выш. шк., 1988. – 471 с.

12. Курсовое проектирование механизмов РЭС: учеб. пособие для вузов / под ред. Г.И. Рощина. – М.: Высш. шк., 1991. – 244 с.
13. Пейч Л.И. LabVIEW для новичков и специалистов. – М.: Горячая линия-Телеком, 2004. – 384 с.
14. Загидуллин Р.Ш. LabView в исследованиях и разработках: [справочник]. – М.: Горячая линия-Телеком, 2005. – 352 с.
15. Кондрашов В.Е. MATLAB как система программирования научно-технических расчётов. – М.: Мир, 2002. – 380 с.
16. Балашов В.В. Организация научной деятельности молодых ученых и студентов в высшем учебном заведении. – М.: ГАУ, 1997. – 130 с.
17. Кауфман М. Практическое руководство по расчётам схем в электронике: справочник. В 2 т. Т. 2: пер. с англ. / под ред. Ф.Н. Покровского. – М.: Энергоатомиздат, 1993. – 287 с.
18. Хоровиц П. Искусство схемотехники. В 3-х т. Т. 1: пер. с англ. / Б.Н. Бронина – 4-е, перераб. и доп. – М.: Мир, 1993. – 412 с.
19. Титце У. Полупроводниковая схемотехника: пер. с нем. / под ред. А.Г. Алексенко. – М.: Мир, 1982. – 512 с.
20. Горошков Б.И. Элементы радиоэлектронных устройств: справочник. – М.: Радио и связь, 1988. – 177 с.
21. Хернитер М.Е. Multisim: Современная система компьютерного моделирования и анализа схем электронных устройств: пер. с англ. А.М. Осипова. – М.: ДМК-пресс, 2006. – 488 с.
22. Максимов А. Моделирование устройств на микроконтроллерах с помощью программы ISIS из пакета PROTEUS VSM // Радио. 2005. – № 4. – С. 30–32.
23. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. – СПб.: Питер, 2008. – 288 с.
24. Пеньков А.А., Дьяконов В.А. MATLAB и Simulink в электроэнергетике: справочник. – М.: Горячая линия-Телеком, 2009. – 816.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА (срок защиты 7-я неделя)

Наименование этапа работы	Срок выполнения	Объём работы в %		Замечания преподавателя
		данного этапа	всей работы	
1. Анализ технического задания, обзор литературы, выбор и обоснование структурной схемы, предварительный расчёт. Согласование результатов расчётов с преподавателем	2 неделя	15	15	
2. Разработка принципиальной схемы и её предварительный расчёт. Анализ работы схемы: диаграммы работы устройства. Согласование результатов предварительных расчётов с преподавателем	3 неделя	20	35	
3. Окончательный выбор и расчёт основных элементов принципиальной схемы устройства. Проверка основных технических характеристик схемы	4 неделя	30	65	
4. Моделирование разработанной схемы	5 неделя	35	100	
5. Проверка курсовой работы преподавателем, исправление недостатков работы по замечаниям преподавателя. Подготовка к защите	6 неделя			
6. Защита курсового проекта	7 неделя			

Студент _____

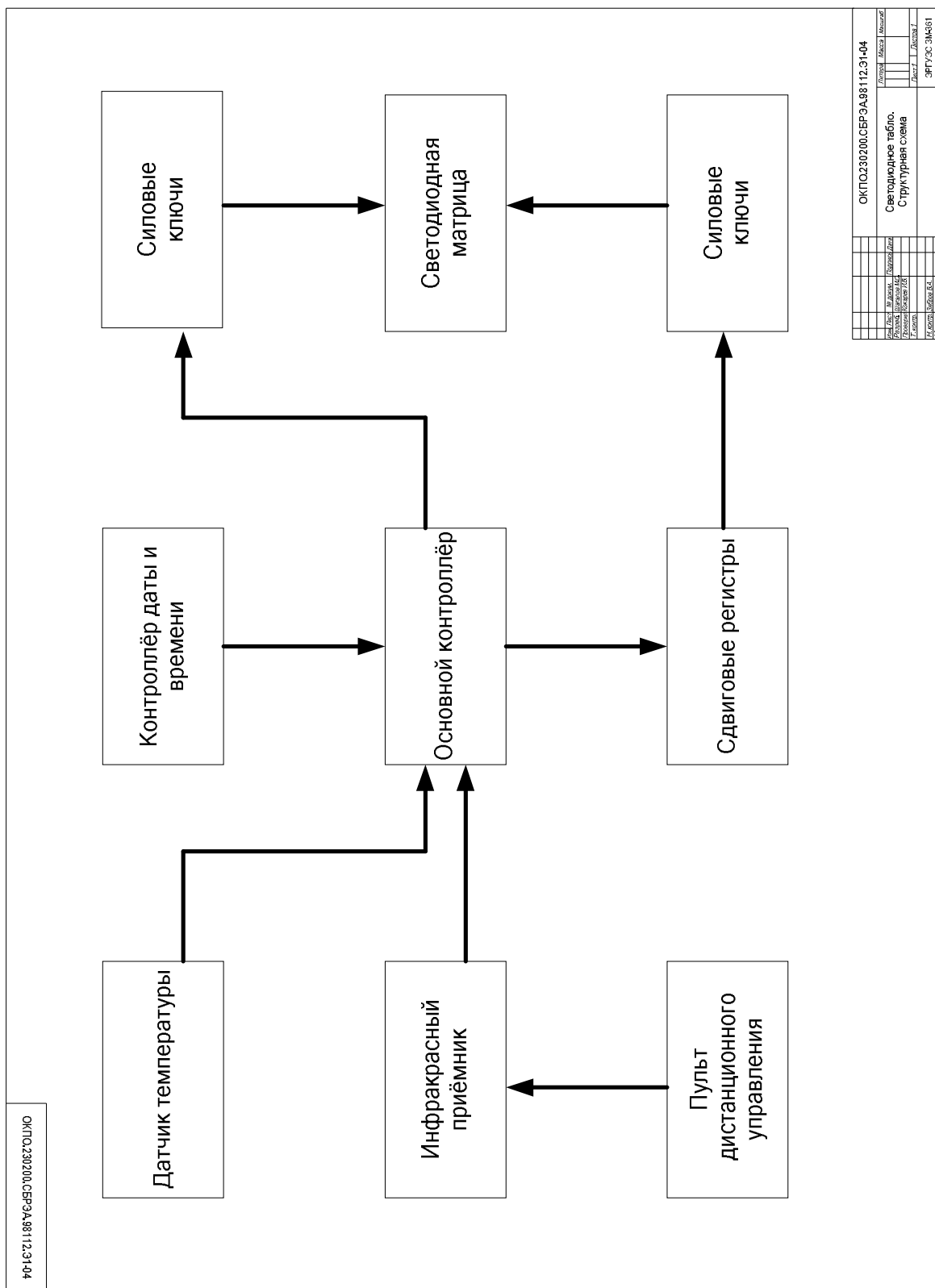
_____ (подпись, дата)

Преподаватель _____

_____ (подпись, дата)

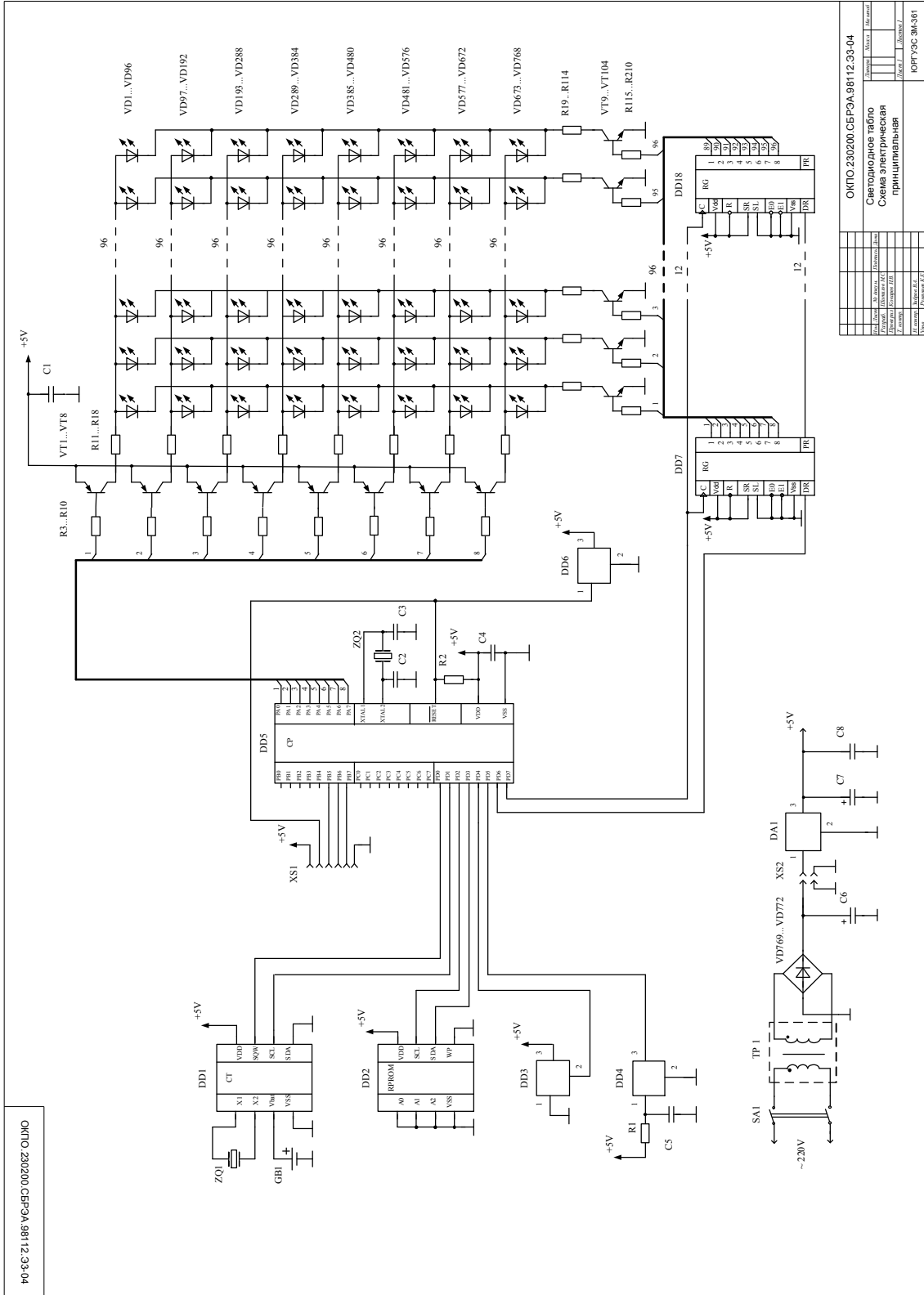
ПРИЛОЖЕНИЕ Б

ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ



ПРИЛОЖЕНИЕ В

ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ ПРИНЦИПАЛЬНОЙ СХЕМЫ



ПРИЛОЖЕНИЕ Г

ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ ПЕРЕЧНЯ ЭЛЕМЕНТОВ

Поз. Обозначен ие	Наименование	Кол.	Примечание
Конденсаторы			
C ₁ , C ₄ , C ₅ , C ₈	TO-805 SMD 100нФ±10%	4	
C ₂ , C ₃	TO-805 SMD 27пФ±10%	2	
C ₆	K50-35 50мФ±10%	1	
C ₇	K50-35 220мФ±10%	1	
Микросхемы			
DD1	DS1307 6КО.348.286ТУ	1	
DD2	AT24C64 6КО.348.035ТУ	1	
DD3	DS18B20 6КО.348.416ТУ	1	
DD4	TSOP1836 6КО.348.363ТУ	1	
DD5	AT90S8515 6КО.348.281ТУ	1	
DD6	MCP-100 6КО.348.425ТУ	1	
DD7... DD18	KP1554ИР24 6КО.348.243ТУ27	12	
DA1	78L05 6КО.348.381ТУ	1	
GB1	Аккумулятор литиевый CR2032 – 5В	1	
VT1...VT8	Транзистор КТ3107 ЖКЗ.365.241 ТУ	8	
VT9...VT104	Транзистор КТ3102 ЖКЗ.365.236 ТУ	96	
VD1...VD768	Диод светоизлучающий АЛ310А АО.336.077.ТУ	768	
Резисторы			
R1...R10	TO-805 SMD 0,125-10 кОм±10%	17	
R11...R18	TO-805 SMD 0,125-150 Ом±10%	8	
R19...R114	МЛТ-0,25-30 Ом±10% ГОСТ 7113-77	96	
R115...R210	МЛТ-0,25-10 кОм±10% ГОСТ 7125-77	96	
XS1	Разъем PLS-6F	1	
XS2	Разъем PW10-03M	1	
ZQ1	Резонатор кварцевый РК170БА-13БМ-32768-В	1	
ZQ2	Резонатор кварцевый РК170БА-13БМ-4000к-В	1	
ОКПО.230200.СБРЭА.98112.ПЭЗ-04			
Изм./Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.	Шагалов М.С.		
Проверил	Кокзарев И.В.		
Н. Контр.	Забров В.А.		
Утв.	Румянцев К.Е.		
Светодиодное табло Перечень элементов	Лист 1	Лист 1	Листов 1
ЮРГУЭС ЗМ-361			

Учебное издание

*Семёнов Владимир Владимирович
Ханжонков Юрий Борисович
Берёза Андрей Николаевич
Никуличев Николай Николаевич*

**АТТЕСТАЦИОННО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ
РАБОТА СТУДЕНТА**
Методические указания

Ответственный за выпуск Н.В. Ковбасюк

ИД № 06457 от 19.12.01 г. Издательство ЮРГУЭС.
Подписано в печать 7.10.2010 г.
Формат бумаги 60x84/16. Усл. печ. л. 3,5. Тираж 50 экз. Заказ № 566.

ПЛД № 65-175 от 05.11.99 г.
Типография Издательства ЮРГУЭС.
346500, г. Шахты, Ростовская обл., ул. Шевченко, 147

