

Школа **неразрушающего контроля и безопасности**  
 Направление **11.04.04 электроника и нанoeлектроника**  
 подготовки  
 Отделение **Электронной инженерии**

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

| Тема работы                                                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Исследование способов повышения надежности передачи данных по каналам обмена информацией</b> |

УДК 004.773.052-047.37

Студент

| Группа | ФИО                       | Подпись | Дата |
|--------|---------------------------|---------|------|
| 1AM71  | Авдеев Павел Владимирович |         |      |

Руководитель ВКР

| Должность | ФИО           | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|---------------|------------------------|---------|------|
| Доцент    | Сорокин П. В. | к.т.н                  |         |      |

### КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность | ФИО              | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент    | Подопригора И.В. | к.э.н                  |         |      |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность     | ФИО          | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---------------|--------------|------------------------|---------|------|
| Профессор ТПУ | Федорчук Ю.М | д.т.н.                 |         |      |

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

| Руководитель ООП | ФИО          | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------|--------------|------------------------|---------|------|
| Профессор ОЭИ    | А.И.Солдатов | д.т.н.                 |         |      |

**Планируемые результаты обучения по ООП  
11.04.04 Электроника и нанoeлектроника**

| <b>Код</b> | <b>Результат обучения</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| P1         | Использовать результаты освоения фундаментальных и прикладных дисциплин ООП магистратуры; понимать основные проблемы в своей предметной области, выбирать методы и средства их решения; демонстрировать навыки работы в научном коллективе, порождать новые идеи;                                                                                                                                        |
| P2         | Анализировать состояние научно-технической проблемы путем подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников; определять цели, осуществлять постановку задач проектирования приборов нанoeлектроники, схем и устройств различного функционального назначения с использованием современной элементной базы нанoeлектроники, подготавливать технические задания на выполнение проектных работ |
| P3         | Формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и нанoeлектроники, а также смежных областей науки и техники, обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач.                                                                                                                 |
| P4         | Осваивать принципы планирования и методы автоматизации эксперимента на основе информационно-измерительных комплексов как средства повышения точности и снижения затрат на его проведение.                                                                                                                                                                                                                |
| P5         | Делать научно-обоснованные выводы по результатам теоретических и экспериментальных исследований, давать рекомендации по совершенствованию устройств и систем, готовить научно-технические отчеты, обзоры, рефераты, публикации по результатам выполненных исследований, доклады на научные конференции и семинары, научные публикации в центральных изданиях и заявки на изобретения                     |
| P6         | Работать в качестве преподавателя в образовательных учреждениях среднего профессионального и высшего профессионального образования проводить лабораторные и практические занятия со студентами, руководить курсовым проектированием и выполнением выпускных квалификационных работ бакалавров, разрабатывать учебно-методические материалы для студентов по отдельным видам учебных занятий              |
| P7         | Совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень.использовать иностранный язык в профессиональной сфере, владеть способностью                                                                                                                                                                                                                                                 |

|     |                                                                                                                                                                                                                                       |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|     | адаптироваться к изменяющимся условиям, переоценивать накопленный опыт, анализировать свои возможности.                                                                                                                               |
| P8  | Участвовать в проведении технико-экономического и функционально-стоимостного анализа рыночной эффективности создаваемого продукта                                                                                                     |
| P9  | Способность к активному общению с коллегами в научной, производственной и социально-общественной сферах деятельности, готовностью оформлять, представлять, докладывать и аргументированно защищать результаты выполненной работы      |
| P10 | Способность использовать на практике умения и навыки в организации исследовательских и проектных работ и проведению экспериментальных исследований с применением современных средств и методов                                        |
| P11 | Обладать способностью к самостоятельному обучению новым методам исследования, адаптироваться к изменяющимся условиям, переоценивать накопленный опыт, анализировать свои возможности                                                  |
| P12 | знать современные системы автоматизированного проектирования электронных схем                                                                                                                                                         |
| P13 | Анализировать возможные схемные, конструктивные решения, работать с современными системами автоматизированного проектирования и системами электронного документооборота, использовать нормативные правовые акты, справочные материалы |
| P14 | Анализировать эффективность функционирования электронного оборудования, проводить испытания и аттестацию РЭА                                                                                                                          |



|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b><br/> <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Аналитический обзор литературы с целью исследования способов защиты информации от одиночных сбоях с помощью контрольных сумм;</li> <li>- Аналитический обзор литературы с целью определения способов ведения приема-передачи и видов протоколов;</li> <li>- Аналитический обзор литературы для анализа физического кодирования интерфейсов;</li> <li>- Написание программного обеспечения для определения надежности алгоритмов расчета контрольных сумм;</li> <li>- Проведение расчетов надежности алгоритмов расчета контрольных сумм с помощью написанного ПО;</li> <li>- Использование полученных данных для формирования рекомендаций по выбору алгоритма защиты под конкретные исходные данные;</li> <li>- Построение структурной и принципиальной схем для переносного универсального тестера интерфейсов.</li> </ul> |
| <p><b>Перечень графического материала</b><br/> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <p>Принципиальная схема универсального тестера интерфейсов</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b><br/> <i>(с указанием разделов)</i></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <p><b>Раздел</b></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <p><b>Консультант</b></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <p>Социальная ответственность</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <p>Федорчук Ю.М., д.т.н., профессор</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | <p>Подопригора И.В., к.э.н., доцент.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <p>Разделы: 1.1 Теория информации и кодирования; 1.2 Алгоритмы защиты информации; 1.3 Протоколы передачи данных; 1.4 Интерфейсы передачи данных.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

|                                                                                                        |                   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| <p><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b></p> | <p>20.11.2018</p> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|

**Задание выдал руководитель:**

| Должность | ФИО           | Ученая степень, звание | Подпись | Дата     |
|-----------|---------------|------------------------|---------|----------|
| Доцент    | Сорокин П. В. | к.т.н                  |         | 20.11.18 |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО                         | Подпись | Дата     |
|--------|-----------------------------|---------|----------|
| 1AM71  | Авдеенок Павел Владимирович |         | 20.11.18 |

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа **неразрушающего контроля и безопасности**  
 Направление **11.04.04 электроника и нанoeлектроника**  
 подготовки  
 Уровень образования **магистратура**  
 Отделение **Электронной инженерии**  
 Период выполнения **осенний/весенний семестр 2018/2019 года**

Форма представления работы:

|                                                                          |
|--------------------------------------------------------------------------|
| <b>магистерская диссертация</b>                                          |
| (бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация) |

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

|                                          |  |
|------------------------------------------|--|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: |  |
|------------------------------------------|--|

| Дата контроля | Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)                           | Максимальный балл раздела (модуля) |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| 20.11.18      | Определение темы работы и получение задания на выполнение ВКР                   | —                                  |
| 29.12.18      | Первичное изучение литературы по тематике, подготовка обзора литературы         | 10                                 |
| 15.01.19*     | Написание предварительного программного обеспечения для проведения проверок     | 10                                 |
| 28.02.19      | Второе изучение литературы по тематике, дополнение обзора литературы            | 10                                 |
| 4.03.19       | Корректировка ошибок и расширение функционала программы                         | 10                                 |
| 24.03.19      | Проведение программных испытаний алгоритмов, получение экспериментальных данных | 15                                 |
| 28.04.18      | Разработка принципиальной схемы и печатной платы лабораторного образца          | 15                                 |
| 28.04.19      | Очередное изучение литературы по тематике, дополнение обзора литературы         | 10                                 |

|          |                                                   |     |
|----------|---------------------------------------------------|-----|
| 29.05.19 | Обработка экспериментальных данных, написание ВКР | 20  |
| 13.06.19 | Защита магистерской работы                        | —   |
| Итого    |                                                   | 100 |

**СОСТАВИЛ:**  
**Руководить ВКР**

| Должность | ФИО           | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-----------|---------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент    | Сорокин П. В. | к.т.н.                    |         |      |

**СОГЛАСОВАНО:**  
**Руководитель ООП**

| Должность     | ФИО          | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|---------------|--------------|---------------------------|---------|------|
| Профессор ОЭИ | А.И.Солдатов | д.т.н.                    |         |      |

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 134с., 45 рисунков, 21 таблицы, 27 источников, 6 прил.

Ключевые слова: помехоустойчивость, контрольные суммы, CRC, интерфейсы.

Объектом исследования является: алгоритмы защиты передаваемых данных, интерфейс стандарта MIL-STD-1553B.

Цель работы – исследование способов повышения надежности информационных каналов посредством введения в передаваемую информации избыточного кода.

В процессе исследования проводились расчеты надежности различных алгоритмов защиты информации посредством контрольных сумм, и динамические параметры их вычисления.

В результате исследования были построены основные характеристики базовых алгоритмов расчета контрольных сумм, определены условия их использования.

В будущем планируется на основе полученных данных сгенерировать программное обеспечение, позволяющие на основании исходных данных предложить алгоритм защиты и варианты их реализации в программном коде.

## **Список сокращения**

АЧХ – амплитудно-частотная характеристика;

БИиУ – блок индикации и управления;

БКП – блок коммутации помех;

БПУ – блок памяти управления;

БР – блок разъемов;

КС – командное слово;

КСм – контрольная сумма;

КШ – контроллер шины;

МИО – модуль информационного обмена;

МК – микроконтроллер;

МКО – магистральный канал обмена;

ОК – основной канал;

ОС – ответное слово;

ОУ – оконечное устройство;

ПЗУ – постоянное запоминающее устройство;

ПК – персональный компьютер;

ПО – программное обеспечение;

СД – слово данных.

## Содержание

|                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Введение.....                                                                              | 13 |
| 1 Анализ способов повышения надежности передачи данных по каналам обмена информацией ..... | 14 |
| 1.1 Теория информации и кодирования.....                                                   | 14 |
| 1. 2 Алгоритмы защиты информации .....                                                     | 15 |
| 1. 2. 1 Суммирующие контрольные суммы.....                                                 | 16 |
| 1. 2. 2 Циклические контрольные суммы .....                                                | 17 |
| 1.3 Протоколы передачи данных.....                                                         | 21 |
| 1.4 Интерфейсы передачи данных.....                                                        | 23 |
| 1.5 Виды помех.....                                                                        | 28 |
| Выводы по разделу.....                                                                     | 32 |
| 2 Объекты и методы исследования .....                                                      | 33 |
| 3 Результаты проведенных исследований и разработок.....                                    | 35 |
| 3.1 Программная часть.....                                                                 | 35 |
| 3.1.1 Реализация программы .....                                                           | 35 |
| 3.1.2 Предварительные результаты оценки надежности .....                                   | 37 |
| 3.1.3 Временной анализ алгоритмов .....                                                    | 39 |
| 3.2 Экспериментальная часть.....                                                           | 42 |
| 3.2.1 Результаты исследования .....                                                        | 42 |
| 3.2.2 Проверка форматов сообщений.....                                                     | 43 |
| 3.2.3 Проверка входных и выходных характеристик .....                                      | 48 |
| 3.2.4 Проверка на помехоустойчивость .....                                                 | 50 |
| 3.2.5 Проверка блока инъекции помех .....                                                  | 53 |

|                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.3 Схемотехническая часть.....                                         | 56 |
| 3.3.1 Оценка приборов.....                                              | 56 |
| 3.3.2 Выбор и обоснование структурной схемы .....                       | 57 |
| 3.3.3 Принципиальная схема.....                                         | 59 |
| Выводы по разделу.....                                                  | 62 |
| 4 Социальная ответственность .....                                      | 66 |
| Введение.....                                                           | 66 |
| 4.1 Производственная безопасность .....                                 | 67 |
| 4.2 Анализ выявленных вредных факторов.....                             | 67 |
| 4.2.1 Отклонение показателей микроклимата.....                          | 67 |
| 4.2.2 Недостаточная освещенность .....                                  | 69 |
| 4.2.3 Повышенный уровень шума .....                                     | 73 |
| 4.2.4 Повышенный уровень электромагнитных излучений .....               | 74 |
| 4.2.5 Вредные вещества в воздухе рабочей зоны .....                     | 76 |
| 4.3 Анализ выявленных опасных факторов.....                             | 78 |
| 4.3.1 Поражение электрическим током.....                                | 78 |
| 4.3.2 Механическая безопасность.....                                    | 83 |
| 4.3.3 Пожарная опасность .....                                          | 84 |
| 4.4 Экологическая безопасность.....                                     | 86 |
| 4.4.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду .....     | 86 |
| 4.4.2 Анализ «жизненного цикла» объекта исследования .....              | 87 |
| 4.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....                          | 88 |
| 4.6 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....   | 89 |
| 4.7 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны .....       | 90 |
| 5 Финансовый менеджмент. Ресурсоэффективность и ресурсосбережение ..... | 92 |

|                                                            |     |
|------------------------------------------------------------|-----|
| Введение.....                                              | 92  |
| 5.1 Планирование научно-исследовательской работы.....      | 93  |
| 5.2 Определение трудоемкости выполнения работ .....        | 93  |
| 5.3 Расчет материальных затрат на создание прототипа ..... | 94  |
| 5.4 Расчет затрат на электроэнергию .....                  | 95  |
| 5.5 Расчет затрат на заработную плату .....                | 96  |
| 5.6 Расчет отчислений во внебюджетные формы .....          | 98  |
| 5.7 Формирование бюджета затрат проекта.....               | 99  |
| 5.8 Оценка эффективности проекта .....                     | 100 |
| Заключение .....                                           | 103 |
| Список литературы .....                                    | 105 |
| Приложение А .....                                         | 108 |
| Приложение Б .....                                         | 122 |
| Приложение В.....                                          | 126 |
| Приложение Г .....                                         | 128 |
| Приложение Д.....                                          | 130 |
| Приложение Е.....                                          | 132 |

## **Введение**

При передаче данных поинформационным каналам возможны ошибки, т.е. искажение передаваемой информации, которые могут приводить к выходу из строя каналов связи. Эти ошибки необходимо обнаруживать и, по возможности, исправлять.

Актуальность работы обусловлена тем, что важной задачей при передаче данных является обеспечение надежности передаваемой информации. Большое количество сбоев и отказов приводит к нарушению нормальной работы всех конечных устройств, также очень опасны нарушения в процессе хранения данных - такие как искажение информации, либо вовсе потеря данных. Поэтому необходимо обращать внимание на процессы, связанные с обработкой, передачей и хранением информации, происходящие в системе, отслеживать правильность получаемых результатов и ее надежность.

Целью исследования является: определения степени защиты различных алгоритмов расчета контрольных сумм и выдача обоснованных рекомендаций для их выбора; определения особенностей создания протоколов обмена между отправителем и адресатом, их влияния на передачу информации; определение степени помехозащищенности различных интерфейсов обмена.

# 1 Анализ способов повышения надежности передачи данных по каналам обмена информацией

## 1.1 Теория информации и кодирования

При передаче информации по каналам связи в ней возможны искажения - ошибки, которые необходимо детектировать и, по возможности, исправлять. Для выполнения данной задачи используются алгоритмы вычисления контрольных сумм, описываемые в теории информации и кодирования. Данная теория разбивается на два элемента - теория информации и теория кодирования.

Теория информации называется наука, изучающая количественные закономерности, связанные с получением, передачей, обработкой и хранением информации[1]. Одной из задач теории информации является отыскания наиболее экономных методов кодирования, позволяющих передать заданную информацию с помощью минимального количества символов. Эта задача решается как при отсутствии, так и при наличии помех в канале связи.

В данной теории была принята структурная схема информационного канала обмена данными, определяющая базисные элементы любого канала (рисунок 1).



Рисунок 1 – Структурная схема системы связи [1]

В данной схеме источником информации является любой объект, порождающий сообщения. Независимо от природы объекта, информация

переводится в цифровой код - что и является выходом данного блока. Кодер источника представляет информацию в наиболее компактной форме. Кодер канала обрабатывает информацию для ее защиты от помех (в случае передачи) или искажений (в случае хранения). Модулятор преобразовывает сообщения, формируемое кодером канала в электрические сигналы, согласно физической природе канала обмена.

Так же, теория информации позволяет разрешать задачи, связанные с определением пропускной способности канала, для передачи информации без задержек и искажений.

Теория кодирования - раздел теории информации и кодирования, рассматривающий способы повышения достоверной передачи информации при наличии помех[1]. В данном разделе приведены алгоритмы кодирования, предназначенные для детектирования ошибок, возникающих в процессе передачи.

В общих чертах, из данной теории можно выделить два аспекта для практической реализации канала обмена - программный и аппаратный аспекты.

Программный аспект представляет собой алгоритмы кодирования блока кодера канала - алгоритмы вычисления контрольных сумм (КСм) пакета, и протоколы передачи данных - то, как на программном уровне осуществляется передача. Аппаратный аспект представляет собой интерфейсы передачи - физическая часть канала обмена.

## **1. 2 Алгоритмы защиты информации**

В литературе [1 -2] приведены большая часть алгоритмов кодирования для вычисления КСм. Но большинство из них малоприменимы для каналов обмена, в виду их сложного математического описания. На практике можно выделить следующие типы алгоритмов для расчета КСм:

1. Суммирующие контрольные суммы;
2. Циклические контрольные суммы;

### 3. Контрольные суммы с коррекцией ошибок.

В данной работе будут рассмотрены алгоритмы для суммирующих и циклических КСм, как самых распространенных в настоящее время.

#### 1. 2. 1 Суммирующие контрольные суммы

Одни из простейших алгоритмов защиты пакета являются суммирующие алгоритмы. Существуют два типа данных алгоритмов, базирующихся на разных подвидах суммирования - арифметического и полиномиального.

КСм по модулю 0x100/0x10000: самый простой способ вычисления КСм, основан на арифметическом суммировании всех байт пакета сообщения, с последующим делением полученного результата на 0x100 или на 0x10000, в зависимости от требуемой разрядности (формула 1).

$$CS=(byte(1)+byte(2)+...+byte(n)) \bmod 0x100 \quad (1)$$

Программная реализация данного алгоритма достаточно проста, создается переменная типа byteили word, в зависимости от необходимой разрядности, в которую последовательно складываются все байты пакета, при этом, переполнения игнорируются.

КСм по модулю 2: одна из разновидностей суммирующей КСм, основанной на полиномиальной арифметике, т.е. вычисления идет по правилам:  
$$0 + 0 = 0, \quad 0 + 1 = 1, \quad 1 + 0 = 1, \quad 1 + 1 = 0.$$
 Данные правила соответствуют логической операции исключающее или, что упрощает реализацию данного алгоритма (формула 2).

$$CS=byte(1)\oplus byte(2)\oplus...\oplus byte(n) \quad (2)$$

Программная реализация данного алгоритма: создается переменная типа byteили word, в зависимости от необходимой разрядности, в которую

последовательно складываются все байты пакета, с использованием операции XOR.

Преимуществом данных алгоритмов является простота реализации и высокая скорость расчета, а так же высокая чувствительность к нечетным количествам ошибок.

Недостатки данных алгоритмов - "слепота" к четному количеству ошибок, возникающих в одинаковых информационных битах разных байт, а так же, данные методы расчета не видят ошибки, возникающие в самой КСм.

### **1. 2. 2 Циклические контрольные суммы**

Циклические алгоритмы (CRC) основаны на принципе деления с остатком многочлена на образующий полином. Математически, алгоритм CRC можно представить в виде [1]:

$$CRC = R(x) \cdot x^n \bmod G(x) \quad (3)$$

Реализация математического описания алгоритма на практике на прямую не осуществляют, вместо этого используют особенности полиномиальной арифметики. Алгоритм расчета CRC имеет вид, приведенный на рисунке 1.2.

Для нахождения значения CRC берется первый байт сообщения, если старший значащий бит сообщения равен нулю, то значения CRC сдвигается на один разряд влево, если старший значащий бит сообщения равен единице, то значения CRC сдвигается на один разряд влево с последующем выполнением операции XOR с решающим полиномом. При этом, после сдвига на место младшего разряда байта загружается очередной бит из пакета.

Данная процедура выполняется до тех пор, пока не будет пройдено все сообщения. Результат, образовавшийся после всех процедур, и будет искомым CRC для данного пакета.

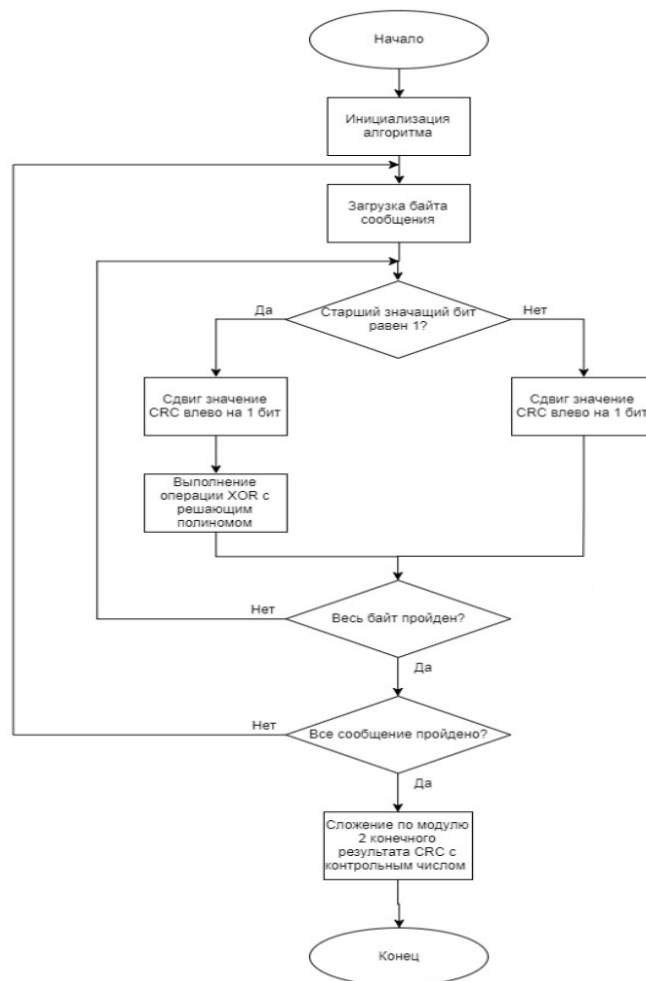


Рисунок 2 – Алгоритм расчета CRC

Об особенностях CRC написал Вилиам Росс в своей статье [4], в которой он детально описал все нюансы, необходимые для работы с данными алгоритмами. В данной статье приведена модель алгоритмов CRC от Rocksoft™, которая лежит в основе спецификации всех циклических кодов.

Согласно данной модели, ключевыми параметрами являются: Name, Width, Poly, Init, RefIn, RefOut, XorOut, Check. Данные параметры являются минимально необходимыми для спецификации и стандартизации алгоритмов CRC.

Значение параметров следующее [4]:

1. Name: имя, присвоенное алгоритму.

2. Width: степень алгоритма - определяется степенью порождающего полинома.

3. Poly: порождающий полином, представленный в шестнадцатеричном виде, или в виде полинома.

4. Init: параметр, определяющий исходное содержимое регистра CRC.

5. RefIn: параметр, определяющий инверсию байта на входе алгоритма. Значение False - байты сообщения обрабатываются начиная с 7 бита. Значение True - байты сообщения обрабатываются начиная с 0 бита. На практике, порядок обработки не меняют, обработка байтов идет с 7 бита, для значения True перед загрузкой байта в регистр подсчета CRC порядок битов в нем инвертируется.

6. RefOut: параметр, определяющий есть ли инверсия порядка битов в регистре CRC после обработки последнего байта пакета. False - без инверсии, True - с инверсией.

7. XorOut: некое число, с которым комбинируется содержимое регистра CRC для окончательного вычисления КС.

8. Check: параметр, не являющийся определяющим в алгоритме. Вычисляется алгоритмом для строки ASCII "123456789" (в hex-виде "31 32 33 .."), и служит одним из способов проверки правильности написания алгоритма.

Все стандартизированные алгоритмы CRC, используемые в настоящее время приведены в [5].

Программная реализация алгоритмов: на данный момент выделяют 2 вида и 3 метода написания алгоритма CRC. Виды написания алгоритма: прямой и зеркальный. Методы написания: прямой, табличный, быстрый.

Вид алгоритма зависит от способа представления полинома - прямой или зеркальный. На практике - от параметров RefIn и RefOut, если оба параметра имеют значение false - алгоритм прямой, true - зеркальный.

Хоть методов и выделяют 3 типа, но по факту это все модификации стандартного алгоритма расчета, приведенного на рисунке 2. Прямой метод - прямое следование данному алгоритму, т.е. побитовая обработка сообщения. В

источниках [7-9] приведены варианты программной реализации алгоритма. Для написания оставшихся двух необходимо реализовать данный метод.

Табличный метод - способ "ускорения" расчета CRC, базируются на том, что заранее вычисляются значения CRC для всех битовых комбинаций байта, и заносятся в вектор-таблицу, индекс которого обозначает битовую комбинацию, а значения ячейки - расчетное CRC для этой комбинации. Вычисление же КС для сообщения происходит загрузкой в регистр CRC уже расчетных значений из вектора. При использовании данного метода необходимо выделять область памяти, равную 256 ячейкам. Разрядность ячейки зависит от разрядности алгоритма. Так же, в [6] приведен вариант с "укороченным" вектором до 126 ячеек памяти, что способствует уменьшению объема выделяемой памяти.

Быстрый метод - один из вариантов реализации, использующийся для "ускорения" приема-передачи, основанный на принципе сохранения значения CRC для статических пакетов в памяти с последующим добавлением их к пакету сообщения при отправке.

Преимущество данных алгоритмов заключается в высокой способности к детектированию всех видов ошибок в рабочей области алгоритма, так, алгоритм CRC-8 с параметрами: Name: CRC-8/MAXIM; Width: 8; Poly: 0x31; Init: 0x0; RefIn: true; RefOut: true; XorOut: 0x0; Check: 0xA1 - позволяет гарантированно обнаружить одинарные, двойные, тройные и все нечетные ошибки в сообщениях, размером до 15 байт.

Недостатки алгоритма:

1. Относительная сложность вычисления, по сравнению с суммирующими КС;
2. Относительно долгое вычисления КСм, что сказывается на эффективности канала приема-передачи.

### 1.3 Протоколы передачи данных

Протокол передачи данных - набор соглашений, который определяет обмен данными между различными программами[10]. Протоколы задают способы передачи сообщений и обработки ошибок в сети, а также позволяют разрабатывать стандарты, не привязанные к конкретной платформе.

Все протоколы подчиняются двум вариантам структур: командное слово - слова данных - ключевое слово; командное + ключевое слова - слова данных.

Командное слово - некая постоянная величина, определяющая начало передачи. Включает в себя: идентификатор начала передачи, номера устройства отправителя и адресата (в некоторых случаях номер отправителя может исключаться), количество передаваемых слов (также может исключаться).

Слово данных - собственно сами данные, которые передаются по каналу обмена.

Ключевое слово - КСм, рассчитанная по заранее оговоренному алгоритму.

Согласно [11] все протоколы можно разделить на 2 группы: статические и динамические. Статические протоколы ведут передачу фиксированного по объему сообщения. Динамические - объем передаваемой информации меняется в процессе передачи согласно условиям, определяемым заранее.

В [12] приведены базовые типы протоколов:

1. Hash-Lock протокол;
2. Hash-Chain протокол;
3. SPA протокол.

Hash-Lock протокол характеризуется непрерывной передачей сообщений, благодаря чему на канале обмена не образуется "застоя". Данный тип протокола используется в системах обработки потоковых данных, а также в передаче потоковых аудио- и видео- сообщений. Достоинством данного типа является максимальная загруженность информационных линий канала обмена.

Недостаток протокола заключается в стирании неисправных сообщений, т.к. передача ведется односторонне.

Hash-Chain протокол основан на запрос-ответном механизме, т.е. каждая передача сообщения подтверждается ответом о правильности принятого сообщения, или, в случае ошибки, запросом на повтор сообщения. Достоинством данного типа протоколов заключается в гарантированном принятии каждого сообщения, за счет проведения передачи одного и того же сообщения. Недостатки данного протокола: образование "простоя" на линии канала обмена, пока устройство проводит проверку правильности передаваемого сообщения; возникновение ошибок приводит к дублированию предыдущего сообщения, что снижает информационно-пропускную способность канала.

SPA протокол основан на древовидной структуре (рисунок 3). Данный протокол является модификацией Hash-Chain протокола. Ключевое отличие заключается в делении сообщения на части, при этом каждая часть сообщения защищается КС. В случае возникновения ошибки определяется сегмент сообщения, в котором возникла ошибка, и отправляется запрос именно на данный отрезок.

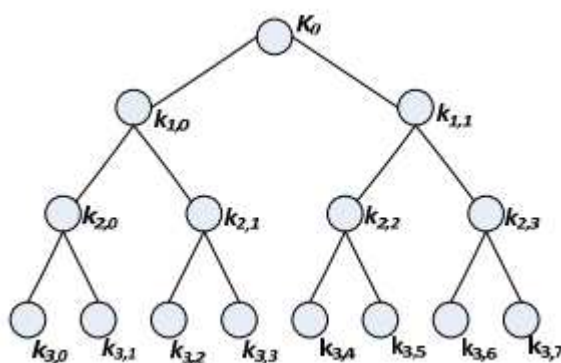


Рисунок 3 – Структура SPA протокола [12]

Достоинства данного протокола: повышенная информационно-пропускная способность канала, за счет отсутствия необходимости передачи

дублируемого сообщения целиком. Недостаток SPАпротокола: в случае ошибки, происходит затрата времени на определение неисправного сегмента.

Использование SPАпротокола обусловлено объемом передаваемого сообщения, когда затраты времени нивелируются вычислительными мощностями передающего устройства.

## **1.4 Интерфейсы передачи данных**

Для реализации передачи дискретной информации используют два базовых подхода к организации интерфейсов:

1. Параллельный интерфейс - для каждого бита передаваемой группы используется своя сигнальная линия, и все биты группы передаются одновременно за один квант времени. Примеры: параллельный порт подключения принтера (LPT-порт, 8 бит), интерфейс АТА/АТАPI (16 бит), SCSI (8 или 16 бит), шина PCI (32 или 64 бита)[13];

2. Последовательный интерфейс - используется лишь одна сигнальная линия, и биты группы передаются друг за другом по очереди; на каждый из них отводится свой квант времени (битовый интервал). Примеры: последовательный коммуникационный порт (COM-порт), последовательные шины USB и FireWire, PCI Express, интерфейсы локальных и глобальных сетей[13];

Вся терминология по интерфейсам определена в ГОСТ Р 50304-92.

Согласно [14] интерфейсы характеризуются следующими параметрами:

1. Пропускной способностью интерфейса — количество информации которая может быть передана через интерфейс в единицу времени;

2. Максимальной частотой передачи информационных сигналов через интерфейс;

3. Информационной шириной интерфейса — числом бит или байт данных, передаваемых параллельно через интерфейс;

4. Максимально допустимым расстоянием между соединяемыми устройствами;

5. Динамическими параметрами интерфейса — временем передачи отдельного слова или блока данных с учетом продолжительности процедур подготовки и завершения передачи;

6. Общим числом проводов (линий) в интерфейсе.

Согласно [15] достоинствами параллельных интерфейсов являются: относительная простота программной и аппаратной реализации; высокая скорость передачи. Недостатки в свою очередь: наличие многоконтактного разъема; задействовано большая площадь печатной платы; ограничение длина проводов линий передачи. Так же, в [16] говорится, что ключевым недостатком являются наличие "перекоса" в информационных линиях - хоть отправка данных и производится одновременно, из-за задержки в распространении сигнала одни биты приходят раньше других.

В свою очередь, последовательные интерфейсы имеют ключевые преимущества перед параллельными: сниженное число соединений, что достаточно актуально для микроконтроллерных устройств (где имеется дефицит параллельных портов ввода/вывода); увеличенная длина линий передачи[17]. Недостатком является относительно малая скорость передачи[13], хотя современные интерфейсы уже достигли скорости передачи в сотни Мбит/с[18].

Для повышения помехоустойчивости интерфейсных систем, помимо классических способов повышения помехоустойчивости (таких как заземление, экранирование, балансировка, выбор кабеля), необходимо рационально подойти к выбору вида модуляции цифрового сигнала.

Выделяют следующие виды модуляции цифрового сигнала:

1. Двухуровневое кодирование;
2. Трехуровневое кодирование;
3. Четырехуровневое кодирование;
4. Кодирование с большим числом уровней.

По типу модуляции:

1. Униполярное кодирование - диапазон изменения напряжения от  $+U_B$  до  $0B$ ;
2. Биполярное кодирование - диапазон изменения напряжения от  $+U_B$  до  $-U_B$ .

NRZкод - двухуровневый код, в котором логическому нулю соответствует высокий уровень, логической единице - низкий уровень (рисунок 4). Данный код получил широкое распространение благодаря простоте реализации и высокой скорости передачи данных. Используется в стандартах RS-232(униполярный код), RS-485 (биполярный код), SPIи т.д. Недостатком данного кода является отсутствие свойства самосинхронизации, из-за чего необходимо либо вводить дополнительные старт- и стоп- биты (как в RS-232 и RS-485), либо использовать дополнительную линию для передачи синхросигнала (как в SPI).

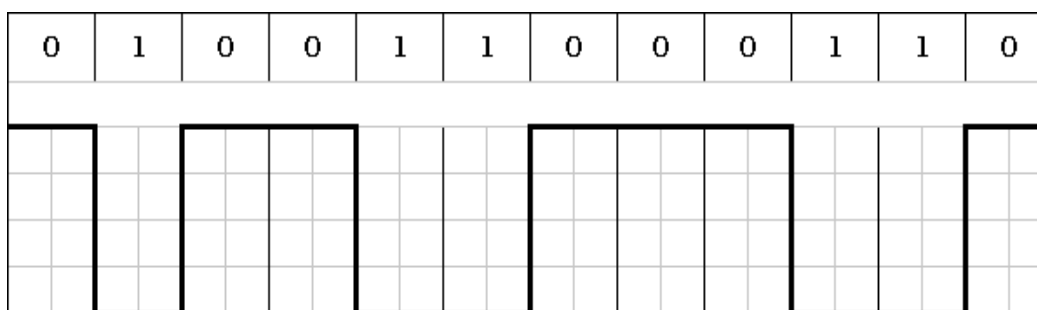


Рисунок 4 – Пример NRZкодирования [19]

Так же, стоит упомянуть модификации данного кода: NRZSpace (NRZS)и NRZInverted (NRZI). В данных кодах кодирование 0 (для NRZS) и 1 (для NRZI) происходит путем смены уровня сигнала, при противоположных комбинациях уровень не изменяется. NRZSиспользуется в протоколах HDLCиUSB.NRZIв протоколе FastEthernet 100base-FX.Главный недостаток данных методов кодирования заключается в потере синхронизации при длительном чередовании передачи 1 (NRZS) или 0 (NRZI), что решается путем

встраивание в такие последовательности дополнительных синхронизирующих бит для смены логического уровня, что приводит к уменьшению информационно-пропускной способности канала.

Манчестерский код - двухуровневый код, в котором кодирование происходит перепадом потенциала в середине битового интервала (рисунок 5). Логическая единица кодируется переходом из низкого уровня в высокий, а логический ноль - перепадом из высокого уровня в низкий (по стандарту IEEE 802.3). Так же, существует код по Д. Е. Томасу (Манчестер II), с обратной логикой работы. Данный код является двухчастотным, т.е. при передаче присутствует всего две частоты:  $N$  Гц при передаче однотипных данных (нулей либо единиц), и  $N/2$  Гц при передаче разных данных (чередование нулей и единиц). Достоинством манчестерского кода является его свойство самосинхронизации, благодаря чему нет необходимости в старт- и стоп- битах, а плотность данных в общем потоке (при непрерывной передаче) стремится к 100%.

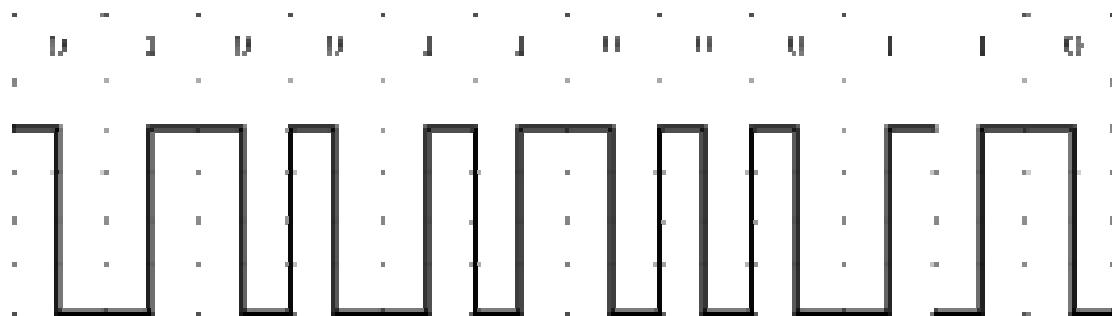


Рисунок 5 – Пример манчестерского кода по стандарту IEEE 802.3[20]

Код Миллера - двухуровневый код, в котором каждый бит информации кодируется двумя битами {00, 01, 10, 11}, а переход между состояниями происходит согласно графу (рисунок 6). Пример кода приведен на рисунке 7. Код является трехчастотным: при непрерывной передаче нулей или единиц изменение уровня происходит с интервалом  $T$ ; при переходе от передачи нулей к передаче единиц (или наоборот) интервал будет составлять  $1,5T$ ; при чередовании нулей и единиц  $2T$ .

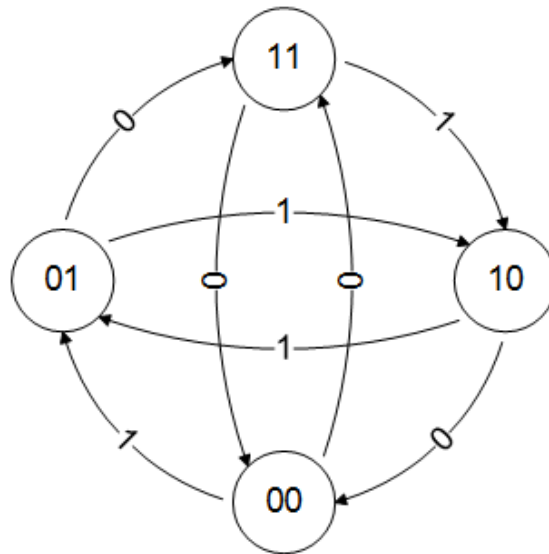


Рисунок 6 – Граф, описывающий формирование кода Миллера [21]

Преимущества данного кода заключаются в способности к самосинхронизации и более узкой полосы пропускания, чем в манчестерском коде. Недостатком данного кода является наличие постоянной составляющей в сигнале.

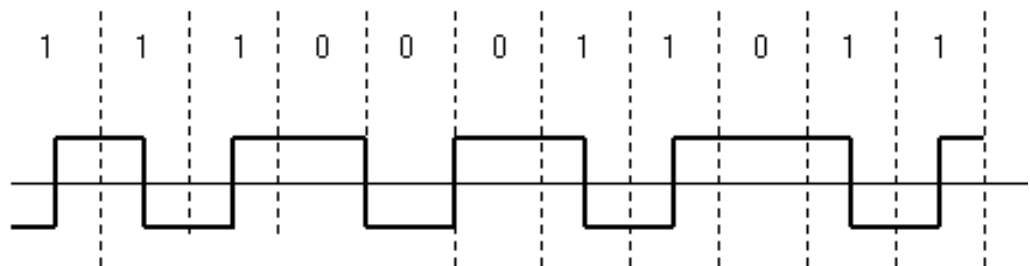


Рисунок 7 – Пример кода Миллера [22]

АМІкод - трехуровневый код, в котором при кодирование логической единицы происходит циклическое переключение между состояниями:  $+U_B$  и  $-U_B$ , а логическому нулю соответствует  $0_B$  (рисунок 8). Недостатком кода

является ограничение на плотность нулей в потоке данных, так как это приводит к потере синхронизации между приемником и передатчиком.

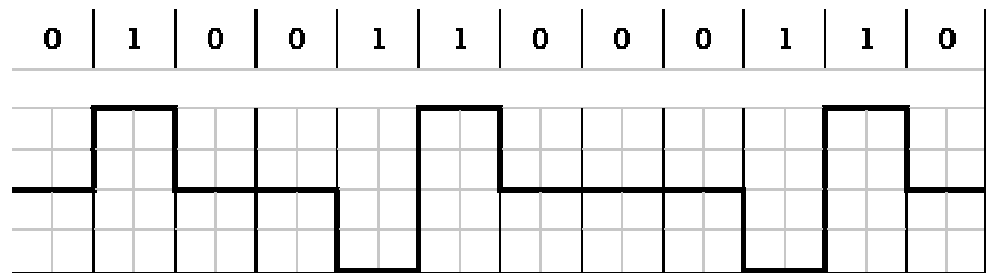


Рисунок 8 – Пример AMI кода [23]

MLT-3 код - трехуровневый код, в котором кодирование происходит так же, как и в NRZI коде, но при кодировании логической единицы происходит циклическое переключение между  $+U_B$ ,  $0_B$ ,  $-U_B$  (рисунок 9). Используется в FastEthernet 100base-TX.

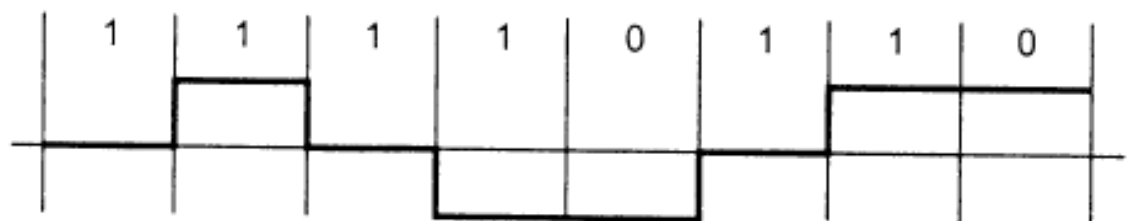


Рисунок 9 – Пример MLT-3 кода [24]

### 1.5 Виды помех

Помеха – это любое воздействие (внешнее или внутреннее), накладывающееся на полезный сигнал и нарушающий нормальную работу или вызывает ухудшение характеристик и параметров технических средств [27]. Помехи весьма разнообразны как по физическим свойствам, так и по своему происхождению.

Классификацию помех можно провести по следующим признакам:

1. по происхождению;
2. по физическим свойствам;
3. по характеру воздействия на сигнал.

К помехам по происхождению относятся внутренние шумы аппаратуры (тепловые шумы), которые обусловлены хаотичным движением носителей заряда в усилительных приборах, сопротивлениях и других элементах аппаратуры[27]. Случайное тепловое движение носителей заряда в любом проводнике вызывает случайную разность потенциалов на его концах, при этом, среднее значение напряжения равно нулю, а переменная составляющая проявляется в виде шума.

Так же, к помехам по происхождению относятся помехи от посторонних источников, находящихся вне каналов связи:

1. атмосферные помехи (грозовые разряды, полярное сияние, и др.), обусловленные электрическими процессами в атмосфере;
2. промышленные помехи, возникающие в электрических цепях электроустановок (электротранспорт, электрические двигатели, системы зажигания двигателей, медицинские установки и другие.);
3. помехи от посторонних станций и каналов, возникающих от различных нарушений режима их работы и свойств каналов;
4. космические помехи, связанные с электромагнитными процессами, происходящими на Солнце, звездах, галактиках и других внеземных объектах.

По физическим свойствам помех классифицируют:

1. Флуктуационные помехи;
2. Сосредоточенные помехи.

Флуктуационную помеху можно представить в виде последовательности бесконечно коротких импульсов, имеющих случайную амплитуду и следующих друг за другом через случайные промежутки времени[27]. При этом частота следования импульсов настолько высока, что переходные процессы в

приемнике от отдельных импульсов накладываются, создавая случайный непрерывный процесс.

Например, источником шума в электрических цепях могут быть флуктуации тока, обусловленные дискретной природой носителей заряда (электронов, ионов). Дискретная природа электрического тока проявляется в электронных лампах и полупроводниковых приборах в виде дробового эффекта. Наиболее распространенной причиной шума являются флуктуации, обусловленные тепловым движением.

Длительность импульсов, составляющих флуктуационную помеху, очень мала, поэтому спектральная плотность помехи постоянна вплоть до очень высоких частот.

К сосредоточенным по времени (импульсным) помехам относят помехи в виде одиночных импульсов, следующих один за другим через такие большие промежутки времени, что переходные процессы в приемнике от одного импульса успевают практически затухнуть к моменту прихода следующего импульса[27].

К сосредоточенным по спектру помехам принято относить сигналы посторонних радиостанций, излучения генераторов высокой частоты различного назначения и т. п.[27]. В отличие от флуктуационных и импульсных помех, спектр которых заполняет полосу частот приёмника, ширина спектра сосредоточенной помехи в большинстве случаев меньше полосы пропускания приёмника.

По характеру воздействия на сигнал различают:

1. аддитивные помехи;
2. мультипликативные помехи.

Аддитивной называется помеха, мгновенные значения которой складываются с мгновенными значениями сигнала. Мешающее воздействие аддитивной помехи определяется суммированием с полезным сигналом. Аддитивные помехи воздействуют на приемное устройство независимо от

сигнала и имеют место даже тогда, когда на входе приемника отсутствует сигнал.

Мультипликативной называется помеха, мгновенные значения которой перемножаются с мгновенными значениями сигнала. Мешающее действие мультипликативных помех проявляется в виде изменения параметров полезного сигнала, в основном амплитуды. В реальных каналах электросвязи обычно имеют место не одна, а совокупность помех.

При всем многообразии методов борьбы с помехами их можно свести к трем направлениям:

1. подавление помех в месте их возникновения. Это достаточно эффективное и широко применяемое мероприятие, но не всегда приемлемо. Ведь существуют источники помех, на которые воздействовать нельзя (грозовые разряды, шумы Солнца и др.);
2. уменьшение помех на путях проникновения в приемник;
3. ослабление влияния помех на принимаемое сообщение в приемнике, демодуляторе, декодере.

## **Выводы по разделу**

В данном разделе были рассмотрены основные элементы, необходимые для реализации канала информационного обмена данными, такие как алгоритмы расчета контрольных сумм, конфигурация прокола передачи, физическое кодирование информации. Определены их влияния на надежность передачи. Так же были рассмотрены основные типы помех, влияющие на передачу, приведена их классификация и причины возникновения.

На практике планируется реализовать несколько видов информационных каналов с различными, по возможности, типами кодирования информации, для их сравнения. В качестве оконечного устройства приема-передачи будет использоваться микроконтроллер, с наличием основных каналов последовательной связи. Проектируемый прибор будет иметь модульное строение. Предполагаемые модули: головной модуль (управляющий), модуль генерации помех (управляемый), модуль питания.

Так как существует необходимость автоматизации проведения испытаний и получения их результатов, Hash-Lock протокол неактуален для данной задачи, выберем Hash-Chain протокол, в котором присутствует ответ на принятые пакеты данных (сообщения). Sra-протокол для данной задачи не актуален, ввиду относительно маленького объема данных и слабости вычислительных способностей микроконтроллеров.

В плане алгоритмов расчета КС, будет производиться сравнение различных алгоритмов CRC с разной степенью образующего полинома. В качестве базового алгоритма защиты взят - КС по модулю  $0x100$ .

## 2 Объекты и методы исследования

В данной работе объектами исследования являются: алгоритмы расчета КСм, интерфейс стандарта MIL-STD-1553В.

Относительно алгоритмов расчета КСм: провести сравнения различных КСм по степени надежности и временным характеристикам, определить рекомендации для выбора КСм.

Для этого были сформированы и поставлены следующие задачи:

1. Написание ПО для расчета КСм по различным алгоритмам;
2. Возможность задавать исходное сообщение для расчета;
3. Возможность изменять количество одиночных сбоев в рассчитываемой комбинации;
4. Возможность генерировать таблицы для расчета CRC табличным методом;
5. Возможность временной оценки расчета алгоритмов КСм;
6. Возможность изменять образующий полином CRC;
7. Возможность вручную задавать все параметры алгоритма CRC;
8. Возможность автоматического поиска минимальной длины защищаемой информации.

В качестве среды разработки для написания ПО был взят BorlandBuilderC++ из-за простоты использования данной программы, высокой скорости создания приложений, а так же благодаря наличию опыта работы в данной среде.

Для интерфейса стандарта MIL-STD-1553В необходимо определить его технические характеристики, особенности функционирования, помехозащищенность.

Постановка задачи:

1. Определить основные параметры основных форматов сообщений;
2. Определить входные и выходные характеристики;

3. Провести анализ основных параметров блока инъекции шумов, используемый в данном стандарте для введения помех.

Для выполнения поставленных задач воспользуемся готовым МИО ОУ, связанным с КШ по шинной топологии подключения, используя кабель, согласно стандарту MIL-STD-1553B. Для снятия параметров используем осциллограф GWInstekMSO-72202EA, в качестве генератора помех выступит ГСС-10.

Результатом проведенных работ будет разработка устройства тестирования основных микроконтроллерных интерфейсов на устойчивость к одиночным сбоям. Для этого необходимо провести предварительную оценку аналогов приборов, на основе которых будут сформированы технические характеристики будущего устройства. Разработка принципиальных схем и печатных плат будет производиться в PCAD 2006 из-за наличия опыта работы в данной программе и готовых библиотек элементов.

### **3 Результаты проведенных исследований и разработок**

Данная часть разделена на три основных раздела: программный, экспериментальный и схемотехнический. Первый содержит в себе оценку надежности контрольных сумм с помощью ПК, второй – экспериментальная проверка интерфейса на помехоустойчивость, третий – проектирование устройства, позволяющее провести тестирование на устойчивость к одиночным сбоям интерфейсных систем.

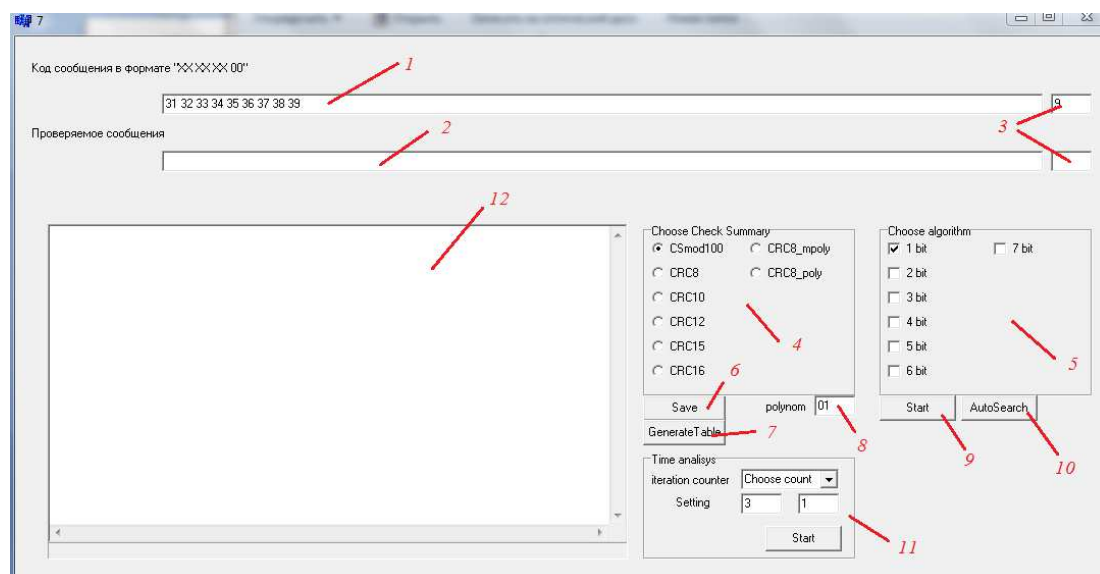
#### **3.1 Программная часть**

##### **3.1.1 Реализация программы**

Согласно поставленным задачам была написана программа, представленная на рисунке 10.

Написанная программа на данный момент позволяет:

1. проверять вводимое вручную сообщение на однократные, двойные, тройные и т.п. (до 7) ошибки для алгоритмов: контрольная сумма по модулю  $0x100$ , CRC-8, CRC-10, CRC-12, CRC-15, CRC-16;
2. рассчитывать значение CRC-8 с учетом вводимого вручную порождающего полинома;
3. генерировать таблицы значений CRC для табличного алгоритма расчета;
4. проводить временной анализ алгоритмов;
5. проводить автоматический поиск минимальной длины защищаемой информации.



(1-поле вводимого сообщения; 2-поле проверяемого сообщения; 3-объем соответствующих сообщений; 4-поле выбора алгоритма защиты; 5-поле выбора проверки; 6-кнопка сохранения сообщения; 7 - кнопка генерирования таблицы; 8 - поле задания полинома; 9-кнопка начала проверки сообщения; 10-кнопка начала автопоиска; 11 - поле временного анализа; 12-область для вывода результатов.)

Рисунок 10 – Рабочее окно программы

Полученные результаты в печатном виде выводятся в окне 12 (рисунок 10).

На рисунке 11 приведен обобщенный алгоритм нахождения комбинаций неисправных сообщений.

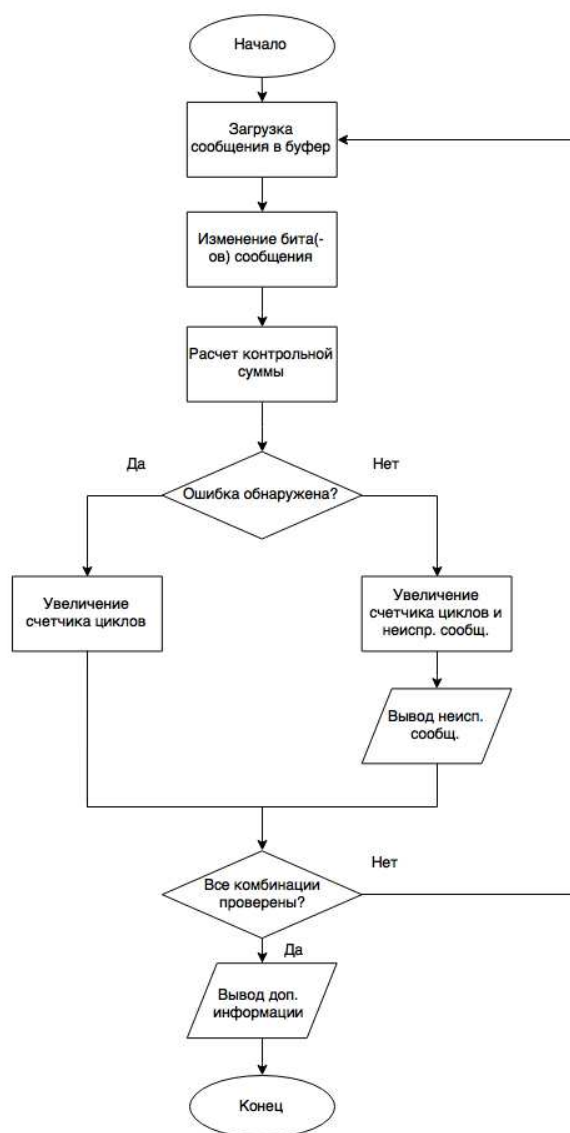


Рисунок 11 – Алгоритм поиска неисправных сообщений

### 3.1.2 Предварительные результаты оценки надежности

Предварительная проверка производилась на базовой комбинации алгоритмов CRC (строка «123456789»). Результаты приведены в Приложении Б. Из полученных данных видно, что суммирующиеся контрольная сумма по модулю 0x100 при трех битах ошибки имеет надежность 2,74%, следовательно, она имеет наихудшую степень защиты.

На основе полученных данных построим графики зависимостей степень надежности алгоритмов CRC от количества неисправных бит (рисунок 12).

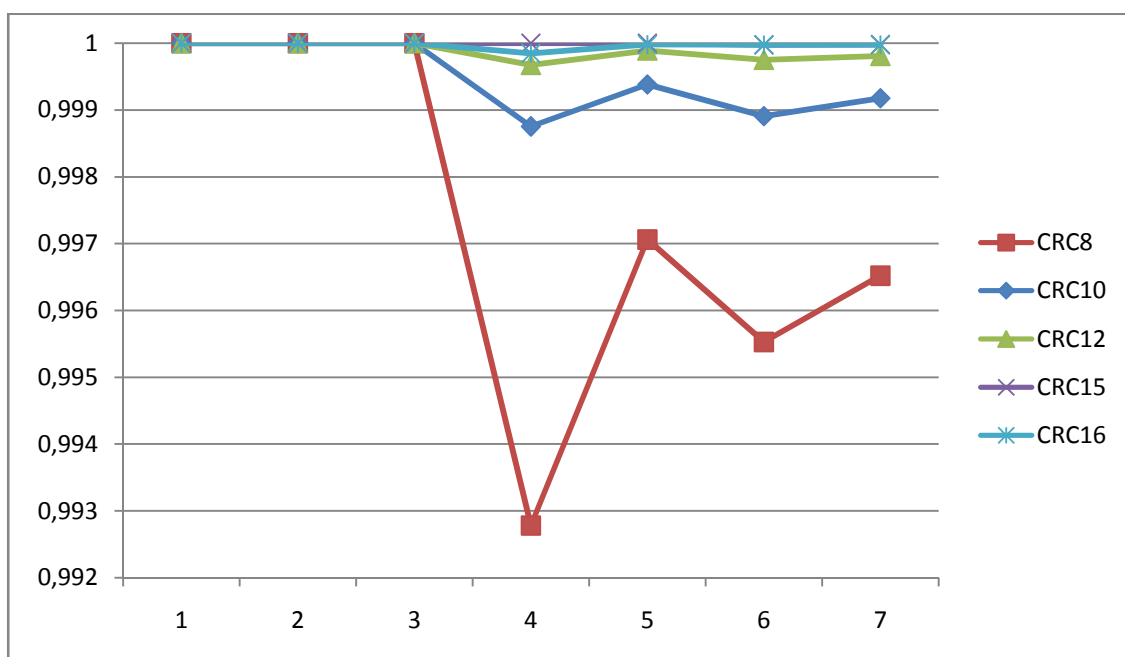


Рисунок 12 – Степень надежности от количества ошибок в сообщении (прямые алгоритмы)

Из результатов видно, что данные алгоритмы видят все однократные, двукратные и трехкратные ошибки в рабочей области, с ростом количества неисправных битв информации качество защиты алгоритмов снижается, при этом, при четных количествах ошибочных бит наблюдается просадка надежности.

Так же, наблюдается повышение надежности при переходе от прямого алгоритма к табличному у CRC10, CRC12, CRC15, обусловленное модификацией классического табличного алгоритма. (пример - рисунок13 для CRC10).

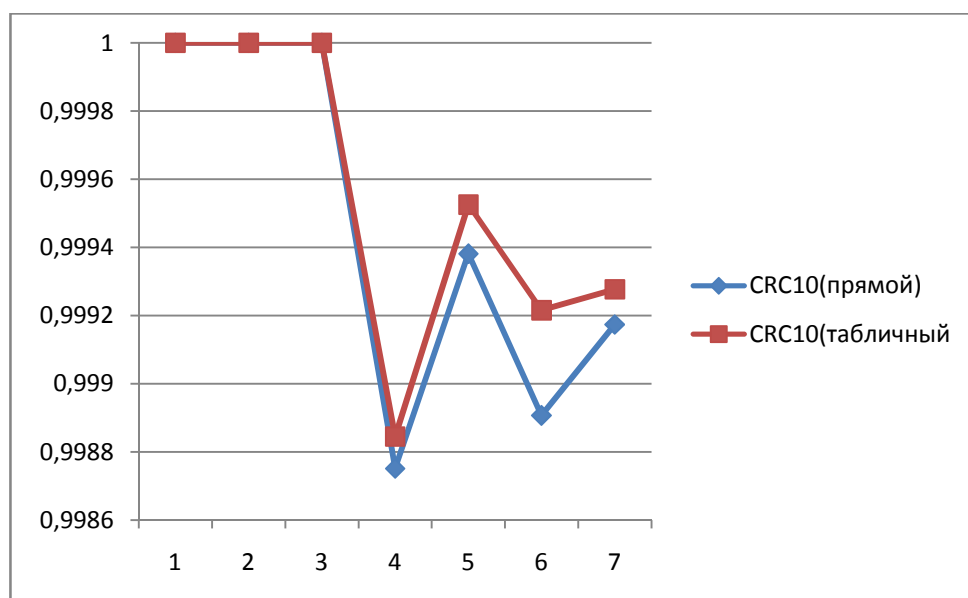


Рисунок 13 – Сравнение прямого и табличного алгоритмов расчета CRC10

### 3.1.3 Временной анализ алгоритмов

Временному анализу подверглись все реализованные алгоритмы. Параметры анализа: количество тестов - 100; количество итераций - 1 миллион; частота работы процессора - 2,286 ГГц. Полученные результаты приведены в таблице 1 (время в нс).

Таблица 1 – Экспериментальные данные

|       | Количество байт | 4   | 8   | 16   | 32   | 64   | 96    | 128   | 162   | 194   | 256   |
|-------|-----------------|-----|-----|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| CRC8  | прямой          | 379 | 896 | 1668 | 3624 | 6745 | 10287 | 14951 | 17544 | 20968 | 28003 |
|       | табличный       | 76  | 117 | 144  | 243  | 419  | 607   | 915   | 991   | 1175  | 1540  |
| CRC10 | прямой          | 448 | 789 | 1521 | 3655 | 6420 | 9859  | 14712 | 16857 | 20258 | 26928 |
|       | табличный       | 123 | 165 | 181  | 371  | 494  | 707   | 1000  | 1141  | 1353  | 1764  |
| CRC12 | прямой          | 351 | 772 | 1552 | 3848 | 6578 | 10014 | 13811 | 17157 | 20577 | 27336 |
|       | табличный       | 96  | 113 | 183  | 317  | 496  | 708   | 924   | 1145  | 1356  | 1769  |
| CRC15 | прямой          | 286 | 808 | 1475 | 3372 | 6465 | 9970  | 13597 | 17115 | 20579 | 27365 |
|       | табличный       | 95  | 129 | 182  | 304  | 494  | 707   | 930   | 1144  | 1356  | 1768  |
| CRC16 | прямой          | 316 | 708 | 1562 | 3454 | 6524 | 10016 | 13616 | 17093 | 20543 | 27261 |
|       | табличный       | 112 | 130 | 183  | 295  | 483  | 691   | 906   | 1115  | 1321  | 1723  |

Из полученных данных видно, что на время расчета контрольной суммы влияет лишь длина исходного сообщения, и не зависит от длины исходного полинома CRC. По полученным данным построим временные характеристики алгоритмов.

Из графиков (рисунки 14-17) видно, что при переходе от прямого алгоритма к табличному наблюдается тенденция увеличения "расхождения". Обусловлено это тем, что при табличном алгоритме отсутствует процесс побитового перебора всего сообщения, что в значительной степени позволяет сократить время расчета благодаря отсутствию в алгоритме множества команд сдвига и сложения.

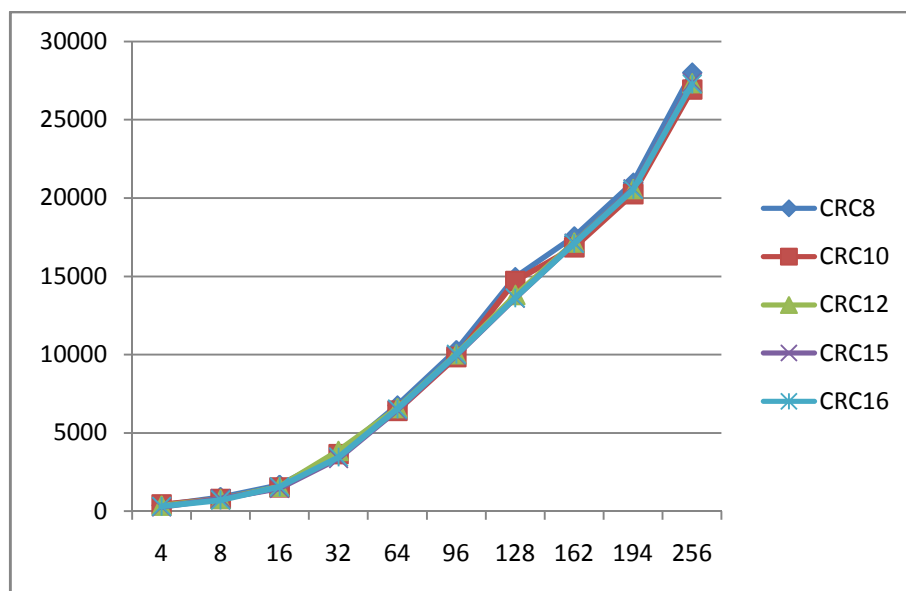


Рисунок 14 – Временные характеристики прямых алгоритмов CRC

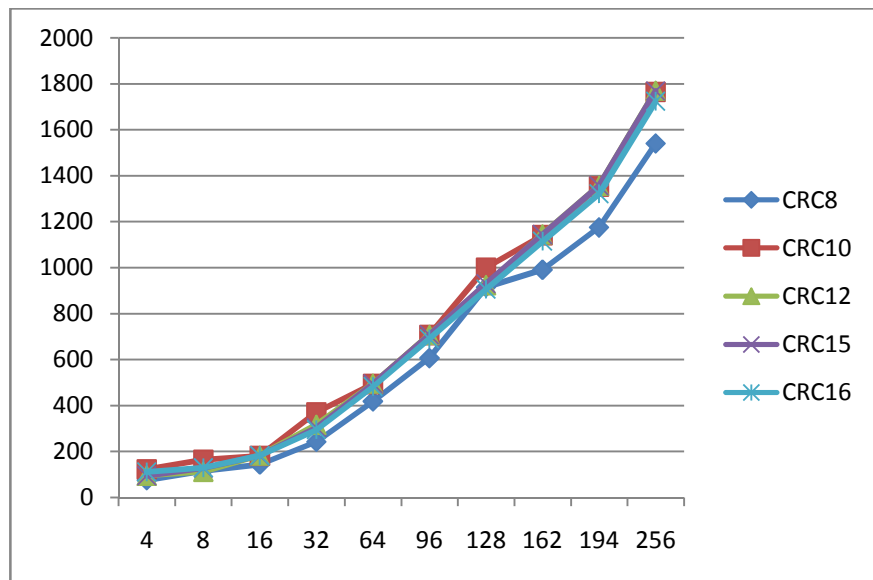


Рисунок 15 – Временные характеристики табличных алгоритмов CRC

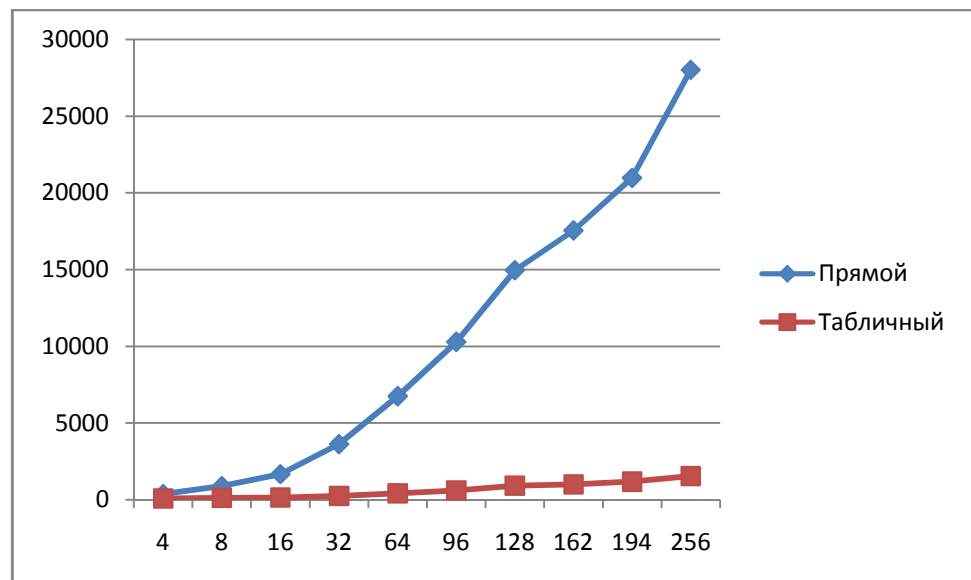


Рисунок 16 – Временные характеристики CRC8

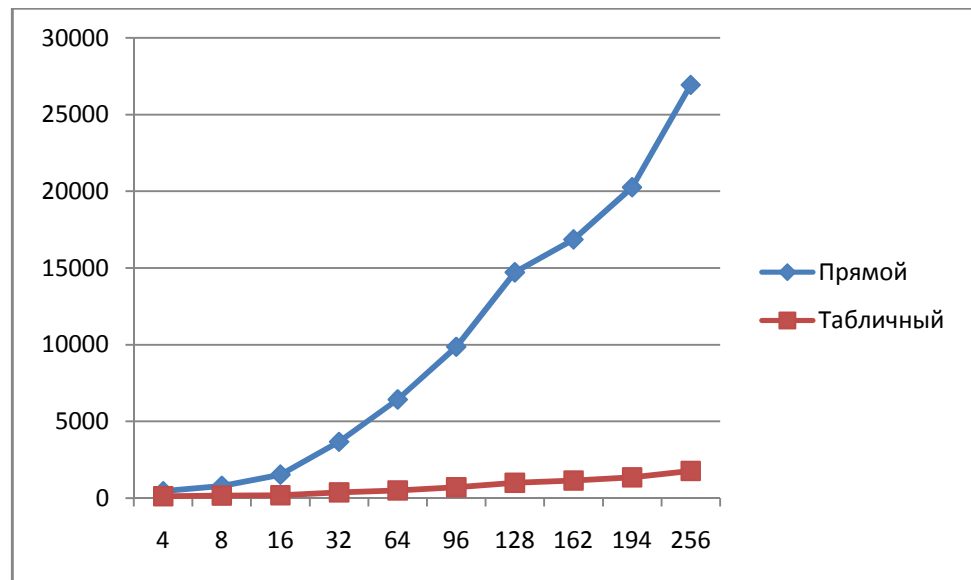


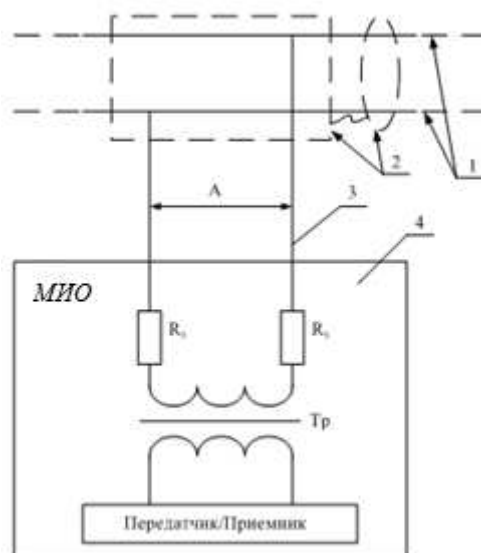
Рисунок 17 – Временные характеристики CRC10

## 3.2 Экспериментальная часть

Эксперимент проводился над интерфейсом стандарта MIL-STD-1553В, имеющий код Манчестер II и запросно-ответный протокол (одна из модификаций Hash-Chain протокола).

### 3.2.1 Результаты исследования

Измерение входных и выходных характеристик модуля, а также снятие осциллограмм при проверке проводились в точке А (рисунок 18) основного или резервного каналов информационной магистрали MIL-STD-1553В.



1 – магистральная шина; 2 – экран; 3 – шлейф; 4 – МИО в режиме ОУ;  $R_z$  – защитные резисторы; Тр – трансформатор гальванической развязки.

Рисунок 18– Функциональная схема исследования

### 3.2.2 Проверка форматов сообщений

Осциллограмма сообщения формата 1 представлена на рисунке 19. КШ передает команду обмена данными на прием информации и одно СД без паузы, ОУ с паузой передает ОС.

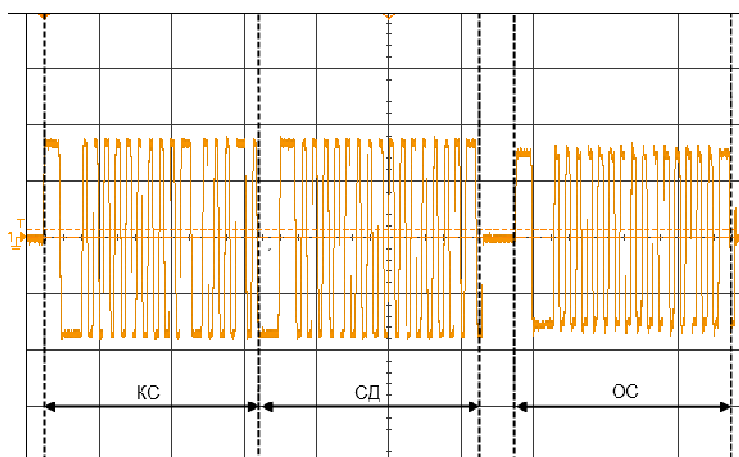


Рисунок 19 – Прием информации ОУ от КШ формата 1  
на основном канале модуля

На рисунке 20 приведена осциллограмма временной паузы  $t_1$  перед передачей ОС. Пауза  $t_1=4,5$  мкс между СД и ОС измерялась от момента пересечения нулевого уровня серединой сигнала последнего перед паузой разряда СД до момента пересечения нулевого уровня серединой синхросигнала следующего за паузой ОС от ОУ.

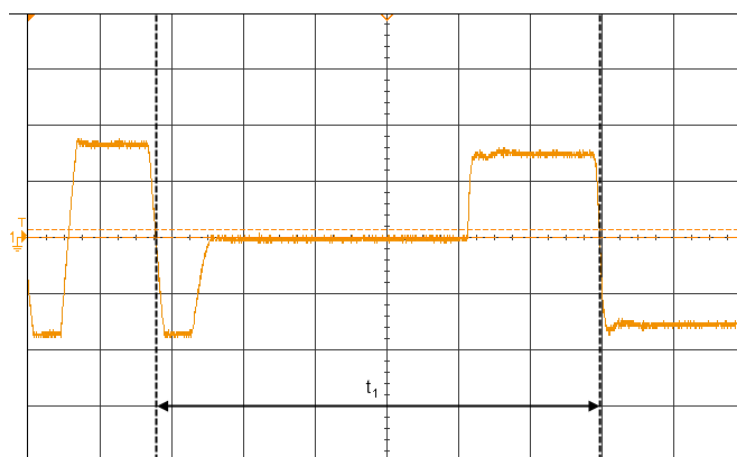


Рисунок 20 – Временная пауза  $t_1$  перед передачей ОС формата 1  
на основном канале модуля

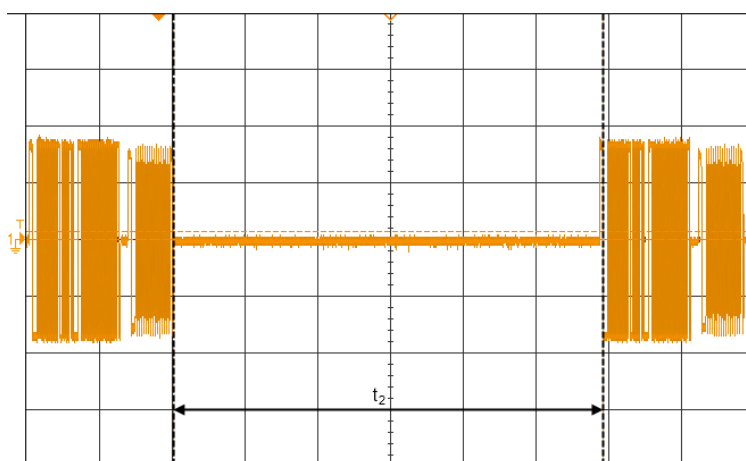


Рисунок 21 – Временная пауза  $t_2$  между сообщениями формата 1  
на основном канале модуля

На рисунке 21 приведена осциллограмма временной паузы  $t_2$  между сообщениями. Пауза  $t_2=290$  мкс между сообщениями измерялась от момента пересечения нулевого уровня серединой сигнала последнего перед паузой

разряда ОС до момента пересечения нулевого уровня серединой синхросигнала следующего за паузой КС от КШ.

Осциллограмма сообщения формата 2 представлена на рисунке 22. КШ передает команду обмена данными на передачу информации, ОУ с паузой передает ОС и без паузы одно СД.

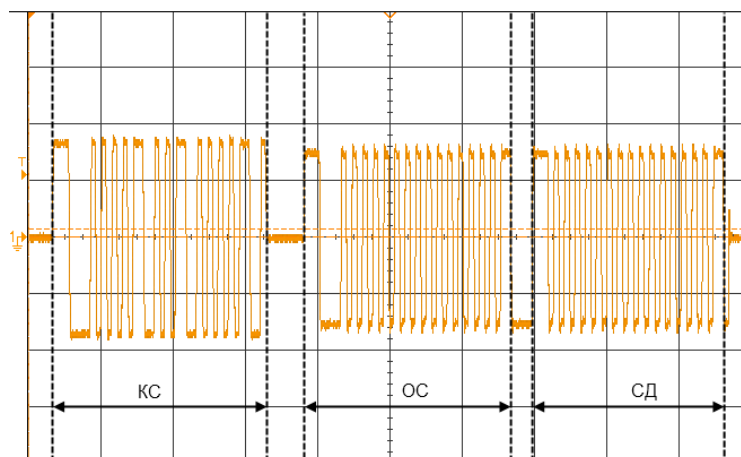


Рисунок 22 – Передача информации КШ от ОУ формата 2  
на основном канале модуля

На рисунке 23 приведена осциллограмма временной паузы  $t_1$  перед передачей ОС. Пауза  $t_1=4,5$  мкс между КС и ОС измерялась от момента пересечения нулевого уровня серединой сигнала последнего перед паузой разряда КС до момента пересечения нулевого уровня серединой синхросигнала следующего за паузой ОС от ОУ.

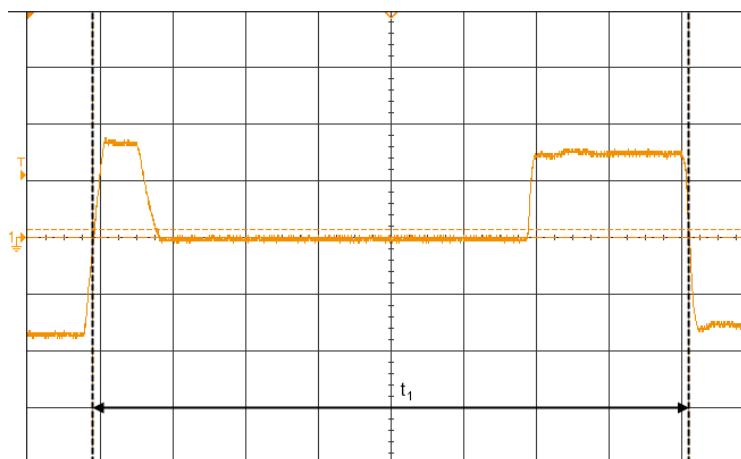


Рисунок 23 – Временная пауза  $t_1$  перед передачей ОС формата 2  
на основном канале модуля

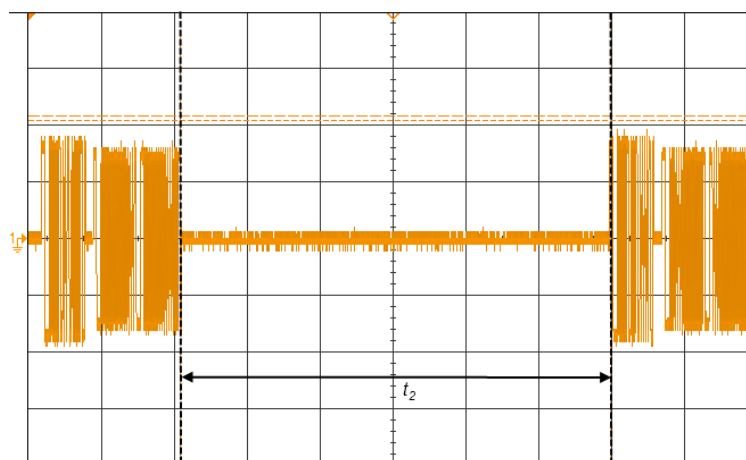


Рисунок 24 – Временная пауза  $t_2$  между сообщениями формата 2  
на основном канале модуля

На рисунке 24 приведена осциллограмма временной паузы  $t_2=290$  мкс между сообщениями. Пауза  $t_2$  между сообщениями измерялась от момента пересечения нулевого уровня серединой сигнала последнего перед паузой разряда СД до момента пересечения нулевого уровня серединой синхросигнала следующего за паузой КС от КШ.

Осциллограмма сообщения формата 4 представлена на рисунке 25. КШ передает КС, ОУ с паузой передает ОС.

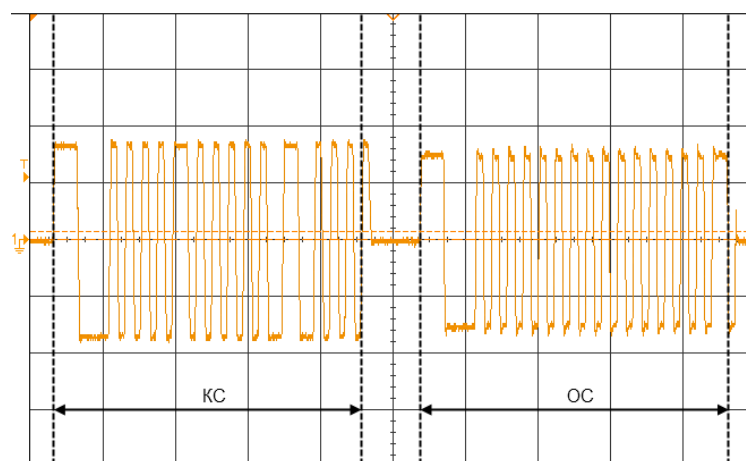


Рисунок 25 – Передача формата 4 на основном канале модуля

На рисунке 26 приведена осциллограмма временной паузы  $t_1$  перед передачей ОС формата 4. Пауза  $t_1=4,5$  мкс между КС и ОС измерялась от момента пересечения нулевого уровня серединой сигнала последнего перед паузой разряда КС до момента пересечения нулевого уровня серединой синхросигнала следующего за паузой ОС от ОУ.

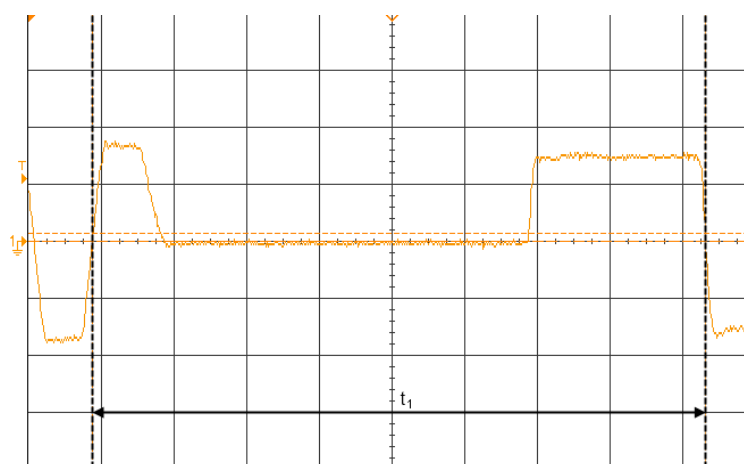


Рисунок 26 – Временная пауза  $t_1$  перед передачей ОС формата 4 на основном канале модуля

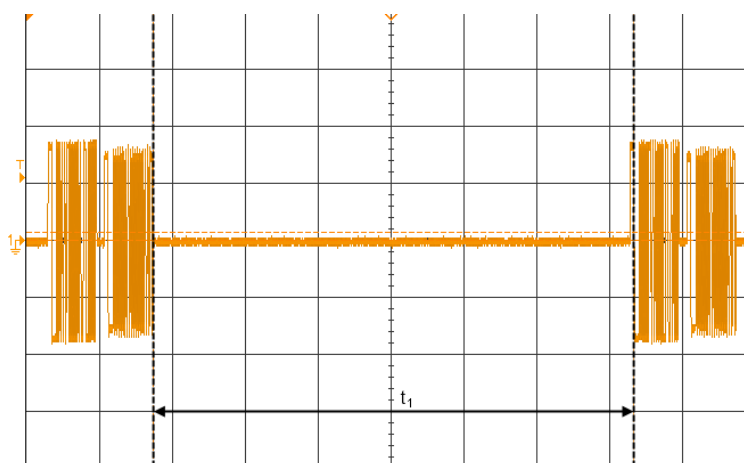


Рисунок 27 – Временная пауза  $t_2$  между сообщениями формата 4 на основном канале модуля

На рисунке 27 приведена осциллограмма временной паузы  $t_2$  между сообщениями. Пауза  $t_2=290$  мкс между сообщениями измерялась от момента пересечения нулевого уровня серединой сигнала последнего перед паузой

разряда ОС до момента пересечения нулевого уровня серединой синхросигнала следующего за паузой КС от КШ.

### 3.2.3 Проверка входных и выходных характеристик

Осциллографом в точке А (рисунок18) ОК измерялись следующие параметры входного сигнала:

- размах входного сигнала  $U_{\text{п}}$ ;
- длительность фронта входного сигнала  $t_{\text{ф}}$ ;
- длительность спада входного сигнала  $t_{\text{с}}$ ;
- длительность импульса входного сигнала между точками пересечения нулевого уровня  $t_{\text{и}}$ ;
- выбросы на вершине входного сигнала  $b_1, b_2$ .

На рисунке 28 приведена осциллограмма входного сигнала, передаваемого в модуль формата 1 по ОК. Результаты измерений представлены в таблице 2;

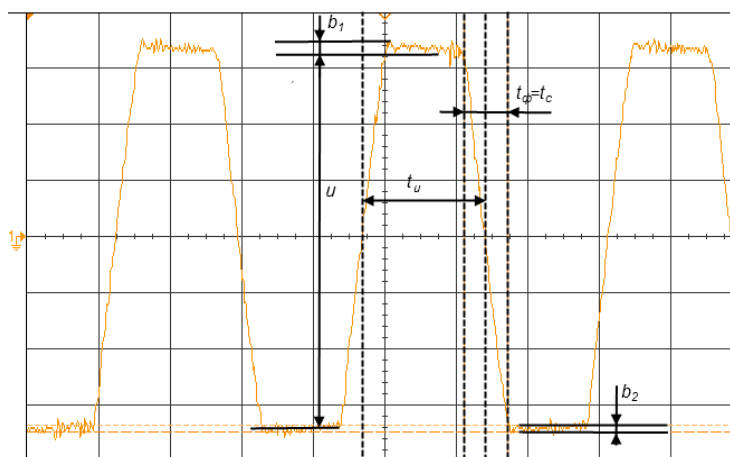


Рисунок 28 – Входной сигнал, выдаваемый КШ в модульформата 1 по ОК

Таблица 2 – Экспериментальные данные

| Наименование параметра                                                                               | Значение параметра в соответствии с MIL-STD-1553B | Значение параметра на ОК |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------|
| Размах входного сигнала $U_{\text{п}}$ , В                                                           | 1,2 – 20,0                                        | 10,9                     |
| Длительность фронта входного сигнала $t_{\text{ф}}$ , нс                                             | Не оговаривается                                  | 144                      |
| Длительность спада входного сигнала $t_{\text{с}}$ , нс                                              | Не оговаривается                                  | 164                      |
| Длительность импульса входного сигнала между точками пересечения нулевого уровня $t_{\text{и}}$ , нс | $500 \pm 150$                                     | 500                      |
|                                                                                                      | $1000 \pm 150$                                    | 1000                     |
|                                                                                                      | $1500 \pm 150$                                    | 1500                     |
|                                                                                                      | $2000 \pm 150$                                    | 2000                     |
| Выброс на вершине входного сигнала $b_1$ , В                                                         | Не оговаривается                                  | 0,3                      |
| Выброс на вершине входного сигнала $b_2$ , В                                                         | Не оговаривается                                  | 0,25                     |

Осциллографом в точке А (рисунок 18) ОК измерялись следующие параметры выходного сигнала модуля:

- размах выходного сигнала  $U_{\text{п}}$ ;
- длительность фронта выходного сигнала  $t_{\text{ф}}$ ;
- длительность спада выходного сигнала  $t_{\text{с}}$ ;
- длительность импульса выходного сигнала между точками пересечения нулевого уровня  $t_{\text{и}}$ ;
- выбросы на вершине выходного сигнала  $b_1, b_2$ ;
- выходное динамическое напряжение сдвига.

На рисунке 29 приведена осциллограмма выходного сигнала, передаваемого модулем формата 2 по ОК. Результаты измерений представлены в таблице 3;

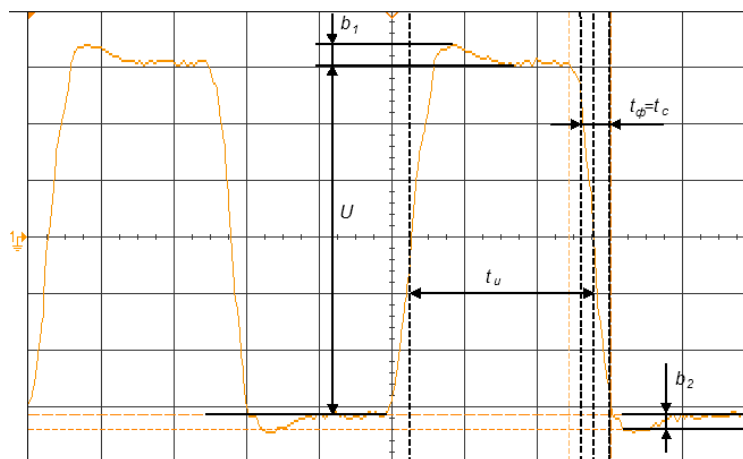


Рисунок 29 – Выходной сигнал, выдаваемый модулем в информационную магистраль в формате 2 по ОК

Таблица 3 – Экспериментальные данные

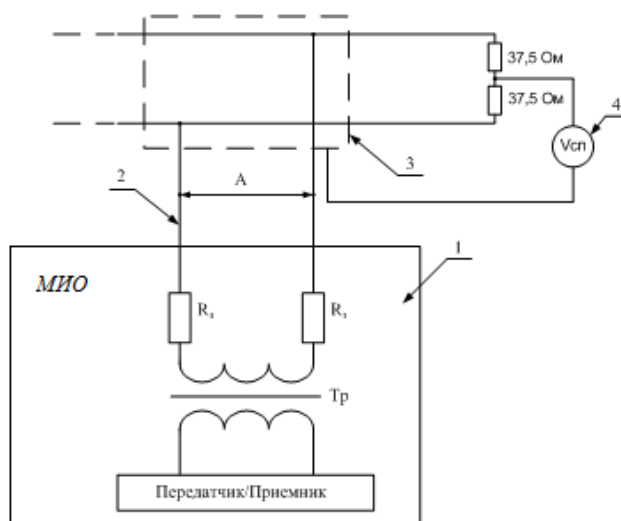
| Наименование параметра                                                                       | Значение параметра в соответствии с MIL-STD-1553B | Значение параметра на ОК |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------|
| Размах выходного сигнала $U_n$ , В                                                           | 6 – 9                                             | 8                        |
| Длительность фронта выходного сигнала $t_{\phi}$ , нс                                        | 100 – 300                                         | 200                      |
| Длительность спада выходного сигнала $t_c$ , нс                                              | 100 – 300                                         | 200                      |
| Длительность импульса выходного сигнала между точками пересечения нулевого уровня $t_n$ , нс | $500 \pm 25$                                      | 500                      |
|                                                                                              | $1000 \pm 25$                                     | 1000                     |
|                                                                                              | $1500 \pm 25$                                     | 1500                     |
|                                                                                              | $2000 \pm 25$                                     | 2000                     |
| Выброс на вершине выходного сигнала $b_1$ , не более, В                                      | $\pm 0,3$                                         | 0,2                      |
| Выброс на вершине выходного сигнала $b_2$ , не более, В                                      | $\pm 0,3$                                         | -0,2                     |
| Выходное динамическое напряжение сдвига $U_{ост}$ , мВ                                       | $\pm 90$                                          | 40                       |

### 3.2.4 Проверка на помехоустойчивость

Проверка работоспособности ОУ модуля при воздействии синфазного сигнала помехи по ОК информационной магистрали проводилась согласно схеме рисунка 30.

Частота синусоидального сигнала источника помех плавно изменялась от 1 Гц до 2 МГц со следующими точками останова: 1 Гц, 10 Гц, 100 Гц, 500 Гц, 1 кГц, 5 кГц, 10 кГц, 50 кГц, 100 кГц, 500 кГц, 1 МГц, 2 МГц. Время проверки в

каждой точке – не менее 90 с. Осциллограмма воздействия синфазных помех на ОК в точке А показана на рисунке 31.



1 – МИО; 2 – магистральная шина; 3 – экран; 4 – источник помех  $\pm 10$  В.

Рисунок 30– Схема подключения генератора помех при проверке устойчивости ОУ к синфазным помехам

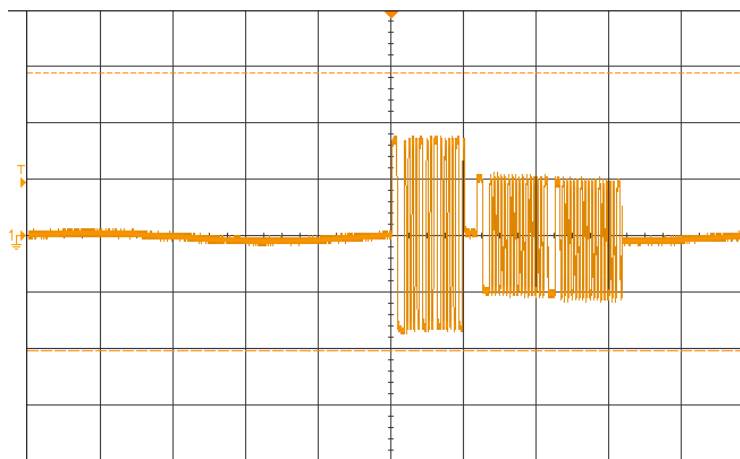


Рисунок 31 – Воздействие синфазных помех на магистраль

Проверка работоспособности ОУ модуля при воздействии синфазного сигнала (рисунок 31) помехи по ОК показала, что ОУ функционирует нормально и сбои в обмене информацией отсутствуют.

Проверка работоспособности ОУ модуля при воздействии аддитивного шума по ОК информационной магистрали проводилась согласно схеме рисунка

32. Генератор G включался в режиме шума, распределенного в полосе частот от 1 до 100 кГц со среднеквадратичным значением напряжения  $(150,0 \pm 0,1)$  мВ. Осциллограмма воздействия помех на ОК в точке А показана на рисунке 32.

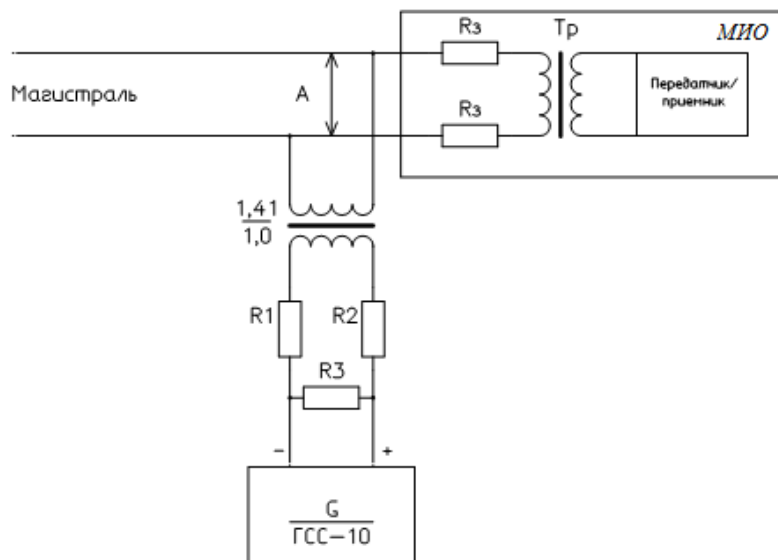


Рисунок 32– Схема подключения генератора сигналов специальной формы при проверке устойчивости ОУ к аддитивным помехам  
Воздействия аддитивного шума на ОК показан на рисунке 33.

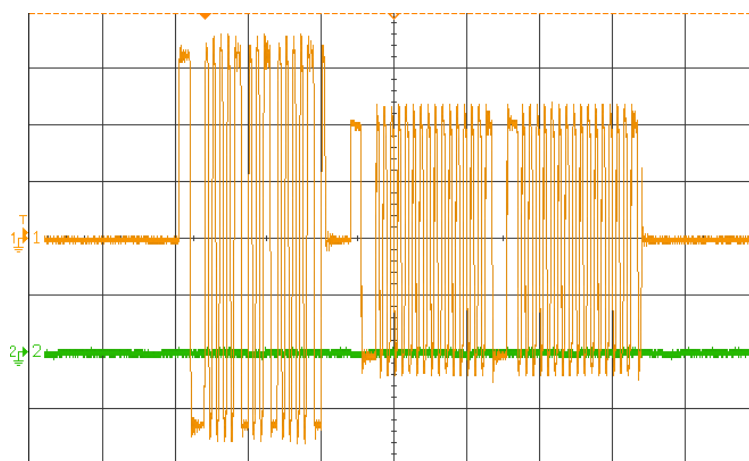


Рисунок 33– Влияние аддитивного шума на ОК

Проверка показала, что при передаче команд обмена данными на прием информации с одним СД в количестве не менее  $6 \cdot 10^7$  слов число ошибок равно нулю.

### 3.2.5 Проверка блока инжекции помех

Проверялась схема инжекции помех рисунка 32. Определялось наличие влияния линии МКО на выход генератора (рисунки 34-36).

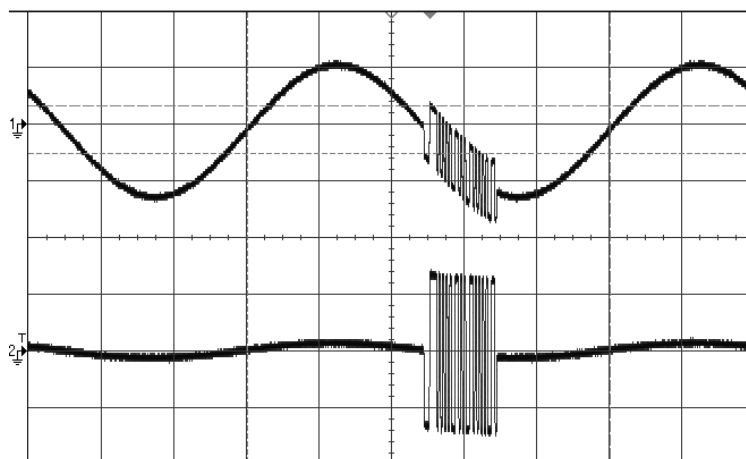


Рисунок 34 –Осциллограмма напряжения на выходах генератора и ОК в области НЧ

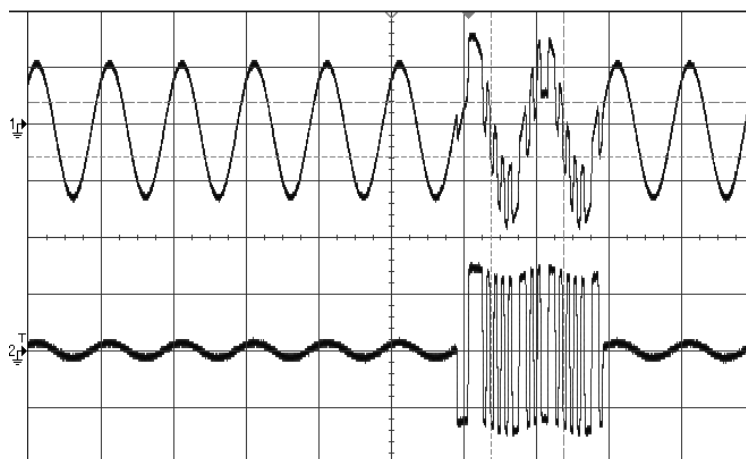


Рисунок 35 –Осциллограмма напряжения на выходах генератора и ОК в области СЧ

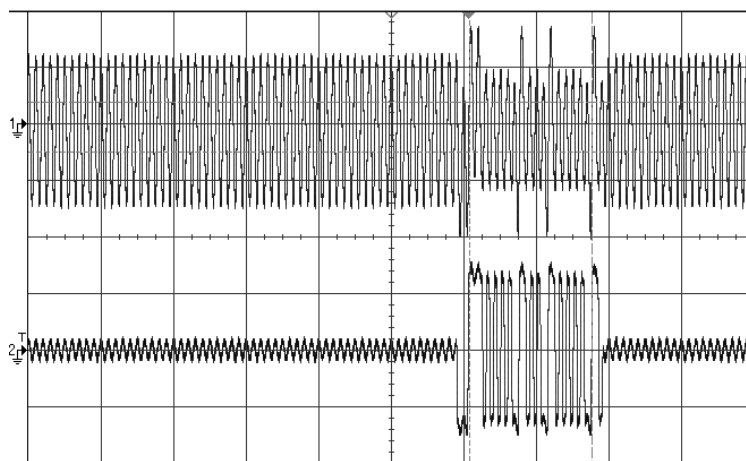


Рисунок 36 –Осциллограмма напряжения на выходах генератора и ОК в области ВЧ

Проверка показала, что при передаче команд обмена данными существует достаточно сильное влияние линии МКО на выход генератора.

Во избежание распространения сигнала с шины МКО в генератор была рассмотрена следующая модернизации схемы (рисунок 37).

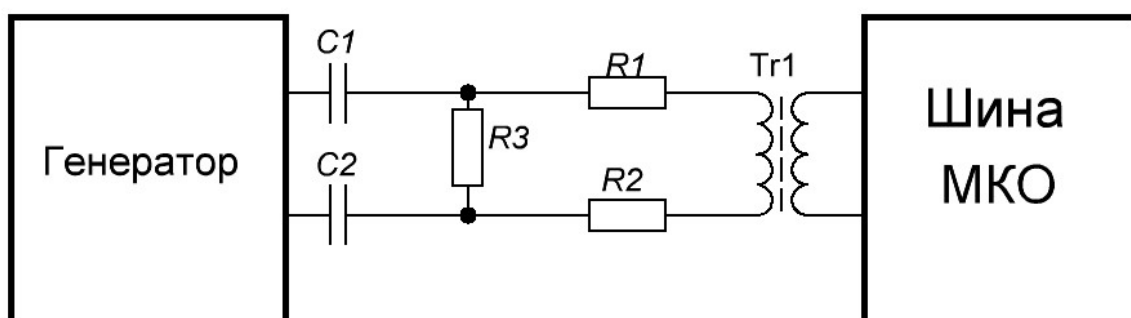


Рисунок 37 – Модификация схемы подключения генератора сигналов специальной формы при проверке устойчивости ОУ к аддитивным помехам

Для оценки влияния сигнала на выход генератора были сняты АЧХ при разных значениях емкостей.

Из рисунков 38-39 видно, что данное решение не оказывает сильного влияния на прохождение сигнала от шины МКО к генератору, в то время как уменьшает амплитуду полезного сигнала с увеличением емкости. Для

получения обратного эффекта необходимо изменять коэффициент трансформации трансформатора для уменьшения амплитуда обратного напряжения.

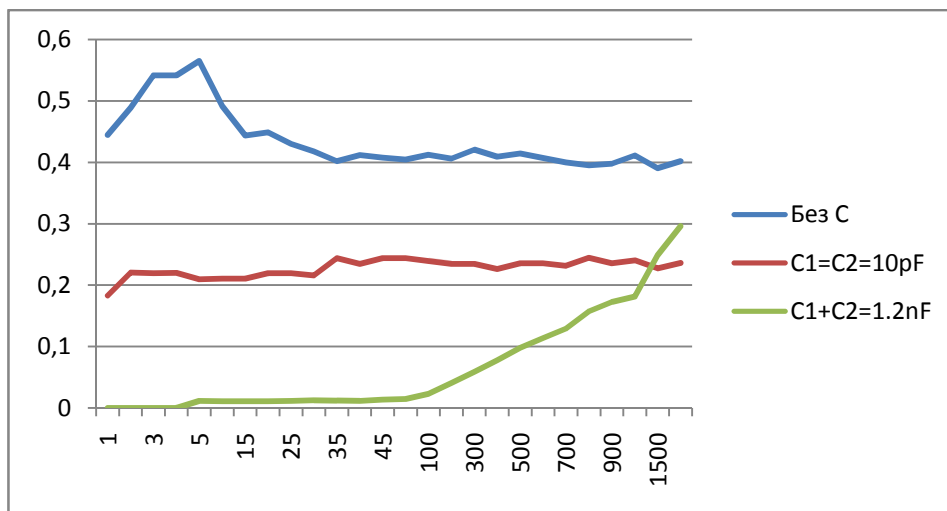


Рисунок 38 – АЧХ инжектора помех при распространении сигнала от  
входа к выходу

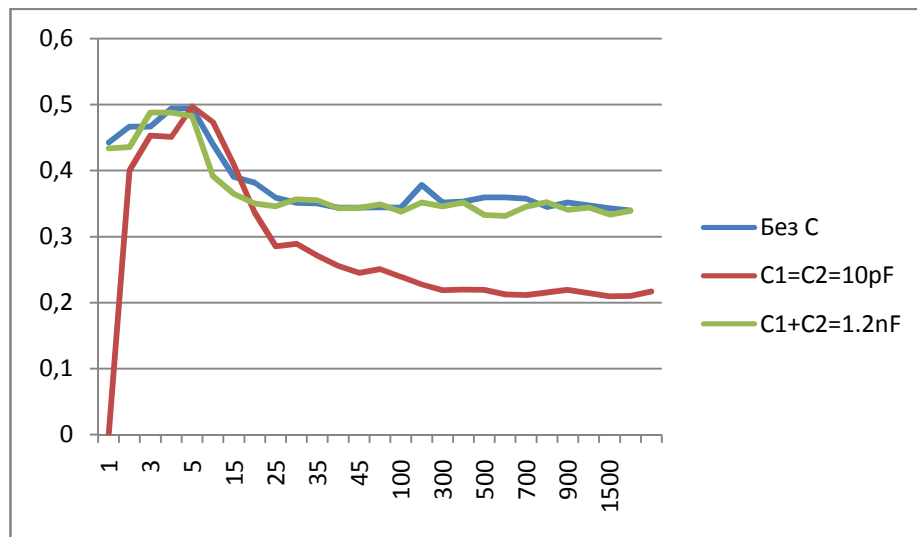


Рисунок 39 – АЧХ инжектора помех при распространении сигнала от  
выхода ко входу

Полученные экспериментальные данные будут использоваться при разработке устройства тестирования интерфейсных систем на устойчивость к одиночным сбоям.

### 3.3Схемотехническая часть

Для проведения испытаний интерфейсных систем на устойчивость к одиночным сбоям обычно необходимо огромное число стационарного сложного оборудования, позволяющего создавать и внедрять разного рода помехи в объект испытаний. В связи с этим, была поставлена задача разработать переносное устройство, позволяющее проводить тестирование данных систем на устойчивость к одиночным сбоям.

#### 3.3.1Оценка приборов

Из-за отсутствия аналогов данного типа приборов рассмотрим набор приборов, необходимых для проверки помехозащищенности информационных каналов обмена данными.

Таблица 4 – Генераторы белого шума.

| Параметр                                    | АКИП-3501/1                         | Гамма-ГШ18                         | Соната-РС2                       | Прибор                            |
|---------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| Диапазон частот, МГц                        | От 15 до 415                        | От 0,01 до 1800                    | до 2 ГГц                         | От 0,1 до 3 МГц                   |
| Диапазон регулировки выходного сигнала, дБм | От 2 до 30±2<br>(от 280мВ до 7,1 В) | От 0 до 20<br>(от 220 мВ до 2,2 В) | Не менее 10<br>(не менее 700 мВ) | От -7 до 25<br>(от 100 мВ до 4 В) |
| Коэффициент качества шума                   | —                                   | 0,85                               | не менее 0,8                     | Не менее 0,7                      |

Данные генераторы (таблица 4) необходимы для тестирования интерфейсов к естественному шуму в сигнальных цепях (флуктуационные помехи).

Вводимые искажения являются аддитивным типом помех, что приводит к необходимости предусматривать защитные цепи, для избегания подачи относительно мощного сигнала на выходы генераторов, хотя у современных генераторов выходы защищены производителем.

Генераторы специальной формы, приведенные в таблице 5. Данные генераторы используются для введения синфазных и аддитивных помех (во втором случае необходимы дополнительные цепи защиты).

Таблица 5 – Генераторы сигналов специальной форма.

| Параметр               | Г6-46                                                        | Agilent 33220A                                      | АКИП-3404                                                                                                              | Прибор                                                        |
|------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| Диапазон частот        | от 0,1 Гц до 1 МГц                                           | 1 мкГц - 20 МГц                                     | 2 мкГц - 125 МГц (синус)<br>2 мкГц - 65 МГц (Импульс, меандр)<br>2 мкГц - 31,25 МГц (Треугольник пила)                 | От 10 кГц до 500 кГц (Синус)<br>От 200 кГц до 3 МГц (Импульс) |
| Виды выходного сигнала | Синус, прямоугольной формы (уровень ТТЛ), пила, треугольник, | Синус, меандр, пила, треугольник, белый шум (9 МГц) | Синус, треугольник, меандр, импульс, пила, Sin X/X, Гауссовский и экспоненциальный сигналы, шум, постоянное напряжение | Синус, Импульс                                                |
| Выходной уровень       | не менее 5 В (размах 10 В)<br>не менее 10 В (размах 20 В)    | 12 В на нагрузке 50 Ом<br>24 В без нагрузки         | 10 мВ...10 В на нагрузке 50 Ом                                                                                         | До 10 В                                                       |

### 3.3.2 Выбор и обоснование структурной схемы

Структурная схема прибора приведена на рисунке 40. Условные обозначения: БИиУ - блок индикации и управления, МК - микроконтроллер, БПУ - блок предварительной установки, БКП - блок коммутации помех, БР - блок разъемов.

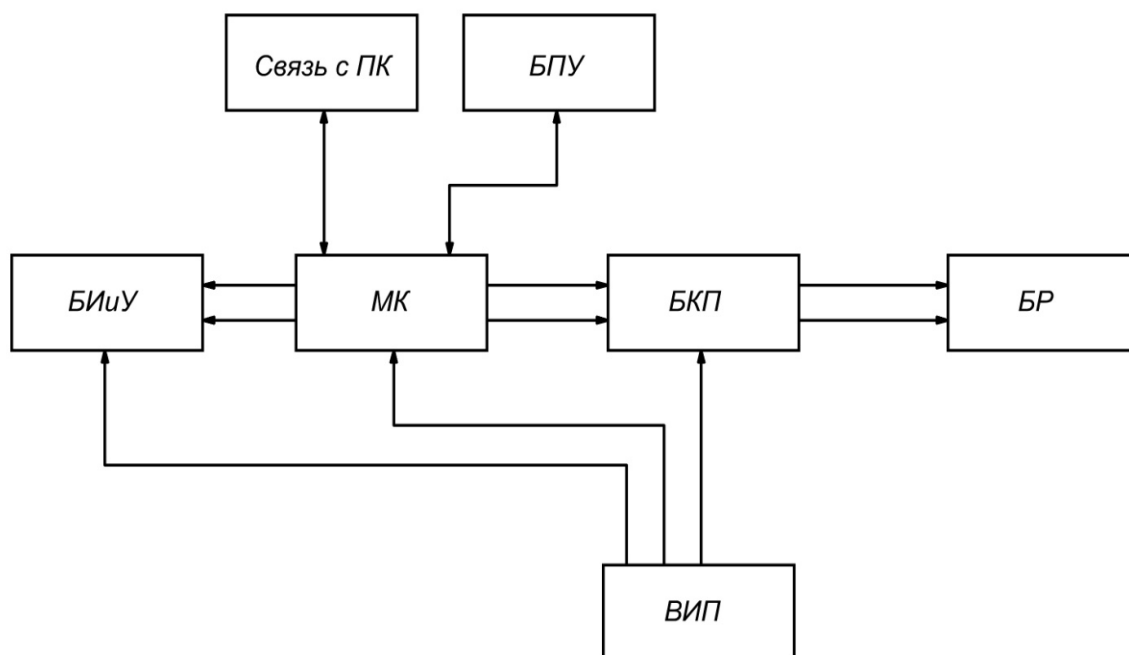


Рисунок 40 – Структурная схема прибора

Функциональное назначение блоков:

1. БИиУ - интерфейс пользовательского взаимодействия;
2. БПУ - хранит параметры предварительной настройки прибора при включении (ПЗУ), хранит настроечную конфигурацию в процессе работы (ОЗУ);
3. МК - основное вычислительное ядро прибора;
4. БКП - блок инъекции помех в каналы связи;
5. БР - блок разъемов и соединителей с оконечными устройствами.

Принцип работы: в момент подачи питания МК считывает начальные параметры работы прибора из ПЗУ(БПУ), записанные заранее, инициализирует пользовательский интерфейс и интерфейс связи с ПК. Оператор задает параметры настройки, типы вводимых помех, протокол информационно-логического взаимодействия через пользовательский интерфейс или с помощью ПК по USB и запускает тестирование. В этот момент МК, согласно выбранным параметрам, формирует сообщения во внешние шины и данные о помехе в БКП. БКП, получив данные о помехах, генерирует аналоговый сигнал и вводит

его в линии связи канала информационного обмена данными. Блок разъема служит для подключения окончного устройства к прибору.

Основой прибора является блок коммутации помех, отвечающий за введение помех в сигнальные линии связи. Подробная структурная схема представлена на рисунке 41.

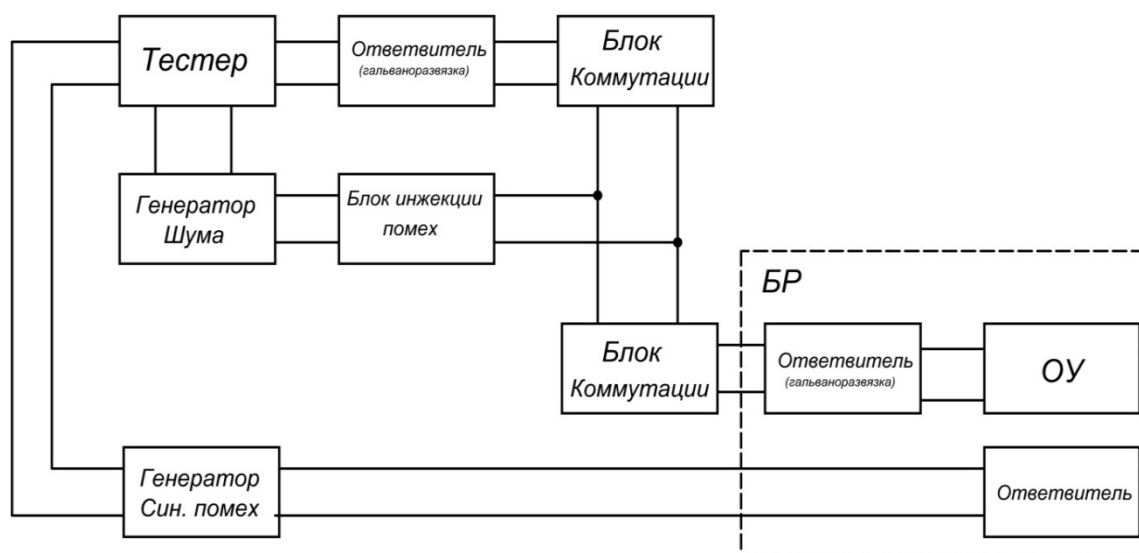


Рисунок 41 – Блок коммутации помех

В роли тестера выступает МК (рисунок 40). Он формирует необходимые управляющие воздействия для управления генераторами шума и синфазных помехи и вводит его через блок инъекции (или ответвитель) в информационную шину. С другой стороны, к шине через блок коммутации и гальваноразвязку (для электрической изоляции) подключается МК, в результате чего происходит наложение двух сигналов. Результирующий сигнал и отправляется в окончное устройство.

### 3.3.3 Принципиальная схема

В соответствии со структурной схемой была разработана принципиальная схема (см. приложение В). Схема управления базируется на микроконтроллере (МК) ATXMega128A1, контроллеры базовых интерфейсов

(SPI, I2C, UART) - базовая периферия МК, контроллеры промышленных интерфейсов (RS232, RS485) семейства MAX. Так же имеется микросхема CP2102 преобразователя USB-UART, для связи с ПК.

Схема генератора помех (приложение Г) базируется на внешних ЦАП AD7303, управляемых с МК посредством интерфейса SPI, и усилителях сигнала AD8034.

Схема питания приведена в приложении Д.

Пример разводки одной из печатных плат (генератор помех) для данного проекта приведен на рисунках 42-44. Общий вид слоев приведен на рисунке 45.

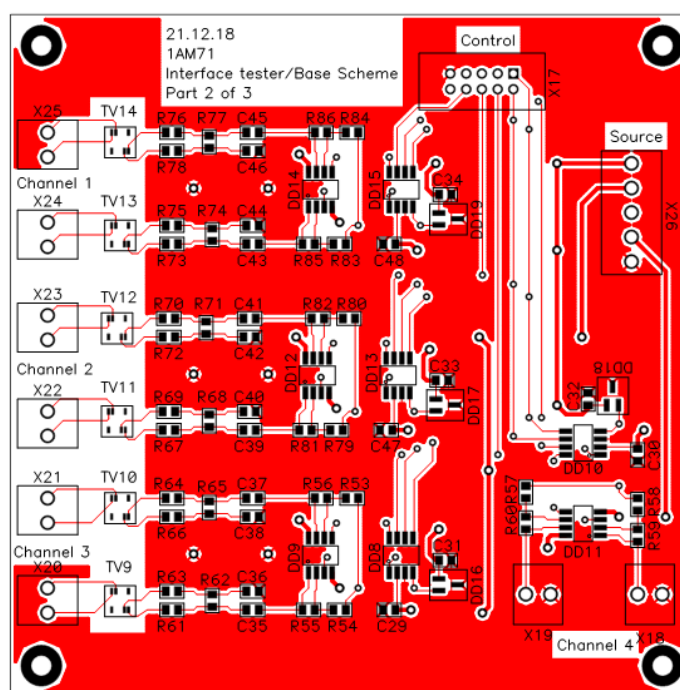


Рисунок 42– Верхний слой печатной платы

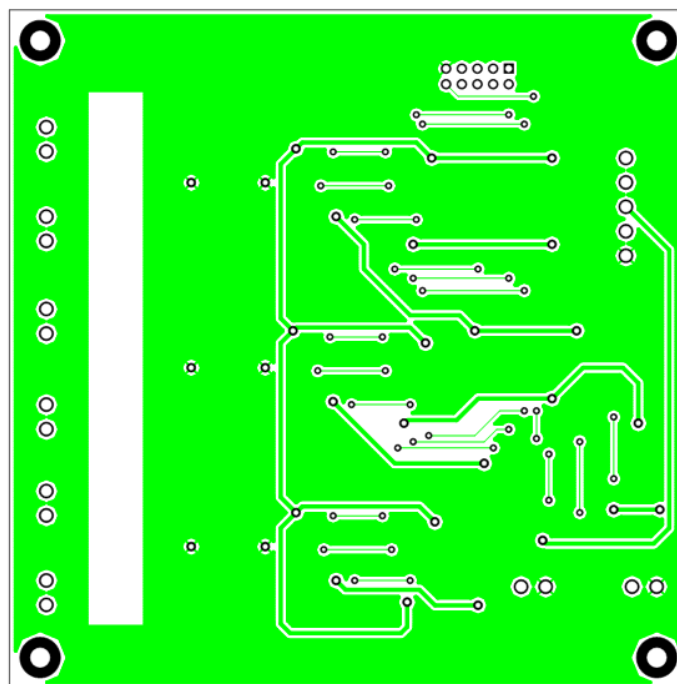


Рисунок 43 – Нижний слой печатной платы

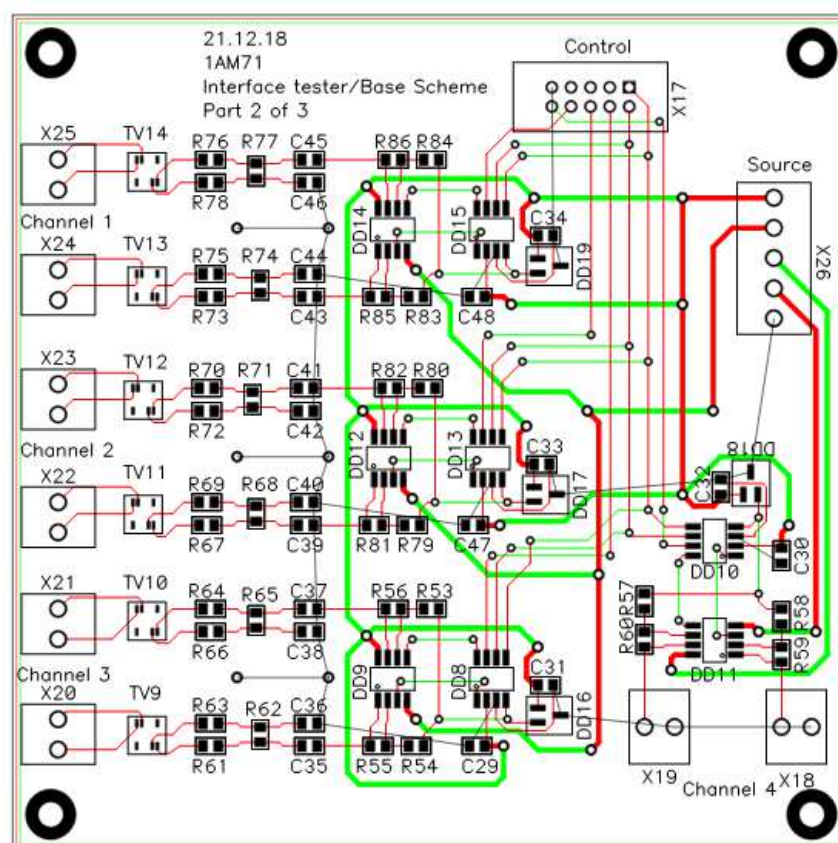


Рисунок 44 – Общий вид печатной платы без заливки

## Выводы по разделу

В данном разделе проводилась отработка полученных знаний.

В написанном ПО реализованы следующие функции:

1. Расчет КСм по алгоритмам: суммирование по модулю 0x100, CRC8, CRC10, CRC12, CRC15, CRC16;
2. Возможность задавать исходное сообщение для расчета;
3. Возможность изменять количество одиночных сбоев в рассчитываемой комбинации (до 7 неисправных бит);
4. Возможность генерировать таблицы для расчета CRC табличным методом;
5. Возможность временной оценки расчета алгоритмов КС;
6. Возможность изменять образующий полином для алгоритма CRC8;
7. Возможность автоматического поиска минимальной длины защищаемой информации.

Функция автоматического поиска минимальной длины пакета, несмотря на законченность, является не оптимизированной. Процессор ПК не справляется с объемом расчетов, из-за чего время ожидания поиска невероятно высоко. В данный момент рассматривается вариант перевода этих расчетов на вычислительные сопроцессоры видеокарты, обладающие более высокой вычислительной способностью, и распараллелить процессы вычисления.

В написанном ПО не реализованы следующие функции:

1. Возможность вручную задавать все параметры алгоритма CRC;
2. Возможность изменять образующий полином для алгоритма CRC10, CRC12, CRC15, CRC16;

Из полученных данных видно, что алгоритмы видят все однократные, двукратные и трехкратные ошибки в рабочей области, с ростом количества неисправных бит в информации качество защиты алгоритмов снижается, при этом, при четных количествах ошибочных бит наблюдается просадка надежности.

Из анализа временных характеристик стало ясно, что на время расчета контрольной суммы влияет лишь длина исходного сообщения, и не зависит от длины исходного полинома CRC.

Что касается разрабатываемого устройства, из-за отсутствия аналогов данного типа приборов были рассмотрены набор приборов, необходимых для проверки помехозащищенности информационных каналов обмена данными, и на основе полученных данных определены первоначальные параметры и характеристики. Определены структурные схемы и спроектированы принципиальные.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

| Группа              |              | ФИО                         |                                                                                      |
|---------------------|--------------|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 1AM71               |              | Авдеенок Павел Владимирович |                                                                                      |
| Школа               | ИШНКБ        | Отделение                   | Электронной инженерии                                                                |
| Уровень образования | Магистратура | Направление/специальность   | 11.04.04 Электронные системы, контроля, управления, диагностики в технике и медицине |

Тема ВКР: «Исследование способов повышения надежности передачи информационных каналов обмена данными»

| Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения                                                                                                                                                                                  | <p>Объект исследования: прибор для определения помехозащищенности информационных каналов обмена данными</p> <p>Область применения:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- радиотехнические устройства</li> <li>- исследовательская лаборатория</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> | <p>1.1 Анализ выявленных вредных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-микроклимат;</li> <li>-недостаток естественного света, недостаточная освещенность рабочей зоны;</li> <li>-повышенный уровень шума на рабочем месте;</li> <li>-повышенный уровень электромагнитных излучений;</li> <li>-вредные вещества</li> </ul> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- поражение электрическим током</li> <li>- механические опасности</li> <li>- термические опасности</li> <li>- повышенный уровень статического электричества.</li> <li>- пожарная опасность</li> </ul> |
| 2. Экологическая безопасность:                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- При пайке радио элементов испаряются вредные вещества в атмосферу;</li> <li>- Практическое отсутствие воздействия на литосферу;</li> <li>- Малое влияние на гидросферу</li> <li>- Пути утилизации при наличии отходов (обрезки провода, бумага, люминесцентные лампы, орг.техника. Направления утилизации.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:                                                                                                                                                                                                                                                                       | <p>В лабораторном помещении возможно возникновении ЧС типа:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ЧС природного характера;</li> <li>-аномальные морозы;</li> <li>- ЧС техногенного характера</li> </ul> <p>- исключение несанкционированного проникновения на рабочее место.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

|                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности, перечень НТД: | Соблюдение законов (трудовой и гражданский кодексы) и требований к рабочему месту. Руководитель (ответственный) принимает обязательства выполнения и организации правил эвакуации и соблюдение требования безопасности в помещении, а также контроль за исправностью работы в помещении. Нормативные документы: ГОСТы, СанПины, СНиПы. |
|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                                                      |  |
|------------------------------------------------------|--|
| Дата выдачи задания для раздела по линейному графику |  |
|------------------------------------------------------|--|

**Задание выдал консультант:**

| Должность     | ФИО          | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|---------------|--------------|---------------------------|---------|------|
| Профессор ТПУ | Федорчук Ю.М | Д.т.н.                    |         |      |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО                         | Подпись | Дата |
|--------|-----------------------------|---------|------|
| 1AM71  | Авдеенок Павел Владимирович |         |      |

#### **4Социальная ответственность**

Сутью данного раздела является принятие проектных решений, исключающих несчастные случаи в производстве и снижение вредных воздействий на окружающую среду.

##### **Введение**

Изготовление и проектирование прибора для определения помехозащищенности информационных каналов обмена данными осуществлялось в лабораторииотделения электронной инженерии. Лаборатория имеет приборы, с помощью которых можно осуществлять радиомонтаж навесных электронных компонентов, программирование микроконтроллеров и тестирование макета прибора. В целях безопасности для работников, общества и окружающей среды разработаем комплекс мероприятий технического, организационного характера, которые минимизируют негативные последствия проектируемой деятельности.

## 4.1 Производственная безопасность

Опасные и вредные факторы при выполнении работ по разработке прибора для диагностики цифровых микросхем приведем в таблице 6.

Таблица 6 – Опасные и вредные факторы при разработке прибора для диагностики цифровых микросхем

| Источник фактора, наименование видов работ                                                                                                                                                                                                                                                     | Факторы                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                | Нормативные документы                                                                                                                                                                                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Вредные                                                                                                                                                                                       | Опасные                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                        |
| Разработка прибора:<br>1.Расчет принципиальной схемы<br>2.создание печатной платы;<br>3.сборка печатного узла<br>4.Программирование устройства<br>5.Создание лабораторного образца<br>6.Экспериментальное исследование характеристик и параметров<br>7.Изготовление экспериментального образца | 1.Отклонение показателей микроклимата;<br>2.Недостаточная освещенность рабочей зоны;<br>3.Повышенный уровень электромагнитных излучений;<br>4.Вредные вещества;<br>5.Повышенный уровень шума; | 1.Подвижные части обрабатывающего оборудования;<br>2.Электрический ток;<br>3. Термический ожог;<br>4.Повышенный уровень статического электричества;<br>5.Пожарная безопасность | ГОСТ 12.1.003 – 2014ССБТ;<br>ГОСТ Р 12.1.019-2009;<br>ГОСТ 12.2.003–91 ССБТ;<br>ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ;<br>СанПиН 2.2.4-548-96;<br>СанПиН 2.2.4.1191–03;<br>СН 2.2.4/2.1.8.562–96;<br>СП 52.13330.2011; |

## 4.2 Анализ выявленных вредных факторов

### 4.2.1 Отклонение показателей микроклимата

Микроклимат производственного помещения оказывает большое влияние на организм человека, на его здоровье и самочувствие, работоспособность и производительность труда.

Рабочие, не имея возможности эффективно влиять на протекающие в атмосфере климатообразующие процессы, располагают качественными системами управления факторами воздушной среды внутри производственных помещений.

Под микроклиматом понимают климат внутренней среды помещений, который определяется совместно действующими на организм человека относительной влажностью, температурой и интенсивностью теплового излучения, а также температурой окружающих поверхностей согласно ГОСТ 12.1.005-88.

К показателям, характеризующим микроклимат согласно ГОСТ 12.1.005-88. относятся:

1. температура воздуха, °С;
2. относительная влажность, %;
3. скорость движения воздуха, м/с;

Приведем оптимальные и допустимые показатели микроклимата производственных помещений согласно СанПиН 2.2.4.548-96 в таблице 7 и 8.

Таблица 7 – Оптимальные показатели микроклимата

| Период года | Категория работ по уровням энергозатрат, ккал/ч | Температура воздуха, С° | Относительная влажность воздуха, % | Скорость движения воздуха, м/с |
|-------------|-------------------------------------------------|-------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| Холодный    | Іб (140-174)                                    | 21-23                   | 40-60                              | 0,1                            |
| Теплый      | Іб (140-174)                                    | 22-24                   |                                    | 0,2                            |

Таблица 8 – Допустимые показатели микроклимата на рабочих местах производственных помещений (СанПиН 2.2.4.548-96)

| Период года | Категория работ по уровням энергозатрат, ккал/ч | Температура воздуха, С°   |                            | Относительная влажность воздуха, % | Скорость движения воздуха, м/с          |
|-------------|-------------------------------------------------|---------------------------|----------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------|
|             |                                                 | Нижняя допустимая граница | Верхняя допустимая граница |                                    | Допустимая на постоянных рабочих местах |
| Холодный    | Іб (140-174)                                    | 20                        | 24                         | 20-80                              | ≤ 0,2                                   |
| Теплый      | Іб (140-174)                                    | 21                        | 28                         | 20-80                              | 0,1-0,3                                 |

Лаборатория и корпус имеет центральное отопление. Для работы с выделением горючих и поддерживающих горение паров и газов, лаборатория оборудована системой вентиляции. Измеренные показатели микроклимата лаборатории соответствуют оптимальным показателям. Рекомендации по созданию оптимальных условий:

1. Отопление в холодный период года;

2. Система вентиляции в теплый период года;
3. Использование СИЗ.

В процессе конструирования прибора необходимо использовать следующие СИЗ:

1. Антистатический халат;
2. Защитные очки;
3. Антистатический браслет;
4. Медицинскую маску при работе с оловянно-свинцовым припоем.

#### **4.2.2 Недостаточная освещенность**

Свет– это один из важнейших факторов внешней среды, который оказывает разносторонне биологическое действие на организм и играющий важную роль в сохранении здоровья и высокой работоспособности. Повышенная производительность труда, высокий уровень работоспособности и положительное психологическое действие на человека в высокой степени зависит от правильно спроектированного освещения.

В лаборатории используются два вида освещения:

1. Естественное;
2. Искусственное.

Естественное боковое и искусственное рабочее, а также комбинированное, которое состоит из местного освещения рабочих мест и общего освещения помещения.

При плохом освещении быстро утомляются глаза как вследствие организма в целом. Недостаточность освещения может привести к травматизму: плохо освещенные опасные зоны, слепящие лампы, резкие тени ухудшают или вызывают полную потерю зрения и ориентации.

Согласно СНиП 23-05-95\* (СП 52.13330.2011), в процессе выполнения экспериментальной части магистерской диссертации, производились зрительные работы, относящиеся к 3 разряду – высокая точность, наименьший

размер объекта различения 0,3 – 0,5 мм, подразряд работы – в, контраст объекта различения с фоном – большой, характеристика фона – темный, значение комбинированного освещения 600 Лк. Значение показателя ослеплённости (Р) не более 20, а коэффициента пульсации (Кп) не более 15 %.

Коэффициент естественного освещения (КЕО) при верхнем или комбинированном освещении равен 3%, при боковом – 1,2%.

Лаборатория, в которой проводились работы обладает следующими габаритными размерами: длина помещения  $A=11$  м, ширина  $B=6$  м, высота  $H=4,5$  м. Высота рабочей поверхности над полом  $h_p = 0,8$  м.

Рассчитаем площадь помещения  $S$ :

$$S = A \cdot B, \quad (4)$$

где  $A$  – длина, м;

$B$  – ширина, м.

$$S = A \cdot B = 66$$

Коэффициент отражения свежепобеленных стен с окнами, без штор  $\rho_c = 50\%$ , свежепобеленного потолка  $\rho_{\Pi} = 70\%$ . Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли равен  $K_3 = 1,5$ . Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп  $Z=1,1$ .

Выбираем лампу дневного света ЛХБ-80 световой поток которой равен  $\Phi_{\text{лд}} = 3840$  Лм.

Выбираем светильники с люминесцентными лампами типа ШОД-2-80. Этот светильник имеет две лампы мощностью 80Вт каждая, длина светильника равна 1227 мм, а ширина – 265 мм.

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина  $\lambda$ , которая для люминесцентных светильников с защитной решёткой лежит в диапазоне 1,1–1,3. Принимаем  $\lambda = 1,1$ , расстояние светильников от перекрытия (свес)  $h_c = 1,3$ .

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = h_n \cdot h_p, \quad (4)$$

где  $h_n$  – высота светильника над полом, высота подвеса,

$h_p$  – высота рабочей поверхности над полом.

Наименьшая допустимая высота подвеса над полом для двухламповых светильников ШОД:  $h_n = 2,5 \text{ м}$ .

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = H - h_p - h_c = 4,5 - 0,8 - 1,3 = 2,4 \text{ м} \quad (5)$$

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле:

$$L1 = \lambda \cdot h = 1,1 \cdot 2,4 = 2,7 \text{ м} \quad (6)$$

$$L2 = 2,128 \text{ м} \quad (7)$$

Число рядов светильников в помещении:

$$N_b = B / L = 6 / 2,7 = 2,22 \approx 2 \quad (8)$$

Число светильников в ряду:

$$N_a = A / L = 12 / 2,64 = 4,54 \approx 4 \quad (9)$$

Общее число светильников:

$$N = N_a \cdot N_b = 2 \cdot 4 = 8 \quad (10)$$

Расстояние от крайних светильников или рядов до стены определяется по формуле:

$$l1 = L1 / 3 = 2,7 / 3 = 0,9 \text{ м} \quad (11)$$

$$l2 = L2 / 3 = 2,128 / 3 = 0,709 \text{ м} \quad (12)$$

Подставим все значения для проверки:

$$A = 2 \cdot L1 + 2/3 \cdot L1 + 3 \cdot 265 = 3 \cdot 2700 + 2/3 \cdot 2700 + 4 \cdot 265 = 10960 \quad (13)$$

$$B = L2 + 2/3 L2 + 2 \cdot 1227 = 2128 + 2/3 \cdot 2128 + 2 \cdot 1227 = 6000 \quad (14)$$

Относительная погрешность расчета для длины помещения (параметр  $A$ ) составляет 0,36%, что меньше средней инженерной погрешности в 10%, следовательно результаты расчетов удовлетворительны.

Изобразим схему размещения светильников в помещении на рисунке 46.

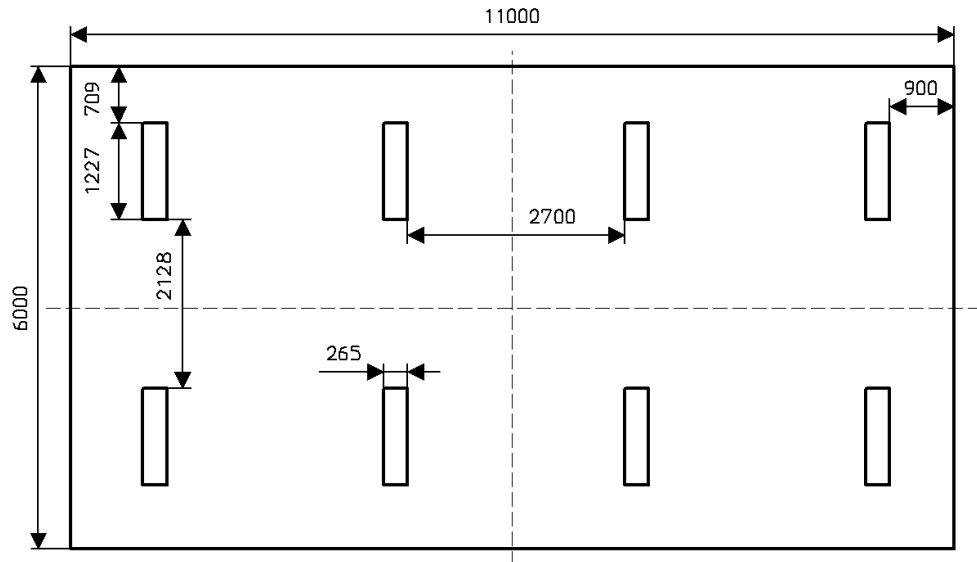


Рисунок 45–Схема размещения светильников

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A+B)} = \frac{11 \cdot 6}{2,7 \cdot (11+6)} = 1,34 \approx 1,3 \quad (15)$$

Коэффициент использования светового потока, который показывает, какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность, для светильников типа ШОД-2-80 с люминесцентными лампами при  $\rho_{\text{п}}=70\%$ ,  $\rho_{\text{с}}=50\%$  и индексе помещения  $i=1,3$  равен  $\eta=0,5$ .

Необходимый световой поток 1 люминесцентной лампы светильника определяется по формуле:

$$\Phi_{\text{п}} = \frac{E \cdot A \cdot B \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 11 \cdot 6 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{2 \cdot 6 \cdot 0,5} = 3630 \quad (16)$$

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{лд}} - \Phi_{\text{п}}}{\Phi_{\text{лд}}} \cdot 100\% \leq 20\% \quad (17)$$

$$\frac{\Phi_{\text{л0}} - \Phi_n}{\Phi_{\text{л0}}} \cdot 100\% = \frac{3840 - 3630}{3840} \cdot 100\% = 5,5\% \quad (18)$$

Таким образом, мы получили, что необходимый световой поток не выходит за пределы требуемого диапазона. Теперь рассчитаем мощность осветительной установки:

$$P_{\text{ОУ}} = N \cdot P_{\text{шд}} \quad (19)$$

$$P_{\text{ОУ}} = 8 \cdot 2 \cdot 80 = 1280 \text{ Вт} \quad (20)$$

### 4.2.3 Повышенный уровень шума

На рабочем месте шум возникает при работе ламп импульсного нагрева, вентиляции персонального компьютера и при воздействии внешних факторов.

Шум неблагоприятно воздействует на организм человека, вызывает психические и физиологические нарушения, снижение слуха, работоспособности, создают предпосылки для общих и профессиональных заболеваний и производственного травматизма, а также происходит ослабление памяти, внимания, нарушение артериального давления и ритма сердца.

Уровни шума не должны превышать значений установленных в ГОСТ 12.1.003 – 2014, и их проверка должна проводиться не реже двух раз в год.

Основной характеристикой шума является предельно допустимый уровень (ПДУ) шума. Предельно допустимый уровень (ПДУ) шума - это уровень фактора, который при ежедневной(кроме выходных дней) работе, но не более 40 часов в неделю в течение всего рабочего стажа, не должен вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений. Соблюдение ПДУ шума не исключает нарушения здоровья у сверхчувствительных лиц.

По ГОСТ 12.1.003 – 2014 нормируются параметры шума и при проведении работ уровень шума должен быть не более 82 Дб;

При значениях выше допустимого уровня необходимо предусмотреть средства индивидуальной защиты(СИЗ) и средства коллективной защиты (СКЗ) от шума.

Средства коллективной защиты:

1. устранение причин шума или существенное его ослабление в источнике образования;
2. изоляция источников шума от окружающей среды (применение глушителей, экранов, звукопоглощающих строительных материалов);
3. применение средств, снижающих шум и вибрацию на пути их распространения;
4. Средства индивидуальной защиты;
5. применение спецодежды и защитных средств органов слуха: наушники, беруши, антифоны.

#### **4.2.4Повышенный уровень электромагнитных излучений**

Источником электромагнитных излучений являются проводники, дискретные радиоэлементы, места контактов, ПК. Электромагнитные излучения представляют собой распространяющиеся в пространстве электрические и магнитные поля.

Минимальное влияние среди всех источников являются осциллограф и лабораторный источник питания, так как в нем используется экранирование материалом с большой магнитной проницаемостью, поэтому большого вреда он не принесет.

В процессе работы с компьютером необходимо соблюдать правильный режим труда и отдыха. В противном случае у персонала отмечаются значительное напряжение зрительного аппарата с проявлением жалоб на неудовлетворенность работой, головные боли, раздражительность, нарушение сна, усталость и болезненные ощущения в глазах, в пояснице, в области шеи и руках.

Санитарные правила устанавливают санитарно-эпидемиологические требования (СанПиН 2.2.4.1191–03.) к условиям производственных воздействий ЭМП, которые должны соблюдаться при проектировании, реконструкции, строительстве производственных объектов, при проектировании, изготовлении и эксплуатации отечественных и импортных технических средств, являющихся источниками ЭМП.

Таким образом, на расстоянии полуметра монитор ноутбука излучает электромагнитное поле величиной 2 мГс, а такая доза начинает плохо воздействовать на организм. На расстоянии 10 см от экрана ноутбука индукция равна от 8 до 10 мТл, что не превышает норму. Расстоянием, безопасным для человека, работающего за компьютером, является 80 см и более от экрана монитора.

Согласно СанПиН 2.2/2.2.1340-временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ, составляют:

1. напряженность электрического поля в диапазоне частот 5 Гц - 2кГц – 25 В/м;
2. напряженность электрического поля в диапазоне частот 2 кГц - 400кГц – 2,5 В/м;
3. плотность магнитного потока в диапазоне частот 5 Гц - 2кГц – 250 нТл;
4. плотность магнитного потока в диапазоне частот 2 кГц - 400кГц – 25 нТл;
5. электростатический потенциал экрана видеомонитора – 500 В.
6. защита человека от воздействия электромагнитного излучения осуществляется с помощью СИЗ и СКЗ.

Средства коллективной защиты:

1. экранирование источника излучения и рабочего места (рекомендуется проводить при помощи заземленных камер из листового металла или металлической сетки);
2. установление санитарно-защитной зоны;

3. уменьшение излучения от источника;
4. конструктивное совершенствование оборудования с целью снижения используемых уровней ЭМП, общей потребляемой и излучаемой мощности оборудования;
5. поглощение или уменьшение образования зарядов статического электричества;

Предельно допустимые условия для электромагнитного излучения:  $P=10$  мкВт/см<sup>2</sup> время работы составляет 8 часов;  $P=(10-100)$  мкВт/см<sup>2</sup> время работы составляет не более 2 часов;  $P>100$  мкВт/см<sup>2</sup> время работы составляет не более 20 минут;

Средства индивидуальной защиты:

1. Очки и специальная одежда, выполненная из металлизированной ткани (кольчуга). При этом следует отметить, что использование СИЗ возможно при кратковременных работах и является мерой аварийного характера. Ежедневная защита обслуживающего персонала должна обеспечиваться другими средствами.
2. Вместо обычных стекол используют стекла, покрытые тонким слоем золота или диоксида олова (SnO<sub>2</sub>).

#### **4.2.5 Вредные вещества в воздухе рабочей зоны**

Исследуемый прибор включает в себя:

1. Микроконтроллер;
2. макетные платы;
3. дискретные электронные компоненты;

Процесс изготовления печатной платы сопровождается удалением лишнего медного покрытия. Травление меди преимущественно осуществляется при помощи раствора хлорного железа. Данный раствор относится к третьему классу опасности в соответствии с ГОСТ 12.1.007 – 76. При попадании на человека может вызвать кожную аллергическую реакцию и повреждение глаз.

Соединение электронных компонентов на печатной плате производится с помощью пайки. Пайка осуществляется с помощью оловянно-свинцового припоя и использования канифоли, для снятия оксидной пленки. В результате пайки происходит испарение вредных веществ, которые в свою очередь влияют на здоровье человека и окружающую среду. Приведем в таблице 9 вещества, которые выделяются в процессе пайки, а так же класс опасности и предельно-допустимые концентрации (ПДК) для припоев.

Таблица 9 – Класс опасности и ПДК припоев

| Вещество (состав)                          | Класс опасности | ПДК в воздухе рабочей зоны мг/м <sup>3</sup> |
|--------------------------------------------|-----------------|----------------------------------------------|
| Припой<br>ПОС 40; ПОС 61<br>ПОЦ 10; ПОЦ 55 | 1<br>3          | 0,01( По свинцу )<br>10 (По олову)           |

Где класс опасности по степени воздействия на организм:

1 - чрезвычайно опасные;

3 - умеренно опасные

Для уменьшения вредных факторов лаборатория должна быть оснащена СКЗ, а так же необходимо использовать средства индивидуальной защиты:

1. резиновые перчатки по ГОСТ 20010,
2. защитные очки по ГОСТ 12.4.013,
3. хлопчатобумажные халаты по ГОСТ 12.4.132 и ГОСТ 12.4.131,
4. фартуки по ГОСТ 12.4.029) в соответствии с "Типовыми отраслевыми нормами выдачи спецодежды, спецобуви и других средств индивидуальной защиты", введенными в действие указанием Министерства от 09.02.83 г. N 74

Средства коллективной защиты:

1. Общеобменная приточно-вытяжная вентиляция на производственных участках;
2. местная вытяжная вентиляция на рабочих местах обезжиривания, лужения, пайки, очистки от остатков флюса в соответствии с ГОСТ 12.4.021,

ОСТ 4Г 0.029.233, ОСТ 4Г 0.033.200, СНиП 2.04.05, обеспечивающие содержание в воздухе рабочей зоны вредных паров и аэрозолей, не превышающие предельно допустимые концентрации (ПДК) по ГОСТ 12.1.005;

#### **4.3 Анализ выявленных опасных факторов**

##### **4.3.1 Поражение электрическим током**

Электробезопасность представляет собой систему организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статистического электричества.

Основным источником электрического тока является источник питания электронного узла.

Причинами воздействия тока на человека являются: случайные проникновения или приближение на опасное расстояние к токоведущим частям; появление напряжения на металлических частях оборудования в результате повреждения изоляции; короткое замыкание и др.

В зависимости от возможности поражения электрическим током помещения подразделяют на три группы:

1. без повышенной опасности;
2. с повышенной опасностью;
3. особо опасные.

К помещениям без повышенной опасности относятся сухие, непыльные помещения с нормальной температурой воздуха и изолирующими полами.

Помещения с повышенной опасностью характеризуются наличием в них одного из следующих условий, создающих повышенную опасность:

1. Сырость (относительная влажность воздуха длительно превышает 75%) или токопроводящая пыль;

2. Токопроводящие полы (металлические, железобетонные, кирпичные и т.п.);
3. Высокая температура;
4. Возможность одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям зданий, технологическим аппаратам и т.п., с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования – с другой.
5. Особо опасные помещения характеризуются наличием в них одного из следующих условий:
  6. Особая сырость (относительная влажность воздуха близка к 100%);
  7. Химически активная или органическая среда;
  8. Одновременное выполнение двух или более условий повышенной опасности.

Лаборатория относится к помещению с повышенной опасностью поражения электрическим током. В помещении применяются следующие меры защиты от поражения электрическим током: недоступность токоведущих частей для случайного прикосновения, все токоведущие части изолированы и ограждены. Недоступность токоведущих частей достигается путем их надежной изоляции, применения защитных ограждений (кожухов, крышек, сеток и т.д.), расположения токоведущих частей на недоступной высоте.

Поражение электрическим током чаще всего наступает при небрежном обращении с приборами, при неисправности электроустановок или при их повреждении.

Правильно оценить опасность поражения электрическим током позволяют предельно-допустимые значения напряжения прикосновения и тока, протекающего через тело человека, в нормальном и аварийном режимах производственных и бытовых электроустановок напряжением до и выше 1 кВ в зависимости от продолжительности воздействия тока.

Предельно-допустимые значения напряжений прикосновения и токов установлены для путей тока от одной руки к другой и от рук к ногам.

Напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном (неаварийном) режиме работы электроустановки, не должны превышать значений, указанных в таблице 10.

Таблица 10 – Допустимое напряжение прикосновения  $U_h$  и ток  $I_h$ , протекающий через тело человека при нормальном режиме работы электроустановки

| Род и частота тока | $U_h$ , В не более | $I_h, h$ , мА не более |
|--------------------|--------------------|------------------------|
| Переменный 50 Гц   | 2,0                | 0,3                    |
| Переменный 400 Гц  | 3,0                | 0,4                    |
| Постоянный         | 8,0                | 1,0                    |

Примечание:

1. Напряжения прикосновения и токи приведены при продолжительности воздействия не более 10 мин. в сутки и установлены исходя из реакции ощущения.

2. Напряжения прикосновения и токи для лиц, выполняющих работу в условиях высоких температуры (выше 25°C) и влажности (относительная влажность более 75%), должны быть уменьшены в 3 раза.

Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов при аварийном режиме производственных и бытовых электроустановок напряжением до 1 кВ не должны превышать значений, указанных соответственно в таблицах 10 и 11.

Таблица 11 – Предельно допустимые напряжение прикосновения  $U_h$  и ток  $I_h$ , протекающий через тело человека, при аварийном режиме работы производственных электроустановок напряжением до 1 кВ

| Род и частота тока             | Нормируемая величина              | Предельно допустимые значения $U_h$ , $I_h$ при продолжительности воздействия не более $t$ , с |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |          |
|--------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|----------|
|                                |                                   | 0,01-0,08                                                                                      | 0,1        | 0,2        | 0,3        | 0,4        | 0,5        | 0,6        | 0,7        | 0,8        | 0,9        | 1,0        | >1,0     |
| Переменный 50 Гц               | $U_h$ , В<br>$I_h$ , мА           | 550<br>550                                                                                     | 340<br>400 | 160<br>190 | 135<br>160 | 120<br>140 | 105<br>125 | 95<br>105  | 85<br>90   | 75<br>75   | 70<br>55   | 60<br>50   | 20<br>6  |
| Переменный 400 Гц              | $U_h$ , В<br>$I_h$ , мА           | 650<br>650                                                                                     | 500<br>500 | 500<br>500 | 330<br>330 | 250<br>250 | 200<br>200 | 170<br>170 | 140<br>140 | 130<br>130 | 110<br>110 | 100<br>100 | 36<br>8  |
| Постоянный                     | $U_h$ , В<br>$I_h$ , мА           | 650<br>650                                                                                     | 500<br>500 | 400<br>400 | 350<br>350 | 300<br>300 | 250<br>250 | 240<br>240 | 230<br>230 | 220<br>220 | 210<br>210 | 200<br>200 | 40<br>15 |
| Выпрямленный двухполупериодный | $U_{ампл}$ , В<br>$I_{ампл}$ , мА | 650<br>650                                                                                     | 500<br>500 | 400<br>400 | 300<br>300 | 270<br>270 | 230<br>230 | 220<br>220 | 210<br>210 | 200<br>200 | 190<br>190 | 180<br>180 | -<br>-   |
| Выпрямленный однополупериодный | $U_{ампл}$ , В<br>$I_{ампл}$ , мА | 650<br>650                                                                                     | 500<br>500 | 400<br>400 | 300<br>300 | 250<br>250 | 200<br>200 | 190<br>190 | 180<br>180 | 170<br>170 | 160<br>160 | 150<br>150 | -<br>-   |

Безопасные номиналы токов и напряжений:  $I < 0,1$  А;  $U < (12-36)$  В;  $R_3 < 4$  Ом.

Средства индивидуальной защиты от поражения электрическим током:

1. В сетях до 1000 В: диэлектрические перчатки, диэлектрические галоши, инструмент с изолированными ручками, диэлектрические резиновые коврики;

2. Выше 1000 В: оперативные и измерительные штанги, изолирующие и токоизмерительные клещи, диэлектрические боты, диэлектрические перчатки, диэлектрические резиновые коврики.

Обеспечение электробезопасности техническими способами и средствами в соответствии с ГОСТ 12.1.019-79.

Для обеспечения защиты от случайного прикосновения к токоведущим частям необходимо применять следующие способы и средства:

1. защитные оболочки;
2. защитные ограждения (временные или стационарные);
3. безопасное расположение токоведущих частей;
4. изоляцию токоведущих частей (рабочую, дополнительную, усиленную, двойную);
5. изоляцию рабочего места;
6. малое напряжение;
7. защитное отключение;
8. предупредительную сигнализацию, блокировку, знаки безопасности.

Организационные и технические мероприятия по обеспечению электробезопасность.

Для обеспечения безопасности работ в действующих электроустановках должны выполняться следующие организационные мероприятия:

1. назначение лиц, ответственных за организацию и безопасность производства работ;
2. оформление наряда или распоряжения на производство работ;
3. осуществление допуска к проведению работ;
4. организация надзора за проведением работ;
5. оформление окончания работы, перерывов в работе, переводов на другие рабочие места;
6. установление рациональных режимов труда и отдыха

#### **4.3.2 Механическая безопасность**

Процесс подготовки печатной платы к монтажу включает в себя рихтовку, формовку, обрезку, лужение, сверление отверстий, а также заготовка самой печатной платы. Травмы могут быть вызваны движущимися, вращающимися частями, режущими острыми кромками, колющими острыми выступами, заусеницами, недостаточной устойчивостью изделия. Поэтому, во избежание несчастного случая необходимо быть предельно аккуратным, а также использовать индивидуальные средства защиты. Перед работой со станком исследователь должен пройти проверку знаний и инструктаж по безопасности.

Поэтому при монтаже РЭА необходимо строго и неукоснительно соблюдать перечисленные ниже правила безопасного выполнения монтажных работ:

1. Производить работу на исправном оборудовании, пользуясь исправным инструментом и приспособлениями, и применять их только по прямому назначению;;
2. Пользуясь боковыми кусачками (бокорезами), откусывать провод от себя и следить за тем, чтобы отлетающие частицы провода не попали в окружающих;
3. Работу с проводами, имеющими изоляцию из стекловолокна, выполнять в хлопчатобумажных перчатках;
4. Демонтаж РЭА и отпайку проводов от контактных лепестков и электрических соединений производить в защитных очках;
5. Качество паяк и укладка монтажа должны исключать возникновение пробоев или искрений.

### 4.3.3 Пожарная опасность

При создании прибора может возникнуть чрезвычайная ситуация пожарного характера.

Пожаром называется неконтролируемое горение вне специального очага, наносящего материальный ущерб. Согласно ГОСТ 12.1.033 – 81 понятие пожарная безопасность означает состояние объекта, при котором с установленной вероятностью исключается возможность возникновения и развития пожара и воздействия на людей опасных факторов пожара, а также обеспечивается защита материальных ценностей.

Пожарная безопасность предусматривает обеспечение безопасности людей и сохранения материальных ценностей предприятия на всех стадиях его жизненного цикла. Основными системами пожарной безопасности являются системы предотвращения пожара и противопожарной защиты, включая организационно-технические мероприятия.

По взрывопожарной и пожарной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В1-В4, Г и Д, а здания на категории А, Б, В, Г и Д.

Согласно НПБ 105-03 лаборатория относится к категории В – горючие и трудно горючие жидкости, твердые горючие и трудно горючие вещества и материалы, вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть, при условии, что помещения, в которых находится, не относятся к категории наиболее опасных А или Б.

По степени огнестойкости данное помещение относится к 1-й степени огнестойкости по СНиП 2.01.02-85 (выполнено из кирпича, которое относится к трудносгораемым материалам).

Возникновение пожара при работе с электронной аппаратурой может быть по причинам как электрического, так и неэлектрического характера.

Причины возникновения пожара неэлектрического характера:

а) халатное неосторожное обращение с огнем (курение, оставленные без присмотра нагревательные приборы, использование открытого огня);

Причины возникновения пожара электрического характера: короткое замыкание, перегрузки по току, искрение и электрические дуги, статическое электричество и т. п.

Для локализации или ликвидации загорания на начальной стадии используются первичные средства пожаротушения. Первичные средства пожаротушения обычно применяют до прибытия пожарной команды.

Огнетушители водо-пенные (ОХВП-10) используют для тушения очагов пожара без наличия электроэнергии. Углекислотные (ОУ-2) и порошковые огнетушители предназначены для тушения электроустановок, находящихся под напряжением до 1000В. Для тушения токоведущих частей и электроустановок применяется переносной порошковый огнетушитель, например ОП-5.

В общественных зданиях и сооружениях на каждом этаже должно размещаться не менее двух переносных огнетушителей. Огнетушители следует располагать на видных местах вблизи от выходов из помещений на высоте не более 1,35 м. Размещение первичных средств пожаротушения в коридорах, переходах не должно препятствовать безопасной эвакуации людей.

Для предупреждения пожара и взрыва необходимо предусмотреть:

1. специальные изолированные помещения для хранения и разлива легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ), оборудованные приточно-вытяжной вентиляцией во взрывобезопасном исполнении - соответствии с ГОСТ 12.4.021-75 и снп 2.04.05-86;

2. специальные помещения (для хранения в таре пылеобразной канифоли), изолированные от нагревательных приборов и нагретых частей оборудования;

3. первичные средства пожаротушения на производственных участках (передвижные углекислые огнетушители ГОСТ 9230-77, пенные огнетушители ТУ 22-4720-80, ящики с песком, войлок, кошма или асбестовое полотно);

4. автоматические сигнализаторы (типа СВК-3 М 1 ) для сигнализации о присутствии в воздухе помещений дозрывных концентраций горючих паров растворителей и их смесей.

Лаборатория полностью соответствует требованиям пожарной безопасности, а именно, наличие охранно-пожарной сигнализации, плана эвакуации, изображенного на рисунке 47, порошковых огнетушителей с поверенным клеймом, табличек с указанием направления к запасному (эвакуационному) выходу.



Рисунок 47 – План эвакуации

## 4.4 Экологическая безопасность

### 4.4.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду

Охрана окружающей среды — комплекс мер, предназначенных для ограничения отрицательного влияния человеческой деятельности на природу. Такими мерами может являться, Ограничение выбросов в атмосферу и гидросферу с целью улучшения

общей экологической обстановки, а так же переход к безотходным или малоотходным технологиям производства. В ходе дипломной работы разрабатывается прибор, который состоит из множества микросхем и электронных компонентов. Электрические соединения выполняются преимущественно оловянно-свинцовым припоем. Свинец является одним из токсичных металлов и включен в списки приоритетных загрязнителей окружающей среды. Поэтому в последние годы человечество отказывается от свинцовых припоев и покрытий, что ведет к изменению технологии пайки и инфраструктуре сборочных средств. Происходит корректировка режимов пайки и, как следствие, доработка технологического оборудования.

#### **4.4.2 Анализ «жизненного цикла» объекта исследования**

Жизненный цикл прибора для диагностики цифровых микросхем включает в себя следующие основные стадии:

1. Предпроектная (начальная) стадия включает предплановый патентный поиск, разработка и согласование технического задания, выбор направления исследования; инвестиционный анализ, оформление исходно-разрешительной документации, привлечение кредитных инвестиционных средств.
2. Стадия проектирования включает разработку структурной и принципиальной схем, организацию финансирования, руководство проектированием.
3. Стадия сборки. На данной стадии производится сборка устройства, а именно монтаж печатного узла.
4. Стадия эксплуатации прибора предполагает применение прибора для общего пользования.
5. Стадия утилизации.

Утилизация электронного прибора- это единственная возможность избавиться от ненужной техники, не нанося непоправимого вреда экологии.

Приборы нельзя просто выбросить на свалку, поскольку там они подвергаются негативному влиянию внешних факторов — солнечных лучей, ветра, дождя. Все это ведет к возникновению химических реакций и выделению в воздух вредных химических соединений. Такие вещества очень опасны для окружающей среды и здоровья людей.

Утилизации старой техники проходит в несколько этапов:

1. прибор разбирают и сортируют детали по типу материалов;
2. электронные платы, которые содержат драгоценные материалы, отправляют на аффинажный завод, после чего чистые металлы сдают в Госфонд;
3. детали, которые нельзя разобрать, загружают в дробильный станок;
4. полученную мелкую пластмассовую крошку с помощью воздухоотсосов отделяют от металлов;
5. металлическую смесь отправляют на переплавку.

При грамотной утилизации около 70–80% отходов старой техники пригодны для вторичного использования.

#### **4.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Производство находится в г. Томск с резко-континентальным циклоническим климатом. Природные явления (землетрясения, наводнения, засухи, ураганы и т. д.), в данном городе отсутствуют за исключением сильных морозов и ЧС возникающих в результате диверсий. Зачастую такие угрозы оказываются ложными. Но случаются взрывы и в действительности.

Для Сибири в зимнее время года характерны морозы. Достижение критически низких температур приведет к авариям систем теплоснабжения и жизнеобеспечения, приостановке работы, обморожениям и даже жертвам среди населения.

Для предупреждения вероятности осуществления диверсии предприятие необходимо оборудовать системой видеонаблюдения, круглосуточной охраной,

пропускной системой, надежной системой связи, а также исключения распространения информации о системе охраны объекта, расположении помещений и оборудования в помещениях, системах охраны, сигнализаторах, их местах установки и количестве. Должностные лица раз в полгода проводят тренировки по отработке действий на случай экстренной эвакуации.

Достижение критически низких температур и огромного количества осадков снега приведет к авариям систем теплоснабжения, водоснабжения, электрических сетей. В случае переморозки труб должны быть предусмотрены запасные обогреватели, запас питьевой воды, а также бензо- или дизель-электрогенераторов, в случае аварии электрических сетей. Их количества и мощности должно хватать для того, чтобы работа на производстве не прекратилась. Во время сильных снегопадов, которые приводят к затруднениям или полной остановке общественного транспорта, необходимо иметь личный транспорт или транспорт от организации.

#### **4.6 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

К общей части нормативно-правовых основ охраны труда относится: Трудовой кодекс Российской Федерации.

Контроль условий труда на предприятиях осуществляют специально созданные службы охраны труда совместно с комитетом профсоюзов. Данный контроль заключается в проверке состояния производственных условий для работающих, выявлении отклонений от требований безопасности, законодательства о труде, стандартов, правил и норм охраны труда, постановлений, директивных документов, а также проверке выполнения службами, подразделениями и отдельными группами своих обязанностей в области охраны труда. Этот контроль осуществляют должностные лица и специалисты, утвержденные приказом по административному подразделению. Ответственность за безопасность труда в первую очередь несет руководитель.

Службы охраны труда совместно с комитетами профсоюзов разрабатывают инструкции по безопасности труда для различных профессий с учетом специфики работы, а также проводят инструктажи и обучение всех работающих правилам безопасной работы.

#### **4.7 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны**

Организация рабочего места заключается в обеспечении условий, исключающих утомляемость и профессиональные заболевания и выборе необходимой технической базы для обеспечения этих условий.

Работа в лаборатории, которая отличается малой двигательной активностью, монотонностью и длительным нахождением в закрытом помещении. Оказывает влияние на результат работы в связи быстрой утомляемостью.

В лаборатории площадью 48м<sup>2</sup> может работать одновременно не более 3 человек, следовательно учтены нормы площади служебного помещения. Для обеспечения благоприятных условий микроклимата помещение оборудовано вытяжкой. Глубина стола составляет 800мм, ширина 1,5м. Расстояние между работающими составляет не менее 1,5м. Ширина прохода составляет около 2м. Плоскости экранов компьютеров расположены перпендикулярно окнам, габариты мебели соответствуют размерам помещения, загромождения отсутствуют.

Режим труда и отдыха предусматривает соблюдение определенной длительности непрерывной работы на ПК и перерывов, регламентированных с учетом продолжительности рабочей смены, видов и категории трудовой деятельности.

Трудовая деятельность в лаборатории относится к категории В – творческая работа в режиме диалога с ПК, третья категория тяжести.

Количество и длительность регламентированных перерывов, их распределение в течение рабочей смены устанавливается в зависимости от категории работ на ПК и продолжительности рабочей смены. Так как время работы составляет около 3 часов, то перерывы можно делать каждый час.

# ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА "ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ"

Студенту:

|                            |              |                                       |                                                                                      |
|----------------------------|--------------|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Группа</b>              |              | <b>ФИО</b>                            |                                                                                      |
| 1AM71                      |              | Авдеенок Павел Владимирович           |                                                                                      |
| <b>Школа</b>               | <b>ИШНКБ</b> | <b>Отделение</b>                      | <b>Электронной инженерии</b>                                                         |
| <b>Уровень образования</b> | Магистратура | <b>Направление/<br/>специальность</b> | 11.04.04 Электронные системы, контроля, управления, диагностики в технике и медицине |

Тема ВКР: "Исследование способов повышения надежности передачи данных по каналам обмена информацией"

|                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:</b>                                         |                                                                                                                                                                                                                |
| 1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i> | Финансовые ресурсы: 150000руб.;<br>Человеческие ресурсы 2 чел.;                                                                                                                                                |
| 2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                |
| 3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>                                  |                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>                                                             |                                                                                                                                                                                                                |
| 1. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>                                                                          | <i>Определение структуры плана проекта и трудоёмкости работ, разработка графика проведения НИИ, бюджет НИИ.</i>                                                                                                |
| 2. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>          | <i>Определение интегрального показателя финансовой эффективности, интегрального показателя ресурсоэффективности, интегрального показателя эффективности и сравнительной эффективности вариантов исполнения</i> |
| <b>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):</b>                                                          |                                                                                                                                                                                                                |
| 1.Календарный план-график выполнения работ                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                |

**Задание выдал консультант:**

|                  |                  |                               |                |             |
|------------------|------------------|-------------------------------|----------------|-------------|
| <b>Должность</b> | <b>ФИО</b>       | <b>Ученая степень, звание</b> | <b>Подпись</b> | <b>Дата</b> |
| Доцент           | Подопригора И.В. | к.э.н.                        |                |             |

**Задание принял к исполнению студент:**

|               |                             |                |             |
|---------------|-----------------------------|----------------|-------------|
| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>                  | <b>Подпись</b> | <b>Дата</b> |
| 1AM71         | Авдеенок Павел Владимирович |                |             |

## **5 Финансовый менеджмент. Ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

В данном разделе произведем учет всех технико-экономических факторов на каждой стадии проектирования, оценим эффективность разработки, проанализируем возможные способы исполнения продукта, а также рассчитаем эффективность производства.

### **Введение**

Изготовление и проектирование прибора для определения помехозащищенности информационных каналов обмена данными осуществлялось в лабораторииотделения электронной инженерии. Лаборатория имеет приборы, с помощью которых можно осуществлять радиомонтаж навесных электронных компонентов, программирование микроконтроллеров и тестирование макета прибора.

## 5.1 Планирование научно-исследовательской работы

Для выполнений научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

## 5.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, так как зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения среднего значения трудоемкости используем следующую формулу:

$$t_{ожи} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5} \quad (21)$$

В данной дипломной работе трудоемкость рассчитывается исходя из работ, которые выполняют инженер и научный руководитель. Исходя из полученной трудоемкости, рассчитывается продолжительность работ на каждом этапе проектирования, по следующей формуле:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожи}}{ч_i} \quad (22)$$

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} \quad (23)$$

Коэффициент календарности рассчитывается по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} \quad (24)$$

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 52 - 15} = 1.22 \quad (25)$$

Полученные данные, которые были рассчитаны вышеуказанными формулами, заносятся в таблицу 12.

Таблица 12 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

| Основные этапы                                 | Содержание работ                                    | Должность и загрузка исполнителя            |
|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Разработка технического задания                | Постановка целей и задач, получение исходных данных | Научный руководитель - 100%                 |
|                                                | Составление и утверждение ТЗ                        | Научный руководитель - 100%, инженер - 10%  |
| Выбор направления исследований                 | Подбор и изучение материалов по тематике            | Инженер - 90%, научный руководитель - 30%   |
| Календарный план                               | Разработка календарного плана                       | Научный руководитель - 100%                 |
| Теоритические и экспериментальные исследования | Выбор структурной схемы устройства                  | Инженер - 90%, научный руководитель - 30%   |
|                                                | Выбор принципиальной схемы устройства               | Инженер - 100%, научный руководитель - 20%  |
|                                                | Расчет принципиальной схемы устройства              | Инженер - 100%                              |
|                                                | Разработка макета устройства                        | Инженер - 100%                              |
|                                                | Написание программ                                  | Инженер - 100%                              |
|                                                | Проведение экспериментальных исследований           | Научный руководитель - 30%, Инженер - 100%  |
| Обобщение и оценка результатов                 | Оформление расчетно-пояснительной записки           | Инженер - 100%                              |
|                                                | Оформление материала                                | Инженер - 100%                              |
|                                                | Подведение итогов                                   | Научный руководитель - 90%<br>Инженер - 30% |

На основе таблицы 12, можно построить календарный план-график выполнения работ (Приложение Е.1). График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта на основе (Приложение Е.2) с разбивкой по месяцам и декадам.

### 5.3 Расчет материальных затрат на создание прототипа

В состав материальных затрат дипломного проекта входят такие элементы как:

1. сырье и материалы
2. покупные материалы (микросхемы)

### 3. покупные комплектующие (радиоэлементы)

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_t) \cdot \sum_{i=1}^Q C_i \cdot N_{расх i} \quad (26)$$

Таблица 13 – Материальные затраты на создание прототипа

| Наименование                        | Единица Измерения | Кол-во | Цена за ед., руб. |         | Затраты на материалы, руб |         |
|-------------------------------------|-------------------|--------|-------------------|---------|---------------------------|---------|
|                                     |                   |        | Пост. 1           | Пост.2  | Пост. 1                   | Пост.2  |
| Микроконтроллер                     | шт.               | 1      | 330               | 560     | 412,5                     | 700     |
| Печатная плата                      | шт.               | 1      | 100               | 120     | 125                       | 150     |
| Микросхема стабилизатора напряжения | шт.               | 3      | 130               | 150     | 487,5                     | 562,5   |
| Светодиоды                          | шт.               | 19     | 5                 | 23      | 118,75                    | 546,25  |
| Резисторы                           | шт.               | 64     | 3                 | 3       | 240                       | 240     |
| Конденсаторы                        | шт.               | 76     | 4                 | 8,2     | 380                       | 779     |
| Разъем                              | шт.               | 13     | 16                | 20      | 260                       | 325     |
| Блок питания                        | шт.               | 1      | 540               | 760     | 675                       | 950     |
| Бумага для принтера                 | упаков.           | 1      | 150               | 120     | 187,5                     | 150     |
| Припой                              | метр              | 1      | 120               | 120     | 150                       | 150     |
| Прочие микросхемы                   |                   |        | 9902              | 10238   | 10852                     | 11254   |
| Итого                               |                   |        | 11550             | 12562,4 | 14200,7                   | 16356,7 |

Подытожив результаты, цена на электронные элементы у обоих поставщиков не имеют большого разброса, в отличие от цены драйвера и микроконтроллера, следовательно, целесообразней заказывать элементную базу у первого поставщика.

### 5.4 Расчет затрат на электроэнергию

Для реализации дипломного проекта необходимо оборудование, которое позволяет протестировать, отладить готовую разработку. На кафедре есть все необходимое оборудование, поэтому нет необходимости рассчитывать затраты на покупку оборудования. Надо лишь рассчитать затраты на электричество.

Используемое оборудование: осциллограф; вольтметр; источник питания; персональный компьютер; паяльник; настольная лампа.

Для расчета используется следующая формула:

$$\mathcal{E}_{об} = P_{об} \cdot \mathcal{C}_э \cdot t_{об} \quad (27)$$

Время работы оборудования вычисляется исходя из календарного плана и учитывая время отведенное выполнению дипломной работе. Затраты по электроэнергии заносится в таблицу.

Таблица 14 – Затраты электроэнергии

| Оборудование              | Время работы<br>$t_{об}$ (ч.) | Потребляемая<br>мощность<br>$P_{об}$ (кВт.) | тарифная цен<br>$\mathcal{C}_э$ (кВт/ч); | Затраты<br>$\mathcal{E}_{об}$ (руб.) |
|---------------------------|-------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------|
| Осциллограф               | 10                            | 0,05                                        | 3,1                                      | 1,55                                 |
| Вольтметр                 | 10                            | 0,01                                        |                                          | 0,31                                 |
| Источник<br>Питания       | 20                            | 0,015                                       |                                          | 0,93                                 |
| Персональный<br>компьютер | 200                           | 0,3                                         |                                          | 186                                  |
| Настольная лампа          | 300                           | 0,1                                         |                                          | 93                                   |
| Итого:                    | 530                           | 0,475                                       |                                          | 281,79                               |

Итоговые затраты на электроэнергию составляют:

$$\mathcal{E}_{общ} = 281,79 \text{ руб.}$$

## 5.5 Расчет затрат на заработную плату

Этот этап включает в себя основную и дополнительную заработную плату научных и инженерно-технических работников, непосредственно участвующих в выполнении данной работы. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ, уровня образования сотрудника и географического положения предприятия.

$$\mathcal{Z}_{зн} = \mathcal{Z}_{осн} + \mathcal{Z}_{доп} \quad (28)$$

Для начала необходимо рассчитать основную заработную плату:

$$\mathcal{Z}_{осн} = \mathcal{Z}_{дн} \cdot T_p \quad (29)$$

Средняя заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} \quad (30)$$

$F_{\text{д}}$  — действительный годовой фонд рабочего времени (таблица 15).

Таблица 15 – Баланс рабочего времени

| Показатели рабочего времени                                      | Научный руководитель | Инженер (студент) |
|------------------------------------------------------------------|----------------------|-------------------|
| Календарное число дней                                           | 365                  | 365               |
| Количество нерабочих дней<br>- выходные дни<br>- праздничные дни | 64                   | 118               |
| Потери рабочего времени<br>- отпуск<br>- невыходы по болезни     | 52                   | 44                |
| Действительный годовой фонд рабочего времени                     | 249                  | 203               |

Месячный должностной оклад работника рассчитывается исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} \quad (31)$$

Дополнительная заработная плата является доплатой, учитывающей условия труда, отклоняющейся от нормальной, а также выплаты, которые связаны с обеспечением компенсаций, гарантий. Величина дополнительной заработной платы определяется Трудовым кодексом РФ.

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} * Z_{\text{осн}} \quad (32)$$

Полученные данные занесем в таблицу 16.

Таблица 16 – Расчет оплаты труда

|                                                                                              | Научный руководитель | Инженер (студент) |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-------------------|
| Заработная плата по тарифной ставке ( $Z_{тс}$ ), тыс.руб.                                   | 26,3                 | 0,6               |
| Премияльный коэффициент ( $k_{пр}$ )                                                         | 0,3                  |                   |
| Коэффициент доплат и надбавок ( $k_d$ )                                                      | 0,2                  |                   |
| Районный коэффициент ( $k_p$ )                                                               | 1,3                  |                   |
| Месячная заработная плата ( $Z_m$ ), тыс.руб.                                                | 51,285               | 1,17              |
| Среднедневная заработная плата ( $Z_{дн}$ ), тыс.руб.                                        | 2,142                | 0,065             |
| Продолжительность выполнения данного проекта ( $T_p$ ), раб. дни                             | 26                   | 62                |
| Основная заработная плата, начисленная за выполнение данного проекта ( $Z_{осн}$ ), тыс.руб. | 55,692               | 4,03              |
| Коэффициент дополнительной заработной платы ( $k_{доп}$ )                                    | 0,13                 |                   |
| Дополнительная заработная плата ( $Z_{доп}$ ), тыс.руб.                                      | 7,24                 | 0,5239            |
| Заработная плата ( $Z_{зп}$ ), тыс.руб.                                                      | 62,932               | 4,5539            |
| Итого, тыс.руб.                                                                              | 67,4859              |                   |

## 5.6 Расчет отчислений во внебюджетные формы

В данном разделе будут рассчитаны отчисления во внебюджетные фонды, согласно законодательству РФ являются обязательными, а именно отчисления органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС).

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}) \quad (33)$$

Отчисления во внебюджетные фонды представим в таблице 17:

Таблица 17 –Отчисления во внебюджетные фонды

|                                                             | Научный руководитель | Инженер (студент) |
|-------------------------------------------------------------|----------------------|-------------------|
| Основная заработная плата ( $Z_{осн}$ ), тыс.руб.           | 55,692               | 4,03              |
| Дополнительная заработная плата ( $Z_{доп}$ ), тыс.руб.     | 7,24                 | 0,5239            |
| Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды ( $k_{внеб}$ ) | 0,28                 |                   |
| Отчисления во внебюджетные фонды, тыс.руб.                  | 17,62                | 1,275             |
| Итого, тыс.руб.                                             | 18,895               |                   |

### 5.7 Формирование бюджета затрат проекта

Суммируя все статьи расходов, получим общую себестоимость проекта, полученные результаты занесем в общую таблицу 18.

Таблица 18 – Общие расходы.

| Статья расходов                             | Стоимость (Ист. 1)<br>руб. | Стоимость (Ист. 2)<br>руб. |
|---------------------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Материальные затраты                        | 14200,7                    | 16356,7                    |
| Затраты на электроэнергию                   | 281,79                     |                            |
| Затраты заработную плату                    | 67485,9                    |                            |
| Затраты на отчисление во внебюджетные фонды | 18895                      |                            |
| Итого                                       | 100863,39                  | 103019,39                  |

В итоге общие затраты на реализацию дипломного проекта составило:

$$C_{общ\ 1} = 100863,39 \text{ руб.}$$

$$C_{общ\ 2} = 103019,39 \text{ руб.}$$

Вывод: Видно, что величина общих затрат отличаются незначительно, и как видно из таблицы 18 наибольшее количество средств будут направлены на заработную плату исполнителям проекта.

## 5.8 Оценка эффективности проекта

Немаловажным критерием расчета является оценка эффективности дипломного проекта, его оценка связана с определением двух средневзвешенных величин:

- Показатель финансовой эффективности
- Показатель ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности рассчитывается по следующей формуле:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (34)$$

Из таблицы 19 видно, что интегральный показатель не сильно отличается. Он имеет величину меньшую единицы, но больше нуля, что отражает численное удешевление стоимости разработки.

Таблица 19 – Эффективность исполнения проекта

| Параметр      | $\Phi_{pi}$<br>руб. | $\Phi_{\text{max}}$<br>руб. | $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ |
|---------------|---------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| Исполнитель 1 | 100863,39           | 397386                      | 0,254                            |
| Исполнитель 2 | 103019,39           |                             | 0,259                            |

Теперь производится расчет ресурсоэффективности. Данный показатель рассчитывается по следующей формуле:

$$I_{pi} = \sum_{i=1}^N a_i \cdot b_i \quad (35)$$

Расчет ресурсоэффективности производится по каждому критерию, по которому характеризуется готовый рабочий прототип (удобство эксплуатации, точность позиционирования и т.д.) и заносится в следующую таблицу.

Таблица 20–Ресурсоэффективность

| Критерий                  | Весовой коэффициент | Балльная оценка |       |
|---------------------------|---------------------|-----------------|-------|
|                           |                     | Исп.1           | Исп.2 |
| Удобство в эксплуатации   | 0,1                 | 7               | 5     |
| Точность позиционирования | 0,25                | 7               | 9     |
| Помехоустойчивость        | 0,1                 | 8               | 9     |
| Энергосбережение          | 0,15                | 2               | 5     |
| Надежность                | 0,25                | 6               | 8     |
| Материалоемкость          | 0,05                | 2               | 5     |
| Цена                      | 0,1                 | 2               | 4     |
| Итого                     | 1                   | 34              | 45    |

Анализируя таблицу, рассчитывается интегральная оценка эффективности для двух исполнений.

$I_{p1} = 5,35$  показатель ресурсоэффективности для первого исполнения;

$I_{p2} = 7,05$  показатель ресурсоэффективности для второго исполнения.

Получив значения коэффициентов ресурсоэффективности и финансовой эффективности, рассчитывается показатель эффективности разработки:

$$I_{\text{исп.}i} = \frac{I_{pi}}{I_{\text{исп.}i}^{\text{фин.}} \quad (36)$$

$I_{\text{исп.}1} = 21,06$  интегральный показатель эффективности вариантов;

$I_{\text{исп.}2} = 27,22$  интегральный показатель эффективности вариантов.

Для качественного анализа используется сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{\text{ср.}} = \frac{I_{\text{исп.}1}}{I_{\text{исп.}2}} \quad (37)$$

$$\mathcal{E}_{\text{ср.}} = 0,774$$

Все полученные параметры сравнительного анализа заносятся в таблицу 21.

Таблица 21 – Сравнительная эффективность разработки

| Показатели                                       | Исп. 1 | Исп. 2 |
|--------------------------------------------------|--------|--------|
| Интегральный показатель финансовой эффективности | 0,254  | 0,259  |
| Интегральный показатель Ресурсоэффективности     | 5,35   | 7,05   |
| Интегральный показатель эффективности вариантов  | 21,06  | 27,22  |
| Сравнительная эффективность                      | 0,774  |        |

Видно что сравнительная эффективность  $E_{\text{ср.}}$  меньше единицы, это говорит о том, что второй вариант исполнения разработки более эффективен с точки зрения финансовой и ресурсной эффективности. Поэтому для создания прототипа выбирается именно он.

**Вывод:** В данном разделе были рассчитаны основные показатели на каждом этапе проектирования, рассмотрены эффективности выполненного продукта с точки зрения финансовой и ресурсной эффективности.

## Заключение

В первом разделе были рассмотрены основные элементы, необходимые для реализации канала информационного обмена данными, такие как алгоритмы расчета контрольных сумм, конфигурация прокола передачи, физическое кодирование информации. Определено их влияние на надежность передачи. Так же были рассмотрены основные типы помех, влияющие на передачу, приведена их классификация и причины возникновения.

Во втором разделе были применены полученные знания для реализации ПО, структурной и принципиальной схем.

На основе полученных данных были сформированы следующие рекомендации:

1. Для выбора алгоритма защиты:

1.1. Суммирующие алгоритмы обладают наихудшей степенью защиты от одиночных сбоев, поэтому их использование не желательно;

1.2. Необходимо предварительно оценить, какая разрядность полинома необходима. Для этого можно воспользоваться формулой:  $r = \log_2 N[1]$ , где  $N$  – наибольшее количество бит, которые необходимо защитить КС;  $r$  – степень полинома. Округлять в большую сторону;

1.3. Выбрать один из готовых алгоритмов из [5]. При этом желательно выбирать алгоритмы, полиномы которых имеют вес Хэмминга больше 3 (при наличии таких полиномов).

2. Для выбора протокола:

2.1. Hash-lock протокол: использование данного типа протоколов желательно в системах реального времени, так как данные протоколы обладают самой высокой информационно-пропускной способностью;

2.2. Hash-chain протокол: подходящий протокол для большинства интерфейсных систем, т.к. нет потери данных при осуществлении передачи;

2.3. SPAпротокол: использование обусловлено объемом передаваемого сообщения, когда затраты времени нивелируются вычислительными мощностями передающего устройств.

3. Для выбора интерфейса:

3.1. При возможности, желательно использование многоуровневых кодировок или кодировок с ограниченным спектром цифрового сигнала.

Относительно разрабатываемого устройства, из-за отсутствия аналогов данного типа приборов были рассмотрены набор приборов, необходимых для проверки помехозащищенности информационных каналов обмена данными, и на основе полученных данных определены первоначальные параметры и характеристики. Определены структурные схемы и спроектированы принципиальные.

В дальнейшем планируется:

1. расширение функционала написанного ПО;
2. создание ПОпозволяющего исходя из внесенных данных выдавать рекомендуемый вариант алгоритма КСм с программным кодом, протокола и физического канала обмена;
3. создание лабораторно-отладочного макета разработанного прибора.

## Список литературы

1. Думачев В.Н. Теория информации и кодирования – Воронеж: Изд-во Воронежский институт МВД России, 2012 - 200с.
2. Фурсов В. А. Теория информации: учеб. – Самара: Изд-во Самарский Государственный Аэрокосмический университет, 2011. – 128 с.
3. Шавенько Н. К. Основы теории информации и кодирования. Учебное пособие. – М.: Изд-во МИИГАиК, 2012 – 125с.
4. RossN. Williams, Элементарное руководство по CRCАлгоритмам обнаружения ошибок [Электронныйресурс] – Режимдоступа: <https://studfiles.net/preview/1506833/>.
5. Спецификация стандартизированных полином CRC [электронный ресурс] – Режим доступа: <http://reveng.sourceforge.net/crc-catalogue/>.
- 6.JienfenPeng, Yajian Zhou, Yixian Yang, Cyclic redundancy code check algorithm based on small look up table, 2009.
7. Joong-Ho Lee«CRC(Cyclic Redundancy Check) Implementation in High-Speed Semiconductor Memory», 8th International Conference on Control and Automation, 2015.
8. B. Nkom, «Concise Schemes for Realizing 1-Wire Cyclic Redundancy Checks», 3rd IEEE International Conference on Adaptive Science and Technology, 2011.
9. Sang Sheng-ju, «Implementation of Cyclic Redundancy Check in Data Communication», International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks, 2015.
10. Протоколы передачи данных[электронный ресурс] – Режим доступа: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/461212>.
- 11.Протоколы передачи данных[электронный ресурс] – Режим доступа: <https://habrahabr.ru/post/138533/>.

12. Nian Liu, Ye Yin, Xiangnong Wu, Long Ye, «RFID Cryptographic Protocol Based on Cyclic Redundancy Check for High Efficiency», journal Sensors & Transducers, Vol. 168, Issue 4, pp.197-202, 2014.
13. Параллельные и последовательные интерфейсы [электронный ресурс] – Режим доступа: <https://studfiles.net/preview/3860013/page:12/>.
14. Чередов А.Д. Организация ЭВМ и систем: Учеб.пособие. — Томск: Изд. ТПУ, 2000. — 136 с.
15. Внутриприборный интерфейс на микросхеме MIRCEL, текст научной статьи [электронный ресурс] – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/vnutripribornyy-interfeys-na-mikroshemah-firmy-micrel>.
16. Параллельные и последовательные интерфейсы [электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.island-formoza.ru/ustroystvo-i-remont-pc/posledovatelnyy-parallelnyy-i-drugie-interfeysi-vvoda-vivoda.html>.
17. Ревич Ю. В. Занимательная электроника – 4-е изд., перераб. и доп. – СПб: БХВ-Петербург, 2017. – 640 с.
18. Интерфейсы подключения [электронный ресурс] – Режим доступа: <http://tehtab.ru/Guide/GuideEquipment/CommunicationStandards/ConnectionsInterface/Interfaceconnect/>.
19. Манчестерский код [электронный ресурс] – Режим доступа: <http://iptcp.net/manchesterskii-kod.html>
20. Википедия: файл [электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Файл:NRZ-code.png>.
21. Википедия: файл [электронный ресурс] – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Файл:Граф\\_поясняющий\\_код\\_Миллера.png](https://ru.wikipedia.org/wiki/Файл:Граф_поясняющий_код_Миллера.png).
22. Википедия: файл [электронный ресурс] – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Файл:Код\\_Миллера.gif](https://ru.wikipedia.org/wiki/Файл:Код_Миллера.gif).
23. Википедия: файл [электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Файл:AMI-code.png>.

24. Физическое кодирование [электронный ресурс] – Режим доступа: <http://phg.su/basis2/X414.HTM>.
25. Кодирование цифровых сигналов [электронный ресурс] – Режим доступа: <http://reкс.100ms.ru/index.php/communication/83-kod-s>
26. Агуров П. В. Последовательные интерфейсы ПК. Практика программирования. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2004. – 472 с.
27. Помехи, типы помех, методы борьбы с ними [электронный ресурс] – Режим доступа: [https://koralexand.ru/?page\\_id=105](https://koralexand.ru/?page_id=105).

## ПриложениеА

(Обязательное)

### Разделы 1.1-1.4 Теоретическая часть

Студент

| Группа | ФИО                         | Подпись | Дата |
|--------|-----------------------------|---------|------|
| 1АМ71  | Авдеенок Павел Владимирович |         |      |

Руководитель ВКР

| Должность | ФИО           | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-----------|---------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент    | Сорокин П. В. | к.т.н                     |         |      |

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

| Должность             | ФИО           | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-----------------------|---------------|---------------------------|---------|------|
| Старший преподаватель | Смирнова У.А. |                           |         |      |

## 1 Theoretical part

### 1.1 The theory of information and coding

When transmitting information via communication channels errors occur in it (single faults), these errors need to be detected and, if it is possible to be corrected. Checksum algorithms are used to solve this problem. This algorithms are described in theory of information and coding. This theory is divided into two elements: the theory of information and the theory of coding.

The theory of information is the science that studies the quantitative patterns associated with the receiving, transmitting, processing and storing information [1]. One of the purposes of information theory is to find the most saving methods of coding that allow you to transfer the specified information using minimum symbols. This problem is solved both in the absence and in the presence of noise in the communication channel.

Block diagram of the information channel that defines the basic elements of any channel is shown in figure 1.

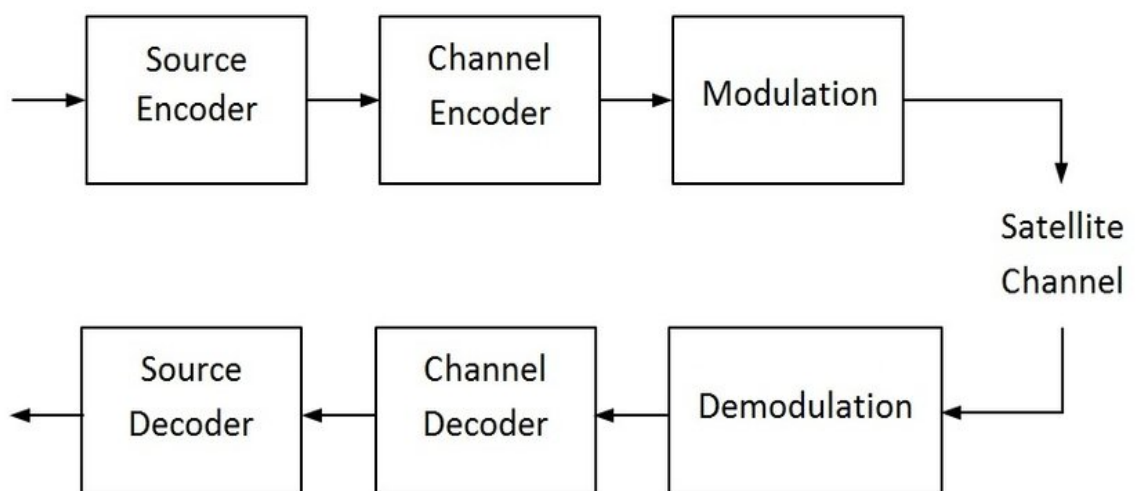


Figure 1 – Block diagram of communication system [1]

The source encoder presents information in the most compact form. The channel encoder transforms information to protect it from noise (in case of transmission) or distortion (in case of storage). A modulator converts messages into electrical signals, according to the physical nature of the exchange channel.

The demodulator converts the electrical signals into a message. The channel decoder transforms the information, checking its integrity. The original decoder converts the message into a user-friendly view.

The theory of coding is a science that considers ways to increase the reliable transmission of information in the presence of noise [1]. This section provides coding algorithms for detection single failures when data transferring.

## **1. 2 Defense of information algorithms**

Most of the coding algorithms for calculating the checksum are given in the literature [1 - 2]. In practice, we can pick out the next types of algorithms for calculating the checksum:

1. Summing checksum;
2. Cyclic Redundancy Check (CRC);
3. Checksum with error correction.

In this literature we consider algorithms for summing and cyclic checksum, as the most common now.

### **1. 2. 1 Summing checksum**

One of the simplest algorithms for defense of information is summing algorithms. There are two types of data algorithms based on different subspecies of summation - arithmetic and polynomial.

Checksum module 0x100/0x10000: this algorithm is based on the arithmetic summation of all bytes of a message, followed by dividing the result by 0x100 or 0x10000 (formula 1.1).

$$CS=(byte(1)+byte(2)+...+byte(n)) \bmod 0x100 \quad (1)$$

Software implementation of this algorithm: a variable of the type byte or word is created into which all the bytes of the message are added, while overflows are ignored.

Checksum module 2: this checksum is based on polynomial arithmetic. Calculations go by the rules:  $0 + 0 = 0$ ,  $0 + 1 = 1$ ,  $1 + 0 = 1$ ,  $1 + 1 = 0$ . These rules correspond to the logical operation XOR (formula 1.2).

$$CS=byte(1)\oplus byte(2)\oplus...\oplus byte(n) \quad (2)$$

Software implementation of this algorithm: a variable of the type byte or word is created and all the bytes of the message are summed in this variable by using the XOR operation.

The advantage of these algorithms is the ease of implementation and high calculation speed, as well as high sensitivity to odd numbers of errors.

The disadvantages of these algorithms are “blindness” to an even number of errors that occur in the same information bits of different bytes, and also, these calculation methods do not see errors that occur in the checksum.

## 1.2.2 Cyclic Redundancy Check

Cyclic algorithms (CRC) are based on the principle of division with the remainder of a polynomial by a generator polynomial. Mathematically, the CRC algorithm is [1]:

$$CRC=R(x)\cdot x^n \bmod G(x) \quad (3)$$

The algorithm for calculating the CRC has the form shown in figure 2.

The first byte of the message is taken to find the CRC value; if the high bit of the message is clear, then the CRC value is shifted to one bit to the left; at the same time after the shift to the place of the lower bit loaded is the next bit from message. If the high bit is set, then the CRC value is shifted to one bit to the left and summing with generator polynomial.

This operation is performed as long as all the message is not be completed. The result of calculation is the CRC for this message.

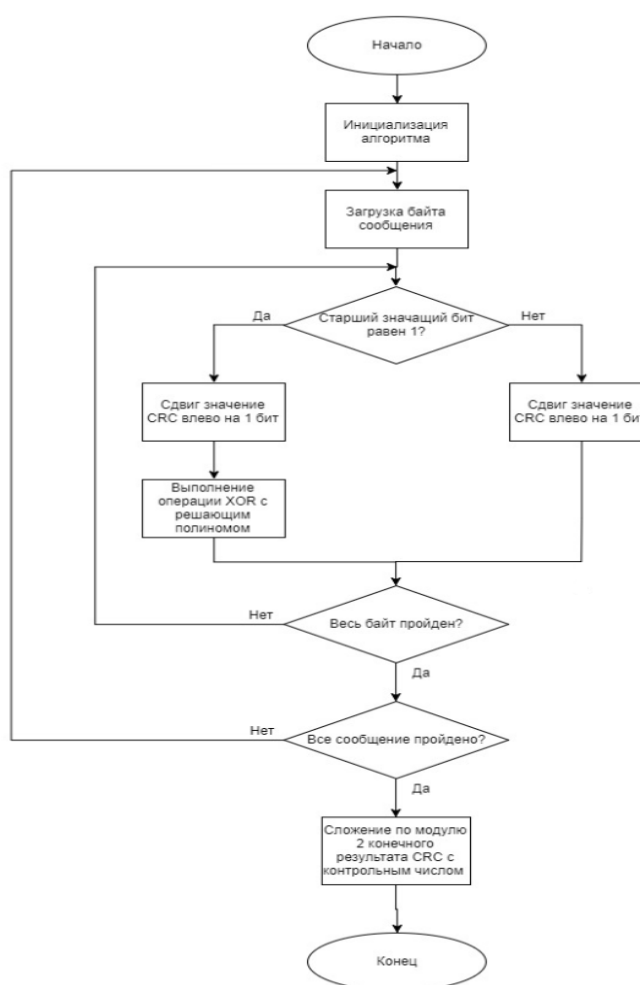


Figure 2 – Algorithm for calculated CRC

William Ross wrote about CRC in his article [4], where he described all features necessary for working with CRC in detail. This article presents a model of Rocksoft™ CRC algorithms, on which the specification of all cyclic codes is based.

According to this model, the main parameters are: Name, Width, Poly, Init, RefIn, RefOut, XorOut, Check. These options are the minimum necessary for the specification and standardization of CRC.

Parameters assignment [4]:

1. Name: name assigned to the algorithm.
2. Width: the degree of the algorithm is determined by the degree of the generator polynomial.
3. Poly: generator polynomial, represented in hex-form, or in the format of a polynomial.
4. Init: parameter defining the initial state of the CRC register.
5. RefIn: the parameter that determines the inversion of the byte at the input of the algorithm. False - message bytes are processed starting from 7 bits. True - the message bytes are processed starting at bit 0.
6. RefOut: parameter determining whether there is an inverse of the order of the bits in the CRC register after processing the last byte of the message. False - without inversion, True - with inversion.
7. XorOut: some number that combines the CRC register for the final calculation of the checksum.
8. Check: It is calculated by the algorithm for the ASCII string "123456789" (in hex-form "31 32 33 ..") and is one of the ways to check the correct way of writing of the algorithm.

All standardized CRC algorithms currently used are given in [5].

Softwareimplementationofthisalgorithm: at the moment there are 2 types and 3 methods of writing the CRC algorithm. Types of implementation arenormal and reversed. Methods of implementation arenormal, look-up table, quick.

The type of algorithm is determined by the way the general polynomial is presented - normal or reversed.

Normal method follows the algorithm directly (figure 2), i.e. bitwise processing of message. Software implementation variants of the algorithmare given in article [7 - 9].

Look-up table method is a way to "accelerate" the calculation of the CRC. Method is based on the pre-calculated CRC values for all bit combinations of bytes. These values are entered in a look-up table. The index of table indicates the bit combination and the cell values the calculated CRC for this combination. The calculation CRC for the message occurs by loading into the CRC register the values from look-up table.

Quick method is used to "accelerate" transfer and is based on the principle of storing the CRC value for static messages in memory and then adding them to the package during transfer.

The advantage of these algorithms is the high ability to detect all types of errors in the working area of the algorithm, for example one of standard algorithm of CRC-8: Name: CRC-8/MAXIM; Width: 8; Poly: 0x31; Init: 0x0; RefIn: true; RefOut: true; XorOut: 0x0; Check: 0xA1 - ensured to detect single, double, triple and all odd errors in messages up to 15 bytes in size.

The disadvantages of these algorithms are:

The relative complexity of the calculation;

A relatively long calculation of the checksum which affects the efficiency of the communication channel.

### **1.3 Data transfer protocols**

A data transfer protocol is a set of rules that define the exchange of data between different programs. Protocols set the way to transmit messages and handle errors, and also allow you to develop standards that are not tied to a specific platform [10].

All protocols are subject to two options structures: command word - data words - keyword; command + key words - data words.

The command word is a constant value that defines the beginning of the transfer. It consists of the identifier to begin the transfer, the device number of the

sender and the addressee (in some cases the number of the sender can be excluded), the number of transmitted words (can also be excluded).

Data word is useful data that is transmitted through the exchange channel.

Keyword is checksum, calculated by a predetermined algorithm.

According to [11], all protocols can be divided into 2 groups: static and dynamic. Static protocols are transmit fixed-size messages. Dynamic protocols are protocols in which the size of the transmitted information changes in the process of transmission according to the conditions determined in advance.

In [12] the basic types of protocols are:

1. Hash-Lock protocol;
2. Hash-Chain protocol;
3. SPA protocol.

Hash-Lock protocol is characterized by continuous messaging, so that there is no "stagnation" on communication channel. This type of protocol is used in stream processing systems, as well as in streaming audio and video messages. The advantage of this type is the maximum load on the information lines of the communication channel. The disadvantage of the protocol is the loss of defective messages because the transfer is one-way.

Hash-Chain protocol is based on the request-response mechanism, i.e. each transmission of the message is confirmed by a response about the accuracy of the received message, or, in case of an error, by a request to repeat the message. The advantage of this type of protocol is the guaranteed acceptance of each message due to the transmission of the same message in case of an error. The disadvantages of this protocol are: the appearance of "downtime" on the line of the exchange channel, while the device checks the correctness of the received message; the occurrence of errors leads to duplication of the previous message which reduces the information bandwidth.

The SPA protocol is based on a dendritic structure (figure 3). This protocol is a modification of the Hash-Chain protocol. The main difference is in dividing the message into parts, with each part of the message being protected by the checksum.

In case of an error, the message segment defines where the error occurred, and a request is sent for this segment.

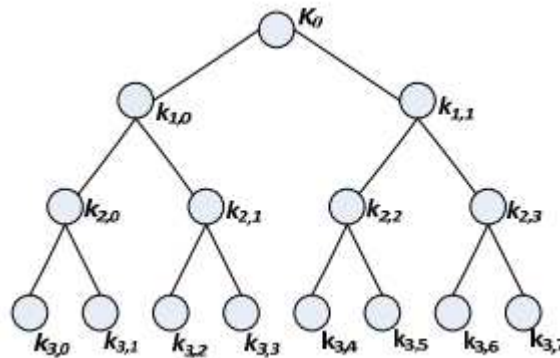


Figure 3 – the structure of the SPA protocol [12]

The main advantage of this protocol is increased bandwidth due to the absence of the entire message transfer. The disadvantage of SPA protocol is in case of an error, it is necessary to spend time on the determination of the faulty segment. The use of the SPA protocol is determined by the size of the transmitted message, when the time spent on computing is leveled by the computing power of the transmitting device.

#### 1.4 Data transfer interfaces

To implement the transfer of discrete information using two basic approaches to organize interfaces:

Parallel interface - each bit of the transmitted group uses its own signal line, all the bits of the group are transmitted together in the same time interval. Examples of the parallel interfaces are printer parallel port (LPT port, 8 bits), ATA / ATAPI interface (16 bits), SCSI (8 or 16 bits), PCI bus (32 or 64 bits) [13];

Serial interface - only one signal line is used, and the bits of the group are transmitted one after the other in turn; each of them has its own quantum of time (bit interval). Examples of the serial interfaces are serial communication port (COM

port), USB and FireWire serial buses, PCI Express, local and global network interfaces [13].

According to [14], the main parameters of the interfaces are:

1. Interface bandwidth - the amount of information that can be transmitted through the interface in a unit of time;
2. The maximum frequency of transmission of information signals;
3. The information width - the quantity of bits or bytes of data transmitted in parallel;
4. The maximum allowable distance between the connected devices;
5. Dynamic parameters of the interface - the time of transmission of a single word or data block taking into account the duration of the procedures for preparing and completing the transfer;
6. The total number of wires (lines) in the interface.

According to [15], the advantages of parallel interfaces are the relative simplicity of the software and hardware implementation and the high transfer rate. The disadvantages are the presence of a multi-pin connector and a large area of PCB is involved, limiting the length of the wire transmission lines. Also, in [16] is shown that the main disadvantage is the presence of a race condition in the information lines - the data is sent simultaneously, due to the delay in signal propagation, some bits arrive before others.

Key advantages of the serial interfaces over parallel are reducing the number of connections, which is quite important for microcontroller devices (when there is a shortage of parallel input / output ports) and increased length of transmission lines [17]. The disadvantage is the relatively low transfer rate, [13] although modern interfaces have already reached a transfer rate of hundreds of Mbps [18].

To improve the noise immunity of the interface systems, in addition to the classical methods of improving noise immunity, it is necessary to choose a rational choice modulation mode of a digital signal.

There are the following types of modulation of the digital signal:

1. Two-level coding;

2. three-level coding;
3. four-level coding;
4. Coding with a large number of levels.

The types of modulation of a digital signal are divided into:

1. Unipolar coding - voltage range from  $+U_V$  to 0;
2. Bipolar coding - voltage range from  $+U_V$  to  $-U_V$ .

NRZ code (figure 4) is a two-level code in which a low level corresponds to a logical zero, a high level to a logical one. This code is widely used due to its ease of implementation and high data transfer rate. It is used in standards RS-232 (unipolar code), RS-485 (bipolar code), SPI, etc. The disadvantage of this code is non-availability of the self-synchronization feature, which requires either introducing additional start and stop bits (as in RS-232 and RS-485), or using an additional line for transmitting the clock signal (as in SPI).

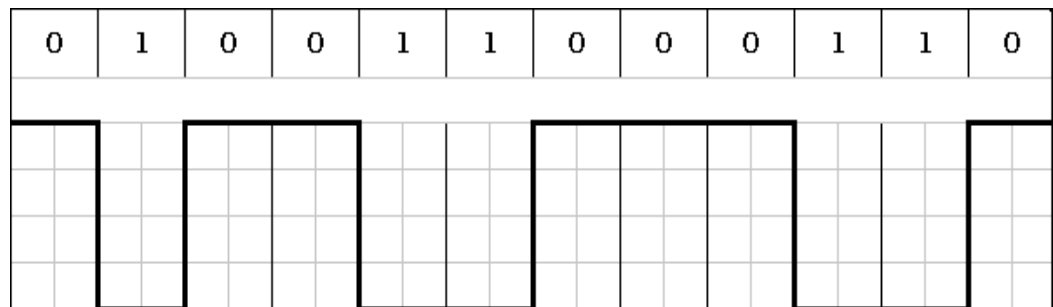


Figure 4 – NRZ code [19]

Also, it is worth mentioning modifications of this code: NRZ Space (NRZS) and NRZ Inverted (NRZI). In these codes, coding 0 (for NRZS) and 1 (for NRZI) occurs by changing the signal level, with opposite combinations the level does not change. NRZS is used in HDLC and USB protocols. NRZI in the Fast Ethernet 100base-FX protocol. The main disadvantage of these coding methods is the loss of synchronization during long-term transfer 1 (NRZS) or 0 (NRZI), which is solved by embedding additional synchronizing bits in such sequences to change the logic level. This leads to decrease in the information throughput of the channel.

The Manchester code (figure 5) is a two-level code in which the coding occurs by a potential drop in the middle of the bit interval, the logical one coded from low level to high, a logical zero coded from high level to low (according to IEEE 802.3 standard). Also, there is a code according to D. E. Thomas, with the reverse logic. This code is two-frequency, i.e. there are only two frequencies presented:  $N$  Hz when transfer data of the same type (zeros or ones), and  $N / 2$  Hz when transfer different data (alternation of zeros and ones). The advantage of the Manchester code is its self-synchronization property, due to which there is no need for start and stop bits, and the data density in the total data flow (with continuous transfer) tends to 100%.

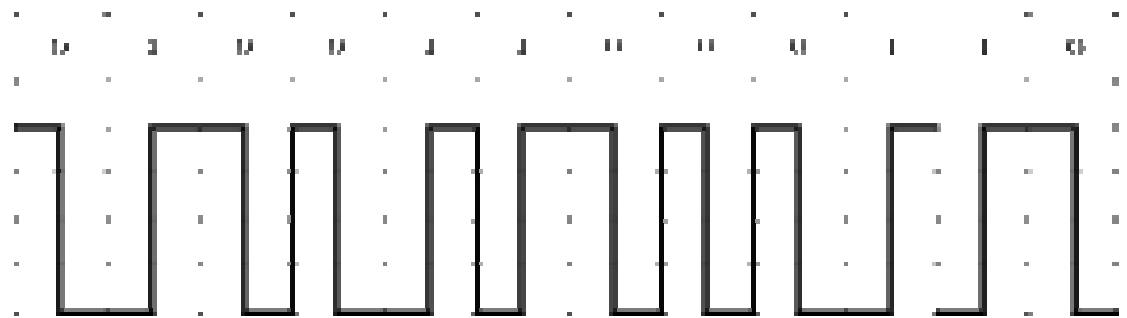


Figure 5 –Manchester IEEE 802.3 code [20]

The Miller code is a two-level code in which each bit of information is encoded with two bits {00, 01, 10, 11}, and the transition between states occurs according to the graph (Figure 6). The code is three-frequency, with continuous transmission of zeros or ones, the level changes with the interval  $T$ , the transition from transferring zeros to the transfer of ones (or reverse) will be  $1.5 T$ , with alternating zeros and ones  $2T$ .

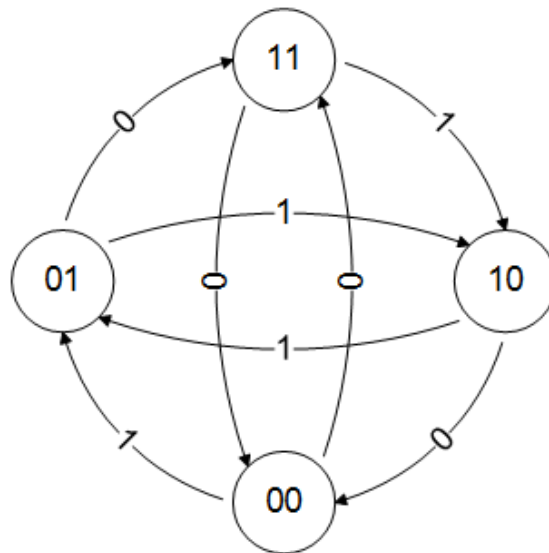


Figure 1.6 – Graph describing the formation of the Miller code [21]

The advantage of this code are in the ability of self-synchronization and a narrower bandwidth than in the Manchester code. The disadvantage of this code is the presence of a constant component in the signal.

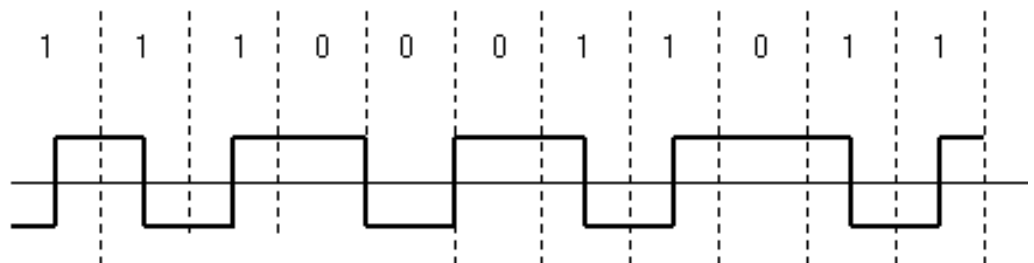


Figure 7 – Miller code [22]

The AMI code is a three-level code in which the logical one is coded by cyclically switching between the states:  $+U_V$  and  $-U_V$ , and the logical zero is coded  $0_V$ . The disadvantage of the code is the limitation on the density of zeros in the data stream, as this results in a loss of synchronization between the receiver and the transmitter.

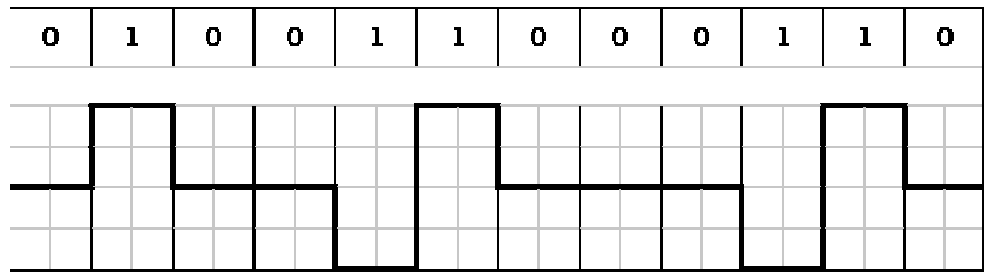


Figure 8 –AMIcode [23]

MLT-3 code is a three-level code in which encoding is the same as in the NRZI code, but when logical one is coded by cyclic switching occurs between  $+U V$ ,  $0 V$ ,  $-U V$ . It is used in Fast Ethernet 100base-tx.

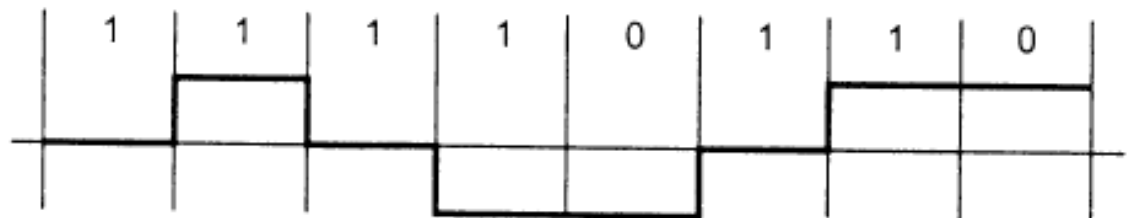


Figure 9 –MLT-3 code.

**Приложение Б**  
(обязательное)

Экспериментальные данные

Таблица Б.1 – Экспериментальные данные

|                    | 1 бит            |                                   |                      | 2 бита           |                                   |                      | 3 бита           |                                   |                      |
|--------------------|------------------|-----------------------------------|----------------------|------------------|-----------------------------------|----------------------|------------------|-----------------------------------|----------------------|
|                    | Всего комбинаций | Пропущенных неисправных сообщений | Надежность алгоритма | Всего комбинаций | Пропущенных неисправных сообщений | Надежность алгоритма | Всего комбинаций | Пропущенных неисправных сообщений | Надежность алгоритма |
| module100          | 80               | 0                                 | 1                    | 3520             | 144                               | 0,959091             | 112640           | 109552                            | 0,027415             |
| CRC8               | 80               | 0                                 | 1                    | 3520             | 0                                 | 1                    | 112640           | 0                                 | 1                    |
| CRC10              | 88               | 0                                 | 1                    | 4224             | 0                                 | 1                    | 146432           | 0                                 | 1                    |
| CRC12              | 88               | 0                                 | 1                    | 4224             | 0                                 | 1                    | 146432           | 0                                 | 1                    |
| CRC15              | 88               | 0                                 | 1                    | 4224             | 0                                 | 1                    | 146432           | 0                                 | 1                    |
| CRC16              | 88               | 0                                 | 1                    | 4224             | 0                                 | 1                    | 146432           | 0                                 | 1                    |
| Табличный алгоритм |                  |                                   |                      |                  |                                   |                      |                  |                                   |                      |
|                    | 1 бит            |                                   |                      | 2 бита           |                                   |                      | 3 бита           |                                   |                      |
|                    | Всего комбинаций | Пропущенных неисправных сообщений | Надежность алгоритма | Всего комбинаций | Пропущенных неисправных сообщений | Надежность алгоритма | Всего комбинаций | Пропущенных неисправных сообщений | Надежность алгоритма |
| module100          | 80               | 0                                 | 1                    | 3520             | 144                               | 0,959091             | 112640           | 109552                            | 0,027415             |
| CRC8               | 80               | 0                                 | 1                    | 3520             | 0                                 | 1                    | 112640           | 0                                 | 1                    |
| CRC10              | 88               | 0                                 | 1                    | 4224             | 0                                 | 1                    | 146432           | 0                                 | 1                    |
| CRC12              | 88               | 0                                 | 1                    | 4224             | 0                                 | 1                    | 146432           | 0                                 | 1                    |
| CRC15              | 88               | 0                                 | 1                    | 4224             | 0                                 | 1                    | 146432           | 0                                 | 1                    |
| CRC16              | 88               | 0                                 | 1                    | 4224             | 0                                 | 1                    | 146432           | 0                                 | 1                    |

Продолжение таблицы Б.1

|                    | 4 бита           |                                   |                      | 5 бит            |                                   |                      | 6 бит            |                                   |                      |
|--------------------|------------------|-----------------------------------|----------------------|------------------|-----------------------------------|----------------------|------------------|-----------------------------------|----------------------|
|                    | Всего комбинаций | Пропущенных неисправных сообщений | Надежность алгоритма | Всего комбинаций | Пропущенных неисправных сообщений | Надежность алгоритма | Всего комбинаций | Пропущенных неисправных сообщений | Надежность алгоритма |
| module100          | 2928640          | 2865304                           | 0,02162642           | 65601536         | 64752678                          | 0,01294              | 1,41E+09         | 1,4E+09                           | 0,009987             |
| CRC8               | 2928640          | 21136                             | 0,992782998          | 65601536         | 192780                            | 0,997061             | 1,41E+09         | 6306677                           | 0,995529             |
| CRC10              | 4100096          | 5120                              | 0,998751249          | 98402304         | 60945                             | 0,999381             | 2,26E+09         | 2474729                           | 0,998907             |
| CRC12              | 4100096          | 1344                              | 0,999672203          | 98402304         | 10938                             | 0,999889             | 2,26E+09         | 564489                            | 0,999751             |
| CRC15              | 4100096          | 0                                 | 1                    | 98402304         | 0                                 | 1                    | 2,26E+09         | 56056                             | 0,999975             |
| CRC16              | 4100096          | 640                               | 0,999843906          | 98402304         | 2312                              | 0,999977             | 2,26E+09         | 58317                             | 0,999974             |
| Табличный алгоритм |                  |                                   |                      |                  |                                   |                      |                  |                                   |                      |
|                    | 4 бита           |                                   |                      | 5 бит            |                                   |                      | 6 бит            |                                   |                      |
|                    | Всего комбинаций | Пропущенных неисправных сообщений | Надежность алгоритма | Всего комбинаций | Пропущенных неисправных сообщений | Надежность алгоритма | Всего комбинаций | Пропущенных неисправных сообщений | Надежность алгоритма |
| module100          | 2928640          | 2865304                           | 0,02162642           | 65601536         | 64752678                          | 0,01294              | 1,41E+09         | 1,4E+09                           | 0,009987             |
| CRC8               | 2928640          | 21136                             | 0,992782998          | 65601536         | 192780                            | 0,997061             | 1,41E+09         | 6306677                           | 0,995529             |
| CRC10              | 4100096          | 4736                              | 0,998844905          | 98402304         | 46726                             | 0,999525             | 2,26E+09         | 1776069                           | 0,999215             |
| CRC12              | 4100096          | 1280                              | 0,999687812          | 98402304         | 8642                              | 0,999912             | 2,26E+09         | 443830                            | 0,999804             |
| CRC15              | 4100096          | 0                                 | 1                    | 98402304         | 0                                 | 1                    | 2,26E+09         | 52872                             | 0,999977             |
| CRC16              | 4100096          | 640                               | 0,999843906          | 98402304         | 2312                              | 0,999977             | 2,26E+09         | 58317                             | 0,999974             |

Продолжение таблицы Б.1

|                    | 7 бит            |                                   |                      |
|--------------------|------------------|-----------------------------------|----------------------|
|                    | Всего комбинаций | Пропущенных неисправных сообщений | Надежность алгоритма |
| module100          | 2,4E+10          | 23766268864                       | 0,009384606          |
| CRC8               | 2,4E+10          | 83507664                          | 0,996519269          |
| CRC10              | 4,08E+10         | 33707112                          | 0,99917355           |
| CRC12              | 4,08E+10         | 7946464                           | 0,999805164          |
| CRC15              | 4,08E+10         | 866000                            | 0,999978767          |
| CRC16              | 4,08E+10         | 1008792                           | 0,999975266          |
| Табличный алгоритм |                  |                                   |                      |
|                    | 7 бит            |                                   |                      |
|                    | Всего комбинаций | Пропущенных неисправных сообщений | Надежность алгоритма |
| module100          | 2,4E+10          | 23766268864                       | 0,009384606          |
| CRC8               | 2,4E+10          | 83507664                          | 0,996519269          |
| CRC10              | 4,08E+10         | 29483456                          | 0,999277108          |
| CRC12              | 4,08E+10         | 7181888                           | 0,99982391           |
| CRC15              | 4,08E+10         | 830800                            | 0,99997963           |
| CRC16              | 4,08E+10         | 1008792                           | 0,999975266          |

## **Приложение В**

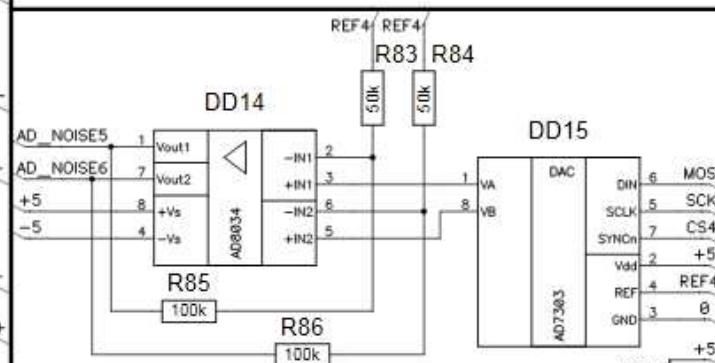
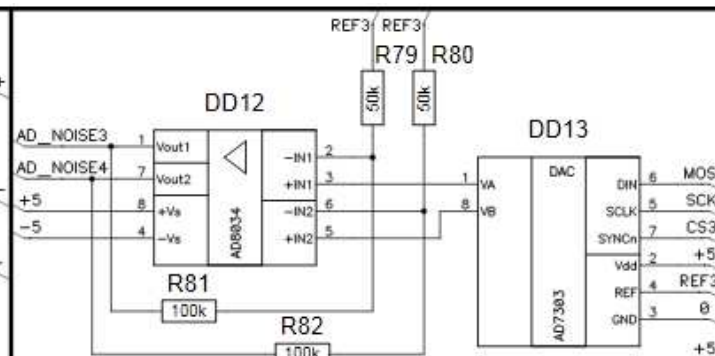
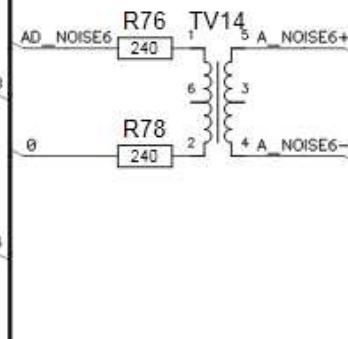
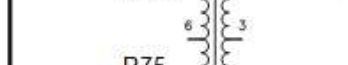
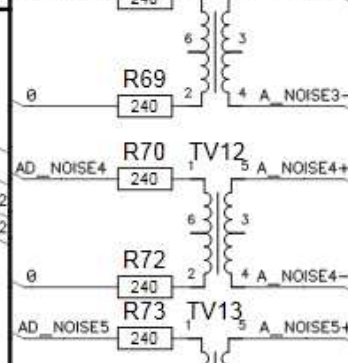
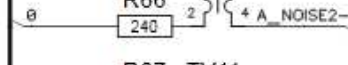
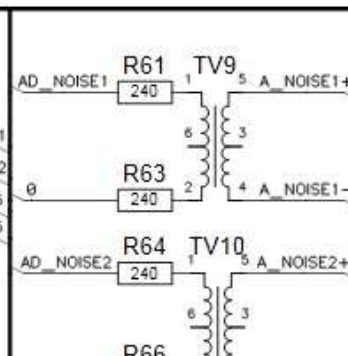
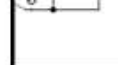
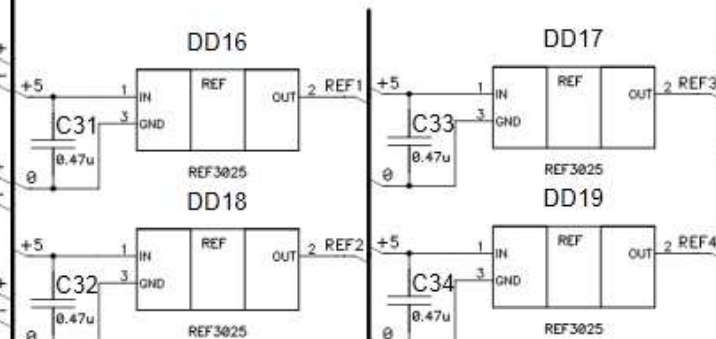
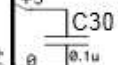
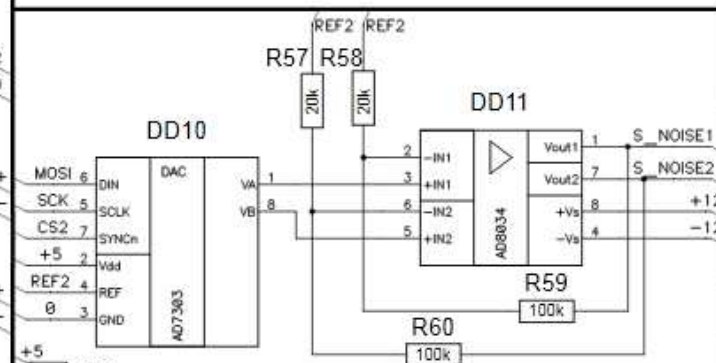
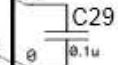
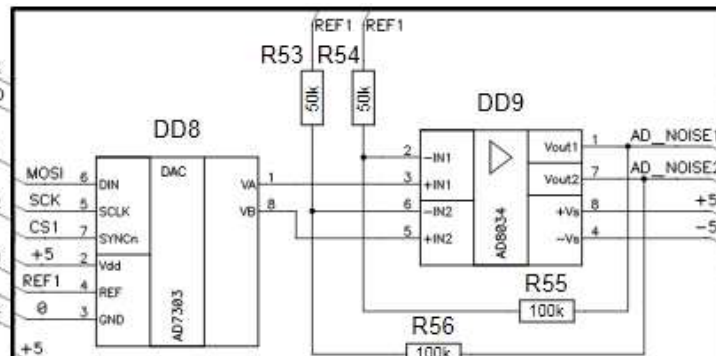
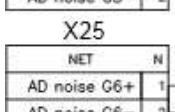
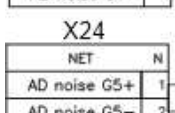
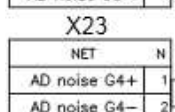
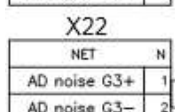
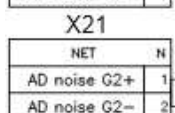
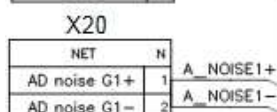
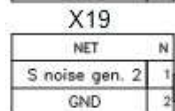
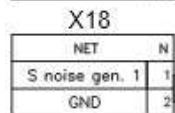
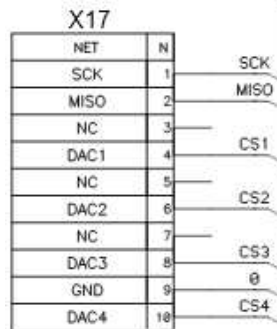
(Обязательное)

Схема электрическая принципиальная головного модуля



**Приложение Г**  
(Обязательное)

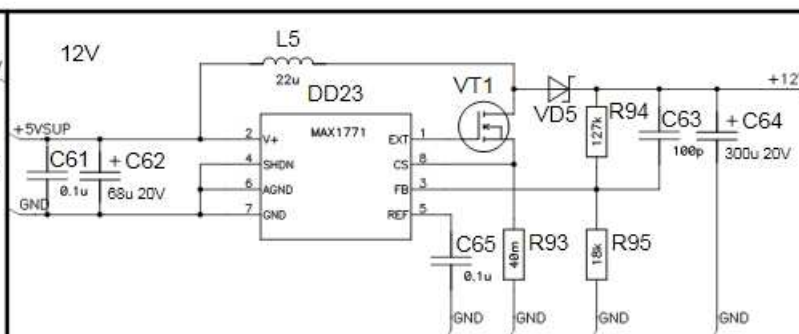
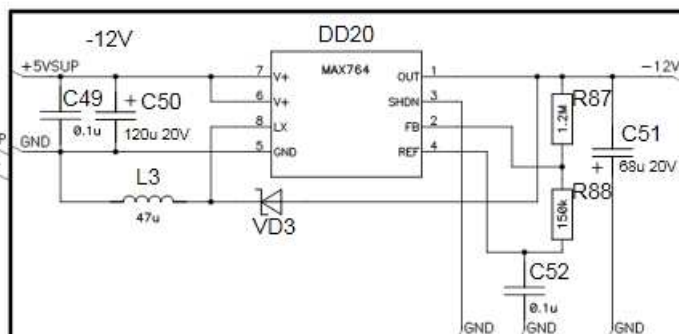
Схема электрическая принципиальная генератора помех



**Приложение Д**  
(Обязательное)

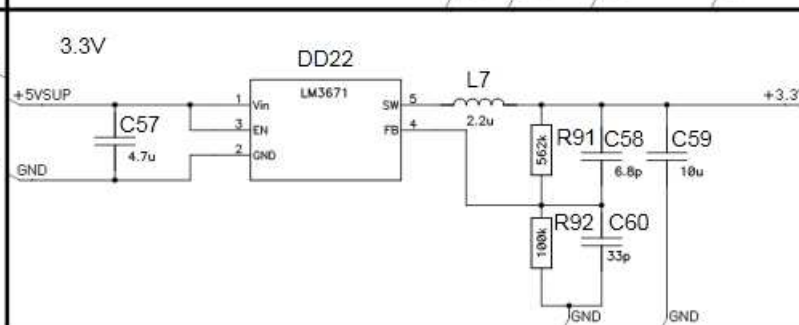
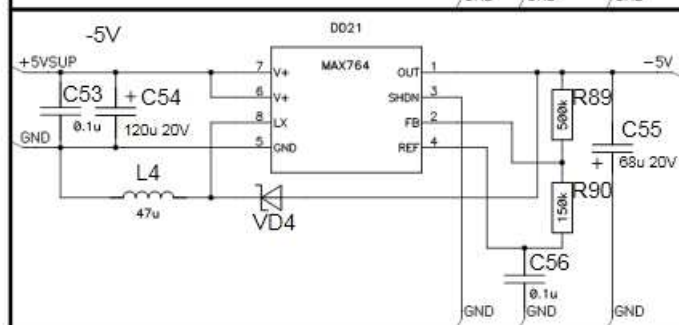
Схема электрическая принципиальная источника питания

| X27  |   |
|------|---|
| NET  | N |
| +5 V | 1 |
| GND  | 2 |



| X28 |        |
|-----|--------|
| N   | NET    |
| 1   | +3.3 V |
| 2   | GND    |

| X29 |       |
|-----|-------|
| N   | NET   |
| 1   | +5 V  |
| 2   | -5 V  |
| 3   | +12 V |
| 4   | -12 V |
| 5   | GND   |



## **Приложение Е**

(Обязательное)

Временные показатели проведения научного исследования и календарный  
план-график проведения НИР

ТаблицаЕ.1 – Временные показатели проведения научного исследования

| Название работы                                     | Исполнитель | Трудоемкость работ (чел-дни) |              |           | Длительность работ (дн.) |      |          |       |
|-----------------------------------------------------|-------------|------------------------------|--------------|-----------|--------------------------|------|----------|-------|
|                                                     |             |                              |              |           | $T_{pi}$                 |      | $T_{ki}$ |       |
|                                                     |             | $t_{\min i}$                 | $t_{\max i}$ | $t_{oji}$ | НР                       | Ин   | НР       | Ин    |
| Постановка целей и задач, получение исходных данных | НР          | 2                            | 7            | 4         | 4                        | -    | 4,88     | -     |
| Составление и утверждение ТЗ                        | НР, И       | 3                            | 7            | 4,6       | 2,3                      | 2,3  | 2,8      | 2,8   |
| Подбор и изучение материалов по тематике            | НР, И       | 10                           | 17           | 12        | 6                        | 6    | 7,32     | 7,32  |
| Разработка календарного плана                       | НР, И       | 1                            | 3            | 1,8       | 0,9                      | 0,9  | 1,09     | 1,09  |
| Выбор структурной схемы устройства                  | НР, И       | 2                            | 5            | 3,2       | 1,6                      | 1,6  | 1,95     | 1,95  |
| Выбор принципиальной схемы устройства               | НР, И       | 5                            | 10           | 7         | 3,5                      | 3,5  | 4,27     | 4,27  |
| Расчет принципиальной схемы устройства              | И           | 3                            | 5            | 3,8       | -                        | 3,8  | -        | 4,36  |
| Разработка макета устройства                        | И           | 5                            | 12           | 7,8       | -                        | 7,8  | -        | 9,52  |
| Написание программ                                  | И           | 7                            | 20           | 12,2      | -                        | 12,2 | -        | 14,88 |
| Проведение экспериментальных исследований           | НР, И       | 2                            | 5            | 3,2       | 1,6                      | 1,6  | 1,95     | 1,95  |
| Оформление расчетно-пояснительной записки           | И           | 1                            | 2            | 1,4       | -                        | 1,4  |          | 1,70  |
| Оформление материала                                | И           | 5                            | 15           | 9         | -                        | 9    |          | 10,98 |
| Подведение итогов                                   | НР, И       | 1                            | 4            | 2,2       | 1,1                      | 1,1  | 1,34     | 1,34  |

Таблица Е.2 – Календарный план-график проведения НИР

| Название работы                                     | Исполнитель | $T_{кi}$ | Продолжительность выполнения работ |   |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |      |   |   |      |   |   |
|-----------------------------------------------------|-------------|----------|------------------------------------|---|---|------|---|---|--------|---|---|-----|---|---|------|---|---|------|---|---|
|                                                     |             |          | февраль                            |   |   | март |   |   | апрель |   |   | май |   |   | июнь |   |   | июль |   |   |
|                                                     |             |          | 1                                  | 2 | 3 | 1    | 2 | 3 | 1      | 2 | 3 | 1   | 2 | 3 | 1    | 2 | 3 | 1    | 2 | 3 |
| Постановка целей и задач, получение исходных данных | НР          | 4,88     |                                    |   |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |      |   |   |      |   |   |
| Составление и утверждение ТЗ                        | НР, И       | 2,8      |                                    |   |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |      |   |   |      |   |   |
| Подбор и изучение материалов по тематике            | НР, И       | 7,32     |                                    |   |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |      |   |   |      |   |   |
| Разработка календарного плана                       | НР, И       | 1,09     |                                    |   |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |      |   |   |      |   |   |
| Выбор структурной схемы устройства                  | НР, И       | 1,95     |                                    |   |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |      |   |   |      |   |   |
| Выбор принципиальной схемы устройства               | НР, И       | 4,27     |                                    |   |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |      |   |   |      |   |   |
| Расчет принципиальной схемы устройства              | И           | 4,36     |                                    |   |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |      |   |   |      |   |   |
| Разработка макета устройства                        | И           | 9,52     |                                    |   |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |      |   |   |      |   |   |
| Написание программ                                  | И           | 14,88    |                                    |   |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |      |   |   |      |   |   |
| Проведение экспериментальных исследований           | НР, И       | 1,95     |                                    |   |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |      |   |   |      |   |   |
| Оформление расчетно-пояснительной записки           | И           | 1,70     |                                    |   |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |      |   |   |      |   |   |
| Оформление материала                                | И           | 10,98    |                                    |   |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |      |   |   |      |   |   |
| Подведение итогов                                   | НР, И       | 1,34     |                                    |   |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |      |   |   |      |   |   |



- инженер



- научный руководитель