

**Некоммерческое акционерное общество
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ»**

Кафедра «Телекоммуникационные системы»

Специальность: 6М071900 «Радиотехника, электроника и телекоммуникации»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

Зав. кафедрой

к.т.н., профессор Байкенов А.С.

(ученая степень, звание, ФИО)

_____ (подпись)

« _____ » _____ 2015 г.

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ
пояснительная записка**

на тему: «Исследование качества связи по технологии Wi-Fi на базе микропроцессоров Texas Instruments MSP430RF4»

Магистрант: Рыскалиева Н.Т. _____ группа МРЭн 13
(Ф.И.О.) (подпись)

Руководитель: к.т.н., проф. _____ Копесбаева А.А.
(ученая степень, звание) (подпись) (Ф.И.О.)

Рецензент _____
(ученая степень, звание) (подпись) (Ф.И.О.)

Консультант по ВТ к.т.н., ст.препод _____ Ефремова Ю.И.
(ученая степень, звание) (подпись) (Ф.И.О.)

Нормоконтроль: ст. преподав. _____ Дмитриева Т.Д.
(ученая степень, звание) (подпись) (Ф.И.О.)

Алматы, 2015

Экспериментальная часть. Прохождения радиосигнала через разные препятствия	30.10.14	
Рекомендации по применению микропроцессоров TexasInstrument MSP430RF4	30.04.15	

Дата выдачи задания _____

Заведующий кафедрой _____ (Байкенов А.С)
(подпись) (Ф.И.О.)

Научный руководитель диссертации  _____ (Копесбаева А.А)
(подпись) (Ф.И.О.)

Задание принял к исполнению
магистрант  _____ (Рыскалиева Н.Т)
(подпись) (Ф.И.О.)

Рисунок 3.5 - График зависимости мощности сигнала от расстояния с учетом препятствий 1

Рисунок 3.8 - Имитационная уменьшенная модель распространения радиосигнала через разные виды препятствий

Рисунок 3.9 - График зависимости мощности сигнала от вида препятствия

Рисунок 3.10- График зависимости относительной величины мощности сигнала от расстояния

Рекомендуемая основная литература:

1. Букашкин С.А., Лисицын Г.Ф., Миронов В.Г. Применение цифровых процессоров обработки сигналов - магистральный путь развития современных средств телекоммуникаций // Сборник докладов 3-й межд. конф. «Цифровая обработка сигналов и ее применение». Т. 1. М.:2008. - 3-4с

2. А. И. Рыжов, В. А. Лазарев, Т. И. Мохсени, Д. В. Никеров, Ю. В. Андреев, А. С. Дмитриев, Н. П. Чубинский. Ослабление сверхширокополосных хаотических сигналов диапазона 3-5 ГГц при прохождении через стены зданий.-М.: Форум, 2012.- 116с

3. Передача информации по беспроводным сетям в условиях пересеченной местности: Учебно-методический материал/ В.Г. Гавриленко, В.А. Яшнов. - Нижний Новгород: Нижегородский университет им. Н. И. Лобачевского, 2007.- 15с

4. В.Г. Гавриленко, В.А. Яшнов. Передача информации по беспроводным сетям в условиях пересеченной местности //Учебно-методический материал, Нижний Новгород, Нижегородский университет им. Н. И. Лобачевского 2007г.

Г Р А Ф И К
подготовки магистерской диссертации

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Введение. Актуальность проблемы	28.10.13	
Исторический обзор систем связи на базе микропроцессоров фирмы TexasInstrument	28.02.14	
Аппаратно- программный комплекс для исследования качества связи	31.03.14	

Аннотация

Целью диссертационной работы является выработать практические рекомендации по промышленному применению экспериментальной платы MSP430RF4, полученной кафедрой «Электроника» от фирмы Texas Instruments по университетской программе.

На основе проведенных экспериментальных работ были сделаны выводы по качеству связи между платами MSP430RF4 и рекомендовано применение данных микропроцессоров в системах «Умный дом», системах автоматизации жилищно-коммунального хозяйства или автоматизированных систем управления зданий.

Диссертационная работа состоит из 3 частей, 68 листов и содержит 36 рисунков, 17 таблиц, 34 источников.

Аңдатпа

Диссертациялық жұмыстың мақсаты университет бағдарламасы бойынша Texas Instruments фирмасынан «Электроника» кафедрасына берілген MSP430RF4 тәжірибелік платасының өндірісте қолданылуына нұсқаулықтар жасау.

Жасалған тәжірибелер негізінде MSP430RF4 платалары арасындағы байланыс сапасына қорытындылар жасалып, Texas Instruments фирмасының микропроцессорларының «Ақылды үй» жүйесінде, Тұрғын үй коммуналды шаруашылықтың автоматтандырылған жүйелерінде, ғимараттың автоматтандырылған басқару жүйелерінде қолданылуына нұсқаулықтар жасалды.

Диссертациялық жұмыс 3 бөлімнен, 68 беттен және 36 сурет, 17 кесте, 34 әдебиеттен тұрады.

Annotation

The purpose of dissertation work is to develop practical recommendations about industrial application of an experimental payment of MSP430RF4 received by Elektronika chair from Texas Instruments firm according to the university program.

On the basis of the carried out experimental of works were made conclusions on the quality of connection between the boards MSP430RF4 and have been proposed recommendations on application of of microprocessors of firm Texas Instruments in the systems of «Clever house», housing and communal services, automatic control system.

The thesis is divided into 3 parts, 68 pages and contains 36 figures, 17 tables, 34 sources.

Содержание

Введение	6
1 Обзор литературы по средствам связи на базе микропроцессоров фирмы Texas Instruments	8
1.1 Исторический обзор систем связи на базе микропроцессоров фирмы Texas Instruments	8
1.2 Обзор средств связи на базе микропроцессоров других фирм	10
1.3 Обзор литературы по современным методам улучшения качества беспроводной связи	17
1.4 Обзор по программному обеспечению микропроцессоров для беспроводной связи	30
2 Разработка систем передачи измерительной информации на базе микропроцессоров фирмы Texas Instruments	36
2.1 Аппаратный комплекс системы исследования качества связи	36
2.2 Программное обеспечение измерительного комплекса	41
2.3 Аппаратно- программный комплекс для исследования качества связи	44
3 Исследование программно-аппаратного комплекса на базе микропроцессоров Texas Instruments MSP430RF4	49
3.1 Исследование режимов работы микропроцессоров	49
3.2 Экспериментальная часть	51
3.2.1 Распространение радиосигнала в пределах прямой видимости	52
3.2.2 Распространение радиосигнала в свободном пространстве	53
3.2.3 Распространение радиосигнала в помещении с учетом влияния стен	56
3.2.4 Распространение радиосигнала с разными видами препятствий	59
3.3 Выводы	62
Заключение	63
Список литературы	64
Приложение А Статистическая обработка данных с помощью программы Excel	67
Приложение Б Характеристики экспериментальной платы на базе микропроцессоров MSP-EXPC430RF4	69
Приложение В Электронная версия ДР и демонстрационные	

Введение

Развитие микроэлектроники и широкое её применение в промышленном производстве, в устройствах и системах управления самыми разнообразными объектами и процессами является в настоящее время одним из основных направлений научно технического прогресса. Использование микроэлектронных средств в изделиях промышленного и культурно-бытового назначения не только приводит к повышению технико-экономических показателей изделий (стоимости, надежности, потребляемой мощности, габаритных размеров). Также позволяет многократно сократить сроки разработки и отодвинуть сроки «морального старения» изделий, но и придает им принципиально новые потребительские качества (расширенные функциональные возможности, модифицируемость, адаптивность и т.д.). В микроэлектронике бурное развитие получило направление, связанное с выпуском однокристальных микропроцессоров, которые предназначены для «интеллектуализации» оборудования различного назначения. Однокристальные микроконтроллеры представляют собой приборы, конструктивно выполненные в виде БИС и включающие в себя все составные части «голой» микро ЭВМ: микропроцессор, память программ и память данных, а также программируемые интерфейсные схемы для связи с внешней средой. Использование микропроцессоров в системах управления обеспечивает достижение исключительно высоких показателей эффективности при столь низкой стоимости (во многих применениях система может состоять только из одной БИС микроконтроллера), что микроконтроллерам, видимо, нет разумной альтернативной элементной базы для построения управляющих и регулирующих систем, и в будущем микроконтроллеры будут находить все большее применение.

По Университетской программе между АУЭС и Texas Instruments передано 6 плат на факты исследования их возможностей. Рекомендованы области использования этих плат:

- система «Умный дом»;
- жилищно-коммунальное хозяйство;
- автоматизированная система контроля;
- робототехническая система.

Актуальность проблемы. В последние годы возросло количество сетей, использующих беспроводную связь внутри помещений. При этом возникает ряд проблем, связанных с моделированием препятствий на пути

распространения сигналов, а также в связи с многолучевым распространением сигналов и большим количеством переотражений.

Проблема эта важна и многогранна, поэтому детальное изучение этой темы позволит более успешно строить разнообразные сети передачи данных.

В данной работе исследуется канал связи с частотой 433 МГц для передачи данных внутри и вне помещения с помощью оптимально компактной, недорогой схемы на базе микропроцессоров от TIMSP430RF4.

Цель работы Целью диссертационной работы является исследование качества связи в беспроводной сети на базе микропроцессорной экспериментальной платы MSP430KRF4.

Поставленная цель определяет следующие основные задачи диссертационной работы:

- исследование режимов работы микропроцессоров Texas Instruments MSP430RF4;

- использование встроенного радиомодуля CC430F5137;

- исторический обзор систем связи на базе микропроцессоров фирмы Texas Instruments;

- исследование свойств сигнала при прохождении радиоволн внутри здания через бетонные стены;

- исследование свойств сигнала при прохождении через разные препятствия на базе имитационной уменьшенной модели.

Научная новизна

1 Предложена методика постановки эксперимента для исследования распространение радиосигнала на частоте 433 МГц.

2 Экспериментально определены зависимости мощности принимаемого сигнала от расстояния для радиосигнала платы MSP430RF4.

3 Выработаны рекомендации практического применения данных микропроцессоров для передачи и сбора данных в системах автоматизации.

Практическая ценность работы Используемые инструментальные средства в виде комплекса имитационной уменьшенной модели могут использоваться при проектировании и исследовании разнообразных систем беспроводной передачи данных, в том числе – для анализа распространения радиоволн внутри помещения с разными препятствиями.

Этот комплекс экспериментальных и программных средств может быть использован при изучении вузовских дисциплин, в которых рассматриваются оценки мощности принимаемого сигнала в зоне обслуживания, моделирование радиоканалов, оценки мощности радиосигнала внутри здания и на улице, и для расчета внутреннего покрытия системами связи и предсказания затухания радиосигналов внутри помещения при сложной конфигурации здания. Учитывая результаты практических исследований, микропроцессоры фирмы Texas Instruments в дальнейшем может применяться в системах «Умный дом», системах автоматизации жилищно-коммунального хозяйства или автоматизированных систем управления зданий.

1 Обзор литературы по средствам связи на базе микропроцессоров фирмы Texas Instruments

1.1 Исторический обзор систем связи на базе микропроцессоров фирмы Texas Instruments

Texas Instruments - американская компания, производитель полупроводниковых элементов, микросхем, электроники и изделий на их основе. Является 4-м в мире по размерам производителем полупроводниковых приборов, уступая лишь Intel, Samsung и Toshiba. Занимает 1-е место по производству микросхем для мобильных устройств, а также 1-е место по производству цифровых сигнальных процессоров (DSP) и аналоговых полупроводников. Также компания производит микросхемы для широкополосных модемов, компьютерной периферии, электронные бытовые устройства и RFID-метки. Компания занимает 215 место в рейтинге Fortune 500. Полупроводниковая продукция составляет приблизительно 96 % прибыли компании. TI занимает лидирующие позиции во многих сегментах рынка, включая цифровые сигнальные процессоры серии TMS320, высокоскоростные микросхемы ЦАП и АЦП, контроллеры общего применения MSP430, решения в области управления электропитанием высокопроизводительные аналоговые устройства.

Беспроводные коммуникации в основном сосредоточены вокруг продукции TI: почти 50 % всех сотовых телефонов, проданных в мире, содержат в себе микросхемы Texas Instruments. Компания также производит и другую полупроводниковую продукцию - от специализированных микросхем до микроконтроллеров.

Сигнальные процессоры компании Texas Instruments [1] разделяются на два класса: это процессоры для обработки чисел с фиксированной точкой и процессоры для обработки чисел с плавающей точкой (рисунок 1). Первый класс представлен тремя семействами процессоров, базовыми моделями которых являются соответственно TMS320C10, TMS320C20, TMS320C50. Второй класс включает процессоры TMS320C30, TMS320C40, TMS320C80, которые поддерживают операции с плавающей точкой и представляют собой мультипроцессорную систему выполненную на одном кристалле, а семейство TMS320C6x включает как процессоры с фиксированной, так и с плавающей точкой. Процессоры старших поколений одного семейства наследуют основные архитектурные особенности и совместимы "снизу вверх" по системе команд (чего нельзя сказать о процессорах, входящих в разные семейства). Процессоры компании Texas Instruments обладают высокоскоростными интерфейсными подсистемами и поэтому их предпочтительнее использовать для тех задач, в которых требуется выполнение интенсивного обмена с внешними устройствами (микропроцессорные системы, различного рода контроллеры).

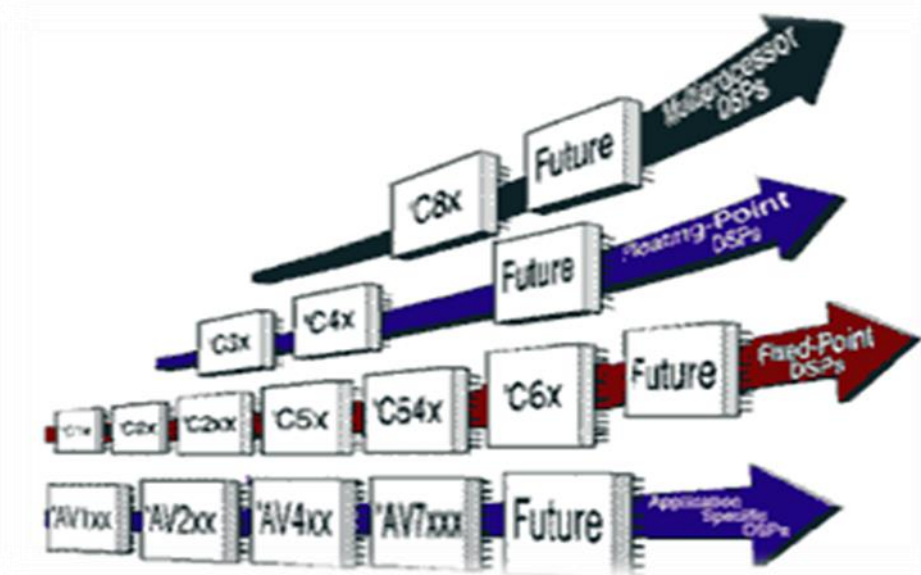


Рисунок 1.1 - Иерархическое дерево микропроцессоров фирмы Texas Instruments.

Также процессоры Texas Instruments стоят во множестве популярных устройств, включая, например, планшеты Amazon Kindle Fire HD, Barnes & Noble Nook Tablet и Black Berry Play Book, смартфон Samsung Galaxy Nexus и множество смартфонов компании Motorola.

Анализ сложившегося рынка показывает, что доминирующие позиции занимают крупные компании - производители ПЦОС, такие как Texas Instruments, Analog Devices, Motorola и ряд других, которые способны создавать не только ПЦОС низкой себестоимости, но и ежегодно инвестировать новые разработки и ноу-хау, создавать принципиально новые модели и платформы.

В числе наиболее распространенных ПЦОС можно назвать изделия следующих компаний - Motorola (56002, 96002), Intel (i960), Texas Instruments (TMS320) и Analog Devices (21xx, 210xx). Выбор процессоров той или иной компании для реализации конкретного проекта - многокритериальная задача, и сформулировать более или менее четкую методику выбора практически невозможно. В связи с этим, рассмотрим изделия одной из них, компании Texas Instruments, доля которой на рынке ПЦОС превышает 50% [1].

Компания Texas Instruments на рубеже столетий оказалась в заметно обновленном виде. Руководство компании приняло стратегическое решение сконцентрировать силы на упрочении лидирующего положения на рынке ПЦОС, а также других изделий, в первую очередь аналоговых, необходимых для системной интеграции процессоров в прикладные системы. Кроме того, компания Texas Instruments вышла на первое место в мире по продажам аналоговых и аналого-цифровых схем [1].

Компания Texas Instruments представила более гибкое решение для измерения и мониторинга электроэнергии – модельный ряд 16- разрядных микроконтроллеров со сверхнизким энергопотреблением MSP430F673x/F672.

Новые микросхемы от TI гарантирует бесперебойное функционирование, благодаря резервному микроконтроллеру со счетчиком реального времени (RTC).

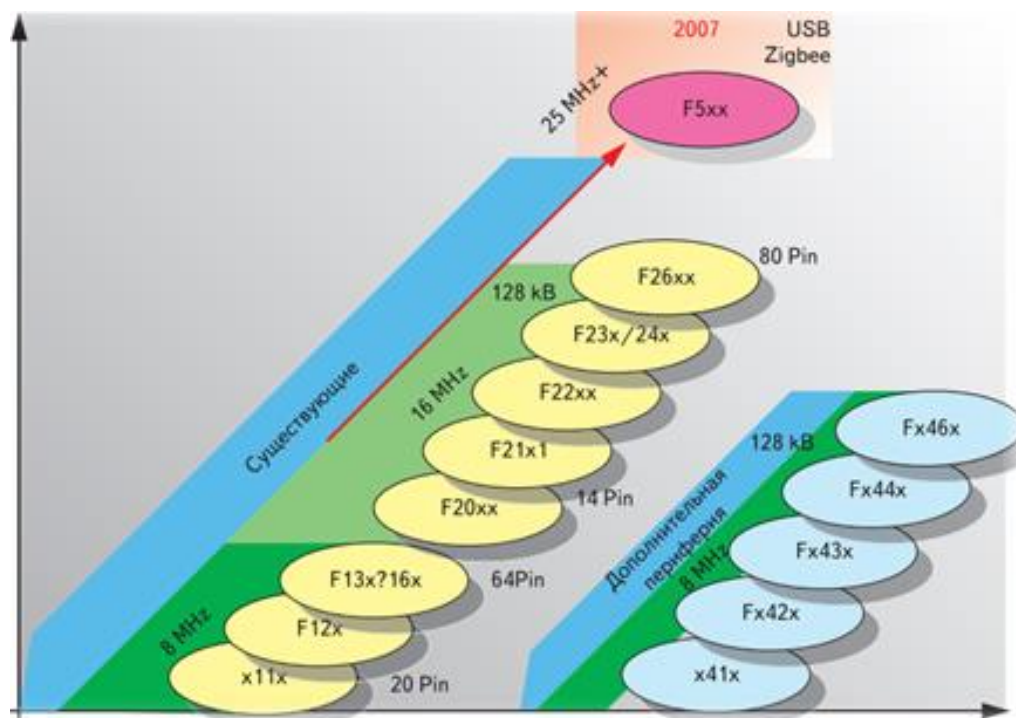


Рисунок 1.2 - Основные типы микроконтроллеров MSP430

Компания TI сфокусировала свои усилия на оптимизации микроконтроллеров серии MSP430FR69x для высокопроизводительных промышленных микроконтроллеров с ультранизким энергопотреблением с оптимизированными режимами наиболее низкой активной, дежурной и периферийной мощности потребления.

Непревзойденная скорость записи микроконтроллеров MSP430FR69x с FRAM памятью и увеличенное в 10 миллионов раз количество циклов записи-стирания по сравнению с современной флэш-памятью привело к созданию памяти, которая снижает мощность потребления, увеличивает точность данных с течением времени и даже продлевает срок службы продукта. FRAM обеспечивает несравнимую гибкость памяти, не требует использования сегментов для предварительного стирания и гарантирует побитный уровень доступа, позволяя выполнять запись текущих данных на лету, а также быстрее и удобней проводить обновление микропрограммного кода.

1.2 Обзор средств связи на базе микропроцессоров других фирм

Вся схемотехника разделяется на две большие области: аналоговую и цифровую. Преимущества и недостатки этих технологий известны. Аналоговая схемотехника характеризуется максимальным быстродействием, малым потреблением энергии и малой стабильностью параметров. Цифровая схемотехника обладает прекрасной повторяемостью параметров. Это привело к её развитию в последние годы.

В результате в ряде устройств потребление цифровых модулей оказалось сравнимым и даже меньше потребления аналоговых схем, реализующих те же функции.



Рисунок 1.3 - Классификация микропроцессоров

По мере развития цифровых микросхем их быстродействие достигло впечатляющих результатов. Наиболее быстрые из цифровых микросхем обладают скоростью переключения порядка 3- 5 нс (серия микросхем 74ALS), а внутри кристалла микросхемы, где нет больших ёмкостей нагрузки, время переключения измеряется пикосекундами.

Таким быстродействием обладают программируемые логические схемы и заказные БИС. В этих микросхемах алгоритм решаемой задачи заключён в их принципиальной схеме.

Часто для решаемой задачи не требуется такого быстродействия, каким обладают современные цифровые микросхемы. Однако за быстродействие приходится платить:

- быстродействующие микросхемы потребляют значительный ток;
- для решения задачи приходится использовать много микросхем, это выливается в стоимость и габариты устройства.

Первую задачу решает применение технологии КМОП цифровых микросхем (микросхемы серий 1564, 74НС, 74АНС). Потребляемый ими ток зависит от скорости переключения логических вентилях. Именно поэтому в настоящее время подавляющее большинство микросхем выпускается именно по этой технологии.

Вторую задачу решают несколькими способами. Использование специализированных БИС позволяет уменьшить габариты устройства, но стоимость его снижается только при крупносерийном производстве. Для среднего и малого объёмов производства такое решение неприемлемо.

Ещё одним решением уменьшения габаритов и стоимости устройства является применение программируемых логических схем (ПЛИС). Это направление активно развивается в настоящее время, но оно рассматривалось при изучении цифровых устройств.

Третий способ решения поставленной задачи заключается в том, что можно заставить одно очень быстродействующее устройство последовательно решать различные задачи, изменяя свою структуру во времени. Это микропроцессоры. В микропроцессорах возможен обмен предельного быстродействия на сложность реализуемого устройства. Именно по этой причине стараются максимально увеличить быстродействие микропроцессоров - это позволяет реализовывать все более сложные устройства в одном и том же объеме. В одном процессоре можно реализовать несколько устройств одновременно.

В современном мире трудно найти область техники, где не применялись бы микропроцессоры. Они применяются при вычислениях, они выполняют функции управления, они используются при обработке звука и изображения. В зависимости от области применения микропроцессора меняются требования к нему. Это накладывает отпечаток на внутреннюю структуру микропроцессора.

В настоящее время определилось три направления развития микропроцессоров:

- универсальные микропроцессоры;
- микроконтроллеры;
- сигнальные микропроцессоры.

Универсальные микропроцессоры используются для построения вычислительных машин. В них используются самые передовые решения по повышению быстродействия, не обращая особого внимания на габариты, стоимость и потребляемую энергию. В технике связи компьютеры используются для управления системами связи или устройствами связи, обладающими большими габаритами и стоимостью. Такие компьютеры называются контроллерами.

Микроконтроллеры используются для управления малогабаритными и дешёвыми устройствами связи они раньше назывались однокристалльными микро ЭВМ. В микроконтроллерах, в отличие от универсальных микропроцессоров, максимальное внимание уделяется именно габаритам, стоимости и потребляемой энергии.

Сигнальные процессоры используются для решения задач, которые традиционно решала аналоговая схемотехника. К сигнальным процессорам предъявляются специфические требования. От них требуются максимальное быстродействие, малые габариты, легкая стыковка с аналого-цифровыми и цифро-аналоговыми преобразователями, большая разрядность обрабатываемых данных и небольшой набор математических операций,

обязательно включающий операцию умножения-накопления и аппаратную организацию циклов. В этих процессорах тоже важны такие параметры как стоимость габариты и потребляемая мощность, но здесь приходится мириться с большими значениями этих характеристик по сравнению с микроконтроллерами. Цифровые сигнальные процессоры рассчитаны на обработку в реальном времени потоков данных, образованных путем оцифровывания аналоговых сигналов. К их особенностям относятся:

- малоразрядная (40 разрядов и менее) обработка чисел с плавающей точкой;
- преимущественное использование чисел с фиксированной точкой разрядности (32 и менее);
- ориентация на несложную обработку больших массивов данных.

Отличительной особенностью задач цифровой обработки сигналов является поточный характер обработки больших объемов данных в реальном масштабе времени, требующий от технических средств высокой производительности и обеспечения возможности интенсивного обмена с внешними устройствами. Соответствие данным требованиям достигается в настоящее время благодаря специфической архитектуре сигнальных процессоров, проблемно ориентированной системе команд.

Сигнальные процессоры различных компаний-производителей образуют два класса, существенно различающихся по цене: менее дорогие микропроцессоры с обработкой данных в формате с фиксированной точкой и более дорогие микропроцессоры, аппаратно поддерживающие операции над данными в формате с плавающей точкой.

Использование в сигнальной обработке данных в формате с плавающей точкой обусловлено несколькими причинами. Для многих задач, связанных с выполнением интегральных и дифференциальных преобразований, особую значимость имеет точность вычислений, обеспечить которую позволяет экспоненциальный формат представления данных. Алгоритмы компрессии, декомпрессии, адаптивной фильтрации в цифровой обработке сигналов связаны с определением логарифмических зависимостей и весьма чувствительны к точности представления данных в широком динамическом диапазоне.

Работа с данными в формате с плавающей точкой существенно упрощает и ускоряет обработку, повышает надежность программы, поскольку не требует выполнения операций округления и нормализации данных, отслеживания ситуаций потери значимости и переполнения. Платой за эти дополнительные «комфорт и скорость» является высокая сложность функциональных устройств, выполняющих обработку данных в формате с плавающей точкой, необходимость использования более сложных технологий производства микросхем, большой процент отбраковки изделий, как следствие, дороговизна микропроцессоров [2].

В настоящее время стал популярен и другой подход к получению высокой производительности. Большое количество транзисторов на кристалле может быть использовано для создания симметричной мультипроцессорной системы с более простыми процессорами, обрабатывающими целочисленные

операнды. Примерами таких, так называемых медийных, процессоров служат Mediaprocessor компании Micro Unity, Trimedia компании Philips, Mpack Media Engine компании Chromatic Research, Nvl компании Nvidia, MediaGx компании Cyrix. В связи с более простой схмотехникой по сравнению с универсальными сигнальными процессорами стоимость медийных процессоров достаточно низкая (порядка 100 долл.), а значение показателя «производительность / стоимость» на два- три порядка больше. Пиковое значение производительности медийных процессоров составляет несколько миллиардов целочисленных операций в секунду.

В числе наиболее распространенных сигнальных процессоров можно назвать изделия следующих компаний: Motorola (56002, 96002), Intel (i960), Texas Instruments (TMS320Cxx), Analog Devices (21xx, 210xx). Выбор того или иного процессора для реализации конкретного проекта - многокритериальная задача.

Например, для приложений, требующих больших объемов вычислений, следует использовать более производительные МП Analog Devices, а для работ, предполагающих интенсивный обмен информации с внешними устройствами, стоит использовать МП Texas Instruments, обладающие высокоскоростными интерфейсными подсистемами [3]. Сложившееся к настоящему времени распределение рынка между ведущими поставщиками (таблица 1.1) показывает, что 4 компании, стоящие в начале списка, поставляют более 80% всех используемых в мире DSP.

Таблица 1.1 - Основные производители DSP

Компании-лидеры рынка	Компании	Доля рынка DSP
1	Texas Instruments	54,3%
2	Freescale Semiconductor	14,1%
3	Analog Devices	8,0%
4	Philips Semiconductors	7,5%
5	Agere Systems	7,3%
6	Toshiba	4,9%
7	DSP Group	2,2%
8	NEC Electronics	0,6%
9	Fujitsu	0,4%
10	Другие	0,5%

Производители DSP, проектируя новые микросхемы, достаточно четко позиционируют их для использования в тех или иных приложениях. Это оказывает влияние и на их архитектуру, и на быстродействие, и на оснащение процессора тем или иным набором периферийных модулей. В таблице 1.2 показано позиционирование DSP с точки зрения их создателей.

Таблица 1.2 - Области применения семейств разных производителей

Применение	Компании
Обработка видео, видеонаблюдение, цифровые камеры, 3D графика	TMS320DM64x/DaVinci, TMS320C64xx, TMS320C62xx (TI), PNX1300, PNX1500, PNX1700 (Philips) , MPC52xx (Freescale)

Обработка аудио, распознавание речи, синтез звука	TMS320C62xx, TMS320C67xx (TI), SHARC (Analog Devices)
Портативные медиа устройства	TMS320C54xx, TMS320C55xx (TI), Blackfin (Analog Devices)
Беспроводная связь, телекоммуникации, модемы, сетевые устройства	TMS320C64xx, TMS320C55xx (TI), MPC7xxx, MPC86xx, MPC8xx PowerQUICC I, MPC82xx PowerQUICC II, MPC83xx PowerQUICC II Pro, MPC85xx PowerQUICC III (Freescale), Blackfin, TigerSHARC (Analog Devices), PNX1300 (Philips)
Управление приводами, преобразование мощности, автомобильная электроника, офисное оборудование	TMS320C24xx (TI), ADSP-21xx (Analog Devices), MPC55xx, MPC55xx (Freescale)
Медицина, биометрия, измерительные системы	TMS320C62xx, TMS320C67xx, TMS320C55xx, TMS320C28xx (TI), TigerSHARC, SHARC (Analog Devices)

Ключевой параметр при выборе процессора - это скорость. Она влияет на время выполнения обработки входного сигнала и, следовательно, определяет его максимальную частоту. Одна из самых частых ошибок разработчика - отождествление тактовой частоты и быстродействия, что в большинстве случаев неправильно. Очень часто скорость работы DSP указывают в MIPS (миллионах инструкций в секунду). Это наиболее просто измеряемый параметр.

Однако проблема сравнения скорости различных DSP состоит в том, что процессоры имеют различные системы команд, и для выполнения одного и того же алгоритма разными процессорами требуется разное число этих команд. Кроме того, иногда для выполнения различных команд одним процессором требуется различное количество тактов синхронизации. В результате процессор со скоростью 1000 MIPS вполне может оказаться в разы медленнее процессора со скоростью 300 MIPS, особенно при различной их разрядности.

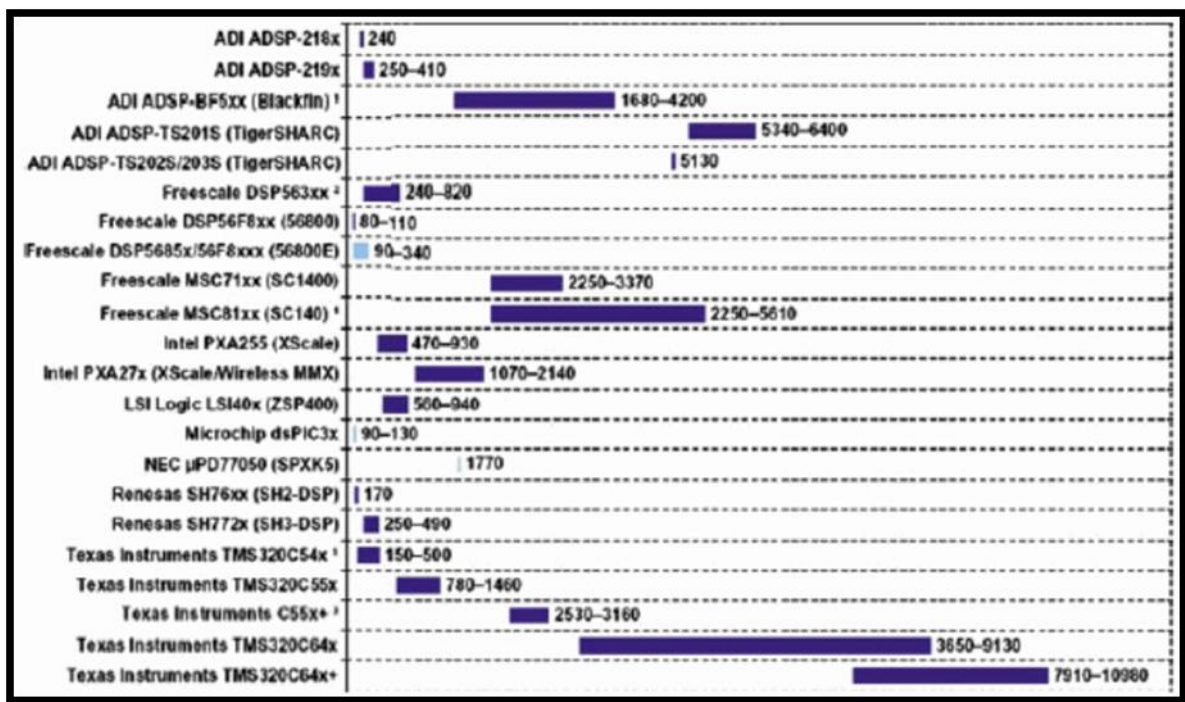


Рисунок 1.4 - Пример сравнения быстродействия различных DSP

Таблица 1.3 - Сравнительные характеристики сигнальных процессоров [4]

Наименование	MSP-EXPCC430RF4	Arduino Due
Беспроводная передача данных	+	-
Диапазон напряжений питания, В	1,8 - 3,6	3,3-5
Корпус	QFN 64	QFN 64
Поддержка ЖКИ	+(встроенный)	+ (нет встроенного)
ОЗУ, Кб	4	4
Архитектура	MSP430 / 16-бит	AT91SAM3X8E / 32-бит
Рабочий темп. диапазон, °C	-40 .. +85	-40 .. +85
Аппаратный умножитель	+	+
I2C/TWI/SMBUS	1	1
Характеристики блока ЖКИ	максимальное количество сегментов 96	от 7 до 48 сегментов
Интерфейс отладки	JTAG	JTAG

Продолжение таблицы 1.3

Наименование	MSP-EXPCC430RF4	Arduino Due
--------------	-----------------	-------------

Каналов 12-разрядного АЦП	12	12
Частота дискретизации АЦП, тыс.отсчет. в сек.	200	200
Количество аналоговых компараторов	1	1
Количество встроенных RC-генераторов	3	1
Частота встроенного RC-генератора	9,4 КHz + 32,768 КHz + (0,1-100)MHz	8 МГц и 32 КГц
Часы реального времени	+	+
16-битных таймеров	2	- (32битный[3])
Каналов ШИМ	8	8

1.3 Обзор литературы по современным методам улучшения качества беспроводной связи

Беспроводные сети в качестве средства передачи для обеспечения взаимодействия между пользователями, серверами и базами данных используют радиоволны или инфракрасный (ИК) диапазон. Эта среда передачи невидима для человека. Кроме того, действительная среда передачи (воздух) прозрачна для пользователя. Сейчас многие производители интегрируют платы интерфейса сети (network interface card, NIC), так называемые сетевые адаптеры, и антенны в компьютерные устройства таким образом, что они не видны пользователю. Это делает беспроводные устройства мобильными и удобными в применении.

Основные показатели качества информационных сетей:

- полнота выполняемых функций. Сеть должна обеспечивать выполнение всех предусмотренных для нее функций по доступу ко всем ресурсам, по совместной работе узлов и по реализации всех протоколов и стандартов работы;

- производительность - среднее количество запросов пользователей сети, исполняемых за единицу времени;

- пропускная способность - важная характеристика производительности сети, определяется объемом данных, передаваемых через сеть за единицу времени. Часто используется другое название - скорость передачи данных;

- надежность сети - важная ее техническая характеристика, чаще всего характеризующаяся средним временем наработки на отказ;

- достоверность результативной информации- важная потребительская характеристика сети;

- безопасность информации в сети является важнейшим ее параметром, поскольку современные сети имеют дело с конфиденциальной информацией.

Способность сети защитить информацию от несанкционированного доступа и определяет степень ее безопасности;

- прозрачность сети - еще одна ее потребительская характеристика, означающая невидимость особенностей внутренней архитектуры сети для пользователя, он должен иметь возможность обращаться к ресурсам сети как к локальным ресурсам своего собственного компьютера;

- масштабируемость - это возможность расширения сети без заметного снижения ее производительности;

- универсальность сети - возможность подключения к ней разнообразного технического оборудования программного обеспечения от разных производителей.

В состав этих показателей качества сети входят важные технические характеристики, которые могут быть оценены и выражены количественными значениями измеряемых или вычисляемых величин: производительность, пропускная способность, надежность, достоверность резульатной информации, безопасность информации.

В сети Wi-Fi теряется значительно больше пакетов, чем в проводной сети. Первой причиной потери пакетов являются коллизии, т. е. попытки двух устройств Wi-Fi передавать данные одновременно. В технологии Wi-Fi используется общая полудуплексная среда передачи, и хотя метод доступа к среде с прослушиванием перед передачей («listen-before-talk») пытается избежать коллизий, их невозможно предотвратить полностью.

При наличии других радиоустройств, работающих в том же диапазоне, что и устройства Wi-Fi, ситуация только ухудшается. Большая часть этих устройств даже не использует алгоритм прослушивания перед передачей, поэтому коллизии становятся обычным явлением.

Второй причиной потери пакетов является подверженность передачи Wi-Fi кратковременному пропаданию сигнала (затуханию). Эти затухания возникают вследствие поглощения радиоволн объектами, находящимися на их пути (например, людьми), или отражения волн в пространстве, что приводит к случайному пропаданию сигнала.

Третья, наименее важная причина потери пакетов — осуществляемый системами Wi-Fi поиск наивысшей скорости передачи данных путем попыток передачи на различных скоростях. В ходе этого процесса поиска некоторые пакеты теряются. В условиях сочетания коллизий, пропадания сигнала и подбора скорости передачи данных не стоит удивляться, что системы Wi-Fi работают с базовым показателем доли ошибочных пакетов (packet error rate, PER) до 5 %. Для компенсации этих потерь в технологии Wi-Fi используется механизм повторной передачи, посредством которого пакеты, не полученные успешно, передаются повторно. Этот механизм обычно способствует снижению окончательной доли потерянных пакетов (packet loss rate, PLR) до величины менее 0,1 %.

Однако повторная передача приводит к дрожанию (джиттеру) и расходует общую пропускную способность сети. Каждое из этих явлений может повлиять на качество обслуживания. Даже при использовании механизма повторной передачи окончательная доля потерянных пакетов все

же значительно превышает показатель, обычно наблюдаемый в проводных сетях.

В теории связи важным понятием является канал связи. Обычно под каналом связи понимают ту часть системы связи, которая включает источник информации, устройство кодирования и модуляции, передающее устройство, физический канал (среду распространения сигнала), приемник с устройствами обработки информации и получатель информации. Анализ канала связи включает бюджет канала – расчет потерь энергии сигнала, связанных с физическими процессами, протекающими в устройствах и среде распространения. Бюджет – это метод оценки, позволяющий определить достоверность передачи системы связи. Среда распространения или электромагнитный тракт связи, соединяющий передающее и приемное устройства называются каналом. Каналы могут представлять собой проводники, коаксиальные и оптоволоконные кабели, волноводы, а также атмосферу, ионосферу или другую среду, в которой распространяются радиоволны [5].

При анализе радиоканала часто используется модель свободного пространства. В рамках этой модели предполагается, что в канале отсутствуют такие процессы, как отражение, преломление, поглощение, рассеяние и дифракция радиоволн. Если рассматривается распространение радиоволн в атмосфере, то она предполагается однородной и удовлетворяющей указанным выше условиям. Предполагается, что земная поверхность находится достаточно далеко от радиотрассы, так что ее влиянием можно пренебречь. Модель свободного пространства является эталонной при анализе распространения радиоволн на различных трассах. В рамках этой модели энергия сигнала зависит только от расстояния между передатчиком и приемником и убывает обратно пропорционально квадрату расстояния.

Достоверность передачи информации определяется несколькими факторами, среди которых можно выделить отношение сигнал/шум, а также E_b – энергия бита, N_0 – спектральная плотность мощности шума. Уменьшение отношения сигнал/шум может быть вызвано снижением мощности сигнала, повышением мощности шума или мощности сигналов, интерферирующих с полезным сигналом. Эти механизмы называются, соответственно, потерями (ослаблением) и шумом (интерференцией). Ослабление может происходить в результате поглощения энергии сигнала, отражения части энергии сигнала или рассеяния. Существуют несколько источников шумов и интерференции – тепловой шум, галактический шум, атмосферные и промышленные помехи, перекрестные и интерферирующие сигналы от других источников.

Перечислим некоторые причины потерь:

- потери, связанные с ограничением полосы канала;
- модуляционные потери;
- интермодуляционные искажения;
- поляризационные потери;
- пространственные потери;
- помехи соседнего канала;

- собственные шумы приемника.

Анализ канала начинается, как правило, с дистанционного уравнения, связывающего мощность на входе приемного устройства с излучаемой передатчиком мощностью. На первом этапе рассматривается ненаправленная антенна, равномерно излучающая в телесном угле 4π стерадиан. Такой источник называется изотропным излучателем. Плотность мощности на расстоянии d от излучателя определяется выражением

$$p(d) = \frac{P_T}{4\pi d^2}, \quad (1.1)$$

где P_T - мощность передатчика. Принимаемая мощность может быть записана в виде

$$P_R = p(d)A_{eR} = \frac{P_T A_{eR}}{4\pi d^2}, \quad (1.2)$$

где A_{eR} - эффективная площадь приемной антенны. Существует простая связь между коэффициентом усиления антенны и ее эффективной площадью

$$G = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_e, \quad (1.3)$$

где λ - длина волны. Для изотропного излучателя $G = 1$ и эффективная площадь однозначно определяется длиной волны

$$A_e = \frac{\lambda^2}{4\pi}. \quad (1.4)$$

Для идеальных передающей и приемной антенн (с изотропными диаграммами направленности) дистанционное уравнение может быть записано в виде

$$P_R = \frac{P_T}{(4\pi d / \lambda)^2} = \frac{P_T}{L_s}, \quad (1.5)$$

где L_s - суммарные потери в свободном пространстве, определяемые формулой

$$L_s = (4\pi d / \lambda)^2, \quad (1.6)$$

Если для передачи и приема сигнала используются направленные антенны, то уравнение (1.5) принимает вид

$$P_R = \frac{P_T G_R G_T}{L_s}. \quad (1.7)$$

где G_R и G_T – коэффициенты усиления передающей и приемной антенн.

Из выражения (1.6) следует, что суммарные потери в свободном пространстве зависят от длины волны (частоты). Это связано с тем, что величина L_s определена для идеальной приемной антенны с изотропной диаграммой направленности, для которой $G_T = 1$. В действительности, из простых геометрических соображений следует, что в свободном пространстве мощность является функцией расстояния и не зависит от частоты.

Для расчета мощности принимаемого сигнала может быть использована одна из четырех приведенных ниже формул

$$P_R = \frac{P_T G_T A_{eR}}{4\pi d^2}, \quad (1.8)$$

$$P_R = \frac{P_T A_{eT} A_{eR}}{\lambda^2 d^2}, \quad (1.9)$$

$$P_R = \frac{P_T A_{eT} G_R}{4\pi d^2}, \quad (1.10)$$

$$P_R = \frac{P_T G_T G_R \lambda^2}{(4\pi d)^2}. \quad (1.11)$$

На первый взгляд, эти формулы определяют различные зависимости принимаемой мощности от длины волны (частоты). В действительности коэффициент усиления и эффективная площадь антенны связаны через длину волны. Поэтому противоречия в формулах нет. Для системы связи с заданными антеннами (т.е. с определенными эффективными площадями антенн) удобно пользоваться формулой (1.9). При этом видно, что принимаемая мощность увеличивается с ростом частоты.

Для цифровой связи вероятность ошибки зависит от отношения E_b/N_0 в приемнике, определяемого следующим образом

где P_R – мощность принятого сигнала;
 N – мощность шума;
 W – ширина полосы приемного устройства;
 R – скорость передачи бита.

Формулу (1.12) можно переписать в виде

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{P_R}{N_0} \left(\frac{1}{R} \right), \quad (1.13)$$

Одним из важнейших показателей качества канала является график зависимости вероятности появления ошибочного P_b бита от E_b/N_0 . Обычно различают требуемое отношение E_b/N_0 и реальное отношение E_b/N_0 .

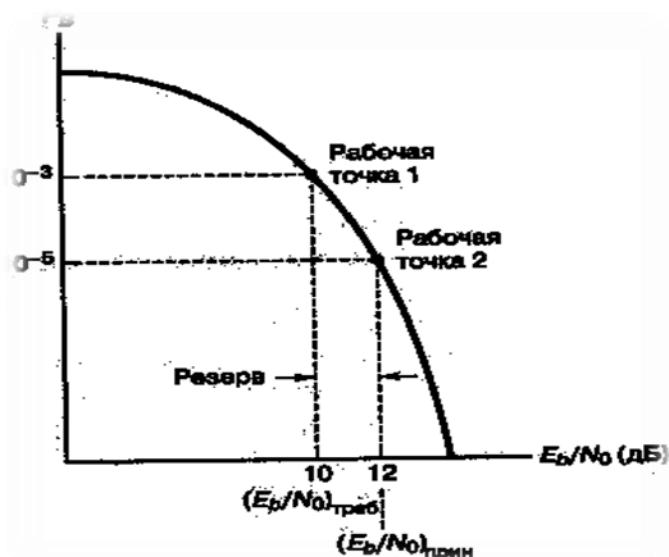


Рисунок 1.5 - График зависимости вероятности появления ошибочного P_b бита от E_b/N_0

На рисунке 1 показаны две рабочие точки. Пусть первая определяется значением $P_b = 10^{-3}$, обеспечивающим необходимую достоверность передачи информации. Любая система связи проектируется с некоторым запасом «прочности». Пусть реальное отношение E_b/N_0 будет выше, и вторая рабочая точка на графике соответствует $P_b = 10^{-5}$. Разность между реальным (принятым) и требуемыми отношениями E_b/N_0 дает энергетический резерв линии связи M

$$M = \left(\frac{E_b}{N_0} \right)_{\text{прин}} / \left(\frac{E_b}{N_0} \right)_{\text{треб}} \quad (1.15)$$

или

$$M(\text{дБ}) = \left(\frac{E_b}{N_0} \right)_{\text{прин}} (\text{дБ}) - \left(\frac{E_b}{N_0} \right)_{\text{треб}} (\text{дБ}). \quad (1.16)$$

С учетом того, что мощность шума определяется выражением

$$N = kTW, \quad (1.17)$$

где k – постоянная Больцмана;

T – температура.

Из (1.7) для идеального изотропного излучателя получаем

$$\frac{P_R}{N_0} = \frac{P_T(G_R/T)}{\kappa L_s L_0}. \quad (1.18)$$

Здесь T – параметр, определяющий результата воздействия различных источников шума. Множитель L_0 включает все возможные механизмы ослабления сигнала. Отношение G_R/T иногда называют добротностью приемника. С учетом (1.17) - (1.18) выражение для энергетического резерва линии связи можно представить в следующем виде:

$$M = \frac{P_T(G_R/T)}{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{\text{треб}} R \kappa L_s L_0}. \quad (1.19)$$

Входящие в (1.19) параметры определяются в конкретных точках системы. Так добротность приемника определяется на входе приемной антенны, отношение $E_b/N_{0\text{треб}}$ – на входе детектора и т.д.

Бюджет канала обычно вычисляется в децибелах, поэтому соотношение (1.19) можно переписать в ином виде

$$M(\text{дБ}) = P_T(\text{дБВт}) + G_R(\text{дБ}) - \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{\text{треб}}(\text{дБ}) - R(\text{дБбит.с}) - \kappa T(\text{дБВт.Гц}) - L_s(\text{дБ}) - L_0(\text{дБ}). \quad (1.20)$$

При проектировании системы связи необходимо найти приемлемое соотношение между всеми параметрами, фигурирующими в (1.20).

Проблеме распространения радиоволн внутри зданий и помещений последнее время уделяется большое внимание [18]. Наличие внутри здания стен, перегородок, мебели, радиоэлектронной аппаратуры, людей и других объектов создает сложную среду распространения радиоволн. Условия распространения радиоволн внутри помещений существенно отличаются от условий распространения радиоволн в свободном пространстве. Основными эффектами, наблюдаемыми при распространении радиоволн внутри помещений, являются многолучевость, обусловленная многократными отражениями радиоволн от стен и других объектов, дифракция на многочисленных острых кромках предметов, расположенных внутри комнаты, и рассеяние радиоволн. Эти эффекты создают сложную интерференционную структуру электромагнитного поля, сильно изменяющуюся при перемещении людей и других объектов.

В качестве примера на рисунке 1.6 приведена зависимость мощности принимаемого сигнала от расстояния, измеренная внутри комнаты на частоте $f = 914$ МГц. Приведенная зависимость демонстрирует сложный интерференционный характер поля с глубокими пространственными замираниями [6].

Модели, используемые для описания условий распространения радиоволн внутри зданий. Большинство моделей, используемых для расчетов радиотрасс, расположенных внутри зданий, основано на формуле, описывающей распространение радиоволн в свободном пространстве. Однако наличие стен, пола, мебели, людей и других объектов оказывает существенное влияние на характер распространения радиоволн. Многообразие условий приводит к необходимости использовать некоторые эмпирические модели, основанные на многочисленных экспериментах по исследованию условий распространения радиоволн внутри помещений. В работе [6] предложено несколько моделей, в которых потери на трассе определяются соотношением

$$L(d) \approx L_p (d / d_0)^{-n}, \quad (1.21)$$

где L_p - потери при распространении на трассе прямой видимости длиной d_0 ,

d - расстояние между передатчиком и приемником.

Причем, в некоторых моделях значение n является постоянной величиной, в других – зависит от расстояния. Например, до расстояний около 10м $n=2$, в интервале расстояний $10 < d < 20$ м если $n=3$, и $20 < d < 40$ м при $n=6$, а также $d > 40$ м $n=12$. Увеличение значения n с ростом расстояния, вероятно, связано с увеличением числа стен, отделяющих приемную антенну от передающей.

Если передающая антенна расположена внутри комнаты, то независимо от ее положения многократное отражение радиоволн от стен, пола, потолка, мебели и других объектов приводит к увеличению мощности принимаемого сигнала по сравнению со свободным пространством. Рассмотрим малую площадку dS , произвольно расположенную внутри комнаты. Если предположить, что радиоволны распространяются с равной вероятностью во всех направлениях, то с волной, бегущей, например, слева направо связана половина мощности, переносимой через эту площадку при нормальном падении. При падении волны под произвольным углом на выделенную площадку переносимая мощность в среднем в два раза меньше, чем при нормальном падении. Следовательно, одна четверть полного потока энергии проходит через произвольную малую выделенную площадку. Если учесть, что плотность потока энергии W на расстоянии d от источника мощностью P_T в свободном пространстве определяется формулой

$$W = \frac{P_T}{4\pi d^2}, \quad (1.22)$$

вводя средний коэффициент поглощения поверхности $\bar{\alpha}$ и суммируя по всей поверхности, можно записать соотношение

$$\frac{W}{4} \sum S \bar{\alpha} = P_T (1 - \bar{\alpha}). \quad (1.23)$$

Тогда для плотности потока энергии поля имеем

$$W = \frac{4P_T}{R}, \quad R = \frac{\sum S\bar{\alpha}}{(1-\bar{\alpha})}. \quad (1.24)$$

Комбинируя мощность прямого сигнала и поля, а также учитывая эффективную площадь приемной антенны, получаем

$$P_R = P_T \left(\frac{1}{4\pi d^2} + \frac{4}{R} \right) \left(\frac{\lambda^2}{4\pi} \right). \quad (1.24)$$

Из (1.24) получаем выражение для потерь

$$L_p = 10 \lg \left[\left(\frac{1}{4\pi d^2} + \frac{4}{R} \right) \left(\frac{\lambda^2}{4\pi} \right) \right]. \quad (1.25)$$

В качестве примера приведем рассчитанные по формуле (1.26) зависимости потерь от расстояния для небольшой комнаты размерами 3,3×5,1×2,1 м для различных значений коэффициента поглощения $\bar{\alpha}$ (рисунок 1.6). Сплошной линией для сравнения показаны потери при распространении в свободном пространстве.

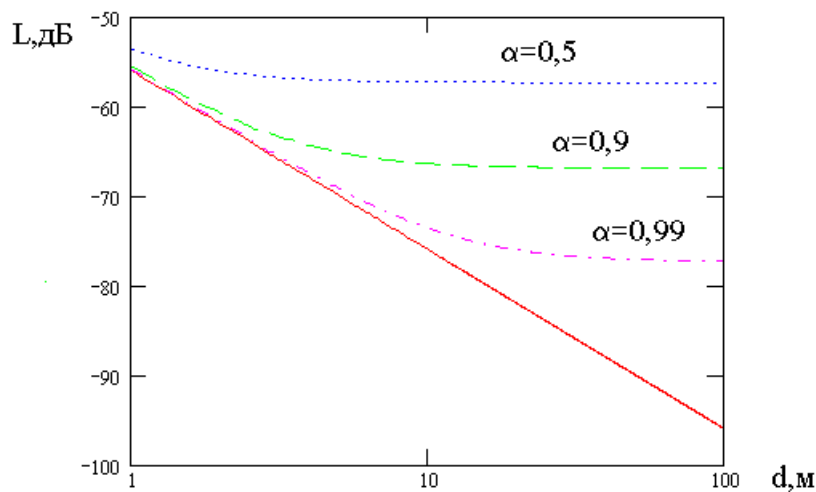


Рисунок 1.6 - Зависимости потерь от расстояния для небольшой комнаты

На рисунке 1.7 приведены зависимости от расстояния разности потерь, рассчитанных по формуле (1.25), и потерь в свободном пространстве при различных значениях суммарной площади поверхности и $\bar{\alpha} = 0,9$. Цифры около кривых на графике означают площадь поглощающей поверхности. Из рисунка видно, что потери в комнате сильно зависят от эффективного коэффициента поглощения строительных материалов и покрытий. Значения коэффициентов отражения и прохождения, а также эффективного

коэффициента поглощения $\bar{\alpha}$ для некоторых материалов на частоте 60 ГГц приведены в таблице 1.4.

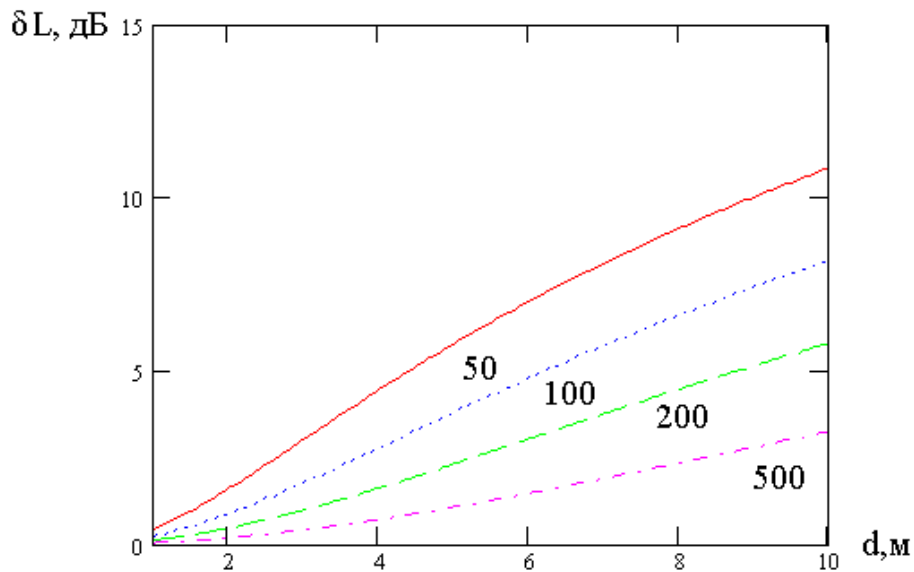


Рисунок 1.7 - Зависимости от расстояния разности потерь

Таблица 1.4 - Эффективный коэффициент поглощения $\bar{\alpha}$ для некоторых материалов на частоте 60 ГГц

Материал	Коэффициент прохождения, %	Коэффициент отражения, %	Коэффициент поглощения
Гипсовая панель (s=1 см)	42,5	2,0	0,98
Фибролит (s=1,9 см)	4,5	20,0	0,8
Бетонная плита (s=10 см)	0,0001	16,0	0,84

При исследовании распространения радиоволн в условиях городской застройки или внутри зданий и помещений возникает необходимость расчета коэффициента прохождения волны через стены, перегородки и другие слоистые среды. Рассмотрим падение электромагнитной волны на плоский слой толщиной d , свойства которого характеризуются относительными диэлектрической и магнитной проницаемостями ε_2 и μ_2 . Слева от слоя (в области $z < 0$) свойства среды описываются параметрами ε_1 и μ_1 , а справа (в области $z > d$) – ε_3 и μ_3 . Для ТЕ-поляризации компоненты электромагнитного поля можно представить в следующем виде

в области $z < 0$

$$E_y^{(1)} = e^{ik_1 \sin \vartheta_1 x} \left(e^{ik_1 \cos \vartheta_1 z} + R_d^\perp e^{-ik_1 \cos \vartheta_1 z} \right), \quad (1.27)$$

$$H_x^{(1)} = -e^{ik_1 \sin \vartheta_1 x} \frac{\cos \vartheta_1}{\zeta_1} \left(e^{ik_1 \cos \vartheta_1 z} - R_d^\perp e^{-ik_1 \cos \vartheta_1 z} \right). \quad (1.28)$$

в области $0 \leq z \leq d$

$$E_y^{(2)} = e^{ik_2 \sin \vartheta_2 x} \left(A e^{ik_2 \cos \vartheta_2 z} + B e^{-ik_2 \cos \vartheta_2 z} \right), \quad (1.29)$$

$$H_x^{(2)} = -e^{ik_2 \sin \vartheta_2 x} \frac{\cos \vartheta_2}{\zeta_2} \left(A e^{ik_2 \cos \vartheta_2 z} - B e^{-ik_2 \cos \vartheta_2 z} \right). \quad (1.30)$$

в области $z > d$

$$E_y^{(3)} = e^{ik_3 \sin \vartheta_3 x} T_d^\perp e^{ik_3 \cos \vartheta_3 z}, \quad (1.31)$$

$$H_x^{(3)} = -e^{ik_3 \sin \vartheta_3 x} \frac{\cos \vartheta_3}{\zeta_3} T_d^\perp e^{ik_3 \cos \vartheta_3 z}. \quad (1.32)$$

Здесь R_d^\perp и T_d^\perp – коэффициенты отражения и прохождения для слоя толщиной d . Используя условия непрерывности тангенциальных компонент поля на границах $z=0$ и $z=d$, получим выражения для коэффициента отражения и коэффициента прохождения

$$R_d^\perp = \frac{R_{23}^\perp e^{2i\delta} + R_{12}^\perp}{1 + R_{12}^\perp R_{23}^\perp e^{2i\delta}}, \quad (1.33)$$

$$T_d^\perp = \frac{T_{12}^\perp T_{23}^\perp e^{i\delta}}{1 + R_{12}^\perp R_{23}^\perp e^{2i\delta}}, \quad (1.34)$$

где R_{12}^\perp и R_{23}^\perp – коэффициенты отражения Френеля плоской ТЕ-волны, падающей слева на границы раздела сред $z=0$ и $z=d$. Аналогично T_{12}^\perp и T_{23}^\perp – коэффициенты прохождения плоской волны через эти границы.

Аналогично могут быть получены соответствующие коэффициенты для ТМ-поляризации.

В работах [5-7] приведены некоторые результаты экспериментальных исследований электромагнитных свойств некоторых строительных конструкций (стен, перегородок и т.п.). В ряде работ исследованы свойства однородных строительных материалов. В качестве примера приведем значения относительной диэлектрической проницаемости и тангенса угла потерь в диапазоне 2–7 ГГц для некоторых материалов [7]:

Таблица 1.5 - Относительная диэлектрическая проницаемость

Материал	Относительная диэлектрическая проницаемость	Тангенс угла потерь

Оргстекло	2,74	$3,2 \cdot 10^{-4}$
Жалюзи (закрытые)	3,49	$5,96 \cdot 10^{-5}$
Жалюзи (закрытые)	1,96	$5,96 \cdot 10^{-5}$
Красный кирпич (сухой)	5,86	$1,16 \cdot 10^{-1}$
Красный кирпич (влажный)	5,92	$1,17 \cdot 10^{-1}$
Ковер	1,32	$5,96 \cdot 10^{-4}$
Потолочное покрытие	1,32	$1,44 \cdot 10^{-2}$
Ткань	1,49	$5,96 \cdot 10^{-5}$
Стекловолокно	1,02	$9,21 \cdot 10^{-4}$
Стекло	6,38	$2,6 \cdot 10^{-2}$
Линолеум	3,08	$1,45 \cdot 10^{-3}$
Хвойная доска	2,58	$2,0 \cdot 10^{-1}$
ДСП	2,7	$1,1 \cdot 10^{-1}$
Фанера	2,47	$1,27 \cdot 10^{-1}$

В этой же работе сообщается о результатах измерений коэффициентов прохождения и отражения для этих же материалов на двух частотах 2,3 ГГц и 5,25 ГГц . Соответствующие данные приведены в таблице 1.6.

Таблица 1.6- Коэффициенты прохождения и отражения

Материал	Т(дБ)			R(дБ)		
	2,3 ГГц	5,25 ГГц	Δ	2,3 ГГц	5,25 ГГц	Δ
Оргстекло (7,1 мм)	-0,3560	-0,9267	0,5707	-12,23	-5,65	-6,5753
Оргстекло (2,5 мм)	-0,0046	-0,2041	0,1994	-21,69	-13,25	-8,4770
Жалюзи (закрытые)	-0,0016	0,0022	-0,0035	-30,97	-20,39	-10,578
Жалюзи (открытые)	0,0137	0,0315	-0,0178	-44,23	-46,95	2,7210
Красный кирпич (сухой)	-4,4349	-14,62	10,186	-12,53	-8,98	-3,5459
Красный кирпич (влажный)	-4,5119	-14,59	10,087	-12,52	-9,41	-3,1185
Ковер	-0,0271	-0,005	-0,0214	-26,94	-18,7	-8,2710
Потолочное покрытие	-0,0872	-0,179	0,0923	-21,07	-18,7	-2,3470
Ткань	0,0216	0,0133	0,0083	-41,70	-30,1	-11,570
Стекловолокно	-0,0241	-0,034	0,0099	-39,40	-28,8	-10,581
Стекло	-0,499	-1,690	1,1908	-11,29	-4,9	-6,3446
Линолеум	-0,0198	-0,127	0,1081	-23,69	-16,0	-7,6690
Хвойная доска	-2,7889	-6,125	3,3364	-17,45	-14,8	-2,689
ДСП	-1,6511	-1,950	0,2997	-8,59	-14,1	5,5359

Фанера	-1,9138	-1,833	-0,0801	-9,05	-30,5	21,42
Гипсовая плита	-14,863	-13,23	-1,628	-2,38	-9,24	6,8587
Кафель	-2,2163	-1,421	-0,7946	-6,24	-14,9	8,6093
Толь	-0,0956	-0,134	0,0385	-28,88	-17,8	-11,067
Шлакоблок (сухой)	-6,7141	-10,32	3,6119	-7,67	-6,13	-1,5324
Шлакоблок (влажный)	-7,3527	-12,38	5,0313	-5,05	-7,55	2,5080

Следует отметить, что наиболее сильное отличие коэффициентов прохождения в разных частотных диапазонах наблюдается для красного кирпича и шлакоблоков.

При расчетах характеристик сигналов внутри зданий и помещений используются различные модификации лучевых методов [8-11], позволяющие учитывать отражение радиоволн от стен, пола и потолка, местных предметов, дифракцию волн на дверях и окнах и другие явления, сопутствующие распространению радиоволн.

1.4 Обзор по программному обеспечению микропроцессоров для беспроводной связи

Все современные микроконтроллеры относятся к классу микропроцессорных устройств. Главным принципом действия таких элементов является исполнение последовательного потока команд, называемого программой. Микроконтроллер получает команды в виде отдельных машинных кодов. Между тем, для создания и отладки программ, машинные коды подходят плохо, так как трудно воспринимаются человеком. Этот факт привел к появлению различных языков программирования.

Языки программирования микропроцессоров по своей структуре мало отличаются от классических языков для компьютеров. Единственным отличием становится ориентированность на работу со встроенными периферийными устройствами. Архитектура микропроцессоров требует, например, наличия битово-ориентированных команд. Последние позволяют выполнять работу с отдельными линиями портов ввода/вывода или флагами регистров. Подобные команды отсутствуют в большинстве крупных архитектур. Даже ядро ARM, активно применяемое в микроконтроллерах, не содержит битовых команд, вследствие чего разработчикам пришлось создавать специальные методы битового доступа.

Ассемблер является языком самого низкого уровня. При этом он позволяет наиболее полно раскрыть все возможности микропроцессоров и получить максимальное быстродействие и компактный код. В некоторых случаях альтернативы ассемблеру нет, но тем не менее он имеет множество недостатков. Несмотря на получаемую компактность машинного кода, программа, написанная на языке Ассемблер, громоздка и труднопонимаема.

Для ее создания требуется отличное знание архитектуры и системы команд микропроцессоров. Ассемблер отлично подходит для программирования микропроцессоров, имеющих ограниченные ресурсы, например 8-ми битных моделей с малым объемом памяти. Для больших программ и тем более 32-разрядных контроллеров, лучше использовать другие языки, отличающиеся более высоким уровнем. Это позволит создавать более сложные и при этом понятные программы.

Язык программирования C/C++, относится к языкам более высокого уровня, по сравнению с Ассемблером. Программа на этом языке лучше понятна человеку. Достоинством C/C++ является огромное число программных средств и библиотек, позволяющих просто создавать необходимый код. Фактически, C/C++ сегодня стал основным языком разработки управляющих программ. Компиляторы данного языка реализованы практически для всех моделей микропроцессоров. Стандартный язык дает возможность переноса программ с одной платформы на другую. Теоретически, используя разные компиляторы, можно преобразовать любую программу в команды микроконтроллера нужного типа. На практике дополнительно требуется учитывать архитектуру микроконтроллера каждого типа. Язык C/C++ имеет достаточно сложную для изучения структуру. Получаемый программный код конкретной задачи, имеет больший объем, чем код той же задачи, реализованной на Ассемблере. Тем не менее язык C/C++ следует признать единственным правильным выбором для профессионального программирования микропроцессоров. Листинг программы приведен ниже:

Листинг программы на языке C

```
// Мигание встроенным светодиодом Arduino
voidsetup()
{pinMode(13, OUTPUT); // Инициализация выхода 13
}
voidloop()
{digitalWrite(13, HIGH); // Зажечь светодиод
delay(1000); // Задержка
digitalWrite(13, LOW); // Зажечь светодиод
delay(1000); // Задержка
}
```

Язык Pascal еще более удобен для восприятия и изучения. Тем не менее, он не имеет такого распространения как C/C++, особенно при программировании микропроцессоров. Некоторые отдельные фирмы поддерживают данный язык, с целью упрощения перехода на контроллеры с больших ПК. В частности вариант языка под названием MicroPASCAL входит в состав поставки отладочных средств фирмы Mikroelektronika. Листинг программы приведен ниже:

Листинг программы MicroPASCAL

```

// Мигание светодиодом
programLED_Blinking;
begin
PORTC := 0;           // Инициализация PORTC
TRISC := 0;          // Настройка PORTC
while TRUE do        // Начало бесконечного цикла
begin
PORTC := not PORTC;  // Инвертирование PORTC
Delay_ms(1000);      // Задержка
end;
end.

```

Старинный язык первоначального обучения программированию, в настоящее время в основном сохранился в виде реализации *Visual BASIC* от Microsoft. Используется он и для программирования микропроцессоров. Реализаций этого языка гораздо больше, чем того же Pascal. Связано это в первую очередь с простотой языка. BASIC часто выбирают разработчики программно-аппаратных платформ, нацеленных на упрощенную разработку электронных устройств. Можно назвать такие проекты, как PICAXE, Amicus18, microBASIC и некоторые другие. Недостатком BASIC является плохая структурированность кода. Этот язык не стоит выбирать для первоначального изучения с целью дальнейшего перехода на C/C++. Программирование микропроцессоров на BASIC можно рекомендовать любителям, не нацеленным на создание, в основном, простых устройств. Листинг программы приведен ниже:

Листинг программы на ProtonBASIC

```

Мигание светодиодом на PORTB.0 Amicus18.
While 1 = 1      ' Начало бесконечного цикла
High RB0        ' Включить PortB.0
DelayMS 500     ' Задержка полсекунды
Low RB0         ' Выключить PortB.0
DelayMS 500     ' Задержка полсекунды
Wend            ' Закрытие цикла

```

В отличие от классических языков программирования, визуальные языки позволяют разрабатывать программы в виде изображений. Среди таких языков можно выделить FlowCODE или Scratoh. Достоинством визуальных языков является хорошо воспринимаемая структура алгоритма. Это позволяет просто разобраться в его функционировании любому человеку, знающему основные символы языка. Перевод структурных схем в команды микроконтроллера, как правило, выполняется не сразу. Вначале алгоритм транслируется в команды ассемблера или какого-либо языка высокого уровня. Только затем, все преобразуется в машинный код. Такая схема, несмотря на

свою сложность, позволяет использовать наиболее удобные компиляторы разных разработчиков.

Выбор того или иного языка программирования зависит от множества факторов. В первую очередь необходимо определиться с типом решаемых задач и необходимым качеством кода. Если не требуется разработка объемных и сложных программ, то можно использовать практически любой язык. Для обеспечения компактности кода подойдет Ассемблер, а если ставятся серьезные задачи, то альтернативы C/C++ практически нет. Также необходимо учитывать доступность компилятора. В некоторых случаях, реализация языка может вообще отсутствовать, или предлагаться за солидные деньги. В итоге самым универсальным решением можно назвать связку Ассемблера и C/C++.

Для поддержки разработки программного обеспечения микропроцессорных систем управления могут быть использованы программные и программно-аппаратные средства.

К программным средствам относятся ассемблеры, компиляторы, моделирующие программы (Simulators) и программы-отладчики (Debuggers). При работе с программными средствами поддержки разработки в качестве базовой инструментальной машины используются персональные компьютеры IBM PC AT и другие, совместимые с ними.

Ассемблеры служат для преобразования программы, написанной на языке мнемонических команд, в перемещаемый объектный модуль, а затем, с помощью преобразователя объектных кодов - в машинные коды, которые с помощью аппаратных средств могут быть занесены в память контроллера. Компиляторы предназначены для преобразования программы, написанной на алгоритмическом языке высокого уровня, в перемещаемый объектный модуль.

Получаемые с помощью ассемблера или компилятора программы могут быть протестированы с использованием моделирующей программы-отладчика (Simulator-debugger). В процессе отладки пользователь имеет возможность контролировать содержимое памяти и состояние периферийных устройств контроллера. Симулятор позволяет также задавать значения входного напряжения для всех каналов встроенного многоканального АЦП контроллера.

К программно-аппаратным средствам поддержки разработок ПО относятся эмуляторы ПЗУ, внутрисхемные эмуляторы (In-Circuit Emulators), оценочные модули (Evaluation Boards), а также стартовый комплект разработчика (Project Builder).

Эмулятор ПЗУ (рисунок 5.а) является наиболее простой отладочной системой и представляет собой аппаратуру, соединенную последовательным каналом с инструментальной ПЭВМ. Аппаратура эмулятора имеет в своем составе блок оперативной памяти, подсоединенной на место внешнего ПЗУ программ отлаживаемой микропроцессорной системы. Такой комплекс пригоден для отладки микроконтроллеров с внешней памятью программ. ПО, находящееся в инструментальной ПЭВМ, позволяет считывать информацию

из памяти эмулятора и заносить туда программы, в том числе отладочные и тестовые.

К более сложным отладочным системам относятся внутрисхемные эмуляторы, предназначенные для отладки программного обеспечения и аппаратной части разрабатываемой системы, когда в модуле центрального вычислителя применяется микроконтроллер с внутренней памятью программ. При использовании внутрисхемного эмулятора микроконтроллер отстраняется от работы в системе (извлекается из панели своего разъема) и на его место кабелем со штепсельным разъемом, согласующимся с освободившейся панелью, подсоединяется аппаратура внутрисхемного эмулятора. Внутрисхемный эмулятор полностью заменяет микроконтроллер отлаживаемой системы, сохраняя при этом доступ ко всей информации о внутреннем состоянии контроллера и его памяти посредством инструментальной ПЭВМ.

Внутрисхемный эмулятор часто выполняется в виде стандартной платы, которая помещается в свободное установочное место в корпусе ПЭВМ, подсоединяясь к системной магистрали (рисунок 1.8, б). Стыковочная плата (СП) специальным штепсельным разъемом (Target Probe) соединяется с установленной в ПЭВМ платой посредством ленточного кабеля.

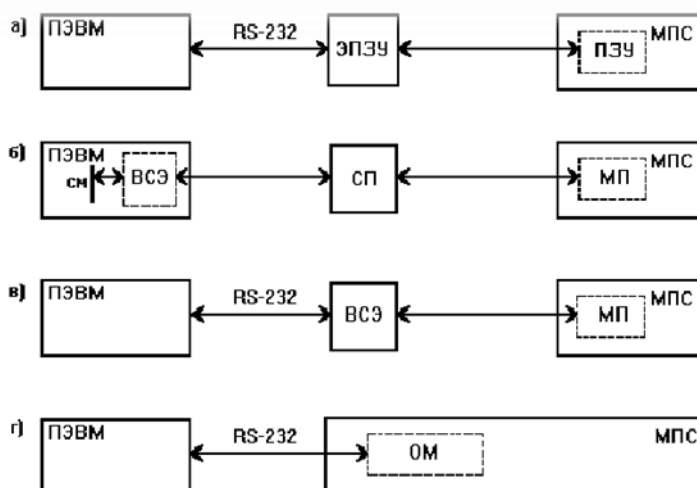


Рисунок 1.8 - Структуры отладочных систем.

Существуют внутрисхемные эмуляторы, выполненные в виде отдельного блока и связанные с ПЭВМ по последовательному каналу интерфейсом RS-232 (рисунок 1.8, в).

Оценочный модуль (ОМ) (рисунок 1.8, г) предназначен для отладки программного обеспечения и комплексной отладки разрабатываемой системы с использованием реальных датчиков и исполнительных устройств без изготовления модуля центрального вычислителя. Оценочный модуль представляет собой одноплатную микроЭВМ, имеющую в своем составе микроконтроллер определенного типа, внутреннюю память программ, выполненную с использованием микросхем постоянной и оперативной памяти и другую аппаратуру, обеспечивающую пуск и выполнение программ в

рабочем режиме. В режиме с остановом в контрольных точках и в однокомандном (пошаговом) режиме, а также аппаратуру для связи с ПЭВМ по последовательному каналу с интерфейсом RS-232. На плате установлены разъемы для подключения оценочного модуля к аппаратуре отлаживаемой системы управления.

Рабочая программа, полученная в результате ассемблирования или компиляции исходной программы, вводится в память оценочного модуля и выполняется в рабочем или отладочном режиме. Часть памяти, расположенной на плате, используется для хранения программы-монитора, с помощью которой осуществляется управление работой оценочного модуля. Отладка программ может проводиться с использованием языков ассемблера либо высокого уровня.

Совокупность программных и оценочных модулей составляет стартовый комплект разработчика (Project Builder). Стартовый комплект позволяет решать следующие задачи:

- изучения структуры микроконтроллеров, входящих в данное семейство и выбора микроконтроллера для разрабатываемой системы;
- приобретения навыков настройки и управления периферийными устройствами контроллера;
- накопления опыта разработок и отладки программного обеспечения для микроконтроллера с использованием языков ассемблера и высокого уровня;
- оценки правильности выбора микроконтроллера для работы в составе создаваемой системы по критериям времени выполнения задач и уровню загрузки процессора.

При работе в автономном режиме аппаратный модуль стартового комплекта может быть использован в разрабатываемой системе пользователя в качестве центрального вычислителя.

Например, семейство микропроцессоров Sitara™ компании Texas Instruments включает две линейки микропроцессоров, младшую – на основе ядра ARM9 и старшую – на основе ядра Cortex-A8. Младшая линейка процессоров с максимальной частотой 456 МГц позиционируется как ориентированная на малое энергопотребление с возможностью гибкого выбора необходимого набора интерфейсов. Старшая линейка процессоров с максимальной частотой до 1,5 ГГц позиционируется как высокопроизводительная, ориентированная на системную интеграцию.

Программные пакеты BSP (Board Support Package) содержат все необходимое для установки и запуска ОС Linux на модулях TE-AM1705v2 и TE-AM1707LCD70. В состав каждого BSP входят U-Boot (загрузчик операционной системы), ядро ОС Linux (Kernel 3.2.1) и набор драйверов устройств. Загрузчик и ядро ОС в BSP представлены также в виде исходных текстов и сконфигурированы для двух вариантов источников загрузки (энергонезависимой памяти): NAND или SPI dataflash. В загрузчике U-Boot реализована поддержка интерфейса Ethernet и сохранение переменных среды окружения в энергонезависимую память, что позволяет гибко подойти к выбору источника ядра (загрузка из сети по протоколу tftp, NAND, SPI, USB и

т.д) и параметров загрузки ОС (передачи командной строки ядру) – это сокращает время, необходимое на разработку программного обеспечения. Ядро ОС Linux, включенное в состав BSP, настроено на поддержку модулей TE-AM1705v2 и TE-AM1707LCD70. Набор драйверов поддерживает все функциональные устройства, реализованные в модулях: Ethernet, SPI Dataflash, NAND, UART, RTC и т.д. Таким образом, после загрузки модуля появляется возможность использовать эти устройства, применяя интерфейс программирования приложений API (Application Programming Interface) ОС Linux, т.е. создавать прикладное программное обеспечение. BSP Linux позволяет в минимально возможный срок освоить модули TE-AM1705v2 и TE-AM1707LCD70 и приступить к разработке прикладного и/или системного программного обеспечения.

AVR Studio - Интегрированная отладочная среда AVR Studio фирмы Atmel. JTAG ICE – внутрисхемный эмулятор для флэш-микроконтроллеров megaAVR. JTAG ICE общается с встроенным в AVR-устройства отладочным модулем, что дает более высокую точность эмуляции. Эмулятор поможет разработчикам обнаружить их программные «ловушки», существенно уменьшая при этом время проектирования. JTAG ICE соединяется с интегрированной средой проектирования AVR Studio для написания кода программы и его отладки. AVR Butterfly – оценочное средство для демонстрации возможностей последней AVR-технологии. Устройство поставляется с перезагружаемой программой температурного контроля, измерения освещенности, определения напряжения и проигрывания мелодии. AVR Butterfly может также использоваться для отображения наименования. AVR Butterfly перепрограммируется из AVR Studio используя только кабель последовательной связи. Эта особенность делает данное устройство набором для проектирования, содержащее на плате mega169, или даже непосредственной платой простых приложений.

2 Разработка систем передачи измерительной информации на базе микропроцессоров фирмы Texas Instruments

2.1 Аппаратный комплекс на базе MSP-EXPC430RF

В рамках научного сотрудничества с представительством фирмы Siemens в Казахстане в Алматинском университете энергетики и связи (АУЭС) на кафедре «Электроники» была создана экспериментальная учебная и научно-исследовательская площадка многоуровневой системы автоматизации производственного процесса. В дальнейшем планируется исследовать технические объекты как: насосная станция (ТО-НС), калориферная установка (ТО-КУ), электроэнергетический объект (ТО-ЭЭ), жилищно-коммунальное хозяйство (ТО-ЖКХ), летательного аппарата (ТО-ЛА). На соответствующих объектах измеряемыми техническими величинами являются : давление среды (P_{H_2O} , P_{O_2} , $P_{ЛА}$), расход среды (F_{H_2O} , F_{O_2}), температура среды (T_{H_2O} , T_{1O_2} , T_{2O_2} , T_1 , T_2), уровень (L_{H_2O}), влажность (M), концентрация газов (C_g), частота переменного тока (f), действующее значение тока (I), напряжение переменного тока (U), электрическая мощность (W),

освещенность (E_1, E_2), высотомер ($H_{ла}$), скорость воздушного потока ($v_{ла}$). В системе предусмотрены контроллеры сбора данных на современных контроллерах (СПЛК) SimaticS-1200, микроконтроллеры (МК) последнего поколения фирмы Texas Instruments MSP430 и PIC16F877. В настоящий момент реализованы объекты ТО-НС, ТО-КУ, ДП-МКЖКХ. На рисунке 2.1 изображена связь между компонентами.

Экспериментальная площадка позволяет проводить исследования по проблемам в системе, в которой используются современные технологии сбора, обработки и передачи информации от клиента к серверу. Передача информации осуществляется по проводной сети Ethernet, по беспроводной сети Wi-Fi, также имеется передача информации по радио каналу SimpliсiTI. Клиент-серверная архитектура построенная на базе СПЛК SIMATIC S7-1200 и микроконтроллеров MSP430 осуществляет сбор данных с измерительных датчиков, обработку информации и их передачу по каналу Wi-Fi.

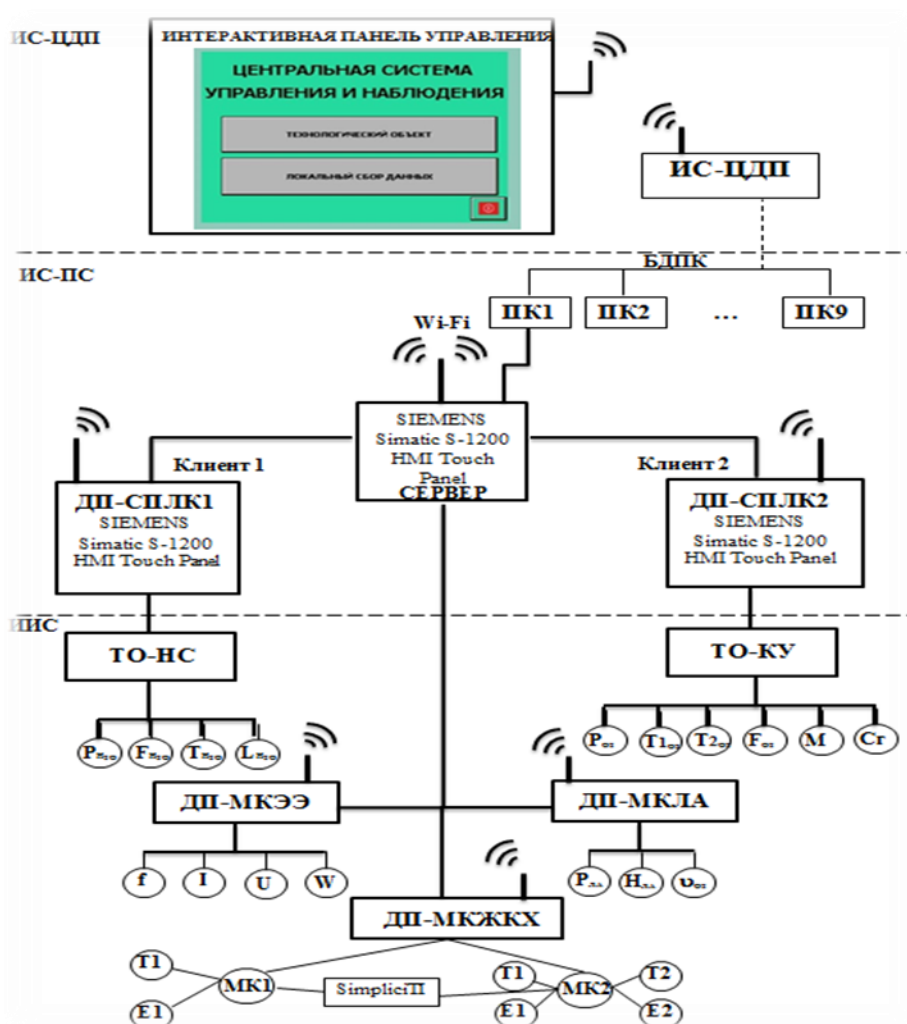


Рисунок 2.1 - Экспериментальная учебная и научно-исследовательская площадка многоуровневой системы автоматизации производственного процесса

Задача диссертационной работы осуществить и исследовать связь между микроконтроллерами MSP430 со встроенными радиомодулями (трансивер) на возможные расстояния с учетом типов различных помех.

Передача информации от ДП-МКЖКХ на верхний уровень осуществляется через сервер промышленного контроллера, который формирует единую базу данных. Здесь используется технология Wi-Fi, которая может быть реализована на персональных компьютерах (ноутбук), либо установкой встроенного радиомодуля на конечное устройство - MSP430RF4.

Согласно поставленной задаче на кафедре Электроника по плану модернизации был изготовлен лабораторный стенд. Организация беспроводной связи на базе микропроцессоров MSP430 был разработан на основе экспериментального набора MSP-EXPC430RF. Общий вид стенда представлен на рисунке 2.2.

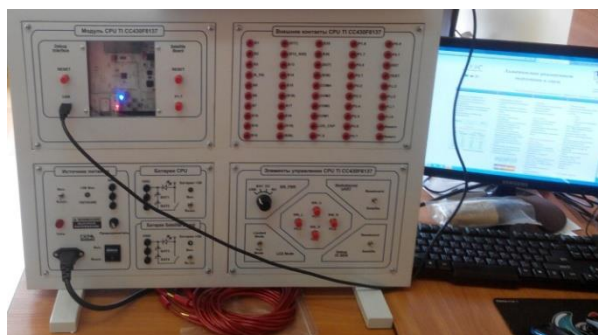


Рисунок 2.2- Вид стенда на основе MSP-EXPC430RF

Таблица 2.1 - Характеристики экспериментального комплекта MSP430RF4

Архитектура	MSP430 / 16-бит
Тактовая частота, МГц	20
Корпус	QFN 64
Количество линий ввода/вывода	44
Flash-память, Кб	32
Универсальный / Специализированный	для беспроводных коммуникаций
ОЗУ, Кб	4
Диапазон напряжений питания, В	1,8 - 3,6
Рабочий температурный диапазон, °С	-40 .. +85
Аппаратный умножитель	+

SPI	2
-----	---

Продолжение таблицы 2.1

Архитектура	MSP430 / 16-бит
LIN	1
UART/USART	1
IrDA/ ISO7816	+/-
Ограничения интерфейсов	I2C, UART, LIN, IrDA и SPI реализуются через 2xUSCI
Поддержка ЖКИ	+
Характеристики блока ЖКИ	максимальное количество сегментов 96
Интерфейс отладки	JTAG
Количество векторов прерываний и сброса	19
Количество внешних прерываний	16
Встроенный температурный датчик	+
Каналов 12-разрядного АЦП	12
Частота дискретизации АЦП, тыс.отсчетов в сек.	200
Количество аналоговых компараторов	1
Количество встроенных RC-генераторов	3
Частота встроенного RC-генератора	9,4 KHz + 32,768 KHz + (0,1-100)MHz
Количество кварцевых генераторов	2
Количество умножителей тактовой частоты (PLL)	1
Часы реального времени	+
16-битных таймеров	2
Каналов ШИМ	8
Аппаратный блок шифрования	+
Поддержка беспроводной передачи данных	+

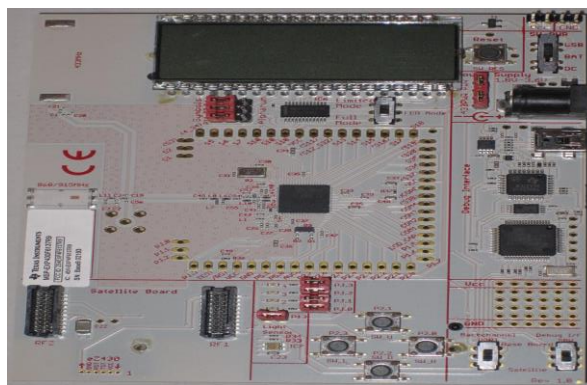


Рисунок 2.3 - MSP-EXPCC430RF4 экспериментальный комплект – MSP-EXP430F6137R4 Базовая плата (передняя сторона)

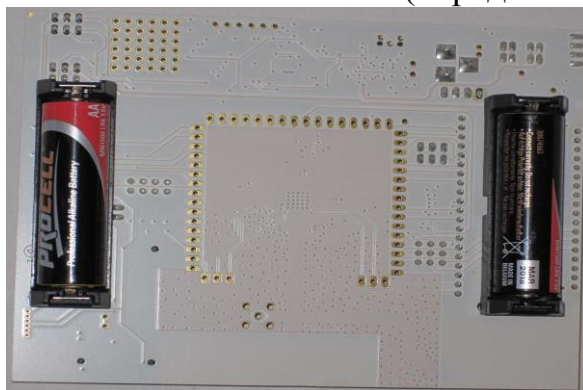


Рисунок 2.4 - MSP-EXPCC430RF4 экспериментальный комплект – MSP-EXP430F6137R4 Базовая плата (задняя сторона)



Рисунок 2.5 - MSP-EXPCC430RF4 экспериментальный комплект – MSP-EXP430F5137R4 ретрансляционная (спутниковая) плата (передняя сторона)

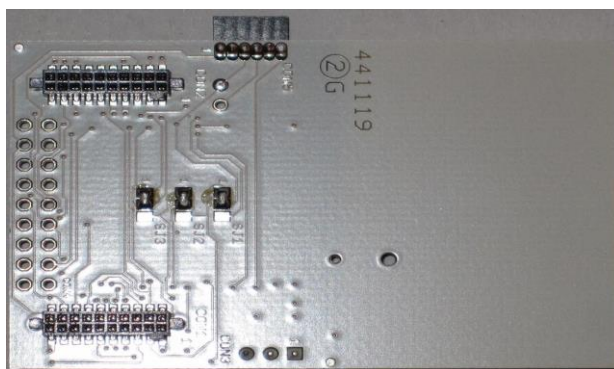


Рисунок 2.6 - MSP-EXP430F5137R4 экспериментальный комплект – MSP-EXP430F5137R4 ретрансляционная (спутниковая) плата (задняя сторона)

Подача питания на стенд может осуществляться тремя способами:

- 1) переключатель питания (Switch Power - SW_PWR) - подключение стенда USB шнуром к персональному компьютеру ;
- 2) переключатель питания (SW_PWR) - подключение стенда с помощью батареи;
- 3) переключатель питания (SW_PWR) - подключение стенда через подачу питания 220В.

Слева на стенде располагается модуль CPUTICC430F6137 который представляет собой щит, слева на котором расположен USB - порт, кнопка перезапуска основной платы (CC430F6137), по середине находится окно для возможности наблюдения за текущим состоянием экспериментального набора, справа от него кнопка перезапуска беспроводной платы (CC430F5137), а также продублированная кнопка без фиксации P1.7.

Блок "Элементы управления CPUTICC430F6137" состоит из 5-ти контуров:

- 1) управление питанием;
- 2) Backchannel UART , программирование через UART(возможность подключения к протоколу передачи данных на экспериментальный набор возможна только в присутствии преподавателя). Два положения: программирование базовой и беспроводной плат;
- 3) кнопки 2.0 - 2.3, в стандартной программе кнопки навигации по меню вверх (SWITCH_UP (SW_U), вниз (SWITCH_DOWN (SW_D), влево (SWITCH_LEFT (SW_L) , (SWITCH_RIGHT (SW_R) вправо;
- 4) управление отображением на LCD дисплее:
 - все сегменты (Full Mode), 96 сегментов;
 - ограниченное число сегментов (Limited Mode), 64 сегмента.
- 5) управление отладочным интерфейсом программирования через шнур USB (Debug I/FSBW). Два положения: программирование базовой и беспроводной платы.

2.2 Программное обеспечение измерительного комплекса

Программа CC 430 Wireless Network Monitor v1.0 - это терминал отображения работы беспроводной передачи между экспериментальными платами [12]. Общий вид программы представлен на рисунке 2.7.



Рисунок 2.7 - Основное окно программы CC 430 Wireless Network Monitor v1.0

Еще одним преимуществом данной программы является отображение в отдельном окне данных полученных с экспериментальных плат в виде текста (рисунок 2.8).

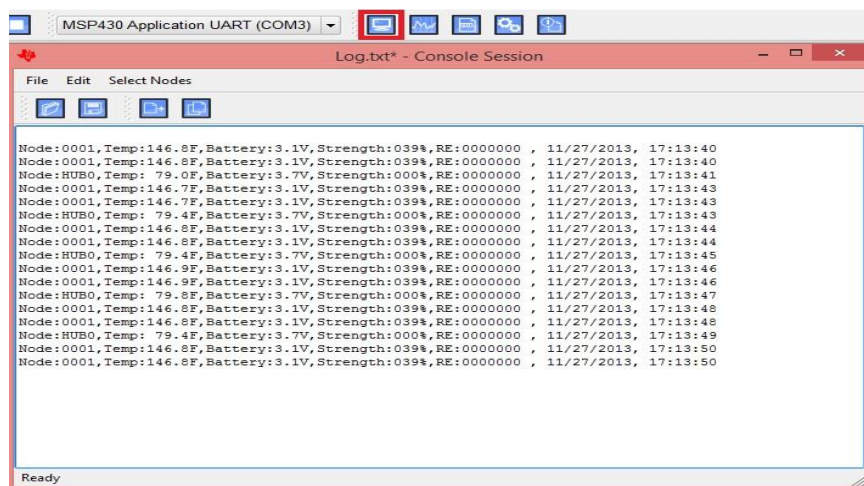


Рисунок 2.8 – Окно текстовых представлений получаемых данных

Данное окно позволяет не только увидеть текстовое отображение параметров считываемых с плат, но и записать их в файл. Еще одной возможностью является вкладка построения динамического графика параметров или базовой платы или ретрансляционной (рисунок 2.9).

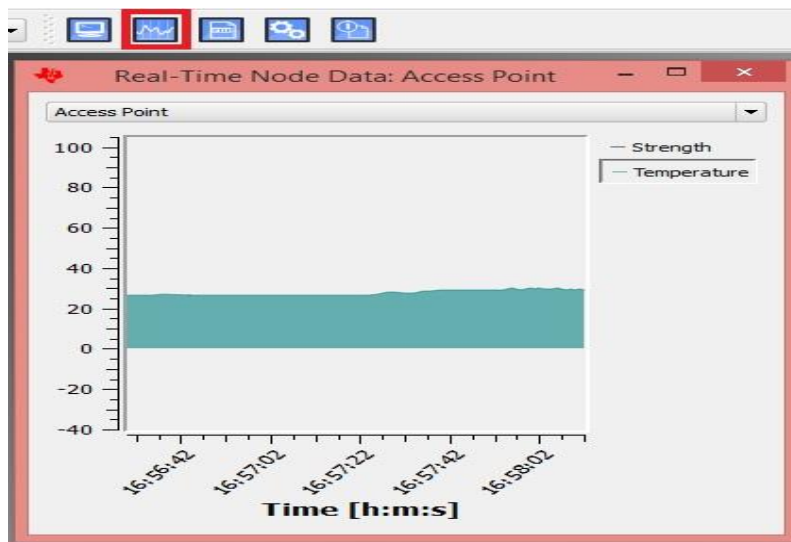


Рисунок 2.9 - Окно построения графиков

Программа IAR Embedded Workbench 5.6.

В версию 5.6 IAR Embedded Workbench были интегрированы новые математические библиотеки Texas Instruments. Библиотеки, включая поддержку вычислений в формате с плавающей запятой, используются для разработки приложений реального времени с интенсивными математическими вычислениями, а также повышают производительность существующих приложений, разработанных в предыдущих версиях без каких-либо изменений кода. Кроме этого, версия содержит библиотеки для разработки многопоточных приложений [13-14].

Для создания нового проекта нужно зайти в меню Project и Create New Project. В появившемся окне - IAR'у, создается C project (рисунок 2.10): Компилятор вставит файл с пустой функцией main() в проект и пропишет туда остановку WatchDog'a (рисунок 2.11).

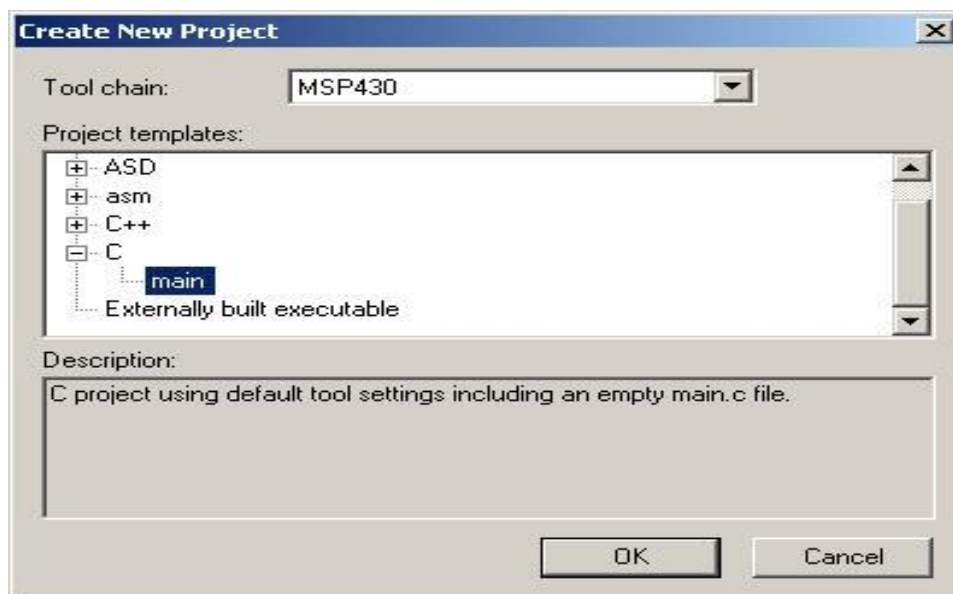


Рисунок 2.10 – Вид окна создания нового проекта

```
1
2 #include "io430.h"
3
4 int main( void )
5 {
6     // Stop watchdog timer to prevent time out reset
7     WDTCTL = WDTPW + WDTHOLD;
8
9     return 0;
10 }
11
```

Рисунок 2.11 - Вид окна для программирования нового проекта

Поправление настроек проекта. В категории General Options, выбирается наш микроконтроллер, соответственно, нажимается на CC430F6137 для базовой платы, CC430F5137 для беспроводной платы (рисунок 2.12).

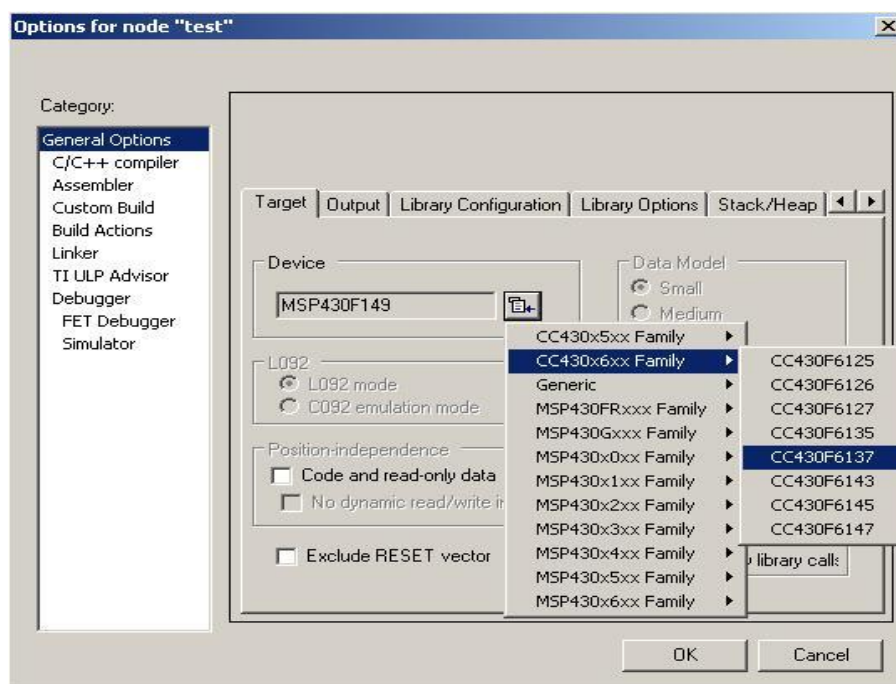


Рисунок 2.12 – Вид окна выбора программируемого устройства

Во вкладке Debugger и выбирается наш программатор/отладчик (рисунок 2.13).

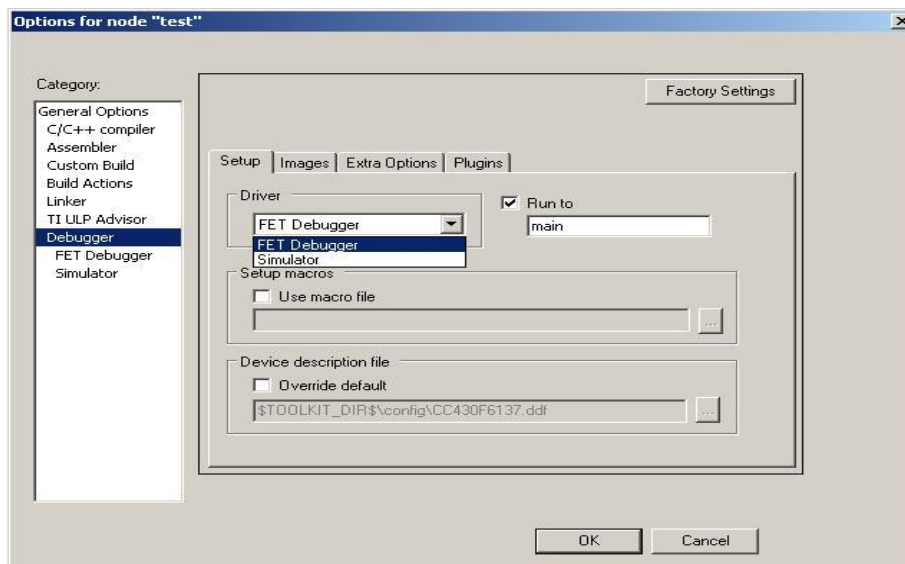


Рисунок 2.13 - Настройка программатора для МК.

2.3 Аппаратно- программный комплекс для исследования качества СВЯЗИ

Беспроводная передача информации осуществляется между двумя базовыми платами MSP-EXP430F6137R4. Для настройки параметров используется удобное вспомогательное программное обеспечение SmartRF Studio от TI. SmartRF Studio — полезный инструмент, который помогает проектировщикам беспроводных систем оценить различные радиочастотные модули (РЧ) на ранней стадии разработки. Инструмент представляет собой приложение для персонального компьютера (ПК), работающее с беспроводными оценочными наборами Texas Instruments на базе РЧ-микросхем серий CCxxxx, в том числе CC430 [15]. Программа запускается под ОС Windows и через USB или параллельный порт взаимодействует с отладочной платой, которая, в свою очередь, подключается по РЧ-каналу к оценочным платам с установленными РЧ-модулями. Удобный пользовательский интерфейс дает доступ к регистрам настройки РЧ-модуля для быстрого тестирования и настройки параметров РЧ-канала [16].

Самый главный настраиваемый параметр – это скорость, на разной скорости у приёмника разная чувствительность, а значит и разная дальность приёма при равных прочих условиях. От скорости будет зависеть и потребление энергии источника питания, при передаче ток от скорости зависит мало, но время передачи зависит сильно. Если нужно добиться максимального энергосбережения, то лучше настраивать на 250кбит или 500кбит. На используемой плате установлена беспроводная антенна CC1101. Данная антенна имеет возможность осуществлять 2 модуляции:

- для высокоскоростных режимов лучше(500, 250кбит) подходит MSK;
- для низкоскоростных 2-GFSK.

В данной работе мы будем использовать модуляцию 2–GFSK. При модуляции GFSK осуществляется дополнительная фильтрация, отсутствующая в FSK и предотвращающая паразитное расширение спектра

при изменении частоты [17]. Включается лабораторный стенд и подключается к ПК посредством USB. Запускается SmartRF Studio при помощи ярлыка на рабочем столе (рисунок 2.14).

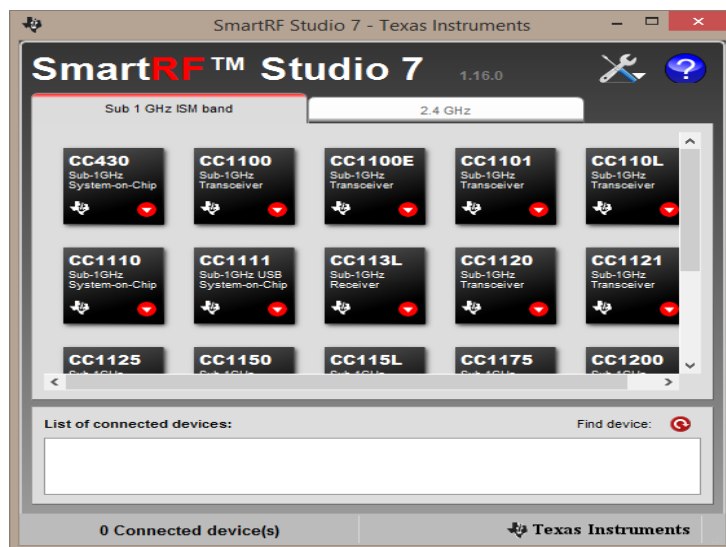


Рисунок 2.14 – Окно выбора оборудования SmartRF Studio

В данном окне доступны 2 вкладки. По умолчанию, используется вкладка Sub 1ГГц ISMband. В нижней области окна доступен список подключенных устройств. По умолчанию данный список пуст. Нажатием кнопки «Find device» осуществляем поиск доступного оборудования [18-19]. После завершения поиска Smart RF Studio предложит список обнаруженных подключенных устройств, в котором будет только одно доступное - MSP-EXP430F6137R4 (рисунок 2.15).

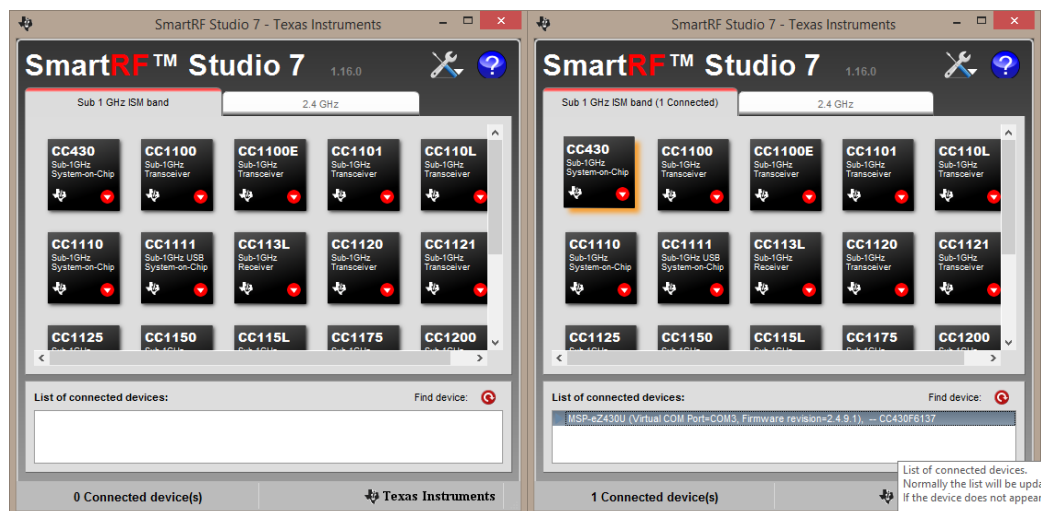


Рисунок 2.15 – Вид окна поиска доступного оборудования

Двойным щелчком по данному устройству в списке открывается главное окно SmartRF Studio (см. рисунок 2.16). В меню View, убирается отметка (если есть) с Easy Mode, устанавливается Register View и RF Parameters. Студия выглядит как показано на рисунке 2.16.

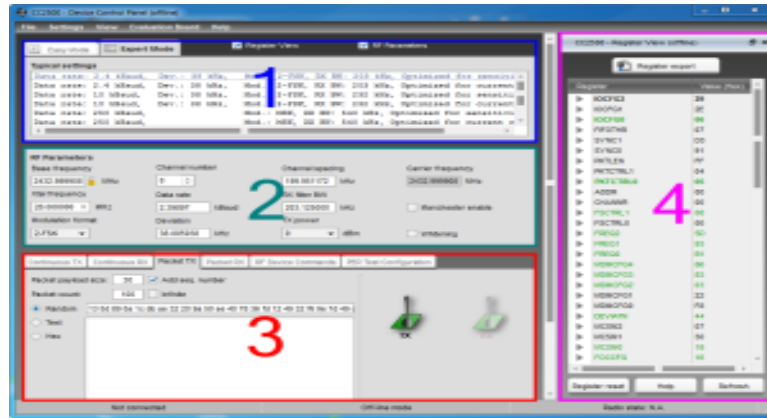


Рисунок 2.16 – Главное окно SmartRF Studio

Можно выделить 4 области окна:

- 1) набор предустановленных настроек;
- 2) тонкая настройка параметров;
- 3) работа с демонстрационным оборудованием от TI;
- 4) список регистров.

За основу удобно брать одну из заготовок из списка области 1. В нашем случае выбирается первая строка. Далее изменяются значения параметров согласно функциональным возможностям платы, а именно параметр «Base frequency» - базовая частота передачи данных. Устанавливается равной 432,999939 МГц. Устанавливаем базовую частоту передачи 432,999, так как эта частота входит в диапазон частот передачи сигнала по беспроводной линии в помещениях на расстоянии не более 100м без ощутимых искажений. Также частота в закрытых пространствах лучше работает. Эта волна лучше проходит даже сквозь бетонную стену, т.е. лучше пробивает её. Необходимые настроечные параметры области 2 приведены на рисунке 2.17.

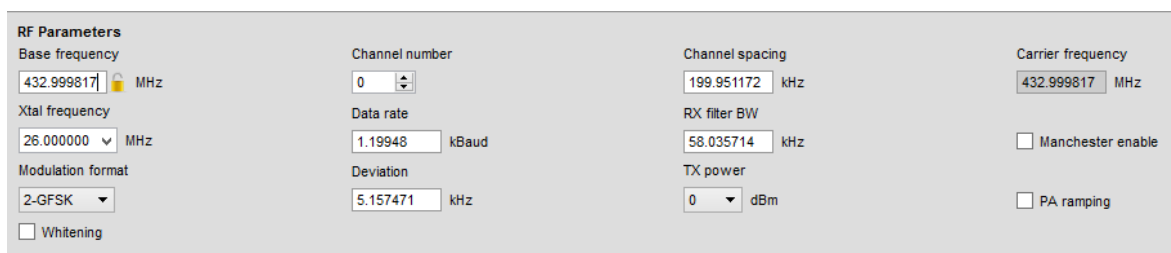


Рисунок 2.17 – Вид окна настроечных параметров SmartRF Studio

После выполнения настройки сохраняются. Для этого осуществляются следующие действия: меню File => Save Cfg и сохраняется конфигурация. Регистры в списке (4 область) выделены тремя цветами:

- серые – регистры, в которые невозможно ничего записать. Данные регистры являются системными и используются для внутренних нужд;
- черные – регистры, которые не меняют своего значения по сравнению со значением по умолчанию;

- зеленые – регистры, изменяющие свое значение в ходе выполнения передачи данных.

Из всех этих типов выбираются зеленые регистры, по умолчанию студия делает только их экспорт.

В данной работе передача осуществляется между двумя платами MSP-EXR430F6137R4. При организации передачи необходимо учитывать тот факт, что одно из устройств выступает в качестве передатчика, а другое в качестве приемника. Соответствующие настройки делаются в области 3 (рисунок 2.15). В данной области доступны 5 вкладок, выбираются две вкладки:

- Packet TX – вкладка настройки передатчика информации;
- Packet RX – вкладка настройки приемника информации.

Вкладка «Packet TX» – имеется возможность осуществлять передачу произвольно сгенерированной строки кнопка «Random», либо текстовой информации кнопка «Text», либо в шестнадцатеричном формате кнопка «Hex». В данной работе мы будем использовать только первые две, а именно в данном примере только передачу текстовой информации.

Другим важным настроечным параметром вкладки «Packet TX» является количество передаваемых пакетов информации.

Данный параметр задается произвольно, однако при установке значения необходимо учитывать тот факт, что чем больше число передаваемых пакетов, тем дольше будет осуществляться передача.

Вкладка «Packet RX» - имеется возможность осуществлять прием произвольно сгенерированной строки кнопка «Random», либо текстовой информации кнопка «Text», либо в шестнадцатеричном формате кнопка «Hex». В данной работе мы будем использовать только первые две, а именно в данном примере только прием текстовой информации.

Для приема текстовой информации в выпадающем списке «Viewing format» необходимо выбрать «Text».

Другой важный параметр настройки вкладки «Packet RX» является параметр «Expected packet count». Данный параметр позволяет подсчитать количество потерянных пакетов данных.

На этом настройка завершена.

Для начала передачи данных необходимо сначала на ПК приемника информации во вкладке «Packet RX» нажимается кнопка «Start» и только после этого на ПК передатчика информации во вкладке «Packet TX» нажимается аналогичная кнопка «Start».

Передача завершится после завершения передачи последнего пакета данных либо по запросу пользователя нажатием кнопки «Stop». Пример работы программы приведен на рисунках 2.18-2.19.

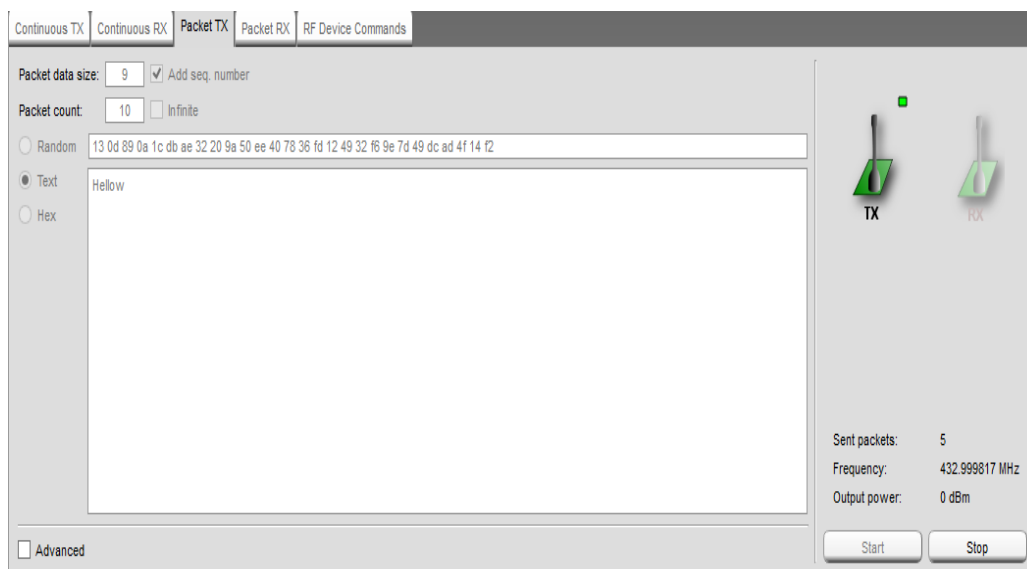


Рисунок 2.18 – Вид окна организации передачи данных

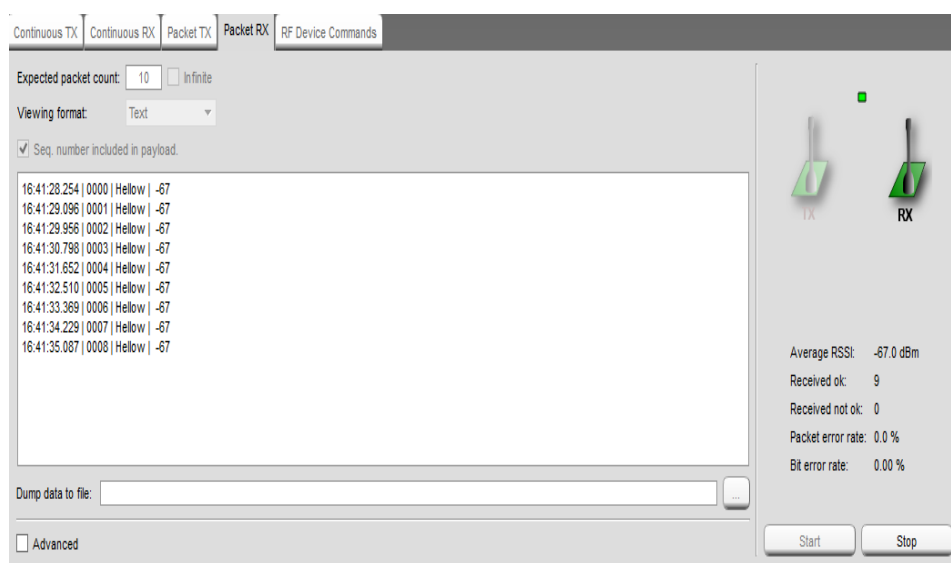


Рисунок 2.19 – Вид окна организации приема данных

3 Исследование программно- аппаратного комплекса на базе микропроцессоров Texas Instruments MSP430RF4

3.1 Исследование режимов работы микропроцессоров

Для исследования программно - аппаратного комплекса на базе микропроцессоров Texas Instruments MSP430RF4 используется базовая частота: 433 МГц, которая имеет ряд преимуществ как (таблица 3.1)

Рассмотрим два типа из серии CC430, так как комплект предусматривает два беспроводных модуля : MSP - EXP430F6137R4 - базовая плата с микроконтроллером (МК) CC430F6137 и MSP - EXP430F5137R4 ретрансляционная (спутниковая) плата с МК CC430F5137. Эти два модуля позволяют осуществлять (демонстрировать) беспроводную передачу данных по сети SimpliciTI (Texas Instruments).

Таблица 3.1- Преимущества частоты 433МГц

Меньше 1ГГц как фирменное решение	Предложение от TI меньше-1ГГц
Наибольшая дальность связи – до нескольких километров, в зависимости от выходной мощности	Превосходная чувствительность
Понижение частоты улучшает проникновение радиосигнала внутри зданий и в городской застройке.	Высокая выходная мощность
Меньше загружен по сравнению с диапазоном 2.4 ГГц	Разнообразные средства разработки, примеры дизайна и инструкции по применению

Таблица 3.2. Основные параметры микросхем серии CC430

Наименование	Флэш-память*, Кбайт	ОЗУ, Кбайт	Контроллер ЖКИ	АЦП (12 бит, 8 каналов)	Максимальное число линий в/в	Корпус
CC430F5137	32	4	—	Есть	30	QFN-48
CC430F6137	32	4	Есть	Есть	44	QFN-64

Также микросхемы обладают высокой экономичностью: напряжение питания 1,8- 3,6 В; потребляемый ток (без трансивера) в активном режиме 180 мкА/МГц, 1,7 мкА в дежурном и 1 мкА в спящем режиме. Подобные параметры, в сочетании с возможностью возобновления активной работы из дежурного режима за время менее 5 мкс, делают возможным применение CC430 в устройствах, которые должны работать без замены батареи питания 10 и более лет. К числу таких устройств относятся беспроводные датчики (дыма, разбития стекла, присутствия и др.), измерительные приборы с дистанционным считыванием, беспроводные пульты, активные метки систем РЧ-идентификации и мониторинга [20]. Помимо представленных в таблице 3.2 модулей, все микросхемы имеют:

- конфигурируемую систему управления электропитанием;
- унифицированную систему синхронизации, такую же, как и у CC1110/11, но с более гибкой организацией и рядом дополнительных возможностей;
- два 16-разрядных таймера с режимами захвата/сравнения;
- модуль последовательных интерфейсов с двумя каналами (первый канал - UART, IrDA или SPI, второй — SPI или I2C);
- часы реального времени;
- аппаратные модули расчета CRC-16, умножения и шифрации (дешифрации) по алгоритму AES128;
- трехканальный контроллер прямого доступа к памяти;
- аналоговый компаратор;
- сторожевой таймер и современную отладочную систему с доступом через интерфейс JTAG или Spy-Bi-Wire.

Широкие возможности и миниатюрный корпус делают семейство CC430 настоящей технологической платформой для создания современной РЧ-продукции в кратчайшие сроки и с рядом конкурентных преимуществ, в числе которых — компактность, малое потребление, низкая стоимость и улучшенные функциональные возможности.

Таблица 3.3- Технические характеристики платы MSP430RF4

Наименование параметра	Минимальное значение	Номинальное значение	Максимальное значение
Частотный диапазон, МГц	387	—	464

Продолжение таблицы 3.3

Наименование параметра	Минимальное значение	Номинальное значение	Максимальное значение
Рабочий температурный диапазон, °С	-40	—	85
Рабочее напряжение питания, В	1,8	—	3,6
Скорость передачи (программируемая), кбод	1,2	—	500
Выходная мощность (программируемая), дБм	-30	—	+12
Чувствительность приемника ¹⁾ , дБм	—	-113	—
Потребляемый ток: – режим приема ²⁾ , мА – режим передачи (0 дБм), мА – режим передачи (12 дБм), мА – режим отключения, мкА	—	14,7	—
	—	15,0	—
	—	30,0	—
	—	<1	—
Рабочий температурный диапазон, °С	-40	—	85

3.2 Экспериментальная часть

Современные радиотехнические средства позволяют упростить передачу данных с использованием недорогих микропроцессоров многие системы контроля и управления, в том числе, связанные с бытовыми целями. Так, известны работы [21-22] в которых передача информации происходит в быту

и ЖКХ по сети ZigBee. Однако для получения точных оценок по исследованию распространение сигнала в помещении, надо учитывать конкретные классы конструкции помещения. В работе представлены результаты экспериментов по исследованию качества связи в помещениях с различными препятствиями.

Для решения этой задачи был проведен эксперимент на лабораторных установках MSP-EXP430F6137R4 (два беспроводных модуля : MSP - EXP430F6137R4 - Базовая плата с микроконтроллером (МК) CC430F6137 и MSP - EXP430F5137R4 ретрансляционная плата с МК CC430F5137 на частоте 433 МГц). Эксперимент проводился в лабораторных условиях. Модули (передатчик-приемник) расположены на высоте 1.15 метра. Согласно теории планирования экспериментов [23] с доверительной вероятностью $\beta = 99\%$ для обеспечения точности измерения с допустимой погрешностью $\varepsilon = 0,5\%$ количество необходимых измерений определяется по формуле:

$$n \geq \left(\frac{t_{\beta}}{\varepsilon_{\text{допущ.}}} \right)^2 \quad (3.1)$$

Из таблицы возьмем значение коэффициент распределения Стьюдента для доверительной вероятности 0,99, тогда $t_{\beta} = 2.58$. Получим число необходимых измерений $N \geq 30$. Итак должно проводиться по 30 замеров в каждом эксперименте. По полученным результатам были высчитаны:

- математическое ожидание $M[X]$;
- дисперсия $D[X]$;
- среднее квадратическое отклонение $\sigma(x)$;
- расстояние между передатчиком и приемником R , м.

Модули (передатчик-приемник) расположены на высоте 1.15 метра. Эксперименты проводились в идентичных условиях.

Условия эксперимента:

- 1) распространение радиосигнала в пределах прямой видимости (в помещении, коридор корпуса Б, 4 этаж);
- 2) распространение радиосигнала в свободном пространстве (вне помещения , между Б и Д корпусами);
- 3) распространение радиосигнала в помещении со стационарными препятствиями (между кабинетами 419, 419а, 421 кафедры Электроники, учитывая бетонные стены);
- 4) распространение радиосигнала с разными видами препятствий (лабораторный стенд кафедры ТКС 421 кабинет 4 вида материалов).

3.2.1 Распространение радиосигнала в пределах прямой видимости

Для проведения эксперимента положение передатчика было зафиксировано, приемник передвигался вдоль прямой, удаляясь от первого по коридору Б корпуса (рисунок 3.1). Эксперимент повторялся 30 раз через 1-2 минуты.

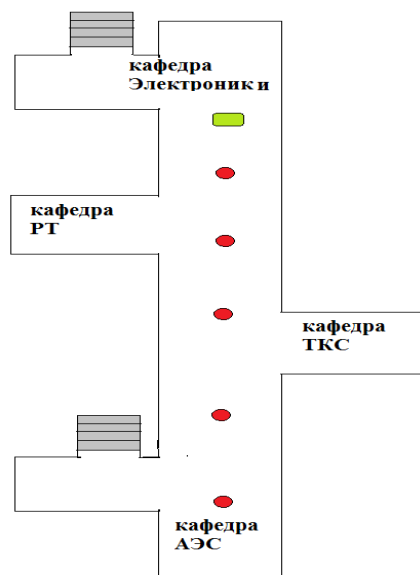


Рисунок 3.1 – Распространение радиосигнала внутри помещений

В результате обработки данных получены следующие результаты, которые представлены в таблицах 3.4- 3.5:

Таблица 3.4 - Распространение радиосигнала в пределах прямой видимости

R, м	1	2	4	6	8	10	14	18
M[X]	-51,7	-62,8	-65,2	-65,9	-69,9	-75,5	-80,4	-81,1
D[X]	0,0648	0,00658	0,006375	0,0023	0,0265	0,0080	0,081087	0,0007
$\sigma(x)$	0,2545	0,0811	0,0798	0,0488	0,1627	0,0898	0,2847	0,0282

Таблица 3.5 - Распространение радиосигнала в пределах прямой видимости

R, м	22	26	30	34	40	50	60	74
M[X]	-82,7	-83,6	-83,9	-84,9	-85,5	-90,3	-102,1	-103,3
D[X]	0,0489	0,1062	0,06204	0,1201	0,0477	0,0063	0,0516	0,0029
$\sigma(x)$	0,2211	0,3258	0,2490	0,3466	0,2184	0,0794	0,2271	0,0538

Из таблицы 1 видно, что ослабление сигнала монотонно увеличивается в соответствии с теорией [27-28]. Это обусловлено не только геометрическими параметрами здания, но также низкой мощностью передатчика и сильным ослаблением сигнала внутренними стенами и мебелью. Наличие внутри здания стен, перегородок, мебели, людей и других объектов создает сложную среду распространения радиоволн. Основными эффектами, наблюдаемыми при распространении радиоволн внутри помещений, являются многолучевость, обусловленная многократными отражениями радиоволн от стен и других объектов, дифракция на многочисленных острых краях предметов, расположенных внутри комнаты, и рассеяние радиоволн. Эти

эффекты создают сложную интерференционную структуру электромагнитного поля, сильно изменяющуюся при перемещении людей и других объектов.

3.2.2 Распространение радиосигнала в свободном пространстве

Эксперимент проводился на улице между Б и Д корпусами. Результаты эксперимента представлены в таблице 3.6-3.7 .

Таблица 3.6 - Распространение радиосигнала в свободном пространстве

R, м	1	2	4	6	8	10	14	18	22
M[X]	-57,4	-59,7	-68	-70,6	-75,4	-79,7	-81,9	-77,9	-85
D[X]	0,01	0,0003	0,051	0,0006	0,01163	0,0064	0,0065	0,0075	0,002
$\sigma(x)$	0,13	0,0178	0,227	0,0260	0,1078	0,0804	0,0811	0,0871	0,048

Таблица 3.7 - Распространение радиосигнала в свободном пространстве

R, м	26	30	34	40	50	60	70	80
M[X]	-85,5	-88,2	-92,06	-94,03	-96,69	-104,9	-105	-106
D[X]	0,00265	0,004498	0,00151	0,0022	0,00297	0,0036	0,0064	0,006
$\sigma(x)$	0,0514	0,0670	0,0388	0,0469	0,0544	0,06	0,08	0,077

Уровень сигнала на приёме определяются не только несущей частотой сигнала, но и расстоянием. Помимо очевидной тенденции затухания сигнала, наблюдаются быстрые колебания уровня мощности, которые зависят от расстояния. При распространении сигнала в свободном пространстве, принимаемая мощность обратно пропорциональна квадрату расстояния до передающей антенны. Наблюдаются явления замирания сигнала. При некоторых значениях расстояния сигнала от антенн, они проходят разные пути, приходят в противофазе на приёмную антенну, что может уменьшить мощность. При некоторых других значениях расстояния входящие сигналы складываются, что увеличивает уровень сигнала.

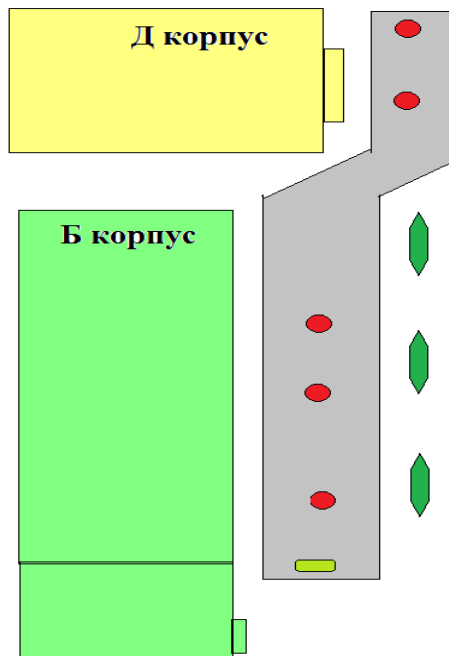


Рисунок 3.2 – Распространение радиосигнала вне помещения

При распространении сигнала в помещении он встречает на своем пути преграды искусственного происхождения как мебель, стены, различные стенды. При распространении вне помещения встречаются препятствия естественного происхождения это горы, деревья, газон, асфальт. Таким образом, любой более или менее широкий объект может создать препятствие.

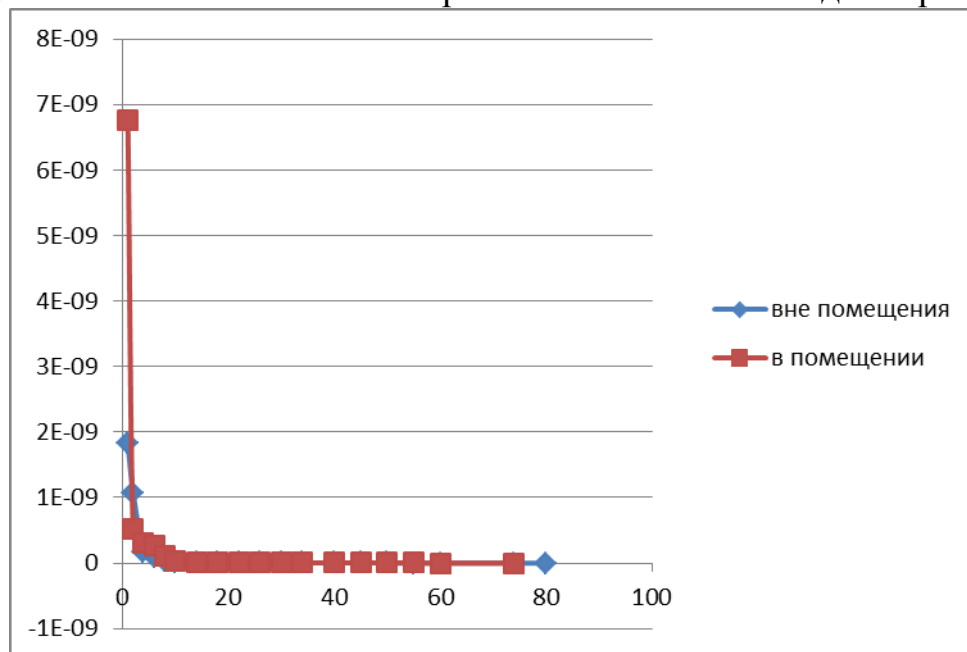


Рисунок 3.3- График зависимости мощности сигнала от расстояния в пределах прямой видимости

В зависимости от размеров преграды возможны несколько вариантов: сигнал, возможно, просто будет огибать препятствие, либо за встретившимся объектом образуется так называемая теневая зона с очень низким уровнем сигнала, либо сигнал будет отсутствовать вовсе. По результатам эксперимента

видно, что распространения сигнала вне помещения хуже чем в помещении. Это объясняется негативным или деструктивным многолучевым распространением. Тут происходит снижение силы сигнала, то есть уменьшение амплитуды. Когда множественные радиосигналы прибывают на приемник в одно и то же время и находятся не в фазе с базовым сигналом, результатом будет снижение уровня сигнала. Полагается, что явления влияющих других сигналов стало гораздо больше. В помещении при распространения радиосигнала заметен особый прирост, то есть увеличение силы сигнала, увеличение амплитуды сравнительно с распространением сигнала вне помещения для платы MSP430RF4. Это и есть положительное или конструктивное многолучевое распространение сигнала. Когда множественные радиосигналы прибывают на приемник в одно и то же время и находятся в фазе или с небольшим расфазированием по отношению к базовому сигналу, то результатом будет увеличение силы сигнала (увеличение амплитуды). Небольшая разница в фазах в пределах от 0 градусов до 120 градусов будет вызывать прирост уровня сигнала.

3.2.3 Распространение радиосигнала в помещении с учетом влияния стен

Внутри помещения, в зоне затрудненной видимости условия распространения радиоволн более многообразны. Эксперимент проводился между кабинетами 419,419а,421 кафедры Электроники. Бетонные стены (марки М350) с толщиной 10-15 см [24] между кабинетами есть стационарные препятствия (рисунок 1). Жесткие препятствия (часть конструкции здания) также влияют на возможности распространения радиосигнала. Результаты эксперимента представлены в таблице 3.8.

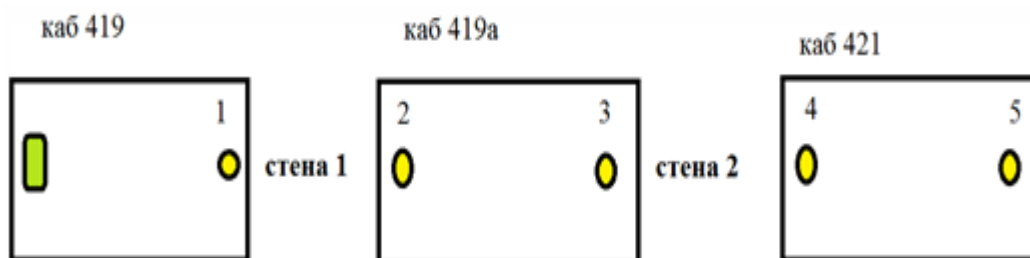


Рисунок 3.4 - Изменение положения приемника от передатчика.

Таблица 3.8 – Прохождение радиосигнала через бетонные стены

R, м	4	6	10	12	20
M[X]	-63,4	-64,1	-75,1	-75,5	-98,2
D[X]	0,0346	0,0085	0,0079	0,0202	0,0042
$\sigma(x)$	0,186	0,0921	0,088	0,1421	0,0648

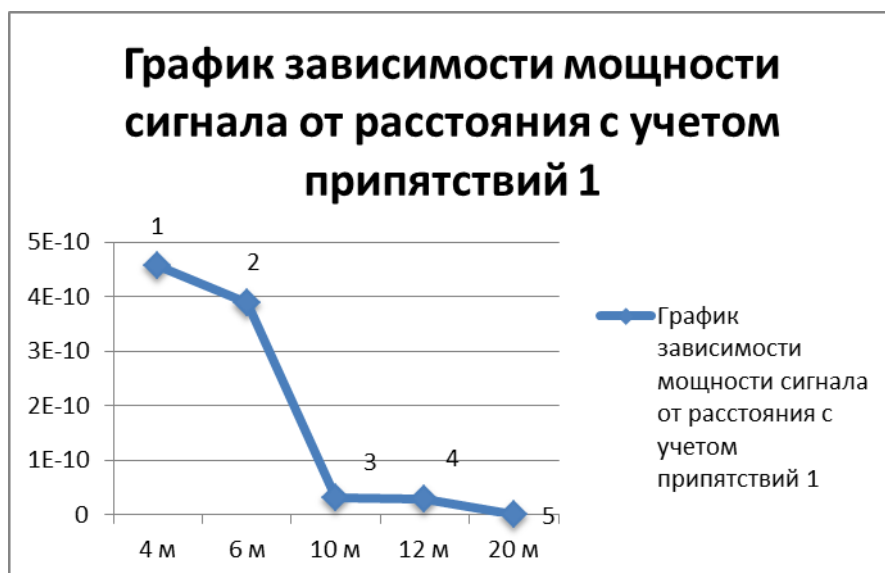


Рисунок 3.5 – График зависимости мощности сигнала от расстояния с учетом припятствий 1

Из таблицы 3.6 видно, что затухание сигнала происходит с увеличением расстояния приемника от передатчика. При анализе результатов эксперимента необходимо принимать во внимание отражение сигнала на стены при нормальном падении радиоволны и «фокусировку» волнового потока вследствие рефракции [25]. При падении радиоволны на поверхность раздела двух сред с различными показателями преломления часть волны отражается обратно.

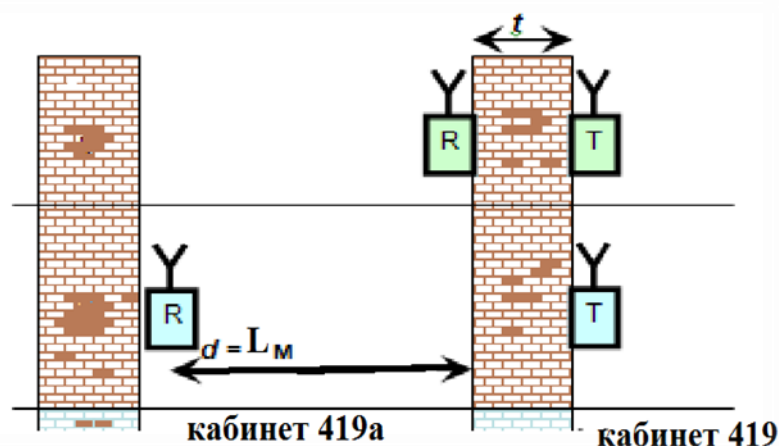


Рисунок 3.6 - Схема расположения передатчиков (Т) и приемников (R) в эксперименте по измерению ослабления сигналов

Коэффициенты отражения S_{11} и прохождения S_{21} (по мощности) определяются формулами

$$S_{11} = \left(\frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} \right)^2, \quad S_{21} = \frac{4n_2 n_1}{(n_2 + n_1)^2}, \quad (3.2)$$

где n_1, n_2 – показатели преломления сред [26].

При расчетах можно брать $n_1 = 1$ (воздух), $n_2 = 1,9-2$ (стена), тогда от стены отражается примерно 10% сигнала. Не учёт этого эффекта приводит к завышению значения ослабления Q примерно на 0,5 дБ.

Второй фактор – «фокусировка» радиоволны вследствие рефракции, приводит к занижению величины поглощения, как поясняется на рисунок 3.5. Сферическая радиоволна, распространяющаяся из точки O_1 , при переходе из среды с показателем преломления n_1 в среду с показателем n_2 и снова в среду с показателем n_1 «прижимается» к оси $O_1 O_2$.

Пусть приемник располагается в точке O_2 . Если бы стены не было, то радиус конуса с углом раскрытия с вершиной в точке O_1 на расстоянии $(H_1 + t + H_2)$ составлял бы R_i . При наличии стены с $n_2 \neq n_1$ радиус конуса составит R_f . Таким образом, в первом приближении, энергия передатчика в этом конусе в первом случае распределяется на площади $S_i = \pi R_i^2$, а во втором случае – на площади $S_f = \pi R_f^2$.

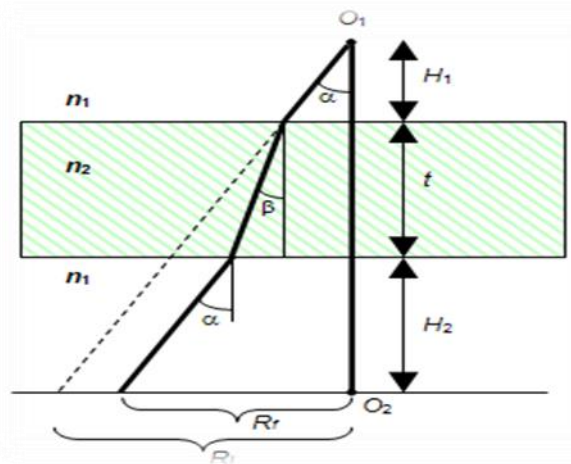


Рисунок 3.7 – Фокусировка радиоволны при прохождении через стену

Тогда относительное усиление сигнала в приемнике (при отсутствии поглощения в стене) составит

$$M = \left(\frac{R_i}{R_f} \right)^2 = \frac{(H_1 + t + H_2) \operatorname{tg} \alpha}{H_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha + t \cdot \operatorname{tg} \beta + H_2 \cdot \operatorname{tg} \alpha} = \frac{H_1 + H_2 + t}{H_1 + H_2 + t \cdot \operatorname{tg} \beta / \operatorname{tg} \alpha}, \quad (3.3)$$

где $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1}$. Вдоль оси $O_1 O_2$ ($\alpha \approx n_2$) усиление составляет

$$M \approx \frac{H_1 + H_2 + t}{H_1 + H_2 + t/n_2}. \quad (3.4)$$

Усиление вследствие рефракции максимально, если приёмник и передатчик прижаты к стене ($H_1 = H_2 = 0$), $M \approx n_2 = 2$ (3 дБ). С увеличением расстояния приёмника и передатчика до стены этот эффект быстро уменьшается.

С учетом рассмотренных факторов, результаты измерений поглощения Q в положениях 1–5 составили:

- 1) $Q \gg 0,7 \pm 1$ дБ; (положение 1 и 2);
- 2) Бетонная стена с толщиной 10 см $Q \gg 12,1 \pm 1$ дБ. (положение 1 и 3, $L = 6$ м);
- 3) $Q \gg 0,4 \pm 1$ дБ; (положение 3 и 4);
- 4) Бетонная стена с толщиной 10 см $Q \gg 22,7 \pm 1$ дБ. (положение 3 и 5, $L = 10$ м).

Таким образом, в ходе экспериментов было установлено, что если приёмник и передатчик установлены на расстоянии нескольких сантиметров от стены (по разные стороны) бетонная стена вносит меньше всего ослабления – около 0,7 дБ с учетом рефракции. На ослабление сигнала влияет увеличение расстояния приемника от передатчика.

3.2.4 Распространение радиосигнала с разными видами препятствий

Эксперимент проводился на лабораторном стенде кафедры ТКС в 121 кабинете. Предложена иммитационная уменьшенная модель проведения эксперимента с разными видами препятствия. Для проведения эксперимента положение передатчика и приемника были зафиксированы. Длина волновода 1,5 м. Измерения повторялись 30 раз через 1-2 минуты, учитывая 4 вида материалов на пути распространения радиосигнала (рисунок 3.6). Это были фольга (с толщиной 10 мкм), гипсокартон (с толщиной 10 мм), ДСП (с толщиной 8 мм) и керамика (с толщиной 5 мм).

Условия эксперимента:

- 1) передатчик и приемник установились в волноводе с длиной 1,5 м без препятствий;
- 2) на пути распространения радиосигнала в волноводе ближе к приемнику также ближе к передатчику установились 2 фольги (пищевая с толщиной 10 мкм);
- 3) на пути распространения радиосигнала в волноводе ближе к приемнику также ближе к передатчику установились 2 гипсокартона с толщиной 10 мм;
- 4) на пути распространения радиосигнала в волноводе ближе к приемнику также ближе к передатчику установились 2 ДСП с толщиной 8 мм;
- 5) на пути распространения радиосигнала в волноводе ближе к приемнику также ближе к передатчику установились 2 керамики с толщиной 5 мм.



Рисунок 3.8 – Имитационная уменьшенная модель распространения радиосигнала через разные виды препятствий

В результате обработки данных получены следующие результаты, которые представлены в таблице 3.9:

Таблица 3.9 – Распространение радиосигнала через разные виды препятствий

№ Эксперимента	1	2	3	4	5
M[X]	-46,79	-49,02	-49,72	-50,46	-52,89
D[X]	0,10201	0,00698	0,01922	0,00032	0,0803
$\sigma(x)$	0,319	0,0835	0,1386	0,0178	0,2833

При прохождении сквозь предметы радиоволны ослабляются или поглощаются материалом. При прохождении сквозь материалы радиоволны теряют часть своей энергии за счет поглощения. Сила ослабления зависит от

- толщины;
- структуры/свойств материала;
- плотности материала.

Из таблицы 3.7 видно, что наличие гипсакартона и ДСП примерно одинаково влияют на распространение радиосигнала в волноводе. А препятствие в виде керамики резко ухудшил сигнал на 6,1 дБм.

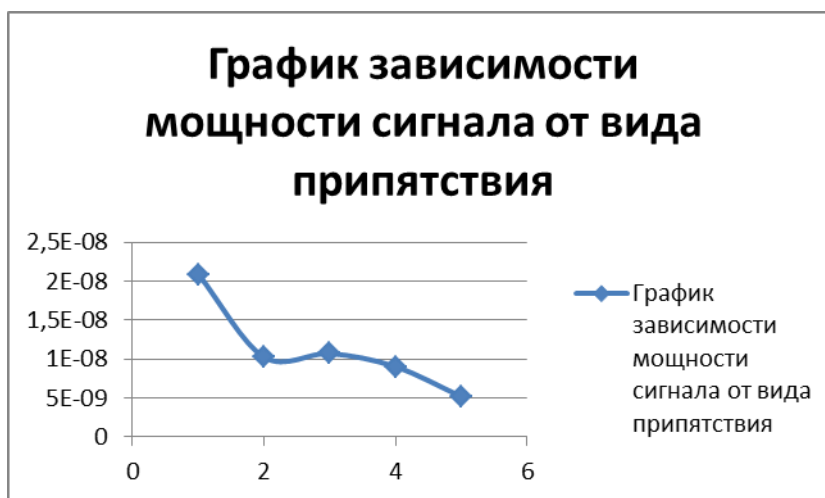


Рисунок 3.9 – График зависимости мощности сигнала от вида препятствия

Важным параметром для сигнала является мощность. Мощность, принимаемую на определённом расстоянии от передающей антенны, можно выразить через мощность, измеренную на каком-либо стандартном расстоянии, т.е. через опорную мощность. Учитывая опорную мощность сигнала без препятствий, находим относительную величину уменьшения мощности принимаемого сигнала.

Таблица 3.10 – Относительная величина уменьшения мощности

Вид препятствий	Фольга	Гипсокартон	ДСП	Керамика
Разность мощности [Вт]	0.000598	0.000509	0.000430	0.000245
Толщина [мм]	0,01	10	8	5
Относительная величина [Вт/м]	59,8	0,0509	0,043	0,0245



Рисунок 3.10 – График зависимости относительной величины мощности сигнала от расстояния

3.3 Выводы

По результатам проведенных экспериментов получена зависимость мощности принимаемого сигнала от расстояния между приемником и передатчиком внутри и вне помещения в условиях прямой видимости. На расстоянии 10м замечается уменьшение мощности сигнала на 0,00263 Вт (4,2 дБм), на 20 метрах 0.00209 Вт (3,2 дБм), на 30 метрах 0.00269 Вт (4,3 дБм), на 60 метрах около 0.002 Вт (3 дБм). В результате эксперимента выявлено, что при беспроводной передаче текстовых и числовых данных между платами MSP430RF4 TI радиосигнал распространяется в помещении лучше, чем вне помещения.

Выявлено, что затухание сигнала происходит с увеличением расстояния приемника от передатчика. В передаче информации между платами MSP430RF4 бетонные стены на затухание радиосигнала оказывают незначительное влияние, так как при положении 1 и 2 ослабление сигнала составляет 0.00117 Вт (0,7 дБм), а при положениях 3 и 4 ослабление сигнала составляет 0.00110 Вт (0,4 дБм). При максимальном расстоянии, рекомендуемом фирмой производителем – 100 метров, радиосигнал резко ослабел на $1.58 \cdot 10^{-13}$ Вт (-98 дБм), то есть на этом расстоянии передача текстового или числового пакета информации невозможна.

Также оценено влияние разных видов препятствий на распространение радиосигнала. Учитывая относительную величину мощности принимаемого сигнала, можно сказать, что наличие гипсокартона и ДСП примерно одинаково влияют на распространение радиосигнала в волноводе, влияние металлических препятствий имитировал тонкий лист фольги, затухание сигнала через это препятствие отражается ослаблением сигнала вплоть до его исчезновения, что характеризуется относительной мощностью сигнала дБ. Керамическое препятствие наименьшим образом оказывает влияние на мощность передаваемого сигнала, что отражено на графике величиной дБм. Исследование микроконтроллера MSP430RF4 показали, что они рекомендуются для передачи текстовой и цифровой информации на расстоянии не более 70 метров внутри помещений, что может быть характерно например, для систем автоматизации в системах «Умный дом», системах автоматизации жилищно-коммунального хозяйства или автоматизированных систем управления зданий.

Заключение

1 Предложена методика постановки эксперимента для исследования распространение радиосигнала на частоте 433 МГц между платами MSP430RF4.

2 Экспериментально определены зависимости мощности принимаемого сигнала от расстояния для радиосигнала платы MSP430RF4.

3 Выработаны рекомендации практического применения данных микропроцессоров для передачи и сбора данных в системах автоматизации. Используемые инструментальные средства в виде комплекса имитационной уменьшенной модели могут использоваться при проектировании и исследовании разнообразных систем беспроводной передачи данных, в том числе – для анализа распространения радиоволн внутри помещения с разными препятствиями.

Этот комплекс экспериментальных и программных средств может быть использован при изучении вузовских дисциплин, в которых рассматриваются оценки мощности принимаемого сигнала в зоне обслуживания, моделирование радиоканалов, оценки мощности радиосигнала внутри здания и на улице, и для расчета внутреннего покрытия системами связи и предсказания затухания радиосигналов внутри помещения при сложной конфигурации здания. Учитывая результаты практических исследований микропроцессоры фирмы Texas Instruments в дальнейшем может применяться в системах «Умный дом», системах автоматизации жилищно-коммунального хозяйства или автоматизированных систем управления зданий.

Список литературы

1 Букашкин С.А., Лисицын Г.Ф., Миронов В.Г. Применение цифровых процессоров обработки сигналов - магистральный путь развития современных

средств телекоммуникаций // Сборник докладов 3-й межд. конф. «Цифровая обработка сигналов и ее применение». т. 1. М.:2008. - С.3-4.

2 Choosing a DSP Processor, Berkeley, California: Berkeley Design Technology, Inc., USA, 2005.

3 Jeff Bier, Choosing a Processor: Benchmarks and Beyond (S043), Berkeley, California: Berkeley Design Technology, Inc., USA, 2006.

4 Analog Devices. Решение сложнейших технических задач // QRZ.RU : сервер радиолюбителей. 2004. URL: <http://www.analog.com> (дата обращения: 05.10.2013).

5 Гавриленко В.Г., Яшнов В.А. Распространение радиоволн в современных системах связи.- М.:Недра, 2009. - С.10.

6 Nobles P. A study into indoor propagation factors at 17GHz and 60 GHz – Final Report // <http://www.radio.gov.uk/topics/ptopagation/indprop> (дата обращения: 13.03.2014).

7 Ladrom O., Feurstein M.J., Rappaport T.S. A comparison of theoretical and empirical reflection coefficients for typical exterior wall surfaces in a mobile radio environment. IEEE Trans. Antennas Propagat., 2006, v. 44, pp. 341-35

8 Karasawa Y. Multipath propagation theory and modeling in wideband mobile radio: the “ETP model”, connecting “Propagation” and “System”. The Radio Science Bulletin No 302 (September, 2002), pp. 5-15.

9 Craig K.H. Impact of numerical methods on propagation modeling. Modern Radio Science 1996. Edited by J. Hamelin. Oxford University Press, 2006, pp. 179-203.

10 Seidel S.Y., Rappaport T.S. Site-specific propagation prediction for wireless in-building personal communication system design. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2004, v. 43, no. 4, pp.879-891.

11 Kalivas G.A., El-Tanany M., Mahmoud S. Millimeter-wave Channel Measurements with Space Diversity for Indoor Wireless Communications, IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2005, vol. 44, no. 3, pp. 494-505.

12 SmartRFStudio 7. Hands-on User Guide and Tutorial. Wireless Connectivity Tools from Texas Instruments v1.2. August 2011

13 SmartRF Studio 7 Tutorial. Texas Instruments. Literature Number : SWRU194b. 2011.

14 SmartRF Studio 7 Overview. Texas Instruments. Literature Number : SWRU195b. 2010.

15 SmartRFStudio 7. Hands-on User Guide and Tutorial. Wireless Connectivity Tools from Texas Instruments v1.2. August 2011

16 Официальный сайт фирмы Texas Instruments // URL: <http://www.ti.com> (дата обращения: 25.09.2013).

17 Однокристалльные радиочастотные приемо- передатчики ISM-диапазонов/ Дмитрий Павлов.-Санкт-Петербург: Современная электроника ,2005.-19-20с.

18 SmartRF Studio 7 Tutorial. Texas Instruments. Literature Number :SWRU194b. 2011.

19 SmartRF Studio 7 Overview. Texas Instruments. Literature Number :SWRU195b. 2010.

20 Распространение радиоволн на частоте 433 МГц // QRZ.RU : сервер радиолюбителей. URL: <http://www.compel.ru> (дата обращения: 20.07.2014).

21 Forming priority based and energy balanced ZigBee networks—a pricing approach, Jun Wang, Min Chen, Victor C. M. Leung, Telecommunication Systems September 2011;

22 Paolo Baronti, Stefano Chessa, Alberto Gotta, Y. Fun Hu, Prashant Pillai, Wireless sensor networks: A survey on the state of the art and the 802.15.4 and ZigBee standards, Computer Communications, Volume 30, Issue 7, 26 May 2007, Pages 1655–1695

23 Красовский Г.И., Филаретов Г.Ф. Планирование эксперимента. – Минск: БГУ, 1982. – 302 с.

24 Описание марок и классов бетона // URL: <http://beton224723.ru/info-marks> (дата обращения: 06.05.2015).

25 А. И. Рыжов, В. А. Лазарев, Т. И. Мохсени, Д. В. Никеров, Ю. В. Андреев, А. С. Дмитриев, Н. П. Чубинский. Ослабление сверхширокополосных хаотических сигналов диапазона 3-5 ГГц при прохождении через стены зданий.-М.: Форум, 2012. - С.116.

26 Сивухин Д. В. Общий курс физики.-т. IV. Оптика. 3-е изд., М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005.- С.792.

27 Многолучевое распространение радиоволн. // «Системы и сети связи» // URL: <http://systemseti.com/ССРО/403.html> (дата обращения: 10.03.2014).

28 Передача информации по беспроводным сетям в условиях пересеченной местности: Учебно-методический материал/ В.Г. Гавриленко, В.А. Яшнов. - Нижний Новгород: Нижегородский университет им. Н. И. Лобачевского, 2007. - С.15.

29 Елькин М.С. Оценка пригодности радиолинии вне помещений // Электронная газета. «Системы безопасности». //URL:<http://www.secuteck.ru/articles2/firesec/ocenka-prigodnosti-radiolinii-vne-pomeshenii> (дата обращения: 07.04.2015).

30 Интервальная оценка математического ожидания при известной дисперсии. // Методические указания на сайте Metdoc // URL: <http://edu.dvgups.ru/METDOC/ENF/VMATEM/WM/METHOD/UPVM/frame/13.htm>(дата обращения: 06.12.2014).

31 Копесбаева А.А., Иванов А.В. Исследование сигнального микропроцессора на основе экспериментальной платы MSP-EXPC430RFx.- Научно-технический журнал «Вестник АУЭС» № 2(25).-Алматы,2014.

32 А.А. Копесбаева, Н.Т. Рыскалиева. Исследование качества связи по технологии Wi-Fi на базе микропроцессоров TIMSP430RF4// Сборник научных трудов IX Международной научно- технической конференции «Энергетика, телекоммуникации и высшее образование в современных условиях», - Алматы: АУЭС, 2014.

33 А.А. Копесбаева, Н.Т. Рыскалиева. Исследование качества связи по технологии Wi-fi в помещениях//Сборник научных трудов «Энергетика, радиотехника, электроника и связь», - Алматы: АУЭС, 2014.

34 А.А. Копесбаева, Н.Т. Рыскалиева.Разработка автоматической системы контроля расхода холодной и горячей воды// Сборник научных

трудов VII Международной научно-практической конференции
«Информатика-2014»,- Севастополь,2014.

Приложение А
Статистическая обработка данных с помощью программы Excel

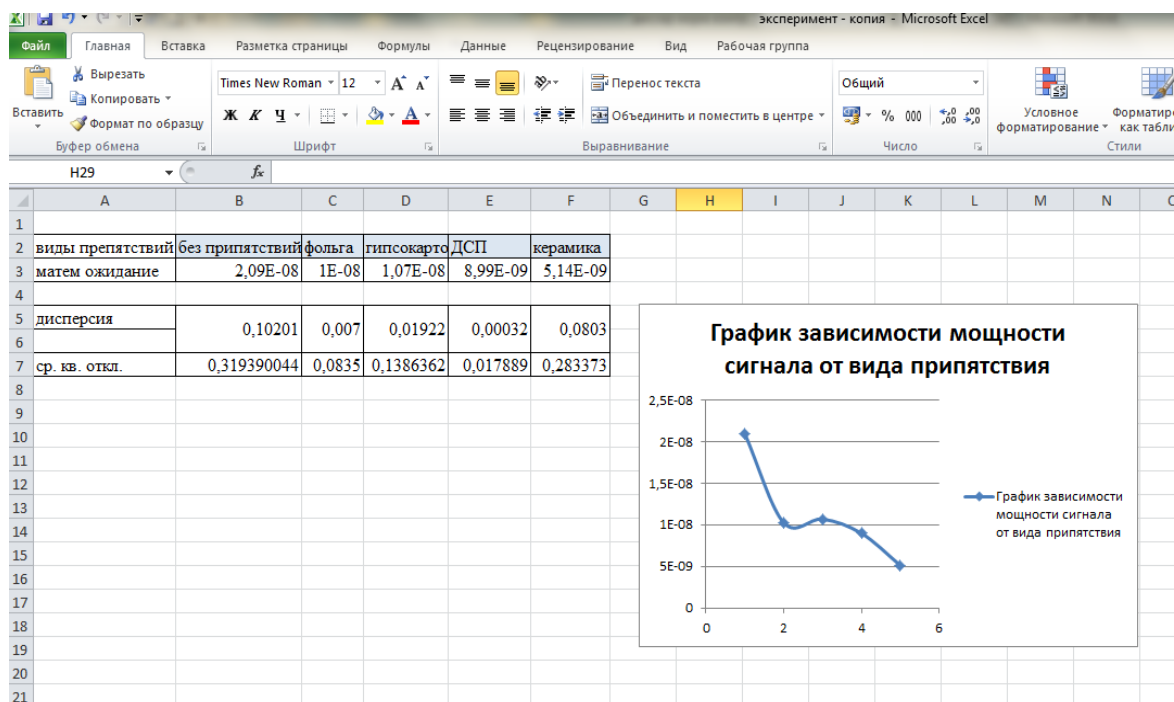


Рисунок А1 - Статистическая обработка данных при распространении радиосигнала с разными видами препятствий

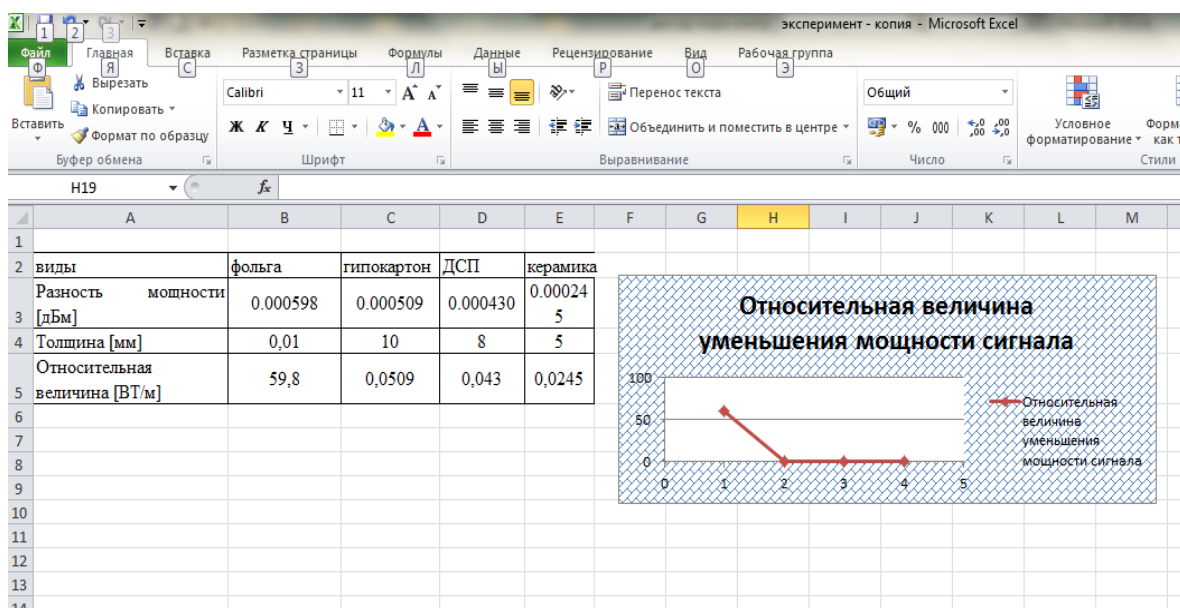


Рисунок А2 - Статистическая обработка данных при распространении радиосигнала

«Продолжение приложения А»

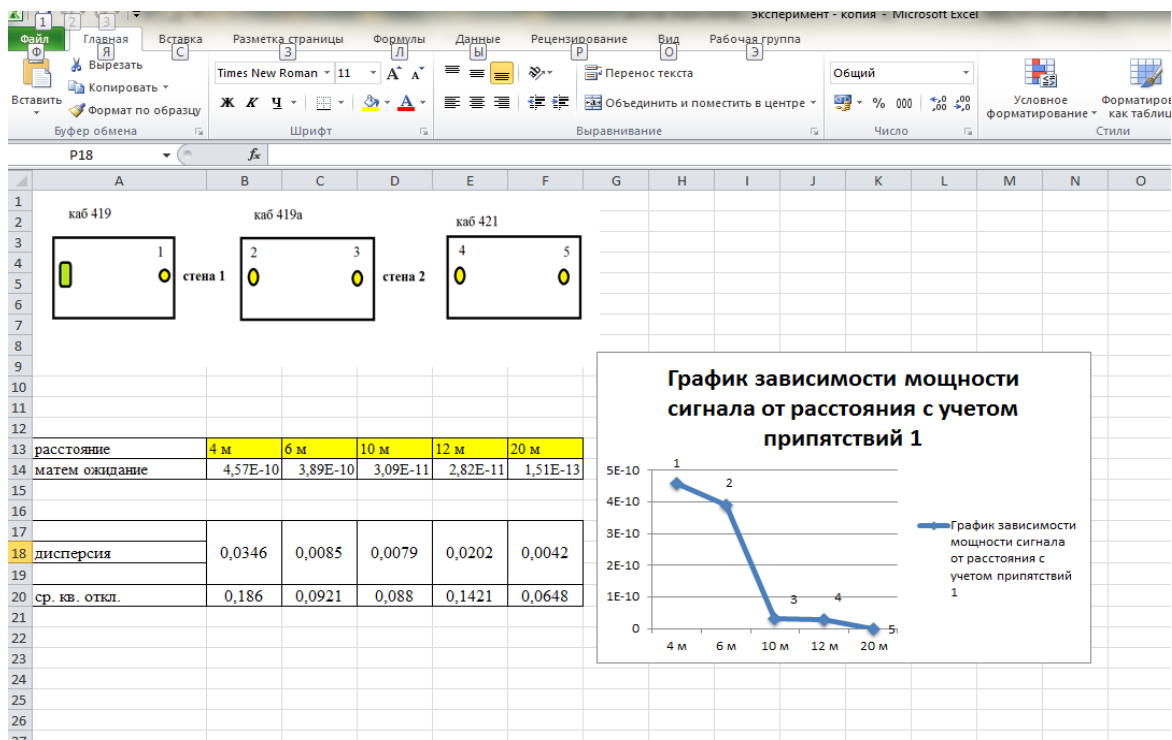


Рисунок А3 - Статистическая обработка данных при распространении радиосигнала с препятствиями

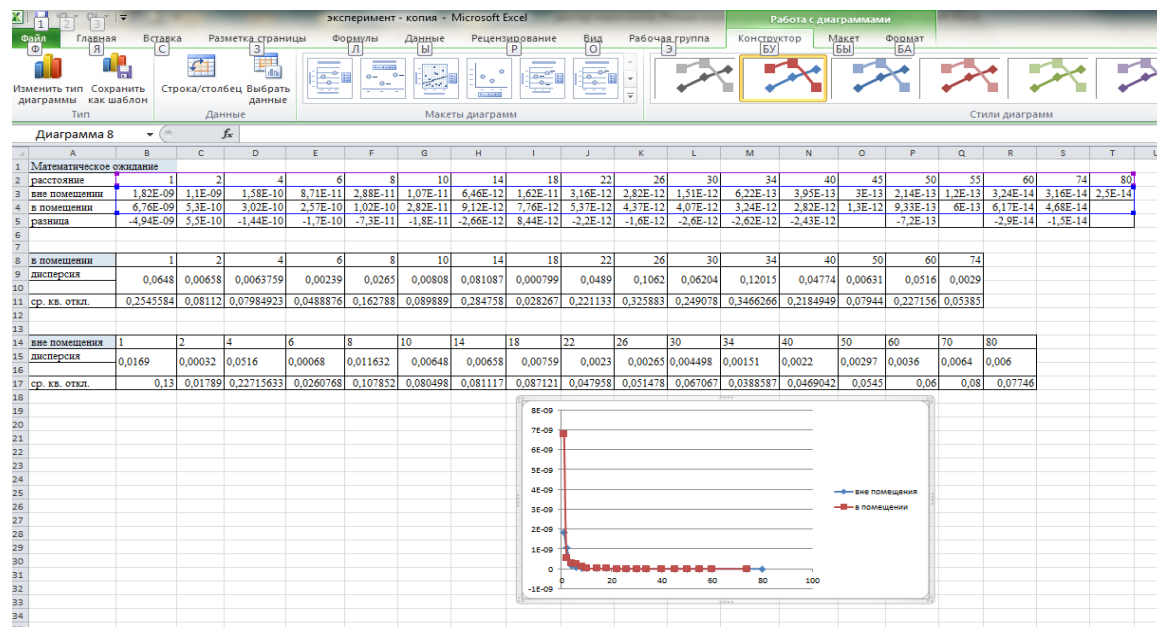
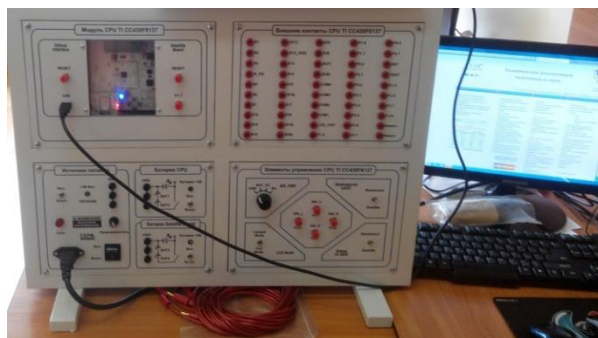


Рисунок А4 - Статистическая обработка данных при распространении радиосигнала в пределах прямой видимости

Приложение Б

Характеристики экспериментальной платы на основе микропроцессоров MSP-EXRCC430RF



Вид стенда на основе MSP-EXPCC430RF

Характеристики экспериментального комплекта MSP430RF4

Архитектура	MSP430 / 16-бит
Тактовая частота, МГц	20
Корпус	QFN 64
Количество линий ввода/вывода	44
Flash-память, Кб	32
Универсальный / Специализированный	для беспроводных коммуникаций
ОЗУ, Кб	4
Диапазон напряжений питания, В	1,8 - 3,6
Рабочий температурный диапазон, °С	-40 .. +85
Аппаратный умножитель	+
Часы реального времени	+
Встроенный температурный датчик	+
UART/USART	1
Ограничения интерфейсов	I2C, UART, LIN, IrDA и SPI реализуются через 2xUSCI
Поддержка ЖКИ	+
Характеристики блока ЖКИ	максимальное количество сегментов 96
Интерфейс отладки	JTAG
Количество векторов прерываний и сброса	19

Количество внешних прерываний	16
-------------------------------	----