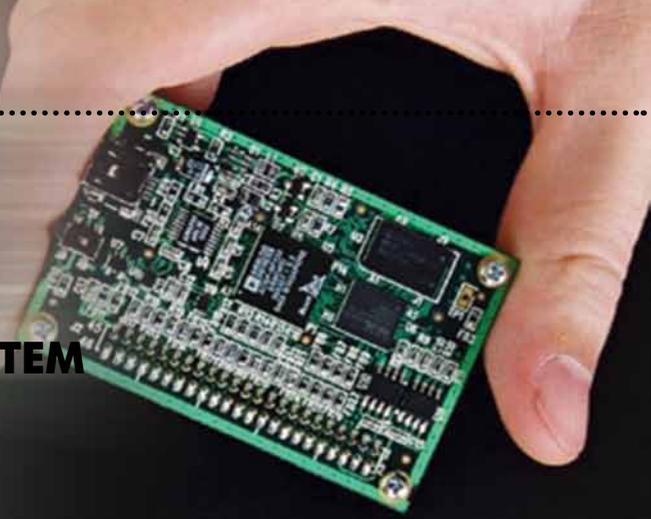


ТЕХНОЛОГИИ SDR НА СЛУЖБЕ У РАЗРАБОТЧИКОВ СИСТЕМ



П.Руднев,
peter@centeradc.ru

В телекоммуникационных технологиях продолжается стремительный переход от аналоговых методов передачи и обработки сигналов к цифровым. Все больше функций современных радиосистем реализуются посредством программного обеспечения (ПО), что приводит к появлению радиооборудования, функциональность которого задается и изменяется программно. Речь идет о технологии SDR (Software-Defined Radio, программно определяемое радио). До недавнего времени с этой технологией связывали исключительно телекоммуникационные приложения. Однако специалисты компании "Центр АЦП" создали SDR-платформу, позволяющую строить на ее основе не только телекоммуникационное, но и контрольно-измерительное оборудование.

В SDR-оборудовании форма модулированного радиосигнала задается в ПО. Формируется цифровой сигнал, который затем с помощью широкополосного ЦАП преобразуется в аналоговый на промежуточной частоте (ПЧ). Далее сигнал ПЧ посредством преобразования вверх превращается в высокочастотный сигнал. В приемнике все происходит в обратном порядке. Широкополосный АЦП преобразует в цифровой вид множество уз-

кополосных сигналов, попадающих во входной тракт приемника. В соответствии со встроенным ПО приемник извлекает, преобразует вниз и демодулирует сигналы каждого канала, т.е. технология SDR позволяет изменять эксплуатационные параметры радиооборудования на уровне ПО.

Технология SDR использует комбинацию методов, затрагивающих аппаратную и программную части. Аппаратная часть включает многодиапазонные антенны и радиочастотные преобразователи; широкополосные ЦАП и АЦП; а обработка сигналов ПЧ, демодулированных сигналов и результирующего цифрового потока происходит с помощью программируемых процессоров общего назначения. Традиционный аналоговый приемник, где АЦП преобразует сигнал с выхода аналоговых квадратурных каналов, имеет следующие недостатки: необходимость точной настройки; чувствительность к температуре и разбросу параметров компонентов; нелинейные искажения; сложность построения перестариваемых фильтров и фильтров с подавлением более 60 дБ. Но благодаря развитию современной полупроводниковой элементной базы, в первую очередь – АЦП и ЦАП, теперь можно преобразовывать сигнал непосредственно с выхода промежуточной частоты. Достоинства SDR-приемника: не требует настройки; низкая чувствительность к температуре и разбросу параметров компонентов; простота реализации перестариваемых фильтров с подавлением более 80 дБ; высокая точность и широкий диапазон перестройки фазы и частоты гетеродина.

Технология SDR традиционно используется в специальных областях телекоммуникаций (например, для создания систем связи специального назначения). Однако ее с успехом можно применять для весьма широкого круга задач, в том числе – для создания высокочастотного контрольно-измерительного оборудования.

Яркий представитель SDR-устройств – плата DSP5016-1402 компании "Центр АЦП". Она предназначена для работы с сигналами промежуточной частоты в диапазоне от 3 до 250 МГц. Плата включает АЦП с частотой дискретизации 200 МГц и разрешением 14 бит, устройство цифровой обработки сигнала и интерфейса связи с компьютером (рис.1). В качестве

Технические характеристики платы DSP5016-1402

Разрешение АЦП	14 бит
Частота дискретизации	200 МГц
Частотный диапазон входного сигнала (по уровню -1 дБ)	3–250 МГц
Максимальная амплитуда входного сигнала	-14 дБм
Односигнальный динамический диапазон	110 дБ (в полосе 8 МГц)
Динамический диапазон для двухтонового сигнала (SFDR) в полосе 8 МГц	не менее 80 дБ
Режимы работы	временной и квадратурный IQ
Цифровая фильтрация	от 30 кГц до 30 МГц
Коэффициент децимации	от 4 до 2048
Буферная память типа FIFO (программируется)	(2048, 32768, 131072) × 16 бит
Интерфейс с ПЭВМ	USB 2.0
Скорость передачи данных по интерфейсу	20 МБ/с

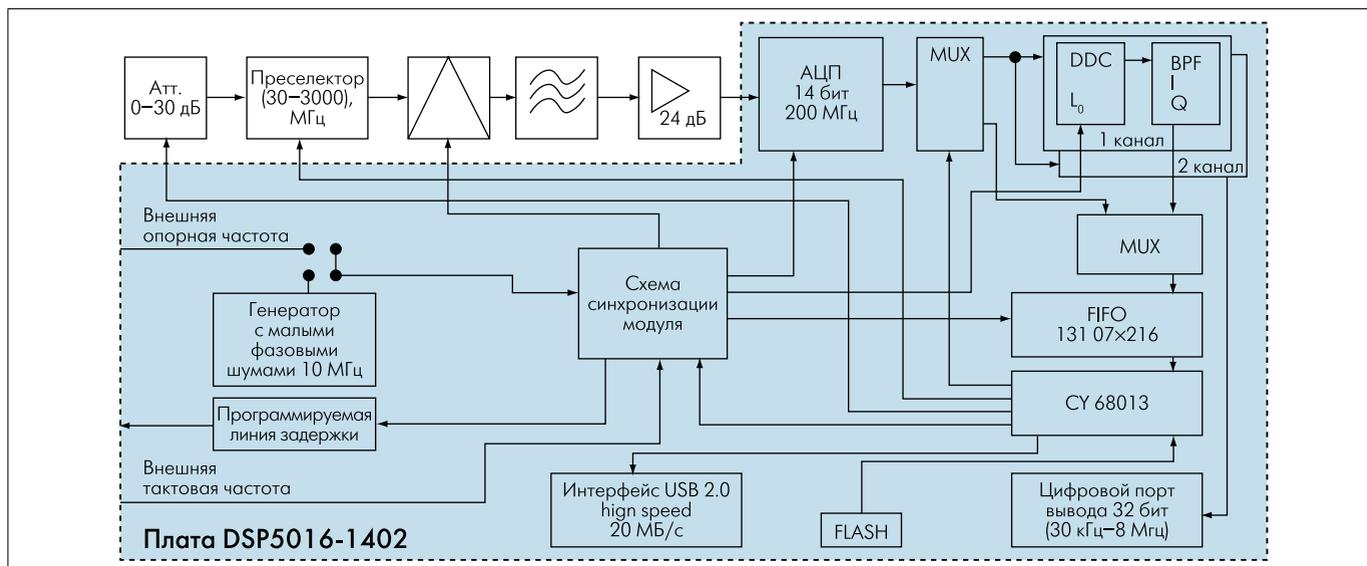


Рис. 1. Функциональная схема приставки PC-3200 на основе платы DSP5016-1402

АЦП использован преобразователь фирмы Texas Instruments ADS5546, обладающий оптимальным сочетанием динамических характеристик и частотных параметров (рис.2). После преобразования данные поступают в модуль цифровой обработки (цифровой SDR-приемник). Он выполнен на ПЛИС и специализированной СБИС. Цифровой приемник с двумя независимыми каналами выполняет квадратурное демодулирование, пе-

ренос заданного сигнала на нулевую несущую частоту (удаление высокочастотной несущей с выделением модулированного сигнала), фильтрацию и прореживание (децимацию) с программируемыми параметрами. Непрерывная квадратурная демодуляция выполняется в полосе частот до 30 МГц.

Сигнал после первичной обработки в цифровом приемнике может дополнительно подвергаться сколь угодно слож-

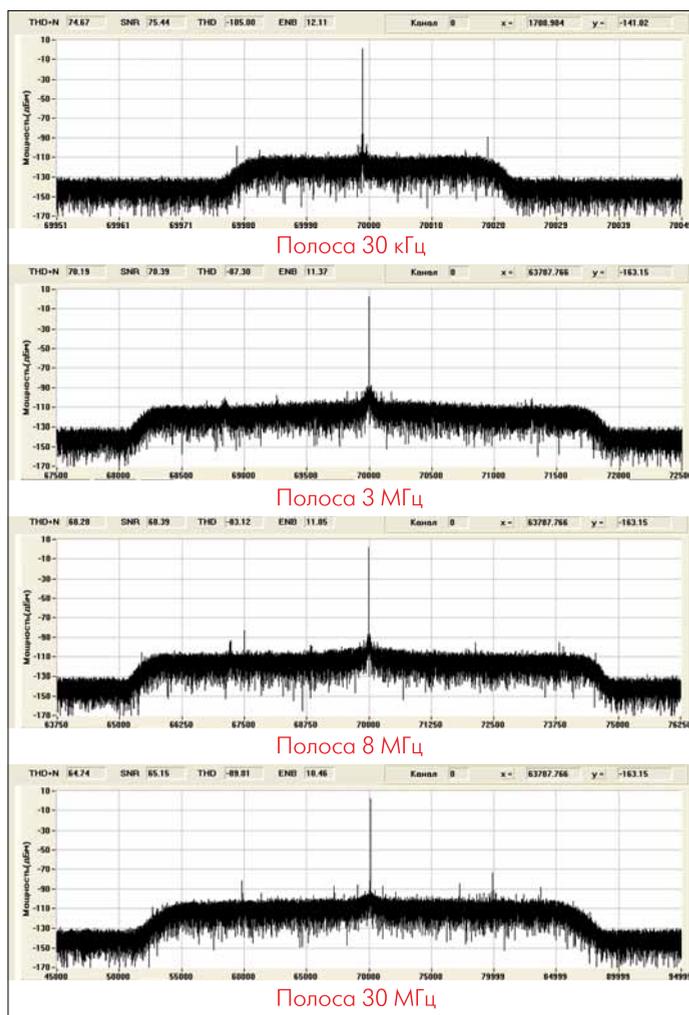


Рис.2. Спектральные характеристики платы DSP5016-1402 в зависимости от выбранной полосы одновременного анализа. Видно, что при сужении полосы растет мгновенный динамический диапазон и соотношение сигнал/шум, что позволяет работать с сигналами с большей амплитудной разницей

ной обработке во внешнем устройстве (компьютере). Для передачи непрерывного цифрового потока IQ внешнему устройству предусмотрен интерфейс USB 2.0 (сигнал с полосой от 30 кГц до 3 МГц), а также цифровой порт вывода (полоса от 30 кГц до 30 МГц).

Высокая частота дискретизации 200 МГц с мгновенным линейным динамическим диапазоном 87 дБ обеспечивают минимальное время измерения параметров сигнала во всей полосе частот и минимальное число пораженных частот, а также позволяет работать с широкополосными сигналами. Кроме того, благодаря высокой частоте дискретизации достигаются высокие соотношения сигнал/



Рис.3. Приставка-спектроанализатор PC-3200

шум в узкой полосе частот за счет дополнительной цифровой фильтрации.

Мгновенная широкая полоса анализа и большой динамический диапазон позволяет работать с многочисленными сигналами в линейном диапазоне. Например, если в полосе имеется 1000 узкополосных сигналов, то можно, не опасаясь перегрузки, работать с любым из них (при условии, что динамический диапазон суммы этих сигналов не превышает 87 дБ).

Конечно, для отдельно взятой задачи аппаратные средства платы могут оказаться избыточными. Но это оправданно, поскольку на базе единой SDR-платы DSP5016-1402 можно строить разнообразные приемники, спектроанализаторы, селективные вольтметры, другие измерительные приемные устройства и т.п. Для этого пользователю достаточно поменять программное обеспечение. Плату можно использовать и как OEM-модуль для широкого ряда приборов и систем радиотехнического назначения.

На базе платы DSP5016-1402 компания "Центр АЦП" выпускает приставку быстродействующего анализатора спектра радиочастот PC-3200 (рис.3). Помимо платы устройство оснащено малошумящим супергетеродинным приемником с широким диапазоном частот – от 30 до 3000 МГц. Отметим, что в последнее время для анализаторов спектра не характерны супергетеродинные приемные тракты. Их чаще используют в стандартных приемниках, а в измерительной технике применяют инфрадинные тракты, где сигнал переносят на ПЧ, которая лежит над верхней границей рабочего диапазона частот. Такое построение позволяет уйти от многих помех и увеличить диапазон линейности. Но в данном случае требовалось добиться минимального значения чувствительности и максимальной линейности во всем частотном диапазоне при наиболее низкой стоимости изделия. Поэтому был выбран именно гетеродинный метод переноса сигнала. Высокие эксплуатационные параметры были достигнуты за счет повышенных требований к преселекторам, смесителям, оптимального сочетания гетеродинного приемника и аналого-цифрового преобразователя с последующей цифровой обработкой сигнала.

Скорость сканирования диапазона достаточно высокая – порядка 1,5 ГГц/с. Так, учитывая, что ширина анализируемой полосы спектроанализатора 8 МГц, время сканирования полосы 3000 МГц с разрешением 500 Гц составит $(3000/8) \times (2 \text{ мс [время переключение тюнера]} + 1,3 \text{ мс [время сбора]} + 1,6 \text{ мс [время передачи по интерфейсу]}) = 375 \times 4,9 \text{ мс} = 1,84 \text{ с}$. Это составляет 1,6 ГГц/с, а с учетом накладных расходов на уровне 50%, не хуже 1 ГГц/с.

Прикладное программное обеспечение, установленное на ПЭВМ, превращает приставку PC-3200 в полноценный спектроанализатор радиочастотного диапазона. Существенно, что пользователь может создавать собственное ПО, адаптированное под условия конкретных задач.