

УДК 681.3.06

## ЧАСТОТНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МНОГОКАНАЛЬНОЙ РАДИОПРИЕМНОЙ СИСТЕМЫ

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

### MULTI CHANNEL RADIO RECEIVING SYSTEM FREQUENCY SERVICE

R.R. Latypov, V.V. Bochkaev, I.R. Petrova, V.Yu. Teplov

В данной статье рассматриваются система калибровки и ЛЧМ-гетеродин для многоканального приемного комплекса КВ-диапазона. Использование системы калибровки позволяет оперативно, в процессе проведения измерений, учитывать амплитудные и фазовые ошибки в каналах и корректировать их при обработке. Использование ЛЧМ-гетеродина позволяет использовать сигналы ЛЧМ-типа в качестве зондирующих, наряду с сигналами узкополосных станций.

Calibration system and CHIRP heterodyne for SW band multi channel system is presented in this article. Calibration system is used to register amplitude and phase errors on-the-fly and to correct them in processing phase. Modern components is used to develop this system.

#### Введение

Для исследования происходящих в ионосфере динамических процессов, связанных с глобальными процессами на поверхности Земли и в термосфере, широко используются различные методы радиозондирования с сигналами различной модуляции. Использование интерференционных методов в декаметровом диапазоне обычно вызывает необходимость создания многоканальных радиоприемных систем. Одним из инструментов для исследования параметров ионосферы в Казанском государственном университете является многоканальный доплеровский фазоугломерный комплекс «Спектр» [1, 2].

Для обеспечения возможности применения фазовых методов требуется соблюдение условия высокого уровня идентичности приемных трактов. Для решения задачи устранения неидентичности приемных трактов, наряду со стабилизацией параметров, возможно использование системы калибровки, что позволяет оперативно, в процессе проведения измерений, учитывать амплитудные и фазовые ошибки в каналах и корректировать их при обработке.

В работе рассматриваются оба варианта решения задачи: использование системы калибровки, стабилизация параметров при помощи замены штатного гетеродина РПУ. Оба устройства построены по одной схеме – устройство управления, цифровой синтезатор частот и радиочастотный усилитель.

В качестве схемы управления применена программируемая логическая интегральная схема (ПЛИС) фирмы Altera, семейства MAX II. Для разработки внутренней структуры и программирования использовалась САПР Quartus II Web Edition. Тактирование микросхемы ПЛИС может осуществляться тактовым генератором микросхемы ПЦСЧ. Связь с ПК осуществляется при помощи шины USB, для этого используется микросхема FTDI Chip – FT245BM.

В качестве синтезатора использована микросхема прямого цифрового синтеза частоты (ПЦСЧ). Использование цифрового устройства позволяет избавиться от различных аналоговых узлов, вносящих дополнительные искажения и нестабильности [3, 4]. При достаточно большом количестве вариантов микросхем ПЦСЧ мы использовали AD9850, AD9851. Микросхемы представляют собой полный синтезатор частоты с наличием параллельного и последовательного интерфейса. Основным различием этих микросхем является наличие внутреннего

умножителя тактовой частоты у AD9851 и соответственно более высокая тактовая частота, а в остальном микросхемы идентичны. Предельные внутренние тактовые частоты микросхем AD9850, AD9851 составляют 125 МГц и 180 МГц соответственно, с точностью установления частоты  $\sim 0.05$  Гц, скоростью установления 18 внутренних тактов (составляет 10 нс для AD9851 при максимальной тактовой частоте).

В блоках РЧ-усилителя используется предварительный усилитель с программируемым коэффициентом усиления, а для калибратора дополнительно усилитель мощности передатчика.

#### Система калибровки многоканального комплекса

Система калибровки ДФУК «Спектр» включает в себя антенну калибратора, расположенную в ближней зоне, которая излучает сигнал с частотой, отличающейся от принимаемой на единицы герц. Поэтому диапазон перестройки частоты составляет от 1 до 30 МГц (диапазон работы радиоприемных устройств).

В качестве синтезатора для этого приложения мы использовали микросхему AD9850. В систему калибровки дополнительно включены ЦАПы (микросхема AD5327), которые устанавливают уровень усиления промежуточной частоты (ПЧ) каналов радиоприемного устройства, в зависимости от изменений условий приема. Усиление РЧ-сигнала осуществляется в два этапа: при помощи программируемого усилителя и конечного РЧ-усилителя, установленного непосредственно рядом с антенной. Конечный РЧ-усилитель представляет собой широкополосный линейный усилитель с активной отрицательной обратной связью. Блок-схема устройства калибровки представлена на рис. 1.

Схема внутреннего устройства ПЛИС представлена на рис. 2 и состоит из блока взаимодействия с USB, устройства сброса, внутренних регистров, управляющего устройства, интерфейсов связи с периферийными устройствами. Микросхемы ЦАП и усилителя программируются по SPI-интерфейсу. Отличием же является длина управляющего слова: для ЦАПа это 16 бит, а для усилителя 8 бит.

#### Гетеродин

В комплексе используются радиоприемные устройства РПУ Р339 «Катран», представляющие собой

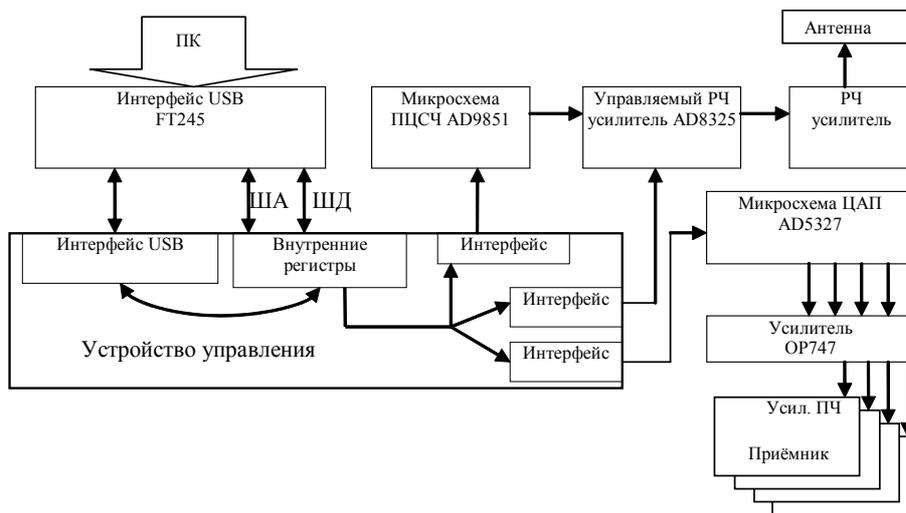


Рис. 1. Блок-схема системы калибровки.

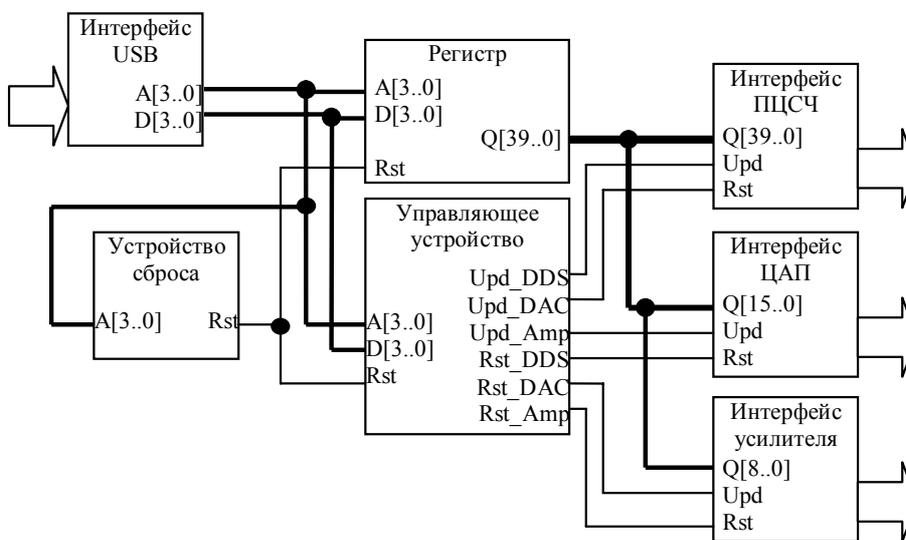


Рис. 2. Схема устройства управления системы калибровки.

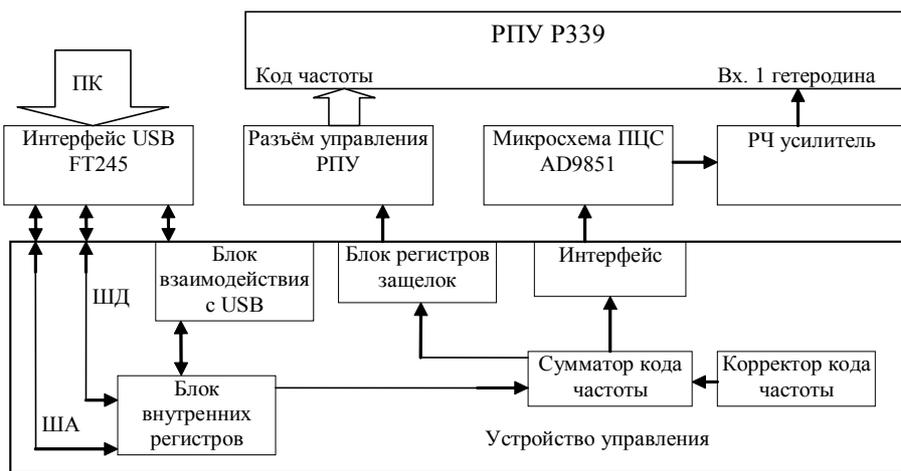


Рис. 3. Блок-схема гетеродина.

приемники с двойным преобразованием частоты. Первый штатный перестраиваемый гетеродин имеет полосу перестройки от 35 МГц до 65 МГц. Используемый в штатном гетеродине метод фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) накладывает ограничения на скорость перестройки частоты приемника. При использовании узкополосных сигналов (например, сиг-

налов вещательных станции, станций точного времени) данное ограничение не является принципиальным. Но наряду с источниками узкополосных сигналов, в мире существует широко развитая сеть передатчиков сигналов ЛЧМ-типа. ЛЧМ-сигнал, излучаемый этими передатчиками, как правило, является широкополосным сигналом с большой базой ( $10^8-10^{10}$ ) и скоростью

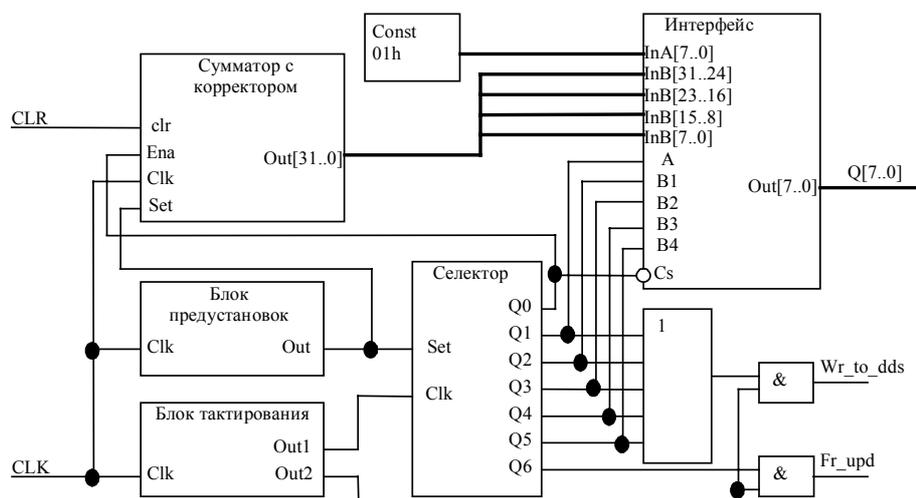


Рис. 4. Схема устройства управления без USB интерфейса и блока регистров защелок.

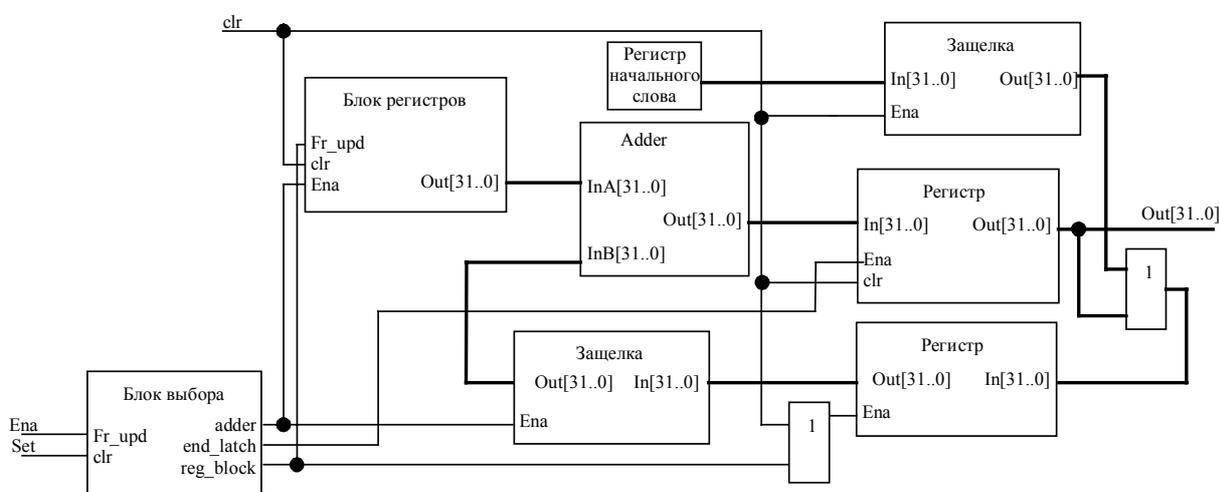


Рис. 5. Схема сумматора с корректором и предустановкой.

сканирования, как правило, 100 кГц/с. Штатный гетеродин не позволяет перестраивать приемник с такой скоростью. В качестве синтезатора для нового гетеродина используется микросхема AD9851. Эта микросхема не позволяет аппаратно работать с ЛЧМ-модуляцией, поэтому для реализации такой возможности необходимо аппаратное устройство управления. Блок-схема гетеродина представлена на рис. 3.

Схема внутреннего устройства ПЛИС представлена на рис. 4 и состоит из блока взаимодействия с USB, блока внутренних регистров, блока регистров защелок, сумматора и корректора кода частоты, интерфейса связи с микросхемой ПЦСЧ. ЛЧМ-сканирование осуществляется ступенчато. При скорости сканирования 100 кГц/с величина ступени равна 8 Гц и переход между ступенями осуществляется через 80 мкс. Необходимость коррекции возникает в результате дискретности установок частоты и скорости синтезируемого сигнала и, как следствие, возникающего при этом несоответствия частот реального ЛЧМ-сигнала и синтезируемого. По нашим оценкам, уход частоты без коррекции при скорости сканирования 100 кГц/с составляет 3–4 Гц/с, что при среднем времени зондирования 5 мин составит величину порядка 1 кГц. При использовании коррекции

ошибка кода частоты за 1 с составляет 0.06 бита, соответственно для 5 мин это 18 бит или 0.8 Гц. Управление и координация работы внутренних блоков возложена на блоки предварительной установки, внутреннего тактирования и селектора. Блок предварительной установки осуществляет сброс всех внутренних регистров в начальное состояние и устанавливает селектор в нулевое положение. Селектор автоматически реализует последовательность следующих операций: выдача сигнала суммирования, последовательная выдача пяти байт управления на микросхему ПЦС с одновременной выработкой строба чтения и выдача сигнала обновления частоты. Передача кода частоты на микросхему ПЦС осуществляется при помощи интерфейсного блока. Сумматор кода частоты по внешней команде суммирует текущий код частоты со значением, полученным из блока регистров. Схема сумматора с корректором представлена на рис. 5. Также в схеме сумматора присутствует блок предварительной установки, который автоматически устанавливает начальное значение частоты в регистр управляющего слова.

РЧ-усилитель собран на микросхемах AD603 с возможностью ручной регулировки коэффициента усиления.

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

*СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ*

1. Теплов В.Ю. Развитие интерференционных методов радиозондирования ионосферы: автореф. дис. канд. физ.-мат. наук: 01.04.03. Казань, 2005. 28 с.
2. Бочкарев В.В., Петрова И.Р., Теплов В.Ю., Шорников В.О. Многоканальные фазовые измерения в КВ-диапазоне // Труды XX всеросс. конф. по РРВ. Н.Новгород, 2002. С. 298–299.

3. Березовский Е.В., Акчуринов А.Д., Теплов В.Ю. Современный синтезатор передающего модуля станции вертикального зондирования ионосферы // Прием и обработка сигналов в сложных информационных системах. Вып. 21. С. 142–148.

4. Бочкарев В. В., Латыпов Р.Р., Петрова И.Р. и др. Использование современных средств прямого цифрового синтеза сигналов в многоканальном измерительном комплексе КВ-диапазона // Труды междн. науч. конф. «Излучение и рассеяние ЭМВ». Таганрог, 2003. С. 308–311.

*Казанский государственный университет, Казань.  
Ruslat81@mail.ru*