

## USB радиомодем

*А.В. Демьяненко, И.В. Ильин, Ф.С. Топалов*

*Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону*

**Аннотация:** В статье рассматривается актуальность создания компактного, мобильного радиомодема поддерживающего современный интерфейс USB. Результат разработки представляет собой полудуплексное приемопередающее устройство, работающее с частотно манипулированными сигналами в безлицензионном диапазоне частот. Радиомодем оснащен интерфейсом USB, через который происходит обмен данными, а так же его питание, в качестве антенн применялись малоэффективные четвертьволновые вибраторы. Увеличение дальности радиосвязи возможно путем применения антенн с высоким КНД. При подготовке данной статьи были проведены экспериментальные исследования двух разработанных устройств в городских условиях. Их целью было установление максимальной устойчивой дальности радиосвязи (при прямой видимости) на различных скоростях передачи данных как с исправлением ошибок при приеме, так и без. Экспериментатор, удаляясь от передающего радиомодема, осуществлял мониторинг принятых данных. Применение помехоустойчивого кодирования наиболее эффективно при высоких скоростях передачи данных (до 3 дБ), нежели при низких (1-2 дБ). Увеличение дальности радиосвязи возможно путем снижения скорости передачи – это обусловлено зависимостью чувствительности приемника от скорости манипуляции. Стоит так же отметить, что уменьшение габаритов устройства возможно путем конструктивной модификации.

**Ключевые слова:** радиомодем, интерфейс USB, подвижная радиосвязь, дальность радиосвязи, помехоустойчивое кодирование, частотно манипулированный сигнал, экспериментальные исследования.

За последние два десятилетия радиосвязь шагнула далеко вперед, особенно в областях, связанных с обменом информацией в цифровом виде [1 - 8]. С каждым годом происходит стремительное увеличение возможностей беспроводных систем: растет пропускная способность, помехоустойчивость, дальность радиосвязи. Доступные сегодня гражданские системы связи на основе Wi-Fi или Bluetooth обладают высокой скоростью обмена информацией и хорошей помехозащищенностью. Однако дальность их действия ограничивается десятками метров. Этот недостаток, а так же специфика и стоимость оборудования не удовлетворяют требованиям некоторых областей использования. К таким областям относятся: передача данных телеметрии, охранные системы и контроль доступа, дистанционное

---

управление объектами, резервирование проводных каналов связи, автоматизированные системы сбора информации, связь с подвижными объектами, конфиденциальная передача информации и др. В этих областях нет необходимости в высокой скорости передачи информации. Первостепенным для них является обеспечение надежного канала связи с мгновенным доступом и высокой достоверностью передачи данных на расстояния в десятки-сотни метров. Перечисленные требования можно выполнить при использовании радиомодемов.

Большинство производимых, в настоящее время, радиомодемов представляют собой громоздкие устройства, как правило, монтируемые стационарно, что исключает мобильность устройств. Кроме этого такие радиомодемы оснащены устаревшим интерфейсом RS-232 и требуют отдельного источника питания, что усложняет процесс установки настройки и эксплуатации оборудования. Типовые характеристики таких радиомодемов приведены в таблице 1.

Таблица № 1

Типовые характеристики современных радиомодемов

Параметр	Значение
Напряжение питания	9 – 30 В
Потребляемый ток в режиме приема/передачи при напряжении питания 12 В	80/150 мА
Выходная мощность передатчика	10 мВт
Режим связи	полудуплекс
Диапазон частот	433,92 ± 0,2% МГц, фиксированная
Максимальная скорость передачи данных	19200 бит/с
Скорость работы последовательного интерфейса	1200 – 38400 бит/с
Внешние интерфейсы	RS-232, RS-485

Актуальным являлось создание компактного, мобильного радиомодема поддерживающего современный интерфейс USB. Разрабатываемый

радиомодем был нацелен не только удовлетворить вышеперечисленным требованиям, но и расширить область применения в сторону подвижной радиосвязи.

Результат разработки представляет собой полудуплексное приемопередающее устройство, работающее с частотно манипулированными сигналами в безлицензионном диапазоне частот 433,075–434,775 МГц с ограничением мощности передатчика на уровне 10 мВт. Радиомодем оснащен интерфейсом USB, через который происходит обмен данными, а так же его питание. Интерфейс USB выступает в качестве физического уровня для интерфейса UART, а радиомодем при этом определяется системой как виртуальный последовательный порт COM. Скорость обмена через интерфейс от 1200 до 115200 Бод. Радиомодем поддерживает скорость передачи информации (скорость манипуляции) от 1 до 300 кбит/с не только с помощью двоичной частотной манипуляции (FSK) [1], но и с помощью спектрально эффективной гауссовской частотной манипуляции (GFSK) [2]. Это достигается благодаря предварительной фильтрации модулирующего сигнала в ФНЧ Гаусса с коэффициентом скругления  $BT_s=0,5$ . При этом ширина спектра GFSK сигнала по уровню -3 дБ на 45% уже чем у FSK сигнала при прочих равных условиях. Однако столь высокая спектральная эффективность ведет за собой увеличение межсимвольной интерференции, и как следствие растет вероятность ошибочного приема [3].

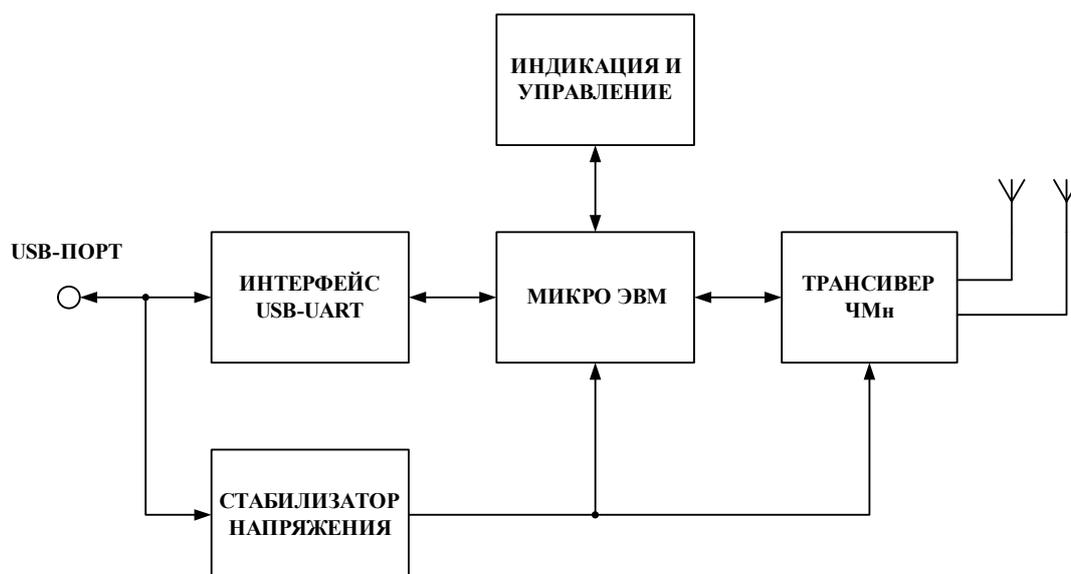


Рис. 1 – Структурная схема радиомодема

Основой радиомодема служит микросхема радиотрансивера ADF7023 производства Analog Devices. Управляющий микроконтроллер Atmel AVR ATmega32A с 32 кБ памяти программ и 2 кБ оперативной памяти и частотой тактирования 11,0592 МГц [9]. Микросхема преобразователя «USB – UART» - FTDI FT232RL [10].

При разработке устройства было уделено внимание вопросу достоверности переданных данных. Радиомодем поддерживает функцию контроля целостности принятых данных путем добавления в передаваемый эфирный пакет поля контрольной суммы (CRC-16) и последующего сравнения принятого поля с вычисленной в приемнике контрольной суммой. Такой подход позволяет лишь удостовериться в корректности данных при приеме и не гарантирует доставку сообщения адресату. Наряду с этим поддерживается возможность коррекции ошибок передачи данных, используя код Рида-Соломона(38, 28) [11]. Устройство способно исправить до 5 ошибочных байтов в принятом искаженном пакете. Применение указанного помехоустойчивого кодирования делает устройство толерантным

к зашумленной обстановке или импульсным помехам, и способно дать кодовое усиление до 3,4 дБ [12].

Внешний вид радиомодема представлен на рис. 2.

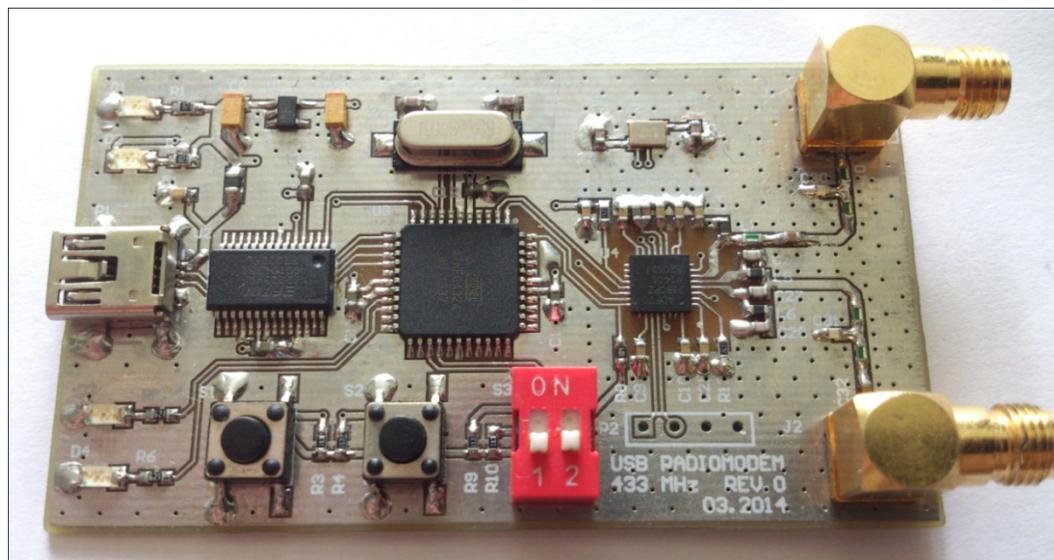


Рис. 2 – Внешний вид радиомодема

Экспериментальные исследования двух разработанных устройств проводились в городских условиях. Их целью было установление максимальной устойчивой дальности радиосвязи (при прямой видимости) на различных скоростях передачи данных как с исправлением ошибок при приеме, так и без. Схема эксперимента выглядела следующим образом. Первый радиомодем, выполняющий роль передающего, устанавливался в окне 4-го этажа здания и подключался к персональному компьютеру. Он осуществлял излучение посылки в эфир с интервалом 1 с. Второй радиомодем, выполняющий роль приемного, использовался в мобильном варианте и был подключен к смартфону. Экспериментатор, удаляясь от передающего радиомодема, осуществлял мониторинг принятых данных. В случае, когда прием происходил без ошибок, приемный радиомодем

передавал смартфону уровень принятого сигнала в дБм. По результатам эксперимента была построена таблица 2.

Таблица № 2

Результаты эксперимента.

Контроль/исправление ошибок	Скорость передачи данных, кбит/с	Уровень принятого сигнала, дБм	Расстояние, м
CRC-16	10	-107	600
RS(38, 28)		-109	660
CRC-16	50	-104	410
RS(38, 28)		-106	470
CRC-16	100	-101	220
RS(38, 28)		-104	300

Как видно из таблицы 2, применение помехоустойчивого кодирования наиболее эффективно при высоких скоростях передачи данных (до 3 дБ), нежели при низких (1-2 дБ). Увеличение дальности радиосвязи возможно путем снижения скорости передачи – это обусловлено зависимостью чувствительности приемника от скорости манипуляции. Согласно документации на микросхему трансивера, чувствительность приемника составляет -116 дБм при скорости 1 кбит/с [13-15]. Однако, на практике такой показатель труднодостижим из-за зашумленной радиообстановки в данном диапазоне частот.

Во всех случаях в качестве антенн применялись малоэффективные четвертьволновые вибраторы. Увеличение дальности радиосвязи (вплоть до 3-5 км) возможно путем применения антенн с высоким КНД, например типа волновой канал, зигзаг и проч.

Стоит так же отметить, что уменьшение габаритов устройства возможно путем конструктивной модификации. Заменяв крупногабаритные компоненты их аналогами в миниатюрных корпусах, и перейдя на многослойную топологию печатной платы размер устройства уменьшится в

2-3 раза. Кроме того, применив микроконтроллер со встроенной аппаратной поддержкой интерфейса USB, например ATmega32U4 в корпусе QFN44, можно отказаться от отдельной микросхемы преобразователя «USB – UART», что одновременно уменьшит и габариты, и стоимость устройства [16,17].

Результаты исследований, изложенные в данной статье, получены при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках реализации проекта «Создание высокотехнологичного производства для изготовления комплексных реконфигурируемых систем высокоточного позиционирования объектов на основе спутниковых систем навигации, локальных сетей лазерных и СВЧ маяков и МЭМС технологии» по постановлению правительства №218 от 09.04.2010 г. Исследования проводились в ФГАОУ ВО ЮФУ.

### Литература

1. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Москва: Издательский дом Вильямс, 2003. 1104 с.
  2. Феер К. Беспроводная цифровая связь. Методы модуляции и расширения спектра: Пер. с англ. / Под ред. В. И. Журавлева. Москва: Радио и связь, 2000. 178 с.
  3. Анненков А. М. Модель радиоканала с частотной модуляцией и непрерывной фазой. // Журнал радиоэлектроники. 2011. №7. 17 с.
  4. Stephen Hinchy, Kalim Khan Reed-Solomon Forward Error Correction and the ADF7023. URL: [analog.com/static/imported-files/application\\_notes/AN-1292.pdf](http://analog.com/static/imported-files/application_notes/AN-1292.pdf).
  5. Варгаузин В.А., Цикин И.А. Методы повышения энергетической и спектральной эффективности цифровой радиосвязи. СПб.: БХВ-Петербург, 2013. 352 с.
-

6. Дмитриев А.В., Панас А.И. Динамический хаос. Новые носители информации для систем связи. М.: Физматлит, 2005. 252 с.
  7. Алексеев Ю.И., Демьяненко А.В., Семерник И.В. Исследование хаотических состояний автоколебательных систем. Генератор на лавинно-пролетном диоде. // Saarbrücken, Deutschland: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2013. 133 с.
  8. Романов И.В., Измайлов И.В., Коханенко А.П., Пойзнер Б.Н. Нелинейное подмешивание радио и видеосигналов в системе связи с использованием динамического хаоса // Известия Томского политехнического университета. 2011. Т. 318. № 2. С. 53-58.
  9. Atmel Corporation, «8-bit Microcontroller with 32KBytes In-System Programmable Flash», 2014. URL: [atmel.com/ru/ru/Images/Atmel-8155-8-bit-Microcontroller-AVR-ATmega32A\\_Datasheet.pdf](http://atmel.com/ru/ru/Images/Atmel-8155-8-bit-Microcontroller-AVR-ATmega32A_Datasheet.pdf).
  10. Future Technology Devices International Limited, «FT232R USB UART IC», 2010. URL: [ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS\\_FT232R.pdf](http://ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS_FT232R.pdf).
  11. Питерсон У., Уэлдон Э. Коды, исправляющие ошибки. М.: Мир, 1976. 596 с.
  12. Stephen Hinchy, Kalim Khan Reed-Solomon Forward Error Correction and the ADF7023, 2014. URL: [analog.com/static/imported-files/application\\_notes/AN-1292.pdf](http://analog.com/static/imported-files/application_notes/AN-1292.pdf).
  13. ADF7023: High Performance, Low Power, ISM Band FSK/GFSK/OOK/MSK/GMSK Transceiver IC Data Sheet (Rev C, 07/2012) / Analog Devices Inc. URL: [analog.com/static/imported-files/data\\_sheets/ADF7023.pdf](http://analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADF7023.pdf).
  14. Liam O’Hora, Autonomous IR Calibration on the ADF7023, 2014. URL: [analog.com/static/imported-files/application\\_notes/AN-1278.pdf](http://analog.com/static/imported-files/application_notes/AN-1278.pdf).
-



15. Liam O'Hara, Embedded Packet Error Rate Testing on the ADF7023 and ADF7023-J, 2013. URL: [analog.com/static/imported-files/application\\_notes/AN-1276.pdf](http://analog.com/static/imported-files/application_notes/AN-1276.pdf).
16. И.С. Коберси Анализ работы подсистемы групповой синхронизации в синфазном и асинфазном режимах широкополосной системы радиосвязи с широтно-импульсной модуляцией // Инженерный вестник Дона, 2014, №4 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2014/2759](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2014/2759).
17. Жуков К.Г. Распознавание типа модуляции сигналов цифровых линий связи // Инженерный вестник Дона, 2009, №2 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2009/130](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2009/130)

### References

1. Sklar B. Tsifrovaya svyaz. [Digital communication. Theoretical basis and practical application] Moscow: Publishing House Williams, 2003. 1104 p.
  2. Feher K. Besprovodnaya tsifrovaya svyaz [Wireless digital communications. Modulation and spreading] Trans. from English. Ed. V. Zhuravlev. Moscow: Radio i Svyaz, 2000. 178 p.
  3. Annenkov A.M. Model radiokanala s chastotnoy modulyatsiey I neprerivnoy fazoy. Journal Radioelektroniky. 2011. №7. 17p.
  4. Stephen Hinchy, Kalim Khan Reed-Solomon Forward Error Correction and the ADF7023. URL: [analog.com/static/imported-files/application\\_notes/AN-1292.pdf](http://analog.com/static/imported-files/application_notes/AN-1292.pdf).
  5. Vargauzin V.A., I.A. Tsikin Methody povisheniya energyticheskoy I spectralnoy effektivnosti tsifrovoy radiosvyazy. [Methods to improve the energy and spectral efficiency of digital radio] SPb.: BHV-Petersburg, 2013. 352 p.
  6. Dmitriev A.V., Panas A.I. Dynamichesky chaos. [Dynamical chaos. New media for communication systems] M.: FIZMATLIT, 2005. 252 p.
-

7. Alekseev Y.I., Demyanenko A.V., Semernik I.V. Issledovanie chaoticheskikh sostoyaniy avtokolebatel'nykh sistem. [Study of chaotic states of self-oscillating systems. Generator avalanche-time diode] Saarbrücken, Deutschland: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2013. 133 p.
  8. Romanov I.V., Izmailov I.V., Kokhanenko A.P., Poizner B.N. Nelineinoe podmeshivanie radio and video signalov v sisteme svyazy s ispolzovaniem dynamicheskogo chaosa Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. 2011. T. 318. № 2. pp 53-58.
  9. Atmel Corporation, «8-bit Microcontroller with 32KBytes In-System Programmable Flash», 2014. URL: [atmel.com/ru/ru/Images/Atmel-8155-8-bit-Microcontroller-AVR-ATmega32A\\_Datasheet.pdf](http://atmel.com/ru/ru/Images/Atmel-8155-8-bit-Microcontroller-AVR-ATmega32A_Datasheet.pdf).
  10. Future Technology Devices International Limited, «FT232R USB UART IC», 2010. URL: [ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS\\_FT232R.pdf](http://ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS_FT232R.pdf).
  11. W. Peterson, E. Weldon Cody ispravlyayushchie oshibky. [Error-Correcting Codes] M.: Mir, 1976. 596 p.
  12. Stephen Hinchy, Kalim Khan Reed-Solomon Forward Error Correction and the ADF7023, 2014. URL: [analog.com/static/imported-files/application\\_notes/AN-1292.pdf](http://analog.com/static/imported-files/application_notes/AN-1292.pdf).
  13. ADF7023: High Performance, Low Power, ISM Band FSK / GFSK / OOK / MSK / GMSK Transceiver IC Data Sheet (Rev C, 07/2012) / Analog Devices Inc. URL: [analog.com/static/imported-files/data\\_sheets/ADF7023.pdf](http://analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADF7023.pdf).
  14. Liam O'Hora, Autonomous IR Calibration on the ADF7023, 2014. URL: [analog.com/static/imported-files/application\\_notes/AN-1278.pdf](http://analog.com/static/imported-files/application_notes/AN-1278.pdf).
  15. Liam O'Hora, Embedded Packet Error Rate Testing on the ADF7023 and ADF7023-J, 2013. URL: [analog.com/static/imported-files/application\\_notes/AN-1276.pdf](http://analog.com/static/imported-files/application_notes/AN-1276.pdf).
  16. Kobersi I.S. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2014, №4 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2014/2759](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2014/2759).
-



17. Zhukov K.G. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2009, №2 URL:  
[ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2009/130](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2009/130).