

Стенд изучения SDR

Ш. Р. Абдульманов, Д.П. Данилаев, А.Н. Хайруллин, Н.Г. Хайруллин

*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева
- КАИ, г. Казань*

Аннотация: Soft Defined Radio (SDR) или программно-конфигурируемый приемник является наиболее перспективным направлением развития современных радиоприемных устройств, поэтому изучению принципов его построения следует уделять особое внимание при подготовке радиоинженеров. Однако, поскольку большая часть операций по обработке и преобразованию принятого сигнала осуществляется в программном виде, в том числе в сигнальных процессорах, то построение наглядного для понимания лабораторного макета вызывает вопросы. В данной работе для наибольшего охвата всех процессов обработки и преобразования принятого сигнала предложено лабораторный макет реализовать на основе модели супергетеродинного приемника с двукратным преобразованием частоты с ненулевой промежуточной частотой. Результатом является возможность исследования влияния программной настройки и перестройки параметров отдельных структурных элементов схемы (модели), а также типов отдельных элементов.

Ключевые слова: SoftDefinedRadio, полосовой фильтр, SDR приемник, двухпозиционное кодирование, постоянная времени, амплитудно-цифровой преобразователь, BPSK, полоса пропускания.

1. Введение

В теории цифровой радиосвязи особое внимание уделяется принципам построения радиоприемников [1]. Известно, что для цифровых сигналов возможно построение схем и аналоговых, и цифровых приемных устройств. Однако цифровая обработка сигналов позволяет реализовать оптимальные методы выделения несущего сигнала и его демодуляции [2, 3], а также обеспечить адаптивную настройку алгоритмов цифровой обработки принятого сигнала под условия приема. Наибольший интерес в современной технике радиоприема представляют технологии программно-конфигурируемого приема, которые являются ключевыми для дальнейшего развития радиооборудования: адаптивного, когнитивного и интеллектуального радио [4, 5]. При этом большая часть операций по обработке и преобразованию принятого сигнала осуществляется в программном виде, в блоках цифровой обработки сигналов. При изучении такого подхода к радиоприему необходимо более развернутое представление

происходящих процессов, пояснение их математического описания и способов алгоритмической реализации [6-8]. Целью данной работы является представление подхода к построению наглядного лабораторного макета, раскрывающему в той или иной степени эти вопросы.

Наиболее наглядным на наш взгляд подходом к построению модели SDR приемника является использование средств объектно-ориентированного программирования. Поблочное представление и описание структурных элементов схемы позволяет реализовать соответствующую настройку и перестройку их параметров. Такой подход позволяет разработать модель SDR приемника, и на ее основе – виртуальный лабораторный стенд его исследования. При этом для исследования свойств приемника предусматривается также применение упрощенной модели передатчика, без учета влияния канала связи.

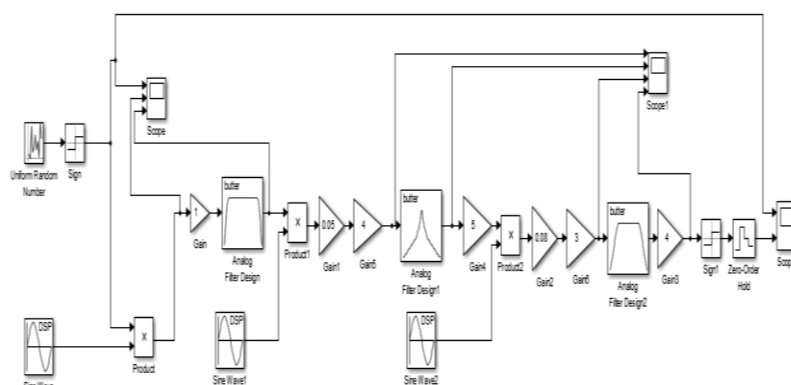


Рис.1. –Модель системы приема-передачи информации с SDR приемником

Разработанная модель позволяет реализовать различные практические задания с целью исследования SDR приемников. Предметом анализа являются результаты моделирования. Причем один лабораторный макет может послужить основой для нескольких лабораторных работ, каждая из которых может быть посвящена настройке, определению, оптимизации отдельных структурных блоков и их влиянию на общие характеристики.

2. Описание модели и результаты моделирования

Входной сигнал с выхода виртуального передатчика подается на малошумящий усилитель – Gain (рис.1). Первый полосовой фильтр – AnalogFilterDesign настроен на среднюю частоту принимаемого диапазона и обеспечивает подавление зеркального канала приема. После фильтрации сигнал подвергается первому преобразованию частоты, спектр сигнала переносится на первую промежуточную частоту. После преобразования частоты происходит повторная фильтрация на фильтре первой промежуточной частоты – AnalogFilterDesign 1. Затем сигнал переносится на вторую промежуточную частоту. После последующей, необходимой полосовой фильтрации и усиления, сигнал поступает на аналого-цифровой преобразователь АЦП. В модели он представлен блоком Zero-OrderHold (рис.1). Окончательная обработка осуществляется в цифровом вычислителе.

Важно отметить, что свойства АЦП существенно влияют на общие характеристики приемника. Значение имеют и его шумовые свойства, и разрядность, тактовая частота и др. К АЦП должны предъявляться высокие требования по линейности и динамическому диапазону, для исключения образования комбинационных частот и предотвращения искажения суммарного преобразуемого сигнала [9, 10].

Представленная схема (рис.1) отражает основные процессы, реализованные в каждом структурном блоке. Схема реализации и настройка каждого из блоков будет влиять на параметры и характеристики всего приемника.

Блоки передатчика (Uniform Random Number, Sign, Sine Wave и Product) являются формирователем сигнала, который представляет собой элементы с двупозиционным кодированием. Его назначение заключается в формировании некоторого подобия информационного сигнала с последующей фазовой манипуляцией [11]. После обработки и демодуляции сигнала в приемнике можно исследовать достоверность воспроизведения, а

также влияние параметров того или иного блока приемника, или параметров приемника в целом на эту достоверность.

Анализ достоверности в данном контексте обеспечивает также проверку адекватности модели. Виртуальный лабораторный стенд позволяет исследовать, совпадает ли принятый сигнал с исходным или нет, а также исследовать влияние настройки структурных блоков приемника на правильность приема (то есть, на частоту появления ошибок приема). На основе этой модели можно исследовать, например, влияние полосы пропускания на появление ошибки, оценить ошибку дискретизации и т.д. Отметим, что при разработке виртуального лабораторного макета для студентов вопросы полноты модели можно не рассматривать в полной мере.

В виртуальном лабораторном макете возможна реализация целого алгоритма исследования. В рамках отдельных заданий возможны последовательное изменение (перестройка) каждого структурного блока приемника и последующий анализ влияния их параметров на общие характеристики. Также возможен поиск так называемых узких мест, в наибольшей степени влияющих на общие характеристики приемника.

Рассмотрим этот процесс на примере изменения полосы пропускания при одном значении порядка фильтров. На рис. 2 виден переходной процесс, связанный с изменением значения информационного параметра при фазовой манипуляции. Разработанная модель позволяет оценить длительность переходного процесса, и его связь с постоянными времени цепей радиочастотного тракта приемника, в первую очередь, с постоянными времени фильтров [12].

Увеличивая полосу пропускания фильтров, можно наблюдать изменение длительности переходного процесса (рис.3). Длительность переходного процесса оказывается меньше, чем в предыдущем варианте, но все же переходной процесс наблюдается.

При уменьшении значения полосы пропускания фильтров относительно первого, исходного значения, задержка становится больше (рис.4), а при значительном уменьшении полосы пропускания, сигнал пропадает (рис.5). Таким образом, студенты могут наглядно обнаружить, что сужение полосы пропускания свыше некоторого порогового значения ведет к появлению неустранимых ошибок и полной потере информации.

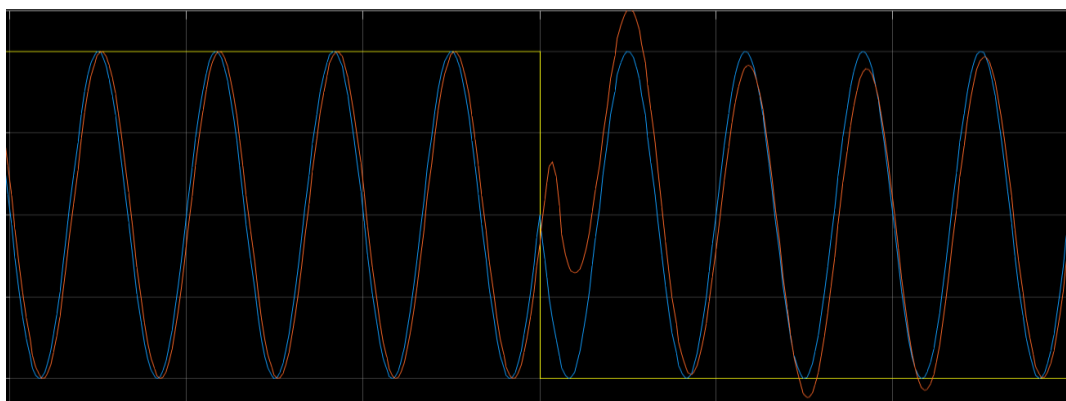


Рис. 2. – Переходной процесс в момент переключения фазы фазоманипулированного сигнала (BPSK)

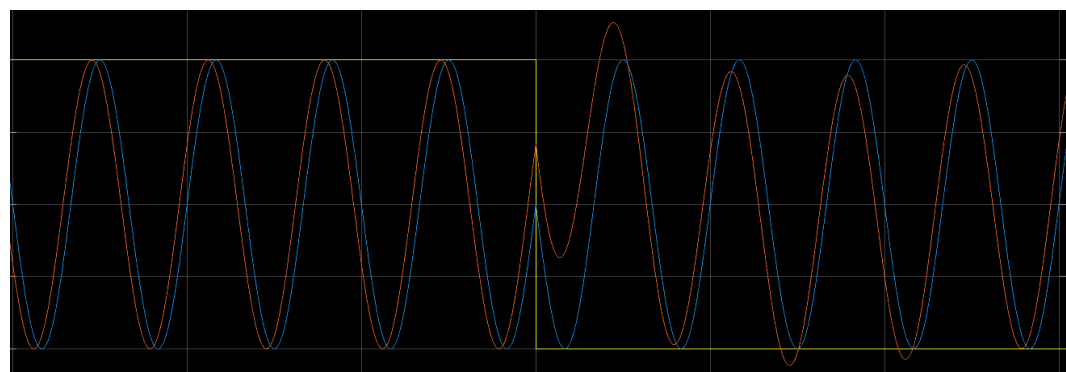


Рис. 3. – Переходной процесс в момент переключения фазы фазоманипулированного сигнала (BPSK) при увеличении полосы пропускания фильтров

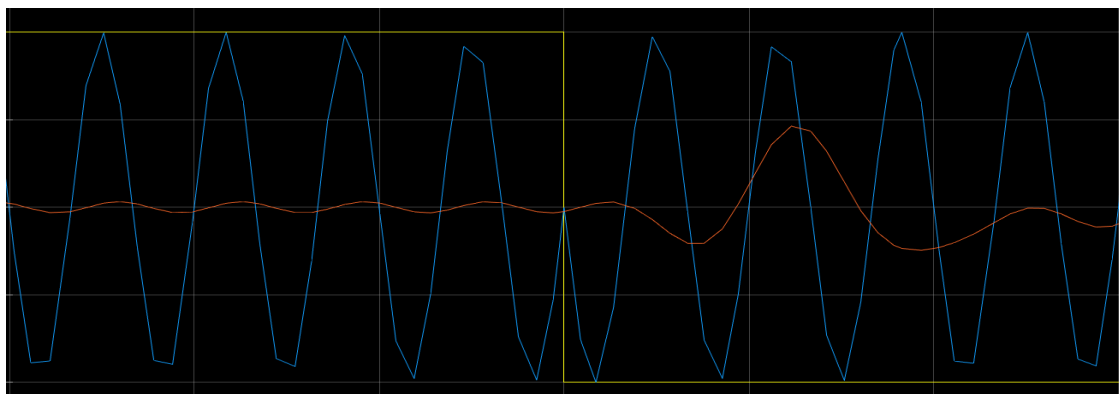


Рис. 4. – Переходной процесс в момент переключения фазы фазоманипулированного сигнала (BPSK) при сужении полосы пропускания фильтров

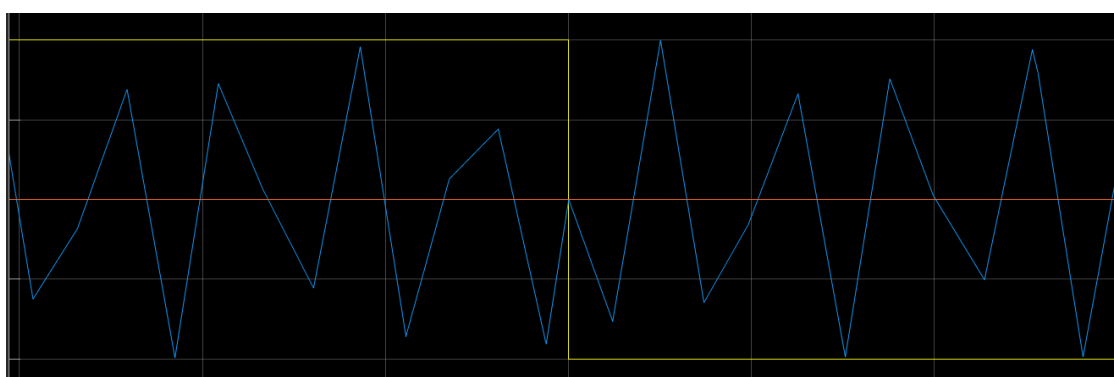


Рис. 5. – Появление неустранимых ошибок приема информации при сужении полосы пропускания фильтров свыше некоторого порогового значения

Разработанный лабораторный стенд позволяет также исследовать, например, ошибку дискретизации. Наиболее простым способом уменьшения ошибки дискретизации является повышение частоты дискретизации [5]. Рассмотрим это на графиках (рис.6 – 9).

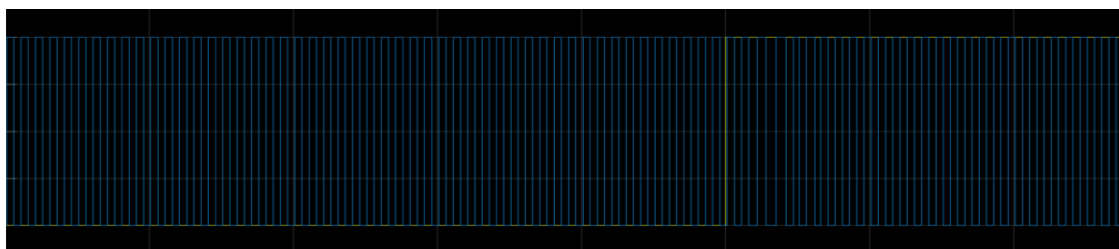


Рис. 6. – График исследования ошибки дискретизации при значении времени выборки 0,001

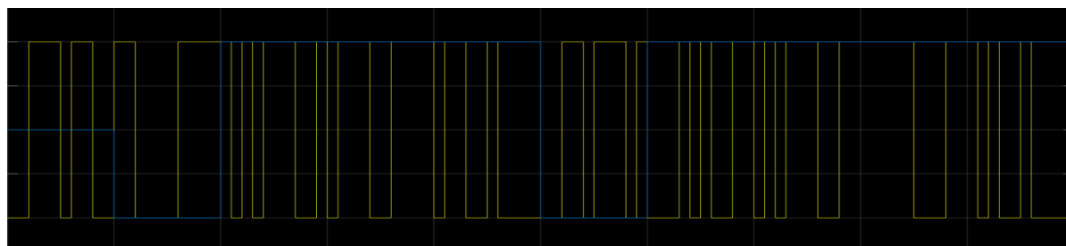


Рис. 7. – График исследования ошибки дискретизации при значении времени выборки 0,01

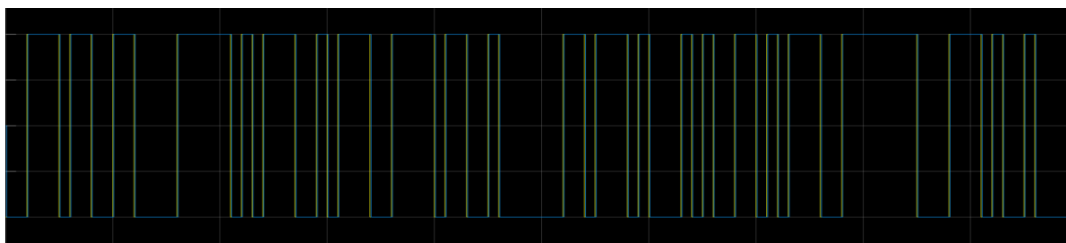


Рис. 8. – График исследования ошибки дискретизации при значении времени выборки 1

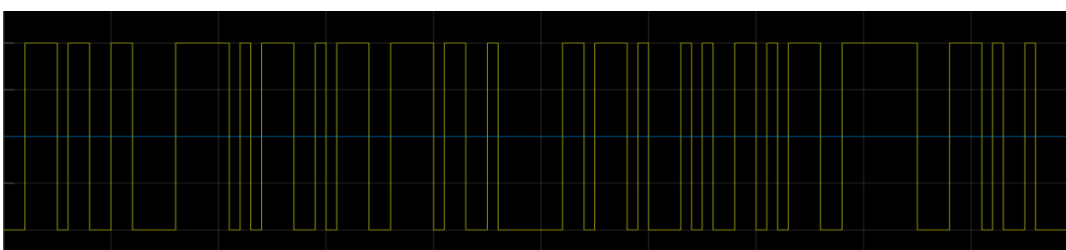


Рис. 9. – График исследования ошибки дискретизации при значении времени выборки 10

Анализ приведенных графиков показывает, что при увеличении частоты дискретизации ошибка уменьшается.

3. Заключение

В предложенной схеме виртуального лабораторного макета изменение параметров отдельных блоков аналогично программной настройке приемника. Разработанная модель позволяет наглядно понять, как программное управление влияет на реальные параметры приемника. Описываемое программное управление может быть реализовано, например, с помощью микроконтроллера, на основе алгоритмов, исследуемых в этой модели.

Таким образом, представленная модель позволяет исследовать влияние частотных параметров отдельных структурных блоков на появление ошибок и/или переходных процессов в устройстве, а также обрабатывать алгоритмы настройки, перестройки и регулировки приемника программным способом.

Научные исследования проведены при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках исполнения обязательств по Соглашению номер 075-03-2020-051/3 от 09.06.2020 (номер темы fzsu-2020-0021).

Литература

1. Галкин В.А. Цифровая мобильная радиосвязь. Учебное пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Горячая линия. – Телеком, 2015. – 590 с.
2. Маковеева М.М., Шинаков Ю.С. Системы связи с подвижными объектами: учебное пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 2002. – 440с.
3. Liu Y., Wang L, Tian C., Zhang M., and Liao Y. Analysis and optimization of the PGC method in all digital demodulation systems // Journal of Lightwave Technology, 2008, vol. 26, no. 18, pp. 3225–3233.
4. Галкин В.А. Основы программно-конфигурируемого радио. — М.: Горячая линия. – Телеком, 2016. – 372 с.
5. ECE 4670 Spring 2014 Lab 6 Software Defined Radio and the RTL-SDR USB Dongle - Stanford's Analog and Digital Communication System 2014 course.
6. Лайонс Р. Цифровая обработка сигналов: 2-е изд. Пер. с англ. — М.: ООО «Бином-Пресс», 2006. 655 с.
7. Солонина А. И. Основы цифровой обработки сигналов. БХВ-Петербург, 2012 - 768 с.
8. Блейхут Р. Быстрые алгоритмы цифровой обработки сигналов: Пер. с англ.—М.: Мир, 1989. - 448 с.
9. Chen, Y., Pollok, A., Haley, D., & Davis, L.M. ADC diversity for software defined radios. In Wireless Innovation Forum (Ed.), Proceedings of the SDR-

Winncomm (Vol. 2013, pp. 181-186).

10. Danilaev D.P. Analog-to-Digital converter selection for digital receiver // Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications, Synchroinfo, 2019. С. 8813931.

11. Kim K., Polydoros A. Digital modulation classification: the BPSK versus QPSK case. MILCOM 88, 21st Century Military Communications - What is Possible? Conference record. Military Communications Conference, San Diego, CA, USA, 1988, pp. 431-436 vol.2, doi: 10.1109/MILCOM.1988.13427.

12. Кестер Уолт Проектирование систем цифровой и смешанной обработки сигналов. М.: Изд. Техносфера. 2010. 326 с.

References

1. Galkin V.A. Cifrovaya mobil'naya radiosvyaz'. [Digital mobile radio communication]. Uchebnoe posobie dlya vuzov. 2-e izd., pererab. i dop. М.: Goryachaya liniya Telekom, 2015. 590 p.

2. Makoveeva M.M., SHinakov YU.S. Sistemy svyazi s podvizhnymi ob"ektami [Communication systems with mobile objects: a textbook for universities]: uchebnoe posobie dlya vuzov. М.: Radio i svyaz', 2002. 440p.

3. Liu Y., Wang L, Tian C., Zhang M., and Liao Y. Journal of Lightwave Technology, 2008, vol. 26, no. 18, pp. 3225–3233.

4. Galkin V.A. Osnovy programmno-konfiguriruемого radio. [Fundamentals of software defined radio]. М.: Goryachaya liniya Telekom, 2016. 372 p.

5. ECE 4670 Spring 2014 Lab 6 Software Defined Radio and the RTL-SDR USB Dongle - Stanford's Analog and Digital Communication System 2014 course.

6. Lajons R. Cifrovaya obrabotka signal [Digital Signal Processing]: 2-e izd. Per. s angl. М.: ООО «Binom-Press», 2006.

7. Solonina A. I. Osnovy cifrovoj obrabotki signalov [Fundamentals of digital signal processing]. BHV-Peterburg, 2012. 768 p.

8. Blejhut R. Быстрые алгоритмы цифровой обработки сигналов [Fast algorithms for digital signal processing]: Пер. с англ. М.: Mir, 1989. 448 p.
9. Chen, Y., Pollok, A., Haley, D., & Davis, L.M. ADC diversity for software defined radios. In Wireless Innovation Forum (Ed.), Proceedings of the SDR-Winncomm (Vol. 2013, pp. 181-186).
10. Danilaev D.P. Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications, Synchroninfo, 2019. p. 8813931.
11. Kim K., Polydoros A. Digital modulation classification: the BPSK versus QPSK case. MILCOM 88, 21st Century Military Communications - What's Possible". Conference record. Military Communications Conference, San Diego, CA, USA, 1988, p. 431-436 vol.2, doi: 10.1109/MILCOM.1988.13427.
12. Kester Uolt Proektirovanie sistem cifrovoj i smeshannoj obrabotki signalov. [Design of systems for digital and mixed signal processing]. М.: Izd. Tekhnosfera. 2010. 326 p.