

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Інститут інформатики та радіоелектроніки, факультет радіоелектроніки та телекомунікацій
 (повне найменування інституту, факультету)

Кафедра Радіотехніки та телекомунікацій
 (повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до магістерської роботи
 (ступінь вищої освіти)

на тему моделювання змінних аналогових та цифрових пристроїв у лабораторних роботах студентів бакалаврів ДНУ «Запорізька

Виконав: студент(ка) 6 курсу, групи МТ-28-01

Спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
 (код і найменування спеціальності)

Освітньої програми Радіотехніка

Вітковський Ю. В.
 (прізвище та ініціали)

Керівник Маршавка С. В.
 (прізвище та ініціали)

Рецензент _____
 (прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
 (повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут Інформатики та радіоелектроніки, факультет Радіоелектроніки та телекомунікацій
 Кафедра Радіотехніки та телекомунікацій
 Ступінь вищої освіти другий (магістерський)
 Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
(код і найменування)
 Освітня програма Радіотехніка
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри РТТ
 к.т.н., доц. Морщавка С.В.
 «12» жовтня 2019 року

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТА (КИ)

Вітківський Юрій Володимирович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Моделювання змішаних аналогових та цифрових пристроїв у лабораторних роботах студентів бакалаврів «ІТ» та «Радіотехніка»

керівник роботи доцент, к.т.н. Морщавка С.В.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «08» листопада 2019 року №365

2. Строк подання студентом роботи _____

3. Вихідні дані до роботи Дослідити методи моделювання пристроїв, що використовують як аналогову, так і цифрову частину. Розглянути застосування обраного методу на прикладі з можливістю подальшого використання у лабораторних роботах для студентів «ІТ» та «Радіотехніка»

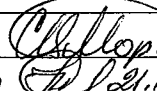
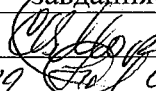


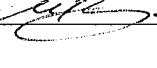
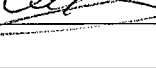
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Провести огляд методів моделювання, що використовують до величезного у сучасному процесі.
2. Обрати метод, що найкраще дозволяє моделювати цифрові та аналогові пристрої.
3. Провести моделювання одного пристрою.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

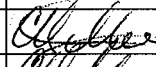
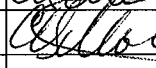
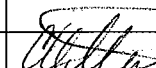
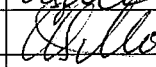

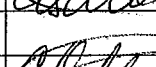
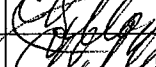
1. Презентація, що демонструє результати вибору на застосування обраного методу моделювання пристроїв з аналогового та цифрового частинами.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
Розробка умовних економ. частини	Морозова С.В. доцент к.т.н.		
Оцінювання	Левченко Н.М., д. держ. учр, проф.	21.10.19	03.12.19
Оцінювання	Гітченко П.В. доцент, к.т.н.		
II - частини	Мороз Т.В. асистент проф. 1977		

7. Дата видачі завдання « 11 » вересня 2019 року.


КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Теоретичні основи моделювання	20.09.19	
2.	Висновок моделювання і проектування електронних схем	8.10.19	
3.	Моделювання аналого-цифрових схем	24.10.19	
4.	Розробка умовних частин лабораторного стенду	5.11.19	
5.	Експериментальне дослідження характеристик ЦАП та АЦП	14.11.19	
6.	Економічна частини	03.12.19	
7.	Оцінювання та безпека умовних	23.11.19	

Студент(ка)

 Вітробова Р.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 113 страниц, 25 рисунков, 8 таблиц, 18 источников

Объектом исследования данной работы является способ описания и моделирования схем, построенных по смешанной технологии (аналогово-цифровые схемы).

Цель данной работы – построение моделей узлов системы цифровой обработки данных и их исследование. Поставленная цель реализуется средствами языка описания аппаратуры VHDL-AMS.

Результатом выполнения работы является исследование способов моделирования смешанных схем на примере реализации конкретных узлов радиуправляемой аналогово-цифровой системы. Результаты данной работы в дальнейшем могут быть применены при моделировании и диагностике аналого-цифровых схем.

Выполненные технико-экономические расчёты показывают достаточную эффективность разработки, а также рассмотрены мероприятия по безопасности труда при производстве радиоэлектронной медицинской аппаратуры.

МОДЕЛЬ, АНАЛОГОВО-ЦИФРОВОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ, ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНАЯ МОДУЛЯЦИЯ, ЦИФРО-АНАЛОГОВЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ, РАЗРЕШАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ, САПР

СОДЕРЖАНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ.....	7
ВВЕДЕНИЕ	9
1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ	11
2 СИСТЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ.....	23
3 МОДЕЛИРОВАНИЕ АНАЛОГОВО–ЦИФРОВЫХ СХЕМ	44
3.1. Аналоговый переключатель.....	48
3.2. Аналогово-цифровой конвертер	48
3.3. Широтно-импульсный кодер/декодер	49
3.4. Цифро-аналоговый преобразователь.....	51
3.5. Анализ точности конвертирования	52
4 ОПИСАНИЕ УНИВЕРСАЛЬНОГО ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА.....	58
5 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК АЦП И ЦАП	66
6 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ.....	73
6.1 Оценка технического уровня проектируемого изделия	73
6.2 Расчет затрат на исследование, разработку и проектирование	75
6.3 Расчет себестоимости стенда	76
6.4 Расчет капитальных вложений	83
6.5 Расчет эксплуатационных расходов	84
6.6 Расчет годового экономического эффекта	85
6.7 Выводы.....	87
7 ОХРАНА ТРУДА И БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ ...	89

7.1 Анализ потенциальных опасностей.....	89
7.2 Мероприятия по обеспечению электробезопасности	90
7.3 Мероприятия по производственной санитарии и гигиене труда	93
7.4 Мероприятия по пожарной безопасности	96
7.5 Мероприятия по обеспечению безопасности в чрезвычайных ситуациях.....	98
7.6 Выводы.....	102
ВЫВОДЫ	104
ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК.....	105
ПРИЛОЖЕНИЕ А	107
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	109
ПРИЛОЖЕНИЕ В	112

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ

- АВК – аналоговый вычислительный комплекс,
- АИС – автоматизированная измерительная система,
- АПС – автоматическая пожарная система,
- АМ – амплитудная модуляция,
- АСКД – автоматическая система контроля и диагностики,
- АЦП – аналого-цифровой преобразователь,
- АРМ – автоматический радиомаяк,
- АС – абонентская станция,
- АД – аналого – цифровой,
- AVR – архитектура микроконтроллеров,
- БС – базовая станция,
- БФ – буферный усилитель,
- ВНС – разъем типа «байонет»,
- ВЧ – высокая частота,
- СОМ – последовательный порт связи,
- ГТИ – генератор тактовых импульсов,
- ГПЧ – генератор промежуточной частоты,
- ДА – цифро – аналоговый,
- ЖКИ – жидкокристаллический индикатор,

- ИИН – источник измеряемого напряжения,
- ИМС – интегральная микросхема,
- ИОН – источник опорного напряжения,
- INT – сигнал прерывания,
- ИПУ – интерфейс периферийных устройств,
- LSB – единица младшего разряда,
- НЧ – низкие частоты,
- ОЗУ – оперативное запоминающее устройство,
- ПЗУ – постоянное запоминающее устройство,
- ПК – персональный компьютер,
- РЭА – радиоэлектронная аппаратура,
- РСМ – кодоимпульсная модуляция,
- САПР – система автоматизированного проектирования,
- СНиП – строительные нормы и правила,
- СДИ – светодиодный индикатор,
- TDM – модуляция с временным разделением,
- ЦАП – цифро – аналоговый преобразователь,
- ША – шина адреса,
- ШД – шир данных,
- ШИМ – широтно – импульсная модуляция,
- VHDL – язык описания схем

ВВЕДЕНИЕ

Автоматизация проектной и расчетной деятельности в инженерной практике имеет длительную и достаточно насыщенную историю. Обращаясь к относительно недалекому прошлому достаточно вспомнить счеты, механические арифмометры и логарифмические линейки. Несколько позже в расчетную практику вошли электронные калькуляторы, которые и до настоящего времени имеют широкое применение. Все эти устройства нацелены на облегчение выполнения разнообразных расчетов, значительная доля которых приходится на проектную деятельность инженеров.

Существенным шагом в направлении автоматизации расчетной деятельности стало появление электронных вычислительных машин (ЭВМ), возможности которых позволили не только выполнять расчеты, но и управлять потоками необходимых вычислений и данных путем составления программ на специализированных языках программирования: Автокод (или Ассемблер), Алгол, Фортран и других. Программирование в корне изменило применимость наработанных в течение столетий математических методов алгебры, геометрии, численных методов, теории вероятностей, исследования операций, дискретной математики, линейного программирования и многих других. Повышение производительности ЭВМ (быстродействия и размеров оперативной памяти) с одновременным расширением спектра периферийных устройств: ввода-вывода текстовых и графических данных, накопителей для долговременного хранения информации, а также интенсивным развитием операционных систем, компиляторов языков программирования оказали существенное влияние на изменение роли ЭВМ в инженерной практике. Решение отдельных расчетных задач стало постепенно заменяться выполнением законченных этапов проектного цикла, что породило понятие системы автоматизированного проектирования в соответствии со следующим определением. Система автоматизированного проектирования – автоматизированная система, реализующая информационную

технологии выполнения функций проектирования, представляет собой организационно-техническую систему, предназначенную для автоматизации процесса проектирования, состоящую из персонала и комплекса технических, программных и других средств автоматизации его деятельности. Также для обозначения подобных систем широко используется аббревиатура САПР.

Основное назначение САПР заключается в повышении эффективности инженерной деятельности: сокращении трудоемкости и сроков проектирования, обеспечении высокого качества проектных решений и документации, минимизации натурного моделирования и испытаний опытных образцов, снижении затрат на подготовку производства. В современной инженерной практике наибольшее распространение получили следующие виды САПР.

С появлением новых систем проектирования и моделирования аналогово-цифровой техники мы получили возможность создавать принципиально новые устройства, отличающиеся своей надежностью, быстродействием, точностью работы. Одной из таких систем является САПР на основе языка описания аппаратуры аналоговых, аналогово-цифровых схем, а также устройств смешанной технологии (электронно-механические устройства) VHDL-AMS . В данной работе речь пойдет о концепции данной технологии на примере рассмотрения модели системы цифровой обработки сигналов.

Данная работа посвящена разработке и исследованию моделей смешанных аналого-цифровых и цифро-аналоговых устройств с помощью современных САПР, ознакомлению с библиотекой компонентов и дальнейшей экспериментальной апробацией их с помощью универсального лабораторного стенда для исследования поведения характеристик аналоговых и цифровых схем.

1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Моделирование – исследование объектов познания на их моделях; построение и изучение моделей реально существующих объектов, процессов или явлений с целью получения объяснений этих явлений, а также для предсказания явлений, интересующих исследователя. В силу многозначности понятия «модель» в науке и технике не существует единой классификации видов моделирования: классификацию можно проводить по характеру моделей, по характеру моделируемых объектов, по сферам приложения моделирования (в технике, физических науках, кибернетике и т.д.). Например, можно выделить следующие виды моделирования:

- информационное моделирование;
- компьютерное моделирование;
- математическое моделирование;
- математико-картографическое моделирование;
- молекулярное моделирование;
- цифровое моделирование;
- логическое моделирование;
- педагогическое моделирование;
- психологическое моделирование;
- статистическое моделирование;
- структурное моделирование;
- физическое моделирование;
- экономико-математическое моделирование;
- имитационное моделирование;
- эволюционное моделирование;
- графическое и геометрическое моделирование;
- натурное моделирование.

Процесс моделирования включает три элемента [1,7]:

- субъект (исследователь),
- объект исследования,
- модель, определяющую (отражающую) отношения познающего субъекта и познаваемого объекта.

Первый этап построения модели предполагает наличие некоторых знаний об объекте-оригинале. Познавательные возможности модели обуславливаются тем, что модель отображает (воспроизводит, имитирует) какие-либо существенные черты объекта-оригинала. Вопрос о необходимой и достаточной мере сходства оригинала и модели требует конкретного анализа. Очевидно, модель утрачивает свой смысл как в случае тождества с оригиналом (тогда она перестает быть моделью), так и в случае чрезмерного во всех существенных отношениях отличия от оригинала. Таким образом, изучение одних сторон моделируемого объекта осуществляется ценой отказа от исследования других сторон. Поэтому любая модель замещает оригинал лишь в строго ограниченном смысле. Из этого следует, что для одного объекта может быть построено несколько «специализированных» моделей, концентрирующих внимание на определенных сторонах исследуемого объекта или же характеризующих объект с разной степенью детализации.

На втором этапе модель выступает как самостоятельный объект исследования. Одной из форм такого исследования является проведение «модельных» экспериментов, при которых сознательно изменяются условия функционирования модели и систематизируются данные о её «поведении». Конечным результатом этого этапа является множество (совокупность) знаний о модели.

На третьем этапе осуществляется перенос знаний с модели на оригинал – формирование множества знаний. Одновременно происходит переход с «языка» модели на «язык» оригинала. Процесс переноса знаний проводится по определенным правилам. Знания о модели должны быть скорректированы с

учетом тех свойств объекта-оригинала, которые не нашли отражения или были изменены при построении модели.

Четвёртый этап – практическая проверка получаемых с помощью моделей знаний и их использование для построения обобщающей теории объекта, его преобразования или управления им.

Моделирование – циклический процесс. Это означает, что за первым четырёхэтапным циклом может последовать второй, третий и т.д. При этом знания об исследуемом объекте расширяются и уточняются, а исходная модель постепенно совершенствуется. Недостатки, обнаруженные после первого цикла моделирования, обусловленные малым знанием объекта или ошибками в построении модели, можно исправить в последующих циклах.

Сейчас трудно указать область человеческой деятельности, где не применялось бы моделирование. В перспективе для каждой системы могут быть созданы свои модели, перед реализацией каждого технического или организационного проекта должно проводиться моделирование.

Модель (фр. *modèle*, от лат. *Modulus* – «мера, аналог, образец») – это упрощенное представление реального устройства и/или протекающих в нем процессов, явлений [2].

Построение и исследование моделей, то есть моделирование, облегчает изучение имеющихся в реальном устройстве свойств и закономерностей. Моделирование является обязательной частью исследований и разработок, неотъемлемой частью нашей жизни, поскольку сложность любого материального объекта и окружающего его мира бесконечна вследствие неисчерпаемости материи и форм её взаимодействия внутри себя и с внешней средой. Одни и те же устройства, процессы, явления и т.д. (далее — «системы») могут иметь много разных видов моделей. Как следствие, существует много названий моделей, большинство из которых отражает решение некоторой конкретной задачи.

Моделирование всегда предполагает принятие допущений той или иной степени важности. При этом должны удовлетворяться следующие требования к моделям:

– адекватность, то есть соответствие модели исходной реальной системе и учет, прежде всего, наиболее важных качеств, связей и характеристик. Оценить адекватность выбранной модели, особенно, например, на начальной стадии проектирования, когда вид создаваемой системы ещё неизвестен, очень сложно. В такой ситуации часто полагаются на опыт предшествующих разработок или применяют определенные методы, например, метод последовательных приближений;

– точность, то есть степень совпадения полученных в процессе моделирования результатов с заранее установленными, желаемыми. Здесь важной задачей является оценка потребной точности результатов и имеющейся точности исходных данных, согласование их как между собой, так и с точностью используемой модели;

– универсальность, то есть применимость модели к анализу ряда однотипных систем в одном или нескольких режимах функционирования. Это позволяет расширить область применимости модели для решения бóльшего круга задач;

– целесообразная экономичность, то есть точность получаемых результатов и общность решения задачи должны увязываться с затратами на моделирование. И удачный выбор модели, как показывает практика, результат компромисса между отпущенными ресурсами и особенностями используемой модели.

Выбор модели и обеспечение точности моделирования считается одной из самых важных задач моделирования.

Погрешности моделирования вызываются как объективными причинами, связанными с упрощением реальных систем, так и субъективными, обусловленными недостатком знаний и навыков, особенностями характера того

или иного человека. Погрешности можно предотвратить, компенсировать или учесть. И всегда обязательна оценка правильности получаемых результатов. В технике быструю оценку точности модели часто проводят следующими способами:

– проверяют соответствие результатов физическому (здравому) смыслу. Удобно это делать для частного случая модели, когда решение очевидно. Иногда даже говорят, что ещё перед решением задачи инженер уже должен представлять характер и порядок ожидаемого результата. Но точность такого представления зависит от развитости физического воображения и опыта работы с подобными системами;

– проверяют выполнение частных очевидных условий задачи, что также позволяет отсеять неприемлемые решения;

– проверяют соблюдение тенденции изменения величин и знаков результатов (монотонность, цикличность, плавность и т.п.);

– проверяют правильность размерности полученного результата (если работа ведется с аналитическими зависимостями).

Известно, что посредством грубых измерений, использования контрольно-измерительных приборов с низкой точностью или приближенных исходных данных невозможно получить точные результаты. С другой стороны, бессмысленно вести, например, расчет с точностью до грамма, если результат потом нужно округлять с точностью до ста грамм, или же определять среднюю величину точнее составляющих её значений, и т.д. Поэтому важно помнить о следующем [5]:

– точность результатов расчетов и экспериментальных исследований модели не может превысить точности исходных данных, используемых приборов, измерительных инструментов и т.п.;

– вид выбираемой модели должен согласовываться с точностью исходных данных и потребной точностью результатов;

– желаемая точность результатов должна соответствовать нуждам и реалиям практики.

По способу отображения действительности различают три основных вида моделей – эвристические, натурные и математические.

Эвристические модели, как правило, представляют собой образы, рисуемые в воображении человека. Их описание ведется словами естественного языка (например, вербальная информационная модель) и, обычно, неоднозначно и субъективно. Эти модели не формализуемы, то есть не описываются формально-логическими и математическими выражениями, хотя и рождаются на основе представления реальных процессов и явлений.

Эвристическое моделирование – основное средство вырваться за рамки обыденного и устоявшегося. Но способность к такому моделированию зависит, прежде всего, от богатства фантазии человека, его опыта и эрудиции. Эвристические модели используют на начальных этапах проектирования или других видов деятельности, когда сведения о разрабатываемой системе ещё скудны. На последующих этапах проектирования эти модели заменяют на более конкретные и точные.

Отличительной чертой этих моделей является их подобие реальным системам (они материальны), а отличие состоит в размерах, числе и материале элементов и т.п. По принадлежности к предметной области модели подразделяют на следующие:

– физические модели. Ими являются реальные изделия, образцы, экспериментальные и натурные модели, когда между параметрами системы и модели одинаковой физической природы существует однозначное соответствие. Выбор размеров таких моделей ведётся с соблюдением теории подобия [8].

Физическое моделирование – основа наших знаний и средство проверки наших гипотез и результатов расчётов. Физическая модель позволяет охватить явление или процесс во всём их многообразии, наиболее адекватна и точна, но

достаточно дорога, трудоёмка и менее универсальна. В том или ином виде с физическими моделями работают на всех этапах проектирования;

- технические модели;
- социальные модели;
- экономические модели, например, Бизнес-модель;

Математические модели – формализуемые, то есть представляют собой совокупность взаимосвязанных математических и формально-логических выражений, как правило, отображающих реальные процессы и явления (физические, психические, социальные и т.д.). По форме представления бывают:

– аналитические модели. Их решения ищутся в замкнутом виде, в виде функциональных зависимостей. Удобны при анализе сущности описываемого явления или процесса и использовании в других математических моделях, но отыскание их решений бывает весьма затруднено;

– численные модели. Их решения – дискретный ряд чисел (таблицы). Модели универсальны, удобны для решения сложных задач, но не наглядны и трудоемки при анализе и установлении взаимосвязей между параметрами. В настоящее время такие модели реализуют в виде программных комплексов – пакетов программ для расчета на компьютере. Программные комплексы бывают прикладные, привязанные к предметной области и конкретному объекту, явлению, процессу, и общие, реализующие универсальные математические соотношения (например, расчет системы алгебраических уравнений);

– формально–логические информационные модели– это модели, созданные на формальном языке.

Построение математических моделей возможно следующими способами:

– аналитическим путем, то есть выводом из физических законов, математических аксиом или теорем;

– экспериментальным путем, то есть посредством обработки результатов эксперимента и подбора аппроксимирующих (приблизительно совпадающих) зависимостей.

Математические модели более универсальны и дешевы, позволяют поставить «чистый» эксперимент (то есть в пределах точности модели исследовать влияние какого-то отдельного параметра при постоянстве других), прогнозировать развитие явления или процесса, отыскать способы управления ими. Математические модели – основа построения компьютерных моделей и применения вычислительной техники [7].

Результаты математического моделирования нуждаются в обязательном сопоставлении с данными физического моделирования – с целью проверки получаемых данных и для уточнения самой модели. С другой стороны, любая формула – это разновидность модели и, следовательно, не является абсолютной истиной, а всего лишь этап на пути её познания [2].

К промежуточным видам моделей можно отнести [7]:

– графические модели. Занимают промежуточное место между эвристическими и математическими моделями. Представляют собой различные изображения:

а) графы;

б) схемы;

в) эскизы. Этому упрощенному изображению некоторого устройства в значительной степени присущи эвристические черты;

г) чертежи. Здесь уже конкретизированы внутренние и внешние связи моделируемого (проектируемого) устройства, его размеры;

д) графики;

е) полигональная модель в компьютерной графике как образ объекта, «сшитый» из множества многоугольников.

Аналоговые модели позволяют исследовать одни физические явления или математические выражения посредством изучения других физических явлений, имеющих аналогичные математические модели. В качестве примера можно привести метод динамических аналогий, широко применяемый в акустике (электроакустические аналогии), а также в механике.

Выбор типа модели зависит от объема и характера исходной информации о рассматриваемом устройстве и возможностей инженера, исследователя. По возрастанию степени соответствия реальности модели можно расположить в следующий ряд: эвристические (образные) – математические — натурные (экспериментальные).

Количество параметров, характеризующих поведение не только реальной системы, но и её модели, очень велико. Для упрощения процесса изучения реальных систем выделяют четыре уровня их моделей, различающиеся количеством и степенью важности учитываемых свойств и параметров. Это – функциональная, принципиальная, структурная и параметрическая модели.

Функциональная модель предназначена для изучения особенностей работы (функционирования) системы и её назначения во взаимосвязи с внутренними и внешними элементами [9].

Функция – самая существенная характеристика любой системы, отражает её предназначение, то, ради чего она была создана. Подобные модели оперируют, прежде всего, с функциональными параметрами. Графическим представлением этих моделей служат блок-схемы. Они отображают порядок действий, направленных на достижение заданных целей (т. н. 'функциональная схема'). Функциональной моделью является абстрактная модель.

Модель принципа действия (принципиальная модель, концептуальная модель) характеризует самые существенные (принципиальные) связи и свойства реальной системы. Это – основополагающие физические, биологические, химические, социальные и т.п. явления, обеспечивающие функционирование системы, или любые другие принципиальные положения, на которых базируется планируемая деятельность или исследуемый процесс. Стремятся к тому, чтобы количество учитываемых свойств и характеризующих их параметров было небольшим (оставляют наиболее важные), а обозримость модели – максимальной, так чтобы трудоемкость работы с моделью не отвлекала внимание от сущности исследуемых явлений. Так, принцип действия технической системы – это

последовательность выполнения определенных действий, базирующихся на определенных физических явлениях(эффектах), которые обеспечивают требуемое функционирование этой системы.

Работа с моделями принципа действия позволяет определить перспективные направления разработки (например, механика или электротехника) и требования к возможным материалам (твердые или жидкие, металлические или неметаллические, магнитные или немагнитные и т.д.).

Правильный выбор принципиальных основ функционирования предопределяет жизнеспособность и эффективность разрабатываемого решения. Так, сколько бы ни совершенствовали конструкцию самолета с винтомоторным двигателем, он никогда не разовьет сверхзвуковую скорость, не говоря уже о полетах на больших высотах. Только использование другого физического принципа, например, реактивного движения и созданного на его основе реактивного двигателя, позволит преодолеть звуковой барьер.

Графическим представлением моделей принципа действия служат блок-схема, функциональная схема, принципиальная схема.

Четкого определения структурной модели не существует. Так, под структурной моделью устройства могут подразумевать:

– структурную схему, которая представляет собой упрощенное графическое изображение устройства, дающее общее представление о форме, расположении и числе наиболее важных его частей и их взаимных связях;

– топологическую модель, которая отражает взаимные связи между объектами, не зависящие от их геометрических свойств.

Под структурной моделью процесса обычно подразумевают характеризующую его последовательность и состав стадий и этапов работы, совокупность процедур и привлекаемых технических средств, взаимодействие участников процесса.

Для повышения полноты восприятия на структурных схемах в символьном (буквенном, условными знаками) виде могут указывать параметры,

характеризующие свойства отображаемых систем. Исследование таких схем позволяет установить соотношения (функциональные, геометрические и т.п.) между этими параметрами, то есть представить их взаимосвязь в виде равенств $f(x_1, x_2, \dots) = 0$, неравенств $f(x_1, x_2, \dots) > 0$ и в иных выражениях.

Под параметрической моделью понимается математическая модель, позволяющая установить количественную связь между функциональными и вспомогательными параметрами системы. Графической интерпретацией такой модели в технике служит чертеж устройства или его частей с указанием численных значений параметров.

В зависимости от целей исследования выделяют следующие модели:

– функциональные, предназначены для изучения особенностей работы (функционирования) системы, её назначения во взаимосвязи с внутренними и внешними элементами;

– функционально–физические, предназначены для изучения физических (реальных) явлений, используемых для реализации заложенных в систему функций;

– модели процессов и явлений, такие как кинематические, прочностные, динамические и другие, предназначены для исследования тех или иных свойств и характеристик системы, обеспечивающих её эффективное функционирование.

С целью подчеркнуть отличительную особенность модели их подразделяют на простые и сложные, однородные и неоднородные, открытые и закрытые, статические и динамические, вероятностные и детерминированные и т.д. Стоит отметить, что когда говорят, например, о техническом устройстве как простом или сложном, закрытом или открытом и т.п., в действительности подразумевают не само устройство, а возможный вид его модели, таким образом подчеркивая особенность состава или условий работы [2].

Четкого правила разделения моделей на сложные и простые не существует. Обычно признаком сложных моделей служит многообразие выполняемых функций, большое число составных частей, разветвленный характер связей,

тесная взаимосвязь с внешней средой, наличие элементов случайности, изменчивость во времени и другие. Понятие сложности системы – субъективно и определяется необходимыми для его исследования затратами времени и средств, потребным уровнем квалификации, то есть зависит от конкретного случая и конкретного специалиста.

Динамические модели, в отличие от статических, находятся в постоянном развитии, их состояние и характеристики изменяются в процессе работы и с течением времени.

Характеристики вероятностных (иными словами, стохастических) моделей случайным образом распределяются в пространстве или меняются во времени. Это является следствием как случайного распределения свойств материалов, геометрических размеров и форм объекта, так и случайного характера воздействия внешних нагрузок и условий. Характеристики детерминированных моделей заранее известны и точно предсказуемы.

Знание этих особенностей облегчает процесс моделирования, так как позволяет выбрать вид модели, наилучшим образом соответствующей заданным условиям. Этот выбор основывается на выделении в системе существенных и отбрасывании второстепенных факторов и должен подтверждаться исследованиями или предшествующим опытом. Наиболее часто в процессе моделирования ориентируются на создание простой модели, что позволяет сэкономить время и средства на её разработку. Однако повышение точности модели, как правило, связано с ростом её сложности, так как необходимо учитывать большое число факторов и связей. Разумное сочетание простоты и потребной точности и указывает на предпочтительный вид модели.

2 СИСТЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ

В условиях большое значение приобрели методы математического моделирования электронных устройств на компьютере. Основными целями такого моделирования электронных устройств могут быть:

- предсказание поведения устройства при стандартных и нестандартных ситуациях (например, поведение электронного устройства при отказе одного или нескольких элементов);
- изучение форм сигналов в различных местах электронного устройства при воздействии на него одного или нескольких сигналов (например, одновременное воздействие полезных сигналов и помех);
- обучение специалистов по разработке и проектированию электронных устройств.

Компьютерное моделирование электронных устройств имеет ряд преимуществ перед экспериментальным исследованием:

- стоимость моделирования на компьютере значительно меньше стоимости экспериментального макета;
- возможно моделирование поведения электронного устройства в критических ситуациях (например, при повышении или понижении питающих напряжений, при пробое конденсаторов или полупроводниковых элементов и др.);
- оптимизация параметров отдельных элементов устройств по заранее выбранному критерию (например, получение максимального усиления при изменении напряжения питания или сопротивления нагрузки);
- возможность масштабирования реального времени протекания процесса;
- возможность широкого применения специальных программ и моделей электронных элементов;

- возможность идентификации параметров моделей.

Математические модели электронных элементов и устройств можно разделить на следующие группы:

- линейные и нелинейные,
- статические и динамические,
- с сосредоточенными и распределенными параметрами,
- аналоговые, цифровые (дискретные) и аналого-цифровые.

При исследовании и моделировании линейных элементов и устройств используют системы линейных алгебраических или дифференциальных уравнений. При описании нелинейных моделей пользуются нелинейными алгебраическими или дифференциальными уравнениями.

Статические модели обычно используют при расчете и моделировании режимов по постоянному току или напряжению, а динамические модели находят применение при анализе переходных или частотных характеристик электронных устройств. В моделях с сосредоточенными параметрами используются обыкновенные дифференциальные уравнения, а в моделях с распределенными параметрами – уравнения в частных производных. Непрерывные модели могут иметь неограниченное множество значений токов и напряжений в заданном интервале их изменений, а дискретные модели могут находиться только в ограниченном (счетном) количестве состояний.

Кроме того, при моделировании электронных устройств пользуются моделями отдельных элементов (микромоделями) и моделями отдельных узлов (макромоделями), в состав которых входит ограниченное множество элементов, например, модели операционных усилителей, компараторов, схем выборки и хранения, АЦП и ЦАП.

При проектировании устройств, работающих на сверхвысоких частотах, в моделях учитываются распределенные параметры, как самих элементов, так и их выводов. Кроме того, имеются специальные программы, в которых учитываются паразитные эффекты печатных плат: паразитные индуктивности и емкости.

Библиотека моделей электронных элементов непрерывно расширяется и совершенствуется. Крупнейшие отечественные и зарубежные фирмы уделяют большое внимание разработке моделей новых элементов электроники: мощных полевых транзисторов с изолированным затвором, мощных биполярных транзисторов с изолированным затвором (IGBT) и др.[3].

Программные средства моделирования электронных устройств. При моделировании электронных устройств используются три основных разновидности программ:

- универсальные программы для математических расчетов, такие как MathCAD, MathLAB и др.;
- универсальные программы для моделирования электронных устройств такие как Micro-CAPV, P-SPICE A/D, APLAC 7.0;
- специализированные программы, используемые при моделировании определенного класса схем, например. System View.

Наибольшее распространение получила универсальная программа схемотехнического моделирования P-SPICE и ее версии 6, 7 и 8. Эта программа впервые была разработана корпорацией MiSim в 1984 г. для IBM PC. Первая версия этой программы позволяла моделировать только аналоговые устройства. В процессе совершенствования этой программы уже в 1989 была создана четвертая версия, которая позволяла моделировать также аналого-цифровые устройства. В последующих версиях 6, 7 и 8 была расширена библиотека электронных компонентов, а также введены программы проектирования печатных плат и учета их паразитных параметров.

Программа Micro-CAP I (Microcomputer Circuit Analysis Program) была разработана фирмой Spectrum Software в 1981 г. В результате совершенствования этой программы в 1997 г. была создана программа Micro-CAP V-2, которая включала большую картотеку компонентов (более 10 тыс. наименований), а также программу вариации параметров элементов. По своим возможностям программа

Micro-CAP V-2 совсем немного уступает программе P-SPICE. Сравнительные характеристики этих программ приведены в табл.2.1.

Таблица 2.1– Основные характеристики программ схемотехнического моделирования

Характеристика	P-SPICE	Micro-CAP V
Графический ввод схем	Имеется	Имеется
Расчет режимов по постоянному и переменному току	Имеется	Имеется
Расчет переходных процессов	Имеется	Имеется
Применение зависимых источников напряжения и тока	Имеется	Имеется
Расчет шумов, спектров и вариация температуры	Имеется	Имеется
Учет задержек распространения сигналов в цифровых элементах	Имеется	Имеется
Программа идентификации параметров моделей	Имеется	Имеется
Программа разработки печатных плат	Имеется	Нет
Программа параметрической оптимизации	Имеется	Нет
Расчет целостности сигналов	Имеется	Нет

Имеются две разновидности этой программы: профессиональная и учебная (студенческая). Профессиональная программа имеет объем около 4 Мб и поставляется или на трех дискетах или на CD ROM. Учебная программа поставляется на одной дискете 1,4 Мб. Устанавливаются они обычным образом в среде Windows по команде SETUP с указанием имени диска, на который нужно записать программу. Учебную программу Micro-CAP V можно получить по Internet обратившись на Web – страницу: <http://www.spectrum-soft.com/demo.html>.

Программа Micro-CAP V имеет следующие основные характеристики:

- большая библиотека элементов (более 10 тысяч), включающая многие аналоговые и цифровые интегральные микросхемы, биполярные и полевые транзисторы, различные диоды, трансформаторы и дроссели с ферромагнитными сердечниками, линии передачи сигналов, кварцевые резонаторы и датчики Холла и др., которые описаны в стандартной форме программы P-SPICE, благодаря чему обеспечивается их совместимость;

- мощный графический редактор электрических схем с иерархической структурой;

- возможность моделирования динамики электронных устройств по их функциональным схемам, включающим операции сложения, вычитания, перемножения и деления, интегрирования и дифференцирования и др.;

- возможность расчета параметров математических моделей элементов по справочным или экспериментальным данным, включая графические зависимости;

- возможность оптимизации электронных схем путем вариации параметров элементов;

- результаты моделирования могут быть представлены в виде графиков или таблиц;

- имеются средства контроля ошибок и встроенные средства помощи.

В процессе работы с программой Micro-CAP V вначале создается принципиальная схема электронного устройства, в которую включаются электронные элементы, их соединения, условные обозначения и параметры или

типы. При этом допускается редактирование графических символов элементов и их условных обозначений. Так, например, возможно представление всех компонентов по ЕСКД [5].

После этого выполняется моделирование, которое включает один из типов анализов созданной схемы:

- расчет режимов по постоянному току (DC – Analysis);
- расчет частотных характеристик или анализ по переменному току (AC – Analysis);
- расчет переходных характеристик (Transient Analysis).

При создании принципиальной схемы электронного устройства используются модели компонентов, имеющиеся в библиотеке программы. Все компоненты, используемые при создании принципиальной электрической схемы, могут иметь математические модели двух типов:

- модели стандартных элементов, например, резисторов, конденсаторов, транзисторов и др., которые не могут быть изменены пользователем программы, но у которых можно изменять значения отдельных параметров:

- макромодели, составляемые пользователями по своему усмотрению из стандартных элементов.

Модели стандартных элементов бывают простыми и сложными. Простые модели характеризуются малым количеством параметров, которые можно указывать на принципиальной схеме. Сложные модели характеризуются большим количеством параметров, которые имеются в библиотеке, но на схеме обычно не приводятся. К числу простых моделей относятся, например, модели резисторов или конденсаторов. К числу сложных моделей относятся модели транзисторов, которые характеризуются большим числом параметров (например, биполярный транзистор описывается моделью, содержащей 52 параметра).

Кроме этого, модели элементов делятся на различные группы по свойствам самих элементов:

- модели пассивных элементов (резисторов, конденсаторов, катушек индуктивности, трансформаторов, линий передачи, диодов и др.);

- модели активных элементов (биполярных транзисторов, полевых транзисторов с управляющим / «-«-переходом, полевых транзисторов с изолированным затвором, операционных усилителей и др.);

- независимые источники напряжения и тока с различной формой колебаний (например, источники постоянного, импульсного или гармонического напряжения);

- зависимые (управляемые) источники напряжения и тока, которые могут быть линейными и нелинейными (функциональными);

- модели ключей, управляемых напряжением или током.

В состав программы Micro-CAP V входит также программа расчета параметров моделей аналоговых элементов по результатам экспериментальных исследований, заданным в табличной или графической форме. Чем больше количество точек в таблице или на графике, тем точнее будут определены параметры элементов.

Большое внимание в программе Micro-CAP V уделено моделированию цифровых и смешанных аналого-цифровых устройств. Имеются модели логических элементов всех типов, триггеров, счетчиков импульсов, программируемых логических матриц, аналого-цифровых и цифро-аналоговых преобразователей. Так, например, предусмотрена возможность моделирования цифровых фильтров и фильтров на переключаемых конденсаторах. В последней версии программы Micro-CAP V-2 значительно расширена библиотека компонентов, в которую входят больше 10 тысяч электронных компонентов ведущих фирм США, Европы и Азии.

Программа P-SPICE имеет некоторые дополнительные возможности, которые отсутствуют в программе Micro-CAP V. В нее дополнительно включена программа редактирования входных сигналов, имеется графический постпроцессор, включена программа параметрической оптимизации электронных

устройств, а также программы по автоматической трассировке и редактированию печатных плат.

С помощью редактора входных сигналов создаются аналоговые и цифровые сигналы, которые можно просматривать в графическом виде на экране монитора и записывать в файл для подключения внешних воздействий к моделируемому устройству. Каждому сигналу присваивается свое уникальное имя. Например, можно использовать различные виды модулированных сигналов: с амплитудной, частотной, фазовой и импульсной модуляцией. Можно также моделировать сигналы произвольной формы, в том числе кусочно-линейные, цифровые и др.

Программа параметрической оптимизации позволяет оптимизировать параметры некоторых элементов (конденсаторов, сопротивлений и др.) по выбранному критерию оптимизации. В качестве критерия оптимизации используется некоторая целевая функция, вид которой выбирается из меню.

Наиболее сложной программой, входящей в пакет P-SPIICE, является программа редактора печатных плат. В нее входят библиотеки типовых корпусов элементов (более 1500), данных по упаковке (более 32 тыс. компонентов), контактных площадок, диаметров отверстий и др. Эту программу можно использовать при проектировании однослойных и многослойных печатных плат. Кроме этого, имеется возможность моделировать электронные схемы с учетом паразитных эффектов, связанных с конструкцией печатной платы: индуктивностями ее проводников, паразитными емкостями и взаимными индуктивностями печатных проводников. В литературе эта задача носит название проверки целостности сигналов в высокочастотных схемах.

В заключение отметим, что кроме рассмотренных программ схемотехнического моделирования имеются программы, заменяющие измерительную установку, на которой проводится исследование макета электронной схемы. К таким программам, например, относится программа Electronics Workbench 5, в которой на экране изображаются измерительные

приборы (осциллографы, генераторы сигналов, и др.) с органами управления, максимально приближенные к действительности. Эти программы называются интеллектуальными, так как в них можно даже не указывать задачи исследования. Модель строится так, что по набору приборов, включенных в измерительную схему, программа сама выполнит необходимые действия. Например, если в схему ввести двухканальный осциллограф и генератор прямоугольных импульсов, то программа будет без указаний производить измерение переходных характеристик. Если же заменить генератор прямоугольных импульсов на генератор гармонических сигналов, то программа начнет выполнять исследование частотных характеристик

Основными модулями программного пакета OrCAD EE Designer [3] являются схемотехнический редактор OrCAD Capture и редактор аналоговых и цифровых сигналов PSpice A/D. Помимо этого в состав PSpice A/D входят дополнительные приложения:

- PSpice Model Editor – инструмент для создания и редактирования PSpice-моделей компонентов;

- Stimulus Editor – инструмент для создания источников сигналов;

- Simulation Manager – инструмент для управления потоками моделирования;

- Magnetic Parts Editor – инструмент для разработки индуктивных компонентов, таких как трансформаторы и дроссели.

Дополнительные приложения доступны через меню: Пуск -> Все программы -> Cadence -> Release 16.6 -> PSpice Accessories.

Процесс моделирования от создания схемы до получения результатов можно условно поделить на несколько этапов, что наглядно демонстрирует рис. 2.1.

Каждый из перечисленных этапов подразделяется на несколько промежуточных. Перед подготовкой проекта необходимо удостовериться в том, что все необходимые для схемы компоненты имеются в наличии. В противном

случае необходимо будет создать недостающие библиотеки при помощи OrCAD Capture и приложения Model Editor, входящего в состав PSpice. Наиболее правильный путь – это загрузить соответствующие библиотеки из Интернета с сайтов разработчиков компонентов или воспользоваться поисковой системой на сайте www.orcadcapturemarketplace.com. Библиотеки состоят из двух частей: символов компонентов в формате OLB и их PSpice моделей в формате LIB. После подготовки библиотек необходимо создать проект в OrCAD Capture.



Рисунок 2. 1– Основные этапы создания и моделирования проекта в OrCAD EE Designer

Новый проект можно создать при помощи стартовой страницы либо меню *File -> New -> Project*. Стартовая страница появляется на экране только при наличии подключения к Интернету (рис. 2.2).

При этом будет запущен мастер создания нового проекта. Моделирование поддерживают два типа проекта: Analog or Mixed A/D и PC Board Wizard. После выбора первого варианта необходимо указать наименование проекта в поле Name и его местоположение в поле Location. После нажатия кнопки ОК появляется окно, где можно выбрать две опции:

Create based upon an existing project – создать проект на основе имеющихся шаблонов. В выпадающем списке можно выбрать один из 42 готовых для моделирования проектов. Все они располагаются в <директория установки> \ tools \ capture \ templates \ pspice. Сюда можно добавить собственный проект — он также появится в выпадающем списке при создании нового проекта. Обратите внимание на название шаблонов.

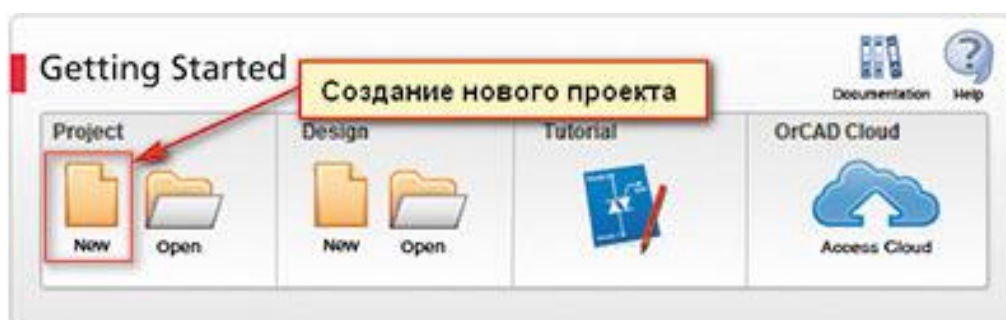


Рисунок 2.2 – Создание нового проекта со стартовой страницы в OrCAD Capture

Например, simple.orj или empty.orj — это простые проекты с одним схемным листом, но уже с подключенными базовыми библиотеками компонентов с PSpice моделями. Шаблоны, начинающиеся со слова hierarchical, – это иерархические проекты с двумя подсхемами с одним листом в каждой. Проекты типа empty_aa, simple_aa, hierarchical_aa и т.д. – это проекты с предустановленными библиотеками компонентов, пригодными для проведения дополнительных видов анализа — Advanced Analysis. К шаблонам с окончанием all_libs подключены все библиотеки выбранного типа. OrCAD Capture и в формате PSpice A/D для системы моделей [5].

OrCAD EE Designer поставляется с двумя типами библиотек в формате OLB для схемотехнического редактирования – LIB. В <директория установки> \ tools \ capture \ library находятся библиотеки OLB, к которым не подключены PSpice модели, – они больше подходят для проектирования

печатных плат. В <директория установки> \ tools \ capture \ library \ pspice находятся библиотеки компонентов OLB, к которым подключены PSpice модели LIB – они подходят как для моделирования схемы, так и для проектирования печатных плат. Если вы изначально создавали проект типа Analog or Mixed A/D, то при размещении компонентов по команде Place – > Part к поиску будут подключены библиотеки из директории PSpice. В моделировании участвуют только те компоненты, к которым подключены соответствующие PSpice модели. По умолчанию все библиотеки PSpice моделей располагаются в директории <директория установки> \ tools \ \ library.

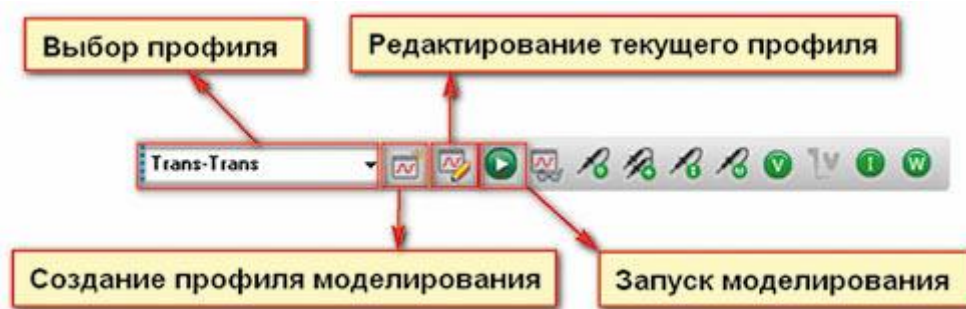




Рисунок 2.3 – Создание профиля и запуск моделирования через панель инструментов в OrCAD Capture


Для размещения компонентов в OrCAD Capture используется меню Place – > Part. Наиболее часто используемыми являются библиотека analog.olb (содержится набор базовых пассивных компонентов) и библиотека source.olb(содержатся источники питания и сигналов). Начиная с версии OrCAD Capture 16.6 появилась возможность размещать на схеме наиболее часто используемые при моделировании компоненты с помощью специального меню Place – > PSpice Component. Это меню избавит вас от долгого поиска пассивных и дискретных компонентов, а также источников цифровых и

аналоговых сигналов. Также учитывайте тот факт, что положительным считается ток, протекающий от первого вывода ко второму выводу резистора или конденсатора. Если ток течет из второго в первый вывод, то значение тока войдет в отчет со знаком минус. Порт заземления устанавливается по команде Place – > Ground. Используйте символ 0 из библиотеки source.olb.

Существует несколько способов электрически соединить компоненты в OrCAD Capture:

- Place – > Wire (клавиша W или кнопка на панели инструментов ) – рисование цепи. При этом необходимо проложить каждый сегмент цепи вручную;

- Place – > Auto Wire -> Two Points (кнопка ) – соединение по двум точкам. Достаточно выбрать два вывода, и цепь будет размещена автоматически;

- Place – > Auto Wire -> Multiple Points (кнопка ) – соединение нескольких точек. При выборе данной команды необходимо последовательно указать несколько точек (выводов) для соединения и нажать ПКМ – > Connect;

- можно выбрать только выводы, которые необходимо соединить ЛКМ и нажать ПКМ – > Connect.

Когда схема создана, наступает этап подготовки профиля моделирования – то есть задания на моделирование, которое содержит:



- команды и опции моделирования;

- подключаемые файлы – как правило, это схемные каскады, которые дополнительно входят в список цепей на моделирование;

- библиотеки – стандартные и дополнительные, необходимые для моделирования;

- файлы источников сигналов – дополнительные описания входных воздействий для схем, созданные в приложении Stimulus Editor, которое входит в состав PSpice A/D;

- настройки виртуального осциллографа Probe – здесь указываются параметры вывода на экран результатов моделирования в виде осциллограмм и графиков.

Профиль моделирования может быть создан с помощью кнопки  или меню PSpice – > New Simulation Profile (рис. 2.3). Отредактировать текущий профиль моделирования можно с помощью кнопки  или меню PSpice – > Edit Simulation Profile. Далее указывается имя профиля. Отметим, что одна и та же схема может иметь несколько профилей с разными видами анализа.

В окне Simulations Settings на вкладке General можно задать имя профилю моделирования, указать директории для выходного файла (Output File) и файла данных (DATфайл). В секции Notes можно оставить свой комментарий к профилю моделирования.


Вкладка Analysis позволяет выбрать один из четырех основных видов анализа:

- Time Domain (Transient) – переходный процесс во временной области;
- DC Sweep – по постоянному току с вариацией параметров;
- AC Sweep – по переменному току с вариацией параметров;
- Bias Point – по постоянному току в точке смещения.

Все эти базовые виды анализа могут быть расширены одним или несколькими дополнительными видами анализов, например параметрическим, температурным или Монте Карло. Дополнительные виды анализа могут быть выбраны в окне опций, которое располагается под выпадающим списком основных видов анализа (рис.2.4).

На вкладке Configuration Files к профилю моделирования в секции Category можно подключить файлы источников сигналов (Stimulus), библиотеки (Library) или дополнительные файлы (Include). Каждый из этих файлов подключается на трех уровнях:

- глобальном (Add as Global) – распространяется на все проекты;
- локальном (Add to Design) – распространяется только на текущий проект;
- профиле (Add to Profile) – распространяется только на текущий профиль моделирования.

Перед глобальными файлами стоит индикатор –  [5].

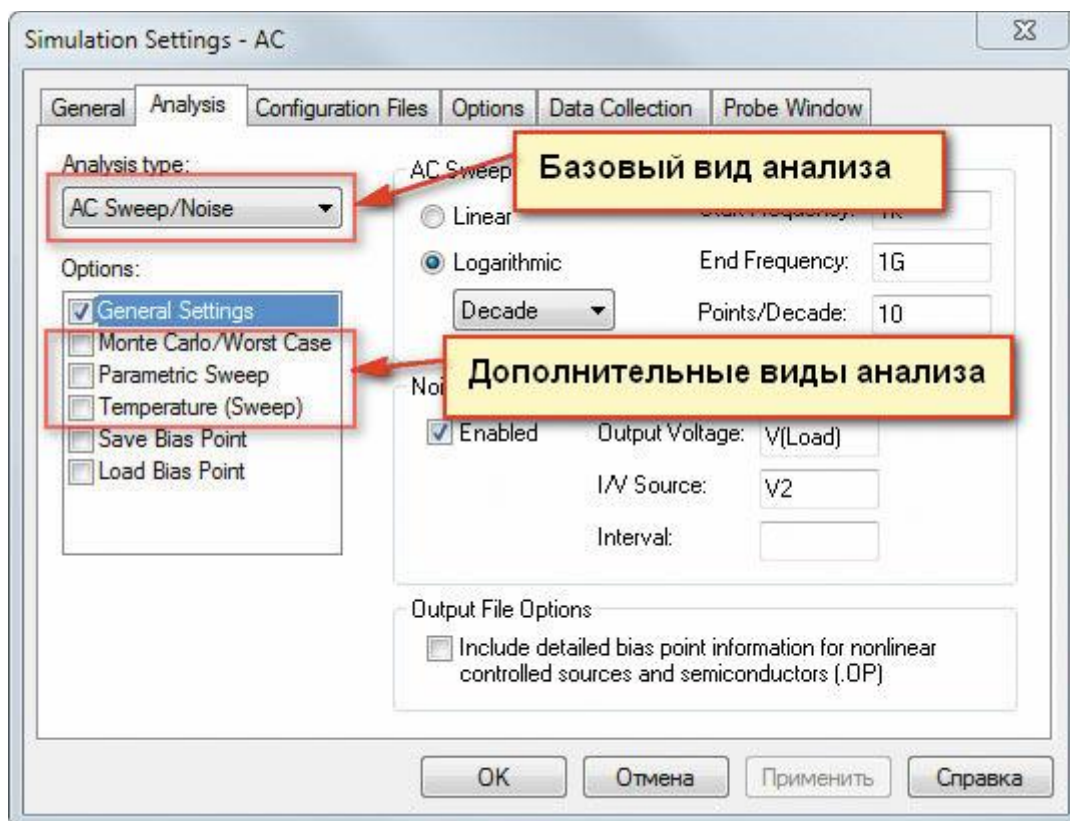


Рисунок 2.4 – Выбор вида анализа в настройках профиля моделирования

Основной библиотекой для PSpice A/D является Nom.lib, автоматически подключаемая как глобальная при первой установке программы. Она представляет собой простой текстовый файл, который можно отредактировать стандартными текстовыми редакторами Windows. Nom.lib, содержит список всех библиотек PSpice A/D, и при моделировании программа сначала просматривает этот список, чтобы подключить нужную библиотеку.

На вкладке Options есть три категории настроек:

– аналоговое моделирование (Analog Simulations) – здесь указываются важнейшие параметры точности моделирования, влияющие на сходимость результатов (проблема конвергенции). Кроме того, можно настроить такие инструменты, как автоконвергенция (Auto Converge), количество

вычислительных потоков (Number of Threads), зависящее от количества ядер в центральном процессоре, и многое другое;

- цифровое моделирование (Gatelevel Simulation) – здесь устанавливается режим временных задержек в цифровых схемах, начальное состояние триггеров, уровень входа выхода для аналого-цифровых интерфейсов и т.д.;

- выходной файл (Output File) – все результаты расчетов при моделировании записываются в специальный выходной текстовый файл. Эта категория настроек позволяет управлять его содержанием. Например, по умолчанию в выходной файл записываются напряжения во всех цепях схемы (Bias point node voltages).





На вкладке Data Collection указывается объем информации, которая записывается в специальный файл данных с расширением DAT, который, в свою очередь, служит основным источником данных для отображения графиков в окне Probe. Вы можете ограничить объем этих данных, чтобы снизить размер DAT файла и ускорить моделирование. Опция Probe Data позволяет установить 64битную точность данных вместо 32битной. Более высокая 64битная точность позволяет записывать данные по сигналам с большим разрешением. Например, при наложении амплитуд с разным значением напряжений может возникать эффект пилообразных искажений.

На вкладке Probe Window устанавливаются параметры отображения осциллограмм в окне Probe. Опция Display Probe window включает отображение осциллограмм во время расчетов или после них. В секции Show можно указать, какие графики выводить на экран – только для цепей, куда установлены маркеры, согласно предыдущим настройкам графиков, или не выводить совсем.


Перед запуском моделирования необходимо убедиться, что:

- ко всем компонентам на схеме подключены свои PSpice модели;
- к схеме подключен порт заземления;
- все компоненты пронумерованы;
- на схеме отсутствуют разрывы.

Дополнительным, но необязательным этапом подготовки проекта к моделированию может быть установка контрольных маркеров (щупов) на схему. Маркеры необходимы для вывода осциллограмм (графиков) для узлов схемы, где они установлены. Для различных вариантов анализа доступен базовый набор маркеров:

- уровень напряжения – ;
- дифференциальное напряжение по двум точками схемы – ;
- ток на выводах элементов (данный маркер недоступен для элементов в виде подсхем) – ;
- рассеиваемая мощность на элементах – .

Дополнительные маркеры из меню PSpice – > Markers – > Advanced позволяют увидеть реальную и мнимую часть токов и напряжений, а также уровень магнитуды, фазу и групповую задержку. Данные маркеры доступны для варианта анализа AC Sweep (по переменному току с вариацией параметров). Через меню PSpice – > Markers – > Plot Window Templates можно устанавливать на схему специальный тип маркеров, позволяющий выводить на экран окно графика с заранее предустановленным шаблоном расчетов, например, комплексной проводимости, комплексного сопротивления, коэффициента усиления по току, графиками Боде и т.д.

Запуск моделирования осуществляется с помощью кнопки  панели инструментов, меню PSpice – > Run или клавиши F11. После этого на экране возникает окно редактора сигналов PSpice A/D с виртуальным осциллографом Probe. Если на схеме были установлены маркеры, то соответствующие им осциллограммы мгновенно отобразятся в PSpice A/D. В противном случае вам следует самостоятельно добавить их на экран с помощью меню Trace – > Add Trace в PSpice A/D или клавиши Insert (рис. 2.5). При добавлении трасс на график можно воспользоваться мощными средствами обработки данных с помощью операторов и функций, математических

выражений, макросов, шаблонов графиков. Для этого достаточно выбрать функцию в правом списке и параметр – в левом. В строке Trace Expression появится расчетное выражение, которое также можно редактировать вручную.

Теперь возможно отобразить несколько графиков в одном окне Probe. Для этого нужно перейти в меню Plot -> Add Plot to Window (рис. 2.6). При этом на экране появится пустой график, который можно заполнить различными трассами. Активный график отмечен знаком слева внизу у вертикальной оси. Переключение между графиками осуществляется с помощью ЛКМ. Чтобы перенести трассу с одного графика на другой, необходимо скопировать ее подпись в буфер обмена (Ctrl+C) и вставить (Ctrl+V) на активный график. Также не забывайте о команде выреза графика с копированием его в буфер – Ctrl+X. Можно создать и новое окно с графиком через меню Window -> New Window.

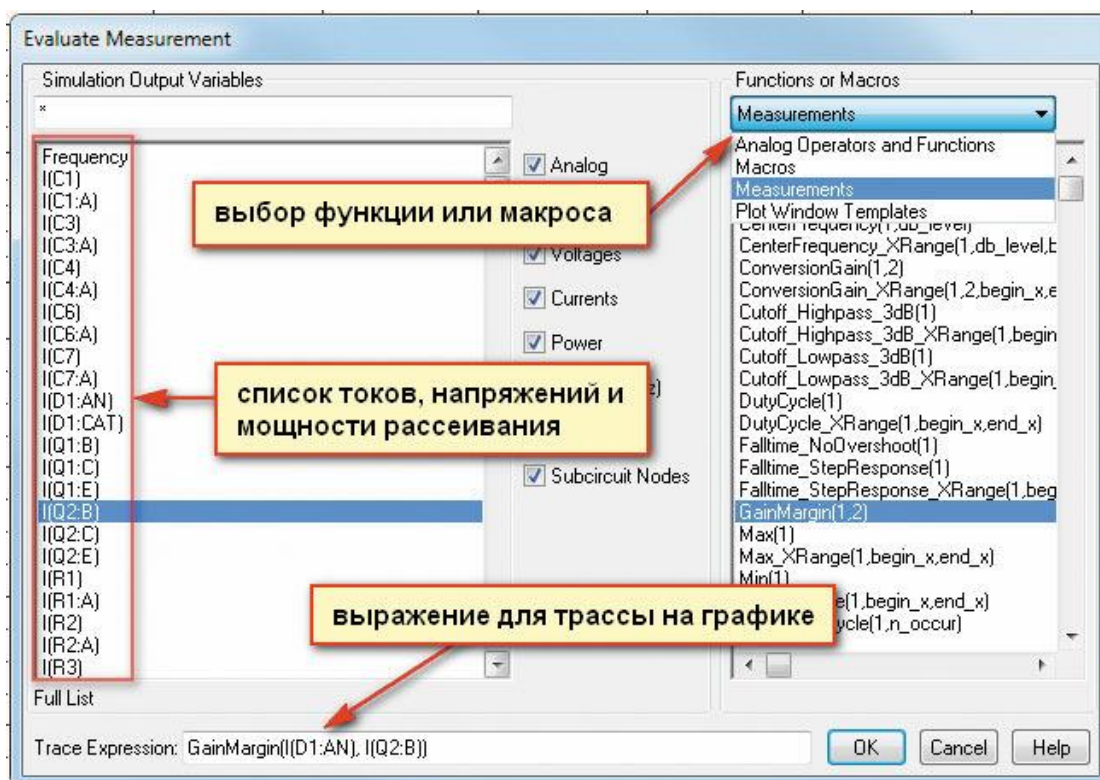


Рисунок 2.5 – Выбор трассы для вывода на экран в окне Trace → Add Trace или Trace → Evaluate Measurement

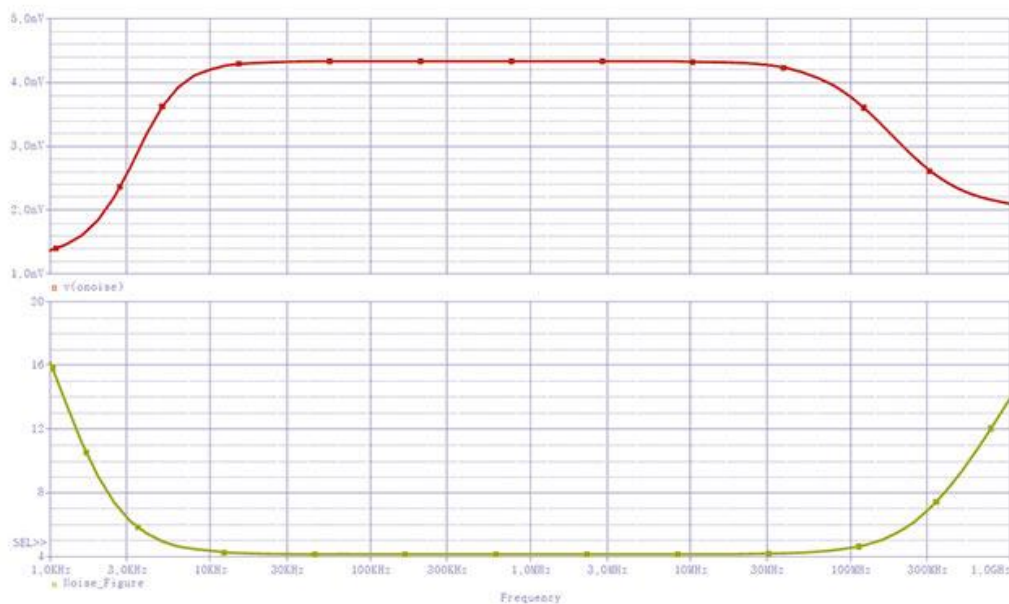


Рисунок 2.6 – Вывод нескольких графиков в одном окне Probe (PSpice A/D)

Для настройки фона рабочей области PSpice A/D и сетки графиков с подписями используется меню Tools – > Options, вкладка Color Settings.

Часто возникает необходимость показать на одном графике несколько кривых в разном масштабе. Например, это могут быть токи и напряжения. Можно добавить на один график до трех осей Y (рис. 2.7). Для вставки дополнительной оси Y можно воспользоваться горячими клавишами Ctrl+Y или меню Plot – > Add Y Axis. При этом новая ось Y станет активной. Активная ось отмечается знаком >> слева внизу. Единицы измерения и цена деления для оси выбирается в тот момент, когда на график помещается новая кривая.

При нажатии на любую из осей Y откроется окно настроек данной оси. Это окно также можно вызвать при помощи меню Plot – > Axis Settings, вкладка Y Axis. Здесь присутствуют следующие настройки:

- Data Range – диапазон данных: автоматический или заданный пользователем;

- Scale – масштаб;

- Y Axis Number – номер оси, для которой вносятся изменения;

- Axis Position – положение оси: справа или слева от графика;
- Axis Title – подпись (заглавие) оси.

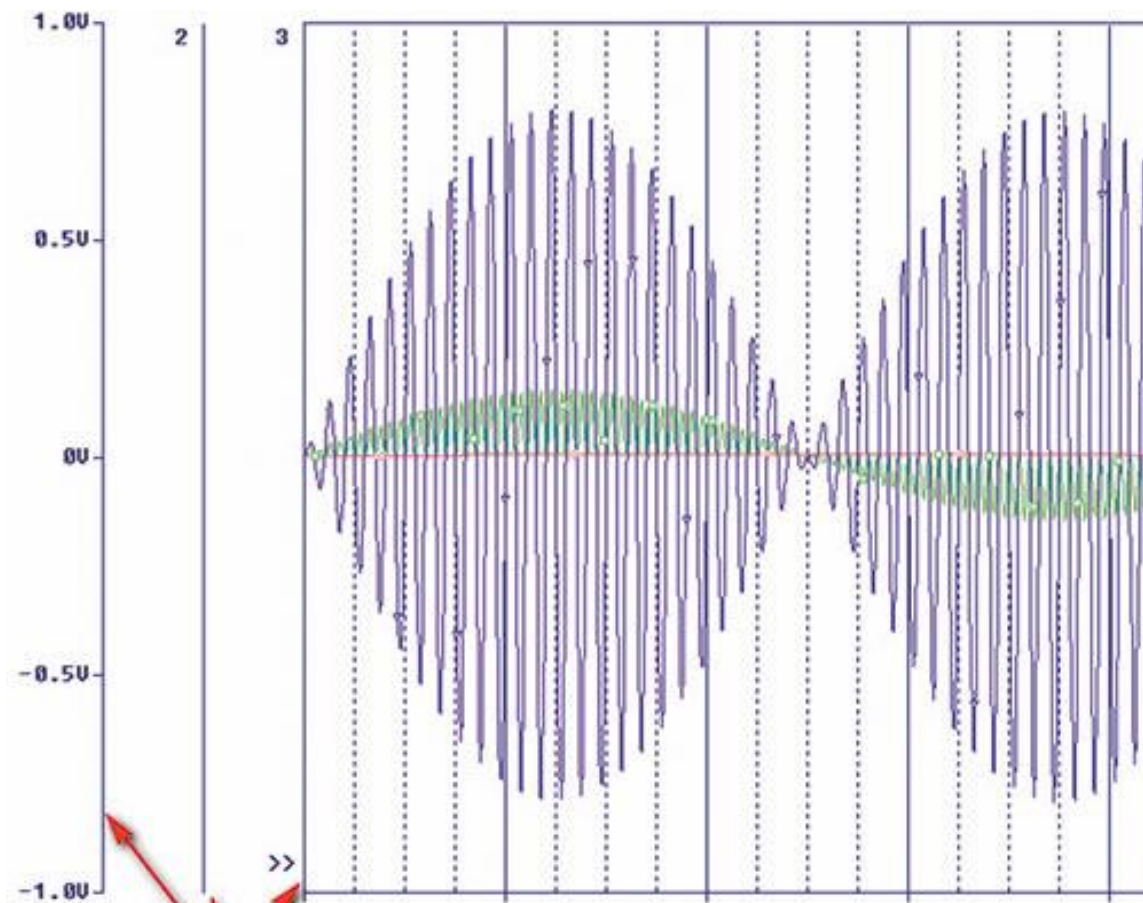


Рисунок 2.7– Дополнительные оси Y на графике в Probe

Расчетные данные и графики, полученные в PSpice A/D, можно скопировать в любой текстовый или табличный редактор. Для копирования всех значений точек на трассе графика в окне Probe необходимо сделать следующее:

- открыть требуемый график;
- каждая трасса на графике снабжена подписью (легендой), расположенной строго под осью X. При помощи кнопки ЛКМ следует выбрать нужную подпись. Для выбора нескольких – зажать клавишу Shift;
- скопировать подпись в буфер обмена при помощи Ctrl+C;

– открыть текстовый редактор и вставить данные из буфера обмена. На экране появятся значения для каждой точки трассы.


Для копирования графиков нужно сделать следующее:


– в PSpice A/D выбрать меню Window – > Copy to Clipboard.

– в появившемся окне Color Filter поставить опцию Make window and plot transparent (Сделать окно и график прозрачными).

– выбрать цветовую схему для графика и сетки в секции Foreground.

– скопировать изображение в текстовый или графический редактор.

Результаты любого анализа также выводятся в виде выходного текстового файла. Его можно открыть через OrCAD Capture, меню PSpice -> View Output File, а также через PSpice A/D при помощи меню View – > Output File или кнопки  на панели инструментов. Для удобства чтения при просмотре выходного файла через PSpice A/D все текстовые группы, такие как числа, комментарии, выражения, операторы и ключевые слова, выделены разными цветами. Поменять текущую цветовую схему можно через специальный файл Spice Syntax INI. Данный файл располагается в <директория установки> \ tools \ pspice.

Напряжения в цепях, токи на выводах компонентов и мощность, рассеиваемая на компонентах, отображаются непосредственно на схеме в OrCAD Capture. Для этого достаточно зайти в меню PSpice -> Bias Point -> Enable или воспользоваться панелью инструментов .

3 МОДЕЛИРОВАНИЕ АНАЛОГОВО–ЦИФРОВЫХ СХЕМ

Язык описания аппаратуры VHDL-AMS является языком высокого уровня, что позволяет ему абстрагироваться от конкретных параметров и физических законов разрабатываемых систем. Схему устройства (будь-то цифровое, аналоговое или даже механическое) можно представить в виде математической модели. При этом в саму модель необходимо заложить требуемые реальные параметры и законы их изменения.

В данной работе будут рассмотрены принципы моделирования смешанных аналогово-цифровых схем на примере автоматизированной системы охраны объектов.

Задача данной системы состоит в следующем:

- сбор данных от аналоговых органов управления;
- оцифровка полученных сигналов;
- передача сигналов на исполнительные механизмы;
- прием данных и их декодирование;
- преобразование сигналов в аналоговую форму и их выдача на исполнительные механизмы.

Общая схема движения сигналов в системе изображена на рис. 3.1.

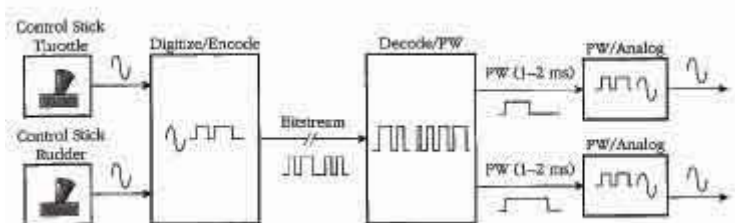


Рисунок 3.1 – Схема движения сигналов в системе

Система управления состоит из 4-х секций:

- блок аналогового контроля (Control Stick);

- блок оцифровки и кодирования (digitize / encode block);
- блок декодирования и выработки широтно-импульсных сигналов (the decode / PW block);
- конвертер широтно-импульсных сигналов в аналоговые (the PW/analog blocks).

На выходе датчиков дальней и ближней зон – непрерывные аналоговые сигналы в диапазоне от 0 В до 4,8 В. Аналоговые электрические сигналы поступают в блок кодера, где происходит их оцифровка. Рассмотрим принцип работы блока.

Основное назначение блока оцифровки/кодирования заключается в измерении аналоговых сигналов от обоих органов управления каждые 20 мс и их преобразовании в 10-битовые последовательные строки. В коммуникационных системах процесс оцифровки аналоговых сигналов и их форматирования для передачи осуществляется по принципу кодово-импульсной модуляции (PCM). Этот блок также выполняет мультиплексирование каждого потока данных по принципу мультиплексной передачи с временным разделением (TDM). Результатом этих операций является битовый поток, состоящий из данных, пересылаемых приемнику.

Данные в битовом потоке представляют собой совокупность пакетов, длительность каждого из них составляет 20 мс. Каждый пакет может содержать до 8 каналов, длительностью 2 мс каждый. Информация о синхронизации кадра и обнаружении ошибок также кодируется в битовый поток, более приоритетный для передачи. Аналогово-цифровое преобразование, сборка битового потока и общая синхронизация контролируются локально.

Выходной битовый поток кодера посылается на вход декодирующего устройства. В реальной системе этот сигнал передается посредством блоков RF-передатчика и RF-приемника. Частота передачи сигнала лежит в пределах 6000-7000 бит/с. Минимально допустимая частота для этой системы составляет:

$$(8 \text{ каналов}) \times (16 \text{ бит} / \text{канал}) / (20 \text{ мс} \text{ длительность пакета}) = 6400 \text{ бит} / \text{с}.$$

Полезная для системы информация заключена в первых 3-х каналах кадра (синхронизация, состояние датчиков и органов управления); остальные каналы не используются. Каждый канал содержит 16 бит: 10 бит данных, 1 стартовый бит и 1 бит паритета. Дополнительные 4 бита добавлены к каждому каналу в качестве промежутка при рассмотрении временных диаграмм.

Пример битового потока с выхода кодера изображен на рис.3.2. Канал синхронизации состоит из 12 перемежающихся бит. Эта информация используется декодером для оценки истинности принятых данных. Данные от датчиков разных направлений посылаются отдельно в каналах 1 и 2.

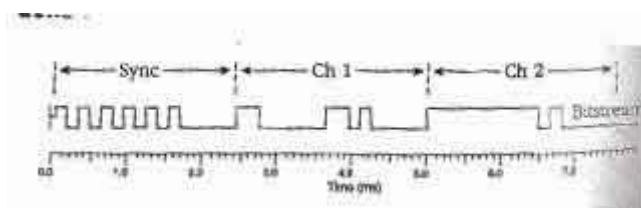


Рисунок 3.2 – Последовательный битовый поток данных

Схема кодера, изображенная на рис.3.3, работает следующим образом: вначале 12-битовая синхро-последовательность генерируется в блоке TDM_кодера, состоящего из сдвигающего регистра-защелки. Дополнительные 4 нулевых бита также сдвигаются для заполнения 16-битного канала. Далее генерируются управляющие сигналы. Аналоговые сигналы от датчиков поступают на вход 2-х входного аналогового переключателя. Вначале переключатель пропускает сигнал от датчиков дальней зоны на вход аналогово-цифрового конвертера. Этот сигнал оцифровывается в 10-битную последовательность, которая поступает в TDM_кодер и кодируется в 16-битную последовательность данных канала. Далее аналоговый переключатель

переводится в положение обработки сигнала ближней зоны. Этот сигнал оцифровывается и кодируется таким же образом, как и предыдущий.

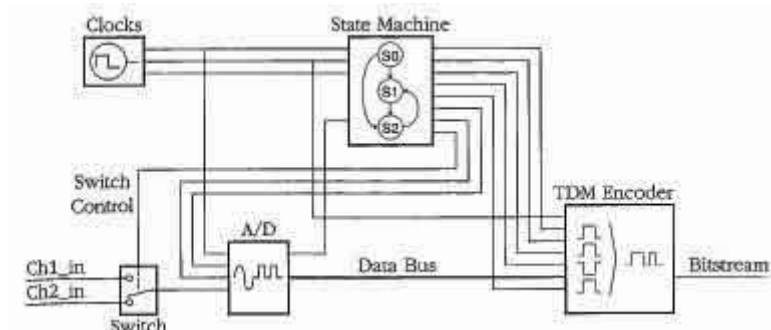


Рисунок 3.3 – Схема кодера

Схема TDM_кодера приведена на рис.3.4. Этот кодер к 10-битовому цифровому сигналу добавляет стартовый бит и бит паритета. Бит паритета позволяет обнаружить единичную ошибку между передатчиком и приемником в каждом канале. Если ошибка обнаружена в приемнике, канал не будет обновлен. Вместо этого приемник будет использовать данные предыдущего состояния датчиков и органов управления. 12 – битовая последовательность от генератора паритета защелкивается в параллельно–последовательном сдвиговом регистре, добавляющем еще 4 бита данных.

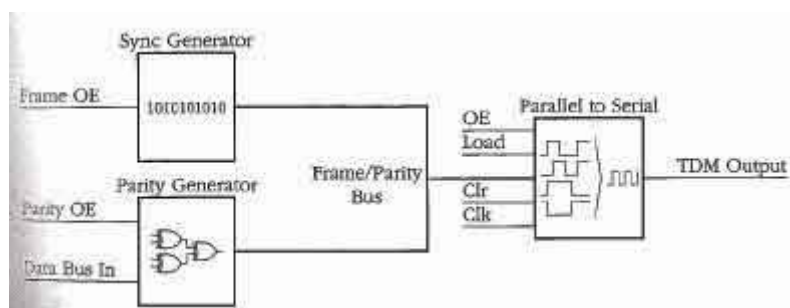


Рисунок 3.4 – Схема TDM_кодера

3.1 Аналоговый переключатель

Модель 2-х входового аналогового переключателя приведена в приложении 1. Логический 0 на цифровом входе `sw_state` соответствует замкнутому состоянию контактов `p_in1` и `p_out` (сопротивление `r_closed`), и разомкнутому состоянию между контактами `p_in2` и `p_out` (сопротивление `r_open`). Сопротивление `r_closed` представлено очень маленьким значением, а `r_open` – очень большим. Это позволяет протекать току между контактами `p_in1` и `p_out` и не протекать соответственно между контактами `p_in2` и `p_out`. Противоположная ситуация возникает, когда на входе `sw_state` уровень логической единицы.

Процесс чувствителен к сигналу `sw_state` и присваивает значения `r_open` или `r_closed` сигналам `r_sig1` и `r_sig2`, что представляет собой резистивный переключатель. Резисторы `r1` и `r2` в модели представлены с атрибутом `ramp`. Это позволяет коммутировать ток и напряжение через переключатель согласно закону Ома.

3.2 Аналогово-цифровой конвертер

Аналогово-цифровой конвертер (A/D) использует следующий алгоритм аппроксимации конвертер выполняет операцию конвертирования за 2 шага:

- ввод (чтение аналоговых данных);
- конвертирование (измерение напряжения на входе и формирование цифрового эквивалента во временном битовом массиве и выдача результирующих данных на выход).

Работа конвертера начинается с первого шага – ввода данных по сигналу запуска `start`. Далее тестируется напряжение на входе конвертера `Vin` и инициализируются переменные, необходимые для выполнения операции

конвертирования. Также сбрасывается флаг «конвертирование закончено», конвертер переводится в состояние готовности к конвертированию (шаг 2).

До начала 2-го шага конвертер ожидает фронт синхроимпульса, затем сравнивается измеренное значение входного напряжения с пороговой величиной для выделения старшего значащего бита. Если входное напряжение больше порогового значения, конвертер устанавливает старший бит логического вектора в 1 и уменьшает измеряемое напряжение на величину порогового напряжения. В противном случае конвертер заносит в старший бит вектора 0, не изменяя при этом входного напряжения. Эта операция повторяется для каждого из последующих бит. При выделении самого младшего бита вектора, конвертер устанавливает сигнал Еос в 1, что является признаком завершения операции конвертирования, после чего сформированный логический вектор выводится на выходную шину. После этого сбрасывается переменная состояния, что свидетельствует о готовности конвертера к выполнению нового цикла конвертирования.

3.3 Широтно-импульсный кодер/декодер

Широтно-импульсный кодер (PW) декодирует входящий битовый поток данных и генерирует импульсные сигналы. Он принимает асинхронный TDM битовый поток от блока кодера через RF-блок приема-передачи. Данные из последовательного потока извлекаются и конвертируются в параллельный код, который представляет собой оцифрованные данные от органов управления. Слова параллельного кода наряду со значением цифрового счетчика используются для генерации аналогового сигнала пропорциональной длительности для каждого канала управления сервоприводами. Синхронизация, декодирование и генерирование широтно-импульсного сигнала контролируются управляющим автоматом.

С выхода кодера снимаются аналоговые сигналы, управляющие определенными сервоприводами. Амплитуда сигналов равна 4,8 В. Импульсы сигнала обновляются каждые 20 мс (50 Гц), и занимают по длительности от 1 до 2 мс, в зависимости от воздействия на органы управления.

Сигнал ШИМ переменной длительности генерируется схемой, изображенной на рис.3.5. Эта схема принимает битовый поток, генерируемый в блоке кодера. Под управлением УА TDM-декодер делит битовый поток на каналы. Для каждого канала данные поступают на один из входов цифрового компаратора. На второй вход компаратора поступает значение счетчика. В момент, когда данные из битового потока защелкиваются в регистре компаратора, запускается счетчик, наращивающий свое значение. Выход компаратора находится в состоянии высокого уровня (ВУ). В момент, когда значение счетчика становится равным защелкнутому значению из канала, на выходе компаратора появляется низкий уровень (НУ). Ширина выходного сигнала компаратора пропорциональна времени счета счетчика.

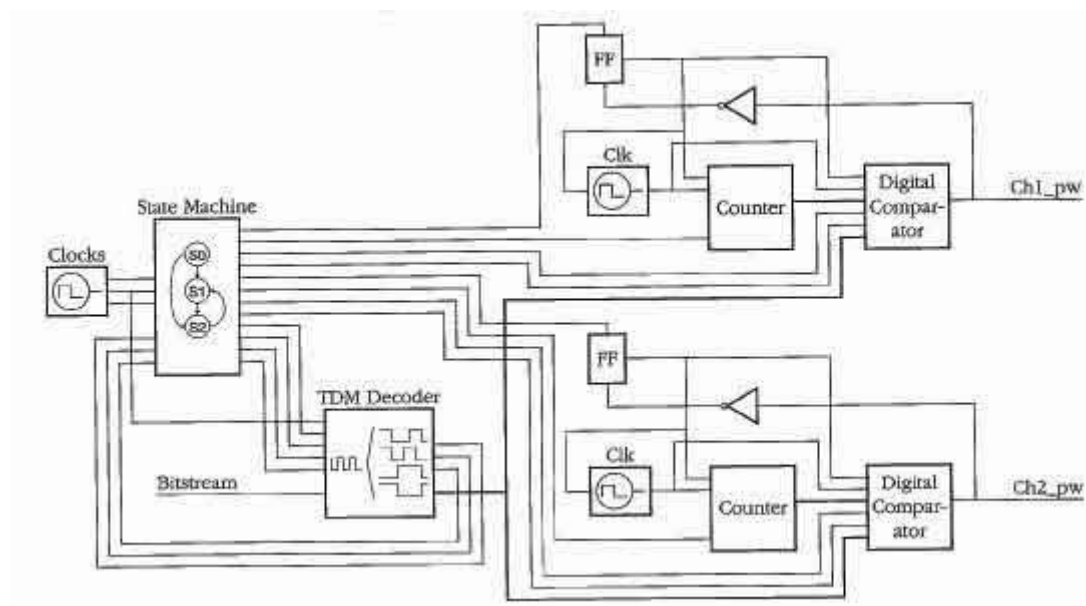


Рисунок 3. 5 – Схема кодера сигналов ШИМ

Блок декодера сигналов ШИМ конвертирует широтно-импульсные сигналы, поступающие от блока ШИМ кодера в аналоговые сигналы, представленные уровнем напряжения для управления сервоприводами. Приходящие импульсы преобразуются в цифровой параллельный код (с использованием счетчиков), а затем трансформируются в эквивалентное ему напряжение с помощью ЦАП (D / A converter).

Это конвертирование осуществляется схемой, изображенной на рис.3.6. Сигнал ШИМ поступает на разрешающий вход счетчика, а также на вход его синхронизации. Выход счетчика поступает на цифро-аналоговый конвертер, с выхода которого снимается напряжение управления сервоприводами.

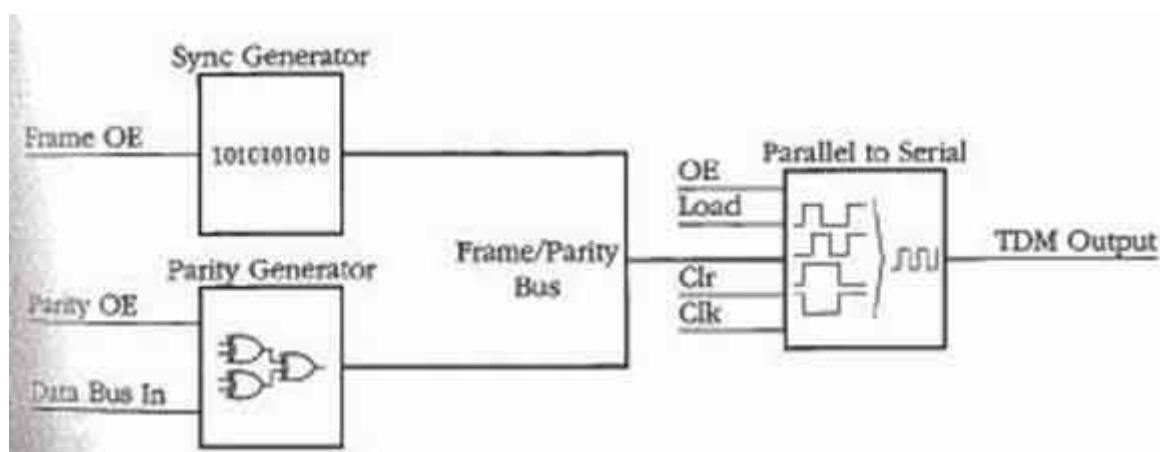


Рисунок 3.6 – Схема декодера сигналов ШИМ

3.4. Цифро-аналоговый преобразователь

Почти все компоненты в блоке ШИМ являются цифровыми. Исключение составляет цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП). VHDL-AMS модель данного блока приведена в приложении В. Рассмотрим алгоритм его работы. Конвертер читает по одному биту последовательного кода, начиная с самого старшего разряда. Для каждого бита конвертер вычисляет соответствующее напряжение и добавляет его к значению v_sum ; если бит = 0 значение не

добавляется. После прохода всех бит кода конвертер передает сигналу `sum_out` значение переменной `v_sum`. Далее происходит вычисление выходного напряжения `vout` с помощью атрибута `'ramp` сигнала `sum_out`. На этом шаге работа ЦАП завершена. Атрибут `'ramp` сигнализирует о завершении процесса преобразования.

В конечном итоге на выходе схемы мы получаем «оцифрованный» аналоговый сигнал управления сервоприводами, который обновляется каждые 20 мс. Временная диаграмма этого сигнала приведена на рис.3.7.

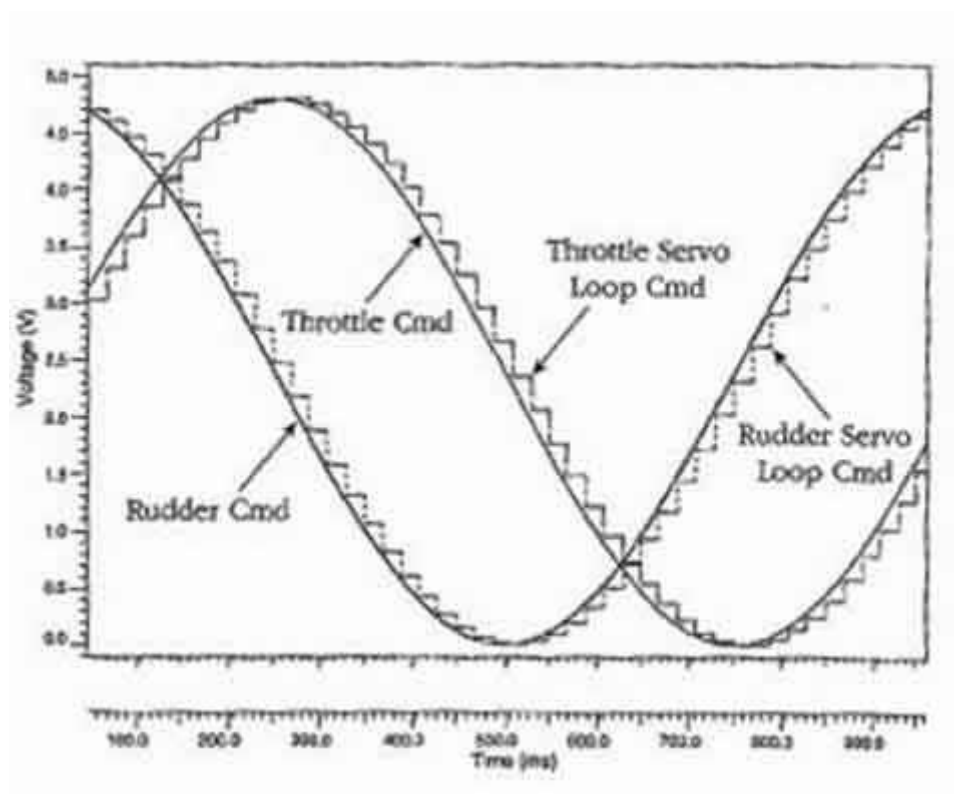


Рисунок 3.7 – Аналоговый сигнал и его эквивалент после оцифровки

3.5 Анализ точности конвертирования

Прежде чем определить общую точность исследуемой системы, необходимо проанализировать тестовую схему, приведенную на рис.3.8, для

ознакомления с принципами AD и DA конвертирования. В данной схеме источником пульсирующего аналогового сигнала является модель АЦП (приложение Б). По окончании конвертирования сигнал Eoc устанавливается в верхний уровень. Этот сигнал трансформируется в короткий импульс, защелкивающий регистр схемы D/A. Как результат – аналоговый сигнал конвертируется в цифровой, а затем снова в аналоговый.

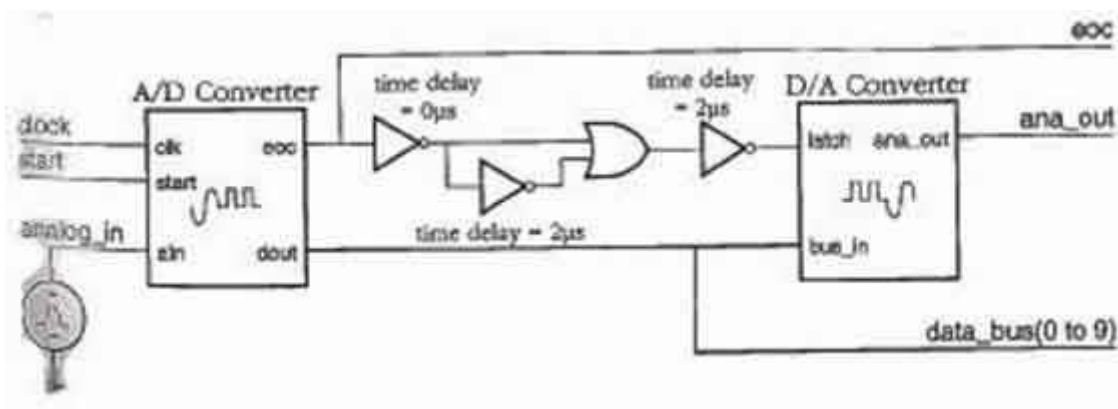


Рисунок 3.8 – Тестовая схема для оценки точности AD и DA преобразований

Схема используется для исследования точности преобразования A/D и D/A компонентов. В качестве теста используется напряжение, изменяющееся от 0 В до 9,5 В в течении 600 мс. Амплитуда 9,5 В выбрана близкой к максимально возможной конвертируемой величине напряжения на конвертере ($\pm 4,8$ В).

При первом проходе запускаем серию тестов для иллюстрации эффекта разрешающей способности (точность конвертирования). Рис. 3.9 иллюстрирует квантованные выходные сигналы при разрешающей способности от 5 до 10 бит. Непрерывный сигнал – это аналоговый сигнал на входе, оцифрованный D/A сигнал, состоит из 6 диаграмм для разных значений разрешающей способности. Эти сигналы налагаются друг на друга. Цифровой сигнал внизу отображает моменты начала A/D конвертирования.

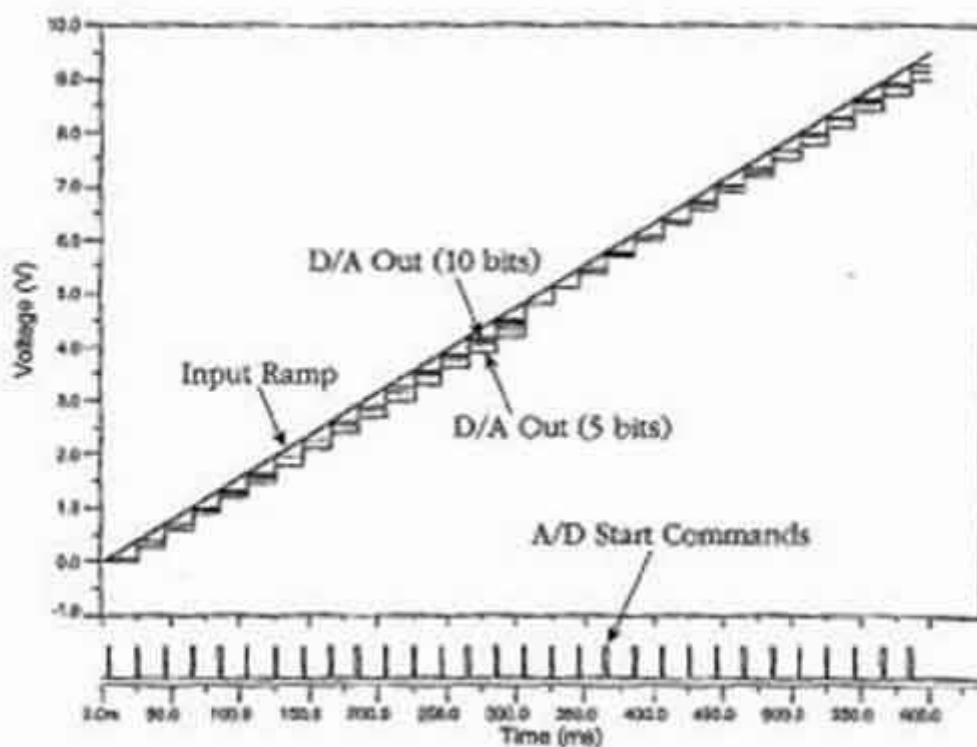


Рисунок 3.9 – Влияние разрешающей способности на точность конвертирования

Как видно из рисунка ошибка D/A преобразования возрастает при снижении разрешающей способности (квантованный сигнал не совпадает с исходным). Ошибку квантования легко увидеть на рис.3.10. Возьмем момент времени 285 мс. Он совпадает с восходящим фронтом сигнала запуска A/D конвертирования. Квантуемый аналоговый сигнал имеет амплитуду 4,49 В. При этом D/A конвертер генерирует ошибку в 2,3 мВ при 10 – битном разрешении и 292 мВ – при 5 – битном. Максимальная ошибка при 10 битах составляет $FSR/20$, где FSR – максимально возможная амплитуда конвертируемого сигнала. Для нашего конвертера она составляет 9,6 В, что дает ошибку квантования $9.6 / 1024 = 9.4$ мВ. Это приемлемый результат. Используя 5 – битное квантование, получим ошибку $9.6 / 32 = 300$ мВ, что больше измеренного значения 292 мВ.

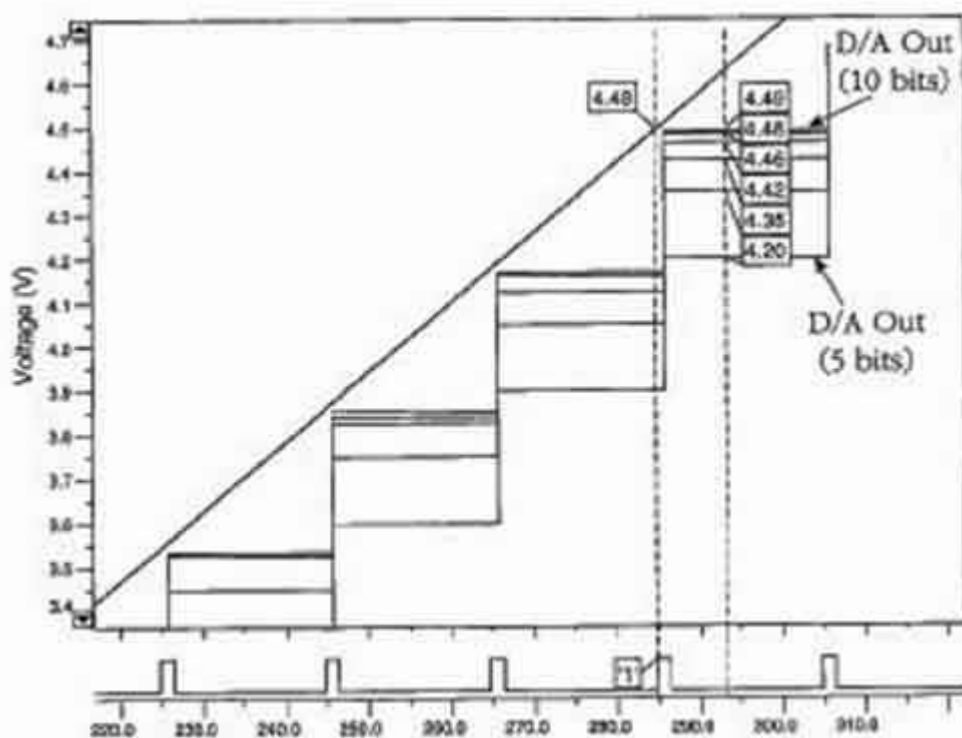


Рисунок 3.10 – Влияние разрешающей способности на точность конвертирования

Теперь мы знаем, чего можно ожидать от аналогово-цифровых и цифро-аналоговых конвертеров. Выберем 8-битное конвертирование. Из предыдущего анализа точности конвертирования можно подсчитать ошибку квантования: $9,6 / 256 = 37,5$ мВ. Будем использовать это значение для представления наибольшей разницы между входным аналоговым сигналом и его квантованным эквивалентом. Результат исследования для канала руля при 8 битах приведен на рис.3.11. На этом рисунке изображены 2 пары замеров. Левые вертикальные линии отображают моменты дискретизации входного сигнала, правые вертикальные линии показывают соответствующие им значения квантованного сигнала. Квантование выполнено с ошибкой 34.5мВ, что близко к максимальной ошибке. Это ожидаемая величина. Она указывает на предсказуемость системы в целом.

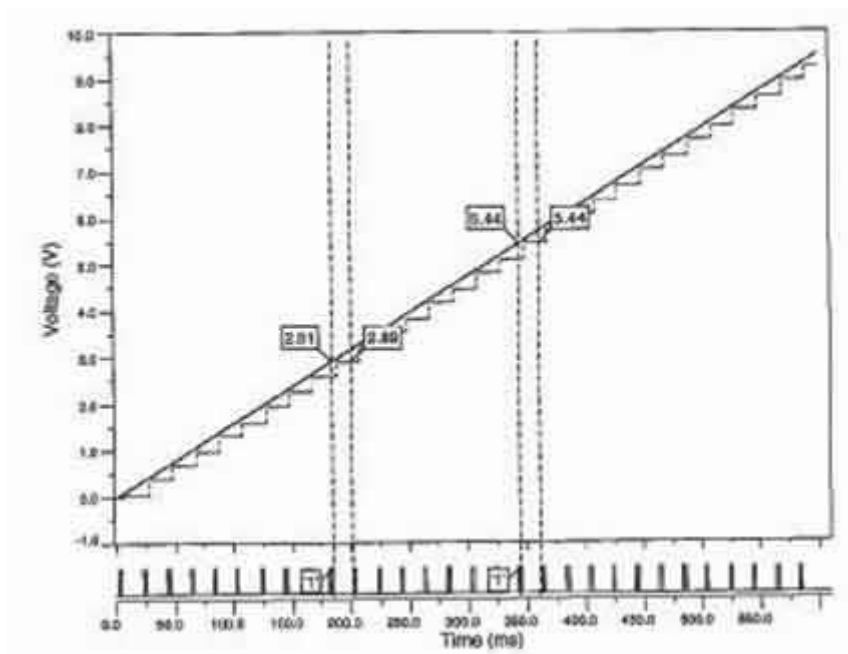


Рисунок 3.11 – Сигнал канала датчиков дальней зоны и его 8-битный квантованный эквивалент

Предположим, что мы увеличили разрешающую способность до 10 бит для того, чтобы получить более «четкие» результаты преобразования. Результаты анализа приведены на рис.3.12. Из предыдущих расчетов мы ожидаем максимальной погрешности квантизации в 9,4 мВ. Тем не менее, диаграмма выявляет ошибку. Входной сигнал квантуется при уровне 1,0095 В, а результирующий квантованный сигнал составляет 0.9938В. Разница между ними – 15,7 мВ, что больше подсчитанной величины. Необходимо выявить у этой ошибки.

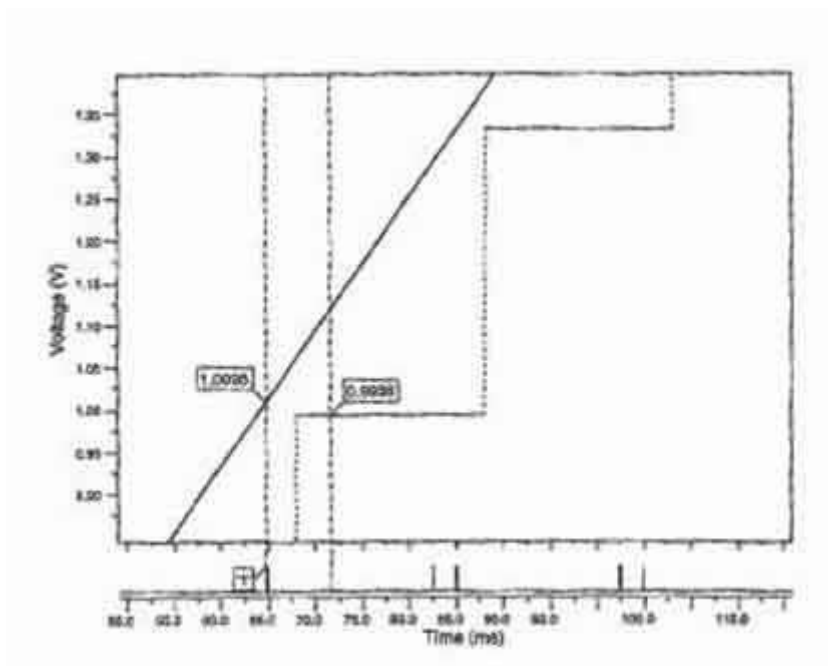


Рисунок 3.12 – Сигнал канала датчиков ближней зоны и его 10-битный квантованный эквивалент

До сих пор мы ограничивались анализом точности конвертеров A/D и D/A. Тем не менее, еще одно преобразование данных мы проигнорировали: преобразование цифрового кода в сигнал широтно-импульсной модуляции. При этом использовались цифровой счетчик и компаратор. Ширина импульса измерялась в количестве циклов счетчика до равного результата. Зависимость между длиной импульса и тактовой частотой аналогична зависимости между напряжением и разрешающей способностью, чем больше циклов синхроимпульса используется для получения сигнала ШИМ, тем больше точность. Так как мы используем длительности ШИМ в 1 мс и 8-битную систему, то должны ожидать цикл синхросигнала $1\text{ мс} / 256$, что составляет 4 мкс (частота 250 кГц). Для 10-битной системы период уменьшается соответственно до $1\text{ мс} / 1024$, что примерно равно 1 мкс (частота 1 МГц). Рассмотренная проблема возникла по причине применения 10-битного преобразования A/D и D/A и 8-битного широтно-импульсного преобразования.

4 ОПИСАНИЕ УНИВЕРСАЛЬНОГО ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

Стенд EV8032–МУ предназначен для экспериментального исследования аналоговых, цифровых, цифро-аналоговых, аналого-цифровых устройств и микроконтроллеров. Структурная схема стенда показана на рис. 4.1. Учебно-отладочный стенд “EV8032–МУ” – программно-аппаратный комплекс, ориентированный для применения в учебных целях по курсам программирования, а также как средство разработки программного обеспечения для контроллеров на базе однокристалльной ЭВМ серии MSC-51, а также на базе контроллеров архитектуры AVR.

Связь учебно-отладочного стенда “EV8031” с ПК осуществляется через com–порт.

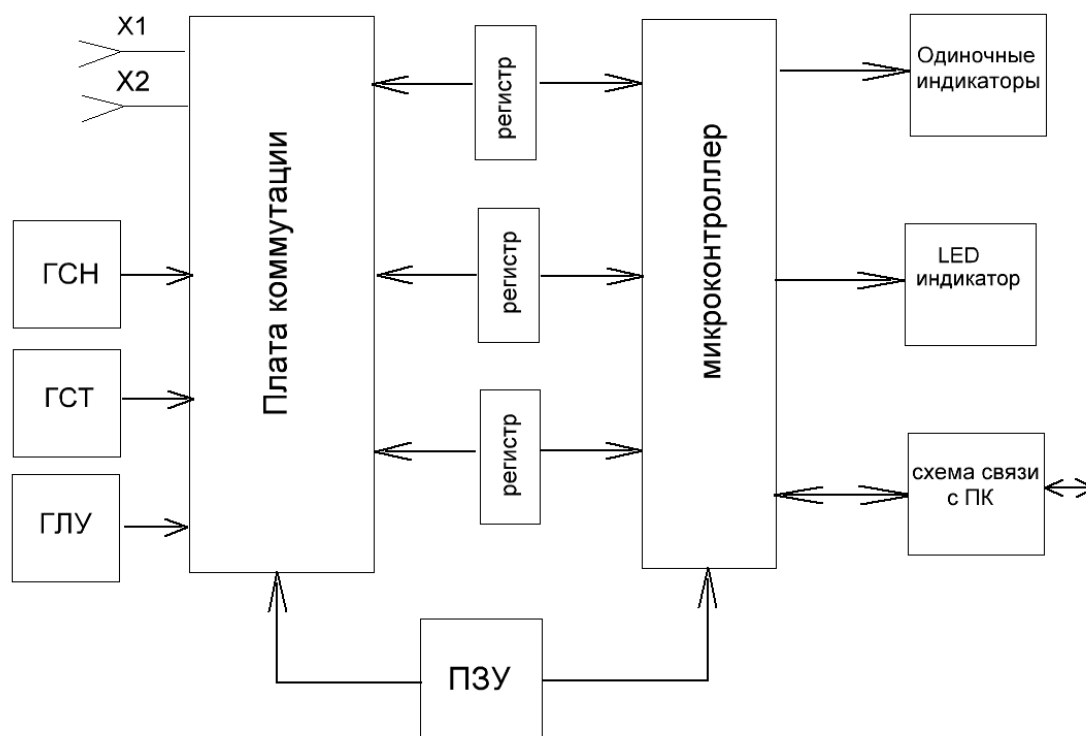


Рисунок 4.1 – Структурная схема универсального стенда

Конструктивно стенд выполнен в виде настольного прибора.

На передней панели прибора располагаются следующие узлы – цифровой индикатор, кнопки управления, одиночные индикаторы, разъемы для подключения внешних стандартных измерительных приборов: осциллографа и цифрового вольтметра, а также плата коммутации с панелями, куда вставляются исследуемые микросхемы. На задней панели установлены разъемы для подключения внешнего ПК и адаптера питания.

Для исправной и правильной работы стенда, его необходимо подключать только с одним com - портом ПК.

Аппаратный состав универсального стенда:

- используемые однокристалльные процессоры AT89C51, AT89C52, AT90S8515 (ATmega 8515) (корпус DIP-40);

- память программ – 16 КБайт;

- память данных – 16 КБайт;

- последовательная EEPROM память, 256 байт (AT24C02) в стандартной поставке;

- два последовательных канала передачи данных RS232;

- системный интерфейс;

- интерфейс расширения (16 линий выход, 8 линий вход / выход, порт P1 МК);

- клавиатура 4x3;

- статическая 4-разрядная семи–сегментная светодиодная индикация;

- цифроаналоговый и аналого-цифровой преобразователь (плата расширения);

- генератор с фиксированной частотой генерации – около 10 кГц, генератор с изменяемой частотой генерации от 1 кГц до 50 кГц (плата расширения);

- динамическая 4-х разрядная семисегментная индикация (плата расширения);

- устройство дискретного ввода информации: 2 кнопки;

- статическая светодиодная индикация, 8 шт.;
- знакосинтезирующий светодиодный индикатор 5x7 1 шт. (плата расширения).

Работа стенда при загрузке отлаживаемой программы.

Программа загрузчик находится в Flash-памяти микроконтроллера AT89C51, она проводит инициализацию последовательного приемопередатчика ОЭВМ, проверяет наличие и емкость памяти данных.

Память ОЗУ объемом 32К делится на две части по 16К. Одна часть для памяти программ, другая для памяти данных. В режиме загрузки вся память 32К отображается в адресное пространство, как память данных.

При поступлении данных с последовательного порта персонального компьютера в последовательный порт (разъем X11) стенда, МК записывает их в ОЗУ отведенное под память программ. Сигналы управления PМЕ, WR, RD, ALE, формируемые процессором и необходимые для обращения к памяти данных поступают через системный контроллер. После принятия последнего байта загрузчик формирует сигнал запуска программы, записью управляющего кода в системный контроллер.

Кнопка SW2, необходима для формирования сигнала сброса на входе RESET процессора, т.е. перевода стенда в режим загрузки и ожидания приема данных с последовательного порта. Процессор готов принимать данные в память данных.

Кнопка SW1, необходима для перезапуска загруженной с ПК программы, находящейся в памяти программ. При нажатии кнопки SW1, загорается светодиод HL9. При этом возможна новая запись программы в стенд с персонального компьютера. При передаче данных с персонального компьютера в стенд, компьютер на линии RI последовательного порта формирует сигнал, который через системный контроллер сбрасывает процессор, также как и кнопка SW2.

Адресация (обращение) процессора к периферийным устройствам стенда реализовано как адресация к ячейкам памяти в адресном пространстве от 8000H

до FFFFH. Сигналы выборки периферийных устройств формируются дешифратором адреса внутри микросхемы системного контроллера DD4.

Системный контроллер управляет режимами работы, выработки управляющих сигналов на ОЗУ, регистры защелки, динамическим светодиодным индикатором, клавиатурой.

Последовательный приемопередатчик.

Модуль последовательной связи сформирован на микросхеме приемника 1489, передатчика 74НС04, мультиплексора канала передачи (внутри системного контроллера).

Скорость обмена по последовательному порту в режиме загрузки 9600б/с. Скорость обмена по последовательному порту в отлаживаемой программе может быть изменена.

Выбор канала последовательной передачи осуществляется сигналами CFG0, CFG1 по адресу 9001H. Установка этих битов в "логический ноль" включает порт 1, на схеме X11, этот порт имеет неполный набор сигналов (RxD, TxD, RI) и предназначен для записи программы в стенд.

Программная установка сигналов CFG0 в "0", а CFG1 в "1" формирует выборку дополнительного канала последовательной передачи данных, разъем X1. Дополнительный последовательный канал имеет полный набор сигналов интерфейса RS-232C.

Светодиодный индикатор. Четырехразрядный семисегментный светодиодный индикатор подключен к системному контроллеру, который автоматически выполняет динамическую регенерацию и декодирование двоичного кода в код семи-сегментного индикатора. Индикатор работает всегда, сразу после подачи питания. Контроллер индикатора содержит два восьми – разрядных регистра, содержимое которых отображается на индикаторе. Содержимое регистра с адресом 0xA000 отображается на двух левых разрядах, содержимое регистра с адресом 0xA001(0xB000) – на двух правых разрядах в шестнадцатеричной форме. Управление десятичными точками и гашением

осуществляется через регистр DC_REG(0xA004). Биты DP3..DP0 управляют десятичными точками.

Запись 1 в соответствующий разряд включает десятичную точку. Биты BL3..BL0 управляют гашением разрядов индикатора. Запись 1 в эти биты вызывает гашение соответствующего разряда индикатора.

Матричная клавиатура. Состояние столбца матрицы клавиатуры считывается из ячейки с базовым адресом 0x9000, биты 3..0. Соответствующий столбец выбирается нулем в разрядах адреса A2..A0. То есть, адрес 0x9006 выбирает первый столбец, адрес 0x9005 – второй столбец, адрес 0x9003 – третий столбец.

Признак нажатой кнопки считывается как ноль в соответствующем разряде.

Включение портов ОЭВМ и EEPROM памяти. Линии P1.0, P1.1 ОЭВМ могут быть отключены от внутренней периферии стенда (Шина I2C) перемычками X14, X15. На разъем интерфейса расширения эти сигналы приходят, минуя перемычки.

Расположение элементов, назначение разъемов и перемычек:

- X1 – системный интерфейс с полным адресным пространством;
- X10 – интерфейс расширения для подключения внешних устройств с использованием параллельного интерфейса;
- X11 – интерфейс последовательного порта COM1 для связи стенда с PC;
- X12 – интерфейс последовательного порта COM2 для связи стенда с другими устройствами, имеющими стандартный порт RS232C;
- X3 – интерфейс программирования AVR;
- X14, X15 – перемычка подключения устройств шины I C к процессору.

Плата расширения (в комплексе с учебно-отладочным стендом на базе однокристалльной ЭВМ серии 8031) предназначена для проведения лабораторных работ, связанных с аналого-цифрового и частотного преобразования, а также с обработкой дискретных сигналов. 8888 – 4 разрядная динамическая индикация;

Цифроаналоговый преобразователь ЦАП выполнен на микросхеме AD7801 (8 разрядный ЦАП).

Входными сигналами для ЦАП являются линии AD7-AD0. Выходной сигнал снимается с разъема BNC и подается на внешний измерительный вольтметр.

Аналого-цифровой преобразователь АЦП выполнен на микросхеме ЦАП AD7801, операционном усилителе, используемым в качестве компаратора LM358. Входным аналоговым сигналом для АЦП является сигнал с переменного резистора R19. Линии AD7-AD0 используются для формирования цифрового входного кода. На выходе ЦАП формируется напряжение, пропорциональное входному коду. Сигнал срабатывания компаратора снимается с входа ОЭВМ P1.7. Срабатывание компаратора визуально видно по загоранию светодиода HL1. Если на P1.7 "0" светодиод светится.

В схеме стенда присутствуют генераторы с изменяемой частотой генерации – 1кГц, генератор с фиксированной частотой ~ 10кГц, генератор стабильного напряжения ГСН, генератор стабильного тока ГСТ и генератор логических уровней ГЛУ.

Вывод дискретной информации осуществляется с помощью четырех разрядного семи–сегментного индикатора HL2 включенного по схеме динамической индикации. Управление динамической индикацией осуществляется с помощью элементов (линия данных A, B, C, D, E, F, G, DP, PB0, PB1, PB2, PB3, PB4, PB5, PB6, PB7) сигналы поступают с порта PB, сигналы выборки соответствующего индикатора поступают от линий PC0, PC1 порта C.

Назначение индикаторов и коммутирующих переключателей:

- HL2 – 4-х разрядная динамическая индикация;
- HL1 – светодиодный индикатор срабатывания компаратора;
- J1 – переключатель подключения к разъёму J2 выхода генератора с постоянной частотой генерации;
- J2 – разъём подключения внешних контрольно-измерительных приборов;

- J3 – переключатель подключения к разъёму J2 выхода генератора с изменяемой частотой генерации;
- J4 – переключатель подключения к разъёму выхода ЦАП;
- J5 – подключение в качестве источника внешнего прерывания INT1 кнопки S11;
- J6 – подключение в качестве источника внешнего прерывания INT1 внешнего источника, который может быть подключён через разъём JP1;
- J7 – интерфейс подключения платы расширения к стенду;
- J8 – подключение ко входу АЦП внешнего источника сигнала, подключенного к разъёму JP2;
- J9 – подключение в качестве источника сигнала для АЦП переменного резистора R27;
- R19 – переменный резистор, источник входного сигнала для АЦП;
- R4 – переменный резистор, изменяет частоту генерации генератора импульсов.

Далее рассмотрим один из вариантов загрузки программы в стенд.

Последовательность действий нижеследующая:

- а) на персональном компьютере загрузить текстовый редактор;
- б) в текстовом редакторе набрать текст программы в мнемосодах языка Ассемблер для 8051;
- в) сохранить набранный файл с расширением *.ASM;
- г) откомпилировать набранную программу соответствующими средствами;
- д) возможные ошибки в программе можно просмотреть в одноименном файле с расширением *.LST;
- е) после устранения всех ошибок, данные файла с расширением *.HEX программой EVAL32.EXE необходимо перенести в стенд.

Программа EVAL32.EXE предложит выбрать номер последовательного порта.

Вывод на экран подсказки о параметрах программы EVAL32.EXE, осуществляется запуском EVAL32.EXE.

При передаче данных с персонального компьютера в стенд на экране монитора отображаются передаваемые данные. Эти же данные отображаются на индикаторе стенда HG1. Горит светодиод HL9.

После передачи последнего байта загруженная программа запускается автоматически.

При необходимости перезапуска программы загруженной в стенд нажать кнопку SW1.

Остановка, загруженной программы и переход в режим ожидания на прием данных с персонального компьютера возможно нажатием кнопки SW2. При этом гаснет светодиод HL9.

Запись новой программы возможна в любой момент времени работы загруженной программы.

5 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК АЦП И ЦАП

Схема измерений характеристик АЦП представлена на рис.5.1.

Генератор стабильного напряжения с регулируемой величиной напряжения подключается к входу АЦП, восьмиразрядный индикатор на светодиодах подключается к выходным шинам данных АЦП.

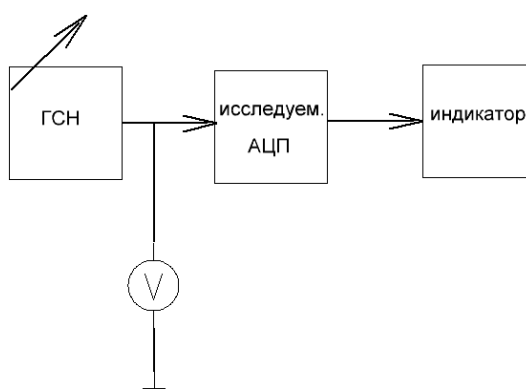


Рисунок 5.1 – Схема измерений характеристик АЦП типа ADC0820

Параметры АЦП ADC0820:

- разрядность – 8;
- количество каналов – 1;
- максимальное время преобразования – 1,4 мкс;
- напряжения питания – 5 В;
- ток потребления – 5 мА.

Схема измерений характеристик ЦАП представлена на рис.5.2. К входу исследуемой микросхемы ЦАП подключается генератор импульсов, а к выходу подключается вольтметр В7–37. Кодовая комбинация генератора хранится в регистре и контролируется восьми разрядным одиночными светодиодами.

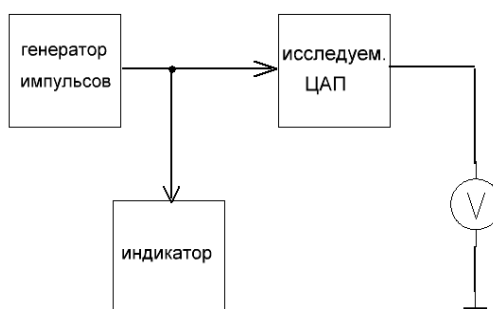


Рисунок 5.2 – Схема измерений характеристик ЦАП типа AD7524

Параметры ЦАП AD7524:

- разрядность – 8;
- количество каналов – 1;
- максимальное время установления – 350 нс;
- напряжения питания – 5 В, 15 В;
- ток потребления – 10 мА;
- организация выхода – по напряжению.

Большинство практических расчетов используют упрощенную модель входа АЦП, приводимую во многих технических материалах и DATA SHEETах, эта модель в виде эквивалентной схемы приведена на рис. 5.3.

$$\Delta U_{\text{цап}} = | U_{\text{п}} - U_0 |, \quad (5.1)$$

где $U_{\text{п}}$ – текущие показания входного / выходного напряжения;

N – показания индикатора цифровой код;

U_0 – показания вольтметра для идеализированной характеристики ;

$\Delta U_{\text{цап}}$ – модуль разности напряжений

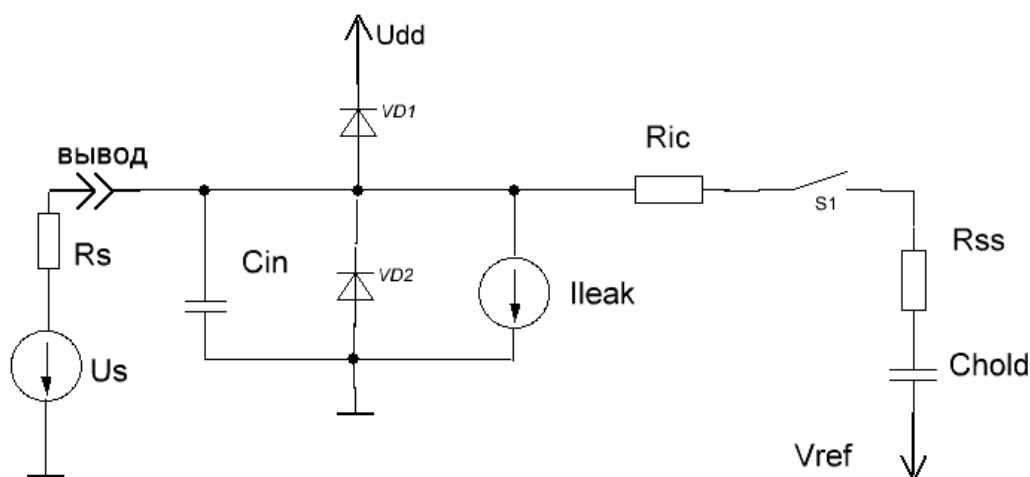


Рисунок 5.3 – Эквивалентная схема входа АЦП

На этой схеме приняты следующие обозначения:

- U_S , эквивалентное напряжение источника сигнала;
- R_S , эквивалентное сопротивление источника сигнала;
- C_{IN} , входная емкость преобразователя;
- VD_1, VD_2 , защитные диоды по входу;
- I_{LEAK} , ток утечки входного контакта, обусловленный различием переходов;
- R_{IC} , сопротивление последовательной взаимосвязи;
- S_1 , ключ устройства выборки и хранения;
- R_{SS} , сопротивление модели ключа устройства выборки и хранения;
- C_{HOLD} , емкость аналоговой памяти устройства выборки и хранения;
- U_{DD} , величина напряжения питания схемы;
- V_{REF} , величина напряжения источника опорного напряжения.

Выходное напряжение для АЦП определяется следующей формулой:

$$DB = U_{BX} \cdot 2^m / U_{REF} , \quad (5.2)$$

где $U_{ВХ}$ – текущее значение входного напряжения;

U_{REF} – величина источника опорного напряжения;

2^m – цифровой код.

Таблица 5.1 – Значения выходных напряжений АЦП

Номер измерения	Показания вольтметра, В	Показания индикатора	U_0 , В	$\Delta U_{АЦП}$, В
1	0	0000 0001	0,007	0,007
2	0,16	0001 1000	0,24	0,08
3	0,32	0011 0001	0,49	0,17
4	0,48	0100 0001	0,65	0,18
5	0,64	0101 0000	0,8	0,16
6	0,8	0110 0011	0,99	0,19
7	0,96	0110 0110	1,12	0,16
8	1,12	0111 0000	1,22	0,1
9	1,28	1000 0101	1,33	0,05
10	1,44	1001 0011	1,44	0,001
11	1,6	1001 1011	1,55	0,05
12	1,76	1010 1000	1,68	0,08
13	1,92	1011 0000	1,76	0,16
14	2,08	1100 0010	1,92	0,15
15	2,24	1101 0000	2,09	0,15
16	2,4	1101 1111	2,23	0,17
17	2,56	1110 1000	2,33	0,23

$$U_{ВЫХ} = U_{REF} \cdot DB / 2^m, \quad (5.3)$$

где $U_{ВЫХ}$ – текущее значение выходного напряжения;

U_{REF} – величина источника опорного напряжения;

2^m – цифровой код.

На рис. 5.4 показана зависимость выходного кода АЦП. По оси абсцисс отложено входное напряжение, цена одного деления 0,16 В. По оси ординат откладывается выходной код, цена одного деления, соответственно, 0001 0000.

Таблица 5.2 – Значения выходных напряжений ЦАП

Номер измерения	Показания индикатора	Показания вольтметра, В	U_0 , В	$\Delta U_{\text{ЦАП}}$, В
1	0000 0000	0,008	0,0	0,008
2	0001 0000	0,27	0,16	0,11
3	0010 0000	0,48	0,32	0,16
4	0011 0000	0,65	0,48	0,17
5	0100 0000	0,84	0,64	0,2
6	0101 0000	1,03	0,8	0,23
7	0110 0000	1,17	0,96	0,21
8	0111 0000	1,31	1,12	0,19
9	1000 0000	1,45	1,28	0,17
10	1001 0000	1,6	1,44	0,16
11	1010 0000	1,75	1,6	0,15
12	1011 0000	1,87	1,76	0,11
13	1100 0000	2,0	1,92	0,08
14	1101 0000	2,11	2,08	0,03
15	1110 0000	2,2	2,24	0,04
16	1111 0000	2,31	2,4	0,09
17	1111 1111	2,42	2,55	0,13

Код ДВ

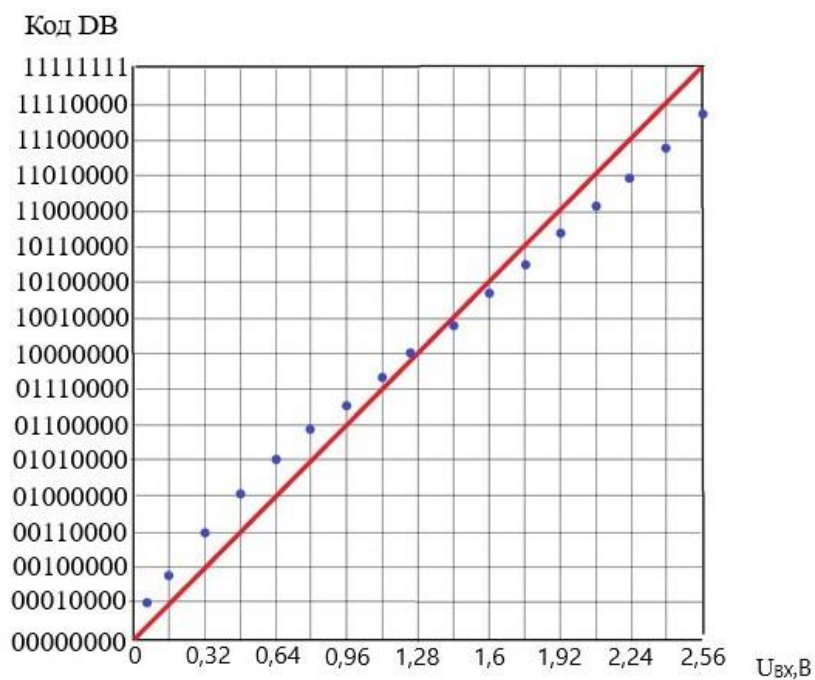


Рисунок 5.4 – Графики характеристик АЦП

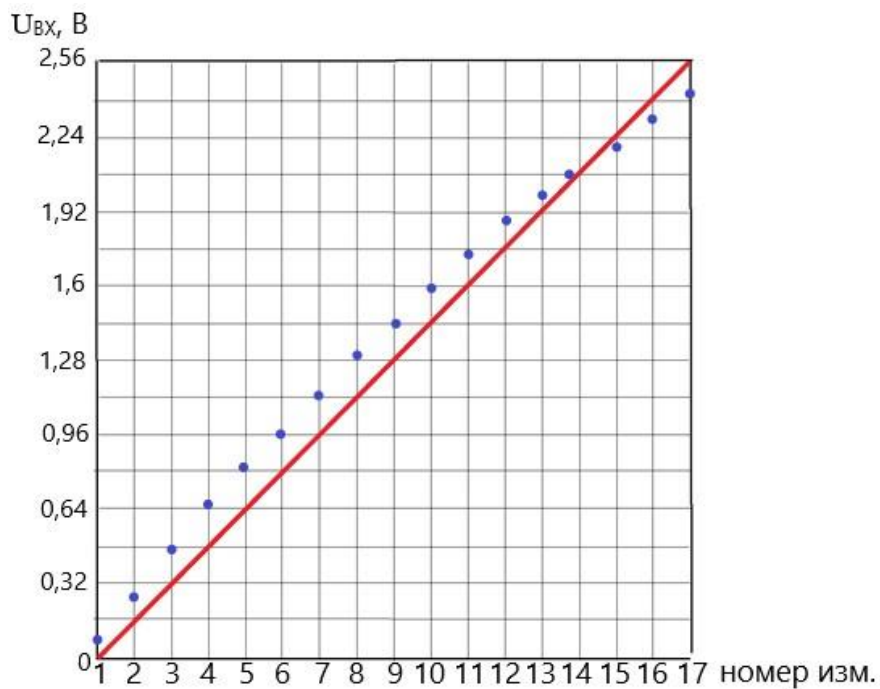


Рисунок 5.5 – Графики характеристик ЦАП

На рис. 5.5 показана зависимость выходного напряжения ЦАП. По оси абсцисс отложены номера измерения, которым соответствует входной цифровой код, цена одного деления составляет величину 0001 0000. По оси ординат откладывается выходное напряжение, цена одного деления, составляет величину, соответственно, 0,16 В.

6 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ

Темой проекта предусматривается разработка моделей аналого-цифровых и цифро-аналоговых устройств и исследование временных характеристик этих устройств с помощью универсального лабораторного стенда, разработанного на кафедре радиотехники. Проектируемый стенд относится к классу приборов контроля и измерений для общего применения. Базовым прибором-аналогом служит аналоговый вычислительный комплекс АВК-6м, изготавливаемый предприятием «Исток» г. Фрязино, Россия.

Этот прибор наиболее близок по своим техническим характеристикам к проектируемому прибору.

6.1 Оценка технического уровня проектируемого изделия

Для сравнения технического уровня проектируемого стенда с аналогом составим таблицу 5.1, в которой приведены основные технические и эксплуатационные характеристики обоих приборов.

Число баллов для каждой характеристики рассчитываются по формуле:

$$Q_i = \frac{x_i}{x_{\max}} \cdot k_e, \quad (6.1)$$

где x_i – абсолютное значение i -го параметра;

x_{\max} – абсолютное значение для наибольшего параметра обоих вариантов;

k_e – коэффициент веса данного i -го параметра в общей системе параметров всего прибора.

Коэффициент технического уровня проектируемого прибора рассчитывается по формуле:

$$K_{my} = \frac{Q_{\Sigma}^{\text{II}}}{Q_{\Sigma}^{\text{A}}}, \quad (6.2)$$

где Q_{Σ}^{A} – суммарная балльная оценка технического уровня аналога;

Q_{Σ}^{Π} – суммарная балльная оценка технического уровня проектируемого прибора.

Коэффициент технического уровня характеризует расширение функциональных возможностей нового прибора, его улучшенные технические характеристики, в первую очередь надежность и экономичность.

Таблица 6.1 – Оценка технического уровня проектируемого прибора

Характеристики	Базовый прибор		Проектируемый прибор	
	Абсолютное значение	Балльная оценка	Абсолютное значение	Балльная оценка
1.Источники напряжения, В	+ 15 В, – 15 В	0,5	+3,3, + 5, +12, –5,2	1
2.Максимальная частота испытательного сигнала, МГц	1	0,1	20	1
3.Наличие микроконтроллера	нет	0,1	есть	1
4.Габаритные размеры, мм	475x220x75	0,6	310x155x65	1
5.Масса, кг	6	1,1	1,5	1
6.Потребляемый ток, А	1	0,8	0,7	1
7.Возможность работы с внешним сигналом	нет	0,1	есть	1

$$Q_1 = 3,3; \quad Q_2 = 7; \quad K_{\text{ту}} = Q_2 / Q_1 = 7 / 3,3 = 2,12.$$

6.2 Расчет затрат на исследование, разработку и проектирование

Затраты на разработку и проектирование прибора $C_{окр}$ получим на основании калькуляции сметной стоимости работ и её типовой структуры, принятой в ОКБ предприятия.

Таблица 6.2 – Расчет затрат на проектирование

Статья расходов	Сумма, грн.	Удельный вес, %
1. Материалы	382,5	4,3
2. Комплектующие	890	10
3. Зарплата основная	3178,8	35,7
4. Зарплата дополнительная	890	10
5. Отчисления на соц. нужды	890	10
6. Накладные расходы	2224	25
7. Командировки	444,7	5
8. Всего	8900	100

Расчет основной заработной платы проектировщиков сделан на основании штатного расписания тематического отдела КБ. Месячный фонд времени – 22 рабочих дня, 176 час., количественный состав группы 3 человека:

– вед. инженер – 1, месячный оклад – 6500 грн., $C_{СРЗП\text{ ви}} = 6500 / 22 = 295,5$;

– инж. 1-ой кат. – 1, месячный оклад – 5400 грн., $C_{СРЗП\text{ и1}} = 5400 / 22 = 245,5$;

– инж. 2-ой кат. – 1, месячный оклад – 4900 грн., $C_{СРЗП\text{ и2}} = 4900 / 22 = 177,3$.

$T_{РАБВИ} = 2$ дня для вед. инженера, $T_{РАБИН} = 6$ дней, для инж. 1-ой кат. и $T_{РАБИН} = 5$ дня для инж. 2-ой кат., $C_{СРЗП}$, среднедневная зарплата исполнителя.

$$Z_{осн} = T_{РАБ\text{ ви}} \cdot C_{СРЗП\text{ ви}} + T_{РАБ\text{ ин1}} \cdot C_{СРЗП\text{ ин1}} + T_{РАБ\text{ ин2}} \cdot C_{СРЗП\text{ ин2}} =$$

$$2 \cdot 295,5 + 6 \cdot 245,5 + 5 \cdot 222,8 = 3178,8 \text{ грн.}$$

6.3 Расчет себестоимости стенда

Расчет себестоимости и оптовой цены прибора производим прямым подсчетом по статьям калькуляции.

Расчет статьи «покупные комплектующие радиокомпоненты», учитывающей затраты P_k на приобретение необходимых по перечню, к принципиальной схеме радиоэлементов и ТЗР на их доставку. Расчет затрат на комплектующие элементы приведен в табл. 6.3.

Далее вычислим прямые затраты на основные материалы и сырье, заработную плату основных производственных работников приближенным методом, используя типовую структуру прямых затрат в себестоимости прибора при производстве радиоизмерительной аппаратуры на печатных платах, приложение Д [12].

Принимаем следующие значения удельных весовых коэффициентов,

$$Y_M = 10 \%, Y_K = 50 \%, Y_3 = 40 \%$$

$$P_M = P_K \cdot Y_M / Y_K = 365 \cdot 10 / 50 = 73 \text{ грн.} \quad (6.3)$$

$$P_3 = P_K \cdot Y_3 / Y_K = 365 \cdot 40 / 50 = 292 \text{ грн.} \quad (6.4)$$

Косвенные статьи затрат рассчитываем на основании нормативов косвенных расходов. Произведем расчет по каждой статье косвенных расходов.

Таблица 6.3 – Расчет стоимости комплектующих элементов

Наименование элементов	Количество, шт.	Цена за единицу, грн.	Сумма затрат, грн.
1	2	3	4
1.Конденсаторы:К10-57	16	0,41	6,56
К53-14	2	0,8	1,6
2.Микросхемы:PIC16F1503	1	26	26
AD232	1	1,5	1,5
LM317	1	1,1	1,1
MAX1248	1	4,8	4,8
MAX531	1	3,9	3,9
74НС573	4	0,57	2,28
TL0802	2	0,95	1,9
3.Реле РЭС-55А	16	0,9	14,4
4.Индуктивности ДМ-01-100 мкГн	4	0,4	1,6
5.Резисторы:С2-33	15	0,22	3,3
СПЗ-35А-0,25	2	0,42	0,84
6.Кварцевый резонатор КС - 0,5	1	1,95	1,95
7.Транзисторы:BC5463А	1	1,51	1,51
BC556А	1	1,79	1,79
8.Соединители СР-178Ф	2	1,95	3,9
9.Источники напряжения PS-05-	1	56	56
3,3	2	64	128
PS-05-5	1	69	69
PS-05-12			
Итого	75		331,2
Транспортно-заготовительные расходы			33,8
Всего, Р _к			365

Расчет себестоимости прибора производим прямым подсчетом прямых статей расходов при изготовлении прибора в сборочном цехе радиотехнического предприятия.

Коэффициенты для расчета соответствующих статей расходов принимаем, согласно типовой структуры себестоимости производства сборочного цеха на ГП «Радиоприбор» и на основании данных планово-экономической службы сборочного участка цеха.

Все затраты по каждой из статей калькуляции [12], а также себестоимость и оптовая цена сведены в таблицу 6.4.

Значения всех коэффициентов для расчета статей расходов взяты из [12].

Дополнительная заработная плата составляет 45 % от основной, следовательно, фонд заработной платы рассчитывается по формуле:

$$\begin{aligned} Z_d &= Z_{\text{осн}} \cdot 0,45 = 292 \cdot 0,45 = 131,4 \text{ грн.} \\ Z_{\Sigma} &= P_3 + Z_d = 292 + 131,4 = 423,4 \text{ грн.} \end{aligned} \quad (6.5)$$

Отчисление на социальные мероприятия определяется по следующей формуле

$$P_{cc} = \frac{Z_{\Sigma} \cdot H_{cc}}{100}, \quad (6.6)$$

где P_{cc} – отчисления на социальное страхование, грн.;

Z_{Σ} – основной фонд заработной платы, грн.;

H_{cc} – норматив отчислений на социальное страхование, %.

В настоящее время отчисления на мероприятия составляют 37,5 % от суммы основной и дополнительной заработной платы. Подставляя численные значения, получим сумму отчислений.

$$P_{cc} = 423,4 \cdot 37,5 / 100 = 158,8 \text{ грн.}$$

К косвенным статьям калькуляции относятся общепроизводственные и административные расходы. Общепроизводственные и административные расходы рассчитываются пропорционально основной заработной плате производственных рабочих по соответствующим нормативам.

Общепроизводственные расходы рассчитываются:

$$P_{O.ПР} = \frac{Z_{OCH} \cdot H_{O.ПР}}{100}, \quad (6.7)$$

где Z_{OCH} – основная заработная плата производственных рабочих, грн.;

$H_{O.ПР}$ – норматив общепроизводственных расходов, равен 400 %.

$$P_{O.ПР} = \frac{292 \cdot 400}{100} = 1168 \text{ грн.}$$

Производственная себестоимость без учета расходов на подготовку и освоение производства рассчитывается по формуле:

$$C_{ПР}^* = P_{МЗ} + Z_{\Sigma} + P_{CC} + P_{O.ПР}, \quad (6.8)$$

где $P_{МЗ}$ – материальные затраты, грн.;

Z_{Σ} – фонд заработной платы, грн.;

P_{CC} – отчисления на социальное страхование, грн.;

$P_{O.ПР}$ – общепроизводственные расходы, грн.

$$C_{ПР}^* = 438 + 423,4 + 158,8 + 1168 = 2188,2 \text{ грн.}$$

Расходы на подготовку и освоение производства, согласно нормативам косвенных затрат, составляют 7% от промежуточной себестоимости:

$$P_{ПО} = \frac{C_{ПР}^* \cdot H_{ПО}}{100} = \frac{2188,2 \cdot 7}{100} = 153,2 \text{ грн.} \quad (6.9)$$

Производственная себестоимость рассчитывается по формуле:

$$C_{\text{ПР}} = C_{\text{ПР}}^* + P_{\text{ПО}} = 2188,2 + 153,2 = 2341,4 \text{ грн.} \quad (6.10)$$

Административные расходы рассчитываются:

$$P_A = \frac{Z_{\text{ОСН}} \cdot H_A}{100}, \quad (6.11)$$

где $Z_{\text{ОСН}}$ – основная заработная плата производственных рабочих, грн.;

H_A – норматив административных расходов, составляет 250 %.

$$P_A = \frac{292 \cdot 250}{100} = 730 \text{ грн.}$$

Внепроизводственные затраты составляют 2,5 % от суммы производственной себестоимости и административных затрат:

$$P_{\text{ВН}} = 0,025 \cdot (C_{\text{ПР}} + P_A) = 0,025 \cdot (2341,4 + 730) = 76,8 \text{ грн.} \quad (6.12)$$

Полная себестоимость рассчитывается, как сумма производственной себестоимости и внепроизводственных расходов:

$$C_{\text{ПОЛ}} = C_{\text{ПР}} + P_A + P_{\text{ВН}}, \quad (6.13)$$

где $C_{\text{ПР}}$ – производственная себестоимость, грн.;

P_A - административные расходы, грн.;

$P_{\text{ВН}}$ – внепроизводственные расходы, грн.

$$C_{\text{ПОЛ}} = 2341,4 + 730 + 76,8 = 3148,2 \text{ грн.}$$

Прибыль от продажи одного изделия вычисляется по формуле:

$$П = \frac{Ц_0 \cdot Н_{приб}}{100}, \quad (6.14)$$

где П – прибыль от продажи одного изделия, грн.;

Ц₀ – оптовая цена прибора, грн.;

Н_{приб} – норма рентабельности, принимаем Н_{приб} = 20 %.

$$П = \frac{3935,2 \cdot 20}{100} = 787.$$

Оптовая цена изделия включает в себя полную себестоимость и прибыль от продажи одного изделия.

$$Ц_0 = C_{пол} + П, \quad (6.15)$$

где C_{пол} – полная себестоимость, грн.;

П – прибыль от продажи одного изделия, грн.

Решая совместно формулы (5.15) и (5.16) получим значение оптовой цены при норме рентабельности 20 %

$$Ц_0 = C_{пол} / (1 - Н_{приб}) = 3148,2 / (1 - 0,2) = 3935,2 \text{ грн.}$$

Налог на добавочную стоимость (НДС) берётся в размере 20 % от оптовой цены

$$НДС = \frac{Ц_0 \cdot Н_{дс}}{100}, \quad (6.16)$$

где С – себестоимость за вычетом материальных затрат, грн.;

Н_{дс} – норматив на налог на добавочную стоимость, 20 %.

$$НДС = \frac{3935,2 \cdot 20}{100} = 787 \text{ грн.}$$

Цена продажи включает в себя оптовую цену и налог на добавочную стоимость.

$$Ц = Ц_о + НДС , \quad (6.17)$$

где $Ц_о$ – оптовая цена изделия, грн.;

НДС – налог на добавочную стоимость, грн.

$$Ц = 3935,2 + 787 = 4722,2 \text{ грн.}$$

Результаты расчётов приведены в таблице 6.4.

Таблица 6.4 – Расчет себестоимости

Статья калькуляции	Условное обозначен.	Сумма, грн.	Методика расчета, формулы.
1	2	3	4
1.Основные материалы и сырье	P_m	73	Формула 5.3
2.Покупные элементы	P_k	365	Таблица 5.3
Итого материальных затрат	$P_{мз}$	438	$P_{мз} = P_m + P_k$
3. Заработная плата: основная ЗП;	P_z	292	Формула 5.4
дополнительная ЗП;	$P_{зд}$	131,4	Формула 5.5
отчисления	$P_{сс}$	158,8	Формула 5.6
4.Общепроизводственные расходы	$P_{опр}$	1168	Формула 5.7
Промежуточная себестоимость	$C_{пр}^*$	2188,2	Формула 5.8
5.Расходы на подготовку и освоение производства	$P_{со}$	153,2	Формула 5.9

Продолжение таблицы 6.4

1	2	3	4
Итого: производственная себестоимость	$C_{пр}$	2341,4	Формула 5.10
6. Административные расходы	P_a	730	Формула 5.11
7. Внепроизводственные расходы	$P_{вп}$	76,8	Формула 5.12
Итого: полная себестоимость	$C_{п}$	3148,2	Формула 5.13
8. Прибыль	Π	787	Формула 5.14
9. Оптовая цена прибора	Π_0	3935,2	Формула 5.15
10. Цена продажи	Π	4722,2	Формула 5.17

6.4 Расчет капитальных вложений

Капитальные вложения подразделяются на две части: в сфере производства и в сфере эксплуатации данного прибора. Так как проектируемый прибор является малым изделием, неосновным видом продукции, и изготавливается на предприятии радиотехнического профиля без дополнительных капитальных вложений, то определяются только удельные капитальные вложения.

$$K_{уд} = C_{пр} \cdot f_{ем} + C_{окр} / N , \quad (6.18)$$

где $C_{пр}$ – производственная себестоимость прибора,

$$C_{пр} = 2341,4 \text{ грн.}; \quad C_{окр} = 8900 \text{ грн.}; \quad N = 100;$$

$$f_{ем} \text{ – фондоемкость, } f_{ем} = 0,3 \div 0,5,$$

$$K_{уд} = 2341,4 \cdot 0,3 + 8900 / 100 = 791,4 \text{ грн.}$$

Балансовая стоимость прибора

$$C_б = \Pi + C_{тр} + C_м + C_{прг} ,$$

где $C_{тр}$ – стоимость транспортировки, 3 % от цены, $C_{тр} = 142$ грн. ;

$C_{м}$ – стоимость монтажных и пусконаладочных работ, $C_{м} = 500$ грн.;

$$C_{б} = 4722,2 + 142 + 500 = 5364,2 \text{ грн.}$$

6.5 Расчет эксплуатационных расходов

Состав расходов по эксплуатации прибора и порядок их расчета производится в таблице 6.5.

Таблица 6.5 – Расчет эксплуатационных расходов

Статья расходов	Сумма, грн.	Порядок расчета
1. Электроэнергия, $Z_{э}$	23	$Z_{э} = C_{э} \cdot \Phi \cdot P_{уст} \cdot K_{м}$, $C_{э} = 1,2$ грн., $\Phi = 2120$ час., $P_{уст} = 10$ Вт, $K_{м} = 0,9$.
2. Амортизационные расходы	804,5	$A_{год} = C_{б} \cdot N_{а} / 100$, где $C_{б}$ – балансовая стоимость, $N_{а}$ – норма амортизации, $N_{а} = 15$ %
3. Затраты на текущий ремонт, $P_{тр}$	214,5	$P_{тр} = C_{б} \cdot \alpha_{тр}$, где $\alpha_{тр} = 4$ %
4. Прочие затраты, $Z_{пр}$	12	5 % от общей суммы затрат
Итого:	1054	

Данный прибор относится к классу приборов непромышленного назначения, зарплату обслуживающего персонала не рассчитываем.

6.6 Расчет годового экономического эффекта

Экономический эффект от производства и применения новых средств труда долговременного пользования с улучшенными качественными и функциональными характеристиками за весь срок их службы определяется по следующей формуле:

$$\Theta = \left[(C_1 + E_n K_1) \frac{B_2}{B_1} \cdot \frac{P_1 + E_n}{P_2 + E_n} - (C_2 + E_n \cdot K_2) + \frac{U_1 \cdot \frac{B_2}{B_1} - U_2}{P_2 + E_n} \right] \cdot N, \quad (6.19)$$

где C_1, C_2 – себестоимости единицы базового и нового приборов, соответственно;

K_1, K_2 – удельные капитальные вложения;

$E_n = 0,15$ – нормативный коэффициент эффективности от внедрения изделий электронной техники;

$\frac{B_2}{B_1}$ – коэффициент роста производительности прибора, $K_{\text{ты}} = 2,12$;

P_1, P_2 – доля отчислений от балансовой стоимости на реновацию;

K_1', K_2' – сопутствующие капитальные вложения потребителя;

U_1, U_2 – годовые эксплуатационные расходы потребителя при использовании им соответственно базового и нового прибора;

N – годовой объем производства нового прибора.

В качестве базового прибора принят аналогичный прибор аналоговый вычислительный комплекс АВК–6м. Оптовая цена прибора принята равной отпускной цене фирмы-изготовителя, что составляет 6350 грн. по курсу НБУ.

Ввиду полной идентичности приборов, расчет производственной себестоимости, удельных капитальных затрат, эксплуатационных расходов при использовании базового прибора определим укрупненно, по процентному соотношению для проектируемого прибора.

Доля производственной себестоимости в цене проектируемого прибора составляет 49,6 %.

Тогда производственная себестоимость базового прибора:

$$C_1 = 0,496 \cdot 6350 = 3149,6 \text{ грн.}$$

Удельные капитальные вложения в производственные фонды базового прибора определим по формуле (5.18):

$$K_{уд} = C_{пр} \cdot f_{смк},$$

$$K_1 = K_{уд} = 3149,6 \cdot 0,3 = 944,9 \text{ грн.}$$

Доля годовых эксплуатационных расходов потребителя при использовании им проектируемого прибора составляет 22,3 % от цены.

$$U_1 = 0,223 \cdot 6350 = 1417,3 \text{ грн.}$$

Коэффициенты реновации сравниваемых приборов определяются по формуле:

$$P_i = \frac{1}{T},$$

где T – срок службы прибора, лет.

$$P_1 = \frac{1}{5} = 0,2; \quad P_2 = \frac{1}{6} = 0,16.$$

Сопутствующие капитальные вложения потребителя отсутствуют, то есть K_1' и $K_2' = 0$, $\frac{B_2}{B_1} = K_{му}$, он определен ранее, $K_{му} = 2,12$. Для использования прибора на производстве годовая программа составляет $N = 100$ шт.

$$\begin{aligned} \mathcal{E} &= \left[(3149,6 + 0,15 \cdot 944,9) \cdot 2,12 \cdot \frac{0,2 + 0,15}{0,16 + 0,15} - (2341,4 + 0,15 \cdot 791,4) + \frac{1417,3 \cdot 2,12 - 1054}{0,16 + 0,15} \right] \cdot 100 = \\ &= (7675,4 - 2460,1 + 6292,5) \cdot 100 = 1150790,3 \text{ грн.} \end{aligned}$$

Годовой экономический эффект:

$$\mathcal{E}_Г = \mathcal{E} \cdot (P + E_n) = 1150790,3 \cdot (0,16 + 0,15) = 356745 \text{ грн.}$$

6.7 Выводы

Экономический эффект от внедрения данного прибора получен в основном за счет упрощения схемы прибора, за счет разницы цен, а также за счет повышения надежности прибора.

Таблица 6.6 – Таблица сравнения технико-экономических показателей базового и проектируемого приборов

Характеристики	Базовый прибор	Проектируемый прибор
Эксплуатационно-технические характеристики:		
надежность, час.	30 000	55 000
габариты, мм;	475x220x75	120x95x35
ток потребления, А	1	0,9
масса прибора, кг	6	1,5
Источники напряжения, В	+15, -15	+3,3, +5, +12, -5,2
Максимальная частота испытат. сигнала, МГц	1	20
Наличие микроконтроллера	нет	есть
Возможность работы с внешним сигналом	нет	есть

Продолжение таблицы 6.6

Экономические показатели:		
производственная себестоимость, грн.	3149,6	2341,4
оптовая цена, грн.	-	3935,2
цена продажи, грн.	6350	4722,2
капитальные вложения, грн.	944,9	791,4
годовые эксплуатационные расходы, грн.	1417,3	1054
годовая экономия приведенных затрат, грн.	3291,3	2460,1
годовой экономический эффект, грн.	-	356745

7 ОХРАНА ТРУДА И БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

Темой проекта предусматривается разработка моделей аналого-цифровых и цифро-аналоговых устройств и исследование временных характеристик этих устройств с помощью универсального лабораторного стенда с использованием микроконтроллера для обработки результатов.

7.1 Анализ потенциальных опасностей

При проектировании нового прибора в КБ предприятия работники могут подвергаться воздействию комплекса неблагоприятных факторов, обусловленных характером производственного процесса и условиями труда, к которым относятся:

- поражение электрическим током из-за нарушений правил электробезопасности, неисправности электрического оборудования, отсутствия или неисправности заземляющего контура, который может привести к электротравмам, потере трудоспособности или к летальному результату;

- электромагнитное излучение при работе с СВЧ устройством, которое приводит к повышенной утомляемости и раздражительности;

- отрицательное действие статических полей на организм человека, которое приводит к эмоциональным нагрузкам, перенапряжению, раздражению;

- опасное воздействие химических реагентов при производстве печатных плат и пайке радиоэлементов может привести к быстрой утомляемости, раздражению глаз, носоглотки и кожи и отравлению организма в целом;

- отрицательное действие паров растворителей и ацетона при проведении лакокрасочных работ также приводит к быстрой утомляемости, головной боли, раздражению глаз, носоглотки и кожи;

– недостаточность освещения вследствие затененности окон от близко расположенных других объектов или деревьев может привести к повышенной нагрузке на глаза, дискомфорта, быстрой утомляемости;

– неудовлетворительные параметры микроклимата, из-за повышенной влажности, запыленности, очень высокой или очень низкой температуры, может привести к нарушению состояния здоровья дискомфортному самочувствию, которые снижают трудоспособность;

– возгорание из-за нарушения правил пожарной безопасности.

7.2 Мероприятия по обеспечению электробезопасности

Электробезопасность на производстве обеспечивается:

– конструкцией оборудования и электроустановок;

– техническими способами и средствами защиты;

– организационными и техническими мероприятиями.

В конструкциях производственного оборудования предусмотрена защита от поражения электрическим током (включая случаи ошибочных действий обслуживающего персонала). Токопроводящие части производственного оборудования, которые есть источниками опасности, должны находиться в недоступных для людей местах, а если это невозможно, то должны быть надежно изолированы.

Помещения, в которых будут проходить производственные процессы, по мере опасности и поражения электрическим током относятся к категории «Помещения без повышенной опасности» и «Помещения с повышенной опасностью», соответственно ГОСТ 12.1.019-79.

Для обеспечения электробезопасности применены отдельно или совместно один с другим следующие технические средства защиты:

– электрическая изоляция токопроводящих частей (ГОСТ 12.2.007.0-75);

- защитное заземление (зануления), соответственно ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ;

- защитное отключение (ГОСТ 12.2.007.0-75);

- электрические разделения сети (ГОСТ 12.2.007.0-75);

- двойная изоляция (СНИП 2.09.04-87).

Защитным заземлением называется преднамеренное электрическое соединение с землей металлических не токопроводящих частей (корпус прибора, корпус трансформатора), которые могут оказаться под напряжением при замыкании с токоведущими частями. Защитное заземление достаточно эффективно в том случае, если ток замыкания на землю не увеличивается с уменьшением сопротивления заземления.

Защитному заземлению подлежит оборудование:

- в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных, а также в наружных установках заземление является обязательным при номинальном напряжении электроустановки выше 42 В переменного тока и 110 В постоянного тока;

- в помещениях без повышенной опасности заземление является обязательным при напряжении 380 В и выше переменного тока и 440 В и выше постоянного тока;

- во взрывоопасных помещениях заземление выполняется независимо от величины напряжения.

Обеспечение безопасности рабочих от действия электромагнитного излучения не должно превышать допустимых норм согласно ГОСТ 12.1.006-84 «Электромагнитные поля радиочастот. Общие правила безопасности».

Значение напряженности электростатического поля на рабочих местах, на поверхностях оборудования не должны превышать предельно допустимых норм соответственно ГОСТ 12.1.045-84, СН 1757-77.

Интенсивность потоков инфракрасного излучения должна не превышать допустимых значений ГОСТ 12.1.005-88.

Интенсивность потоков ультрафиолетового излучения не должны превышать допустимых значений соответственно СН 4557-88.

Допустимые уровни напряженности электростатических полей установлены в ГОСТ 12.1.045-84. «Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля». Допустимые уровни напряженности полей зависят от времени пребывания персонала на рабочих местах. Предельно допустимый уровень напряженности электростатических полей равен 60 кВ/г в 1 ч.

Защита от статического электричества осуществляется двумя путями:

- уменьшением интенсивности образования электрических зарядов;
- устранением зарядов статического электричества, которые образовались.

Для покрытия пола нужно использовать антистатический линолеум, желательно периодически проводить антистатическую обработку ковров, ковровых материалов, синтетических тканей и материалов с использованием препаратов бытовой химии.

Устранение зарядов статического электричества достигается, прежде всего, заземлением корпусов оборудования. Заземление для отвода статического электричества можно объединять с защитным заземлением электрооборудования.

Мероприятия по обеспечению электробезопасности во время производства данного устройства должны соответствовать ГОСТ 12.1.018-90 ССБТ “Электробезопасность. Общие требования” и ГОСТ 12.1.03-91 ССБТ “Электробезопасность. Защитное зануление, заземление”. Сеть включения электропитания должна быть защищена автоматами защиты сети. Органы управления выполнены и смонтированы так, чтобы была исключена неправильная последовательность операций или возможность произвольного включения и выключения оборудования. Органы аварийного отключения оборудования должны быть красного цвета и размещены в легкодоступных местах.

Для защиты обслуживающего персонала от случайного поражения электрическим током при прикосновении к оборудованию, на корпусе, которого может оказаться напряжение, предусмотрено защитное отключение.

7.3 Мероприятия по производственной санитарии и гигиене труда

Основными факторами, характеризующими микроклимат производственной среды, являются: температура и влажность воздуха, подвижность воздуха. ГОСТ 12.1.005-76 устанавливает оптимальные и допустимые метеорологические условия для рабочей зоны помещения и учитывает время года, тяжесть выполнения работ и избытки явного тепла. Для работы, выполняемой в помещениях с незначительными избытками явного тепла оптимальные параметры: температура воздуха 19...25°C, относительная влажность не более 75%, скорость движения воздуха не более 0,2 м/с. Параметры метеорологических условий контролируются на местах.

Инженер работает в помещении размером 8х6х3 м с комбинированным освещением. Цвет потолка и стен светло-бежевый. Разряд зрительной работы IVа. Нормативную освещенность E_H выбираем в соответствии с нормами СНиП II-4-79 «Естественное и искусственное освещение. Нормы проектирования» $E_H = 200$ лк. Коэффициент отражения потолка $K_{nom} = 0,5$, стен $K_c = 0,3$ и пола $K_n = 0,1$. Для освещения используются люминесцентные лампы типа ЛД в светильниках ЛДОР-02. Воздушная среда без пыли и выделений, в помещении постоянно находятся люди.

Принимаем коэффициент запаса $k_z = 1,3$ и коэффициент неравномерности освещения $Z = 1,1$.

Расчет освещенности рабочих мест сводится к выбору системы освещения, определению необходимого числа светильников, их типа и размещения. Исходя из этого, рассчитаем параметры искусственного освещения. В качестве источника

искусственного освещения используем люминесцентные лампы, типа ЛД 40-2, световой поток лампы $F_{л} = 3000$ лм.

Для определения количества светильников определим световой поток, что падает на рабочую поверхность, по формуле:

$$F = \frac{E_n \cdot k \cdot S \cdot z}{\eta}, \quad (7.1)$$

где F – суммарный световой поток, лм;

E_n – нормированная минимальная освещенность, лк ($E_n = 200$ лк);

S – площадь помещения, м²;

k – коэффициент запаса, который учитывает уменьшение светового потока лампы в результате загрязнения светильников в процессе эксплуатации

z – коэффициент неравномерности освещения;

η – коэффициент использования светового потока.

Он определяется в функции индекса помещения i и коэффициентов отражения стен ρ_c и потолка ρ_n . Коэффициенты ρ_n и ρ_c принимают от 70 до 100 %, для нашего случая возьмем $\rho_n = 60$ %; $\rho_c = 50$ %. Значение η определим из таблицы коэффициентов использования разных светильников.

Находим индекс помещения

$$i = \frac{S}{h \cdot (A + B)}, \quad (7.2)$$

где S – площадь помещения, $S = 48$ м²;

h – высота светильника над поверхностью рабочего места, $h = 2,5$ м;

A – длина помещения, $A = 8$ м;

B – ширина помещения, $B = 6$ м;

Подставив значения параметров помещения в формулу (7.2) получим

$$i = \frac{48}{2,5 \cdot (8 + 6)} = 1,22$$

Зная индекс помещения и тип светильника ЛДОР, из таблицы 1 [36, стр.62] находим значение $\eta \approx 0,47$.

$h = 2,5$, высота подвеса светильников над уровнем рабочей поверхности.

Высота рабочей поверхности $H_{рп} = 0,8$ м, высота подвеса светильников от потолка $H_{п} = 0,2$ м, тогда $H_p = 3,5 - 0,8 - 0,2 = 2,5$ м.

Подставив значения в формулу (7.1) получим:

$$F = \frac{200 \cdot 1,4 \cdot 48 \cdot 1,1}{0,47} = 31455. \quad [\text{лм}]$$

Рассчитаем необходимое количество ламп по формуле:

$$N = \frac{F}{F_{л}} \quad (7.3)$$

где N – нужное количество ламп;

F – требуемый световой поток;

$F_{л}$ – световой поток лампы (ЛД-40), $F_{л} = 3000$ лм.

Подставив значения в (7.3) получим:

$$N = \frac{31455}{3000} = 10,48 \quad [\text{шт}].$$

Принимаем число ламп $N = 12$, при выборе типа светильников, руководствуемся экономичностью и эргономическими характеристиками, выбираем светильники типа ЛД. Каждый светильник комплектуется двумя лампами. Размещаем 6 светильников, два ряда по 3 светильника.

Вентиляция является наиболее эффективным средством для снижения концентрации вредных веществ (газов, паров, пыли), а также снижения тепла и влаги после совершенствования технологического процесса и оборудования. Основное назначение вентиляции – осуществление воздухообмена, обеспечивающего удаление из рабочего помещения загрязненного или

перегретого воздуха и подачу чистого воздуха. Для обеспечения температурно-влажностного режима и соответствующей чистоты воздуха в производственных помещениях производится систематический контроль состояния воздушной среды. При проектировании и эксплуатации систем вентиляции в производственных зданиях руководствуются ГОСТ 12.1.005-76, СН 245-71 и СНиП II -33-75.

Гигиеническое нормирование шума (звукового давления, уровня звука) производится по ГОСТ 12.1.003-83, а вибрации по ГОСТ 12.1.012-78.

7.4 Мероприятия по пожарной безопасности

Мероприятия по пожарной безопасности направлены на обеспечение безопасности людей, на предотвращение пожара, ограничение его распространения, создание условий для быстрой локализации очага пожара.

Радиомонтажные помещения согласно СНиП II-90-81 “Производственные здания промышленных предприятий” относятся к категории Д по пожароопасности. Степень огнестойкости здания – III степень.

Производственные помещения должны быть оборудованы схемой электрической сигнализации с автоматическими датчиками комбинированного типа.

Для обнаружения начальной стадии загорания и оповещения службу пожарной охраны используются системы автоматической пожарной сигнализации (АПС). Кроме того, они могут самостоятельно приводить в действие установки пожаротушения, когда пожар еще не достиг больших размеров. Системы АПС состоят из пожарных извещателей, линий связи и приемных пультов (станций).

Надежным и быстрым средством сообщения о пожаре является электрическая пожарная сигнализация автоматического или ручного действия. Ручные сигнализаторы устанавливаются вне пределов помещений на расстоянии 150 м, внутри помещений – на расстоянии 50 м один от другого.

В легкодоступном месте установлены огнетушители ОУ-2, ВВК–1,4, ОУ-5. Для быстрой эвакуации людей из производственных помещений, в случае пожара, имеется запасная дверь выхода, открывающаяся наружу, и план эвакуации на случай пожара, расположенный на хорошо освещаемом легкодоступном месте, например на лестничной площадке.

На предприятии должен быть установлен соответствующий противопожарный режим, в том числе:

- возможность (место) курения, применения открытого огня и бытовых нагревательных приборов;
- порядок проведения временных пожароопасных работ;
- порядок отключения от сети электрооборудования в случае пожара;
- порядок обзора и закрытия помещений по окончании работы;
- порядок прохождения должностными лицами учебы и проверки знаний из пожарной безопасности, а также проведения с работниками противопожарных инструктажей и занятий, по пожарно-техническому минимуму с назначением ответственных за их проведение;
- порядок организации эксплуатации и обслуживания имеющихся технических средств противопожарной защиты (противопожарного водопровода, насосных станций, огнетушителей, и тому подобное);
- действия работников в случае выявления пожара.

На случай пожара предусмотрены пути эвакуации работающих -проходы, проезды, эвакуационные выходы, согласно ДБН В.1.1.7-2002 «Пожежна безпека об'єктів будівництва». Эвакуационные выходы располагаются рассредоточено, а их количество в здании — не менее двух. При количестве работающих в смене до 50 человек предусмотрен второй (запасной) выход на наружную лестницу.

Коридоры и проходы, предназначенные для эвакуации, имеют возможно меньшую длину и минимальное количество поворотов. На всем протяжении прохода нет порогов или промежуточных ступеней, согласно СНиП 2.09.02-85* «Производственные здания»

Для обнаружения начальной стадии загорания и оповещения службу пожарной охраны используются системы автоматической пожарной сигнализации (АПС). Кроме того, они могут самостоятельно приводить в действие установки пожаротушения, когда пожар еще не достиг больших размеров. Системы АПС состоят из пожарных извещателей, линий связи и приемных пультов (станций).

7.5 Мероприятия по обеспечению безопасности в чрезвычайных ситуациях

Защита населения и производительных сил страны от оружия массового поражения, а также при стихийных бедствиях, производственных авариях - одна из важнейших задач управления по делам гражданской обороны и чрезвычайным ситуациям. Одним из путей решения этой задачи является создание на объектах экономики и в населенных пунктах различных типов защитных сооружений для укрытия людей.

Защитные сооружения могут быть построены заблаговременно и по особому указанию. Заблаговременно строят, как правило, отдельно стоящие или встроенные в подвальную часть здания сооружения, рассчитанные на длительный срок эксплуатации. В мирное время предусматривается возможность использовать эти сооружения в различных хозяйственных целях как бытовые помещения, учебные классы, гаражи и др. При этом необходимо обеспечить возможность использования защитных сооружений по прямому назначению в кратчайшие сроки.

В настоящее время эффективность защиты людей от современных средств поражения зависит не только от готовности к приему людей и технической исправности защитных сооружений, оснащенных сложным оборудованием, но и от подготовки персонала по обслуживанию защитных сооружений. Обслуживающий персонал защитных сооружений должен уметь в различных

ситуациях принять правильное решение и выполнить все возникающие при этом проблемы.

Задачи планирования, организации и обеспечения укрытия людей возложены на соответствующие службы убежищ и укрытий ГО. Они должны разрабатывать основные планирующие документы, распределять защитные сооружения между цехами, отделами, службами объектов экономики, наметить маршруты подхода к убежищам или укрытиям, ознакомиться с порядком укрытия всех, кто ими будет пользоваться. Перед составлением документов уточняют вместимость и защитные свойства сооружений. При их нехватке выявляют подвальные и другие помещения, которые могут быть приспособлены под защитные сооружения. Определяют места для строительства быстровозводимых укрытий. В соответствии с численностью населения распределяются защитные сооружения, при этом учитывают возможность их быстрого заполнения людьми из близлежащих домов. Главный принцип - минимальное время на подход к защитным сооружениям.

Для обслуживания защитных сооружений на объекте создаются формирования. Личный состав этих формирований отвечает за подготовку сооружения к приему людей, организацию его заполнения, правильную эксплуатацию во время пребывания в нем людей и за эвакуацию их из убежища в случае выхода его из строя.

Защитные сооружения гражданской обороны предназначены для защиты людей от современных средств поражения. Они подразделяются на убежища, противорадиационные укрытия и простейшие укрытия.

Убежища обеспечивают наиболее надежную защиту людей от ударной волны, светового излучения, проникающей радиации и радиоактивного заражения при ядерных взрывах, от отравляющих веществ и бактериальных средств, а также от высоких температур и вредных газов в зонах пожаров.

Современные убежища - сложные в техническом отношении сооружения, оборудованные комплексом различных инженерных систем и измерительных

приборов, которые должны обеспечить требуемые нормативные условия жизнеобеспечения людей в течение расчетного времени.

По вместимости убежища можно условно разделить на такие виды: убежища малой вместимости (150-600 чел.), средней вместимости (600-2000 чел.), большой вместимости (свыше 2000 чел.).

По месту расположения убежища могут быть встроенные и отдельно стоящие. К встроенным относятся убежища, расположенные в подвальных этажах зданий, а к отдельно стоящим - расположенные вне зданий.

Кроме того, под убежища могут приспособляться заглубленные помещения (подвалы, тоннели), подземные выработки (шахты, рудники и др.). Убежище состоит из основного помещения, комнаты матери и ребенка, медицинского пункта, шлюзовых камер (тамбуров), фильтровентиляционной камеры, санитарного узла, имеет два выхода. Входы оборудуются защитно-герметическими дверями. Встроенное убежище, кроме того, должно иметь аварийный выход. В одном из входов предусматривается помещение (шлюз), которое обеспечивает сохранение защитных свойств убежища при пропуске в него людей после закрытия других входов. В проемах шлюза устанавливают защитно-герметические двери.

В убежищах применяются фильтровентиляционные установки с электрическим или ручным приводом. С помощью таких установок наружный воздух очищается от радиоактивных, отравляющих веществ и бактериальных средств и подается в убежище.

В убежище оборудуются системы водоснабжения, канализации, отопления и освещения, устанавливаются радио и телефон. В основном помещении должны быть скамьи для сидения и нары для лежания. Люди в отсеках размещаются на местах для сидения 0,45x0,45 м на человека и для лежания на ярусах нары размером 0,55x1,8 м на человека.

Вместимость защитного сооружения определяют исходя из нормы 0,5 м² в отсеке на одного человека. Высота помещения должна быть не менее 2,2 м, общий объем воздуха на человека - 1,5 м³.

Каждое убежище должно быть оснащено комплектом средств для ведения разведки на зараженной местности, инвентарем, включая аварийный, и средствами аварийного освещения.

Необходимо постоянно следить за исправностью оборудования убежищ.

Приведение защитных сооружений в готовность

Все защитные сооружения должны содержаться в постоянной готовности к приему людей. Убежища в мирное время используются под хозяйственные нужды предприятия (склады вещевые, кабинет охраны труда, класс гражданской обороны и др.). При приведении защитных сооружений в готовность выполняются подготовительные работы. В первую очередь проводится расчистка подходов к защитным сооружениям, устанавливаются надписи - указатели и световые сигналы "Вход". Открываются все входы и выходы для проветривания помещений. Удаляется из них все оборудование и имущество, хранимое в мирное время. Проводится расконсервация инженерно-технического оборудования. Проверяется система вентиляции, отопление, водо- и энергоснабжение, радио и связь, отключающие устройства (краны, задвижки, рубильники и др.). Устанавливаются нары, скамейки, заполняются водой питьевые бачки, закладываются продукты питания с трехсуточным запасом. Дизельная электростанция пополняется с трехсуточным запасом горюче-смазочных материалов. Одновременно проверяется исправность защитно-герметических устройств (дверей, ставен, ворот), убежища пополняются необходимым инвентарем.

7.6 Выводы

Предусмотренные в лаборатории оборудованной персональными компьютерами с визуальными дисплейными терминалами мероприятия по охране труда, производственной санитарии, гигиене труда и пожарной безопасности обеспечивают безопасные и комфортные условия труда персонала.

Лаборатория спроектирована и оборудована в соответствии со СНиП 2.09.04-87. Всё электрооборудование соответствует требованиям главы 7.1 «Правил устройю электроустановок». Мероприятия по обеспечению электробезопасности разработаны в соответствии с ГОСТ 12.1.019-90 ССБТ «Электробезопасность. Общие требования» и ГОСТ 12.1.030-91 ССБТ «Электробезопасность. Защитное заземление, зануление». Мероприятиями по защите от СВЧ и электромагнитных излучений являются: уменьшение излучения непосредственно у источника; рациональное размещение СВЧ и УВЧ установок; экранирование источников излучения и рабочих мест. Мероприятия по оздоровлению воздушной среды планируются в соответствии со значениями оптимальных метеорологических параметров, установленных ГОСТ 12.1.005-88 «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» и санитарными нормами ДСН 3.3.6-042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень». Предусматривается очистка воздуха, используемого для вентиляции. Вентиляция, охлаждение и очистка воздуха осуществляются бытовыми кондиционерами, установленными в окнах. Компенсация и удаление избыточного тепла из лаборатории также достигается при помощи использования средств вентиляции и кондиционирования. Для защиты обслуживающего персонала лаборатории от шума, согласно ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку» и ГОСТ 12.1.003-83 «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности» выполняются следующие мероприятия: применяется обработка корпусов оборудования шумопоглощающими материалами; применением средств коллективной и индивидуальной защиты. Для защиты обслуживающего

персонала лаборатории от вибрации, согласно ДСН 3.3.6.039-99 «Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації» и ГОСТ 12.1.012-90 «ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования» выполняются следующие мероприятия: центровка вращающихся механизмов, а также подтяжка болтовых соединений; применением средств индивидуальной и коллективной защиты. Т.к. к освещенности помещения предъявляются высокие требования, связанные с явным преобладанием зрительной информации (до 90% общего объема) при работе с измерительной аппаратурой и стендовым оборудованием, предусматривается использование как естественного, так и искусственного освещения согласно ДБН В.2.5-28-2006 «Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення». На основании требований ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» разработан комплекс мероприятий направленный на улучшения условий работы с ВДТ. Разработан план производственного помещения с компьютеризированными рабочими местами. А также разработан целый комплекс мероприятий по обеспечению противопожарной безопасности в лаборатории.

Предусмотренные мероприятия по гражданской обороне обеспечивают устойчивую работу объекта и безопасность персонала в условиях чрезвычайной ситуации.

ВЫВОДЫ

Результатом выполнения данной работы является достижение её цели – изучение способов описания и моделирования схем, построенных по смешанной технологии. Как мы видим, новые и постоянно совершенствующиеся САПР дают разработчику всё больше и больше пространства для творчества. Эти современные средства позволяют описать целостную структуру схемы, построенной по смешанной технологии, т.е. содержащую аналоговые, цифровые и даже электромеханические части. Благодаря таким возможностям мы способны создавать новые устройства, сочетающие в себе быстроту и надежность цифровых узлов, и точность результатов аналоговой техники. Кроме того, в процессе разработки учитываются параметры реальных устройств, что делает систему незаменимой в работе с аналоговыми датчиками, исполнительными механизмами и другими устройствами ввода-вывода.

ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

1. Володин В.Я. LTspice: компьютерное моделирование электронных схем [Текст] / В.Я. Володин. СПб.: ВHV, 2010. – 400 с.
2. Дьяконов В.П. Matlab. Анализ, идентификация и моделирование систем: Специальный справочник [Текст] / В.П. Дьяконов, В.С. Круглов. – СПб.: Питер, 2002. – 448 с.
3. Дьяконов В.П. Matlab 6/6.1/6.5+Simulink 4/5. Основы программирования: Руководство пользователя [Текст] / В.П. Дьяконов. – М.: Солон-Пресс, 2002. – 768 с.
4. Ануфриев И.Е. Matlab 7 [Текст] / И.Е. Ануфриев, А.Б. Смирнов, Е.Н. Смирнова. – СПб.: БХВ-Петербург, 2012. – 302 с.
5. Кардашев Г.А. Виртуальная электроника. Компьютерное моделирование аналоговых устройств [Текст] / Г.А. Кардашев. – М.: Горячая линия – Телеком, 2015. – 260 с.
6. Королев А.Л. Компьютерное моделирование. Лабораторный практикум [Текст] / А.Л. Королев. – М.: Бином, 2015. – 296 с.
7. Овечкин Г.В. Компьютерное моделирование: Учебник [Текст] / Г.В. Овечкин. – М.: Бином, 2017. – 340 с.
8. Сирота А.А. Анализ и компьютерное моделирование информационных процессов и систем [Текст] / Э.К. Алгазинов, А.А. Сирота; Под общ. ред. проф. д.т.н. Э.К. Алгазинова. – М.: ДИАЛОГ–МИФИ, 2009. – 416 с.
9. Тарасевич Ю.Ю. Математическое и компьютерное моделирование. Вводный курс: учебное пособие [Текст] / Ю.Ю. Тарасевич. – М.: ЛИБРОКОМ, 2013. – 152 с.
10. Поршнева С.В. Компьютерное моделирование физических систем с использованием пакета MathCAD: учебное пособие [Текст] / С.В. Поршнева. – М.: Горячая линия – Телеком, 2015, – 320 с.

11. Методичні вказівки до дипломного проектування розділу “Охорона праці” [Текст] / Укл.: Г.І. Дуднік, В.П. Прохненко, А.А. Потуремець, А.О.Писарський, О.В. Коваленко, О.М. Савчук. – Запоріжжя. – ЗДТУ, 2000. – 60 с.

12. Методичні вказівки до економічного обґрунтування дипломних проектів для студентів спеціальності 7.090701 “Радіотехніка” [Текст] / Укл.: Є.М. Касьян, Т.А. Антоненко, Л.М. Біла. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2002 – 30 с.

13. Губський А.І. Цивільна оборона: підручник для студентів вузів. [Текст] / А.І. Губський. – К.: Міністерство освіти, 1995. – 216 с.

14. Федорков Б.Г. Микросхемы ЦАП и АЦП: функционирование, параметры, применение [Текст] / Б.Г. Федорков, В.А. Телец. – М.: Энергоатомиздат, 1990. 320 с.

15. Шевкопляс Б.В. Микропроцессорные структуры. Инженерные решения: Справочник [Текст] / Б.В. Шевкопляс. – М.: Радио и связь, 1990. – 512 с.

16. Бойко В.И. Схемотехника электронных систем. Цифровые устройства [Текст] / В.И. Бойко, А.Н. Гуржий, В.Я. Жуйков, А.А.Зори, В.М. Спивак, В.В. Багрий. – СПб.: БХВ – Петербург, 2004. – 512 с.

17. Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования [Текст] / И.П. Норенков. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – 354 с.

18. Алексеев О.В. Автоматизация проектирования радиоэлектронных средств [Текст] / О.В. Алексеев; под ред. О.В. Алексеева. – М.: Высшая школа, 2000. – 387 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Модель 2-х входового цифруправляемого аналогового переключателя

```
library ieee; use ieee.std_logic_1164.all;
```

```
library ieee_proposed; use ieee_proposed.electrical_systems.all;
```

```
entity switch_dig_2in is
```

```
port (sw_state : in std_ulogic; — цифровой управляющий вход
```

```
terminal p_in1, p_in2, p_out: electrical); — аналоговый выход
```

```
end entity switch_dig_2in;
```

```
architecture ideal of switch_dig_2in is
```

```
constant r_open : resistance := 1.0e6; — сопротивление разрыва
```

```
constant r_closed : resistance := 0.001; — сопротивление замыкания
```

```
constant transjime : real := 0.00001; — время преобразования
```

```
signal r_sig1 : resistance := r_closed; — переменная сопротивления замыкания
```

```
signal r_sig2 : resistance := r_open; — переменная сопротивления разрыва
```

```
quantity v1 across i1 through p_in1 to p_out; — напряжение и ток от in1 к out
```

```
quantity v2 across i2 through p_in2 to p_out; — напряжение и ток от in2 к out
```

```
quantity r1 : resistance; — переменное сопротивление от in1 к out
```

```

quantity r2 : resistance; — переменное сопротивление от in 2 к out

begin

process (sw_state) is — процесс чувствителен к сигналу sw _ state

begin

if sw_state = '0' or sw_state = V then — sig1 разрыв , sig2 соединение

r_sig1 <= r_closed;

r_sig2 <= r_open;

elsif sw_state = '1' or sw_state = 'H' then — sig1 коед . , sig2 - разрыв

r_sig1 <= r_open;

r_sig2 <= r_closed;

end if;

end process;

r1 == r_sig1'ramp(trans_time, trans_time); — применить изменение
сопротивления

r2 == r_sig2'ramp(trans_time, trans_time); — ...

v1 == r1 i1; — применить закон Ома ко входу in1

v2 == r2 i2; — применить закон Ома ко входу in 2

end architecture ideal;

```

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Модель аналогово-цифрового конвертера

```
library ieee; use ieee.std_logic_164.all;
```

```
library ieee_proposed; use ieee_proposed.electrical_systems.all;
```

```
entity a2d_nbit is
```

```
port (signal start : in std_ulogic; — сигнал start
```

```
signal clk : in std_ulogic; — синхроимпульс
```

```
terminal ain : electrical; — входной аналоговый сигнал
```

```
signal eos : out std_ulogic := '0'; — выход «конвертирование завершено»
```

```
signal dout: out std_ulogic_vector(9 downto 0));— выходной цифровой сигнал
```

```
end entity a2d_nbit;
```

```
architecture sar of a2d_nbit is
```

```
constant Vmax : real := 5.0; — максимальное напряжение на АЦП
```

```
constant delay : time := 10 us; — время конвертирования
```

```
type states is (input, convert); — 2 шага конвертирования
```

```
constant bit_range : integer := 9; — битовый массив для dtmp и dout
```

```
quantity Vin across lin through ain to electrical_ref; — вход АЦП
```

begin

sa_adc: process is

variable thresh : real := Vmax; — величина пороговое напряжение

variable Vtmp : real := Vin; — значение вх. сигнала при конвертировании

variable dtmp : std_ulogic_vector(bit_range downto 0); — временный данные

variable status : states := input; — состояние « ввод »

variable bit_cnt: integer := bit_range;

begin

case status is

when input => — считать напряжение на входе по сигналу start (шаг 1)

wait on start until start = '1' or start = 'H';

bit_cnt := bit_range; — сброс счетчика bit_cnt

thresh := Vmax;

Vtmp := Vin; — переменная со значением вх. напряжения

eoc <= '0'; — сброс состояния АЦП

status := convert; — перейти в состояние конвертирования (шаг 2)

when convert => — начать аппроксимацию входных данных

wait on clk until clk = '1' or clk = 'H1';

thresh := thresh / 2.0; — величина порогового напряжения

```
if Vtmp > thresh then

dtmp(bit_cnt) := 'V'; — записать 'V' в dtmp

Vtmp := Vtmp - thresh; — подготовка к след. сравнению

else

dtmp(bit_cnt) := '0'; — записать 'V' в dtmp

end if;

if bit_cnt > 0 then

bit_cnt := bit_cnt - 1; — уменьшить счетчик бит

else

dout <= dtmp; — вывод dtmp на выход

eoc <= '1' after delay; — сигнал конца конвертирования

status := input; — перейти к состоянию ввода данных

end if;

end case;

end process sa_adc;

lin == 0.0; — идеальный вход (ток не течет)

end architecture sar;
```

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Модель цифро-аналогового преобразователя

```
library ieee; use ieee.stdjogic_1164.all;
```

```
library ieee_proposed; use ieee_proposed.electrical_systems.all;
```

```
entity dac_10_bit is
```

```
port (signal bus_in : in std_ulogic_vector(9 downto 0); - входные данные
```

```
signal clk : in std_ulogic; - синхроимпульс
```

```
terminal analog_out: electrical); - аналоговый выход
```

```
end entity dac_10_bit;
```

```
architecture behavioral of dac_10_bit is
```

```
constant v_max : real := 5.0; - максимальное значение напряжения
```

```
signal s_out: real := 0.0; - переменная выходного сигнала
```

```
quantity v_out across i_out through analog_out to electrical_ref; - аналоговый
```

```
выход
```

```
begin
```

```
convert: process is
```

```
variable v_sum : real; - суммируемое значение напряжения
```

```
variable delta_v: real; - временное значение напряжения

begin

wait until clk'event and (clk = '1' or clk = 'H');

v_sum := 0.0; - обнулить сумму

delta_v := v_max;

for i in bus_in'range loop

delta_v := delta_v / 2.0; - вес разряда

if bus_in(i) = '1' or bus_in(i) = 'H' then

v_sum := v_sum + delta_v; - бит =1 прибавляем вес разряда

end if;

end loop;

s_out <= v_sum; - записать преобразованное значение

end process convert;

v_out == s_out'ramp(100.0E-9); - выдать напряжение на выход ЦАП

end architecture behavioral;
```