

# ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА РАДИОСИГНАЛА

## РЕШЕНИЯ НА ОСНОВЕ СБИС АО "ПКК МИЛАНДР"

Л.Барышников, к.т.н.<sup>1</sup>, С.Баранов<sup>2</sup>, М.Какоулин<sup>3</sup>

УДК 004.31  
ВАК 05.27.00

Цифровая обработка сигналов (ЦОС) повсеместно применяется в радиоприемных устройствах. Интерес к ЦОС в последние годы вызван тем, что на ее основе можно создавать устройства с характеристиками, недостижимыми при использовании аналоговых методов обработки сигналов. Сфера применения цифровой обработки постоянно расширяется: радиосвязь, радио-, гидро- и звуколокация, телеметрия, анализ спектров, обнаружение сигналов на фоне помех, адаптивная коррекция каналов связи, адаптивная компенсация помех, анализ и синтез речи, радиовещание, телевидение, цифровые синтезаторы частот, цифровые методы измерений, обработка сигналов в геологоразведке, сейсмологии, медицине и др. О новых решениях для цифровой обработки радиосигналов рассказывается в статье.

**В** большинстве цифровых радиоприемных устройств выполняется перенос спектра сигнала в область нулевых частот с формированием квадратурных (I, Q) составляющих. Один из простейших способов квадратурной демодуляции сигналов промежуточной частоты (ПЧ) или радиочастоты – аналоговый. Однако в случае применения таких аналоговых элементов,

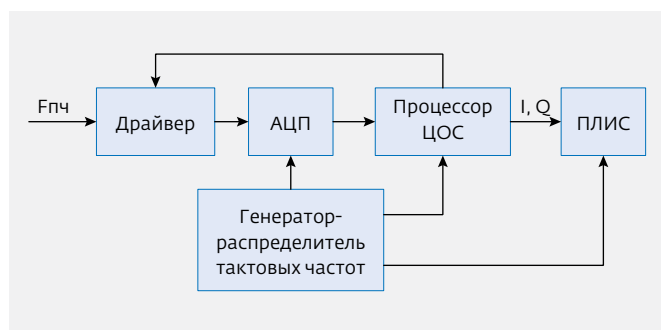
как перемножители и фазовращатель, схема становится температурно-уязвимой, поэтому дополняется цепями периодической юстировки, которые устраняют дисбаланс фаз между квадратурными каналами. Прогресс в схемотехнике АЦП позволил значительно увеличить рабочие частоты, что дало возможность оцифровывать сигнал на ПЧ, а формирование квадратур выполнять цифровым способом.

Оцифровка сигнала на ПЧ существенно упрощает структуру радиоприемного тракта, но одновременно повышает требования к его компонентам, в частности, таким как АЦП, генераторы и синтезаторы тактовых частот, из-за увеличения частоты дискретизации.

1 Начальник сектора, АО "НПО Радиоэлектроника", leonid848@mail.ru.

2 Ведущий инженер, АО "НПО Радиоэлектроника", sergey\_baranov@inbox.ru.

3 Директор ЦП ИС, АО "ПКК Миландр", kakoulin@ic-design.ru.

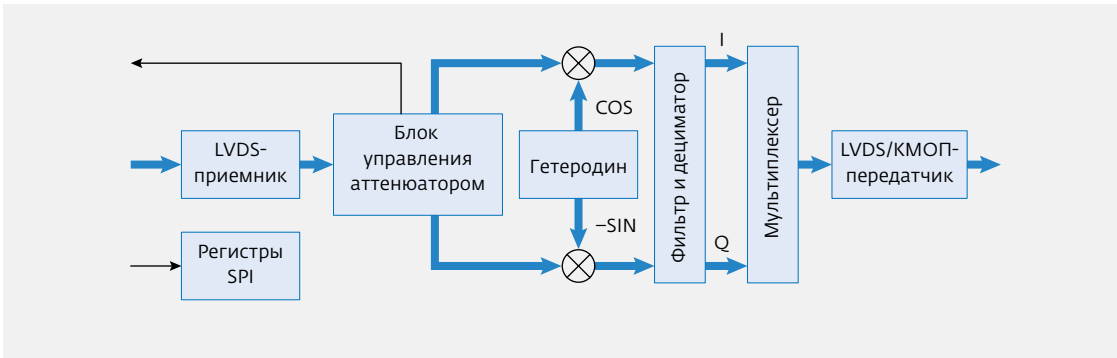


**Рис.1.** Типичный радиоприемный тракт с оцифровкой на ПЧ

До недавнего времени прогресс в области создания цифровых радиоприемных устройств с оцифровкой на ПЧ на отечественной компонентной базе сдерживался отсутствием АЦП с тактовой частотой более 100 МГц. Как только они появились, выяснилось, что отсутствуют остальные отечественные компоненты (драйверы АЦП, управляемые аттенюаторы, тактовые генераторы) для создания радиоприемных трактов с оцифровкой сигнала на ПЧ. Это обстоятельство сводило на нет преимущества применения серийных отечественных АЦП, способных работать на так-

товых частотах более 100 МГц. Поэтому разработка указанных компонентов становилась крайне важной задачей.

Рассмотрим особенности типичного радиоприемного тракта с оцифровкой радиосигнала на ПЧ (рис.1) в направлении движения сигнала и его обработки. Несмотря на наметившуюся тенденцию к балансным схемам, большая часть радиоприемных трактов при работе на ПЧ имеет небалансную 50-Ом структуру. Для согласования такого тракта с АЦП необходим драйвер с возможностью небалансного включения по входу. Для приемников РЛС, требующих широкого динамического диапазона входного сигнала, желательно иметь возможность высокоскоростного управления коэффициентом усиления драйвера. Перед демодуляцией оцифрованный поток отсчетов сигнала ПЧ, как правило, переносят на нулевую частоту, подвергают фильтрации и децимации. Поскольку скорость работы этой части тракта равна тактовой частоте АЦП, можно сделать вывод о том, что отечественные ПЛИС, предельная тактовая частота которых в подобной конфигурации составляет 50–70 МГц, неприменимы для решения данной задачи в общем случае. Необходима разработка интегральной схемы (ИС) канального процессора для фор-



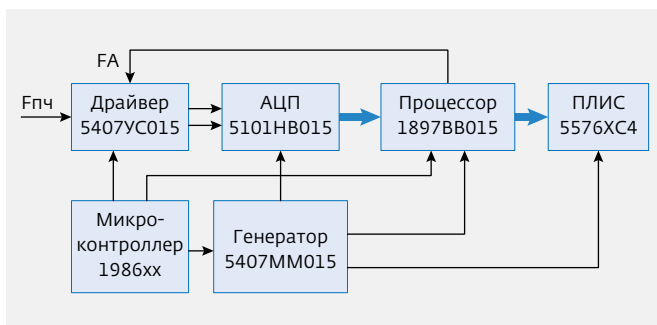
**Рис.2.**  
Структура ИС  
канального  
процессора  
ЦОС цифрового  
приемника

мирования из потока данных АЦП потока децимированных квадратур сигнала (рис.2).

Децимированный поток квадратур может быть передан в ПЛИС или сигнальный процессор общего назначения, которые реализуют алгоритм демодуляции в соответствии с требуемым функционалом радиоприемного устройства.

Оцифровка сигнала на частоте более 100 МГц с количеством разрядов 10–12 требует тактового сигнала высокого качества со значением джиттера менее 0,5 пс. Для формирования сетки тактовых и опорных частот для гетеродинов радиоприемного тракта нужна ИС генератора-распределителя тактовых частот. Особенно актуально ее создание для реализации когерентной обработки сигнала в цифровых АФАР. В рамках выполнения соответствующей ОКР в АО "ПКК Миландр" были разработаны ИС ключевых компонентов радиоприемного тракта, а именно: драйвер АЦП, процессор ЦОС и генератор-распределитель тактовых частот. Вместе с АЦП эти компоненты образуют чипсет для получения децимированных квадратур при оцифровке сигнала на ПЧ в радиотрактах с полосой пропускания до 10 МГц.

Рассмотрим типовой вариант чипсета для одного канала обработки сигнала ПЧ (рис.3). Радиосигнал



**Рис.3.** Типовое решение для обработки сигнала ПЧ в одном канале цифрового приемника. FA – шина управления attenuатором для быстрого переключения коэффициентов ослабления входного сигнала

промежуточной частоты поступает на вход драйвера АЦП 5407УС015. Драйвер может получать как балансный, так и небалансный сигнал, амплитудой 0,25–1 В, обеспечивает пошаговую медленную регулировку коэффициента усиления под управлением микроконтроллера серии 1986xx и быструю – по сигналу канального процессора. С выхода драйвера балансный сигнал идет на аналоговый вход АЦП 5101НВ015, где преобразуется в цифровой поток, поступающий на вход данных канального процессора 1897ВВ015. Он формирует мультиплексированный поток квадратур с параметрами, определяемыми управляющим микроконтроллером. Поток квадратур поступает в ПЛИС для демодуляции и финальной обработки в соответствии с заданным функционалом радиоприемного устройства. Сетку необходимых опорных частот формирует генератор-распределитель 5407ММ015, загрузку параметров в него выполняет микроконтроллер.

Вышеописанный чипсет хорошо демонстрирует возможности создания новых предметно-ориентированных микросхем в рамках сотрудничества радиоаппаратных и микроэлектронных предприятий. Выпускаемые в условиях кооперации комплекты СБИС позволяют достичь заданных требований к радиоэлектронной аппаратуре, а также получить техническое решение, оптимальное с точки зрения сочетания габаритов, массы и производительности.

В заключение следует отметить, что приведенным примером реализации тракта цифрового радиоприемника возможности описанного чипсета не ограничиваются. Авторы надеются, что ИС также будут востребованы для создания передающих трактов на основе когерентного цифрового синтеза и др. С появлением подобного рода ИС во многих случаях можно будет отказаться от использования импортных аналогов, работающих в ограниченном промышленном диапазоне температур. Это особенно важно в плане импортозамещения и обеспечения технологической независимости разработок передового радиоэлектронного оборудования.