

УДК 681.3.06

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ МОДУЛЬ ЦИФРОВОГО ПРИЕМНИКА

Р.Р. Латыпов, В.В. Бочкарев, И.Р. Петрова

UNIVERSAL MODULE OF DIGITAL RECEIVER

R.R. Latipov, V.V. Bochkarev, I.R. Petrova

В работе рассмотрена модернизация цифровой приемной части доплеровского фазоугломерного комплекса «Спектр» Казанского государственного университета. В ходе модернизации произведен переход на полностью цифровой принцип разделения квадратурных составляющих принимаемого радиосигнала. В результате модернизации создан новый цифровой приемник, который позволяет расширить возможности приема радиосигналов в низкочастотную область.

In this paper, modernization of doppler phase goniometric complex «Spektr» is shown. One of results of this modernization is transfer from analog quadrature division to fully digital. Another also interesting result is possibility to receive low frequency radio waves, by using appropriate preselector.

Доплеровский фазоугломерный комплекс «Спектр» был создан для исследования углового распределения радиосигналов в КВ-диапазоне, а также статистических закономерностей и физической природы искажений частотного спектра радиосигналов в 80-х гг. 20-го в. [1, 2]. Принципы работы комплекса базируются на интерференционных методах радиозондирования с использованием узкополосных сигналов непрерывно излучающих станций КВ-диапазона [3]. При проведении экспериментов используются сигналы станций точного времени (РВМ, РИД) и радиовещательных станций (Радио России, ВВС, Радио «Свобода» и др.). Комплекс пережил ряд модернизаций и нововведений, что является закономерным в свете развития техники, а также постановки новых задач исследования. Применение современных технических средств обработки данных позволило создать надежную систему для долгосрочных (до нескольких месяцев) непрерывных измерений, что расширило возможности исследования долгопериодных волновых процессов, а также позволило проводить мониторинг ионосферных параметров. Применение оригинальных алгоритмов управления и обработки данных позволило проводить долговременные измерения в автоматическом режиме, практически, без присутствия оператора.

Система сбора и предварительной обработки сигнала была модернизирована в два этапа: первым этапом были заменены аналого-цифровые преобразователи и управляющий микроконтроллер, вторым этапом была разработана новая система оцифровки сигнала, без переноса спектра сигнала на низкую частоту.

До модернизации эта часть комплекса работала следующим образом. Перед проведением аналого-цифровой обработки спектр сигнала, взятого со второй промежуточной частоты радиоприемного устройства, подвергался переносу на низкую частоту. Перенос осуществлялся при помощи внешних смесителей. В качестве третьего опорного гетеродина использовался генератор с квадратурным выходом и перестраиваемым частотным диапазоном 215.000–215.050 Гц. Сигнал, разложенный в квадратурном базисе на низкой частоте, подвергался аналоговой фильтрации и аналого-цифровой обработке. Низкочастотная фильтрация осуществлялась фильтрами Чебышева 6-го порядка. Частота среза фильтра 80 Гц

(по уровню -3 дБ), ФЧХ фильтра подстраивается RC-цепью на входе фильтра и линейно изменяется от 0° до 180° в полосе частот $0\div 57$ Гц. Система аналого-цифрового преобразования была представлена в виде 8-канального аналого-цифрового преобразователя, использующего двухканальные 14 разрядные ИС AD7863-AR10 со временем преобразования 5.2 мкс, после чего при помощи микроконтроллера информация передавалась на персональный компьютер.

Первым этапом в проведении модернизации системы сбора информации было решение использовать новые более быстродействующие аналого-цифровые преобразователи. Повышение разрядности АЦ-преобразователя расширяет динамический диапазон, а увеличение скорости оцифровки в конечном счете повышает соотношение сигнал/шум или может быть использовано для увеличения полосы приема радиосигналов. Из довольно большого списка производимых АЦ-преобразователей были выбраны встроенные в микроконтроллер серии C8051F06x АЦП фирмы SiLabs [4, 5]. Микроконтроллеры C8051F06x примечательны по следующим причинам: они содержат высокоскоростное 25 MIPS ядро процессора I8051, внутри микросхемы находятся два высокоскоростных 16-битных АЦ-преобразователя поразрядного уравнивания, предельная частота дискретизации которых один мегагерц. Для использования в качестве устройства оцифровки были применены четыре оценочные платы C8051F064-EVB с микроконтроллером C8051F064. Такой симбиоз аналого-цифрового преобразователя и микроконтроллером предоставил возможность уменьшить время между отсчетами до 1–2 мкс. Однако напрямую воспользоваться такой возможностью не удалось, так как оцифрованный сигнал необходимо передать на ПК для дальнейшей обработки, а микроконтроллер использует протокол RS-232 для коммуникации. Ограничением, которое накладывает это обстоятельство, является максимальная скорость передачи данных, составляющая 115 кБод. То есть для работы в непрерывном режиме предельная скорость выдачи отсчетов АЦ-преобразователя составляет около пяти килогерц. Но даже такое увеличение частоты оцифровки в 25 раз позволило увеличить соотношение сигнал/шум, за счет сжатия полосы принимаемого способом в 5 раз достаточно

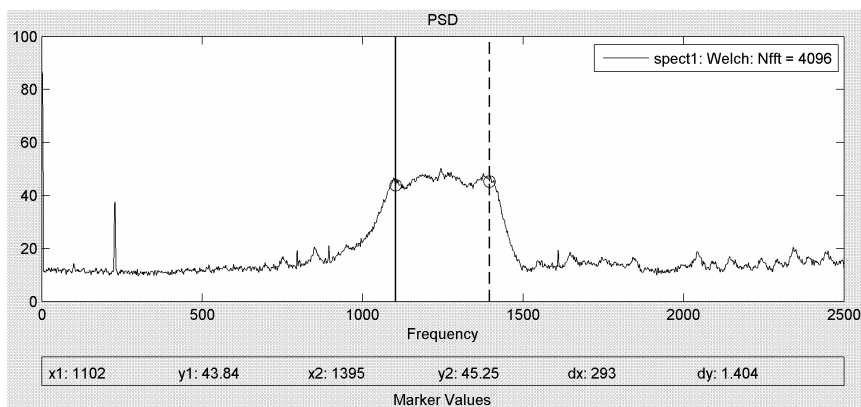


Рис. 1. Спектральная обработка принимаемого радиосигнала.

короткие сроки без существенных доработок в аппаратной части комплекса. Основные доработки коснулись модуля работы с аппаратурой, управляющей программы доплеровского фазоугломерного комплекса «Спектр».

В ходе работ по модернизации комплекса появилась идея полного отказа от аналоговой части системы оцифровки сигнала и проведения операции разделения квадратур сигнала цифровым способом [6]. Применение цифровой обработки сигнала на второй ПЧ позволит увеличить стабильность параметров системы обработки, увеличить идентичность характеристик каналов многоканальной приемной системы, исключить дополнительный аналоговый перенос на низкую частоту, уменьшить вносимые нелинейные искажения сигнала. Например, аналоговый способ формирования квадратуры имеет ряд недостатков – невысокие стабильность и линейность, неидентичность каналов, нарушение квадратуры, трудности фильтрации [7]. Для того чтобы реализовать такую систему, необходимо, чтобы частота дискретизации f_d находилась в следующем соотношении с частотой сигнала f_0 (1):

$$f_d = \frac{4f_0}{2i+1}, \quad (1)$$

где i – любое целое положительное число.

В связи с тем, что полоса принимаемого сигнала на выходе со второй промежуточной частоты ограничена аналоговым фильтром радиоприемного устройства до 300 Гц, наиболее простым в данном случае решением было подобрать частоту дискретизации, удовлетворяющую соотношению (1), и воспользоваться прямым цифровым переносом. Данный эксперимент был проведен, ширина полосы приема составляла 300 Гц, результат спектральной обработки полученных данных представлен на рис. 1.

Из рисунка следует, что соотношение сигнал/шум очень мало, что объясняется тем, что оцифровка велась в 85 зоне Найквиста. Данный эксперимент показал, что для полноценной цифровой квадратурной обработки сигнала необходимо разработать новое цифровое приемное устройство.

Вторым этапом модернизации стала разработка нового цифрового приемника. В качестве АЦ-преобразователей были использованы все те же

С8051F064, так как предельная частота дискретизации с запасом удовлетворяет выражению (1), но для того чтобы реализовать такую возможность, необходимо было разработать высокоскоростное четырехканальное устройство, осуществляющее предварительную обработку данных, поступающих с АЦ-преобразователей (микроконтроллера). Для этих целей была использована отладочная плата фирмы Altera с установленной на ней микросхемой Cyclon II. Блок-схема одного канала нового устройства сбора информации представлена на рис. 2. В состав устройства, реализованного на микросхеме ПЛИС, входят: интерфейсный блок (не изображен на рисунке), блок разделения квадратур, цифровой фильтр, дециматор и блок связи с ПК.

Таких каналов четыре – по количеству приемников в составе комплекса. Скорость оцифровки АЦП порядка одного мегагерца, что позволяет оцифровывать сигнал напрямую со второй промежуточной частоты радиоприемника (215 кГц). При этом полоса принимаемого радиосигнала фактически ограничена максимально возможной полосой приема (10 кГц) радиоприемного устройства. После чего сигнал попадает в блок разделения квадратур. Каждая компонента сигнала последовательно проходит фильтрацию – это позволяет уменьшить полосу (порядка полумегагерца) входного сигнала до необходимых 300 Гц – и децимацию – цифровой перенос на низкую частоту.

Одним из вариантов использования такого модуля цифрового приема является создание простых в аппаратной реализации низкочастотных радиоприемников, необходимы всего лишь фильтры преселектора нужного частотного диапазона, усилитель и антенна.

В итоге создано многофункциональное современное цифровое приемное устройство с полосой приема до 500 кГц. Возможности для дальнейшего развития обусловлены неполным использованием ПЛИС, т. е. можно изменить количество каналов в сторону увеличения, использовать более сложные механизмы фильтрации принимаемых данных. Также данное устройство позволяет расширить частотный диапазон ДФУК «Спектр» в низкочастотную область 0–1 МГц, не используя РПУ «Катран», за счет использования соответствующих полосовых фильтров преселектора. Новые возможности могут быть

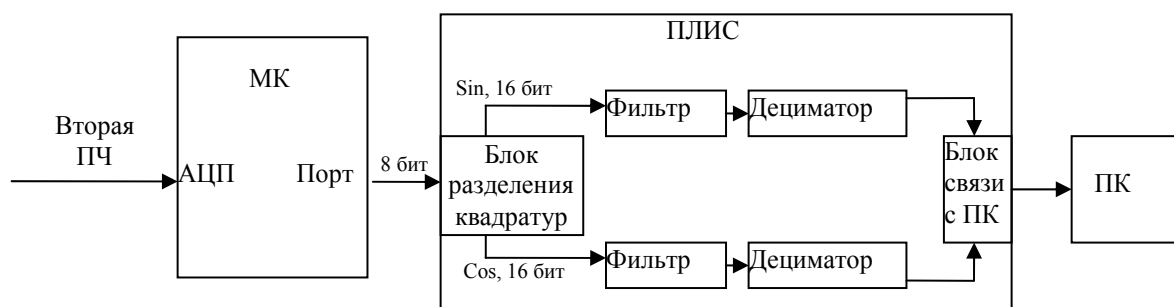


Рис. 2. Блок-схема одного канала системы сбора информации.

использованы для изучения волновых процессов в низко расположенных слоях ионосферы (D); атмосферных волн с короткими периодами (акустических, магнитозвуковых); НЧ-колебаний в шумановском резонаторе (резонатор Земля–ионосфера); вопросов ЭМ-совместимости в диапазоне 0–1 МГц.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 05-05-64651а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Теплов В.Ю., Бочкарев В.В., Петрова И.Р., Шорников В.О. Многоканальный измерительный фазоугломерный комплекс КВ-диапазона // Прием и обработка сигналов в сложных информационных системах / Казанский ун-т. 2003. № 21. С. 113–121.

2. Теплов В.Ю., Бочкарев В.В., Петрова И.Р., Сонгатов А.А., Шорников В.О. Фазоугломерные исследования

параметров сигналов в КВ-диапазоне // Школа-конференция по дифракции и распространению волн: труды XII Всероссийской конф. Москва, Россия 19–23 дек. 2001. М., 2001. Т. 2. С. 329–331.

3. Афраймович Э.Л. Интерференционные методы радиозондирования ионосферы. М.: Наука, 1982. 198 с.

4. Николайчук О. x51-совместимые микроконтроллеры фирмы Silicon Laboratories (Cygnal). М.: ИД СКИМЕН, 2004. 628 с.

5. Datasheet C8051F060/1/2/3/4/5/6/7 Mixed Signal ISP Flash MCU Family Rev. 1.2 7/04 Copyright © 2004 by Silicon Laboratories

6. Жодзишский М.И. и др. Цифровые радиоприемные системы. М.: Радио и связь, 1990. 208 с.

7. Шлеев С.Е. Элементная база и архитектура цифровых радиоприемных устройств // Цифровая обработка сигналов. 1999. № 1.

Казанский государственный университет, Казань