

ISSN 2782-3962

ISSN(online) 2782-3970

ВЕКТОР РАЗВИТИЯ 

ВЫПУСК № 13



Сборник докладов инженерных чтений

2024

Акционерное общество «Сарапульский радиозавод»

«ВЕКТОР РАЗВИТИЯ»

Сборник докладов инженерных чтений

Выпуск 13

Сарапул 2024

УДК 621.396.99
ББК 32.84
В26

Главный редактор

Зорькин Г. И., гл. специалист по объектам связи АО «Сарапульский радиозавод»

Редакционная коллегия

Бояришинов М. А., канд. техн. наук, доц., зам. директора КБ «Радиосвязь»

Копысов А. Н., канд. техн. наук, доц., гл. специалист КБ «Радиосвязь»

Марков М. М., канд. техн. наук, доц., гл. конструктор КБ «Радиосвязь»

Рогознев С. В., канд. техн. наук, доц., вед. инженер-конструктор КБ «Радиосвязь»

Шишаков К. В., канд. техн. наук, доц., вед. инженер-конструктор КБ «Радиосвязь»

Коробейников А. В., канд. техн. наук, доц., вед. инженер-программист КБ «Радиосвязь»

Редакционный совет

Сергеев В. Г., технический директор АО «Сарапульский радиозавод»

Котельников С. Л., и. о. начальника конструкторско-технологического центра – гл. конструктор АО «Сарапульский радиозавод»

Хворенков В. В., д-р техн. наук, директор КБ «Радиосвязь»

Вектор развития : сборник докладов инженерных чтений. – [гл. редактор В26 Г. И. Зорькин]. – Выпуск 13. – Ижевск : Изд-во УИР ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2024. – 76 с. – Текст : непосредственный.

Сборник предназначен научным сотрудникам, инженерам, преподавателям вузов, аспирантам для публикации своих научных результатов диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, ученой степени доктора наук, а также техническим специалистам, занимающимся проблемами создания технологий радиоприборостроения и телекоммуникационных сетей по специальностям: «Информатика и вычислительная техника», «Электроника, радиотехника и системы связи», «Химические технологии», «Конструирование и производство радиоэлектронной аппаратуры», «Машиностроение».

УДК 621.396.99
ББК 32.84

© АО «Сарапульский радиозавод», 2024
© Оформление. Издательство УИР ИжГТУ
имени М. Т. Калашникова, 2024

Содержание

<i>Арсланов И. А., Плешаков Д. И., Черенков Ю. Н.</i> ВОЗМОЖНОСТЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИГНАЛОВ С ЛИНЕЙНО-ЧАСТОТНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ	4
<i>Батурин И. С.</i> ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ В ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	9
<i>Горячев Д. А.</i> ПРИСПОСОБЛЕНИЕ ДЛЯ КОНТРОЛЯ МОМЕНТОВ ПРУЖИНЫ.....	15
<i>Загидуллин Ю. Т., Коробейников Е. В.</i> ОЦЕНКА ДАЛЬНОСТИ ПРОЛЕТА НИЗКООРБИТАЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ПО ВЕЛИЧИНЕ ДОПЛЕРОВСКОГО СМЕЩЕНИЯ ЧАСТОТЫ ИЗЛУЧАЕМЫХ СИГНАЛОВ.....	19
<i>Зыкин А. А., Семенов Е. А., Карелин А. А., Хатбуллин Р. А., Вдовин А. Ю.</i> АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ДИАГНОСТИРОВАНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ СРЕДСТВ РАДИОСВЯЗИ.....	28
<i>Каргашин А. С.</i> МЕТОДИКА СНЯТИЯ ТРАФИКА С ПРИЕМОПЕРЕДАЮЩИХ УСТРОЙСТВ.....	35
<i>Копысов А. Н., Колотов А. С.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ НА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЕ	41
<i>Мосунов Д. Г.</i> ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЕ В РАДИОСВЯЗИ	45
<i>Сенаторов Л. А.</i> ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СРЕДСТВ РАДИОСВЯЗИ В УСЛОВИЯХ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО КОНФЛИКТА.....	49
<i>Фролов М. А., Чирков В. О., Булатова Е. Г., Сидорина В. А.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ЯЧЕЙКИ УПРАВЛЕНИЯ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ ДЛЯ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ	54
<i>Четвериков А. А., Малышонков И. О.</i> АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ И ИЗГОТОВЛЕНИЯ АНТЕННЫ СВЧ-ДИАПАЗОНА	61
<i>Шаимов А. Ю., Копысов А. Н.</i> ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЛОКОВ СОПРЯЖЕНИЯ С ОБОРУДОВАНИЕМ В МНОГОРЕЖИМНЫХ СИСТЕМАХ СВЯЗИ НА БАЗЕ УНИФИЦИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА УПРАВЛЕНИЯ И СВЯЗИ Р-188 «УКУС»	67

И. А. Арсланов, студент; *Д. И. Плешаков*, студент
arslanovildar0@gmail.com

Ю. Н. Черенков, ведущий инженер-конструктор, руководитель группы
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Удмуртская Республика, Россия

ВОЗМОЖНОСТЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИГНАЛОВ С ЛИНЕЙНО-ЧАСТОТНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

Аннотация. В статье исследованы возможности использования сигналов с ЛЧМ в системах радиолокации и радиосвязи. Представлены его характеристики и особенности, благодаря которым он имеет широкое использование. Представлены математические модели, описывающие его информационный функционал в радиолокации, на основе функции неопределенности. Представлены различные виды использования сигналов с ЛЧМ для повышения скрытности и помехоустойчивости.

Ключевые слова: сигналы с линейно-частотной модуляцией (ЛЧМ), функция неопределенности, сигналы с большой базой, сигналы с прямым расширением спектра.

I.A. Arslanov, Student; *D.I. Pleshakov*, Student
arslanovildar0@gmail.com

Yu.N. Cherenkov, Principal Design Engineer, Team Manager
Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Udmurt Republic, Russia

OPPORTUNITY AND PROSPECTS OF USE OF SIGNALS WITH LINEAR FM

Abstract. The present paper examines the possibilities of use of signals with linear FM in radar and radio communication systems. Features and specifications of this type of signals providing their wide use are underlined. The mathematical models describing their information functionality in radars on the basis of uncertainty function are presented. Different types of use of signals with linear FM for increasing security and noise stability are also given.

Keywords: signals with the linear frequency modulation (LFM), uncertainty function, signals with big base, signals with direct spectrum spreading.

Введение

В настоящее время сигналы с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ) начинают набирать популярность в различных радиотехнических приборах. Частотно-модулированные сигналы нашли применение в различных областях радиотехники, так как они обеспечивают высокую помехоустойчивость, точность измерения параметров облучаемых объектов, возможность работы ниже уровня шумов и др.

Потребность в постоянном росте объема передаваемой информации с высоким уровнем достоверности приводит к необходимости увеличения количества используемых систем связи и управления. Однако такой подход является экстенсивным и порождает проблемы в обеспечении электромагнитной совместимости, помехозащищенности и помехоустойчивости систем связи. Решению перечисленных проблем способствует использование в качестве носителей информации широкополосных сигналов (ШС), а также применение оптимальных пространственно-временных алгоритмов принимаемых сигналов.

Цель статьи – рассмотрение особенностей одного из таких сигналов – сигналов с ЛЧМ. Его применения в радиолокации, в связи и анализ разрешающей способности.

Применение сигналов с ЛЧМ

Сигнал с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ) представляет ЧМ сигнал, огибающая которого изменяется линейно. К таким сигналам можно отнести пилообразные и треугольные импульсные сигналы, поэтому сигналы с ЛЧМ можно отнести к импульсным.

На практике выделяются сигналы с нелинейной ЧМ, обладающие теми же свойствами, что и ЛЧМ, – сигналы с колоколообразной и синусоидальной огибающими.

ЛЧМ-сигнал имеет широкое применение в радиолокации. При рассмотрении его свойств для этих целей его рассматривают как сигнал с увеличением базой. Базой сигнала называется произведение длительности импульса на ширину его спектра. Такие сигналы имеют большую разрешающую способность, то есть способны различать 2 объекта, находящиеся на меньшем расстоянии или движущиеся с меньшей скоростью друг от друга. Численно эта характеристика обусловлена минимальным расстоянием или скоростью.

Основная проблема более простых сигналов в том, что для обеспечения высокой разрешающей способности по расстоянию необходим сигнал, имеющий минимальную длительность периода. Но в таком случае спектр такого сигнала будет расти, пропорционально уменьшению времени. Из-за этого упадет разрешающая способность по скорости объектов. Аналогично процесс справедлив и в обратную сторону. Простыми сигналами будут такие, чья база равна единице.

Основное же свойство сигналов с расширяющейся базой в том, что можно расширять их спектр или увеличивать длительность импульса, не влияя на вторую характеристику. Среди таких сигналов сигналы с ЛЧМ являются классическими. Теоретически база такого импульса может расти почти бесконечно, но с технической точки зрения пределы ограничены возможностями аппаратуры. При увеличении длительности импульса падает скорость обнаружения, а для обеспечения больших частот нужна либо очень большая частота дискретизации при цифровых методах, либо очень тонкая и дорогостоящая настройка, при аналоговых методах.

При анализе разрешающей способности часто пользуются функцией неопределенности (ФН). Под ней понимается двумерная функция, представляющая собой зависимость величины отклика согласованного фильтра на сигнал, сдвинутый по времени и по частоте относительно сигнала, согласованного с этим фильтром.

Традиционно в системах цифровой обработки сигналов используется дискретизованное представление ФН следующего вида [5]:

$$Q(n, m) = \sum_{k=0}^{N_0-1} s_0(k) \cdot s_0(k-n) \cdot \exp\left[-i \frac{2\pi km}{N_0}\right], \quad (1)$$

где

$Q(n, m)$ – функция неопределённости;

N_0 – количество отчётов;

n – индекс смещения сигнала по времени;

m – индекс смещения сигнала по частоте;

$s_0(k)$ – отчёты сигнала;

$\exp\left[-i \frac{2\pi km}{N_0}\right]$ – множитель для сдвига частоты.

На рисунке 1 будут представлены ФН для сигналов с ЛЧМ, построенные средствами программы MatLab R2015.

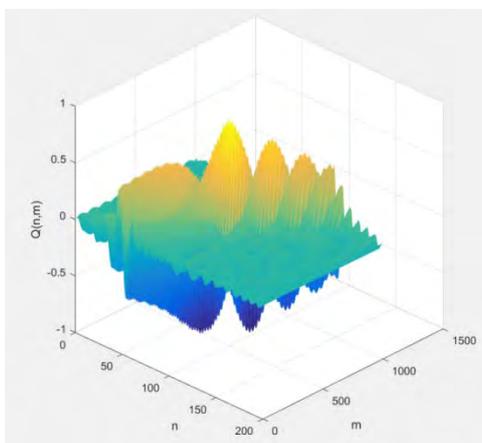


Рисунок 1. Функция неопределенности сигнала с ЛЧМ

Параметры моделирования:

частота дискретизации $dF = 10$ кГц

начальная частота сигнала $f_0 = 4000$ Гц

конечная частота сигнала $f_1 = 4100$ Гц

длительность импульса $\tau = 0,01$ с.

Анализируя функцию неопределенности, можно найти предельную разрешающую способность сигнала. Для примера далее сравним разрешающую способность для 3 сигналов с разными базами. Графики представлены на рисунках 2 и 3.

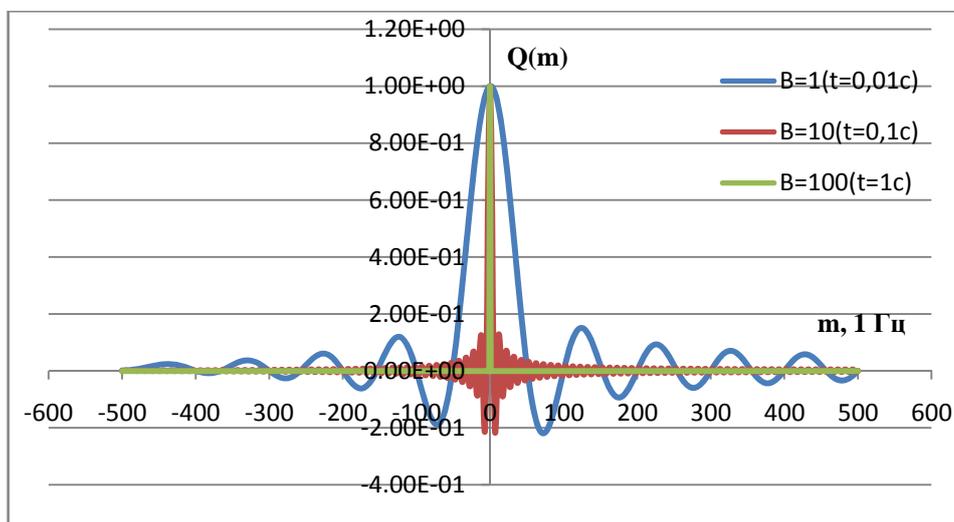


Рисунок 2. Сравнение разрешающей способности трех сигналов с разной базой

Ширина основного лепестка сигнала с базой 1 согласно рисунку 2 составляет 100 отчетов, что будет составлять 100 Гц.

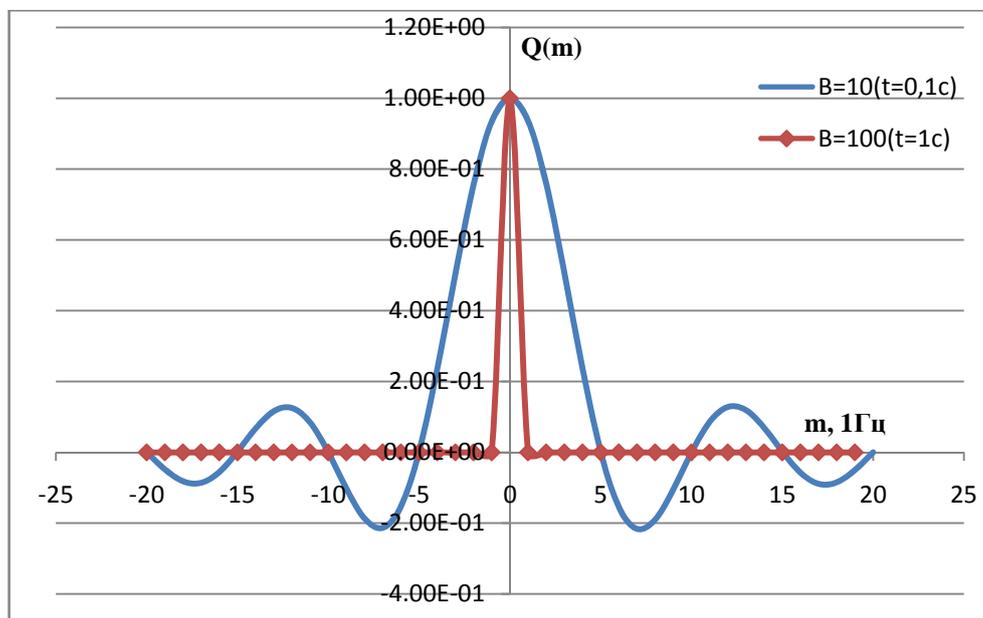


Рисунок 3. Сравнение разрешающей способности двух сигналов с разной базой

Ширина основного лепестка сигнала с базой 10 согласно рисунку 3 составляет 100 отчетов, что будет составлять 10 Гц.

Ширина основного лепестка сигнала с базой 100 согласно рисунку 3 составляет 2 отчета, что будет составлять 2 Гц.

Для оценки разрешающей способности необходимо найти ширину главного лепестка функции. Для этого достаточно определить номер отчета, в котором впервые достигается нулевое значение.

ние функции (если двигаться от нулевого отчета). Также стоит отметить, что при изменении значения базы изменялись только длительности импульсов, т. к. рассматривается только частотное разрешение, а изменение спектра сигнала на него не повлияет.

Для нахождения максимальной разрешающей способности воспользуемся формулой

$$\delta V = \frac{\lambda \delta F}{2} = \frac{c \delta F}{2 f_0}, \quad (2)$$

где λ – Длина волны сигнала; c – скорость света в вакууме $\approx 3 \cdot 10^8$; δF – ширина основного лепестка.

Тогда

$$\delta V(\tau = 0,01 \text{ с}) = \frac{c \delta F}{2 f_0} = \frac{3 \cdot 10^8 \frac{\text{М}}{\text{с}} \cdot 100 \text{ Гц}}{2 \cdot 4000 \text{ Гц}} = 3\,750\,000 \frac{\text{М}}{\text{с}} = 3750 \frac{\text{км}}{\text{с}};$$

$$\delta V(\tau = 0,1 \text{ с}) = \frac{c \delta F}{2 f_0} = \frac{3 \cdot 10^8 \frac{\text{М}}{\text{с}} \cdot 10 \text{ Гц}}{2 \cdot 4000 \text{ Гц}} = 375\,000 \frac{\text{М}}{\text{с}} = 375 \frac{\text{км}}{\text{с}};$$

$$\delta V(\tau = 1 \text{ с}) = \frac{c \delta F}{2 f_0} = \frac{3 \cdot 10^8 \frac{\text{М}}{\text{с}} \cdot 2 \text{ Гц}}{2 \cdot 4000 \text{ Гц}} = 75\,000 \frac{\text{М}}{\text{с}} = 75 \frac{\text{км}}{\text{с}}.$$

Несмотря на то, что минимальная разрешающая способность во всех случаях оказалась запредельно большой, прогрессия по ее уменьшению очень стремительна, что доказывает, эффективность увеличения базы для улучшения разрешающей способности. Для еще большей разрешающей способности следует увеличить начальную частоту сигнала вплоть до нескольких мегагерц. Тогда можно получить разрешение около долей метра. Подобное свойство делает ЛЧМ-сигнал очень полезным в случаях, когда необходимо построить высокоточную сканирующую аппаратуру.

Такие сигналы нашли применение в системах локации различных назначений. С их помощью можно получать информацию о средних и малых расстояниях между излучателем и поверхностью, скорости снижения и характере подстилающей поверхности, геоиде земной поверхности и ее подводной структуре. Они позволяют измерять высоту волн и их распределение по водной поверхности для определения условий морской навигации, характера и направления морских течений, приливов и цунами. Позволяют реализовать радиолокационное наблюдение планет для прогнозирования их положения в момент приближения к ним межпланетных станций. Могут применяться и для обнаружения скрытых под землей неметаллических предметов, использоваться для определения взаимного положения и скорости сближения различных объектов в условиях плохой видимости; служат для автоматизированной посадки самолетов в густом тумане и для предотвращения столкновений автомобилей. Помимо этого, сигнал с ЛЧМ можно применять в системах радиосвязи, при этом используя все его преимущества, которые были изучены в радиолокации.

В настоящее время в интересах повышения помехоустойчивости каналов радиосвязи находят широкое применение методы расширения спектра. К одному из таких методов следует отнести передачу информации на основе применения внутриимпульсной линейной частотной модуляции (ЛЧМ).

В УКВ-диапазоне известно применение ЛЧМ в качестве несущей [3]. Применение передачи информации сигналами с внутриимпульсной ЧМ в узкополосных каналах радиосвязи с целью повышения помехоустойчивости возможно только с небольшими базами, так как существуют одновременно ограничения по ширине полосы рабочих частот каналов связи [3] интервалом 12 кГц и необходимость поддержания относительно высоких скоростей передачи информации 600...1200 бит/сек, что не позволяет обеспечить базу сигнала более 10. Известно, что эффект повышения помехоустойчивости за счет применения методов расширения спектра пропорционален базе сигнала, однако при оптимальной обработке возникает необходимость снижения уровня боковых лепестков (УБЛ) сжатых ЛЧМ-сигналов, которые снижают реальную помехоустойчивость каналов, при этом влияние боковых лепестков на помехоустойчивость при малых базах выражено еще сильнее, чем при больших. Вопросам снижения уровня боковых лепестков сжатого импульса посвящено много работ [1, 2, 4] в области радиолокации. Однако рассмотренные технические решения относятся к широко-

полосным сигналам с большими базами, требуют существенных аппаратных затрат и ведут к увеличению длительности сжатого импульса, следовательно, к снижению эффекта повышения.

Кроме ЛЧМ-радиоимпульсов с треугольными или пилообразными законами изменения частоты используемых в радиолокации, могут применяться более сложные сигналы, например:

- ЛЧМ-импульсы с дополнительной модуляцией амплитуды и фазы;
- составные сигналы, состоящие из ЛЧМ сигналов, у которых начальная фаза и частота, а также скорость модуляции и длительность каждого участка в общем случае неодинаковы;
- последовательности ЛЧМ-импульсов с постоянными или меняющимися во времени параметрами модуляции;
- непрерывные ЧМ сигналы с дополнительной частотной или фазовой манипуляцией.

Для более эффективной скрытности и помехозащищенностью, а также инвариантности к нестабильности частоты гетеродинов и синтезаторов частот, могут использоваться сигналы с комбинированной модуляцией типа ЛЧМ-БМ-ППРЧ-ЧМн, где ЛЧМ – линейно-частотная модуляция; БМ – балансная модуляция; ППРЧ – псевдослучайная перестройка рабочей частоты; ЧМн – частотная манипуляция.

Большое внимание уделяется устройствам, в которых, с помощью ЛЧМ сигналов осуществляются различные частотно-временные преобразования входного сигнала. Использование этих устройств, например, для растяжения временного масштаба в ряде случаев позволяет снизить стоимость приемной аппаратуры и применить менее быстродействующие аналого-цифровые преобразователи (АЦП).

Сигналы с ЛЧМ получили широкое применение в УКВ-диапазоне в качестве несущей, а также при создании сложных или сигналов с комбинированной модуляцией, показывая высокие характеристики скрытности и помехоустойчивости.

Заключение

В настоящее время в мире происходит новая революция, связанная с бурным развитием информатизации всех сфер жизни современного общества. Это означает, что главным стратегическим национальным ресурсом в настоящее время становится информация и информационные технологии, а также радиочастотный спектр как обобщенное ограниченное пространство передачи и распределения информации. Экономный расход этого ресурса и контроль над этим расходом представляет важную государственную задачу.

Сигналы с широким спектром могут при этом всем обеспечить стабильную работу канала, на частотах, уже занимаемых другими узкополосными абонентами. Такое свойство позволит более экономно распоряжаться частотным ресурсом. Позволяя несколько раз использовать одни и те же частоты без нарушения работы. Более того широкополосные сигналы с разными законами формирования будут слабо влиять на работу друг друга.

ЛЧМ-сигналы являются хорошим примером такого сигнала, поэтому его использование будет вполне оправдано в качестве широкополосного сигнала. Помимо этого они хорошо зарекомендовали себя в радиолокации как сигнал с большой базой, в системах которых позволяют увеличить разрешающую способность всей системы. В связи с этим способы формирования и приема хорошо освоены и имеют массовое использование.

Список литературы и источников

1. *Беседа, А. Л., Зубков, М. В.* Сигналы с нелинейной частотной модуляцией, имеющие низкий уровень боковых лепестков автокорреляционной функции // Вопросы радиоэлектроники. – 2008. – № 2. – С. 101–112. – Текст : непосредственный.
2. *Вакман, Д. Е.* Сложные сигналы и принцип неопределенности в радиолокации. – М. : Советское радио, 1965. – 303 с. – Текст : непосредственный.
3. ГОСТ 52016–2003. Приемники магистральной радиосвязи гектометрового-декаметрового диапазона волн. – Текст : непосредственный.
4. Использование ЛЧМ-сигналов в приемопередающих устройствах с фильтровой обработкой : XIV Международная научно-техническая конференция «Радиолокация, навигация, связь» / Н. И. Козачок, Н. М. Радько, В. Г. Степанов, О. А. Иркутский, А. И. Колтаков. – Воронеж, 2008. – Т. 2. – С. 1060–1065. – Текст : непосредственный.
5. Алгоритм вычисления функции неопределенности в задаче одновременной оценки частотно-временных характеристик сигналов / А. А. Логинов, Д. С. Марьчев, О. А. Морозов, В. Р. Фидельман // Известия вузов. Поволжский регион. Технические науки. – 2013. – № 3 (27). – Текст : электронный. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/algoritm-vychisleniya-funktsii-neopredelennosti-v-zadache-odnovremennoy-otsenki-chastotno-vremennykh-harakteristik-signalov> (дата обращения: 05.04.2024).

*И. С. Батури*н, заместитель главного конструктора по НИОКР
АО «Сарапульский радиозавод», Сарапул, Удмуртская Республика, Россия

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ В ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Аннотация. Работа посвящена вопросам моделирования производственных процессов предприятия. Вопросам, связанным с управлением производственными мощностями, принятием решений по выбору промышленного оборудования, программного обеспечения. Вопросу принятия управленческих решений посвящено достаточно большое количество работ в отечественных и иностранных источниках. В публикации приводится математическая модель для принятия оптимальных решений по построению производственных процессов, процессов подготовки к серийному производству новых изделий предприятия радиоэлектронной промышленности. Для математического моделирования выбран метод анализа иерархий, основанный на многокритериальном ранжировании альтернатив по интегральному показателю, отражающему эффективность принятого решения для производственного процесса на всех стадиях жизненного цикла изделия: разработка, серийное производство, сервисное обслуживание, утилизация. В статье предложен подход к определению приоритетов по управлению производственными процессами. Эффективность производства конкретного изделия определяется множеством факторов: количество номенклатурных позиций материалов и ПКИ, длительность технологического цикла производства, объем трудоемкости изготовления изделия, количество затрачиваемых энергетических ресурсов, количество номенклатурных позиций технологического оборудования. При этом указанные факторы на каждой стадии жизненного цикла в разной степени влияют на эффективность производства в целом. В публикации показано, какие критерии и в какой степени могут влиять на показатель производственной эффективности. Под производственной эффективностью понимается получение максимальной рентабельности при выпуске изделий. Иерархия содержит три уровня: цель – производственная эффективность, факторы, оказывающие влияние на производственную эффективность, и критерии, влияющие на производственные процессы. Положим, что необходимо определить производственные цепочки, которые в наибольшей степени влияют на производственную эффективность на разных стадиях жизненного цикла изделия, которые определяют рентабельность изделия, т. е. получение максимальной прибыли с использованием минимальных затрат на разработку изделия, производство, минимальных затрат на сервисное обслуживание и утилизацию изделий радиоэлектронной промышленности.

Ключевые слова: моделирование, планирование, ранжирование иерархия, математическая модель.

I.S. Baturin, Deputy Chief Designer on Research and Technological Development
JSC “Sarapulsky Radiozavod”, Sarapul, Udmurt Republic, Russia

APPLICATION OF THE METHOD OF THE ANALYSIS OF HIERARCHIES IN ACTIVITY OF THE INDUSTRIAL ENTERPRISE FOR MODELLING OF PRODUCTION AND ECONOMIC PROCESSES

Abstract. This paper aims to investigate the questions of modeling of production processes of an enterprise. There are a large number of works in domestic and foreign sources devoted to the questions connected with management of production capacities, decision-making at the choice of the industrial equipment, the software and adoption of management decisions. This article suggests mathematical model for acceptance of optimal solutions on creation of productions, processes of preparation for mass production of new products of the enterprise of the radio-electronic industry. For mathematical modeling the method of the analysis of hierarchies based on multicriteria ranging of alternatives on the integrated indicator reflecting efficiency of the made decision for production in all stages of life cycle of a product is chosen: development, mass production, service and utilization. The approach to definition of priorities on management of productions is also offered.

The production efficiency of a concrete product is defined by a set of factors: quantity of nomenclature positions of materials and purchased components, duration of a production cycle of manufacturing, volume of labor input of production, quantity of the energy resources spent, quantity of nomenclature positions of processing equipment. At that the specified factors at each stage of life cycle affect production efficiency in general in their own way. The paper shows factors that can influence an indicator of production efficiency and degree of their impact. The production efficiency is understood as obtaining the maximum profitability at release of products. The hierarchy contains three levels: purpose - the production efficiency, factors having an impact on production efficiency and the criteria influencing productions. It is necessary to define production chains most of which affect production efficiency at different stages of life cycle of a product which define profitability of a product, i.e. receiving the maximum profit with use of the minimum expenses of a product development, production, the minimum costs of service and utilization of products of the radio-electronic industry.

Keywords: modeling, planning, ranging, hierarchy, mathematical model.

Введение

Вопросам, связанным с разработкой сложных радиосистем на стадии оценки реализуемости технического задания, а также на стадии непосредственной разработки, принятия решений по построению изделий и принятию технических решений, посвящен ряд работ. Так, в работах [1, 2] приводится расчет затрат на повышение эффективности передачи информации и вводится термин интегральный показатель «эффективность передачи информации», рассматриваются вопросы проектирования радиосистем, работающих в условиях ограниченности ресурсов. Применение приведенной в работе модели позволяет проработать реализуемость технического задания, оценить его сложность, принять предпроектные решения по построению будущих изделий.

В статье [3] описан выбор программного обеспечения для проектирования и производства электронных схем. В статье приводятся критерии, определяющие выбор программного обеспечения. Рассматриваются особенности выбора инструментов проектирования и аспекты выбора программного обеспечения для обеспечения производства радиоэлектронных изделий.

В работе [4] рассматриваются особенности планирования производственных процессов промышленных предприятий. Целью планирования деятельности и работы предприятия в целом является выполнение обязательств по производству продукции и оказанию услуг в сроки, оговоренные контрактами и договорами. Достижение цели возможно при должной автоматизации и оптимизации процессов закупки комплектующих изделий и материалов, организации производственных процессов внутри предприятия, а также налаженном сбыте готовой товарной продукции. Организация эффективных производственных цепочек позволяет минимизировать производственные затраты, а также сократить сроки выпуска продукции, что, в свою очередь, приводит к сокращению сроков оборачиваемости инвестируемых в производство средств. Для организации производственных процессов требуется рассматривать деятельность предприятия в виде неких факторов и критериев, учитывающих мотивацию труда персонала, технологическую оснащенность, номенклатуру производимых изделий, сроки в которые предприятие способно выполнить договорные обязательства и другие факторы, влияющие на эффективность производственной деятельности.

Для решения задачи максимизации производственной эффективности на всех стадиях жизненного цикла изделия необходимо разработать основу для построения математической модели факторов, влияющих на производственную эффективность.

Для достижения цели выбран метод многокритериального ранжирования альтернатив по интегральному показателю эффективности с последующим решением задачи определения необходимых приоритетов управления производственными процессами.

Применению метода выбора альтернатив путем ранжирования при изготовлении сложных изделий посвящены труды [5, 6], вопросу разбиения задачи принятия решений на иерархические уровни – работы [7, 8], применения нечеткой логики – [9].

Определение приоритетов управленческих решений

Определим приоритеты управленческих решений, направленных на повышение производственной эффективности. Для этого построим иерархическую модель выбора воздействия и приложения усилий (рис. 1). Иерархия содержит четыре уровня $I_j, j = \overline{0,3}$. Цель производства, факторы, влияющие на производственную эффективность, альтернативы, влияющие на факторы и стадии жизненного цикла изделия.

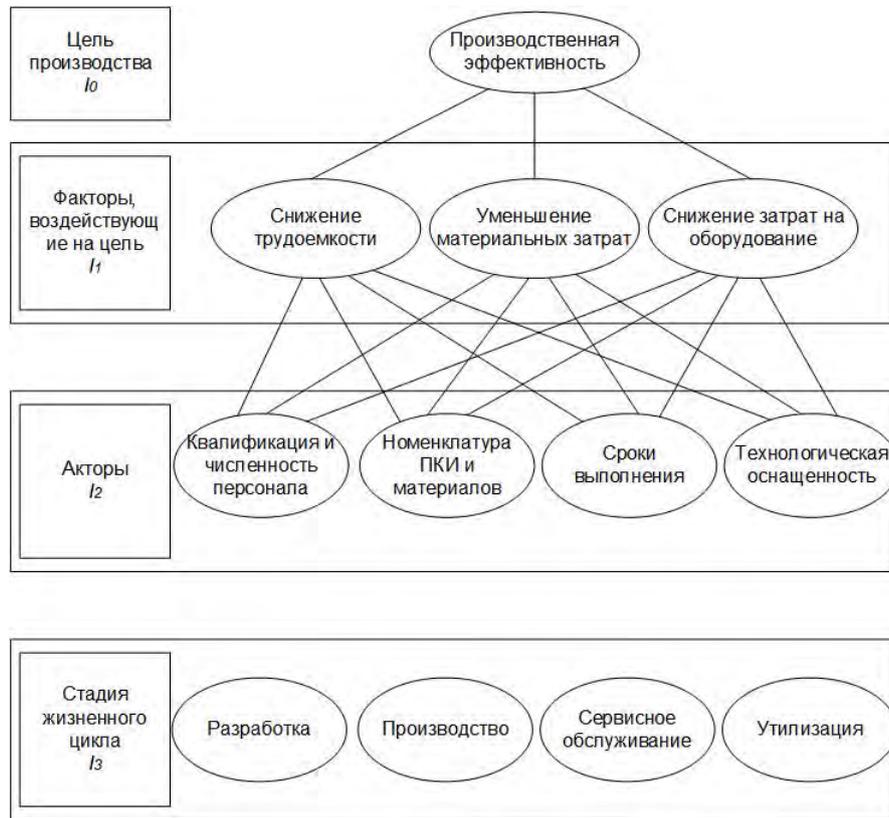


Рисунок 1. Иерархия факторов, влияющих на производственную эффективность на различных стадиях производственного цикла

Рассмотрим результаты моделирования влияния факторов на производственную эффективность на стадии разработки изделия.

Для сравнения альтернатив и заполнения матриц парных сравнений привлекалась группа из 7 экспертов, состоящих из руководителей производственных служб предприятия, с опытом работы в отрасли радиоэлектронной промышленности не менее 10 лет. Опрос экспертов проводился в форме интервью с открытыми вопросами, которые далее интерпретировались в сравнения альтернатив по методу анализа иерархий.

Факторы, оказывающие влияние на производственную эффективность:

$$W_{I_1} = \{W_{I_1,j}\}, j = \overline{1, n_{I_1}}. \quad (1)$$

Снижение трудоемкости на изготовление изделий ($W_{I_1,1}$), уменьшение материальных затрат ($W_{I_1,2}$) и снижение затрат на оборудование ($W_{I_1,3}$).

Заполним матрицу A_{I_1} – сравнение влияния $W_{I_1,m}$ на I_0 по отношению к $W_{I_1,k}$ (необходимо учитывать равную значимость влияния элемента в сравнении с самим собой).

Найдя правый собственный вектор \bar{w}'_{I_1} матрицы A_{I_1} , соответствующий максимальному собственному числу, решим уравнение

$$A_{I_1} \bar{w}'_{I_1} = \lambda_{\max} \bar{w}'_{I_1}. \quad (2)$$

Введем итеративную процедуру нахождения собственного вектора, соответствующего максимальному собственному числу.

Пусть $y^{(0)} = \{1, \dots, 1\}$ – единичный вектор размерности n_{I_1} . Запустим итеративный процесс $y^{(k)} = A_{I_1} y^{(k-1)} = A_{I_1}^{k-1} y^{(0)}$:

$$\lambda_{\max} = \frac{y_j^{(k)}}{y_j^{(k-1)}}. \quad (3)$$

Получившийся на последнем шаге итерационного процесса вектор $y^{(k)}$ – это решение уравнения (2) – вектор \vec{w}'_{I_1} .

Проведя нормирование вектора \vec{w}'_{I_1} , по сумме координат получим вектор

$$\vec{w}_{I_1} = \frac{\vec{w}'_{I_1}}{\sum_{j=1}^{n_{I_1}} w'_{I_1j}}, \quad (4)$$

где \vec{w}_{I_1} – вектор весов влияния сил уровня I_1 на цель системы I_0 .

Таблица 1. Парное сравнение влияния факторов на производственную эффективность

A_{I_1}	$W_{I_1,1}$	$W_{I_1,2}$	$W_{I_1,3}$	\vec{w}_{I_1}
$W_{I_1,1}$	1	6	4	0,67
$W_{I_1,2}$	0,166	1	0,2	0,07
$W_{I_1,3}$	0,25	5	1	0,25

В качестве меры согласованности суждений в методе анализа иерархий существует отношение согласованности (ОС). ОС – это отношение индекса согласованности (ИС) матрицы парных сравнений для j -го узла иерархии A_{I_j} к случайному индексу:

$$\text{ИС} = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}, \quad (5)$$

$$\text{ОС} = \frac{\text{ИС}}{\text{СИ}}. \quad (6)$$

К выводу обобщенного мнения допускаются результаты парных сравнений с ОС меньше 0,2. Так, для матрицы, приведенной в таблице 1, ОС = 0,14, что говорит о согласованности мнений экспертов.

Рассмотрим уровень альтернатив I_2 и его влияние на вышестоящий уровень. Уровень I_2 состоит из 4 элементов: «квалификация и численность персонала», «номенклатура ПКИ и материалов», «сроки выполнения», «технологическая оснащенность».

Таблица 2. Влияние альтернатив на факторы, воздействующие на производственную эффективность на стадии разработки изделия

	$W_{I_2,1}$	$W_{I_2,2}$	$W_{I_2,3}$	\vec{w}_{I_2}
$W_{I_2,1}$	0,57	0,58	0,50	0,52
$W_{I_2,2}$	0,06	0,27	0,23	0,22
$W_{I_2,3}$	0,07	0,07	0,04	0,05
$W_{I_2,4}$	0,30	0,07	0,23	0,21

Отношение согласованности влияния альтернатив на факторы на стадии разработки ОС = 0,12.

Аналогично проведем сравнение альтернатив на каждом уровне иерархической модели для различных стадий жизненного цикла изделий. Результаты расчетов приведены в таблицах 3–5.

Таблица 3. Влияние альтернатив на факторы, воздействующие на производственную эффективность на стадии производства изделия

	$W_{I_2,1}$	$W_{I_2,2}$	$W_{I_2,3}$	\vec{w}_{I_2}
$W_{I_2,1}$	0,38	0,23	0,08	0,13
$W_{I_2,2}$	0,10	0,38	0,58	0,50
$W_{I_2,3}$	0,21	0,29	0,14	0,17
$W_{I_2,4}$	0,31	0,10	0,20	0,20

Отношение согласованности влияния альтернатив на факторы на стадии разработки ОС = 0,17.

Таблица 4. Влияние альтернатив на факторы, воздействующие на производственную эффективность на стадии сервисного обслуживания изделия

	W_{I_1}	W_{I_2}	W_{I_3}	$\overline{w_{I_2}}$
$W_{I_2,1}$	0,64	0,09	0,08	0,13
$W_{I_2,2}$	0,04	0,37	0,13	0,16
$W_{I_2,3}$	0,09	0,22	0,26	0,24
$W_{I_2,4}$	0,22	0,32	0,51	0,45

Отношение согласованности влияния альтернатив на факторы на стадии разработки ОС = 0,09.

Таблица 5. Влияние альтернатив на факторы, воздействующие на производственную эффективность на стадии утилизации изделия

	W_{I_1}	W_{I_2}	W_{I_3}	$\overline{w_{I_2}}$
$W_{I_2,1}$	0,05	0,08	0,50	0,05
$W_{I_2,2}$	0,33	0,24	0,14	0,17
$W_{I_2,3}$	0,32	0,14	0,55	0,46
$W_{I_2,4}$	0,30	0,54	0,26	0,30

Отношение согласованности влияния альтернатив на факторы на стадии разработки ОС = 0,1.

Результаты

В ходе проведенного моделирования рассмотрены факторы и процессы, влияющие на производственную эффективность на различных стадиях жизненного цикла изделия. На диаграммах (рис. 2) представлена важность критериев, влияющих на производство изделий.

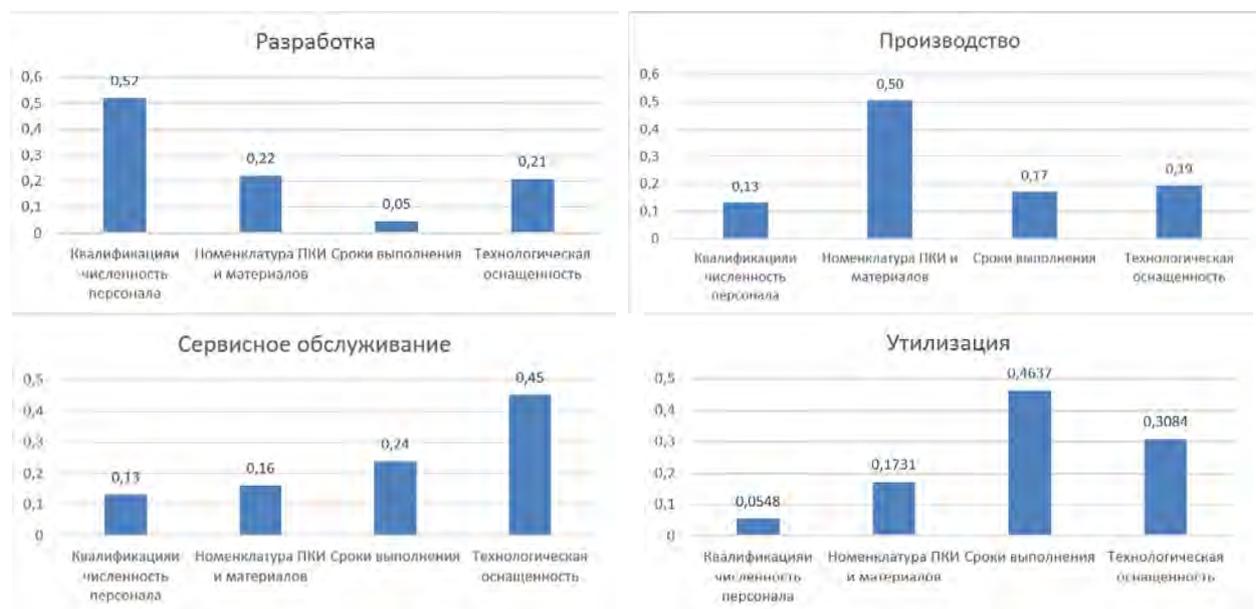


Рисунок 2. Влияние критериев производства на эффективность на различных стадиях жизненного цикла

Из диаграмм видно, что на стадии разработки изделий основным и самым важным критерием достижения производственной эффективности является обеспеченность квалифицированным персоналом. Это связано с тем, что процесс разработки изделий сложен и плохо поддается автоматизации. На втором месте стоит технологическая оснащённость предприятия. Как правило, при разработке новых изделий применяются новые технологии, возможность применения которых и затраты на их применение напрямую зависят от технологической оснащённости предприятия. На стадии производства важнейшим критерием является большая ПКИ и материалов, так как чем больше номенклатура ПКИ, тем сложнее логистические цепочки для обеспечения изготовления изделий и тем

длиннее технологический цикл производства. Вместе с тем остальные критерии имеют практически одинаковое значение для достижения желаемого показателя эффективности. На стадиях сервисного обслуживания и утилизации большое значение имеют лишь технологическая оснащённость предприятия, которые позволяют сократить сроки выполнения этих работ и соответственно минимизировать затраты на них.

Заключение

В работе предложен подход к определению приоритетных критериев, влияющих на производство в радиоэлектронной промышленности. Рассмотрены особенности использования метода анализа иерархий для моделирования производственных процессов на различных стадиях жизненного цикла изделий. Использование метода может быть полезно при оптимизации имеющихся или планировании будущих разработок и организации серийных производств.

Список литературы и источников

1. Батури́н, И. С. Алгоритм управления режимами работы системы когнитивного радио / Г. А. Благодатский, А. Н. Копысов, В. В. Хворенков, И. С. Батури́н // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. – 2019. – Т. 22, № 4. – С. 93–106. – Текст : непосредственный. – DOI: 10.22213/2413-1172-2019-4-93-106
2. Батури́н, И. С. Анализ иерархической модели автоматизированной системы управления параметрами радиолиний когнитивной радиосистемы / Г. А. Благодатский, А. Н. Копысов, В. В. Хворенков, И. С. Батури́н // Научные технологии в космических исследованиях Земли. – 2018. – Т. 10, № 6. – С. 51–67. – Текст : непосредственный. – DOI: 10.24411/2409-5419-2018-10187
3. Метод анализа иерархий при выборе программного обеспечения проектирования и производства электронных схем // Технологии в электронной промышленности. – 2012. – № 2. – Текст : непосредственный.
4. Белоусова, Ю. Г. Применение метода анализа иерархий для построения эффективной системы управления производственными процессами // Организатор производства. – 2013. – № 1 (56). – С. 94–98. – Текст : непосредственный.
5. Туленков, М. С. Метод экспертных оценок промышленного предприятия // Интернаука. – 2023. – № 5-3(275). – С. 42–44. – Текст : непосредственный.
6. Митягина, М. Н. Применение метода априорного ранжирования при оценке уровня готовности технологии в сложной технической системе / М. Н. Митягина, С. А. Назаревич // Системный анализ и логистика. – 2023. – № 2(36). – С. 45–53. – Текст : непосредственный. – DOI: 10.31799/2077-5687-2023-2-45-53
7. Смерчинская, С. О. Декомпозиция задачи принятия решений на уровне предпочтения мажоритарного графа / С. О. Смерчинская, Н. П. Яшина // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. – 2023. – № 1. – С. 106–122. – Текст : непосредственный. – DOI: 10.31857/S0002338823010109
8. Квятковская, И. Ю. Модель и алгоритм поддержки принятия решения по выбору продуктов для рекомендации пользователю на основе метода анализа статистической импликации / И. Ю. Квятковская, Ч. Во Тхи Хуен, К. Т. Чан // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2023. – № 2. – С. 116–124. – Текст : непосредственный. – DOI: 10.24143/2072-9502-2023-2-116-124
9. Кораблев, Ю. А. Прогнозирование потенциально возможных неисправностей технической системы на основе нечетких графов и нечетких когнитивных карт / Ю. А. Кораблев, Д. М. Лосева, М. Ю. Шестопалов // Известия СПбГЭТУ ЛЭТИ. – 2023. – № 3. – С. 46–51. – Текст : непосредственный.

Д. А. Горячев, инженер-конструктор

dimon.goryachef@gmail.com

АО «Сарапульский радиозавод», Сарапул, Удмуртская Республика, Россия

ПРИСПОСОБЛЕНИЕ ДЛЯ КОНТРОЛЯ МОМЕНТОВ ПРУЖИНЫ

Аннотация. Описывается принцип работы, конструкция, разработка и применение специализированного приспособления для контроля моментов пружин.

Ключевые слова: приспособление, контроль.

D.A. Goryachev, Design Engineer

dimon.goryachef@gmail.com

JSC “Sarapulsky Radiozvod”, Sarapul, Udmurt Republic, Russia

DEVICE FOR SPRING TORQUE CONTROL

Abstract. The authors introduce a specialized device for controlling of spring torques, describe its development and application. The principle of operation of this device and its design are considered.

Keywords: device, control.

Введение

Применение пружин является обычным явлением в различных механических устройствах, где ключевым фактором их эффективности является точный контроль моментов кручения. Измерение и регулирование этих моментов играют значительную роль в обеспечении надлежащей работы механизмов. На рынке существует множество различных приспособлений-аналогов, но их недостатком является большая цена, что в реалиях предприятия их применение экономически невыгодно, следовательно, требуется разработка специализированного приспособления для контроля моментов кручения пружин. Для примера приспособления будем использовать пружину, которая производится на АО «Сарапульский радиозавод» (рис. 1).

Анализ существующих приспособлений контроля момента пружин

В данный момент существует приспособление для контроля моментов пружин, но из-за его конструкции выполнять контроль довольно сложно (невозможно).

Среди существующих аналогов есть несколько типов приспособлений.

Ручные. К ручным (рис. 2) относятся приспособления, в которых пружина устанавливается и зажимается в пазах приспособления, и прилагается усилие при помощи органов управления (обычно маховиком). С помощью цифрового табло, установленного на приспособлении, можно узнать, на какой угол повернулась пружина, и при этом посмотреть, какое усилие к ней было приложено. Также на таких приспособлениях могут быть установлены небольшие принтеры, позволяющие распечатать полученные данные.

Автоматические. К автоматическим (рис. 3) относятся приспособления, в которых пружина также зажимается в пазах приспособления либо устанавливается на стенд. Стенд, в свою очередь, состоит из винтовой колонны, на которой установлена подвижная траверса с датчиком крутящего момента. В основании стенда установлен поворотный механизм с траверсой. Управление происходит с помощью сенсорного дисплея, с помощью которого можно установить необходимые углы поворота пружины или необходимый крутящий момент.

Среди недостатков у приспособлений, описанных выше, – высокая цена, что для производственных нужд предприятий экономически не выгодно.

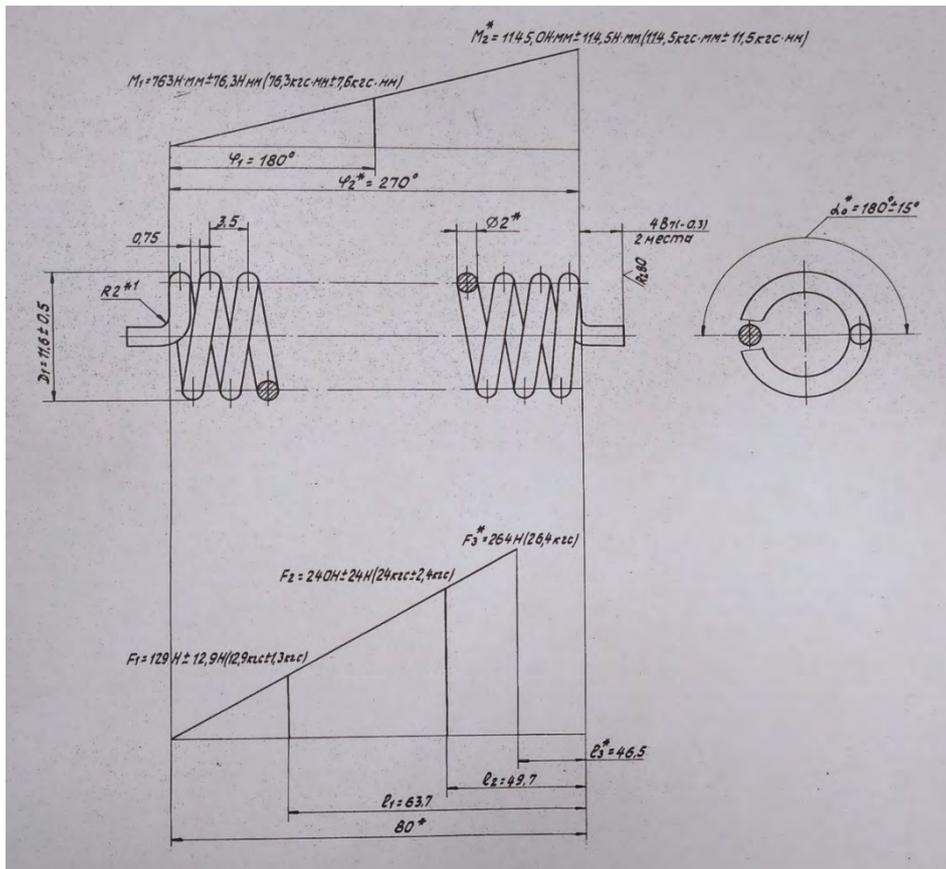


Рисунок 1. Испытуемая пружина



Рисунок 2. Ручное устройство для контроля моментов пружин



Рисунок 3. Автоматическое устройство для контроля моментов пружин

Приспособление для контроля пружин. Устройство и принцип работы

В результате проведенного анализа определено, что ни один из видов приспособлений не подходит для выполнения поставленной задачи, следовательно, необходимо спроектировать приспособление, которое обеспечит нужную точность и будет иметь невысокую цену.

Спроектированное приспособление (рис. 4), представляет собой основание с установленным на него динамометром (поз.1), корпуса-втулки (поз.2), направляющей для пружины (поз.3), диска с градуировкой (поз.5) и динамометрической отвертки (поз.4)

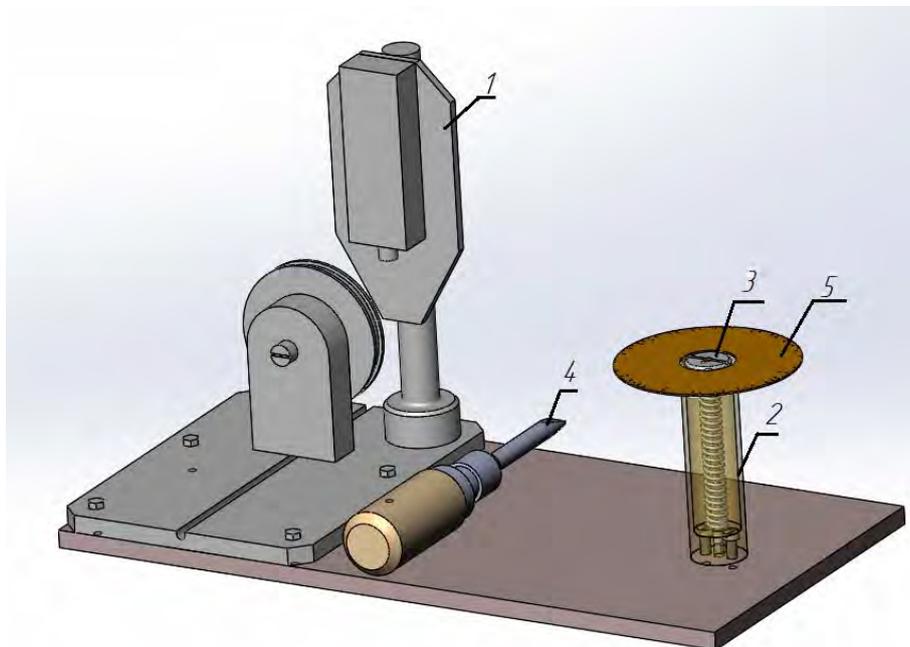


Рисунок 4. 3D-модель приспособления для контроля моментов пружины:

1 – динамометр; 2 – втулка-корпус; 3 – направляющая; 4 – динамометрическая отвертка; 5 – диск с градуировкой

Перед началом работы необходимо установить нужное усилие на отвертке (рис. 5) с помощью динамометра (рис. 6).



Рисунок 5. Динамометрические отвертки



Рисунок 6. Динамометр

Далее испытуемая пружина устанавливается во втулку-корпус так, чтобы один из усиков пружины попал в отверстие, расположенное на втулке. Сверху устанавливается направляющая, в которой есть отверстие под второй усик пружины для окончательной ее фиксации. После совмещения риски на направляющей с риской на диске с градуировкой необходимо поворачивать направляющую с пружиной до тех пор, пока не будет достигнут требуемый угол. Если во время поворота отвертка «отстрелит», то требуется увеличить усилие на отвертке, повторно повернуть инструмент и выполнить контрольный замер. По рискам на диске определяется угол, на который повернулась пружина до того, как было достигнуто установленное усилие.

Заключение

Предложенное в данной статье приспособление имеет достаточную точность, чтобы контролировать усилие, прилагаемое для поворота пружины на требуемый угол, что, в свою очередь, позволит исключить часть брака и повысить качество выпускаемой продукции.

Список литературы и источников

1. Машины для испытания пружин на кручение. – Текст : электронный. – URL: <https://www.geo-ndt.ru/catalog-34-mashini-dlya-ispitaniya-prujin-na-krychenie.htm>
2. Машины для испытания пружин. – Текст : электронный. – URL: <https://metrotest.ru/ispitatelnye-mashiny/mip>

Ю. Т. Загидуллин, ведущий инженер-программист

zagidullinyut@mail.ru

КБ «Радиосвязь» – филиал АО «Сарапульский радиозавод»

Ижевск, Удмуртская Республика, Россия

Е. В. Коробейников, студент, техник-программист

egorik105@mail.ru

ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, КБ «Радиосвязь» – филиал АО «Сарапульский радиозавод»

Ижевск, Удмуртская Республика, Россия

ОЦЕНКА ДАЛЬНОСТИ ПРОЛЕТА НИЗКООРБИТАЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ПО ВЕЛИЧИНЕ ДОПЛЕРОВСКОГО СМЕЩЕНИЯ ЧАСТОТЫ ИЗЛУЧАЕМЫХ СИГНАЛОВ

Аннотация. Приведены расчеты доплеровского смещения частоты между спутником и приемопередатчиком. Показано влияние угла наклона орбиты, угла места на величину доплеровского смещения.

Ключевые слова: орбита, спутниковая связь, космический аппарат, доплеровское смещение, приемопередатчик.

Yu.T. Zagidullin, Principal Engineer

zagidullinyut@mail.ru

КБ “Radiosvyaz” - Filial Branch of JSC “Sarapulsky Radiozavod”

Izhevsk, Udmurt Republic, Russia

E.V. Korobeinikov, Student, Technician-Programmer

egorik105@mail.ru

Kalashnikov ISTU, КБ “Radiosvyaz” - Filial Branch of JSC “Sarapulsky Radiozavod”

Izhevsk, Udmurt Republic, Russia

ESTIMATION OF THE FLIGHT RANGE OF LOW-ORBITING VEHICLES BASED ON THE DOPPLER FREQUENCY SHIFT OF EMITTED SIGNALS

Abstract. Calculations for estimating the Doppler frequency shift between the satellite and the transceiver are presented. The influence of the orbital inclination angle and elevation angle on the magnitude of the Doppler shift is shown.

Keywords: orbit, satellite communications, spacecraft, Doppler shift, transceiver.

Введение

Спутниковая связь – один из видов космической радиосвязи, основанный на использовании в качестве ретрансляторов искусственных спутников Земли (ИСЗ). Спутниковая связь осуществляется между земными станциями, которые могут быть как стационарными, так и подвижными [1].

Краткая классификация спутниковых систем

По высоте орбиты различают низкоорбитальные, среднеорбитальные и высокоорбитальные системы, по форме орбиты – системы круговой и эллиптической орбиты [2].

Низкая околоземная орбита – космическая орбита вокруг Земли, имеющая высоту над поверхностью планеты в диапазоне от 160 км (период обращения около 88 минут) до 2000 км (период около 127 минут).

Среднеорбитальными ИСЗ обычно считаются спутники с высотами от 2000 до 35786 км над поверхностью Земли. Эту зону в основном «заселяют» спутники навигации (ИСЗ NAVSTAR систе-

мы GPS летают на высоте 20200 км, ИСЗ системы «ГЛОНАСС» – на высоте 19100 км) и связи, которые покрывают полюса Земли. Период обращения – от 127 минут до 24 часов.

Высокоорбитальными ИСЗ считаются спутники, достигающие высот более 35786 км над поверхностью Земли, т. е. залетающие выше геостационарных спутников. Орбиты могут иметь значительный эксцентриситет (в этом случае они называются высокоэллиптическими), так и быть почти круговыми.

Геостационарные спутниковые системы – системы, спутники которых имеют период обращения вокруг Земли, равный звездным (сидерическим) суткам – 23 ч 56 мин 4,09 сек. Если наклонение орбиты нулевое, то такие орбиты называются геостационарными. Геостационарные ИСЗ летают на высоте 35786 км над поверхностью Земли. Так как их период обращения совпадает с периодом обращения Земли вокруг своей оси, то такие ИСЗ «висят» в небе на одном месте. Если наклонение не равно нулю, то такие ИСЗ называются геосинхронными.

Для круговой орбиты все точки находятся на одинаковом расстоянии от центральной точки, создаваемой обращающимся вокруг неподвижной оси телом. Эллиптической называют орбиту с эксцентриситетом меньше 1 и больше 0.

Одним из главных преимуществ, способствующих развитию низкоорбитальных систем спутниковой связи, является биологический фактор [3]. Так, для обеспечения требований биологической защиты человека от излучения СВЧ рекомендуемый уровень мощности непрерывного излучения радиотелефона должен составлять не более 50 мВт. Эффективный прием сигнала такой мощности, например, геостационарным спутником сопряжен со значительным усложнением КА, развертыванием больших антенн и точным их позиционированием. Для низкоорбитальных спутниковых систем длина радиолиний во много раз меньше, и проблема создания многолучевых антенн менее остра.

Российские и зарубежные низкоорбитальные спутниковые группировки

В настоящее время в России разработано несколько проектов низкоорбитальных систем связи: «Гонец», «Глобсат», «Курьер», «Коскон», «Сигнал». К зарубежным низкоорбитальным системам связи относятся Iridium и Globalstar.

Основные характеристики системы спутниковой связи «Гонец». Разработка системы «Гонец» (рис. 1, табл. 1) с начала 90-х годов осуществляется НПО прикладной механики (г. Красноярск) и НИИ точных приборов (г. Москва). Для скорейшей реализации первоочередных потребностей рынка услуг подвижной спутниковой связи в 1995 г. началось развертывание 1-го этапа системы «Гонец-Д».



Рисунок 1. Расположение спутников системы «Гонец»

Каждый из космических аппаратов (КА) системы «Гонец» осуществляют излучение маркерного сигнала один раз в минуту. При приеме этого сигнала наземная станция (НС) формирует сигналы запроса на передачу или прием данных, далее осуществляется передача или прием данных в двустороннем режиме с квитированием. Среднее время работы с одним КА составляет порядка 10...15 мин, поэтому важно наиболее эффективно использовать выделенный временной ресурс. Качество связи напрямую зависит от удаленности КА от НС, поэтому необходимо каким-либо спосо-

бом оценить дальность до КА. Наиболее точной оценка дальности может быть получена по альманаху, содержащему информацию по координатам пролета всех спутников системы. Однако не всегда есть возможность загрузить его своевременно, кроме того, нужно точно знать координаты местоположения НС. В работе предлагается альтернативный метод оценки дальности до КА с использованием эффекта Доплера. В зависимости от положения КА его радиальная скорость будет меняться. Принимая маркерный сигнал и оценивая сдвиг несущей частоты, можно оценить искомую дальность.

Таблица 1. Параметры спутниковой системы «Гонец»

Период обращения вокруг Земли	114 мин
Диаметр зоны обслуживания	4500 км
Тип орбиты	Круговая, биполярная
Высота	1350...1500 км
Наклонение	82,5°
Количество плоскостей	4
Количество КА в плоскости	3
Диапазон частот, МГц	в линии «Космос – Земля» 387...390 в линии «Земля – Космос» 312...315
Скорость передачи, кбит/с	в линии «Космос – Земля» 9,6; 38,4; 76,8 в линии «Земля – Космос» 2,4; 4,8; 9,6

Расчет координат положения КА и его производных

В зависимости от удаленности спутника от передатчика целесообразно динамически менять скорость и объем передаваемой информации. Чем дальше находится спутник, тем сильнее ослабляется радиоволна и хуже помеховая обстановка в точке приема сигнала. В этом случае целесообразно передавать малые объемы информации на низкой скорости. По мере приближения КА необходимо увеличивать скорость и объем данных. Для оценки удаленности спутника от приемника/передатчика можно использовать эффект Доплера:

$$f_{\text{допл}} = \frac{v}{\lambda}, \text{ Гц}, \quad (1)$$

где $f_{\text{допл}}$ – доплеровское смещение, Гц; v – мгновенная радиальная скорость спутника относительно наземной станции, м/с; λ – длина волны, м.

Длина волны рассчитывается по формуле $\lambda = \frac{c}{F}$.

Исходные данные

$h = 1500$ км – высота орбиты спутника над поверхностью Земли

$T = 114$ мин – время обращения спутника вокруг Земли

$F = 390$ МГц – частота излучаемых колебаний

$R = 6371$ км – радиус Земли

$c = 3 \cdot 10^8$ км/с – скорость света

$H = R + h = 6371 + 1500 = 7871$ – расстояние от центра Земли до спутника.

На рисунке 2 показана геометрическая картина пролета спутника.

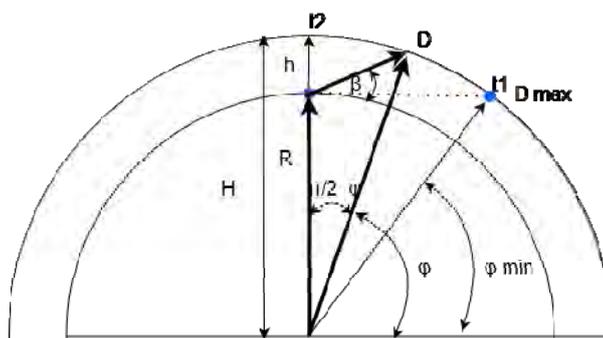
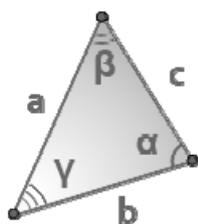


Рисунок 2. Геометрическая картина пролета спутника над Землей:

φ – угол между центром земли и КА; β – угол места КА относительно НС; D – расстояние между НС и КА

Геометрически рассчитаем зависимость расстояния D (от НС до КА) от угла вращения спутника φ . Для расчета воспользуемся формулой треугольника [4]:



$$a = \sqrt{b^2 + c^2 - 2bc \cdot \cos(\alpha)},$$

где a, b, c – стороны произвольного треугольника; α, β, γ – противоположные углы.

На рисунке 2 треугольник выделен жирными линиями. Искомая сторона D находится по формуле

$$D(\varphi) = \sqrt{R^2 + H^2 - 2RH \cdot \sin(\varphi)}.$$

Угол места β определяется по формуле

$$\operatorname{tg}(\beta) = \frac{\sin(\varphi) - \frac{R}{H}}{\cos(\varphi)}.$$

Рассчитаем минимальный угол φ , при котором КА будет в зоне радиовидимости по формуле прямоугольного треугольника:

$$\varphi_{\min} = 90 - \arccos\left(\frac{R}{H}\right) = 90 - \arccos\left(\frac{6371}{7817}\right) \approx 54^\circ, \beta = 0.$$

Тогда

$$\varphi_{\max} = 90^\circ + (90^\circ - 54^\circ) = 126^\circ - \text{максимальный угол радиовидимости,}$$

$$\Delta\varphi = \varphi_{\max} - \varphi_{\min} = 126^\circ - 54^\circ = 72^\circ - \text{угол радионаблюдения.}$$

Подставив формулу в Mathcad, получим график зависимости расстояния $D(\varphi)$ от угла φ (рис. 3).

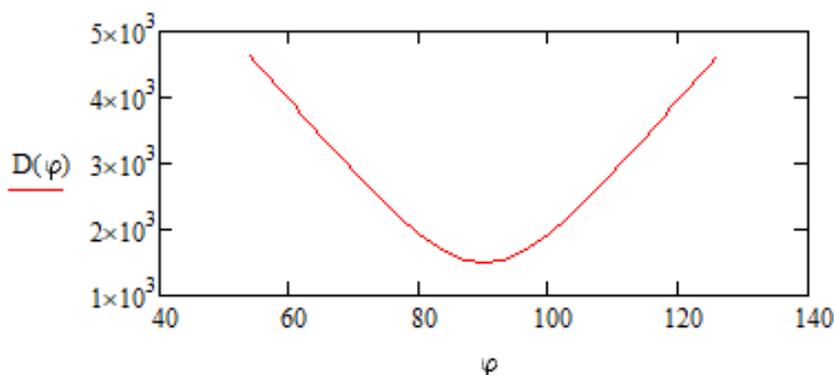


Рисунок 3. Зависимость расстояния $D(\varphi)$ от угла φ

Таким образом, дальность до КА меняется от 4700 км (при угле места $\beta = 0$ град) до 1500 км, когда КА находится в зените ($\beta = 90$ град).

Для вычисления скорости возьмем первую производную от расстояния D по углу φ

$$v(t) = \frac{dx(D(\varphi))}{d\varphi}.$$

Рассчитаем время радиовидимости спутника для НС T_{\max} по формуле $T_{\max} = \Delta\varphi / \omega_0 = 72 / 0,05 = 1440 \text{ с} = 24 \text{ мин}$ – максимальное время наблюдения (при минимальном угле места $\beta = 0$ град).

Угловая скорость $\omega_0 = \frac{2\pi}{T} = \frac{360^\circ}{114} = 3,157 \text{ град/мин} = 0,0526 \text{ град/с}$. Из этой формулы вытекает, что КА меняет положение на 1 град за 19 с.

График зависимости скорости $v(t)$ от времени t представлен на рисунке 4.

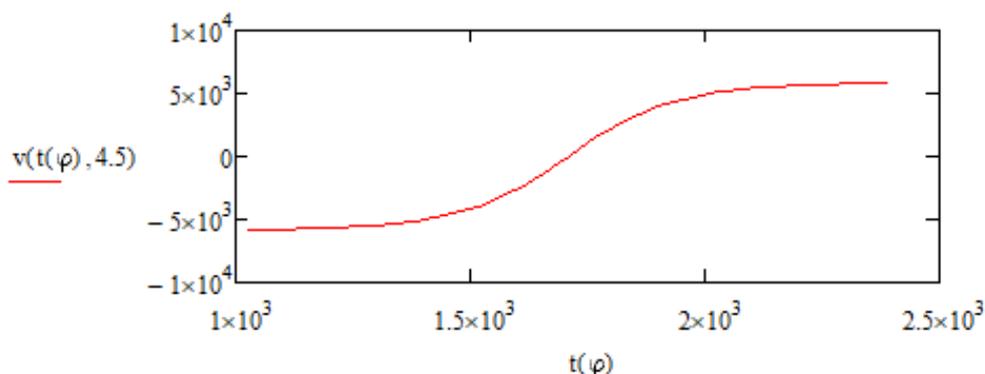


Рисунок 4. Зависимость радиальной составляющей скорости КА, км/с

Зная все необходимые параметры, можно подставить их в формулу (1) и посчитать доплеровское смещение в зависимости от времени (сек.). Важно учесть, что скорость изначально рассчитана в км/с, чтобы перевести в м/с нужно полученное значение скорости умножить на 1000.

Построим график зависимости доплеровского смещения от времени наблюдения (рис. 5).

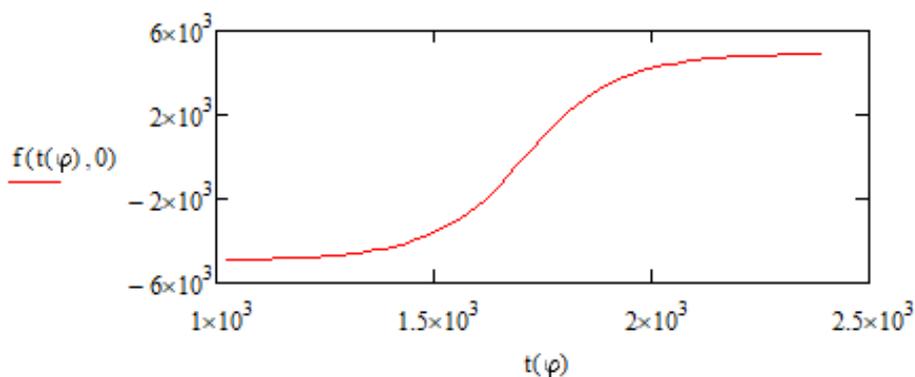


Рисунок 5. Зависимость доплеровского смещения f , Гц, от $tg(\varphi)$

Радиальная составляющая скорости и, соответственно, величина доплеровского смещения частоты имеет наибольшее значение (порядка 4,5 кГц) на границах зоны радиовидимости и равно нулю при пролете в зените.

Расчет расстояния с помощью формулы треугольника справедлив только для случая пролета КА в зените, в реальных условиях орбита КА проходит под некоторым углом θ . В этом случае проекция пролета на вертикальную плоскость будет представлять собой не окружность, а эллипс.

Введем трехмерную систему координат XYZ . Ось X будем ассоциировать с направлением запад – восток, ось Y – с направлением юг – север (рис. 6). Для расчета дальности будем использовать формулу определения расстояния между двумя точками в трехмерной декартовой системе координат с известными координатами [4]:

$$D = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2}. \quad (2)$$

Угол места β определим из формулы $tg(\beta) = \frac{z - z_0}{\sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}}$.

Сами координаты точки расположения КА удобно определить в полярных координатах через параметрическое представление, рассмотрев различные сечения системы координат XYZ . Сечение ZY (рис. 7) соответствует рассмотренному ранее на рисунке 2 случаю пролета КА в зените. Внутренний круг – это сечение Земли, внешний эллипс – проекция движения КА. Угол φ отсчитывается от оси Y . Предполагается, что КА движется против часовой стрелки, т. е. от севера к югу,

проекция движения описывает эллипс. Тогда координаты КА описываются параметрическими уравнениями $z = a \sin(\varphi)$, $y = H \cos(\varphi)$. Величину a определим по графику сечения ZX (рис. 8). Проекция движения КА в плоскости орбиты здесь представляет собой прямую, ограниченную отрезком длины H и расположенную под углом θ относительно оси Z . Тогда $a = H \cos(\theta)$. Недостигающую координату x определим из сечения YX (рис. 9). Здесь проекция траектории движения КА также описывается эллипсом, который пересекает окружность Земли. Угол φ по-прежнему отсчитывается от оси Y , и движение точки осуществляется по часовой стрелке. Тогда $x = b \sin(\varphi)$. Величину b определим по графику сечения ZX: $b = H \sin(\theta)$.

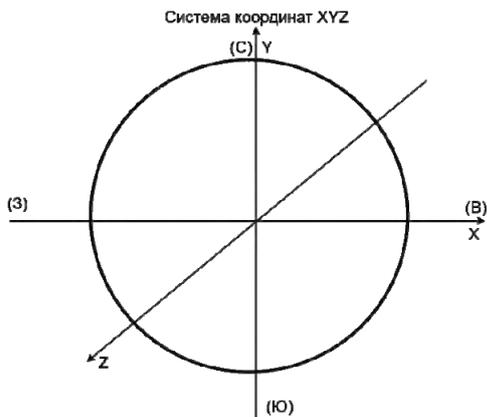


Рисунок 6. Положение Земли в системе координат XYZ

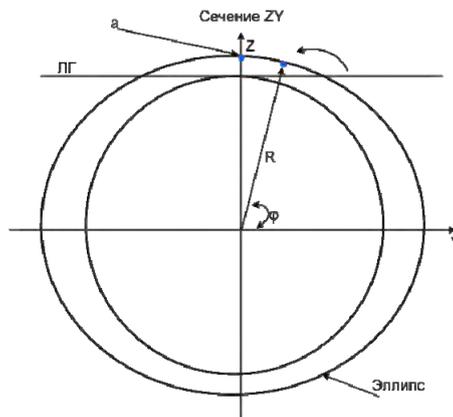


Рисунок 7. Сечение ZY
 $z = a \sin(\varphi)$, $y = H \cos(\varphi)$

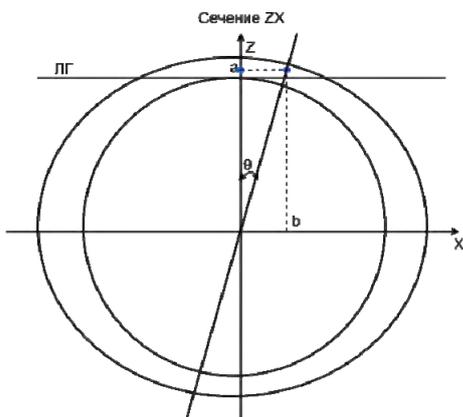


Рисунок 8. Сечение ZX
 $a = H \cos(\theta)$, $b = H \sin(\theta)$

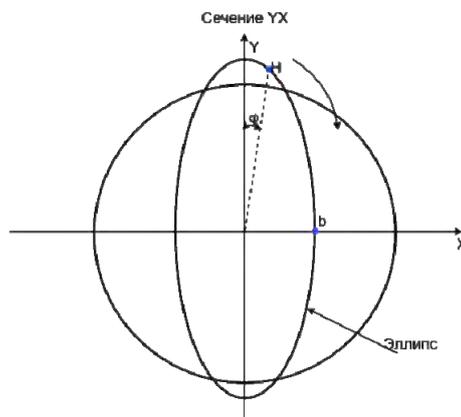


Рисунок 9. Сечение YX
 $y = H \cos(\varphi)$, $x = b \sin(\varphi)$

Координаты космического аппарата X, Y, Z , а координаты наземной станции $0, 0, R$. Подставив полученные координаты в уравнение (2), получим формулу определения дальности от КА до НС:

$$D = \sqrt{H^2 + R^2 - 2HR \cdot \cos(\theta) \cdot \sin(\varphi)}. \quad (3)$$

Приведем условие нахождения КА в зоне радиовидимости:

$$z \geq R \Rightarrow H \cos(\theta) \cdot \sin(\varphi) \geq R;$$

$$\sin(\varphi) \geq \frac{R}{H \cos(\theta)};$$

$$\theta_{\max} = \arccos\left(\frac{R}{H}\right) = \arccos\left(\frac{6371}{7871}\right) \approx 36^\circ.$$

На основании полученной формулы (3) построим серию кривых для определения дальности от НС до КА в зависимости от угла наклона орбиты θ и текущей фазы φ пролета КА (рис. 10).

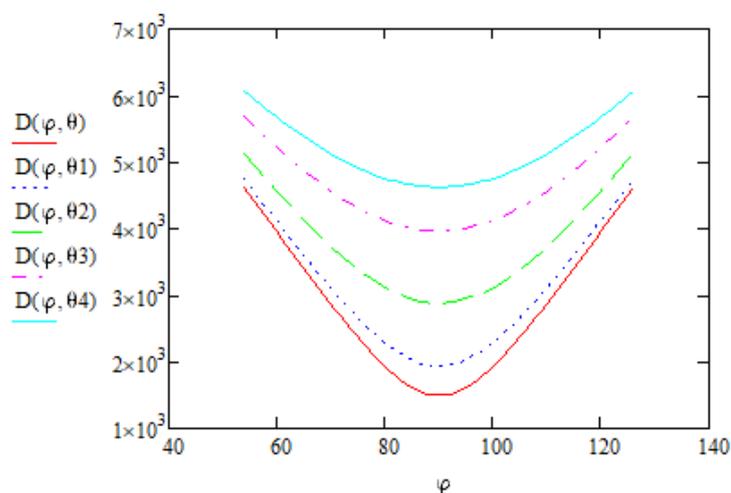


Рисунок 10. Зависимость удаленности КА от НС в зависимости от φ , Θ ($\Theta = 0^\circ$; $\Theta 1 = 10^\circ$; $\Theta 2 = 20^\circ$; $\Theta 3 = 30^\circ$; $\Theta 4 = 36^\circ$)

Определим радиальную скорость как производную от уравнения дальности, а также величину доплеровского смещения частоты. На рисунке 11 представлены зависимости частоты доплеровского смещения от различных углов наклона орбиты θ .

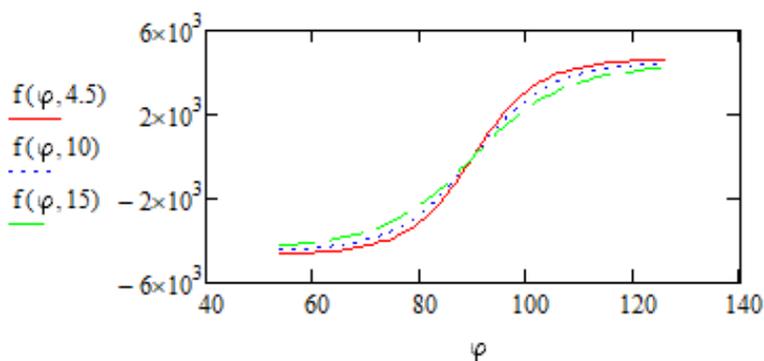


Рисунок 11. Зависимость $f_{\text{допл}}$, Гц, от угла наклона Θ , град

Для выбранных углов наклона Θ значения доплеровского смещения частоты практически не отличаются друг от друга. Углы наклона выбирались так, чтобы полученные расчетные данные можно было сопоставить с экспериментальными.

Анализ полученных экспериментальных данных

При получении экспериментальных данных использовалась радиостанция спутниковой связи ППС-3R1 разработки АО «Сарапульский радиозавод». Прием сигнала осуществлялся на направленную антенну круговой поляризации, входящую в состав комплекта станции. Эксперимент проводился на открытой местности в ясную погоду, антенна была направлена вертикально вверх. Принимались сигналы от трех различных КА, результаты приведены ниже.

Для первого наблюдаемого космического аппарата (КА № 1) время пролета 14:19–14:33, углы места: 15–67 град, что соответствует углу наклона $\theta = 4,5$ град. Для КА № 2 время пролета 14:56–15:13, углы места: 3–45 град, $\theta = 10$ град. Для КА № 3 время пролета 15:36–15:50, углы места: 11–31 град, $\theta = 15$ град. Точные значение углов места для каждой минуты пролета определялись по файлу альманаха с помощью специального программного обеспечения (табл. 2).

Таблица 2. Практические значения доплеровского смещения частоты

Время наблюдения, мин	$f_{\text{допл}}$, Гц, КА № 1 ($\beta_{\text{max}} = 67$ град)	$f_{\text{допл}}$, Гц, КА № 2 ($\beta_{\text{max}} = 45$ град)	$f_{\text{допл}}$, Гц, КА № 3 ($\beta_{\text{max}} = 31$ град)
1	–	3998	–
2	–	3856	–
3	4020	3771	3288
4	3848	3555	3012
5	3593	3274	2640
6	3235	2886	2171
7	2707	2363	1586
8	1956	1668	897
9	964	824	129
10	–209	–137	–676
11	–1393	–1120	–1446
12	–2415	–2015	–2140
13	–3196	–2753	–2725
14	–3750	–3328	–3202
15	–4136	–3765	–3582
16	–4293	–4089	–3866
17	–4574	–4314	–4087
18	–	–4461	–

Для наглядности по таблице 2 построим график зависимости частоты доплеровского смещения от времени наблюдения (рис. 12).

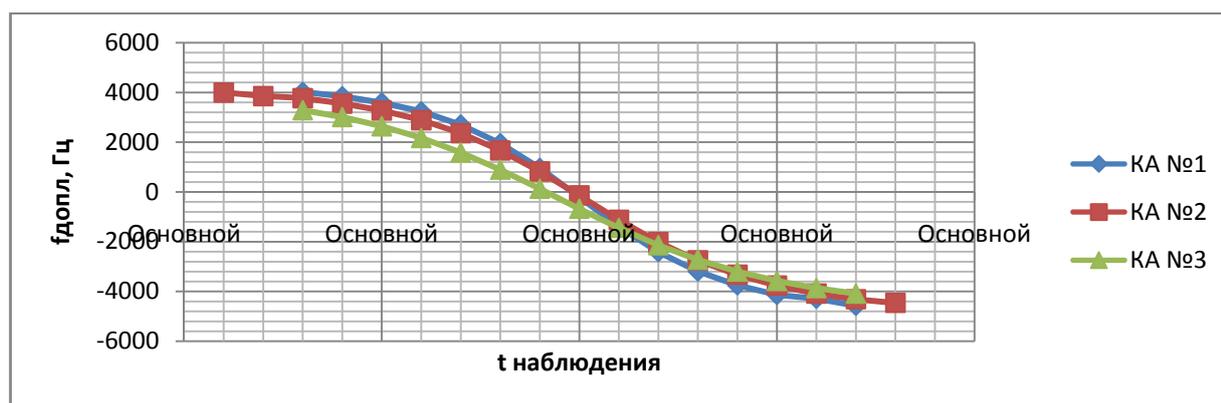


Рисунок 12. Зависимость $f_{\text{допл}}$, Гц, от времени t , мин

Произведем сравнение теоретических данных с практическими (экспериментальными). Пользуясь формулами, приведенными выше рассчитаем теоретические значения и сравним их с измеренными. Результат представлен в виде графиков зависимости частоты доплеровского смещения для трех экспериментов на рисунках 13–15.

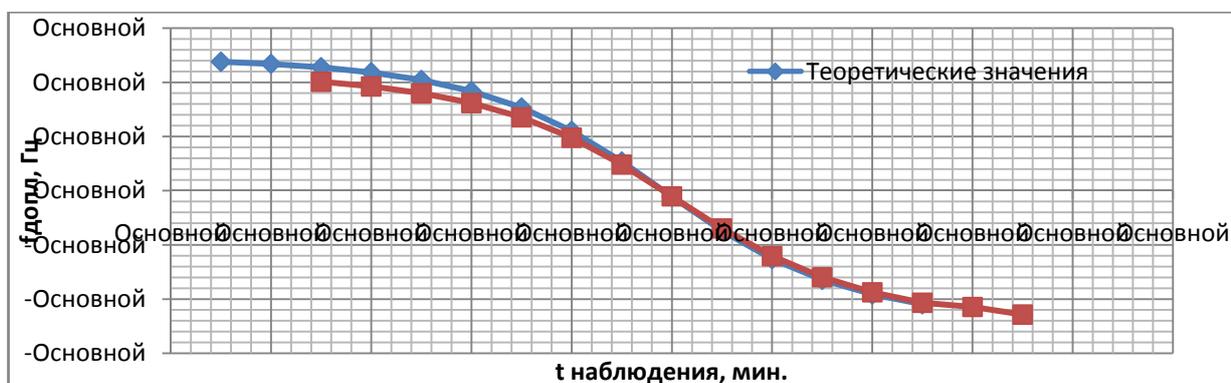


Рисунок 13. Изменение во времени частоты Доплера для КА № 1

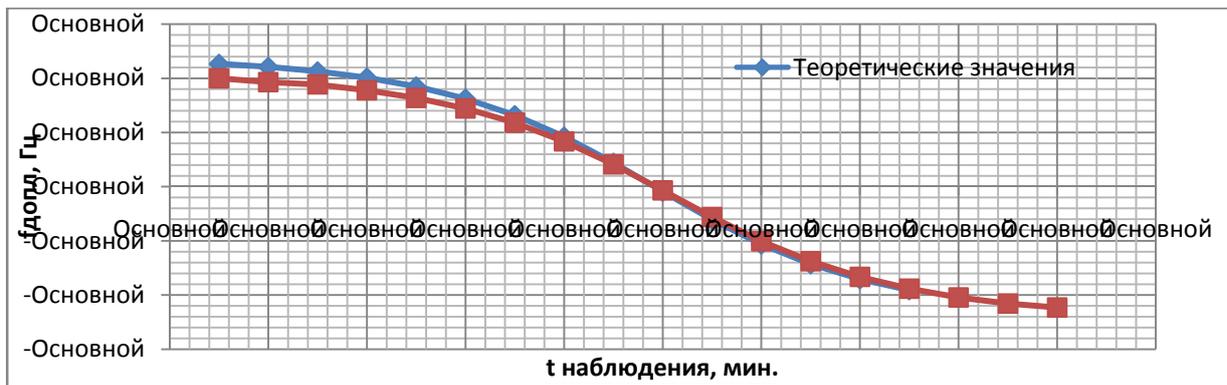


Рисунок 14. Изменение во времени частоты Доплера для КА № 2

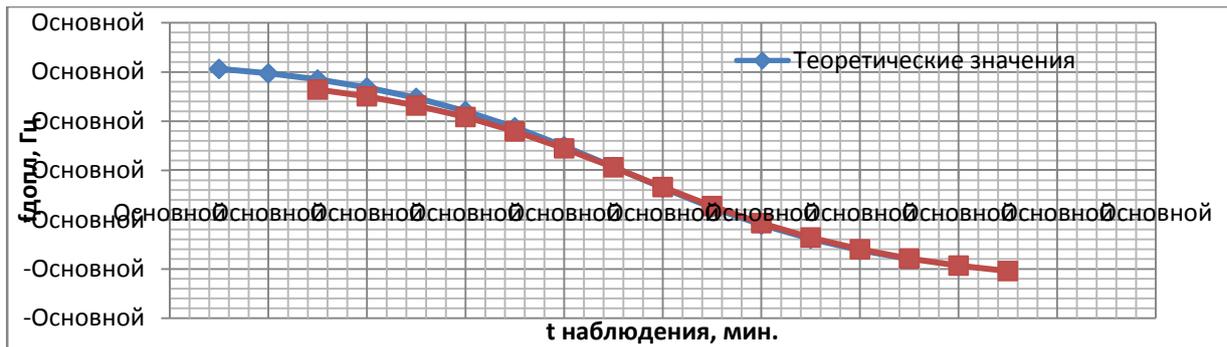


Рисунок 15. Изменение во времени частоты Доплера для КА № 3

Анализ графических зависимостей на рисунках 13–15 показывает, что теоретические расчеты довольно точно соответствуют полученным экспериментальным данным. Расхождение заметно на краях интервала наблюдения, т. е. при малом угле места. Ошибка оценки частоты не превышает 500 Гц.

Заключение

В статье представлены формулы для расчета расстояния от наземной станции до космического аппарата системы «Гонец», радиальной скорости движения космического аппарата относительно неподвижной наземной станции, частоты Доплера. Приведены практические результаты оценки частоты Доплера при приеме сигналов от трех различных космических аппаратов. Анализ полученных экспериментальных данных показывает достоверность расчетов.

Значение частоты Доплера зависит от угла наклона орбиты, который практически оценить нельзя, поэтому оценка дальности таким методом имеет некоторую погрешность. Однако предложенный метод измерения дальности до космического аппарата по величине доплеровского смещения частоты является приемлемым. Приближенная оценка дальности может быть использована для адаптивного изменения скорости и объема передаваемой информации, что позволит более эффективно использовать частотно-временной ресурс спутникового канала связи.

Список литературы и источников

1. Казаринов, Ю. М. Радиотехнические системы : учебник для студентов высших учебных заведений. – М. : Академия. 2008. – Текст : непосредственный.
2. Спутниковая связь // Словари и энциклопедии на Академике. – Текст : электронный. – URL: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/business/19117> (дата обращения: 18.03.24).
3. Низкоорбитальные системы спутниковой связи // Информационные и телекоммуникационные технологии, технологии связи и электросвязи, учебно-методические работы, обзоры технологий, рефераты, рекомендации от Кунегиной С. В. – Текст : электронный. – URL: <http://kunegin.com/ref1/sput/loworb.htm> (дата обращения: 17.03.24).
4. Синус, косинус и тангенс острого угла прямоугольного треугольника. – Текст : электронный. – URL: <https://tutomath.ru/uroki/sinus-kosinus-tangens.html> (дата обращения: 18.03.24).
5. Расстояние между двумя точками // Изучение математики онлайн. – Текст : электронный. – URL: https://ru.onlimeschool.com/math/library/analytic_geometry/point_point_length/ (дата обращения: 18.03.24).

А. А. Зыкин, старший преподаватель, инженер-конструктор
soyp2013@yandex.ru

ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, КБ «Радиосвязь» – филиал АО «Сарапульский радиозавод»
Ижевск, Удмуртская Республика, Россия

Е. А. Семенов, студент; *А. А. Карелин*, студент

ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Удмуртская Республика, Россия

Р. А. Хатбуллин, кандидат технических наук, доцент, ведущий инженер-программист
rxn3110c@rambler.ru

ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, КБ «Радиосвязь» – филиал АО «Сарапульский радиозавод»
Ижевск, Удмуртская Республика, Россия

А. Ю. Вдовин, кандидат технических наук, доцент, инженер-программист
vd_aleks@mail.ru

ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, КБ «Радиосвязь» – филиал АО «Сарапульский радиозавод»
Ижевск, Удмуртская Республика, Россия

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ДИАГНОСТИРОВАНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ СРЕДСТВ РАДИОСВЯЗИ

Аннотация. В работе приведена модернизация ранее разработанного автоматизированного диагностического комплекса на базе контрольно-измерительной аппаратуры Rohde & Schwarz. Ранее комплекс состоял из компьютера управления контрольно-измерительной аппаратурой, компьютера управления радиостанцией, контрольно-измерительной аппаратуры компании Rohde & Schwarz и объект диагностирования. В состав контрольно-измерительной аппаратуры входит генератор сигналов R&S SMC100A, анализатор звуковых сигналов R&S UPV. В новой версии комплекс состоит из компьютера управления контрольно-измерительной аппаратурой (тестер средств радиосвязи R&S CMA-180 и источник питания постоянного тока EA-PS 9080-50 1U), компьютера-сервера, сетевого маршрутизатора, источника питания (непрограммируемый) и объекта диагностирования.

Ключевые слова: диагностика, автоматизация, контрольно-измерительная аппаратура, средства радиосвязи.

A.A. Zykin, Senior Lecturer, Design Engineer
soyp2013@yandex.ru

Kalashnikov ISTU, KB “Radiosvyaz” - Filial Branch of JSC “Sarapulsky Radiozavod”
Izhevsk, Udmurt Republic, Russia

E.A. Semenov, Student; *A.A. Karelyn*, Student

Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Udmurt Republic, Russia

R.A. Khatbullin, PhD in Engineering, Principal Software Engineer

rxn3110c@rambler.ru

Kalashnikov ISTU, KB “Radiosvyaz” - Filial Branch of JSC “Sarapulsky Radiozavod”
Izhevsk, Udmurt Republic, Russia

A.Yu. Vdovin, PhD in Engineering, Assistant Professor, Programmer Engineer

Kalashnikov ISTU, KB “Radiosvyaz” - Filial Branch of JSC “Sarapulsky Radiozavod”
Izhevsk, Udmurt Republic, Russia

AUTOMATED COMPLEX FOR DIAGNOSTIC TROUBLESHOOTING IN RADIO COMMUNICATIONS

Abstract. The paper considers the modernization of a pre-developed automated diagnostic complex a pre-developed on the base of control and measuring instrumentation of Rohde & Schwarz. Formerly, the complex was comprised of a computer for management of control and measurement instrumentation, a computer

for a radio set management, control and measurement instrumentation of Rohde & Schwarz and a device under test. Control and measurement instrumentation includes the R&S SMC100A signal generator and the R&S UPV audio signal analyzer. The new version of the complex consists of control and measurement instrumentation (radio test set R&S CMA-180 and DC power supply EA-PS 9080-50 1U), a server computer, a network router, a power supply (non-programmable) and a device under test.

Keywords: diagnostics, automation, control and measurement instrumentation, radio communication.

Введение

Благодаря развитию цифровых систем и инфокоммуникационным технологиям открываются широкие перспективы их использования в бытовых, коммерческих и производственных целях. Первые шаги по созданию локальных вычислительных сетей и формирование на их основе корпоративных сетей, как следствие – появление глобальной сети Интернет, открыли широкие возможности по взаимодействию различных структур между собой. Перспектива такого взаимодействия проявилась в таком понятии, как «интернет вещей». С появлением концепции интернета вещей производители различной контрольно-измерительной аппаратуры начали добавлять интерфейсы взаимодействия между компьютером и прибором по протоколам Ethernet различного уровня и интерфейсов, таких как проводное соединение, использование радиоканалов, оптических линий связи. Также это привело к развитию сенсорных датчиков и устройств [1–4].

В статье рассматривается модернизация ранее разработанного автоматизированного диагностического комплекса. Ранее комплекс формировался из контрольно-измерительной аппаратуры компании Rohde & Schwarz, компьютера управления контрольно-измерительной аппаратурой, компьютера управления радиостанцией и объекта диагностирования [5]. В состав контрольно-измерительной аппаратуры входит генератор сигналов R&S SMC100A, анализатор звуковых сигналов R&S UPV. Оба прибора подключаются к сети по интерфейсу Ethernet. В качестве объекта диагностирования выбрана носимая радиостанция УКВ-диапазона P168-5УТ-2 [4].

В новой версии комплекс состоит из компьютера управления контрольно-измерительной аппаратуры (тестер средств радиосвязи R&S CMA-180 и источник питания постоянного тока EA-PS 9080-50 1U), компьютера-сервера, сетевого маршрутизатора, источника питания (непрограммируемый) и объекта диагностирования. В качестве объекта диагностирования используется носимая УКВ-радиостанция P-168-5УТ-2 «Акведук».

Комплекс может использоваться для проведения текущего обслуживания и ремонта различных средств радиосвязи и предназначен для решения следующих задач:

- проверка основных параметров радиосредств в автоматизированном режиме при проведении технического обслуживания;
- проверка основных параметров радиосредств в ручном режиме при проведении технического обслуживания и ремонта в целях уточнения (повышения надежности) результата измерений, а также в целях диагностики (локализации) неисправностей;
- снижения трудоемкости выполнения технического обслуживания и отыскания неисправности объекта контроля;
- снижения роли человеческого фактора при проведении проверок средств радиосвязи и повышение достоверности результатов измерений.

Описание ранее разработанного автоматизированного диагностического комплекса

На рисунке 1 представлена структурная схема автоматизированного диагностического комплекса.

В состав контрольно-измерительной аппаратуры входит генератор сигналов R&S SMC100A, анализатор звуковых сигналов R&S UPV. Оба прибора подключаются к сети по интерфейсу Ethernet. В качестве объекта диагностирования выбрана носимая радиостанция УКВ-диапазона P168-5УТ-2. Удаленное управления радиостанцией осуществляется с помощью унифицированного комплекса управления и связи (УКУС).

Для автоматизированного управления объектом диагностирования и контрольно-измерительной аппаратурой разработаны программы управления. На рисунке 2 представлен интерфейс программы управления радиостанцией P-168-5УТ-2 через унифицированный комплекс управления и связи (УКУС).

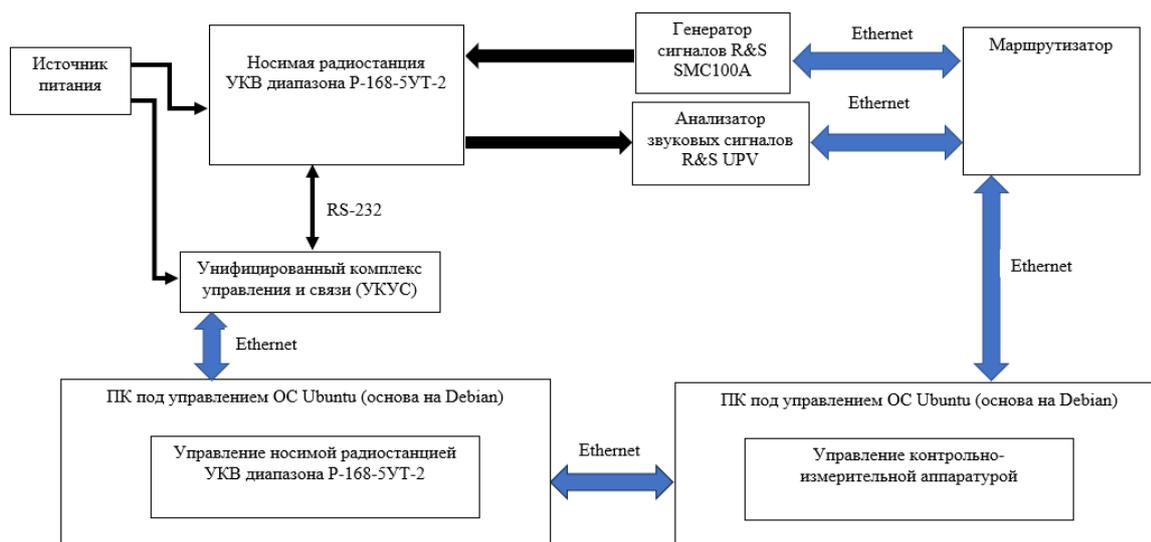


Рисунок 1. Структурная схема автоматизированного диагностического комплекса

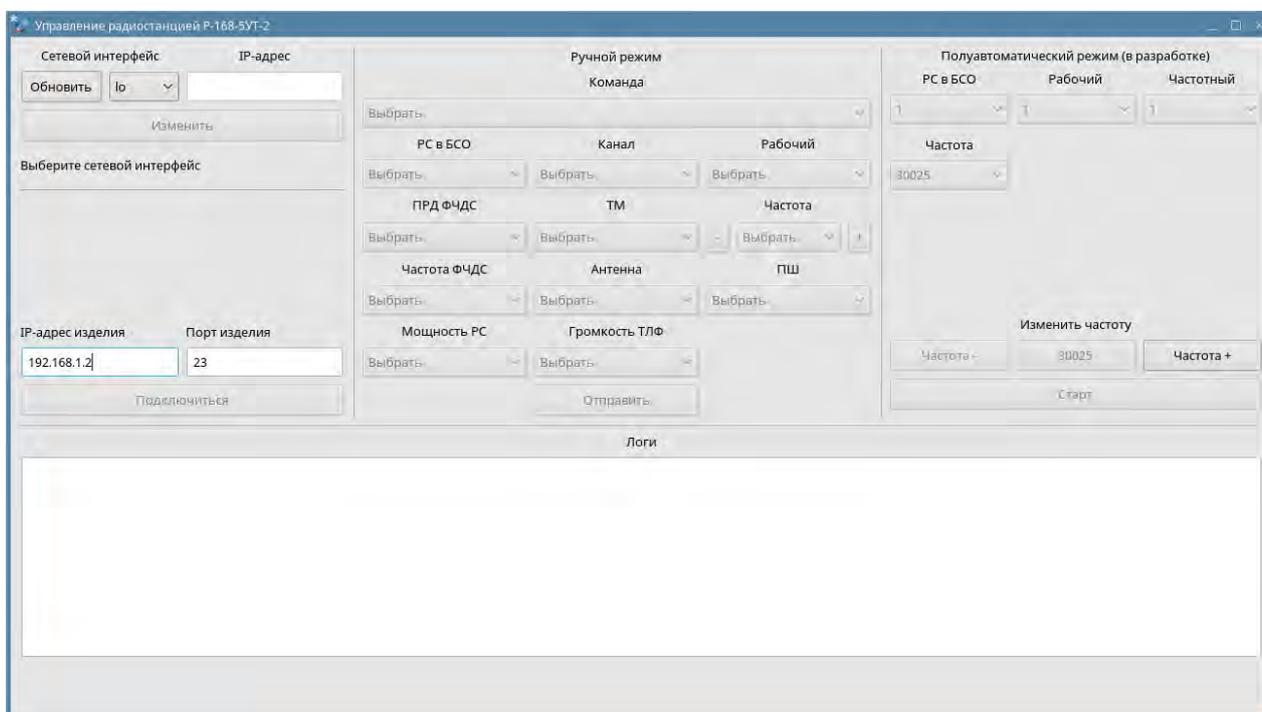


Рисунок 2. Интерфейс программы управления радиостанцией P-168-5UT-2

В программе устанавливается канал управления через УКУС (в нашем случае канал 2). Для измерения чувствительности приемника необходимо выбрать команды для настройки канала связи (10-я команда), выбора частного канала (11-я команда) и для оперативной смены частоты (14-я команда). Также возможна работа в полуавтоматическом режиме, когда осуществляется автоматическая настройка радиостанции в требуемый режим с возможностью автоматического переключения частоты.

На рисунке 3 приведен интерфейс программы управления контрольно-измерительной аппаратуры Rohde & Schwarz (генератор сигналов R&S SMC100A и анализатор звуковых сигналов R&S UPV).

Программа позволяет удаленно настраивать генератор сигналов на формирование аналогового сигнала с частотной модуляцией с заданными параметрами. Также программа позволяет проводить настройку анализатора звуковых сигналов R&S UPV в режим измерения уровня SINAD. Дос-

тупно режим ручного и полуавтоматизированного управления. Ручной режим имитирует нажатие кнопок приборов. При нажатии соответствующих кнопок в интерфейсе управляющей программ в соответствующий прибор передается SCPI-команда настройки. В полуавтоматическом режиме отправляются SCPI-команды по заранее заданному сценарию измерения.

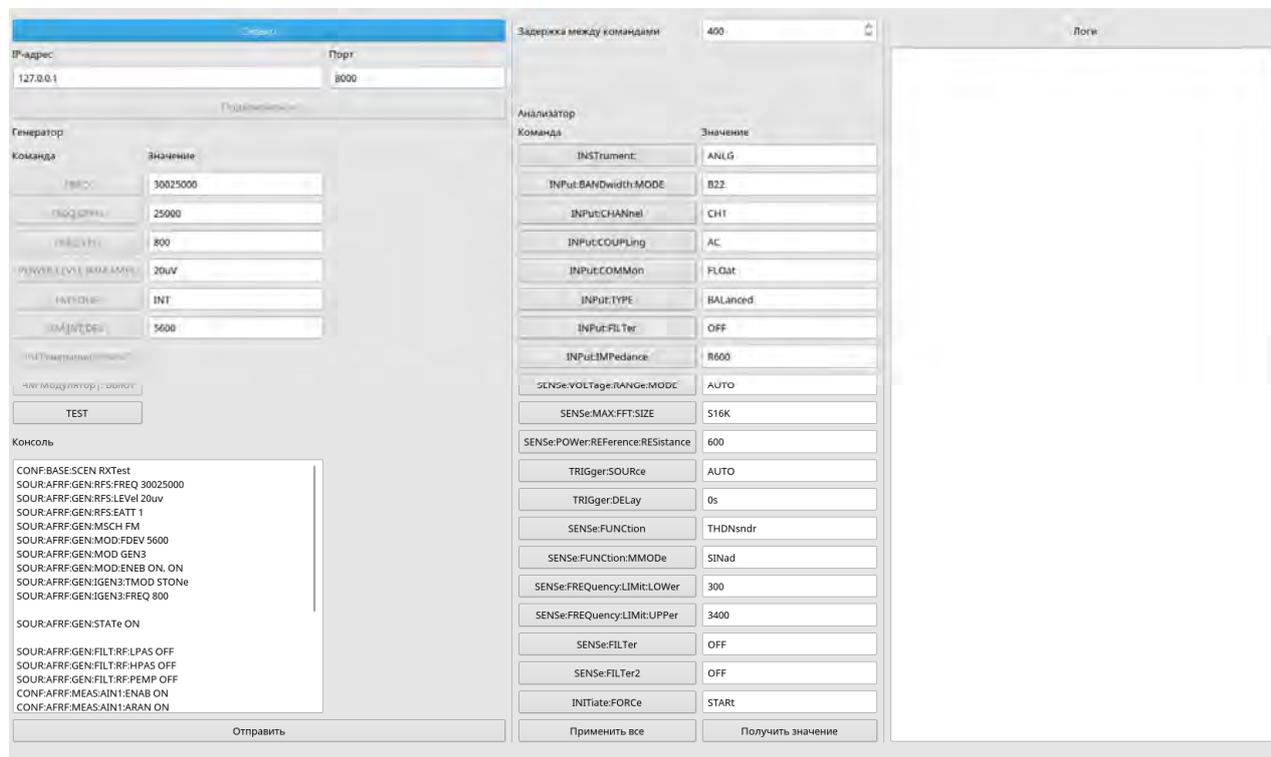


Рисунок 3. Интерфейс программы управления контрольно-измерительной аппаратуры Rohde & Schwarz (генератор сигналов R&S SMC100A и анализатор звуковых сигналов R&S UPV)

Описание модернизированного автоматизированного диагностического комплекса

Возможности ранее разработанного комплекса ограничены. В соответствующей конфигурации комплекс способен проводить измерения чувствительности приемников различных комплексов связи в ручном и полуавтоматическом режиме. Для расширения возможностей автоматизированного комплекса принято решение по изменению его конфигурации. На рисунке 4 приведена структурная схема модернизированного автоматизированного диагностического комплекса.

В новой версии комплекс состоит из компьютера управления контрольно-измерительной аппаратуры (тестер средств радиосвязи R&S CMA-180 и источник питания постоянного тока EA-PS 9080-50 1U), компьютера-сервера, сетевого маршрутизатора, источника питания (непрограммируемый) и объекта диагностирования. В качестве объекта диагностирования взята носимая радиостанция УКВ-диапазона P-168-5УТ-2. Управление радиостанцией осуществляется, как и предыдущей версии комплекса, с помощью УКУС и разработанной программы управления радиостанцией, интерфейс которой приведен на рисунке 2.

Тестер средств радиосвязи R&S CMA-180 по своим функциональным возможностям может объединять возможности генератора сигналов R&SSMC100A и анализатора звуковых сигналов R&SUPV. Помимо изменения чувствительности тестер может измерять выходную мощность, девиацию частоты.

Для каждого прибора разработаны программы автоматизированного управления. На рисунке 5 приведен интерфейс программы автоматизированного управления тестером средств радиосвязи R&SCMA-180 при измерении чувствительности.

Программа позволяет удаленно настраивать тестер в режим проведения измерений приемной части средства радиосвязи, а именно для измерения чувствительности приемника радиостанции P-168-5УТ-2. Программа позволяет настраивать генераторную часть прибора (для формирования сигнала с частотной модуляцией с необходимыми параметрами) и анализаторную часть (настройка анализатора в режим измерения уровня SINAD-сигнала).

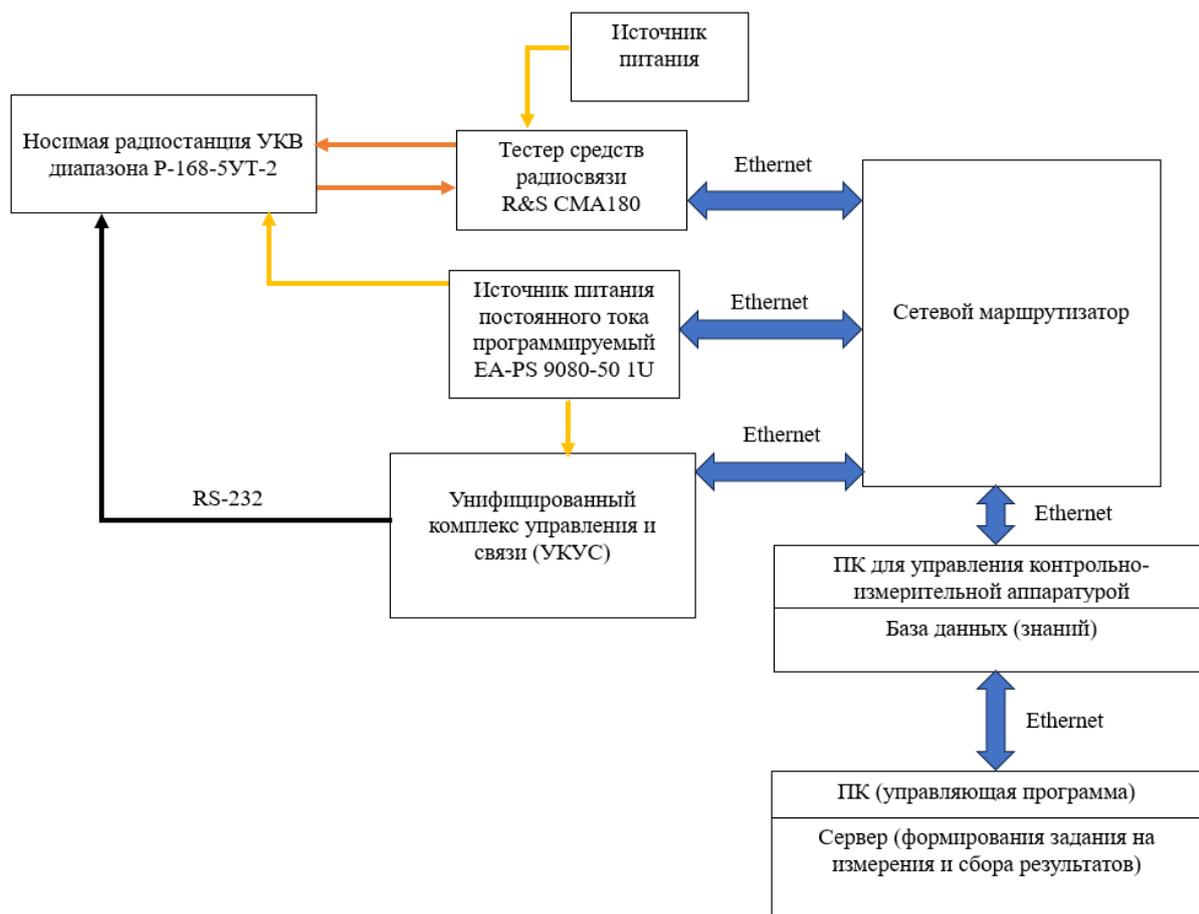


Рисунок 4. Структурная схема модернизированного автоматизированного диагностического комплекса

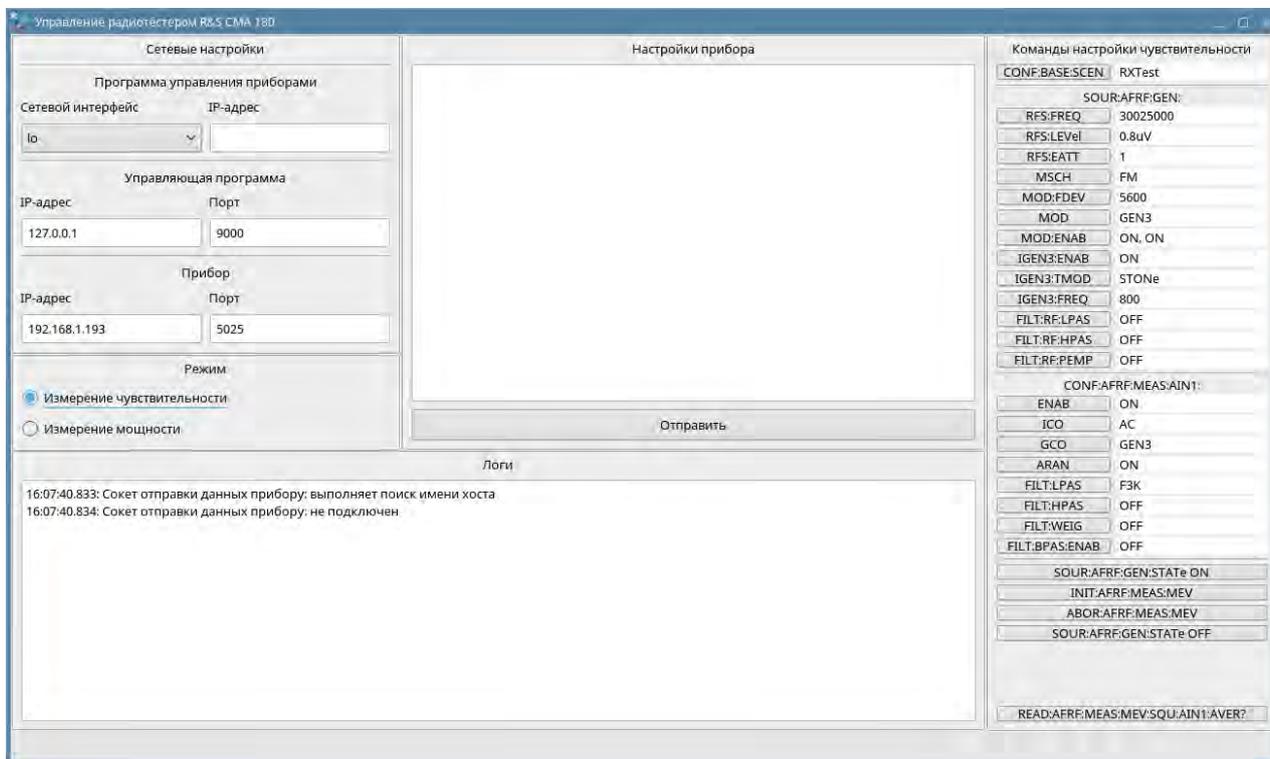


Рисунок 5. Интерфейс программы управления тестером средств радиосвязи R&S CMA-180 в режиме измерения чувствительности

Программа позволяет работать в двух режимах. Первый режим – ручное управление тестером, имитация нажатия кнопок лицевой панели прибора. Второй режим – режим автоматического проведения измерения. Во втором режиме проводятся измерения по заданному сценарию (методике проведения измерения, которое формирует компьютер-сервер и передает на компьютер управления контрольно-измерительной аппаратуры). Сценарий состоит в том, чтобы провести измерения чувствительности в заданном частотном диапазоне, который составляет 30,025...107,975 МГц с шагом 0,6 МГц. Измерение начинается при уровне сигнала 0,8 мкВ на одной из частот (например, 30,025 МГц). Далее программа методом дихотомии ищет, на каком уровне сигнала SINAD будет примерно равен 12 дБ. Полученное значение уровня сигнала, при котором уровень SINAD равен 12 дБ, записывается в таблицу, которая передается в компьютер-сервер.

На рисунке 6 приведен интерфейс программы автоматизированного управления тестером средств радиосвязи R&SCMA-180 при измерении мощности.

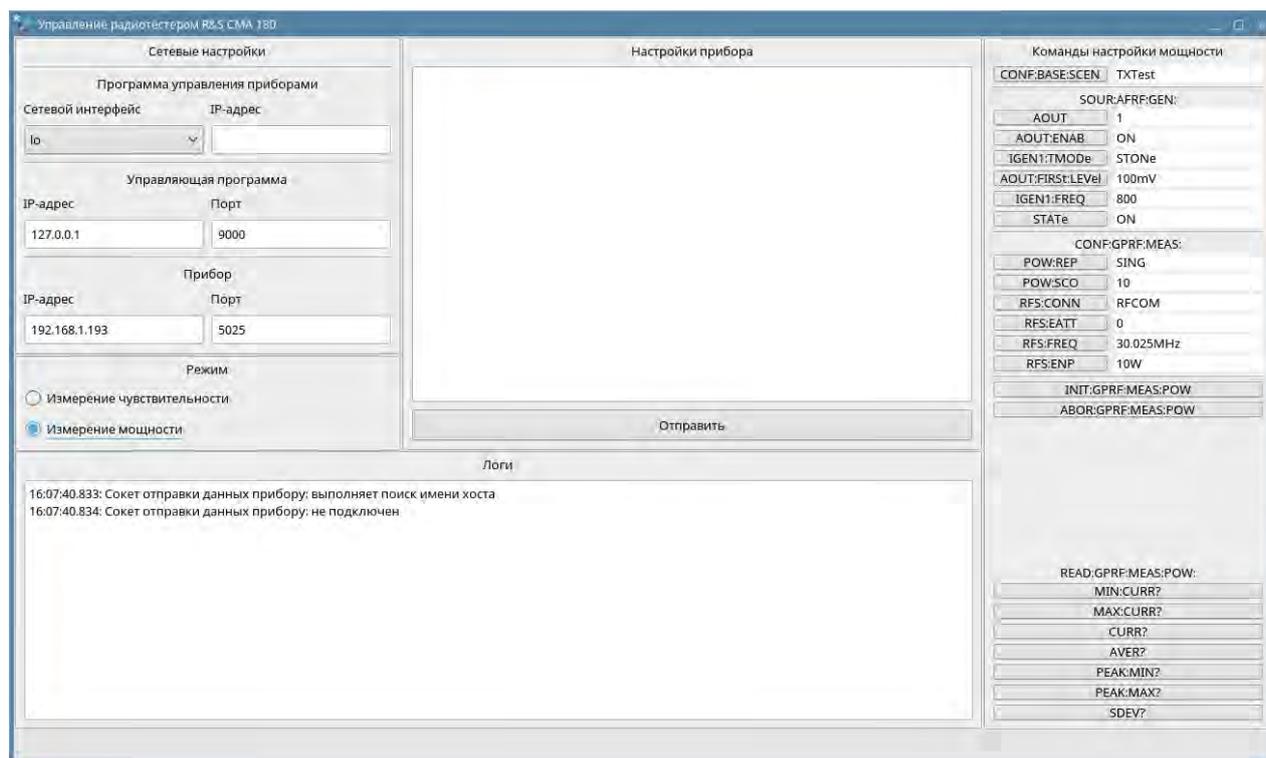


Рисунок 6. Интерфейс программы управления тестером средств радиосвязи R&S CMA-180 в режиме измерения мощности

Программа позволяет удалено настраивать тестер в режим проведения измерений передающей части средства радиосвязи, а именно для измерения выходной мощности передатчика радиостанции Р-168-5УТ-2. Программа позволяет настраивать генераторную часть прибора (для формирования сигнала с частотной модуляцией с необходимыми параметрами) и анализаторную часть (настройка анализатора в режим измерения мощности сигнала). Программа позволяет работать в двух режимах. Первый режим – ручное управление тестером, имитации нажатия кнопок лицевой панели прибора. Второй режим – режим автоматического проведения измерения. Во втором режиме проводятся измерения по заданному сценарию (методике проведения измерения, которое формирует компьютер-сервер и передает на компьютер управления контрольно-измерительной аппаратуры).

Также разработана программа для автоматизированного управления источником питания постоянного тока EA-PS 9080-50 1U. На рисунке 7 приведен интерфейс программы управления источником питания постоянного тока EA-PS 9080-50 1U.

Программа позволяет настраивать источник питания как в ручном режиме (имитация нажатия кнопок прибора), так и автоматическом режиме на формирование питания с заданными параметрами.

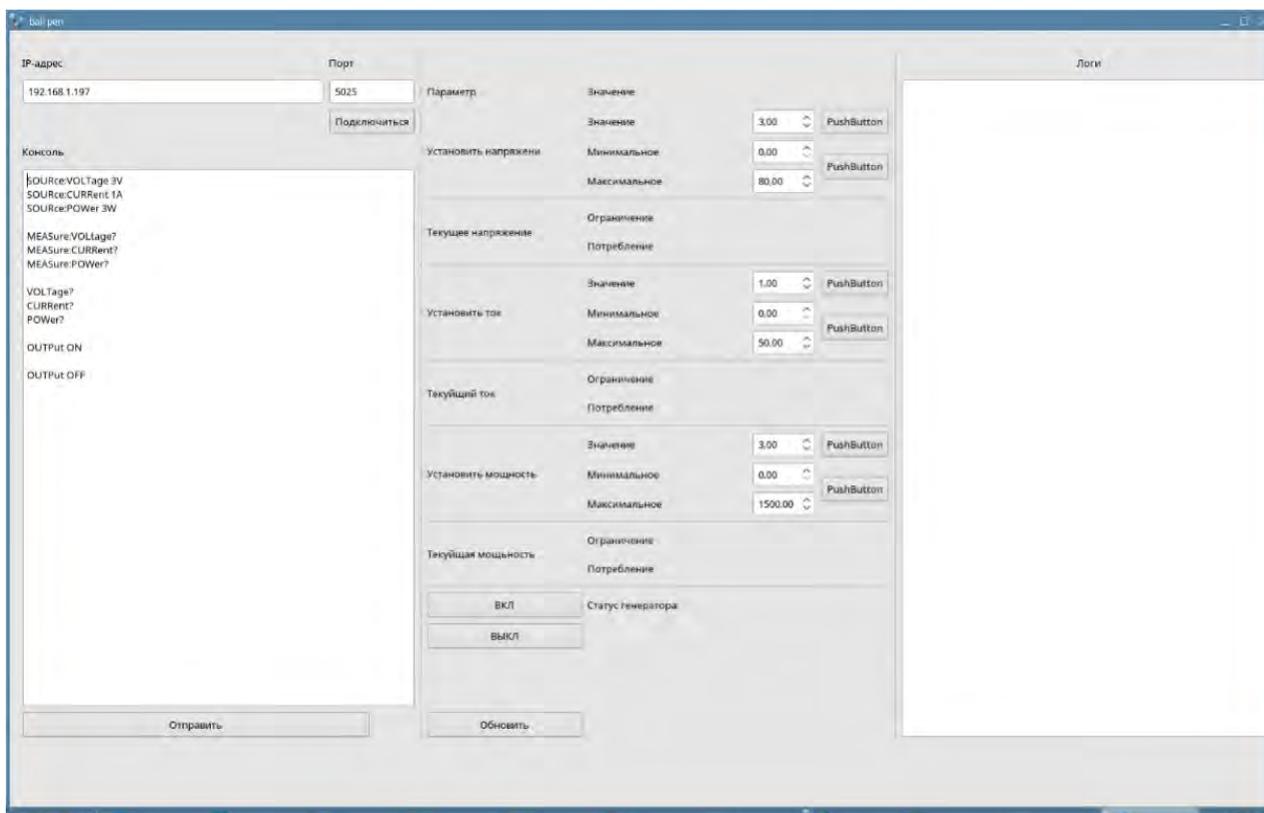


Рисунок 7. Интерфейс программы управления источником питания постоянного тока EA-PS 9080-50 1U

Заключение

В работе приведена модернизация автоматизированного диагностического комплекса. Комплекс состоит из тестера средств радиосвязи R&S CMA-180, компьютера управления контрольно-измерительной аппаратурой, компьютера управления радиостанцией, источника питания, источника питания постоянного тока, программируемого EA-PS 9080-50 1U и объекта диагностирования. Также приведены интерфейсы программ для управления контрольно-измерительной аппаратурой.

Список литературы и источников

1. Пушкарев, М. С. Интернет вещей: Понятие и значение для формирования правовой основы цифровой трансформации экономики // Вопросы российского и международного права. – 2018. – Т. 8, № 1А. – С. 16–27. – Текст : непосредственный.
2. Nistyuk, A. (2013) Mathematical Base of Technology of Tactile Feedback in Devices with the Touch Screen: 2013 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON): Proc. Krasnoyarsk: Siberian Federal University. Russia, Krasnoyarsk, September 12-13, 2013. IEEE Catalog Number: CFP13794-CDR. ISBN 978-1-4799-1060-1. Digital Object Identifier: 10.1109/SIBCON.2013.6693612, pp. 138-142.
3. Построение системы контроля и тестирования радиосистем как элемента IoT / В. В. Хворенков, Р. А. Хатбуллин, А. И. Нистюк, А. А. Зыкин // Вестник ИжГТУ. – 2018. – Т. 21, № 3. – С. 155–165. – Текст : непосредственный.
4. Зыкин, А. А. Разработка автоматизированного диагностического комплекса // Вектор развития. – 2023. – № 12. – С. 27–32. – Текст : непосредственный.
5. Zykin, A. A., Khvorenkov, V. V., Boyarshinov, M. A., Khatbullin, R. A. (2020) Automated Control System and Test Radiosystems Based on Equipment Company Rohde & Schwarz // Сборник трудов всероссийской научно-технической конференции «Информационные технологии в науке, промышленности и образовании». – Ижевск : Изд-во УИР ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2020. – С. 365–370. – Текст : непосредственный.

А. С. Каргашин, бакалавр, инженер-программист
cargashin.al@yandex.ru
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, КБ «Радиосвязь» – филиал АО «Сарапульский радиозавод»
Ижевск, Удмуртская Республика, Россия

МЕТОДИКА СНЯТИЯ ТРАФИКА С ПРИЕМОПЕРЕДАЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Аннотация. В статье показана методика снятия трафика. Рассматривается способ снятия трафика для последующего анализа. Уделено внимание инструментам и программным средствам, позволяющим эффективно осуществлять сбор и анализ трафика, а также выявлять и устранять возможные проблемы в работе.

Ключевые слова: снятие трафика, анализ информации, Wireshark, реверс-инжиниринг.

A.S. Kargashin, Bachelor, Software Engineer
cargashin.al@yandex.ru
Kalashnikov ISTU, KB “Radiosvyaz” - Filial Branch of JSC “Sarapulsky Radiozavod”
Izhevsk, Udmurt Republic, Russia

METHODS OF TRANSCEIVERS DATA TRAFFIC READOUT

Abstract. The author of the paper introduces the procedure of data traffic readout. A method of data traffic readout for subsequent analysis is considered. Attention is paid to soft- and hardware tools that allowing carrying out effective collecting and the analysis of data traffic, as well as identifying and eliminating possible problems in the course of operation.

Keywords: traffic readout, information analysis, Wireshark, reverse engineering.

Введение

Снятие трафика с приемопередающих устройств является важным этапом анализа и оптимизации работы. Этот процесс позволяет получить информацию о передаваемых данных, а также выявить возможные проблемы в работе сети.

Для снятия трафика с приемопередающих устройств используются специализированные программные и аппаратные средства, которые позволяют осуществлять мониторинг и анализ сетевого трафика. Они позволяют собирать информацию об объеме передачи данных, типах передаваемых пакетов, а также о качестве и стабильности соединений.

Снятие трафика с приемопередающих устройств

В данной статье рассмотрен перехват сетевого трафика с помощью сниффера Wireshark с целью выявления необходимой информации при обмене пульта и приемопередающего устройства.

Wireshark – это программа, разработанная The Wireshark Team, которая имеет лицензию GNU General Public License и является свободно распространяемым продуктом. Данная программа поддерживает разбор большого количества различных сетевых протоколов, а также предоставляет возможность сортировки и фильтрации трафика [1].

Для снятия трафика с приемопередающих устройств используется персональный компьютер с установленным программным обеспечением Wireshark, виртуальные машины с пультами управления приемопередающих устройств (установленные на PC), а также коммутатор MikroTik для организации работы сети передачи данных был собран стенд. Схема стенда показана на рисунке 1.

На рисунке 1 показаны два приемопередающих устройства (ППУ № 1, 2), коммутатор MikroTik, персональный компьютер (PC) и две виртуальные машины с пультами управления приемопередающих устройств (пульт ППУ № 1/№ 2).

На рисунке 2 представлено стартовое меню сетевого анализатора Wireshark.

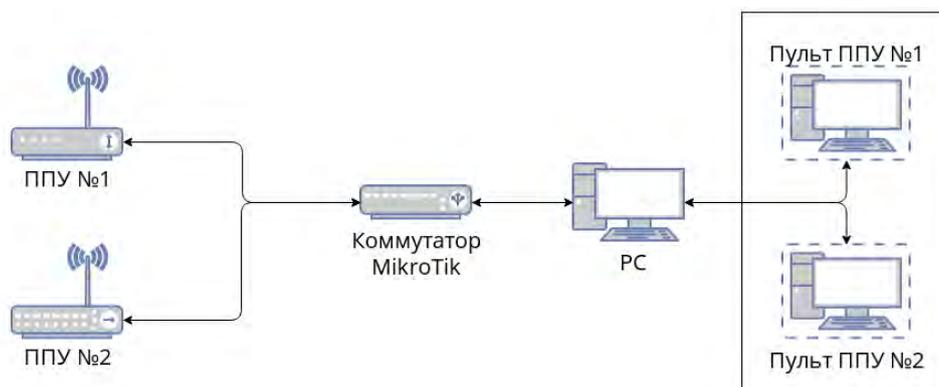


Рисунок 1. Схема подключения

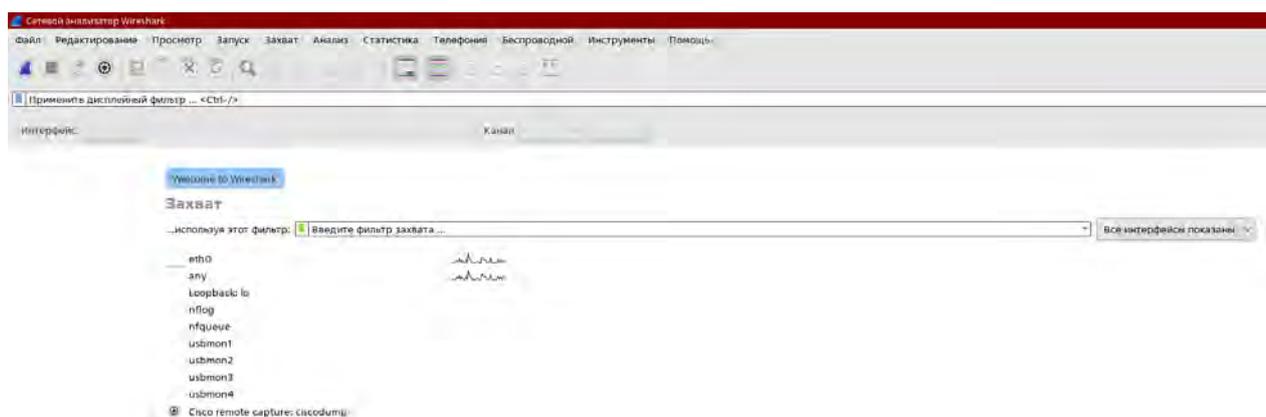


Рисунок 2. Стартовое меню анализатора Wireshark

Данное окно является основной рабочей зоной пользователя. В нем расположены доступные интерфейсы для захвата. Также имеется возможность задать фильтр захвата (рис. 3) для отсеивания ненужного трафика.



Рисунок 3. Интерфейсы и поле ввода фильтра захвата

Помимо инструмента для анализа сетевого трафика необходимо обеспечить связь между устройствами. В данном случае для организации сети связи используется коммутатор MikroTik.

Первым этапом для перехвата трафика необходимо настроить пул IP-адресов для всех устройств в сети. Используемые IP-адреса указаны в таблице.

Пул IP-адресов для всех устройств в сети

Название устройства	IP-адрес
Персональный компьютер	192.168.20.200/24
	192.168.15.200/24
Приемопередающее устройство № 1	192.168.20.100/24
Приемопередающее устройство № 2	192.168.15.100/24
Пульт управления приемопередающего устройства №1	192.168.20.100/24
Пульт управления приемопередающего устройства №2	192.168.15.10/24
Коммутатор MikroTik	192.168.20.50/24
	192.168.15.50/24

У каждого приемопередающего устройства имеется свой пульт управления. Пульта управления виртуальные, установлены и запускаются в системе виртуализации Virtual Box. Для захвата трафика при обмене между пультом и приемопередающим устройством на компьютере задается две подсети. Схема подключения устройств представлена на рисунке 4.

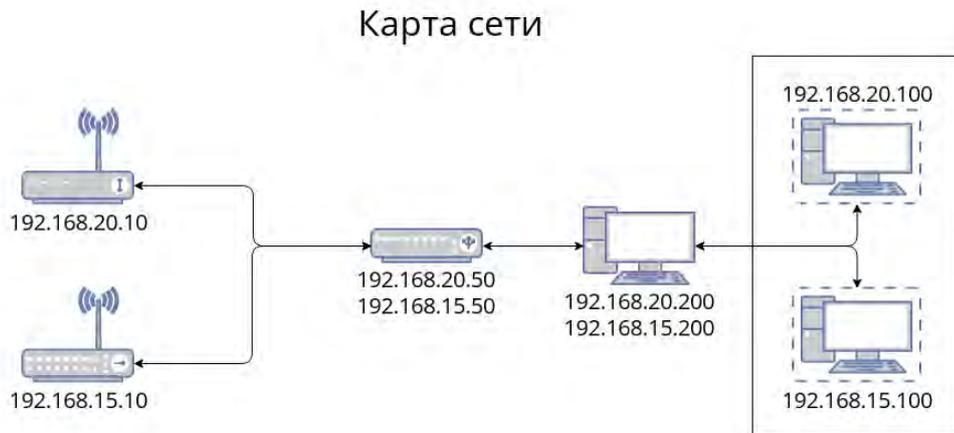


Рисунок 4. Карта сети, схема подключения устройств

После успешного завершения первого этапа, по настройке и подключения стенда, можно переходить ко второму этапу, снятие логов.

Для корректного снятия логов, необходимо на компьютере правильно настроить IP-адреса (указанны в таблице), далее необходимо перейти в сетевой анализатор Wireshark, после чего выбрать интерфейс захвата eth0 (рис. 5) [2].



Рисунок 5. Eth0

После выбора интерфейса в главном рабочем окне пользователя будет выводиться трафик захвата из eth0 (рис. 6).

The screenshot shows the main Wireshark window with a list of captured packets. The interface is set to "Интерфейс" (Interface) and "Канал" (Channel). The packet list table is as follows:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
2727	2024-03-22 12:36:06,625683535	192.168.22.112	224.0.0.251	MDNS	76	Standard query 0x0000 A desk-stud4.local, "QM" question
2728	2024-03-22 12:36:06,625999545	fe80::bfd7:2901:36e4:40ea	ff02::fb	MDNS	96	Standard query 0x0000 A desk-stud4.local, "QM" question
2729	2024-03-22 12:36:06,625999915	fe80::fc5e:9259:7870:54af	ff02::fb	MDNS	106	Standard query response 0x0000 A 192.168.22.123
2730	2024-03-22 12:36:06,626424141	192.168.22.112	224.0.0.251	MDNS	76	Standard query 0x0000 AAAA desk-stud4.local, "QM" question
2731	2024-03-22 12:36:06,626448934	fe80::bfd7:2901:36e4:40ea	ff02::fb	MDNS	96	Standard query 0x0000 AAAA desk-stud4.local, "QM" question
2732	2024-03-22 12:36:06,626992435	fe80::bfd7:2901:36e4:40ea	ff02::1:3	LLMNR	90	Standard query 0xc75a A desk-stud4
2733	2024-03-22 12:36:06,626992811	192.168.22.112	224.0.0.252	LLMNR	70	Standard query 0xc75a A desk-stud4
2734	2024-03-22 12:36:06,627195166	fe80::bfd7:2901:36e4:40ea	ff02::1:3	LLMNR	90	Standard query 0x0880 AAAA desk-stud4
2735	2024-03-22 12:36:06,627195298	192.168.22.112	224.0.0.252	LLMNR	70	Standard query 0x0880 AAAA desk-stud4
2736	2024-03-22 12:36:06,628691171	fe80::fc5e:9259:7870:54af	ff02::fb	MDNS	118	Standard query response 0x0000 AAAA fe80::fc5e:9259:7870:54af
2737	2024-03-22 12:36:06,629204092	fe80::fc5e:9259:7870:54af	ff02::fb	MDNS	106	Standard query response 0x0000 A 192.168.22.123
2738	2024-03-22 12:36:06,629760581	fe80::fc5e:9259:7870:54af	ff02::fb	MDNS	118	Standard query response 0x0000 AAAA fe80::fc5e:9259:7870:54af
2739	2024-03-22 12:36:06,630707249	192.168.22.123	224.0.0.251	MDNS	98	Standard query response 0x0000 AAAA fe80::fc5e:9259:7870:54af
2740	2024-03-22 12:36:06,631342817	192.168.22.123	224.0.0.251	MDNS	86	Standard query response 0x0000 AAAA fe80::fc5e:9259:7870:54af
2741	2024-03-22 12:36:06,632062420	192.168.22.123	224.0.0.251	MDNS	98	Standard query response 0x0000 AAAA fe80::fc5e:9259:7870:54af
2742	2024-03-22 12:36:06,681001343	192.168.22.110	224.0.0.251	MDNS	76	Standard query 0x0000 A desk-stud4.local, "QM" question
2743	2024-03-22 12:36:06,681513007	fe80::bfd7:2901:36e4:40ea	ff02::fb	MDNS	96	Standard query 0x0000 A desk-stud4.local, "QM" question

Рисунок 6. Трафик с интерфейса eth0

Для фильтрации трафика и вывода необходимых данных нужно в поле применения дисплейного фильтра ввести `udp.stream` (рис. 7) для вывода всех `udp`-пакетов, которые перехватываются во время захвата трафика с интерфейса `eth0`.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
3604	2024-04-01 15:47:19,674663307	192.168.22.184	192.168.22.255	UDP	82	61646 → 1947 Len=40
3407	2024-04-01 15:47:15,670950260	192.168.22.184	255.255.255.255	UDP	82	61646 → 1947 Len=40
3385	2024-04-01 15:47:14,334540255	192.168.22.102	192.168.22.255	UDP	82	63545 → 1947 Len=40
3288	2024-04-01 15:47:10,142736410	192.168.22.112	255.255.255.255	UDP	79	54555 → 1124 Len=37
3232	2024-04-01 15:47:09,032130539	192.168.22.112	255.255.255.255	UDP	60	51143 → 3289 Len=15
3202	2024-04-01 15:47:07,995471684	192.168.22.112	255.255.255.255	UDP	60	63812 → 3289 Len=15
3094	2024-04-01 15:47:03,087248983	fe80::8a65:c23f:e161:6160	ff02::c	UDP	686	62432 → 3702 Len=624
3093	2024-04-01 15:47:02,890017656	192.168.22.40	239.255.255.250	UDP	666	62431 → 3702 Len=624
3053	2024-04-01 15:47:01,087220860	fe80::8a65:c23f:e161:6160	ff02::c	UDP	686	62432 → 3702 Len=624
3032	2024-04-01 15:47:00,889986732	192.168.22.40	239.255.255.250	UDP	666	62431 → 3702 Len=624

Рисунок 7. Urd-фильтр

После захвата и вывода UDP-пакетов, есть возможность проанализировать пакеты и найти всю необходимую информацию.

Третьим, заключительным, этапом методики являются исследования перехваченных пакетов и анализ полученных данных.

Для просмотра информации, передаваемой в пакетах, необходимо два раза нажать на нужный пакет (рис. 8) или исследовать весь поток информации, открыв окно следования UDP-поток (рис. 10) [3].

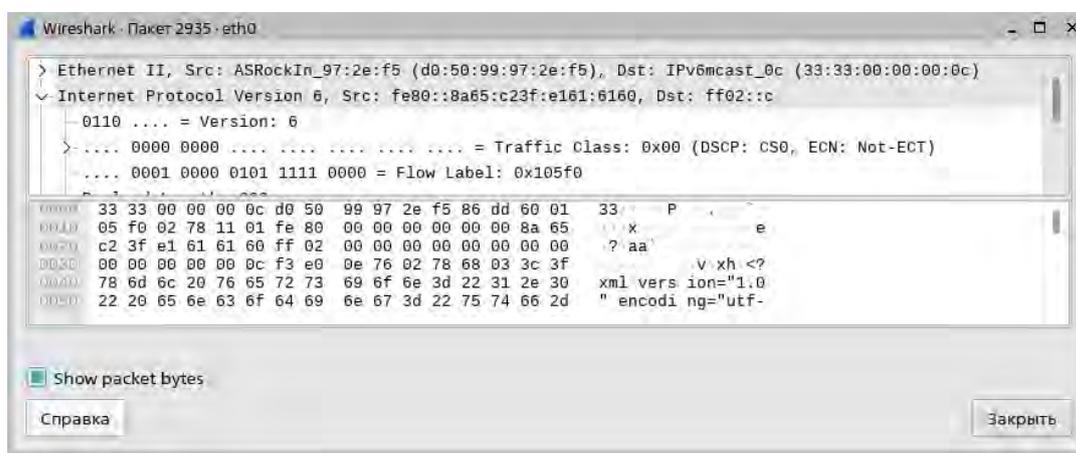


Рисунок 8. Следовать UDP Поток

Для открытия окна «Следовать UDP Поток» необходимо нажать правой кнопкой мыши на любой нужный пакет с IP-адресом и в появившемся меню навести курсор мыши на пункт «Следовать», после чего появится подменю, в котором будет пункт «UDP Поток» (рис. 9) необходимо выбрать его. Также у данного пункта присутствует сочетание горячих клавиш (`Ctrl+Alt+Shift+U`), при нажатии которых окно откроется сразу.

В самом окне следования `udp`-поток имеется фильтр направления диалога (выбор адреса отправителя и получателя), имеется возможность выбора формата вывода данных, а также поиск по ключевым словам и поле выбора потока (рис. 12).

При выводе данных в диалоговое окно они могут отображаться нечитабельно из-за используемой кодировки (рис. 11).

Для декодирования в читабельный вид необходимо воспользоваться любым универсальным декодером, в котором нужно выбрать читаемую кодировку (рис. 12).

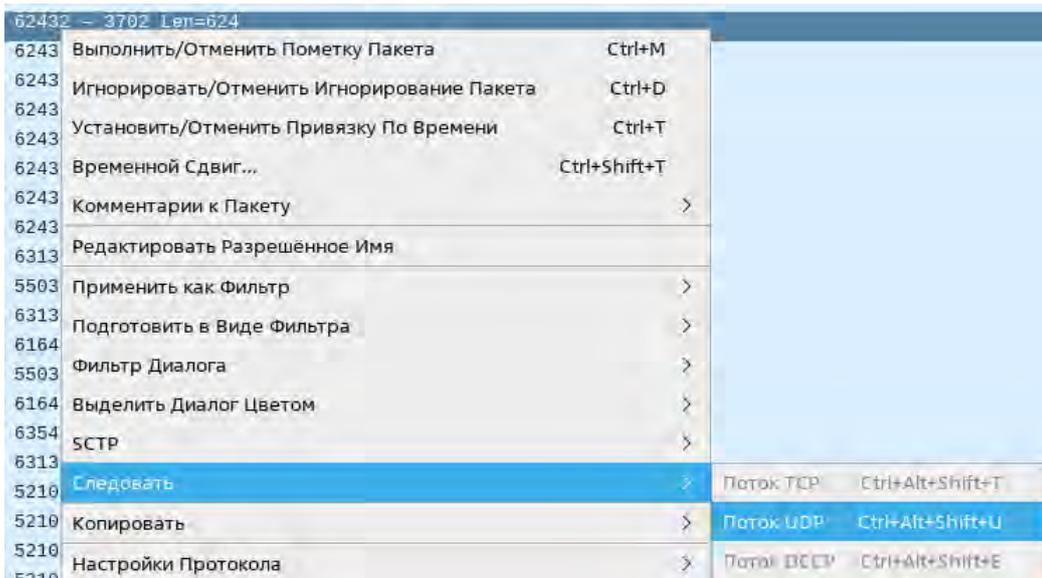


Рисунок 9. Следовать UDP Поток

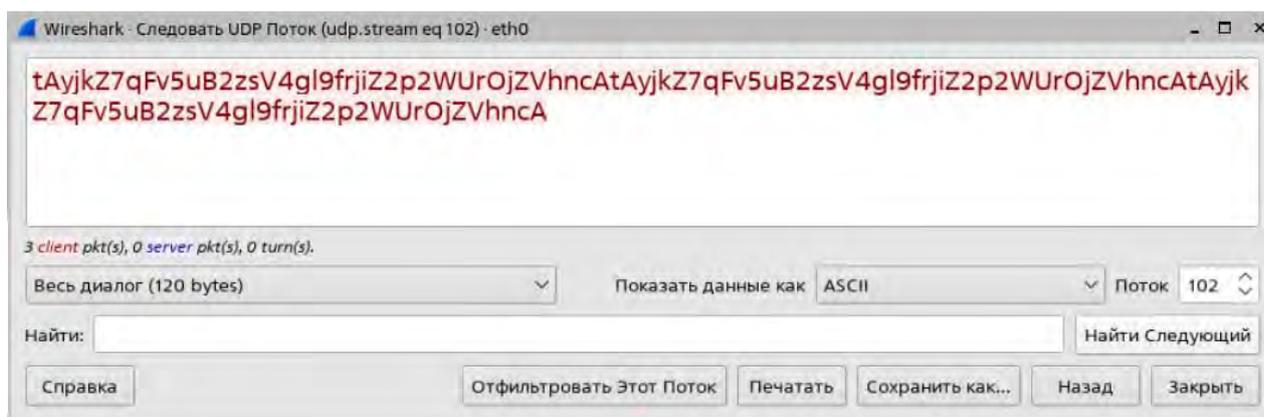


Рисунок 10. Следовать UDP Поток (udp.stream)



Рисунок 11. Закодированная информация

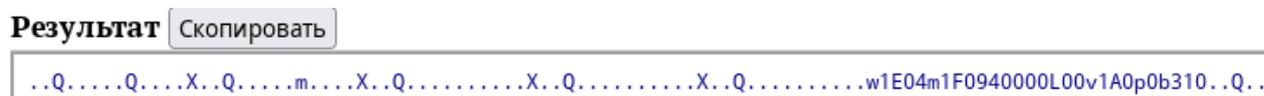


Рисунок 12. Декодированная информация

После получения необходимого сообщения можно переходить к процессу анализа.

Заключение

Рассмотренная в статье методика позволяет получить информацию о передаваемых и принимаемых данных, что может быть полезно для различных целей, таких как анализ сетевого трафика, обнаружение аномалий и угроз безопасности, а также для разработки и тестирования новых протоколов и технологий.

Данная методика может быть адаптирована под конкретные требования и условия, что делает ее универсальным инструментом для снятия трафика с различных приемопередающих устройств.

Список литературы и источников

1. Wireshark. – Текст : электронный. – URL: <http://www.wireshark.org/> (дата обращения 28.03.2024).
2. Л4. Дополнительные возможности Wireshark. – Текст : электронный. – URL: [https://www.kaznu.kz/content/files/news/folder23191/Лекция 4 rus.pdf](https://www.kaznu.kz/content/files/news/folder23191/Лекция_4_rus.pdf) (дата обращения 26.03.2024).
3. Маркин, Ю. В., Санаров, А. С. Обзор современных инструментов анализа сетевого трафика. – Текст : электронный. – URL: http://www.ispras.ru/preprints/docs/prep_27_2014.pdf (дата обращения 28.03.2024).

А. Н. Копысов, кандидат технических наук, доцент, главный специалист по радиотехнике
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, КБ «Радиосвязь» – филиал АО «Сарапульский радиозавод»
Ижевск, Удмуртская Республика, Россия

А. С. Колотов, инженер-конструктор
КБ «Радиосвязь» – филиал АО «Сарапульский радиозавод»
Ижевск, Удмуртская Республика, Россия

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ НА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЕ

Аннотация. В данной статье приведен анализ результатов моделирования распределения плотности тока и напряжения в четырехслойной печатной плате панели управления. Анализ выполнен с помощью программного расширения PDN Analyzer, помогающего быстро и наглядно оценить эффективность трассировки питания платы.

Ключевые слова: плотность тока, печатные платы, Altium Designer, PDN analyzer, электронные компоненты.

A.N. Kopysov, Chief Specialist in Radio Lines
Kalashnikov ISTU, KB “Radiosvyaz” - Filial Branch of JSC “Sarapulsky Radiozavod”
Izhevsk, Udmurt Republic, Russia
A.S. Kolotov, Design Engineer
KB “Radiosvyaz” - Filial Branch of JSC “Sarapulsky Radiozavod”
Izhevsk, Udmurt Republic, Russia

MODELING OF DISTRIBUTION OF CURRENT AND VOLTAGE DENSITY ON A PRINTED CIRCUIT BOARD

Abstract. This article provides an analysis of the results of modeling the distribution of current and voltage density in a four-layer printed circuit board of the control panel. The analysis was performed using the PDN analyzer software extension. It allows quickly and clearly evaluate the effectiveness of board power tracing.

Keywords: current density, printed circuit boards, Altium Designer, PDN analyzer, electronic components.

Введение

Повышение быстродействия цифровых и рабочих частот аналоговых микросхем, тенденция к миниатюризации компонентов, рост плотности монтажа способствуют еще большему возникновению проблем в работе печатных плат. Эти проблемы могут возникать в обеспечении целостности сигналов, питания или в сфере ЭМС. Важно осознать, чем раньше они будут найдены и устранены на этапе проектирования платы, тем меньше окажутся затраты на этапе физического производства изделия.

В данной статье предлагается использовать расширение PDN Analyzer от Altium Designer в качестве дополнительного инструмента для проверки надежности печатного узла перед изготовлением реальных образцов. PDN analyzer относится к группе инструментов моделирования посттопологического анализа. С помощью данного инструмента можно выполнить анализ цепи питания, произвести оценку стабильности напряжения, оценить качество системы заземления и идентифицировать области с высокими возвратными токами, что может привести к помехам и нежелательному поведению. Обычно мы предполагаем, что цепи питания и возвратных токов обладают нулевым сопротивлением, что неверно. При использовании относительно высоких токов даже небольшое сопротивление в цепях питания и возвратных токах может привести к значительному паразитному потреблению мощности и падению напряжения [1]. Еще один момент, на который

стоит обратить внимание, – это количество переходных отверстий в системе питания печатной платы. При малом количестве переходных отверстий возникает большое падение напряжения и потеря мощности. С другой стороны, если переходных отверстий слишком много, они занимают пространство для трассировки других цепей. Стоит отметить, что средства моделирования печатных плат остаются ключевым инструментом для инженеров в области электронного проектирования, помогая им создавать более эффективные и надежные устройства.

Подготовка к исследованию

Выполним анализ печатной платы панели управления (ПУ), внешний вид которой представлен на рисунке 1. Она включает в себя такие узлы, как управляющий микроконтроллер, модули RS 232, Bluetooth, GNSS, часы реального времени, органы управления в виде кнопок, дисплей для отображения графической информации и др. Для работы платы требуются напряжения трех уровней: 3.3, 5 и 7.8 В.

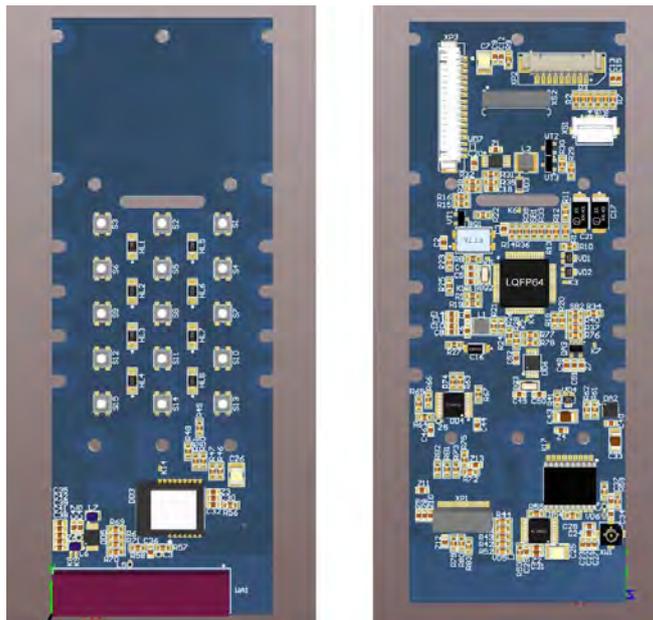


Рисунок 1. 3D-модель печатной платы, вид слева – top side, справа – bottom side

Когда сформирован стек слоев и выполнена трассировка печатной платы, можно приступить к настройке симуляции для анализа [2], задав при этом номинальные уровни напряжения/тока и допуски для каждой цепи печатной платы. В таблице перечислены все элементы, подверженные анализу с указанием рабочего напряжения и потребляемого тока (для аналоговых микросхем DA указано выходное напряжение и расчетный ток).

Перечень элементов для анализа

Источник – нагрузка	Поз. обознач.	Наименование	Потребление	
			U, В	I, мА
Н	A1	Приемник навигационный G7A-B1 Neoway	3,3	30
И/Н – 3,3	DA1	LMR61428XMM/NOPB Texas Instruments	12	200*
И/Н – 5,0	DA2	AP7361C-ADJFGE-7 Diodes Incorporated	3,3	500*
И/Н – 8,0	DA3	ST715M33R STMicroelectronics	3,3	85*
Н	DD1	STM32L152RCT6 STMicroelectronics	3,3	100
Н	DD2	TPT3232E-TS3R 3PEAK	3,3	60
Н	DD3	FSC-BT825B Feasycom	3,3	50
Н	DD4	RS2252XTSS16 JIANGSU RUNIC	3,3	5
Н	DD5	MSUSB30 RUI MENG	3,3	5
Н	DD6	MCP79412T-I/MS Microchip Technology	3,3	12
Н	HG1	Индикатор графический WEO012864A WINSTAR	3,3 12,0	300мкА 100
И	XP1	L-KLS1-B0305-425M40-T3R KLS ELECTONIC	–	–

* – ток для источника указан расчетный

Для составления полной карты питания ПП рекомендуется определить тип элемента; это может быть либо источник, либо нагрузка. В случае регуляторов напряжения, они могут одновременно являться нагрузкой и служить источниками для других нагрузочных элементов.

Результаты исследований

Исследуемая печатная плата состоит из четырех слоев и относится к группе многослойных ПП [4]. Результаты анализа приведены для цепи питания 3.3 В линии. На рисунке 2 представлено распределение напряжения и плотности тока.

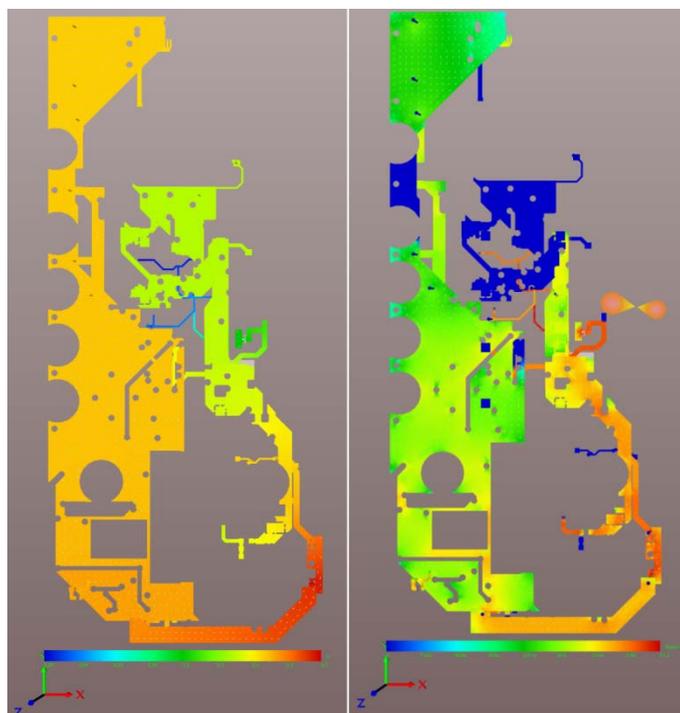


Рисунок 2. Распределение напряжение (слева) и плотности тока (справа)

Распределение напряжения показывает, что падение напряжения на плате ПУ составляет 0,01 В. Распределение плотности тока указывает, что печатная плата имеет две области с повышенной плотностью (рис. 3), к ним относится зона питания управляющего МК и один термобарьер. Максимальная плотность тока составляет $21,3 \text{ А/мм}^2$ (зона питания МК), что не превышает требования. Согласно ГОСТ 53429–2009 допустимая токовая нагрузка на элементы проводящего рисунка для фольгированной меди составляет от 100 до 250 А/мм^2 [5].

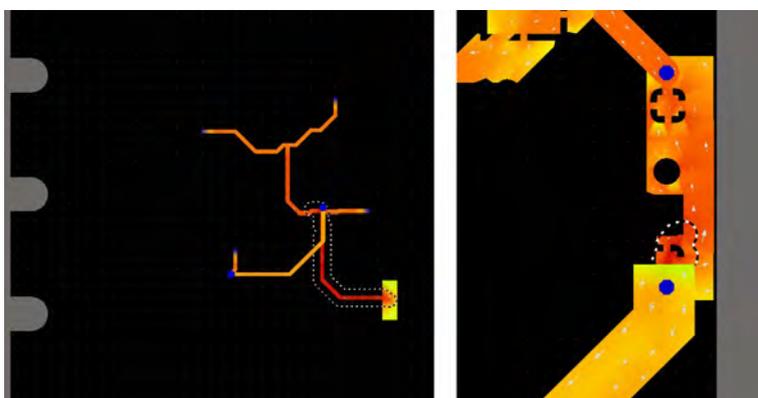


Рисунок 3. Области с повышенной плотностью тока

С помощью PDN Analyzer проанализируем ПП на предмет возникновения петлевого заземления или другие проблемы с шумом. На рисунке 4 показано распределение напряжения в плоскости заземления.

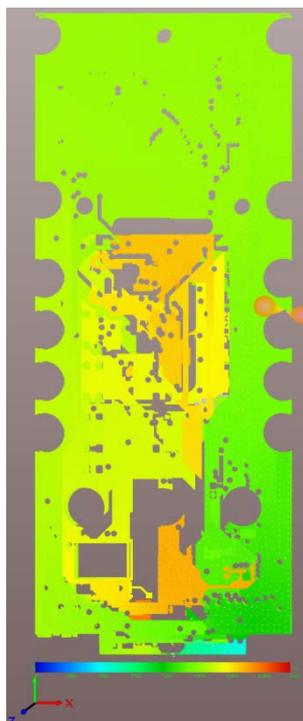


Рисунок 4. Распределение напряжение в плоскости заземления

Если взглянуть на шкалу напряжений в нижней части, мы увидим, что разность напряжений в пределах плоскости заземления составляет 2,5 мВ. Это очень маленькое напряжение, которое не вызовет возникновение петлевого заземления или существенных проблем с шумом.

Заключение

Использование средств моделирования печатных плат остается крайне актуальным в современной электронике по многим причинам.

1. Оптимизация дизайна – использование моделирования позволяет выявить потенциальные проблемы в дизайне до его физической реализации, такие как конфликты трасс, перекрытия компонентов и проблемы с целостностью сигнала и целостностью питания.

2. Оптимизация электромагнитной совместимости (ЭМС) – моделирование позволяет предварительно оценить уровень электромагнитных помех и помогает в оптимизации размещения компонентов и трасс для снижения нежелательных воздействий.

3. Сокращение времени и затрат – предварительное моделирование позволяет сократить количество итераций физического прототипирования, что, в свою очередь, уменьшает время и затраты на разработку.

4. Улучшение производительности и надежности – позволяет оптимизировать параметры питания и распределения сигналов, что в итоге приводит к улучшению производительности и надежности устройства.

Таким образом, средства моделирования печатных плат остаются ключевым инструментом для инженеров в области электронного проектирования.

Список литературы и источников

1. PDN Analyzer. – Текст : электронный. – URL: <https://www.altium.com/ru/documentation/altium-designer/pdn-analyzer-v2?version=22.0> (дата обращения: 12.03.2024).
2. Использование Altium PDN Analyzer и объединение с модельно ориентированным процессом проектирования. – Текст : электронный. – URL: <https://resources.altium.com/ru/p/using-altiums-pdn-analyzer-and-incorporating-simulation-driven-workflow> (дата обращения: 18.03.2024).
3. Алексеев, В. Ф., Горбач, А. П., Хуторная, Е. В. Моделирование распределения плотности тока на печатной плате // SCIENCES OF EUROPE. – 2020. – Т. 1, № 55. – С. 37–41. – Текст : электронный.
4. ГОСТ Р 53386–2009. Платы печатные. Термины и определения. – 2011. – 16 с. – Текст : непосредственный.
5. ГОСТ 53429–2009. Платы печатные. Основные параметры конструкции. – 2010. – 11 с. – Текст : непосредственный.

Д. Г. Мосунов, начальник бюро НИОКР
АО «Сарапульский радиозавод»
Сарапул, Удмуртская Республика, Россия

ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЕ В РАДИОСВЯЗИ

Аннотация. Для передачи данных в современных системах связи используется технология мультиплексирования с ортогональным частотным разделением каналов (OFDM). В настоящее время в системах с OFDM для модуляции и демодуляции сигналов используется преобразование Фурье. В статье рассматриваются преимущества применения вейвлет-преобразования вместо классического преобразования Фурье в части помехоустойчивости передаваемых и принимаемых сигналов в системах радиосвязи использующих технологию OFDM.

Ключевые слова: преобразование Фурье, вейвлет-преобразование, технология OFDM.

D.G. Mosunov, Chief of R&D Office
JSC “Sarapulsky Radiozavod”
Sarapul, Udmurt Republic, Russia

WAVELET TRANSFORM IN RADIO COMMUNICATIONS

Abstract. Modern communication systems use orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) technology for data transmission. Currently, systems with OFDM use the Fourier transform to modulate and demodulate signals. The article discusses the advantages of using the wavelet transform, instead of the classical Fourier transform in terms of noise immunity of transmitted and received signals in radio communication systems using OFDM technology.

Keywords: Fourier transform, wavelet transform, OFDM technology.

Введение

В современных системах беспроводной связи для передачи данных широко применяется технология OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), которая основана на формировании многочастотного сигнала, состоящего из множества поднесущих частот (рис. 1).

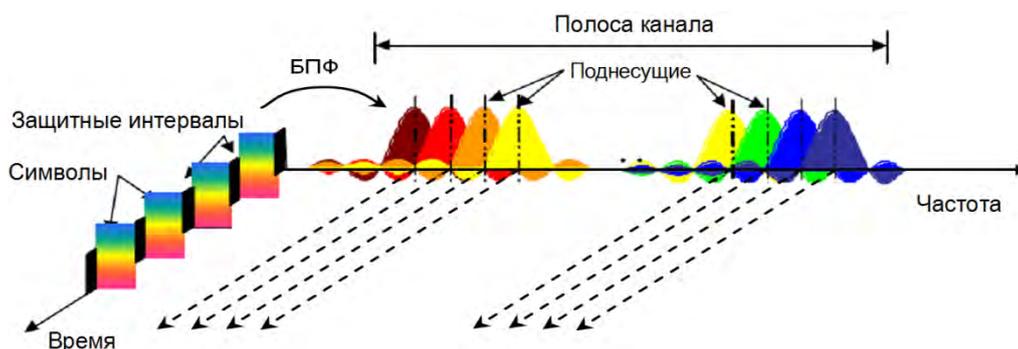


Рисунок 1. Частотно-временное представление OFDM-сигнала

Данная технология обладает рядом достоинств: высокая спектральная эффективность, эффективная работа в условиях многолучевого распространения сигналов, высокая устойчивость к узкополосной интерференции, которая способна исказить небольшую часть поднесущих [1].

Для модуляции и демодуляции сигналов в системах OFDM в настоящее время используются быстрые алгоритмы преобразования Фурье (БПФ).

Системы с OFDM на основе БПФ

На рисунке 2 приведена дискретная модель системы с OFDM на основе БПФ.

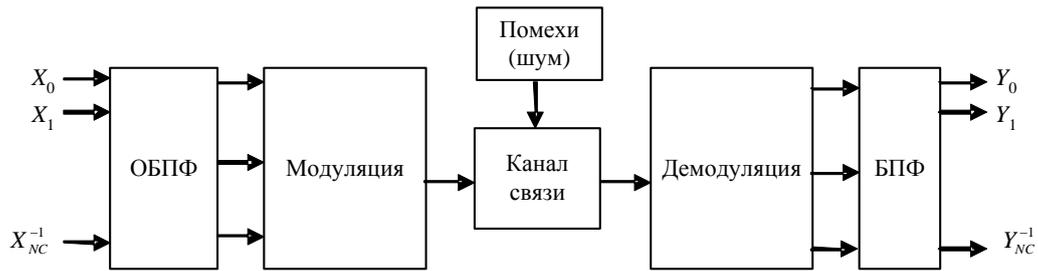


Рисунок 2. Дискретная модель системы с OFDM на основе БПФ

Такая модель на передающей стороне выполняет операцию обратного быстрого преобразования Фурье (ОДПФ), а на приемной стороне – дискретное преобразование Фурье с использованием быстрых алгоритмов вычислений.

Однако ДПФ и ОБПФ выполняются с применением комплексных чисел, для расчета которых требуются вычисления действительной и мнимой части сигнала. Кроме того, в качестве поворачивающих коэффициентов БПФ и ОБПФ используются тригонометрические функции, которые являются иррациональными числами, что приводит к накоплению ошибок округления [2].

Системы с OFDM, использующие ДПФ, не обладают максимальной помехоустойчивостью, искажение одного разряда в сигнале OFDM при передаче в канале связи из-за помех приведет к размножению ошибки при восстановлении сигнала. Это связано с тем, что математическая модель ортогональных преобразований сигналов на основе БПФ и ОБПФ использует прямую и обратную матрицу, в которой отсутствуют нулевые элементы.

Рассмотрим выполнение ДПФ для входного вектора из $N = 8$ отсчетов.

Имеем:

$$X(n) = \begin{bmatrix} z^0 & z^0 \\ z^0 & z^1 & z^2 & z^3 & z^4 & z^5 & z^6 & z^7 \\ z^0 & z^2 & z^4 & z^6 & z^0 & z^2 & z^4 & z^6 \\ z^0 & z^3 & z^6 & z^1 & z^4 & z^7 & z^2 & z^5 \\ z^0 & z^4 & z^0 & z^4 & z^0 & z^4 & z^0 & z^4 \\ z^0 & z^5 & z^2 & z^7 & z^4 & z^1 & z^6 & z^3 \\ z^0 & z^6 & z^4 & z^2 & z^0 & z^6 & z^4 & z^2 \\ z^0 & z^7 & z^6 & z^5 & z^4 & z^3 & z^2 & z^1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x(0) \\ x(1) \\ x(2) \\ x(3) \\ x(4) \\ x(5) \\ x(6) \\ x(7) \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где $z = \exp\left(-j\frac{2\pi}{8}\right)$ – дискретная экспоненциальная функция.

Используя выражение (1), получаем следующие спектральные составляющие:

$$\begin{aligned} X(0) &= x(0)z^0 + x(1)z^0 + x(2)z^0 + x(3)z^0 + x(4)z^0 + x(5)z^0 + x(6)z^0 + x(7)z^0; \\ X(1) &= x(0)z^0 + x(1)z^1 + x(2)z^2 + x(3)z^3 + x(4)z^4 + x(5)z^5 + x(6)z^6 + x(7)z^7; \\ X(2) &= x(0)z^0 + x(1)z^2 + x(2)z^4 + x(3)z^6 + x(4)z^0 + x(5)z^2 + x(6)z^4 + x(7)z^6; \\ X(7) &= x(0)z^0 + x(1)z^7 + x(2)z^6 + x(3)z^5 + x(4)z^4 + x(5)z^3 + x(6)z^2 + x(7)z^1. \end{aligned} \quad (2)$$

Из выражения (2) следует, что используются все временные отсчеты, поступающие из канала связи, – от $x(0)$ до $x(7)$ – для получения каждой составляющей спектрального отсчета $X(j)$, и при искажении бита в нулевом отсчете $x(0)$ на приеме после выполнения БПФ будут искажены все отсчеты спектра сигнала.

Системы с OFDM на основе ДВП

Помехоустойчивость системы OFDM можно повысить за счет применения дискретных вейвлет-преобразований (ДВП). Для этого в технологии OFDM необходимо заменить ортогональные преобразования, выполняемые в поле комплексных чисел на ДВП. Дискретная модель приведена на рисунке 3.

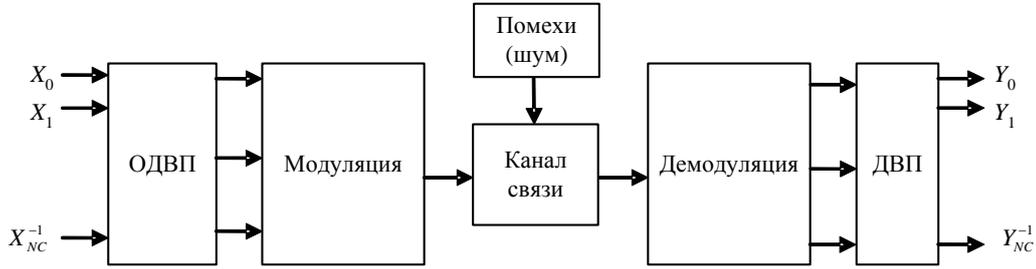


Рисунок 3. Дискретная модель системы с OFDM на основе ДВП

В качестве ДВП выберем Добеши-4, которое реализуется по модулю p_i , где $i = 1, 2, \dots, k$, и осуществим прямое преобразование для $N = 8$ отсчетов.

Получаем:

$$X_i(n) = \begin{bmatrix} d_1 & d_2 & d_3 & d_4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ d_4 & -d_3 & d_2 & -d_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & d_1 & d_2 & d_3 & d_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & d_4 & -d_3 & d_2 & -d_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & d_1 & d_2 & d_3 & d_4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & d_4 & -d_3 & d_2 & -d_1 \\ d_3 & d_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & d_1 & d_2 \\ d_2 & -d_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & d_4 & -d_3 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x_i(0) \\ x_i(1) \\ x_i(2) \\ x_i(3) \\ x_i(4) \\ x_i(5) \\ x_i(6) \\ x_i(7) \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где $d_1 = \frac{1+\sqrt{3}}{4\sqrt{2}} \bmod p_i$; $d_2 = \frac{3+\sqrt{3}}{4\sqrt{2}} \bmod p_i$; $d_3 = \frac{3-\sqrt{3}}{4\sqrt{2}} \bmod p_i$; $d_4 = \frac{11\sqrt{3}}{4\sqrt{5}} \bmod p_i$; $x_i(n) = x(n) \bmod p_i$;

$X_i(n) = X(n) \bmod p_i$.

Тогда получаем следующие аппроксимирующие и детализирующие коэффициенты:

$$\begin{aligned} X(0) &= a_1 = x(0)d_1 + x(1)d_2 + x(2)d_3 + x(3)d_4; \\ X(1) &= b_1 = x(0)d_1 + x(1)d_2 + x(2)d_3 + x(3)d_4; \\ X(2) &= a_2 = x(2)d_1 + x(3)d_2 + x(4)d_3 + x(5)d_4; \\ X(6) &= a_4 = x(0)d_3 + x(1)d_4 + x(6)d_1 + x(7)d_2; \\ X(7) &= b_4 = x(0)d_2 + x(1)d_1 + x(6)d_4 + x(7)d_3. \end{aligned} \quad (4)$$

Из выражения (4) следует, что для получения первого сглаживающего коэффициента ДВП a_1 используются четыре отсчета – от $x(0)$ до $x(3)$, поступившие из канала связи. При искажении нулевого отчета $x(0)$ в процессе передачи будут искажены два сглаживающих коэффициента a_1 и a_4 , а также два детализирующих коэффициента b_1 и b_4 . Остальные коэффициенты останутся без изменений.

Оценка помехозащищенности системы с OFDM на основе ДВП

Проведена оценка помехоустойчивости систем с OFDM на основе БПФ и на основе ДПФ и Добеши-4.

При оценке выполнялось моделирование, при котором на вход подавался поток данных в виде бинарной псевдослучайной последовательности. Затем из потока формировался набор модуляционных 64 символов отсчета размерности по 8 бит каждый. Моделирование проводилось в полосе частот 20 МГц. Также генерировался аддитивный гауссов шум. Полученные сигналы де-

модулировались, а затем вычислялось отношение ошибочно принятых бит C_o к общему количеству переданных L согласно

$$\text{BER} = \frac{C_o}{C}. \quad (5)$$

Результаты моделирования представлены на рисунке 4.

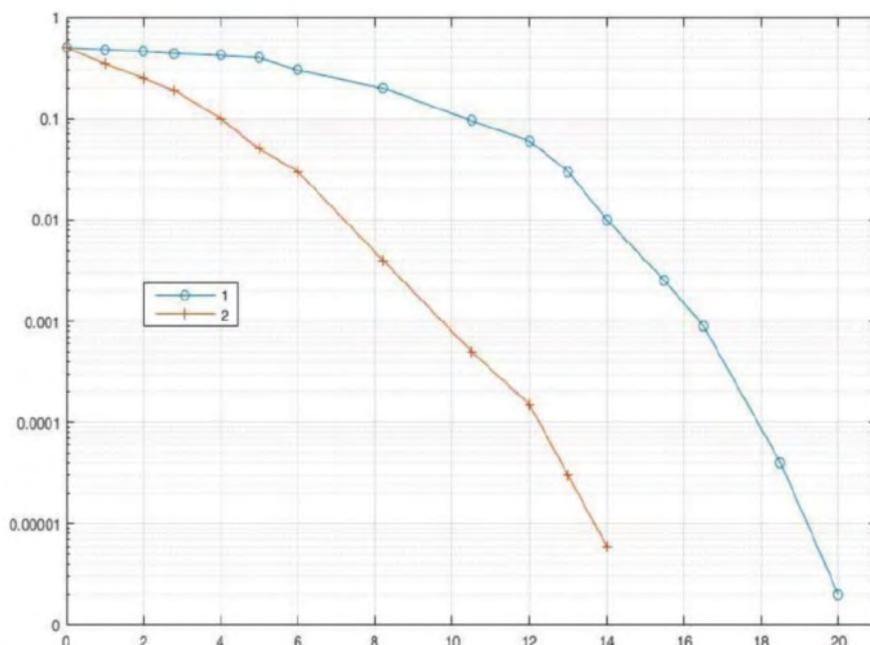


Рисунок 4. Графики помехоустойчивости для БПФ и ДВП: 1 –БПФ; 2 –ДВП

Заключение

Результаты моделирования показали, что повысить помехоустойчивость систем OFDM можно путем применения дискретных вейвлет-преобразований вместо преобразования Фурье. Из полученных результатов видно, что при отношении сигнал/шум 4 дБ вероятность ошибки системы OFDM на основе ДПФ составляет $\text{BER} = 0,4$, а при использовании ДВП вероятность ошибки составляет $\text{BER} = 0,1$. Для обеспечения вероятности ошибки $\text{BER} = 10^{-5}$ в системах OFDM на основе ДПФ отношение сигнал/шум должно быть равным 20 дБ, а при использовании ДВП – 14 дБ.

Список литературы и источников

1. Grinsted A., Moore J.C., Jevrejeva S. (2014) Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series. *Nonlin. processes Geophys*, 2014, no. 11, pp. 561-566.
2. Katkov K.A., Timoshenko L.I., Kalmykov I.A., Dunina.V., Gish T.A. (2015) Application of Modular Technologies in the Large-Scale analysis of Signals. *Journal of Theoretical and applied Information Technology*, 2015, no. 80 (3), pp. 391-406.
3. Hans-Georg Stark *Wavelets and signal processing*. Springer International publishing Switzerland, 2005, 254 p.
4. Технология OFDM : учебное пособие для вузов / М. Г. Бакулин, В. Б. Крейнделин, А. М. Шлюма, А. П. Шумов. – М. : Горячая линия-Телеком, 2017/ – 352 с. – Текст : непосредственный.
5. Ananda Mohan (2016) *Residue Number Systems: Theory and applications*. Springer International publishing Switzerland, 2016, 351 p.
6. Amir Sabbagh Molahosseini (2017) *Embedded Systems Design with Special arithmetic and Number Systems*. Springer International Publishing, 2017, 390 p.
7. Астафьева, Н. М. Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения // *Успехи физических наук*. – 1996. – Т. 166, № 11. – С. 1145–1170. – Текст : непосредственный.
8. Короновский, А. А. Непрерывный вейвлетный анализ и его приложения / А. А. Короновский, А. Е. Храмов. – М. : Физматлит, 2003. – Текст : непосредственный.
9. Дремин, И. М. Вейвлеты и их применение / И. М. Дремин, О. В. Иванов, В. А. Нечитайло // *Успехи физических наук*. – 2001. – Т. 171. – С. 465–501. – Текст : непосредственный.
10. Уолт Кестер. Проектирование систем цифровой и смешанной обработки сигналов : пер. с англ. А. А. Власенко. – М. : Техносфера, 2010. – 328 с. – Текст : непосредственный.

Л. А. Сенаторов, инженер-конструктор
КБ «Радиосвязь» – филиал АО «Сарапульский радиозавод»
Ижевск, Удмуртская Республика, Россия

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СРЕДСТВ РАДИОСВЯЗИ В УСЛОВИЯХ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО КОНФЛИКТА

Аннотация. В работе рассматривается проблема радиоэлектронного конфликта и способов противодействия излучениям со стороны средств радиоэлектронного подавления для максимизации эффективности работы средств радиосвязи. Наличие средств радиоэлектронной разведки и подавления оказывает существенное влияние на работу средств радиосвязи за счет деструктивного воздействия на способность осуществлять безошибочную передачу данных по каналу связи. Установлено, что при постановке малых помех (от –5 дБ и более) безошибочная передача данных становится невозможной. Для решения этой проблемы предложены способы избегания деструктивного воздействия помех со стороны РЭП на основе анализа временной модели радиоэлектронного конфликта.

Ключевые слова: радиоэлектронный конфликт, модели радиоэлектронного конфликта, временная модель, помехоустойчивость, системы радиосвязи.

L.A. Senatorov, Design Engineer
KB “Radiosvyaz” - Filial Branch of JSC “Sarapulsky Radiozavod”
Izhevsk, Udmurt Republic, Russia

INCREASING THE EFFICIENCY OF RADIO COMMUNICATIONS IN CONDITIONS OF ELECTRONIC CONFLICT

Abstract. The present paper examines the problem of electronic conflict and ways of counteraction to radiation from jamming devices to maximize the efficiency of communications traffic. The presence of electronic reconnaissance and suppression equipment has a significant impact on the operation of radio communications due to its destructive influence on the ability to carry out error-free data transmission over the communication channel. It has been established that at low jamming support (-5 dB and more) error-free data transmission becomes impossible. In order to solve the problem of the destructive effect of jamming support the authors suggest solutions based on the analysis of a time model of radio-electronic conflict.

Keywords: radio-electronic conflict, models of radio-electronic conflict, time model, noise immunity, radio communication systems.

Введение

Развитие и формирование методологии исследования эффективности функционирования специальных систем связи тесно связано с улучшением научно-методического подхода к формализации и изучению информационных конфликтов с системой дестабилизирующих воздействий.

Информационный конфликт представляет собой процесс, в ходе которого стороны сталкиваются на разных этапах работы с информацией: сбор, формирование, передача, хранение, обработка, представление и интерпретация. В этом процессе каждая из сторон стремится предвосхитить действия противоположной стороны и предпринимает меры для ограничения возможностей противника. Также они заботятся о независимости и эффективности своих систем, чтобы избежать вмешательства и воздействия другой стороны.

В работах [2, 3] рассматривается проблема создания имитационной модели радиоэлектронного конфликта между распределенной системой связи и системой радиоэлектронной борьбы.

Цель – разработка концептуальной модели информационного конфликта между системой связи и системой дестабилизирующих воздействий. Эта модель предусматривает проведение раз-

ведки и осуществление физического, радиоэлектронного и информационного воздействия на радиоэлектронные средства связи.

Обобщенная модель радиоэлектронного конфликта

С физической точки зрения функционирование систем радиосвязи в условиях намеренных помех можно интерпретировать как радиоэлектронный конфликт. В антагонистическом противостоянии одна сторона представлена собственно системой радиосвязи, а другая – системой радиоэлектронного подавления, состоящей из станции радиотехнической разведки и станции установки помех. Схематическое представление радиоэлектронного конфликта представлено на рисунке 1.

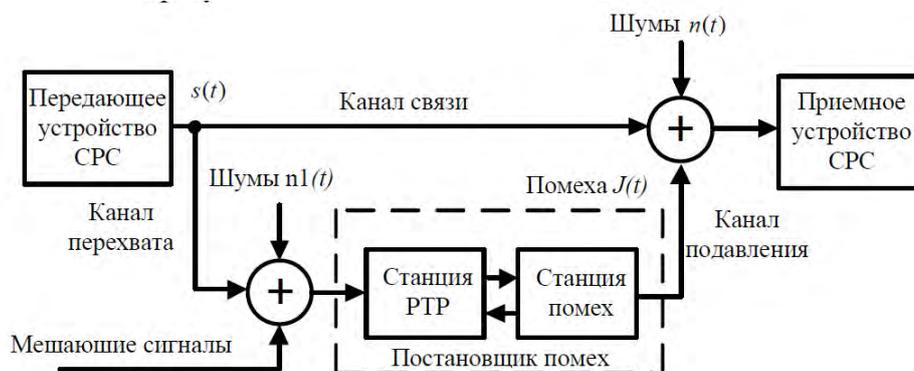


Рисунок 1. Радиоэлектронный конфликт

В этом противостоянии каждая из сторон, преследуя противоположные цели, пытается поддерживать свою эффективность такой же, как и до начала конфликта. Общим показателем эффективности может служить средняя вероятность ошибки (СВО) на бит, которая является основной мерой количественной оценки помехоустойчивости систем радиосвязи. В случае радиоэлектронного конфликта этот показатель максимизируется со стороны системы радиоэлектронного подавления и минимизируется со стороны системы радиосвязи.

Средняя вероятность ошибки на бит информации

Процессы поиска, обнаружения, измерения параметров и определения направления прихода сигналов систем радиосвязи имеют вероятностный характер, как с точки зрения энергетики, так и времени. Наиболее эффективный подход к оценке эффективности систем радиосвязи в условиях радиоэлектронного подавления, который учитывает энергетические возможности и динамику функционирования во времени как систем радиосвязи, так и систем радиоэлектронного подавления, изложен в монографии В. И. Борисова и В. М. Зинчука [1].

Авторы разработали концепцию и современную методологию вероятностно-временной модели функционирования систем радиосвязи в условиях радиоэлектронного подавления, которая позволяет осуществлять оценку СВО на бит информации, учитывающую энергетические и временные возможности систем радиосвязи и станции радиотехнической разведки при поиске и обнаружении сигналов систем радиосвязи при конечном времени передачи информации и действии помехи со случайным временем запаздывания. СВО на бит информации в общем виде может быть найдено как

$$P_E(N) = P_{E_0} + P_{о6}(N) \left[1 - \frac{\overline{K_0}}{N} \right] (P_{E_1} - P_{E_2}), \quad (1)$$

где P_{E_0} , P_{E_1} – средняя вероятность ошибки на бит без помех от РЭП и с помехами от РЭП; $P_{о6}(N)$ – вероятность обнаружения факта передачи; N – число сигналов, передаваемых за время работы; $\overline{K_0}$ – среднее число шагов, необходимое для правильного обнаружения сигнала.

Вероятность обнаружения факта передачи могут вычислить с использованием метода, описанного в [2]. В свою очередь, N может быть вычислено как отношение времени работы к длительности импульса. Среднее число шагов, необходимых для правильного обнаружения сигнала, можно принять как обратное от вероятности обнаружения. Тогда с учетом выкладок формула примет вид

$$P_E(N) = P_{E_0} + \frac{P_{\text{обн}} T_p \left[1 - \frac{\tau_c}{P_{\text{обн}} T_p} \right] (P_{E_1} - P_{E_0})}{\tau_c}, \quad (2)$$

где T_p – время работы на передачу; τ_c – длительность импульса передаваемого сигнала; $P_{\text{обн}}$ – вероятность правильного обнаружения сигнала средствами РЭП.

Рассмотрим влияние помех на СВО на бит информации для случая передачи ЛЧМ-сигнала, проведя имитационное моделирование в среде Matlab R2018b. За основу будет взята передача ЛЧМ-сигнала с верхней граничной частотой 260 МГц и коэффициентом расширения спектра 7 по каналу связи, в котором действует шум с ОСШ –10 дБ. Параметры сигнала и вероятности ошибки для различной мощности помех со стороны средств РЭП представлены в таблице 1.

Таблица 1. Влияние помех на СВО на бит информации

№	Полоса, МГц	Коэффициент расширения спектра	ОСШ, дБ	Средняя вероятность ошибки			
				ОСШ под воздействием РЭБ			
				-15	-20	-25	-30
1	260	7	-10	0,2857	0,349	0,411	0,4737
2	250	7	-10	0,3136	0,4121	0,5251	0,6102
3	240	7	-10	0,3415	0,4561	0,5707	0,6853
4	230	7	-10	0,3703	0,4802	0,5901	0,7
5	220	7	-10	0,3981	0,5054	0,6127	0,72
6	210	7	-10	0,4253	0,5375	0,65	0,762
7	260	2	-10	1	1	1	1
8	260	4	-10	0,6984	0,7153	0,7291	0,7361
9	260	6	-10	0,4528	0,4762	0,4924	0,5193
10	260	8	-10	0,4249	0,4471	0,4572	0,4666
11	260	10	-10	0,3172	0,3205	0,3261	0,3333

Моделирование показало, что в случае обнаружения передаваемого сигнала и установке помехи осуществление радиосвязи становится фактически невозможным, так как вероятность ошибки при передаче составляет не менее 0,2857, что неприемлемо в цифровой связи.

Исследование возможных способов ухода от помех

Помеха со стороны РЭБ оказывает деструктивное влияние и способна нарушить связь, поэтому необходимо продумать решения по сокрытию сигнала и повышению помехоустойчивости системы связи. Известна временная модель радиоэлектронного конфликта [3], на ее основе были составлены два возможных варианта решения этой проблемы:

- 1) передача и прием ответной квитанции до наведения помехи;
- 2) передача пакета до помехи, получение квитанции с задержкой после окончания помехи или по другой частоте.

Предложенные временные модели радиоэлектронного конфликта изображены на рисунке 2.

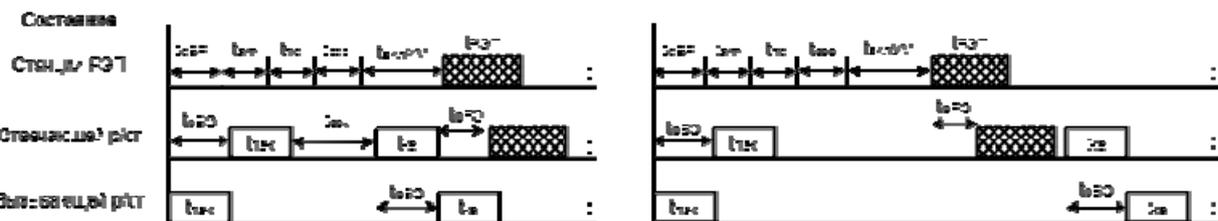


Рисунок 2. Временные модели радиоэлектронного конфликта: $t_{\text{рвп}}$, $t_{\text{рво}}$, $t_{\text{рпо}}$ – время распространения сигнала; $t_{\text{пак}}$, $t_{\text{кв}}$ – время передачи пакета/квитанции; $t_{\text{ф.к}}$ – время формирования квитанции; $t_{\text{ан}}$ – время анализа принятого сигнала станцией РЭП; $t_{\text{пр}}$ – время принятия решения на выбор режима подавления; $t_{\text{фс}}$ – время формирования сигнала станцией РЭП; $t_{\text{вкл.ум}}$ – время переключения режима функционирования усилителя мощности (в том числе включения); $t_{\text{рэл}}$ – интервал воздействия сформированной помехи

Из всех временных периодов на рисунке разработчик может повлиять только на время передачи пакета, время передачи и квитанции и время формирования квитанции. При этом временная модель радиоэлектронного конфликта сведется к виду (3) и (4):

$$t_{pBO} + t_{пак} + t_{фк} + t_{кв} < t_{pBP} + t_{ан} + t_{пр} + t_{фс} + t_{вклУМ} + t_{pPO}; \quad (3)$$

$$t_{pBO} + t_{пак} < t_{pBP} + t_{ан} + t_{пр} + t_{фс} + t_{вклУМ} + t_{pPO}. \quad (4)$$

Известны граничные значения каждого временного отрезка, мс, для случая передачи в КВ-диапазоне, представленные в таблице 2.

Таблица 2. Граничные значения временных отрезков временной модели радиоэлектронного конфликта

Интервал	t_{min} , мс	t_{max} , мс
$t_{pЭП}$	48,2	342
t_{pBP}	1,6	16
$t_{ан}$	10	100
$t_{пр}$	0	10
$t_{фс}$	0	100
t_{pPO}	1,6	16
t_{pBO}	1	10
$t_{фк}$	0	1
$t_{вклУМ}$	35	100
$t_{кв}$	10	100
$t_{пак}$	10	200

Благодаря этому возможно оценить предельные значения длительности пакета и квитанции для минимальных, средних и максимальных значений задержек. В результате подстановок получим соотношения, представленные в таблице 3.

Таблица 3. Предельные и средние значения длительности передачи пакета и квитанции

Случай	Мин. значения, мс	Ср. значения, мс	Макс. значения, мс
1	$t_{пак} + t_{кв} < 47,2$	$t_{пак} + t_{кв} < 189,11$	$t_{пак} + t_{кв} < 331$
2	$t_{пак} < 47,2$	$t_{пак} < 189,6$	$t_{пак} < 332$

Значения для обоих случаев похожи, при этом случай 2 кажется более перспективным, так как необходимо учитывать только длительность передачи пакета. Время передачи может составлять от 10 до 200 мс, то есть, при минимальных, средних и максимальных значениях задержки возможна передача информации до наведения помехи.

Заключение

Исследование радиоэлектронного конфликта, способов противодействия воздействиям РЭП и максимизации эффективности работы средств радиосвязи является важным вопросом при разработке приемо-передающих устройств.

Наличие средств радиоэлектронной разведки и подавления оказывает существенное влияние на работу средств радиосвязи за счет своего деструктивного воздействия на способность осуществлять безошибочную передачу данных по каналу связи.

Исследование показало, что при постановке малых помех (от -5 дБ и более) безошибочная передача данных становится невозможной. Предложены способы избегания деструктивного воздействия помех со стороны РЭП на основе анализа временной модели радиоэлектронного конфликта.

Список литературы и источников

1. Борисов, В. И., Зинчук, В. М. Помехозащищенность систем радиосвязи. Вероятностно-временной подход. – М. : Радио и связь, 1999. – 252 с. – Текст : непосредственный.

2. *Сенаторов, Л. А., Хворенков, В. В., Савельев, А. В.* Оценка влияния параметров сложных сигналов на степень энергетической скрытности // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. – 2022. – Т. 25, № 3. – С. 62–73. – Текст : непосредственный. – DOI: 10.22213/2413-1172-2022-3-62-73

3. *Макаренко, С. И., Михайлов, Р. Л.* Информационные конфликты – анализ работ и методологии исследования // Системы управления, связи и безопасности. – 2016. – № 3. – С. 95–178. – Текст : непосредственный. – DOI: 10.24411/2410-9916-2016-10304

М. А. Фролов, студент; *В. О. Чирков*, студент

mikhailfrolov.izh@mail.ru

Е. Г. Булатова, кандидат физико-математических наук, доцент

buleg61@mail.ru

В. А. Сидорина, кандидат педагогических наук, доцент

vasidorina@mail.ru

ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Удмуртская Республика, Россия

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЯЧЕЙКИ УПРАВЛЕНИЯ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ ДЛЯ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ

Аннотация. В статье показано, что для питания микропроцессорных систем подбирается напряжение определенной частоты. Описана работа ячейки управляемого источника питания, представлена ее электрическая принципиальная схема. Проведено моделирование схемы ячейки управления источника питания в программе LTspice. Результаты моделирования представлены в виде графиков, которые демонстрируют работу устройства.

Ключевые слова: микропроцессорная система, микропроцессор, микроконтроллер, ячейка управляемого источника питания, моделирование ячейки управления источника питания.

M.A. Frolov, Student; *V.O. Chirkov*, Student

mikhailfrolov.izh@mail.ru

E.G. Bulatova, PhD of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor

buleg61@mail.ru

V.A. Sidorina, PhD in Pedagogical, Associate Professor

vasidorina@mail.ru

Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Udmurt Republic, Russia

MODELING OF A POWER SUPPLY CONTROL CELL OF MICROPROCESSOR SYSTEMS

Abstract. The study aims to show the necessity of selection voltage of a certain frequency to power microprocessor systems. The authors describe operation of a controlled power supply cell and present its electrical circuit diagram. The circuit of the power supply control cell was simulated in the LTspice program. The simulation results are presented in the form of graphs that demonstrate operation of the device.

Keywords: microprocessor system, microprocessor, microcontroller, controlled power supply cell, modeling of power supply control cell.

Введение

Известно, что микропроцессорные системы разработаны для автоматизации и обработки информации, а также для управления различными процессами. Они используются абсолютно во всех электрических приборах и широко применяются в электроэнергетике, промышленности, транспортной сфере, системах связи, бытовой технике, медицинском оборудовании и даже детских игрушках.

Основой микропроцессорной системы является микропроцессор, который осуществляет функции обработки информации и управления. Другие устройства, которые входят в состав микропроцессорной системы, обслуживают процессор, помогая ему в работе (рис. 1).

Внутренняя архитектура микропроцессора [1] состоит из регистров, предназначенных для временного хранения команд, данных и адресов, из арифметически-логического устройства (АЛУ), которое реализует арифметические и логические операции и выполняет обработку цифровой информации, а также из схемы управления и синхронизации, которая обеспечивает выборку команд,

создает функционирование АЛУ, предоставляет доступ ко всем регистрам микропроцессора, воспринимает и генерирует внешние управляющие сигналы, т. е. является устройством управления (УУ). Неотъемлемой частью микропроцессорной системы являются порты ввода/вывода и память, которые обеспечивают ввод информации для обработки и вывод исходных результатов обработки либо управляющих воздействий. В порт ввода подключается клавиатура, разнообразные измерители, в порт вывода – приборы, которые позволяют электрически управлять процессором: датчики, мониторы, конфигурации, электроклапаны, электродвигатели и др.

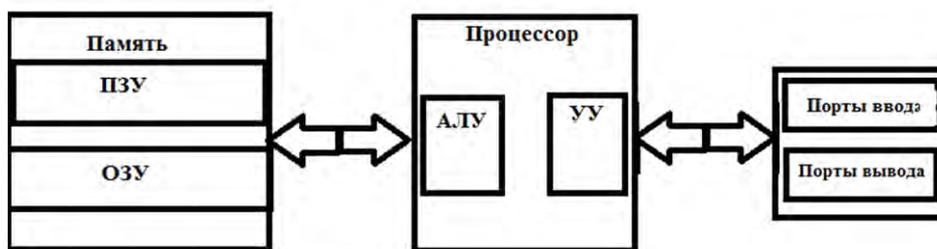


Рисунок 1. Структура микропроцессорных систем

Основными характеристиками микропроцессоров являются тактовая частота – количество тактовых импульсов за 1 с, которые вырабатывает тактовый генератор внутри процессора, и разрядность процессора (8, 16, 32 бита и т. д.), которая определяет число байтов данных, обрабатываемых за один такт. Разрядность процессора определяется разрядностью его внутренних регистров. Процессор может быть 8-разрядным, 16-разрядным, 32-разрядным и т. д., то есть данные обрабатываются порциями по 1, 2, 4, 8 байт. Понятно, что чем больше разрядность, тем выше производительность работы [2].

На рисунке 2 приведена классификация современных микропроцессоров.

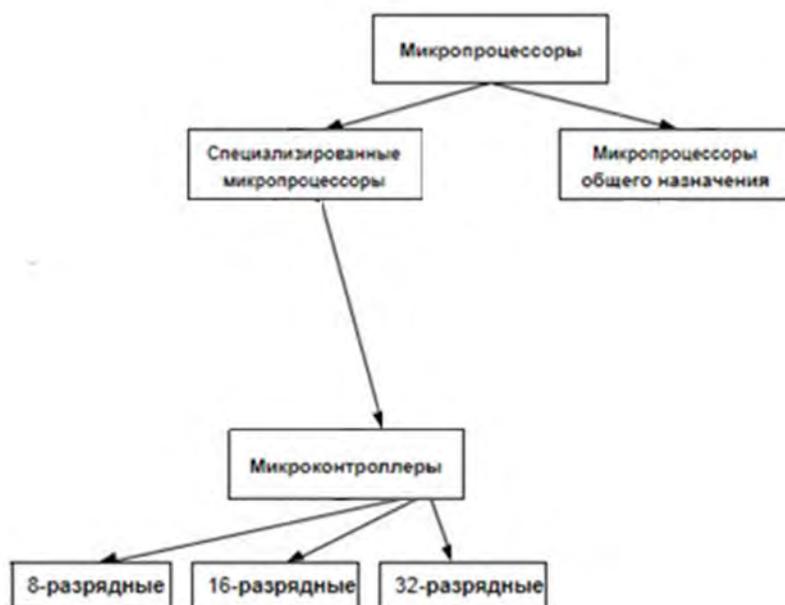


Рисунок 2. Классификация современных микропроцессоров

Самыми популярными микроконтроллерами, которые находят свое применение у разработчиков, являются 8-битные микроконтроллеры PIC фирмы Microchip Technology и AVR фирмы Atmel; 16-битные микроконтроллеры MSP430 фирмы Texas Instruments и 32-битные микроконтроллеры с архитектурой ARM фирмы ARM Limited.

Для управления микроконтроллером используют два способа:

1. Проводной путь. Управление осуществляется посредством электропроводящего соединения цепей управления и исполнительных механизмов. Активация – нажатием кнопки на пульте управления (ПУ) или кнопочного дистанционного ПУ.

2. Беспроводной путь. В данном способе сигнал передается с передатчика или пульта дистанционного управления (remote control), который поступает на приемник [3].

Микроконтроллеру для работы требуется питание [4]. Напряжение микроконтроллеров обычно бывает от 1,8 до 5,5 В. Кроме того, частота входящего тока также влияет на его работу и быстродействие определенных семейств микроконтроллеров. Низкое напряжение также требует ограничения низких частот.

Описание работы ячейки управляемого источника питания УИП

Ячейка управляемого источника питания УИП (рис. 3) является преобразователем постоянного тока, работа которого определяется наличием импульсного сигнала F-UM с частотой 46 875 Гц. Ячейка запитывается от первичного источника постоянного тока с номинальным значением напряжения 24 В. В преобразователе имеется два выхода постоянного напряжения величиной 12 В, гальванически развязанные от первичного источника.

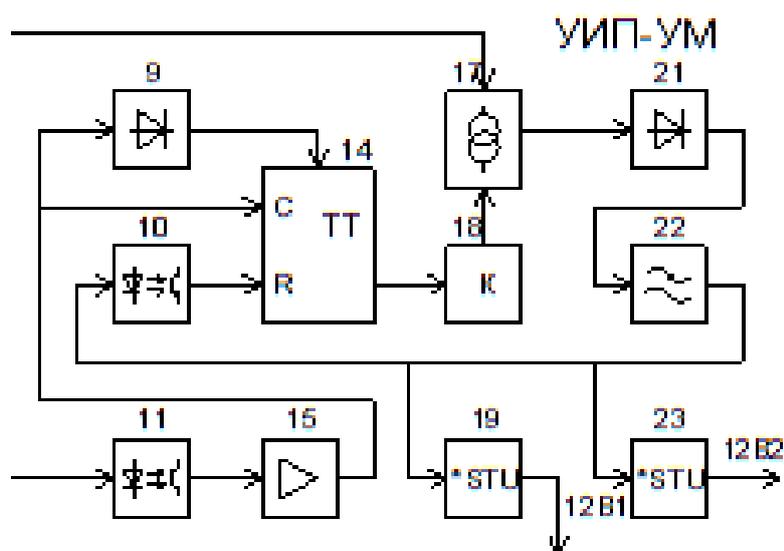


Рисунок 3. Структурная схема ячейки УИП-УМ

Импульсный сигнал F-UM с внешнего соединителя «ВХОД КС» проходит на вход резонансного усилителя 15 через оптопару 11, обеспечивающую его гальваническую развязку от выходных цепей.

Напряжение с выхода резонансного усилителя после двухполупериодного выпрямления диодами 9 используется для питания схемы управления (триггер 14 с буферным каскадом на выходе) обратноходового преобразователя. Это напряжение достигает достаточной для работы схемы управления величины только в том случае, если частота сигнала F-UM находится в полосе пропускания резонансного усилителя (46875 ± 6000 Гц).

Обратноходовой преобразователь работает на частоте в два раза меньшей частоты сигнала F-UM. Деление частоты производится триггером 14, на выходе которого формируется импульс управления транзисторным ключом 18 с максимальной длительностью, равной половине периода переключения триггера. Во время открытого состояния ключа (прямого хода работы преобразователя) происходит протекание тока через первичную обмотку трансформатора 17 преобразователя и накопление в нем энергии. После запираения ключа (во время обратного хода работы преобразователя) происходит передача накопленной энергии с вторичных обмоток трансформатора через выпрямительные диоды 21 на конденсаторы фильтра 22. Это напряжение ограничивается на уровне 15...20 В с помощью гальванически развязанной цепи обратной связи 10, уменьшающей длительность прямого хода путем принудительного выключения триггера. Точная стабилизация выходных напряжений преобразователя на уровне $12,0 \pm 0,3$ В производится линейными стабилизаторами 19, 23.

Разработка схемы электрической принципиальной

На рисунке 4 продемонстрирована схема электрическая принципиальная УИП, в основе которой лежит следующая элементная база.

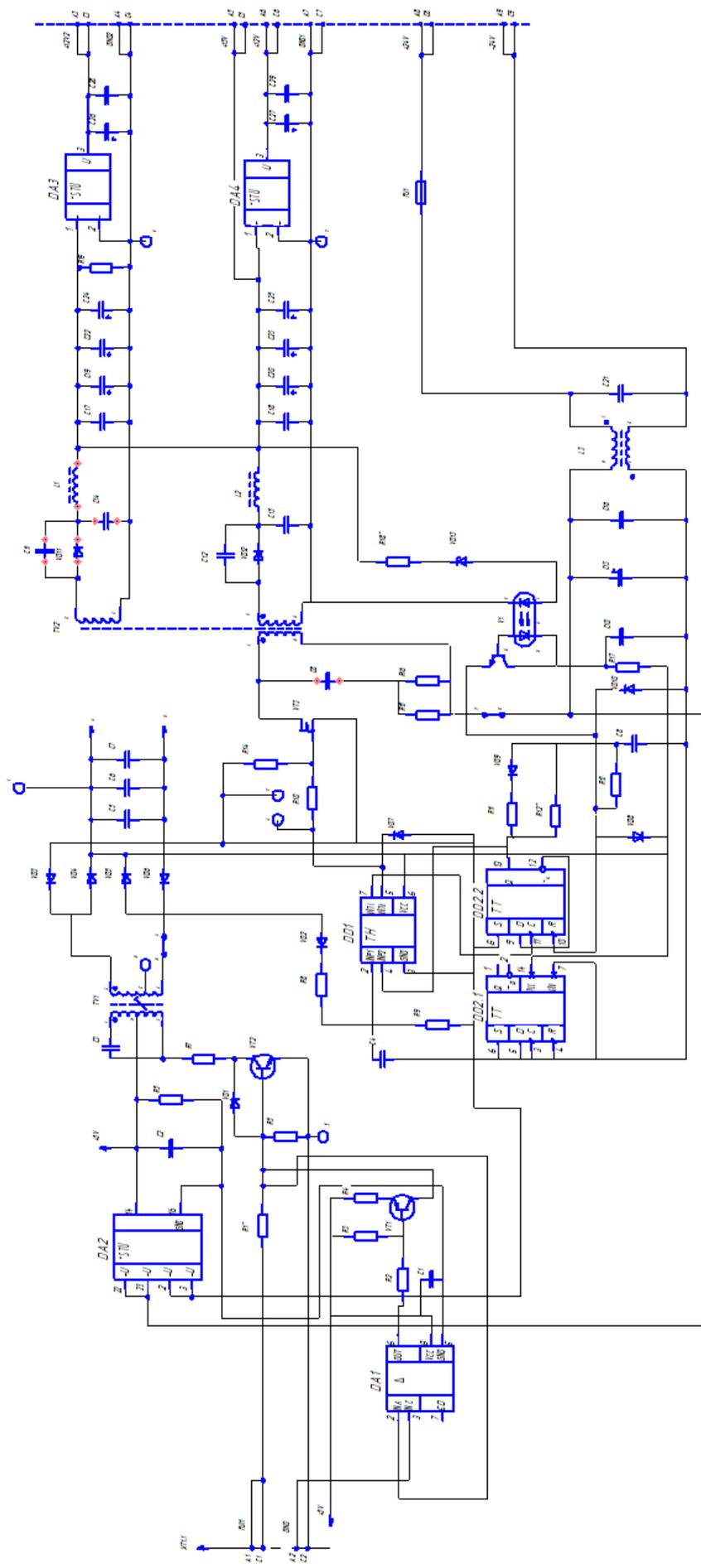


Рисунок 4. Схема электрическая принципиальная УИП

Модуль питания МПЗМ-24/5 имеет напряжение 5 В по постоянному току, изготовитель – Ижевский радиозавод.

Переключатель К293ЛП6Р – двухканальный оптоэлектронный переключатель-инвертор, который имеет скорость передачи данных свыше 1 Мб/с, изготовитель – ОАО «Протон» (г. Орёл).

Два линейных стабилизатора напряжения МС78М12ВТ с выходным напряжением 12 В; выбрано два стабилизатора, потому что на выходе УИП два выхода по 12 В. Изготовитель – ONSemiconductor.

Двойной неинвертирующий высокоскоростной драйвер МС33152DG, который имеет два независимых канала с выходным током 1,5 А. Производитель – ONSemiconductor.

1564ТМ2 – цифровая микросхема, содержит два независимых D-триггера с срабатыванием по положительному фронту с предельным напряжением питания до 7 В. Производитель – ОАО «ОКБ «Экситон» (г. Павловский Посад).

Оптопара НСРL-М453-000Е состоит из светодиода, который связан с высокоскоростным фотодетектором. Отдельное подключение для смещения фотодиода улучшает скорость на несколько порядков выше обычной фототранзисторной оптопары за счет уменьшения емкости база – коллектор входного транзистора. Производитель – Broadcom.

VT1 – биполярный р-п-р-типа транзистор 2Т664Б9, который в основном применяется в усилителях и переключающих устройствах. Имеет постоянное напряжение коллектор – база 100 В, постоянное напряжение коллектор – эмиттер, при $R_{63} = 1$ кОм, 80 В. Изготовитель – компания «Электроника и связь» (г. Воронеж).

VT2 – биполярный п-р-п-типа транзистор КТ815Г, который в основном применяется в усилителях низких частот, преобразователях и импульсных устройствах. Имеет постоянное напряжение коллектор – эмиттер, при $R_{63} = 0,1$ кОм, 100 В, постоянное напряжение эмиттер – база 5 В. Изготовитель – компания «Электроника и связь» (г. Воронеж).

VT3 – достаточно мощный п-канальный транзистор 2П768К91, который в основном применяется в стабилизаторах, преобразователях с непрерывным импульсным управлением. Имеет максимальное допустимое напряжение сток – исток 400 В, максимальное допустимое напряжение затвор – сток 20 В. Изготовитель – компания «Электроника и связь» (г. Воронеж).

В основе каждой микросхемы стоит ядро AVR микропроцессорной системы фирмы ATMEL [5]. Данная компания имеет достаточно открытую информационную базу, что позволяет любому человеку разрабатывать на их основе свои устройства, кроме того, микросхемы на основе ядра AVR имеют самые низкие цены, за счет чего пользователи и разработчики склоняются к данным микросхемам с ядром AVR.

Моделирование ячейки управления источника питания

Для проверки работоспособности устройства смоделируем схему.

Для моделирования схемы была выбрана программа LTspice версии XVIII. Программа создана для того, чтобы пользователь смог промоделировать аналоговую электронную схему. Программа дает возможность достаточно быстро заменить компоненты и параметры электронной схемы, проверить правильность функционирования нового устройства. В принципе программа схожа с более известными аналогами, такими как Micro-cap, Multisim, OrCAD, но LTspice имеет более высокую скорость моделирования всех процессов, а также малый объем дискового пространства.

В результате моделирования была получена электрическая принципиальная схема УИП, которая представлена на рисунках 5, 6.

В результате моделирования были получены выходные характеристики, которые продемонстрированы на рисунках 7, 8.

По графикам видно, что устройство функционирует по заданным техническим характеристикам, после чего можно сделать вывод, что ячейка управления источника питания функционирует исправно без каких-либо сбоев.

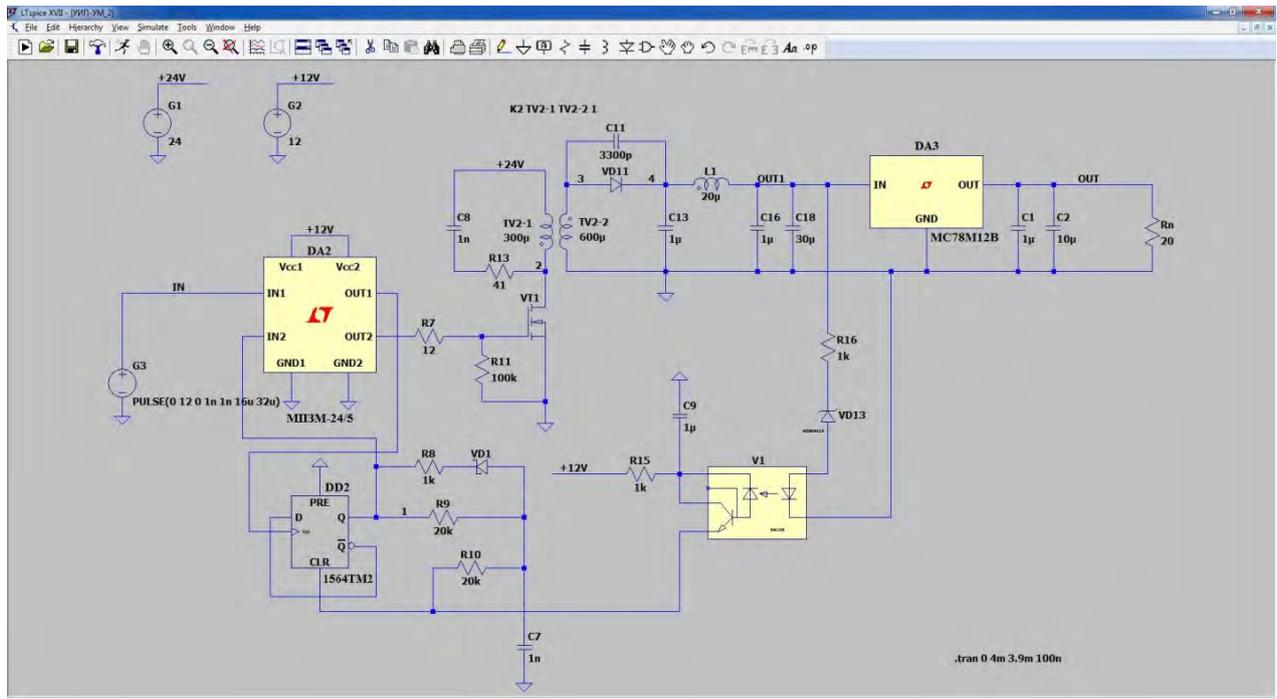


Рисунок 5. Электрическая принципиальная схема ячейки управления источника питания, созданная в программе LTspice. Модуль 1

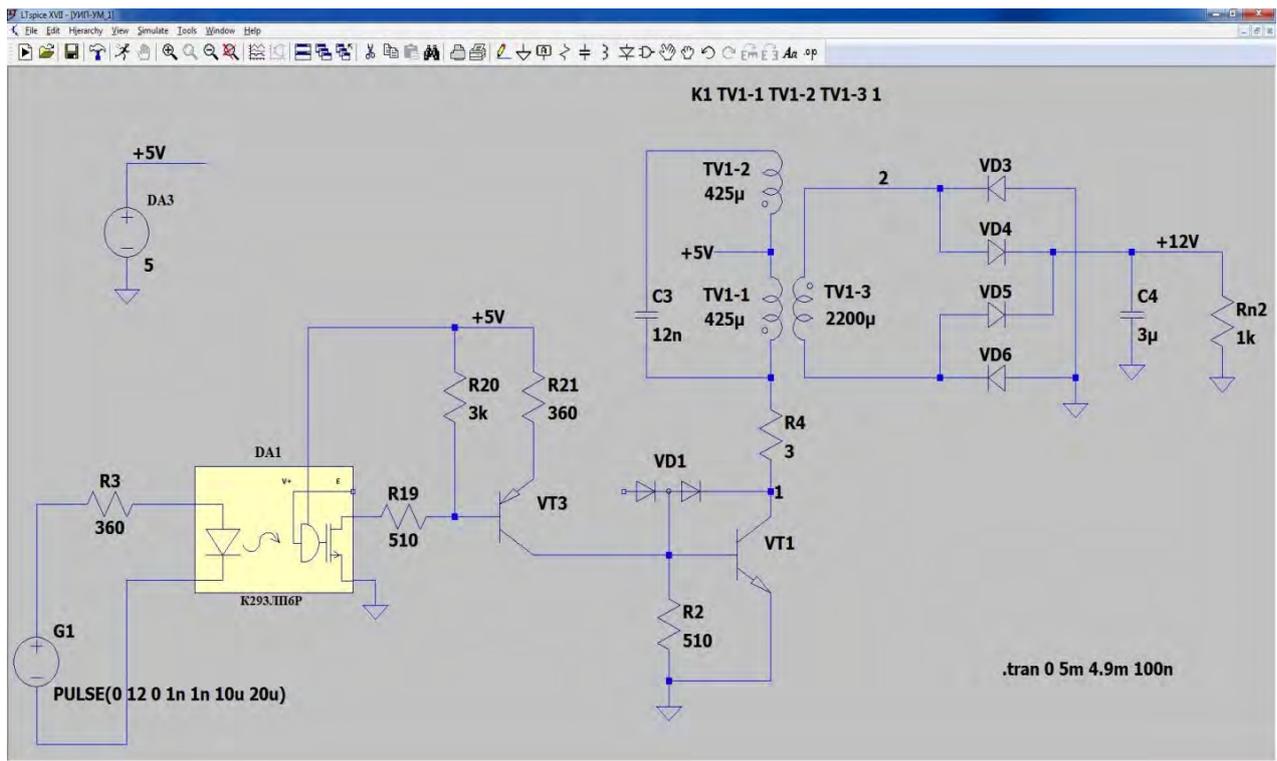


Рисунок 6. Электрическая принципиальная схема ячейки управления источника питания, созданная в программе LTspice. Модуль 2

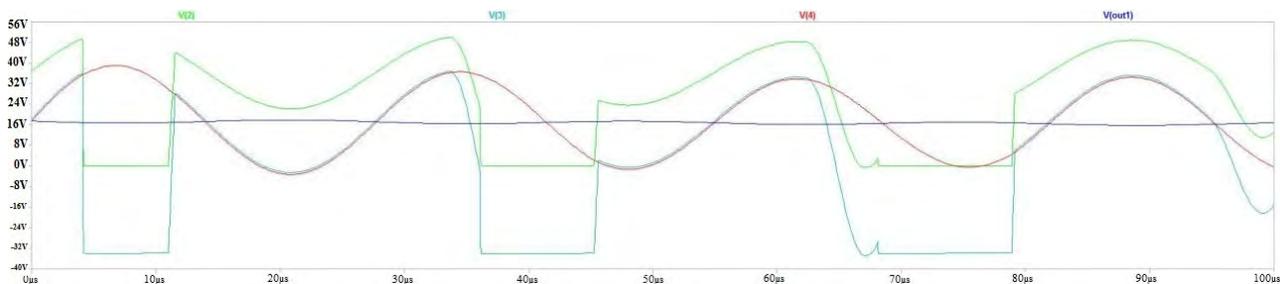


Рисунок 7. График сигналов в точках 2, 3, 4 и out1 модуля 1: 2 (зеленый цвет) – напряжение на стоке транзистора VT1; 3 (голубой цвет) – напряжение на вторичной обмотке трансформатора TV2; 4 (красный цвет) – напряжение на выходе выпрямителя; out1 (синий цвет) – напряжение на выходе фильтра

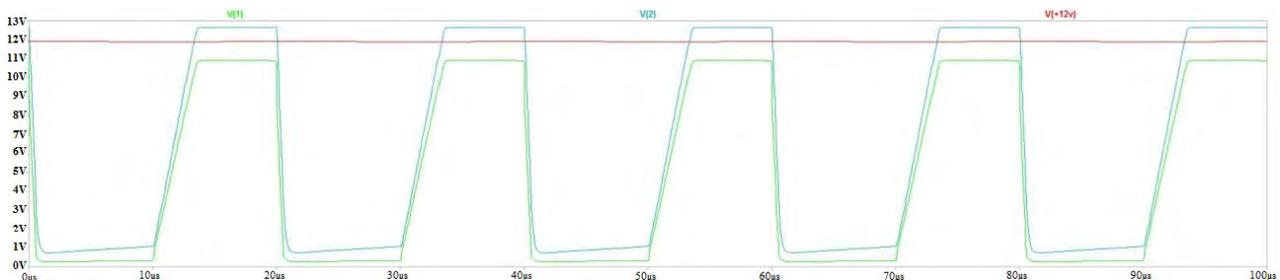


Рисунок 8. График сигналов в точках 1, 2 и +12V модуля 2: 1 (зеленый цвет) – напряжение на стоке транзистора VT1; 2 (голубой цвет) – напряжение на вторичной обмотке трансформатора TV2; +12V (красный цвет) – напряжение на выходе выпрямителя

Заключение

Поскольку микропроцессоры используются для систем автоблокировки, которые обеспечивают безопасности движения, предотвращая аварии, то для надежной их работы необходимо усиление напряжения комплексного сигнала. С этой целью был разработан усилитель мощности источника питания, предназначенный для преобразования постоянного тока в микропроцессорных системах при наличии импульсного комплексного сигнала.

На основе структурной схемы блока УИП-УМ была разработана электрическая принципиальная ячейки УИП, описаны элементы схемы и обоснован выбор элементной базы.

Для проверки работоспособности устройства проведено моделирование ячейки УИП в программе LTspice и получены графики сигналов в заданных точках.

Список литературы и источников

1. Готтлиб, И. М. Источники питания. Инверторы, конверторы, линейные и импульсные стабилизаторы : пер. с англ. ; под ред. С. А. Лужанского. – М. : Постмаркет, 2002. – 544 с. – Текст : непосредственный.
2. Шрайбер, Г. 300 схем источников питания. Выпрямители. Импульсные источники питания. Линейные стабилизаторы и преобразователи : пер. с англ. – М. : ДМК, 2000. – 224 с. – Текст : непосредственный.
3. Голубцов, М. С. Микроконтроллеры AVR: от простого к сложному. – М. : СОЛОН-Пресс, 2003. – 288 с. – (Серия «Библиотека инженера»). – Текст : непосредственный.
4. Источники электропитания радиоэлектронной аппаратуры / О.К. Березин [и др.]. – М. : Три Л, 2000. – 400 с. – Текст : непосредственный.
5. Гребнев, В. В. Микроконтроллеры семейства AVR фирмы Atmel. – М. : Радиософт, 2002. – 176 с. – Текст : непосредственный.

А. А. Четвериков, инженер-конструктор

chetverikov.aleksey@yandex.ru

АО «Сарапульский радиозавод», Сарапул, Удмуртская Республика, Россия

И. О. Малышонков, инженер-конструктор

mcovilya@gmail.com

АО «Сарапульский радиозавод», Сарапул, Удмуртская Республика, Россия

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ И ИЗГОТОВЛЕНИЯ АНТЕННЫ СВЧ-ДИАПАЗОНА

Аннотация. В статье проведен сравнительный анализ существующих антенн СВЧ-диапазона, выполнено моделирование и разработана конструкция антенны. По результатам расчетов изготовлена антенна СВЧ-диапазона, измерены ее характеристики.

Ключевые слова: СВЧ-диапазон, антенна, опытный образец, полоса задержки, коэффициент стоячей волны, ширина полосы пропускания, GPS, ГЛОНАСС.

A.A. Chetverikov, Design Engineer

chetverikov.aleksey@yandex.ru

JSC “Sarapulsky Radiozavod”, Sarapul, Udmurt Republic, Russia

I.O. Malysheonkov, Design Engineer

mcovilya@gmail.com

JSC “Sarapulsky Radiozavod”, Sarapul, Udmurt Republic, Russia

ANALYSIS OF TECHNOLOGY FOR DEVELOPMENT AND MANUFACTURE OF MICROWAVE ANTENNA

Abstract. The article carries out a comparative analysis of existing microwave antennas and presents the results of modeling and development of an antenna design. Based on the calculation results, the microwave antenna was manufactured and all its specifications were measured.

Keywords: microwave range, antenna, prototype, delay band, standing wave ratio, bandwidth, GPS, GLO-NASS.

Введение

Для развития беспроводных технологий в современном мире необходимы эффективные и малогабаритные антенны. Поскольку беспроводная связь становится всё более важной в нашей жизни, технология изготовления портативных антенн развивается вместе с развитием спутниковой, телефонной и другой радиоаппаратурой.

Антенна СВЧ является одной из основных элементов любой GPS- и ГЛОНАСС-системы. Точность и чувствительность спутниковых навигационных систем в большей степени зависит от характеристик антенны.

Типы СВЧ-антенн

Антенны СВЧ можно разделить на две группы: пассивные и активные.

Активная антенна кроме излучающего элемента в своем составе имеет усилитель. Для работы антенны требуется источник питания. Пассивная антенна имеет только излучающий элемент, не требующий источника питания.

Для устройств с низким энергопотреблением лучшим вариантом является пассивная антенна.

В настоящее время разработаны различные конструкции пассивных антенн СВЧ-диапазона:

- патч-антенна;
- спиральная антенна;
- чип-антенна;
- антенна планарного типа.

Конструкция патч-антенны изображена на рисунке 1.

Характеристики патч-антенны:

- идеально подходит для плоских поверхностей;
- изготовлена из диэлектрического материала (керамики) и металла;
- низкая стоимость;
- легкий вес;
- простая интеграция.

Спиральная антенна изображена на рисунке 2.

Характеристики спиральной антенны:

- всенаправленность;
- высокий коэффициент усиления;
- широкая полоса пропускания;
- легкая конструкция.



Рисунок 1. Патч-антенна

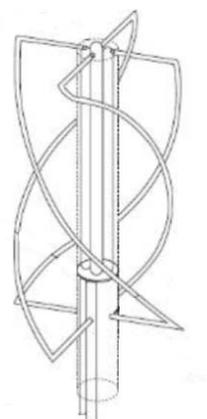


Рисунок 2. Спиральная антенна

Антенна планарного типа изображена на рисунке 3.

Характеристики антенны планарного типа:

- применение – мобильная радиоаппаратура;
- широкополосность;
- хорошая диаграмма направленности;
- простая конструкция;
- низкая стоимость.

Чип-антенна изображена на рисунке 4.

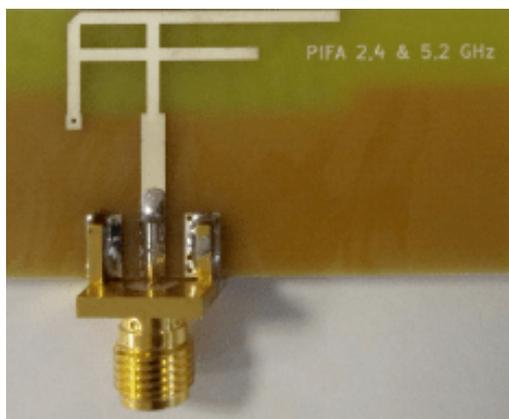


Рисунок 3. Антенна планарного типа

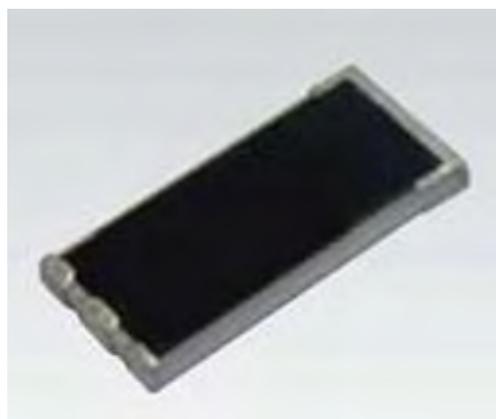


Рисунок 4. Чип-антенна

Характеристики чип-антенны:

- низкая стоимость;
- очень маленький размер;
- всенаправленное излучение;
- коэффициент усиления зависит от размера заземляющего слоя.

Из рассмотренных выше характеристик антенн конструкция микрополосковой патч-антенны считается самой оптимальной благодаря своей планарной конфигурации и простоте интеграции с микрополосковой технологией изготовления.

Выполним моделирование и расчет конструкции одиночной микрополосковой патч-антенны для системы беспроводной связи.

Исходные данные для моделирования и расчета:

- рабочая частота 1,37 ГГц;
- габаритные размеры 70 × 70 мм.

Микрополосковая патч-антенна

Основные параметры рассчитываем с оптимизацией для обеспечения высокого КСВ.

На рисунке 5 показаны размеры патч-антенны для расчета.

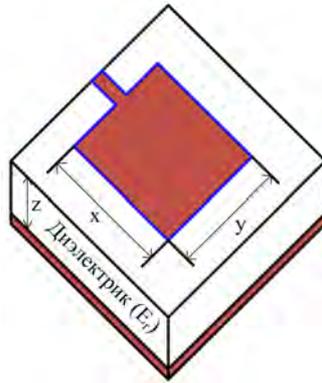


Рисунок 5. Обозначение размеров антенны

Для расчета размеров используем следующие формулы.

1. Ширина верхнего слоя антенны

$$Y_p = \frac{C_0}{2f_r \sqrt{\frac{E_r + 1}{2}}}. \quad (1)$$

2. Эффективная диэлектрическая проницаемость

$$E_r = \frac{E_r + 1}{2} + \frac{E_r - 1}{2} \sqrt{\left(1 + \frac{12h}{Y}\right)}. \quad (2)$$

3. Максимальная длина верхнего слоя антенны

$$X_{ext} = \frac{C_0}{2f_r \sqrt{E_r}}. \quad (3)$$

Из-за эффекта окантовки фактический размер отличается от расчетного. Эта разница вычитается из расчетной длины.

Для получения реальной длины верхнего слоя применим выражение

$$\Delta X = 0,412 \frac{\left(\frac{y}{h} + 0,264\right)(E_r + 0,3)}{\left(E_r - 0,258\right)\left(\frac{y}{h} + 0,813\right)}, \quad (4)$$

где ΔX – увеличение длины; X – фактическая длина антенны.

4. Ширина дорожки к верхней металлизации

$$Y_f = \frac{7,48h}{e^{\left(\frac{z_0 \sqrt{E_r} + 1,41}{87}\right)}} - 1,25t. \quad (3)$$

Антенна подключается к фидерной линии передачи с входным сопротивлением 50 Ом и не требует дополнительных элементов сопоставления.

Результаты расчета приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты расчета

Параметр	Размер, мм
Ширина нижней металлизации, Y_g	70,00
Длина нижней металлизации, X_g	70,00
Ширина верхней металлизации, Y_p	54,80
Длина верхней металлизации, X_p	52,25
Высота подложки, h	1,6
Ширина дорожки к верхней металлизации Y_f	1,444
Толщина металлизации, t	0,035

Моделирование микрополосковой патч-антенны

Микрополосковая патч-антенна смоделирована с помощью программного обеспечения CST StudioSuite. Все параметры антенны оптимизируются путем многократного моделирования, чтобы обеспечить максимально возможные характеристики антенны: коэффициент усиления, направленность, обратные потери, полоса пропускания и эффективность излучения.

Дизайн антенны в программе CST StudioSuite показан на рисунке 6.

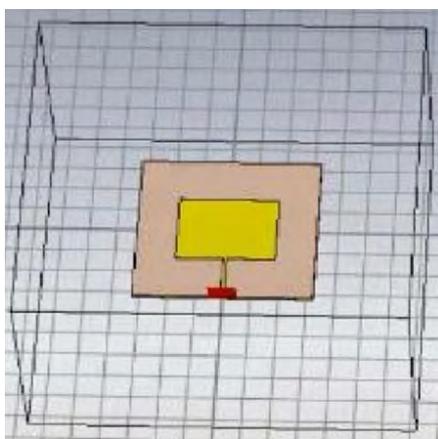


Рисунок 6. Дизайн антенны в программе CST StudioSuite

По результатам моделирования получен параметр S11 (ширина полосы пропускания). Базовое значение принято равным -10 дБ, что идеально подходит для мобильных или беспроводных технологий.

Антенна работает на заданной для расчета частоте 1,37 ГГц.

На этой частоте обратные потери 11,33 дБ.

Полоса пропускания антенны определена на уровне -10 дБ.

На рисунке 7 показано, что антенна имеет полосу пропускания 0,0158 ГГц.

Параметр КСВ антенны представлен на рисунке 8.

Технические характеристики изготовленного образца СВЧ-антенны

Исходя из полученных значений теоретического расчета и моделирования антенны СВЧ-диапазона изготовлен образец антенны (рис. 9), произведены измерения КСВ (рис. 10) и ширина полосы пропускания (рис. 11).

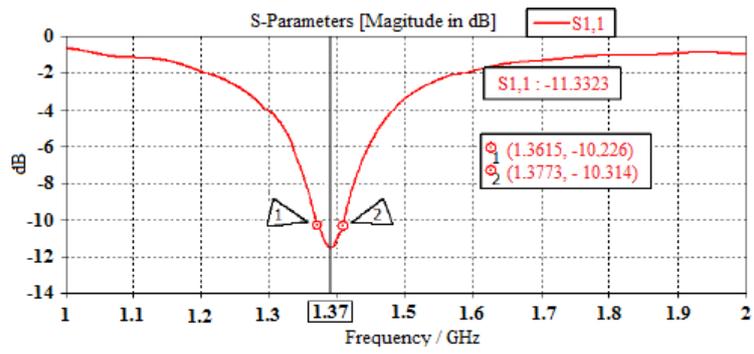


Рисунок 7. Параметр S11

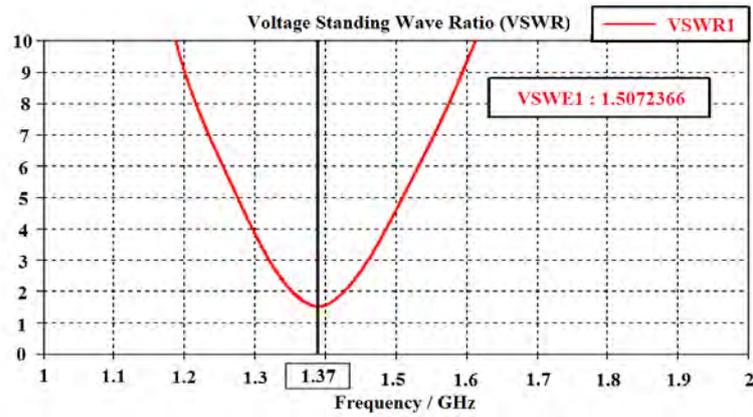


Рисунок 8. Параметр КСВ



Рисунок 9. Конструкция СВЧ-антенны

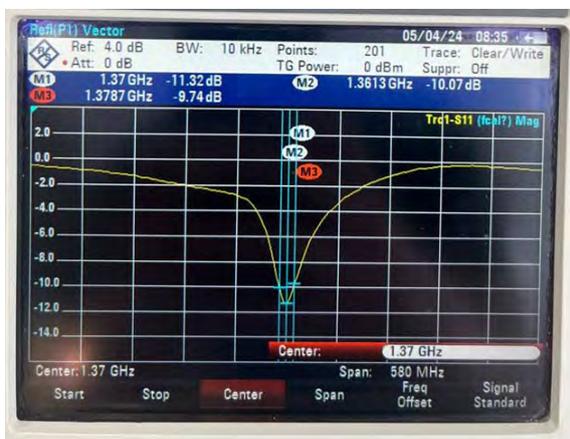


Рисунок 10. Измерение ширины полосы пропускания антенны



Рисунок 11. Измерение образца КСВ

Заключение

1. Произведен анализ существующих типов антенн СВЧ-диапазона.
2. Исходя из результатов анализа определен оптимальный вариант конструкции антенны СВЧ-диапазона (патч-антенны). Этот вариант конструкции обеспечивает наилучшие технические характеристики при минимальных массогабаритных характеристиках.
3. Результаты расчета и моделирования соответствуют результатам испытаний опытного образца (таблица 2).

Таблица 2. Результаты моделирования и испытаний опытного образца антенны СВЧ-диапазона

Параметр	Модель	Опытный образец
Ширина полосы пропускания, ГГц	0,0158	0,0174
КСВ	1,507	1,84

Полученные результаты расчета, моделирования и технология изготовления антенны СВЧ-диапазона могут быть использованы при изготовлении аналогичных антенн по заданным техническим характеристикам.

Список литературы и источников

1. *Wellenhof B. H., Lichtenegger H. and Collins J.* (2001) *Global Positioning System: Theory and Practice*. New York, Springer-Verlag Wien, 2001, pp. 11-24.
2. *E.-T. G.* (2007) COMPARISON OF PSEUDO-RANGE MULTIPATH. *Survey Review*, 2007, vol. 39, no. 306, pp. 338-348.
3. *Zhang J., Ge X., Li Q., Guizani M. and Y. Zhang* (2017) 5G Millimeter- Wave Antenna Array: Design and Challenges: *IEEE Wireless Communications*, 2017, vol. 24, no. 2, pp. 106-112.
4. *Derneryd A.G.* (1978) A Theoretical Investigation of the Rectangular Microstrip Antenna Element: *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 1978, vol. 26, no.4, pp. 532-535.
5. *Kara M.* (1996) Closed-form expressions for the resonant frequency of rectangular microstrip antenna elements with thick substrates: *Microwave and Optical Technology Letters*, 1996, vol. 12, no. 3, pp. 131-136.
6. *Casu G., Moraru C. and Kovacs A.* (2014) Design and implementation of microstrip patch antenna array, 28 July 2014: 10th International Conference on Communications (COMM), pp. 1-4. ISBN 978-1-4799-2385-4

А. Ю. Шаимов, аспирант, инженер-конструктор
shaimov-alex@mail.ru

ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, КБ «Радиосвязь» – филиал АО «Сарапульский радиозавод»
Ижевск, Удмуртская Республика, Россия

А. Н. Копысов, кандидат технических наук, доцент, главный специалист по радиоточкам
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, КБ «Радиосвязь» – филиал АО «Сарапульский радиозавод»
Ижевск, Удмуртская Республика, Россия

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЛОКОВ СОПРЯЖЕНИЯ С ОБОРУДОВАНИЕМ В МНОГОРЕЖИМНЫХ СИСТЕМАХ СВЯЗИ НА БАЗЕ УНИФИЦИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА УПРАВЛЕНИЯ И СВЯЗИ Р-188 «УКУС»

Аннотация. В статье представлена многорежимная система связи на базе Р-188 «УКУС», предназначенная для передачи речи и данных. Одним из основных элементов данной системы является блок сопряжения с оборудованием старого парка (БСО), позволяющий соединять между собой другие сетевые устройства. Функциональные режимы БСО включают в себя: передачу данных между радиостанцией и ООД, дистанционное управление радиостанцией, подключение внутренней гарнитуры и трансляцию на нее голосовой связи с радиостанций. Приведены особенности работы блока БСО, учитывая которые можно избежать разного рода проблемы при разработке соединений на его основе.
Ключевые слова: многорежимная система связи, Р-188 «УКУС», блок сопряжения с оборудованием (БСО), радиостанция Р-168-5УТ, передача данных и команд, подключение гарнитуры, временные задержки, размер буфера.

A. Yu. Shaimov, Postgraduate Student, Design Engineer
shaimov-alex@mail.ru

Kalashnikov ISTU, KB “Radiosvyaz” - Filial Branch of JSC “Sarapulsky Radiozavod”
Izhevsk, Udmurt Republic, Russia

A. N. Kopysov, Chief Specialist in Radio Lines

Kalashnikov ISTU, KB “Radiosvyaz” - Filial Branch of JSC “Sarapulsky Radiozavod”
Izhevsk, Udmurt Republic, Russia

FEATURES OF USING UNITS FOR INTERFACING WITH MULTIMODE EQUIPMENT IN MULTIMODE COMMUNICATION SYSTEMS BASED ON THE UNIFIED CONTROL AND COMMUNICATION COMPLEX R-188 “UKUS”

Abstract. The authors introduce a multimode communication system based on the R-188 “UKUS” complex intended for voice and data communication. One of the main elements of this system is unit for interfacing with noncurrent equipment (BSO), which allows connecting of other network devices. The functional modes of the BSO include: data transmission between radio set and OOD, remote control of a radio set, connecting an internal headset and voice reception from broadcasting stations. The paper underlines features of the BSO unit taking into account of which allows avoiding of various problems when organizing connections based on its use.

Keywords: multimode communication system, R-188 “UKUS”, unit for interfacing with noncurrent equipment interface unit (BSO), radio station R-168-5UT, data and command transmission, headset connection, time delay, buffer size.

Введение

В настоящее время происходит бурное развитие систем передачи информации, они становятся всё более функциональными, быстрыми и удобными для работы. Для инженеров и разработ-

чиков предъявляются высокие требования к качеству новых изделий и программного обеспечения. Однако не стоит забывать и об уже созданных и внедренных стандартах, которые надо не только поддерживать и модернизировать аппаратно и программно, но и сделать полностью совместимыми между собой. Подобная совместимость предполагает под собой многорежимность, то есть доступ к разным радиointерфейсам и/или методам [1].

Под многорежимной системой связи понимается сеть, объединяющая между собой устройства и служащая для взаимодействия разных типов коммуникаций в зависимости от запрашиваемых потребностей и задач [2]. В качестве подобной многорежимной системы на АО «Сарапульский радиозавод» производится унифицированный комплекс управления и связи Р-188 «УКУС», предназначенный для предоставления услуг связи абонентам в аналоговых и цифровых сетях связи объектов различного назначения.

Основные функции данного комплекса:

- внутренняя и внешняя голосовая связь групп абонентов, голосовая конференц-связь;
- передача текстовых сообщений и цифровой информации;
- мониторинг и вывод информации с подключенных устройств;
- управление подключенными устройствами;
- управление вызовами;
- доступ к каналам связи и управление ими.

Особенности:

- удобный графический интерфейс управления, простота использования и эргономичность;
- программно-конфигурируемое меню, которое можно изменять под потребности;
- параллельная работа в цифровой и аналоговой связи;
- масштабируемость сети (подключение новых устройств без изменения топологии);
- обновление и отображение состояния системы и подключенных устройств в реальном времени.

времени.

На рисунке 1 представлена структурная схема многорежимной системы на базе Р-188 «УКУС» с включенными в нее блоками сопряжения с оборудованием (БСО), блоком коммутации (БК), пультом управления (ПУ), унифицированным пультом командира (УПК), гарнитурой (ГРН), радиостанциями (Р-168-5УТ, Р-353-КС, Р-187-П1) и окончательным оборудованием данных (ООД).

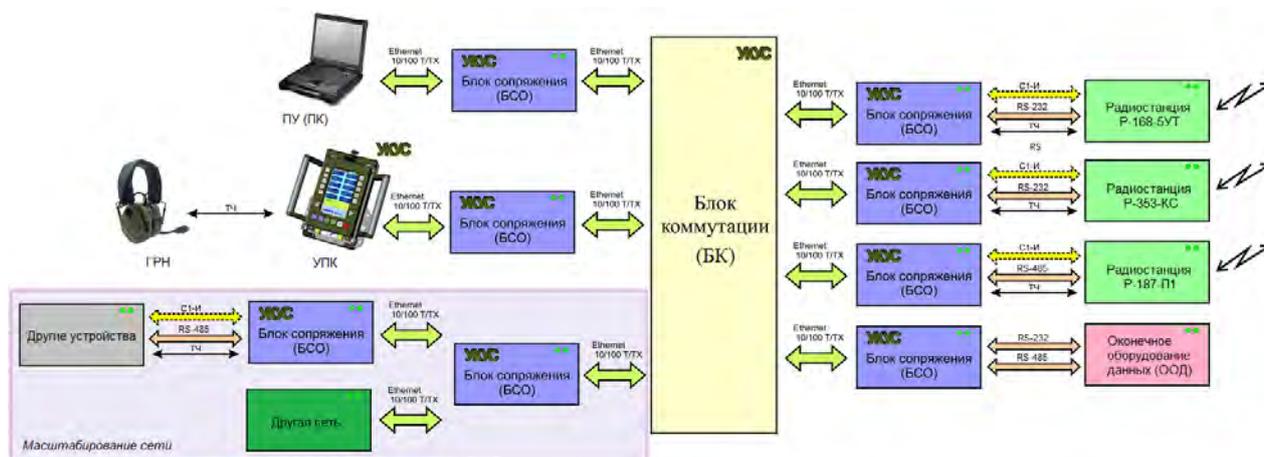


Рисунок 1. Многорежимная система связи на базе Р-188 «УКУС»

БСО обеспечивает подключение оборудования объекта к внутренней цифровой сети комплекса для организации передачи речевой информации, данных, а также настройки и управления этим оборудованием (радиостанции, терминалы, АПД и др.). УПК предназначен для обеспечения функций внутренней и внешней связи, а также расширенных функций управления сетью и оборудованием связи. БК осуществляет раздачу электропитания от бортовой сети к подключенным к БК блокам сети. ПУ (персональный компьютер) предназначен для дистанционного управления аппаратурой, конфигурации режима работы, мониторинга состояния сети. ГРН предназначена для транслирования голосовой речи с подключенных радиостанций. ООД предназначено для сбора, хранения и передачи информации в цифровом виде[3].

Цель данной статьи – показать особенности использования и подключения основополагающего блока – блока сопряжения с оборудованием старого образца (БСО).

Блок сопряжения с оборудованием старого парка

БСО представляет собой шлюз, предназначенный для объединения в единую сеть различных устройств для организации передачи речевой информации, данных, настройки и дистанционного управления радиостанциями (Р-168-5УТ «Акведук», Р-187-П1 «Азарт», Р-353-КС «Намотка-КС»), а также подключения других периферийных устройств (например, гарнитуры) по интерфейсам С1-ФЛ-БИ, RS-232, RS-422, RS-485, С1-ТЧ, USBhighspeed. Масштабирование сети (включение новых блоков БСО) происходит по технологии EthernetBase-T 10 Мбит/с, Base-TX 100 Мбит/с [4].

Выделим функциональные режимы работы блоков БСО:

- передача данных между радиостанцией и ООД;
- дистанционное управление радиостанцией;
- подключение внутренней гарнитуры и трансляция на нее голосовой связи с радиостанции.

Рассмотрим в качестве примера подключение к радиостанции Р-168-5УТ «Акведук», так как радиостанции Р-187-П1 «Азарт» и Р-353-КС «Намотка-КС» используют только два сигнала Тхи Rx при обмене [5].

Передача данных через БСО по RS-232 между Р-168-5УТ и ООД (рис. 2). Для передачи данных по данному направлению необходима трансляция значения изменения сигналов (DTR, DSR, RTS, CTS).

С пульта управления через ETHERNET (канал управления) на каждый блок БСО должна отправляться команда управления «создание постоянного соединения БСО с БСО», после чего между подключенными устройствами коммутируется связь (информационный канал) с портами БСО по стыку RS-232 [6].

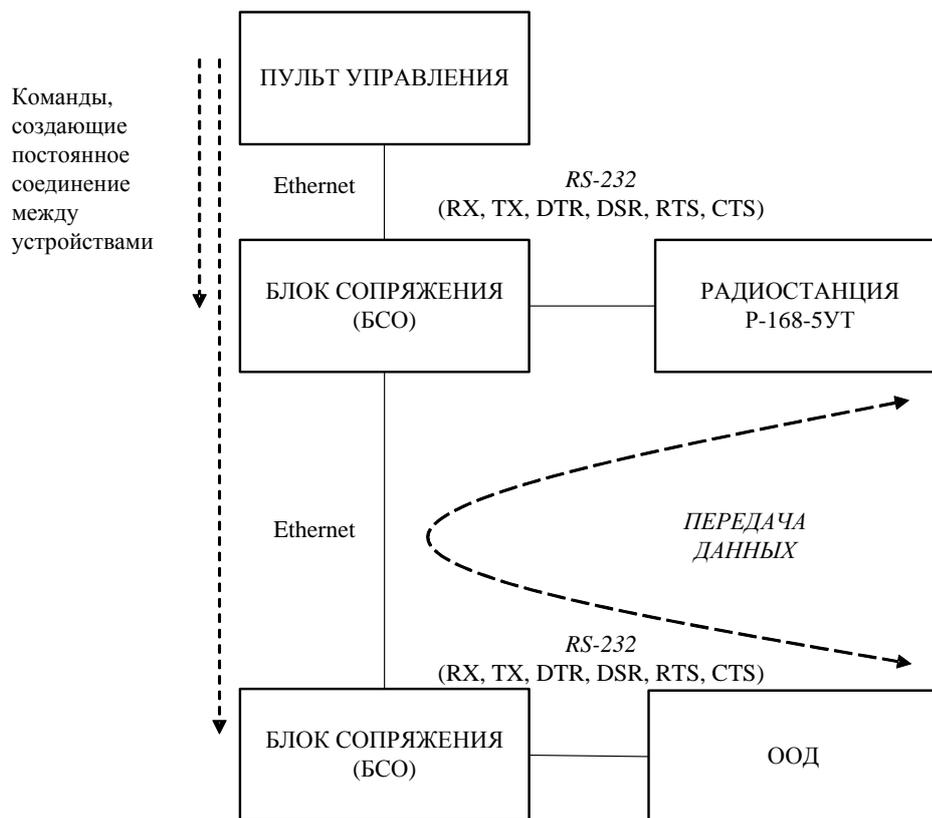


Рисунок 2. Передача данных между радиостанцией и ООД

Дистанционное управление радиостанцией («Акведук») по интерфейсу RS-232 (передача команд). Функционально БСО позволяет реализовать два варианта.

Вариант 1. Протокол прямого управления (рис. 3). Данный вариант не предусматривает инициативный вызов от радиостанции, не работает одновременно с режимом передачи данных.

С пульта оператора через ETHERNET (канал управления) на блок БСО отправляется специальная команда, состоящая из заголовка управления и полей с данными (информации). При получении специальной команды, приоритетно (разрывая постоянное соединение) БСО берет управление портом RS-232 и отправляет через него данные, содержащиеся в полях специальной команды.

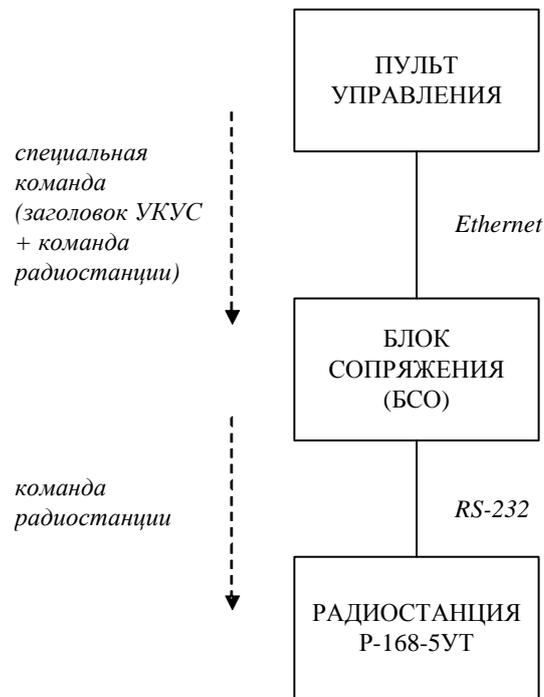


Рисунок 3. Передача команды к радиостанции по протоколу прямого управления

Вариант 2. Использование COM-порта (рис. 4) [7]. Данный вариант не позволяет переключаться между режимом передачи команд к радиостанции и режимом передачи данных, так как отсутствуют сигналы DTR, DSR, RTS, CTS.

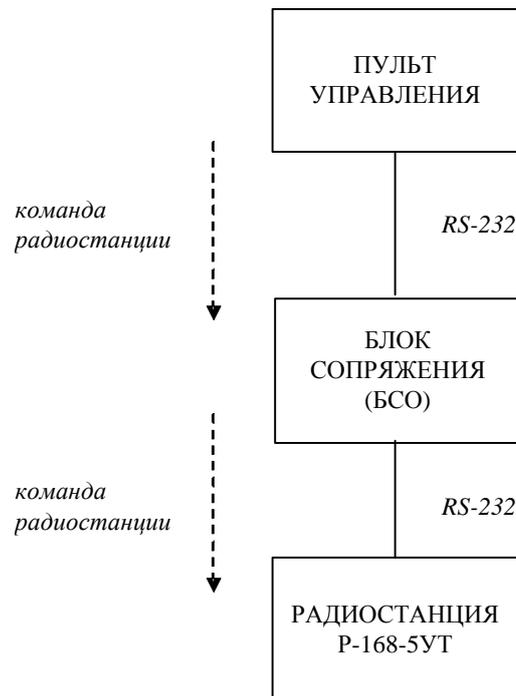


Рисунок 4. Передача команды к радиостанции через RS-232 (COM)

С пульта оператора через RS-232 (COM), отправляются протокольные команды для радиостанции «Акведук». Блоки БСО в данном случае являются сквозными шлюзовыми устройствами.

Режим передачи данных активен, когда сигналы RTS и CTS высокого уровня. При низком уровне сигналов RTS и CTS выполняется режим передачи команд к радиостанции (рис. 5). При отсутствии высокого уровня сигнала DTR, радиостанция не отправляет на устройство ответные квитанции.

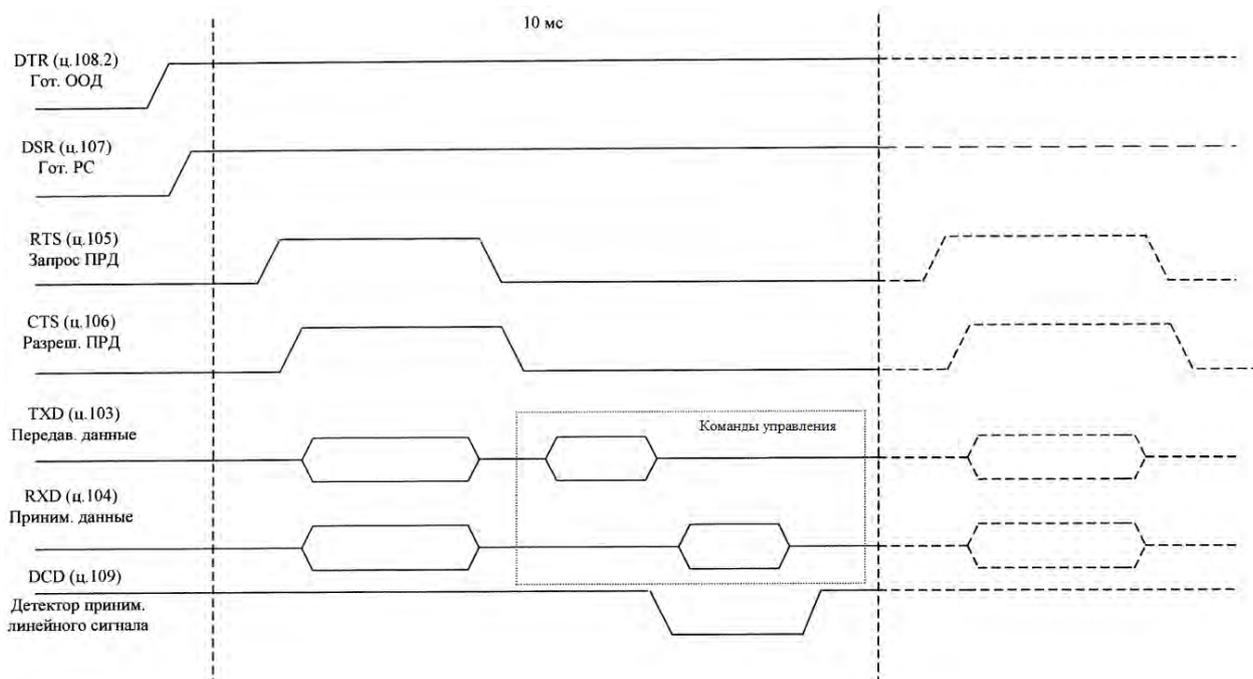


Рисунок 5. Временные диаграммы взаимодействия ООД и РС (P-168-5УТ)

Дистанционное подключение гарнитуры из состава УКУС (соединенной к УПК) к радиостанции. Данное соединение представлено на рисунке 6. С УПК через ETHERNET (канал управления) на блоки БСО отправляется команда, создающая канал С1-ТЧ между радиостанцией и гарнитурой УПК. После чего аналоговая связь радиостанции транслируется на гарнитуру УПК.

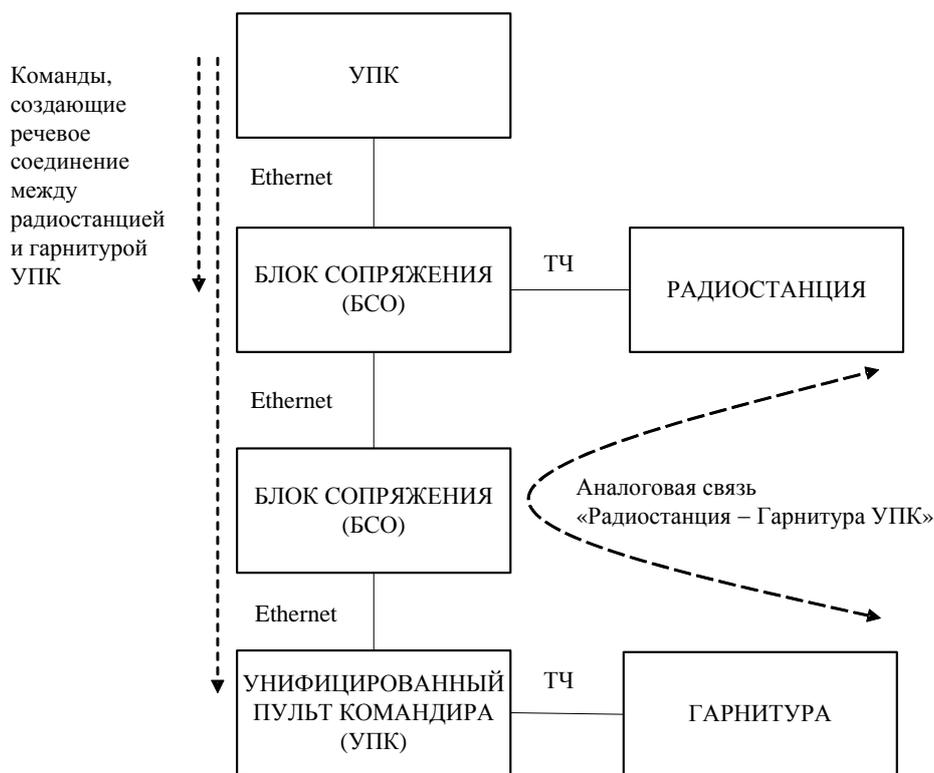


Рисунок 6. Дистанционное подключение гарнитуры из состава УКУС (соединенной к УПК) к радиостанции с пульта оператора

Подключение гарнитуры в данный момент осуществляется при помощи УПК, а не пульта управления, но это неудобно для человека, запускающего режимы с пульта оператора.

С УПК через ETHERNET (канал управления) на блоки БСО отправляется команда, создающая канал С1-ТЧ между радиостанцией и гарнитурой УПК, после чего аналоговая связь радиостанции транслируется на гарнитуру УПК. Для удобства оператора, использующего систему «УКУС», разрабатывается программное обеспечение, позволяющее запускать данный режим с пульта управления.

Особенности передачи информации через БСО

При передаче информации можно отметить влияние размера блока передаваемой информации и временные задержки. БСО накапливает и передает информацию порциями от 1 байта до 512 (рекомендованное значение 128 байт). Размер задержки передаваемой информации по различным интерфейсам в зависимости от размеров блока информации приведен в таблице 1. Наглядная демонстрация данной особенности работы блока БСО представлена на рисунке 7.

Таблица 1. Размер задержки передаваемой информации по различным интерфейсам в зависимости от размеров блока информации

№	Интерфейс	Размер блока, байт	Задержка, мс
1	С1-ФЛ-БИ	любой	отсутствует
2	С1-ТЧ	потокковая информация	отсутствует
3	USB high speed	любой	отсутствует
4	Ethernet	любой	отсутствует
5	RS-232, RS-422, RS-485	1	отсутствует
		2	отсутствует
		4	отсутствует
		8	0...5
		16	2...10
		32	5...15
		64	10...25
		128	15...35
		256	20...40
512	25...45		

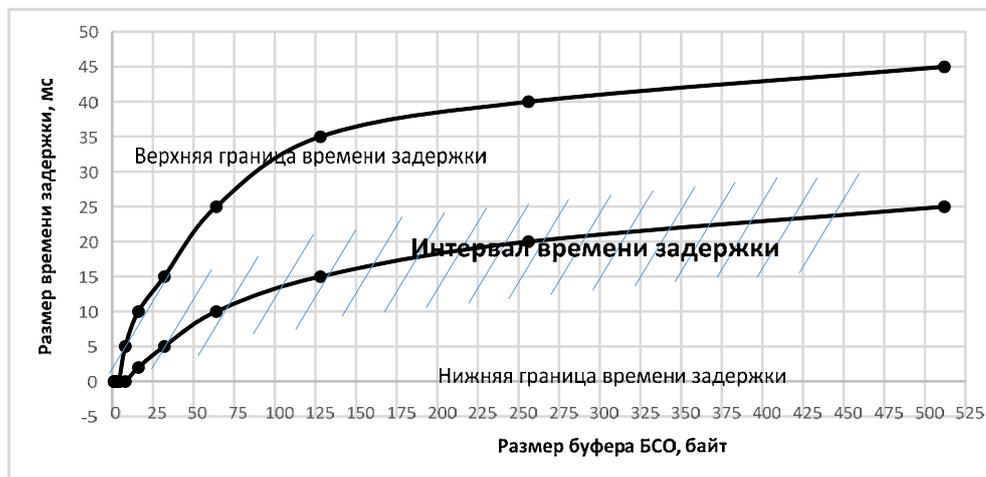


Рисунок 7. График зависимости размера времени задержки от размера буфера БСО

Возрастание времени задержки с увеличением размера блока информации наблюдается только при использовании интерфейсов RS-232, RS-422, RS-485. Это обусловлено временем заполнения буфера (размер буфера равен размеру блока передаваемой информации через БСО) и переключением из него/в него информационных отсчетов из Ethernet в RS (или наоборот). При этом соизмеримость отправляемого информационного пакета и размер буфера не зависят друг от друга. Например, при установлении размера блока информации БСО в 256 байт на выходе наблюдается одинаковое время задержки как при отправке пакета из 64 байт, так и пакета из 256 байт. Основной проблемой влияния задержки на радиостанцию является отсутствие своевременного ответа передающего устройства на запрос приема от радиостанции.

Первоначально можно подумать, что пакет превышающий размер буфера БСО должен быть фрагментирован при передаче, то есть передаваться по частям, равным размеру блока передаваемой

информации через БСО, в крайнем случае усекается размером буфера. Однако на деле наблюдается процентное усеечение передаваемой информации, и чем размер буфера БСО больше, тем оно меньше (рис. 8). Например, при передаче 1024 байт через БСО с размером установленного блока 1 байт мы примем усеченный пакет размером около 200 байт.

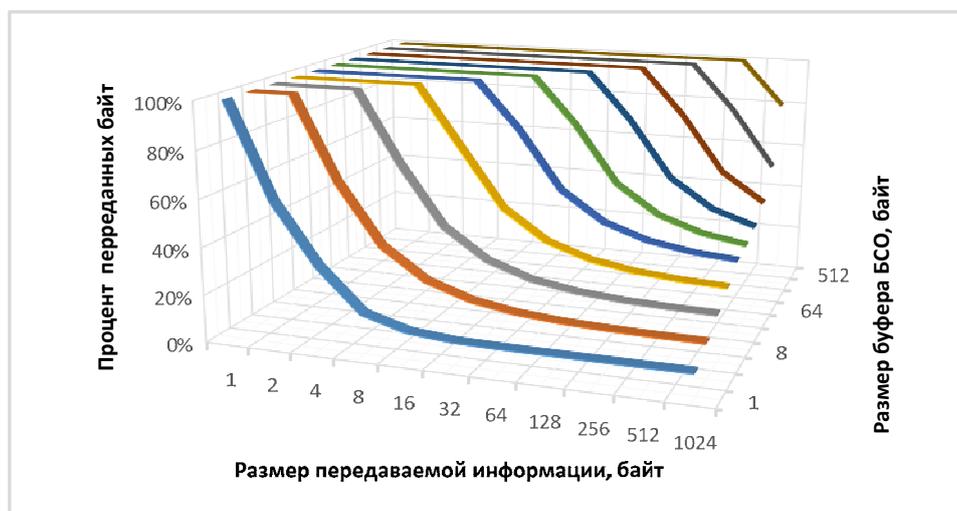


Рисунок 8. График зависимости передаваемого количества информации от размера буфера БСО

Заключение

Выпускаемый на АО «Сарапульский радиозавод» комплекс связи Р-188 «УКУС» является законченным продуктом, который можно рассматривать в качестве многорежимной системы. Одним из основных компонентов данной системы является блок сопряжения с оборудованием старого парка (БСО), позволяющий соединять между собой другие сетевые устройства. Функциональные режимы БСО включают в себя: передачу данных между радиостанцией и ООД, дистанционное управление радиостанцией, подключение внутренней гарнитуры и трансляцию на неё голосовой связи с радиостанции. Работа с блоком сопряжения оборудования имеет перед собой ряд программных и аппаратных особенностей, таких как конфигурация каждого блока по отдельности, отправка команд происходит индивидуально на каждый включенный блок, а также невозможность влиять на передаваемые значения сигналов DTR, DSR, RTS, CTS; неконтролируемая задержка при отправке информации; ограничение блока передаваемой информации в 512 байт, передаваемый пакет информации не должен превышать размер буфера БСО.

Можно отметить, что блок сопряжения оборудования прекрасно выполняет свое главное предназначение: коммутацию голосовой связи между абонентами, но в то же время имеет ряд ограничений и неудобств при передаче цифровой информации (данных и команд).

Список литературы и источников

1. Рекомендация МСЭ-R М.1224-1. Серия М. Подвижные службы, служба распределения, любительская служба и относящиеся к ним спутниковые службы. – Текст : электронный. – URL: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.1224-1-201203-I!!PDF-R.pdf (дата обращения: 20.03.2024). – Режим доступа: свободный.
2. Архитектура построения гетерогенных сетей радиосвязи / В. А. Григорьев, Ю. А. Распаев, В. О. Аксенов [и др.] // Электросвязь. – 2017. – № 12. – С. 14–21. – Текст : непосредственный.
3. «УКУС» – Унифицированный комплекс управления и связи (индекс Р-188) – Текст : электронный. – URL: <http://srzudm.ru/index.php/ukus> (дата обращения: 23.03.2024). – Режим доступа: свободный.
4. ЯФКИ.468351.001 РЭ-ЛУ. Унифицированный комплекс управления и связи Р-188 «УКУС». Блок сопряжения с оборудованием старого парка (БСО). Руководство по эксплуатации. – 41 с. – Текст : непосредственный.
5. ИТНЯ.464511.195РЭ-ЛУ. Радиостанции Р-168-5УН-2, Р-168-5УТ-2. Руководство по эксплуатации. – 169 с. – Текст : непосредственный.
6. ЯФКИ.50054-01 91 01. Унифицированный комплекс управления и связи Р-188 «УКУС». Протокол межблочного взаимодействия. – 73 с. – Текст : непосредственный.
7. Последовательный интерфейс RS-232. Обзор стандарта RS-232. – Текст : электронный. – URL: <http://www.gaw.ru/html/cgi/txt/interface/rs232/> (дата обращения: 25.03.2024). – Режим доступа: свободный.

Научное издание

«ВЕКТОР РАЗВИТИЯ»

Сборник докладов инженерных чтений

Выпуск 13

Редактор *Я. В. Олина*
Технический редактор *С. В. Логинова*
Верстка *Н. В. Паклиной*

Подписано в печать 25.04.2024. Формат 60×84/8
Усл. печ. л. 8,84. Тираж 50 экз. Заказ № 93

Издательство управления информационных ресурсов
Ижевского государственного технического университета имени М. Т. Калашникова
426069, Ижевск, Студенческая, 7

Отпечатано в типографии АО «Сарапульский радиозавод»