

ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ БЛОКОВ ПРОГРАММНО ОПРЕДЕЛЯЕМОГО РАДИО ДЛЯ ЦЕНТРА УПРАВЛЕНИЯ СТУДЕНЧЕСКИМ СПУТНИКОМ

П. И. Илбуть, С. В. Лешкевич, В. А. Саечников

Белорусский государственный университет

Минск, Беларусь

e-mail: leshkevichs@bsu.by

Разработаны узлы программно определяемого радио для системы связи наземного центра управления со студенческим наноспутником БГУ. Выполнена проверка работы наземного комплекса управления студенческим спутником в процессе приема сигналов метеорологических спутников серии NOAA и Meteor.

Ключевые слова: генератор, управляемый напряжением; программируемая логическая интегральная схема; фазовая автоподстройка частоты.

IMPLEMENTATION OF THE SOFTWARE-DEFINED RADIO COMPONENTS FOR THE STUDENT SATELLITE CONTROL CENTRE

P. I. Ilbut, S. V. Liashkevich, V. A. Saechnikov

Belarusian State University

Minsk, Belarus

Components of software defined radio for student satellite communication center are developed. Receiving of meteorological satellite signals was used for validation testing of communication center.

Keywords: voltage-controlled oscillator; programmable logic integrated circuits; phase-locked-loop frequency control.

ОПИСАНИЕ РАБОТЫ

Разнообразие видов модуляции и протоколов, используемых современными системами связи для обеспечения устойчивой работы канала связи в различных условиях, обычно требует аппаратуры, которая способна защитить информацию и адаптироваться к помехам и погодным условиям. Традиционно это решается использованием программируемой логики, которая в хорошем темпе может выполнять все, что касается цифровой обработки сигналов. Хотя этот метод и не самый легкий путь создать канал связи, в центре управления студенческим космическим аппаратом используется именно он. Использование пакетной технологии IP позволяет интегрировать радиоканал в существующую вычислительную сеть центра управления. Имеющееся оборудование позволяет принимать сигналы с радиолюбительских спутников, таких как SO-50.

Тестирование наземного комплекса управления проводилось VHF (144 МГц), UHF (435 МГц) и L (1700 МГц) диапазонах, на сигналах метеорологических спутников, передающих изображения земной поверхности и несущих в себе данные об облачности и погоде в изображенной местности. Для приема сигналов необходимы кабельная система, комплект фильтров, генератор опорной частоты, близкой к несущей частоте сигнала, чтобы переносить принятый сигнал в рабочую область для аналого-цифрового преобразователя (АЦП); смеситель, переносящий сигнал в рабочую для аналого-цифрового преобразователя область и аппаратура цифровой обработки сигналов, включающая АЦП.

Аппаратура для цифровой обработки сигналов содержит алгоритмы обработки оцифрованного сигнала и формирования битовой последовательности, содержащей в себе полезную информацию, являющуюся конечной целью создаваемого приемника. Другими словами, необходимо создать алгоритмы цифровой обработки принимаемых сигналов для наземного комплекса управления МКА и оптимизировать схемы подавления помех, возникающих в линии связи при передаче сигналов, а также при их обработке. Для этого нужно по идеологии SDR создать узлы для приемника наземного комплекса управления МКА.

В узлы приемника входят ПИ-регуляторы, СИС-фильтр, осцилляторы, управляемые напряжением, интерполяторы, система фазовой автоподстройки частоты. Полная реализация схемы возможна на приемном комплексе производства National Instruments. Для этого необходимо создать алгоритмы для программируемой логики в среде графического программирования LabVIEW.

Структура ПЛИС-приемника с использованием принципа SDR изображена на рис. 1.

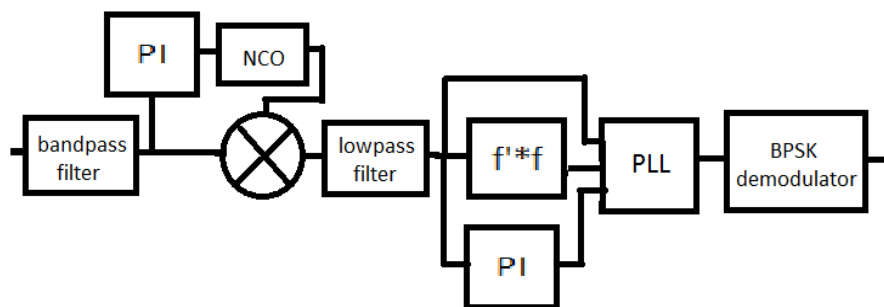


Рис. 1. Структура ПЛИС

Основные компоненты ПЛИС: смеситель, NCO, ПИ-регуляторы, СИС-фильтр (lowpass filter), система фазовой автоподстройки частоты, демодулятор.

Смеситель представляет собой обычную схему для перемножения двух сигналов, одним из которых является информационный сигнал, другим – гармонический сигнал с NCO, имеющий ту же частоту, что и несущая первого.

Сигнал после АЦП необходимо перенести на нулевую несущую частоту. Для осуществления этого действия нужно абсолютно точно знать значение его несущей в каждый момент времени. Для ее определения используется ПИ-регулятор.

NCO необходим для создания гармонического сигнала с такой же частотой, что и несущая частота сигнала. Генерируемая частота задается фазой на выходе ПИ-регулятора, описанного выше. NCO включает в себя массив идеальных значений гармонического сигнала. В массиве содержится 128 значений, которых хватает для вычисления синуса, спектр которого будет иметь боковые полосы ниже основной гармо-

ники в 10^6 раз. Эта точность достигается также и за счет использования параболического интерполятора, так как на малых интервалах функция синуса хорошо описывается параболой. В ходе работы на основании значения фазы на входе и размерности массива NCO определяет соответствующие соседние точки из массива для искомого значения генерируемого сигнала, далее по этим соседним точкам оно и вычисляется интерполятором. Схема NCO с параболическим интерполятором изображена на рис. 2.

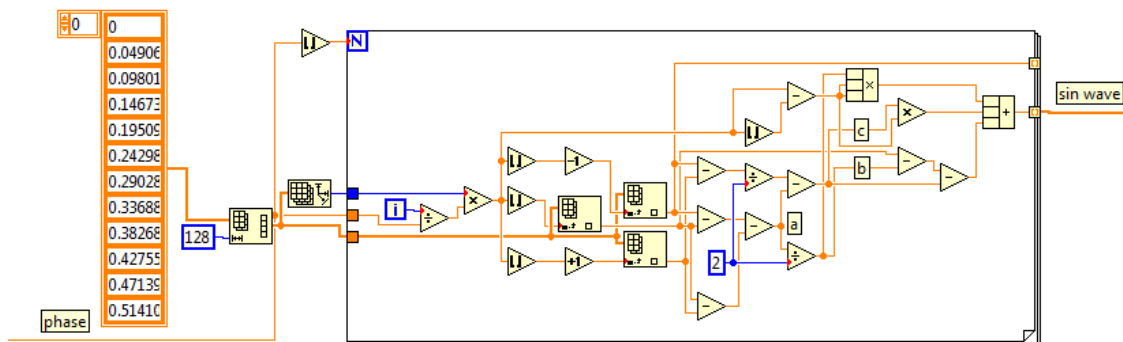


Рис. 2. Схема NCO с параболическим интерполятором

После NCO осуществляется смешивание полученного гармонического и информационного сигналов, в результате образуется сигнал с нулевой несущей частотой, в котором необходимо отфильтровать интермодуляционные шумы, появившиеся после смешения. Для этого используется СИС-фильтр.

СИС-фильтр состоит из трех звеньев. Первое звено содержит шесть элементов задержек, второе и третье – восемь и десять соответственно. Эти значения подбираются так, чтобы локальные минимумы трех звеньев спектра выходного сигнала были распределены по всему спектру в области затухания и не накладывались друг на друга. В результате получается спектральная картина, в которой локальные минимумы каждого звена фильтра накладываются на локальные максимумы другого звена, что улучшает спектр выходного сигнала.

После фильтрации необходимо синхронизироваться с сигналом, чтобы извлекать из него данные, несущие в себе необходимую информацию о закодированных информационных символах, а так как сигнал закодирован с помощью BPSK-модуляции, то из извлеченных значений получим сразу битовую последовательность. Далее необходимо привязаться к полученной последовательности для взятия выборки в целях последующей ее демодуляции. Для этого используется еще один ПИ-регулятор, который накапливает разности фаз между пересечениями нуля синхронизирующей последовательностью.

На рис. 3 изображен результат захвата частоты системой ФАПЧ, а именно: сам сигнал, синхронизирующая последовательность (более быстро меняющийся сигнал), а также произведенные выборки из сигнала, используемые далее для извлечения битовой последовательности.

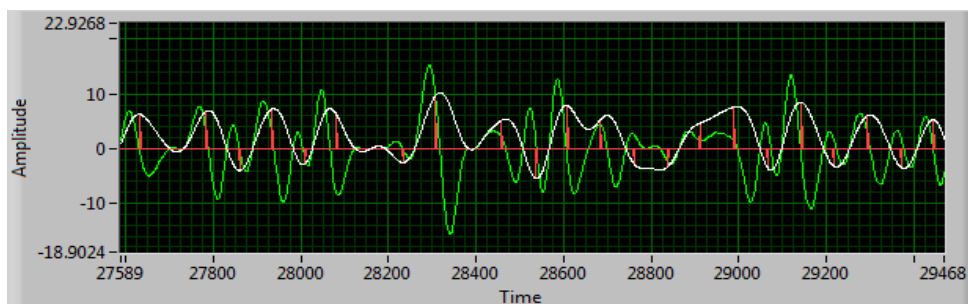


Рис. 3. Результат захвата частоты системой ФАПЧ

Результатом работы приемника являются снимки (рис. 4).

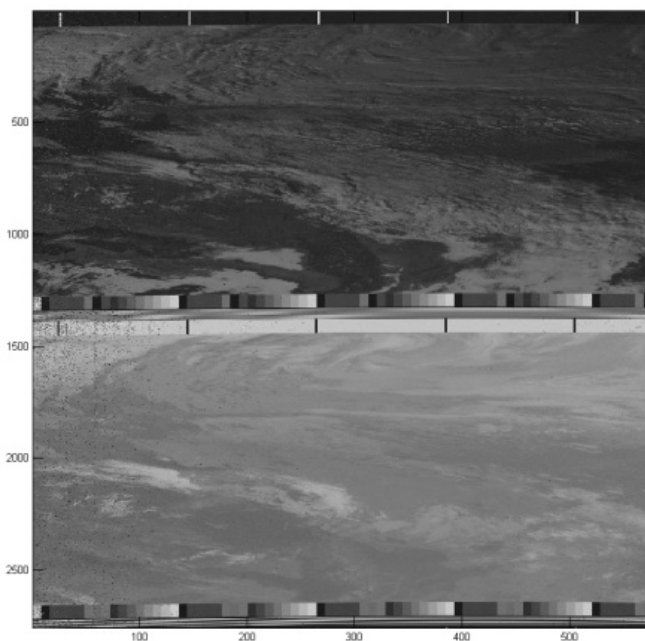


Рис. 4. Полученные снимки Земли со спутника NOAA 19

Представленная работа – часть проекта по запуску студенческого космического аппарата в Белорусском государственном университете, для успешного выполнения которого необходимо развертывание наземного комплекса управления. Разработанные алгоритмы цифровой обработки сигналов могут быть перенесены на ПЛИС, это позволяет создавать непромышленное приемное оборудование, что является частью реализации НКУ МКА проекта по запуску студенческого спутника БГУ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. www.ni.com
2. www.xilinx.com
3. www.analog.com
4. Илбуть П. И., Лешкевич С. В., Саечников В. А. Система связи с наземным комплексом управления для студенческого космического аппарата // 33-я научная техническая конференция / АГАТ СИСТЕМС. Минск, 2016.
5. Илбуть П. И., Лешкевич С. В., Саечников В. А. Разработка модели приемопередающего тракта для МКА // Фундаментальные и прикладные космические исследования : XII конф. молодых ученых. ИКИ РАН. М., 2015.