

# РОССИЙСКИЙ ЦИФРОВОЙ ПРИЕМНИК 1288ХК1Т – ПЕРВЫЙ ПРЕДСТАВИТЕЛЬ СЕРИИ МУЛЬТИФЛЕКС



Цель предлагаемой статьи – кратко рассказать о новом российском цифровом приемнике 1288ХК1Т (Мультифлекс-01), созданном компанией ЭЛВИС ([www.elvees.ru](http://www.elvees.ru)) в рамках развития семейства Мультифлекс и уже доступном для разработчиков РЭА. Мы не ставили целью детально описать новую СБИС – для этого компанией разработана техническая документация, уже предлагаются опытные образцы, разработаны тестовые платы, программные среды разработки и библиотеки. На наш взгляд, вызывает уважение сам факт создания такой СБИС российской компанией – при отсутствии целевой программы развития отечественных средств беспроводной связи и элементной базы для них.

К сожалению, нельзя не отметить, что все усилия компании ЭЛВИС по формированию законченного "конструктора разработчика", представляющего собой полный комплект элементной базы для создания современных радиоэлектронных систем, не могут увенчаться успехом без должной поддержки государственных ведомств. В том числе – и в плане координации усилий других отечественных разработчиков. Действительно, можно ли говорить, например, о полностью отечественном чипсете для систем с ФАР, не имея собственных высокопроизводительных ЦАП/АЦП? И силами только одной компании в рамках инициативных проектов данную задачу не решить.

## БУДУЩЕЕ – ЗА ПЕРЕСТРАИВАЕМОМИ СИСТЕМАМИ СВЯЗИ?

Общая тенденция развития электроники в последние два десятилетия – тотальный переход к цифровой (дискретной) обработке. Аналоговое телевидение и радио, равно как и телефония, становятся анахронизмом, а аналоговые носители аудиоинформации превращаются в раритеты. В сфере обработки высокочастотных аналоговых сигналов переход к цифровой обработке выражен не столь ярко, однако это – доминирующее направление развития элементной базы в данной области. Побуждающих причин перехода к цифровой обработке несколько, и одна из важнейших – желание в рамках одной аппарат-

ной платформы создать набор устройств, получаемых изменением встроенного программного обеспечения. Но проблем здесь немало, поскольку современные системы передачи данных работают в диапазонах свыше 1 ГГц, с частотными полосами от единиц до десятков мегагерц, используя достаточно сложные схемы модуляции. Все это предъявляет особые требования к производительности систем цифровой обработки.

Поэтому если цифровая обработка сигналов на уровне потоков данных и стала сегодня делом обыденным (с точки зрения массовой пользовательской аппаратуры), то применение цифровых устройств в СВЧ-тракте до совсем недавнего времени продолжало оставаться уделом специальной аппаратуры. В последнем случае речь идет о так называемых программно-заданных радиосистемах SDR (software defined radio) [1]. Технология SDR еще совсем недавно не воспринималась иначе как средство обеспечения тактической связи между различными воинскими (и иными специальными) подразделениями. Действительно, мощным толчком к ее развитию в США послужили проблемы обеспечения взаимодействия между десантными подразделениями и авиацией во время вторжения в Гренаду в 1983 году. Тогда даже при наличии штатных средств связи армейские подразделения вынуждены были координировать действия авиации по обычной телефонной сети через свою базу в Форт-Брагге. После столь одиозного проявления проблемы быстрой перенастройки средств связи и их взаимодействия многие ведущие фирмы-производители телекоммуникационного оборудования стали создавать специальные устройства, позволяющие очень быстро перестраивать не только алгоритмы аутентификации и криптозащиты, но и протоколы работы в радиосети, включая выбор частотных диапазонов.

В идеализированной схеме SDR-систем отсутствуют блоки аналоговой обработки (рис. 1) [2]. Однако, учитывая частотные диапазоны и ширину полос многих современных систем связи, полностью реализовать эту концепцию затруднительно. Вместе с тем, во многих областях телекоммуникаций, например в сотовой телефонии, в сис-

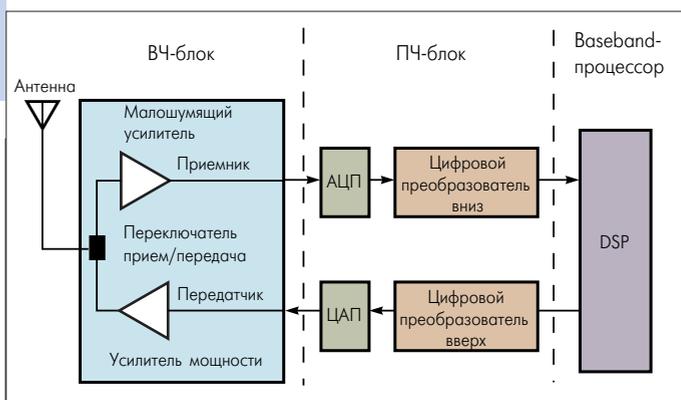
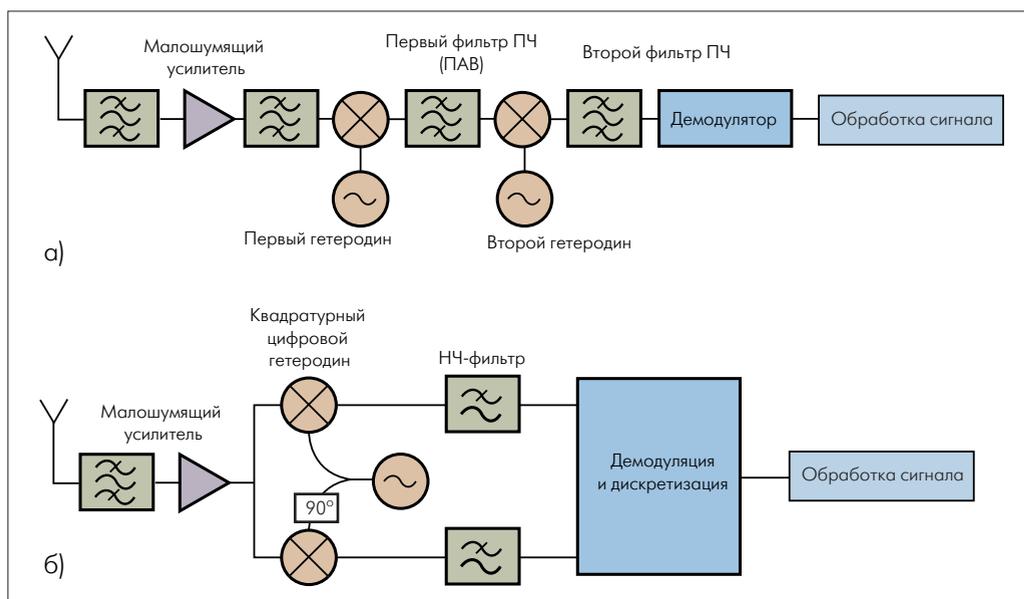


Рис. 1. Идеализированная схема SDR-системы



**Рис.2. Схемы приемников с супергетеродинной архитектурой (а) и прямого преобразования (с нулевой ПЧ) (б)**

темах стандарта IEEE 802.11 и т.п., все чаще используются схемы прямого преобразования (приемники с нулевой несущей – ZIF) (рис.2) [3]. В качестве характерного примера подобных решений можно привести СБИС трансиверов прямого преобразования MAX2820/MAX2821 компании Maxim для систем стандарта IEEE 802.11b. Разумеется, находят применение и промежуточные решения с одним гетеродином и последующей цифровой обработкой.

С развитием микроэлектронных полупроводниковых технологий СВЧ-блоки радиотракта все в большей степени становятся цифровыми. И дело не только в том, что сокращение номенклатуры СБИС экономит разработчикам и производителям многие миллионы долларов, – зачастую специализированные устройства, выпускаемые многомиллионными тиражами, оказываются рентабельнее универсальных. Не менее важно, что прецизионные аналоговые устройства – это относительно дорогие компоненты. Их отличает не только низкий уровень интеграции и высокая сложность совмещения на одном кристалле с блоками цифровой обработки. Аналоговые устройства практически неизбежно требуют подстройки в рамках производственного цикла, а для этого необходимо сложное специальное оборудование, что не только увеличивает себестоимость аналоговой элементной базы, но и затрудняет применение fabless-схемы производства. Для России эта проблема усугубляется тем, что в нашей стране нет ни одного микроэлектронного предприятия, включая "Микрон" (если мы не правы, опровергните), способного производить современные прецизионные аналоговые схемы. В значительной степени это связано с отсутствием на отечественных предприятиях современного контрольно-измерительного оборудования, объединенного в единый комплекс со средствами коррекции параметров (например, лазерных установок, корректирующих физические параметры RC-цепей на кристалле).

Не менее важно, что с ростом емкости информационных каналов и расширением диапазонов рабочих частот повышаются и требования к уровням нелинейности и собственных шумов оконечных аналоговых блоков трансиверов. Поскольку данные параметры определяются физическими свойствами полупроводниковых материалов и особенностями технологии, они зачастую не могут быть снижены до приемлемого уровня, что влечет поэтапное преобразование частоты (несколько промежуточных частот (ПЧ), и, соответственно, несколько гетеродинов), поэтапную аналоговую фильтрацию, необходимость применять ПАВ-фильтры и т.д. Это неизбежно усложняет

аппаратуру, снижает ее надежность и повышает себестоимость. Поэтому на современном этапе развития телекоммуникационной индустрии переход к цифровой обработке в радиочастотных трактах превращается в безальтернативное решение, к которому идут все мировые производители.

До недавнего времени одним из элементов беспроводных устройств, наиболее тяжело поддающихся "цифровизации", был блок сопряжения с аналоговым интерфейсом (он же Analog Front End – AFE) – устройство, реализующее функции фильтрации входного сигнала, преобразования частоты вверх/вниз, квадратурной модуляции и т.п. для сопряжения с процессором обработки сигналов (baseband-процессором). Учитывая, что этот элемент является неотъемлемой частью практически любого связного устройства – от сотового телефона до модуля АФАР, на данную задачу обратили пристальное внимание многие мировые производители СВЧ-элементной базы. Отрадно, что среди них – и российская компания ЭЛВИС, разработавшая СБИС 1288ХК1Т (MF01) в рамках анонсированного несколько лет назад семейства Мультифлекс. Эти СБИС производятся методом fabless по технологии 0,25 мкм. Компания уже готова поставлять пилотные образцы 1288ХК1Т и тестовые платы на их основе. Коммерческие партии СБИС, в том числе с приемкой "5", ожидаются к лету 2006 года.

### ЦИФРОВОЙ ПРИЕМНИК 1288ХК1Т

СБИС 1288ХК1Т (рис.3) – это многофункциональный цифровой приемник, позволяющий решать широкий круг телекоммуникационных и

**Software defined radio (SDR)** – это набор аппаратных и программных технологий, позволяющих создавать аппаратуру с реконфигурируемой архитектурой для беспроводных сетей передачи информации, включая оконечное оборудование. SDR обеспечивает эффективные и сравнительно недорогие решения проблем создания многомодовых, многофункциональных беспроводных устройств, способных изменять свою функциональность посредством обновления встроенного программного обеспечения. Таким образом, SDR можно рассматривать как технологию, приложимую к широкому спектру областей индустрии беспроводных телекоммуникаций.

Радиосистемы, основанные на SDR, отличаются:

- стандартная открытая и гибкая архитектура, пригодная для широкого круга телекоммуникационных продуктов;
- возможность поддержки как устаревших, так и современных и перспективных коммуникационных стандартов в рамках одной платформы;
- изменение функциональности устройств, равно как и исправление ошибок во встроенном ПО, непосредственно через эфир;
- возможность создавать единые коммуникационные сети между коммерческими, гражданскими, федеральными и военными организациями;
- существенное снижение удельной стоимости жизненного цикла изделий.

*Из определения SDR Forum*

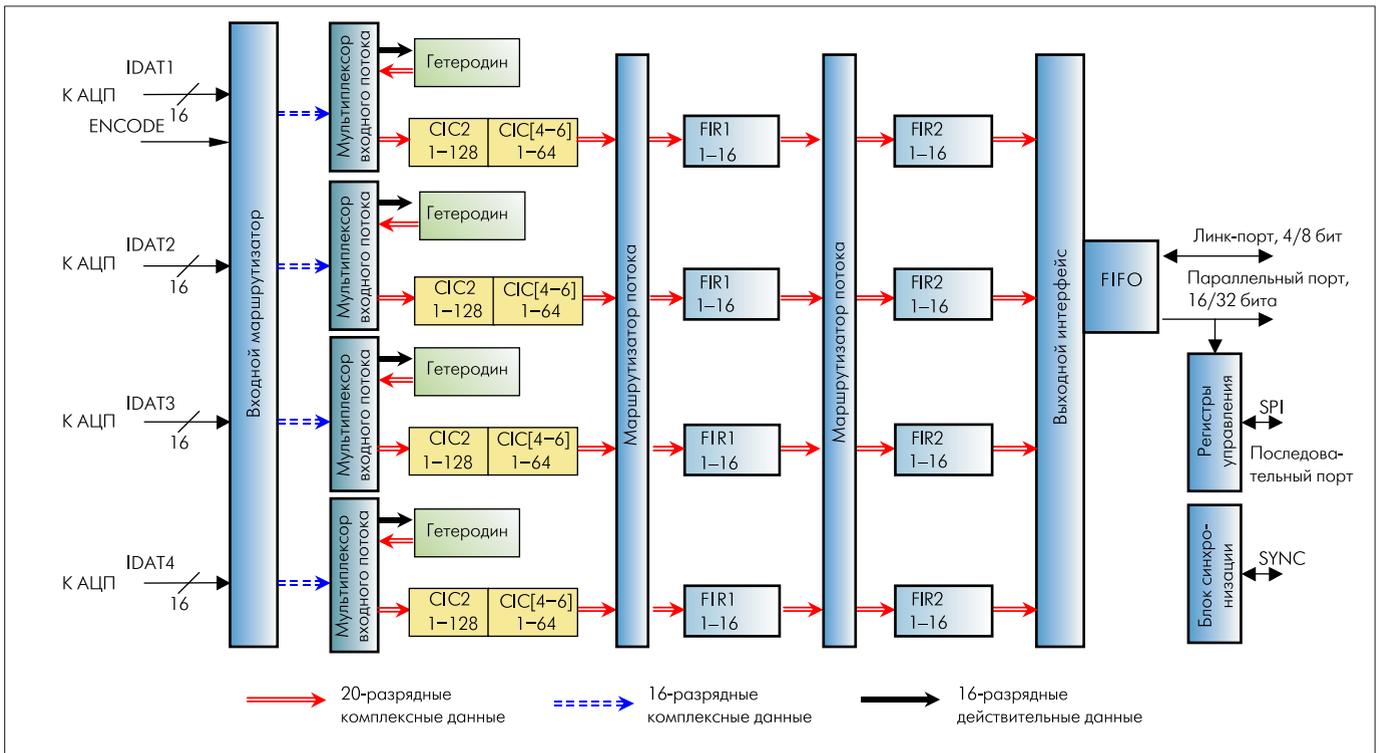


Рис.3. Структурная схема приемника 1288XK1T

радиолокационных задач, от сотовой телефонии до построения систем с фазированными антенными решетками (ФАР). СБИС содержит четыре идентичных канала (тракта) обработки сигнала. Каждый тракт включает цифровой квадратурный гетеродин, два каскада фильтров-дециматоров с постоянными коэффициентами (CIC – cascaded integrator comb FIR filter), два каскада программируемых фильтров-дециматоров с конечной импульсной характеристикой (КИХ-фильтры, DFIR) и комплексный умножитель выходного сигнала FGAIN. После входного интерфейса, а также между каскадами фильтров расположены маршрутизаторы потоков.

**Входной интерфейс** каждого канала СБИС 1288XK1T позволяет работать с 16-разрядным цифровым сигналом с максимальной частотой считывания входных данных от внешних АЦП не менее 100 МГц, т.е. скорость входных потоков от АЦП – не менее 100 мегавыборок в секунду (MSPS). Синхронизация считывания возможна как по уровням (0 или 1), так и по фронтам специального тактового сигнала ENCODE, который может быть как внешним, так и внутренним по отношению к 1288XK1T.

**Коммутатор входного интерфейса** позволяет произвольно направлять входные данные в каналы обработки. Интерфейс

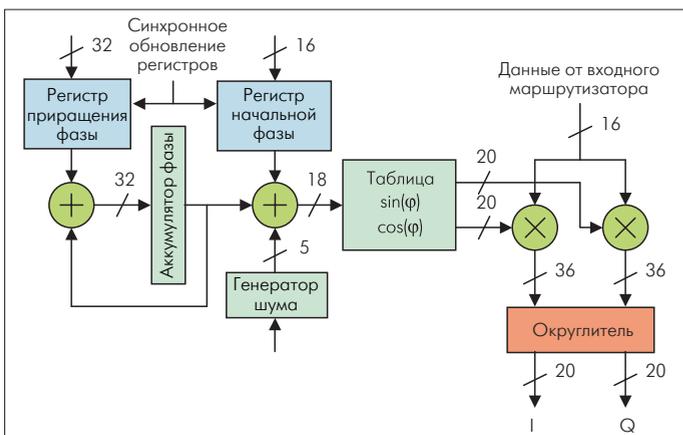


Рис.4. Структурная схема квадратурного гетеродина

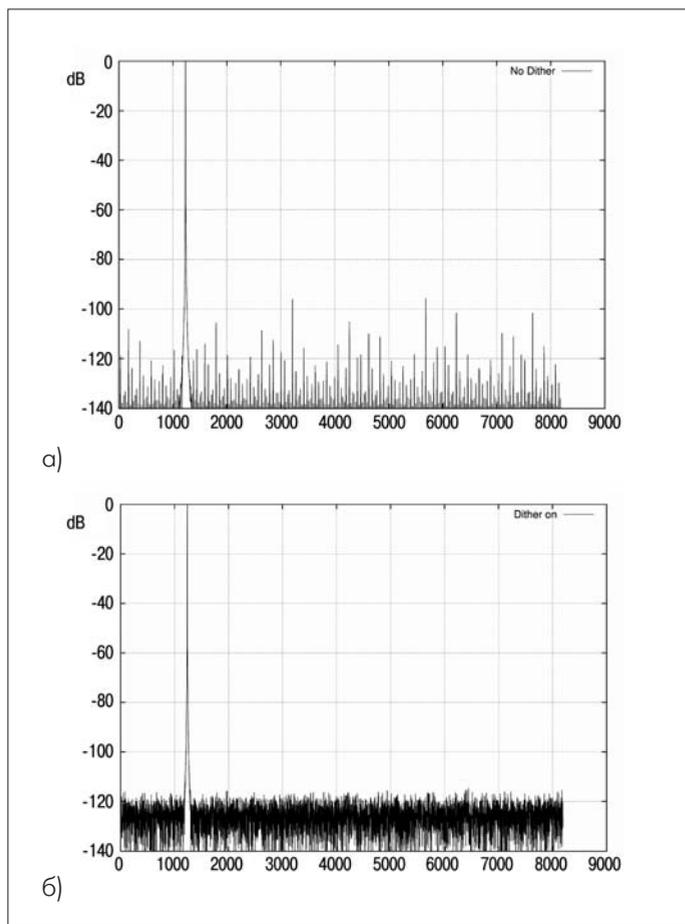
1288XK1T способен принимать четыре 16-разрядных потока действительных данных, два 16-разрядных или четыре 8-разрядных потока комплексных данных. Для 16-разрядного комплексного входного сигнала используются две смежные входные шины IDATx, при этом синфазной компоненте I соответствует шина с меньшим номером x. При 8-разрядном комплексном сигнале старшие 8 бит шины IDAT соответствуют синфазной компоненте I, младшие – квадратурной компоненте Q. Действительные 8-разрядные данные расширяются до 16 бит добавлением нулей со стороны младших битов.

**Выходной интерфейс** включает 16/32-разрядный параллельный порт и 4/8-разрядный линк-порт (совместимый с интерфейсом DSP серий Sharc / TigerSharc компании Analog Devices). Для обращения к внутренним регистрам и управления 1288XK1T можно использовать как параллельный, так и последовательный порты. Параллельный порт поддерживает стандарты обмена данными компаний Intel, Motorola и ЭЛВИС (Multicore). Протокол обмена может быть как асинхронным, так и синхронным. Вывод данных через последовательный порт возможен и по стандартному протоколу синхронного FIFO (SFIFO).

**Гетеродин** (рис.4) одновременно служит квадратурным демодулятором, поскольку входной сигнал одновременно умножается на  $\sin(\phi)$  и  $\cos(\phi)$ . Начальная фаза и частота гетеродина задаются программно. На выходе гетеродина цифровые сигналы округляются до 20 разрядов.

Поскольку сигнал цифрового генератора строго периодичен и синхронен с частотой дискретизации, ошибки квантования не являются шумоподобными, а представляют собой набор комбинационных составляющих тактовой частоты и частоты генерируемого сигнала. При определенных значениях частоты генератора эти паразитные составляющие могут складываться, что приводит к появлению в спектре полезного сигнала пиков, ухудшающих значение ширины динамического диапазона, свободного от паразитных составляющих (Spurious-Free Dynamic Range – SFDR) (рис.5а).

Для борьбы с этим явлением к сигналу генератора перед его квантованием добавляется шум. В 1288XK1T в качестве шумовой состав-



**Рис.5. Спектральная характеристика опорного сигнала гетеродина с включенной (а) и выключенной (б) рандомизацией фазы. Точность представления фазы – 16 разрядов, длина выборки – 16384 точки, окно Блэкмана**

ляющей используется псевдослучайная последовательность (ПСП) длиной  $2^{40}$  с нулевым средним значением и равномерной функцией распределения амплитуды. Генератор ПСП меняет свое состояние синхронно с аккумулятором фазы. Выходной сигнал генератора шума (5 бит) добавляется к значению фазы с весом  $2^{-18}$  относительно полной шкалы. В результате ошибка квантования равномерно распределяется по спектру и паразитные пики не формируются (рис.5б). Недостаток данного метода – ухудшение общего соотношения сигнал/шум приблизительно на 1 дБ. В большинстве случаев такое ухудшение не является критичным, тем не менее, рандомизацию фазы можно отключить.

**Блок фильтров-дециматоров CIC** состоит из двух каскадов, каждый из которых включает собственно фильтр, блок масштабирования и мультиплексор для выключения соответствующего фильтра (рис.6). Напомним, децимация – это уменьшение числа отсчетов в выборке в  $M$  раз, где  $M$  – коэффициент децимации. Первый каскад организован на децимальном фильтре второй степени CIC2, коэффициент децимации которого можно задать в пределах от 1 до 128. При  $M = 1$  первый CIC-каскад может использоваться как предварительный фильтр.

Второй каскад (CICN) организован на CIC-фильтрах, степень которых может изменяться от четырех до шести. Коэффициент децимации сигнала может задаваться в пределах от 1 до 64, 27 и 16 для CIC4, CIC5 и CIC6, соответственно. Очевидно, что если на входе CIC2 частота дискретизации сигнала равна частоте выборки АЦП  $F_s$ , то на выходе блока CIC-фильтров она в  $M_{CIC2} \cdot M_{CICN}$  раз меньше.

Частотная характеристика и коэффициент передачи фильтров на низкой частоте определяются следующим образом:

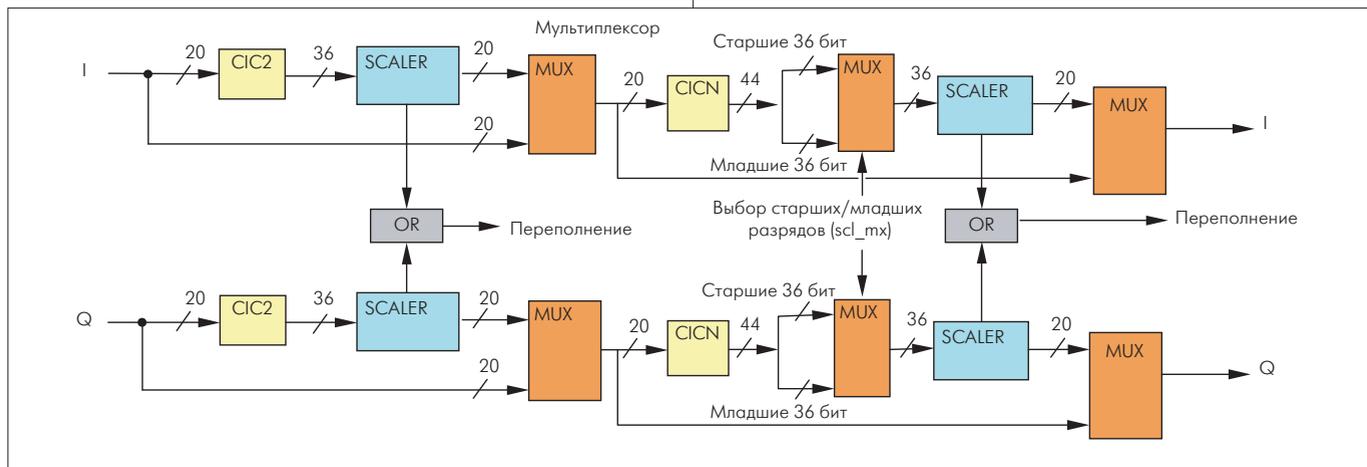
$$\text{Для CIC2 } H(z) = 2^{scl-16} \cdot \left[ \frac{1-z^{-2M}}{1-z^{-1}} \right]^2, K_0 = (2M)^2 \cdot 2^{scl-16};$$

$$\text{для CICN } H(z) = 2^{scl-16-8scl\_mx} \cdot \left[ \frac{1-z^{-M}}{1-z^{-1}} \right]^N, K_0 = M^N \cdot 2^{scl-16-8scl\_mx},$$

где  $scl$  – параметр масштабирования,  $scl\_mx$  – признак работы со старшими/младшими 36 разрядами (см. рис.6) при масштабировании (принимает значение 1 или 0),  $M$  – коэффициент децимации,  $N$  – степень CIC-фильтра (4, 5, 6 для CIC4, CIC5 и CIC6, соответственно),  $K_0$  – коэффициент передачи фильтра на низкой частоте.

Блоки масштабирования SCALER на выходе фильтров CIC2 и CICN позволяют управлять амплитудой выходного сигнала с шагом 6 дБ. Одновременно с масштабированием SCALER округляет данные до 20 бит и контролирует переполнение (перегрузку). При необходимости блок CIC-фильтров может быть отключен.

СБИС 1288X1T содержит два каскада КИХ-фильтров-дециматоров (DFIR1 и DFIR2) (рис.7). Они предназначены для фильтрации сигнала и уменьшения его частоты дискретизации. Максимальный порядок КИХ-фильтра равен 64 и может быть как четным, так и нечетным. Импульсная характеристика фильтра симметрична или антисимметрична. В каждом КИХ-фильтре используются 32 16-разрядных коэффициента. В отличие от CIC-фильтров, коэффициенты КИХ-фильтров программируются. Также может задаваться коэффициент децимации фильтра (от 1 до 16).



**Рис.6. Блок фильтров-дециматоров CIC**

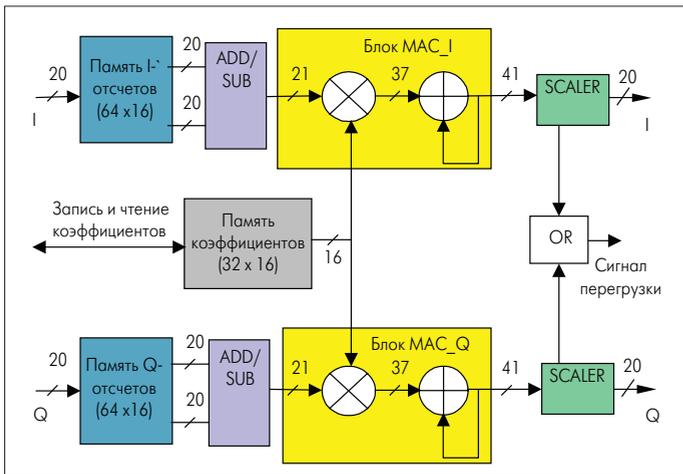


Рис.7. Блок программируемых КИХ-фильтров

КИХ-фильтр содержит блоки масштабирования сигнала SCALER, аналогичные установленным в СІС-дециматоре. SCALER производит масштабирование сигнала с ограничением с общим для обоих квадратурных каналов коэффициентом масштабирования scl. Выходные сигналы переполнения блоков масштабирования объединены по "ИЛИ" и образуют выходной сигнал переполнения масштабирующих узлов блока DFIR.

КИХ-фильтр позволяет задавать задержку старта обработки (вычисления первого выходного отсчета фильтра) на D входных отсчетов (при D = 0 вычисления начинаются с первым пришедшим входным отсчетом). Благодаря этой особенности можно реализовывать полифазные фильтры, обладающие большей пропускной способностью.

В целях универсальности 1288ХК1Т разработчики отказались от встроенного блока автоматической регулировки усиления (APУ), заменив его комплексным умножителем выходного сигнала каждого канала (FGAIN), позволяющим не только изменять коэффициент усиления, но и корректировать фазу сигнала. Результирующий сигнал комплексного умножителя определяется как:

$$I_{OUT} = I_{IN}GAIN_I - Q_{IN}GAIN_Q;$$

$$Q_{OUT} = Q_{IN}GAIN_I + I_{IN}GAIN_Q,$$

где  $I_{IN}$  и  $Q_{IN}$  – значение квадратурных составляющих сигнала после DFIR2, а  $GAIN_I$  и  $GAIN_Q$  – соответствующие 16-разрядные составляющие комплексного коэффициента передачи. Значения каждой компоненты коэффициента GAIN могут быть заданы в диапазоне

от  $-(2 \dots 2^{-14})$  до  $(2 \dots 2^{-14})$  с шагом  $2^{-14}$ . При этом используется кодировка с дополнением до 2. После комплексного перемножения 20-разрядных отсчетов сигнала на 16-разрядные коэффициенты результирующий сигнал округляется до 16 разрядов. Суммарный коэффициент передачи комплексного умножителя определяется

$$K = \frac{1}{16} \sqrt{GAIN_I^2 + GAIN_Q^2}.$$

В случае перегрузки комплексного умножителя его выходное значение ограничивается и вырабатывается соответствующий сигнал.

Результаты обработки представляют собой комплексный сигнал, состоящий из пары 16-разрядных компонентов I и Q. Они поступают в регистр FIFO глубиной 256 комплексных отсчетов. Для индикации заполнения FIFO может использоваться специальный сигнал частичной заполненности с программируемым порогом.

Данные, хранящиеся в памяти выходных отсчетов, доступны через параллельный или линк-порты. При доступе к данным через параллельный порт в 32-разрядном режиме старшие 16 бит соответствуют компоненте I, младшие 16 бит – компоненте Q. Последовательность передачи отсчетов соответствует порядку, в котором они хранятся в FIFO.

**ГИБКОЕ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ РЕСУРСОВ**

Одно из важнейших достоинств СБИС 1288ХК1Т – возможность перераспределения вычислительных ресурсов для организации нескольких независимых каналов обработки либо для повышения производительности. Основной показатель производительности – это полоса частот обрабатываемого сигнала и точность фильтрации. Узким местом здесь является выходной КИХ-фильтр канальной фильтрации, который обеспечивает необходимую АЧХ приемника. Производительность канального фильтра 64 порядка одного канала 1288ХК1Т превышает 3 МГц, что позволяет обрабатывать комплексный сигнал в полосе до 3 МГц. Если этой производительности недостаточно, можно либо пропорционально уменьшить порядок фильтра или увеличить коэффициент децимации, пожертвовав точностью фильтрации, либо объединить 2 (рис.8) или 4 канала, получив в результате скорость обработки до 6 или 12 МГц при максимальном порядке фильтра.

Принцип перераспределения ресурсов используется и при работе с комплексными входными сигналами. При этом, если необходимо

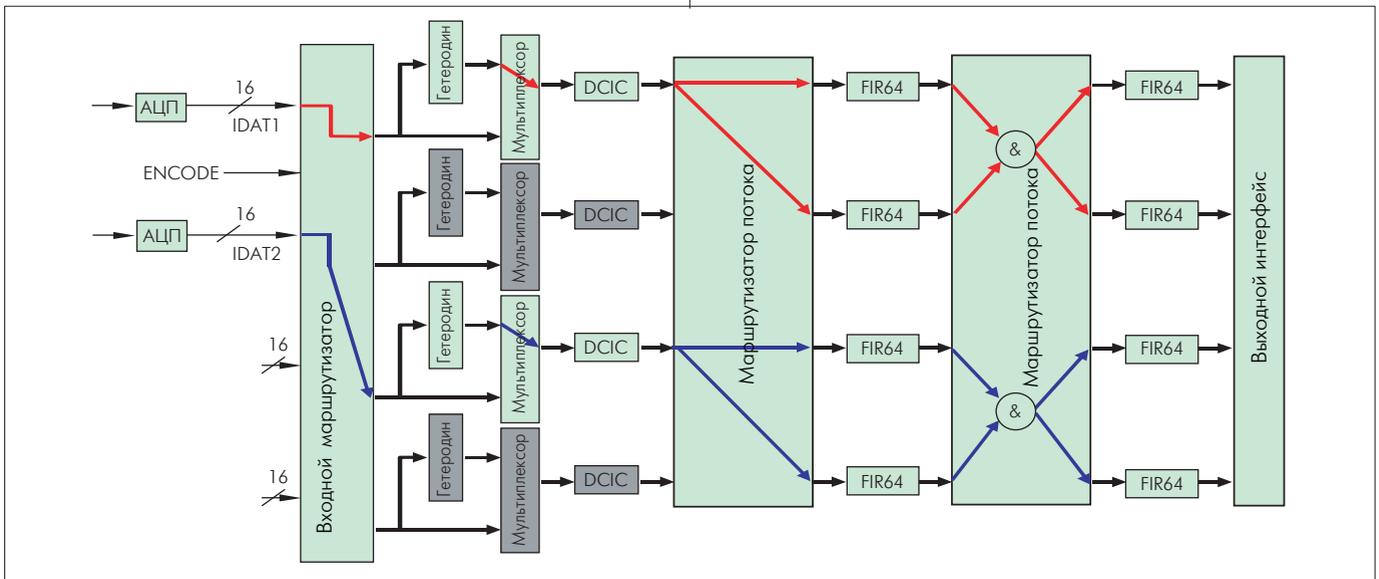
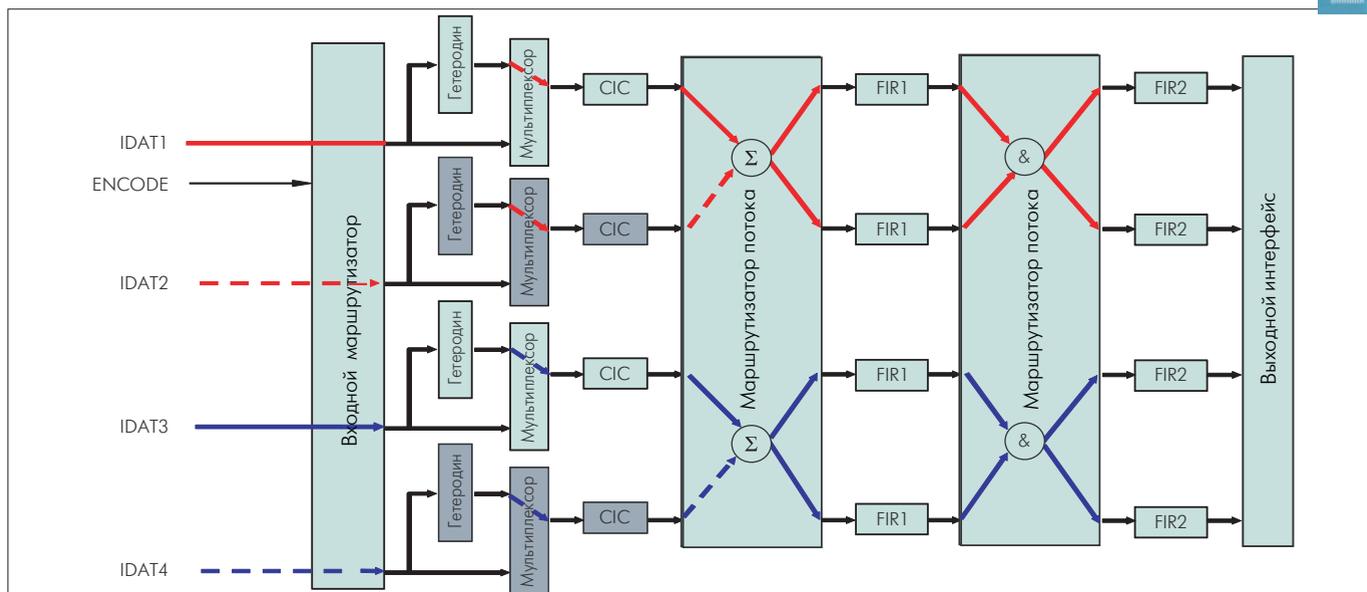


Рис.8. Объединение двух каналов обработки при работе с действительными входными сигналами



**Рис.9. Объединение двух каналов обработки при работе с комплексными 16-разрядными входными сигналами**

преобразование частоты, гетеродины двух каналов обрабатывают сигнал от одного источника (АЦП) (например, гетеродин первого канала обрабатывает компоненту I, второго – компоненту Q), гетеродины третьего и четвертого каналов – комплексный сигнал от второго источника. После блока CIC-фильтрации в маршрутизаторе вычисляется комплексный сигнал преобразованной частоты (рис.9):

$$S_1 = [I_1 \cos(\omega_1 t) - Q_1 \sin(\omega_1 t)] + j \cdot [I_1 \sin(\omega_1 t) + Q_1 \cos(\omega_1 t)];$$

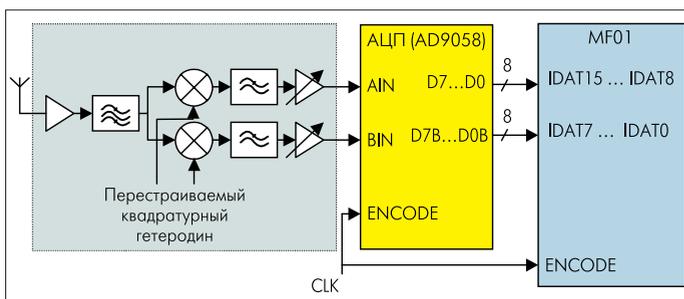
$$S_2 = [I_2 \cos(\omega_2 t) - Q_2 \sin(\omega_2 t)] + j \cdot [I_2 \sin(\omega_2 t) + Q_2 \cos(\omega_2 t)].$$

В СБИС 1288ХК1Т предусмотрена синхронизация параллельной работы нескольких микросхем. Синхронизация подразумевает син-

хронный пуск, останов, очистку блоков обработки, установку параметров гетеродина и комплексного выходного умножителя нескольких СБИС. Синхронизация параллельно работающих микросхем позволяет использовать их в системах фазированных и адаптивных антенных решеток (ФАР и ААР), а также увеличить пропускную способность программируемых КИХ-фильтров.

#### **СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ СБИС 1288ХК1Т И ОСНОВНЫЕ ОБЛАСТИ ЕЕ ПРИМЕНЕНИЯ**

1288ХК1Т может использоваться в разнообразных конфигурациях с различными процессорами и внешними АЦП. Однако предпочти-



**Рис. 10. Построение приемника комплексного входного сигнала со двоянным 8-разрядным АЦП AD9058 компании Analog Devices**

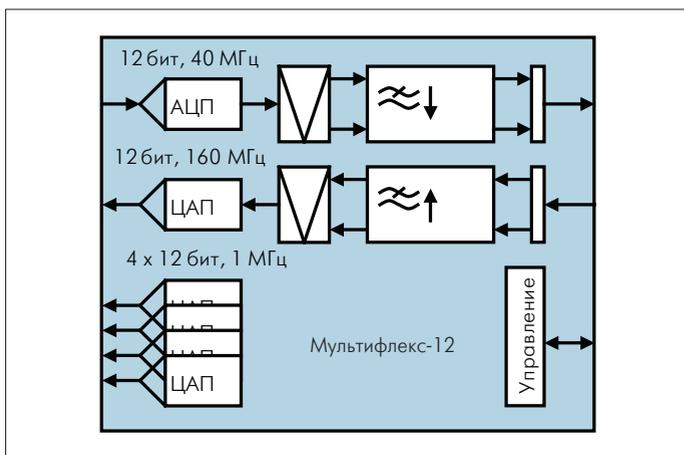
тельным вариантом является совместное применение этой СБИС с сигнальными контроллерами серии "Мультикор" [4], в частности – с процессором MC-12. Потоки данных от 1288ХК1Т могут передаваться как через параллельный порт (для управления используется последовательный порт), так и через линк-порт.

С одним процессором могут работать до восьми СБИС 1288ХК1Т, использующих единый набор управляющих сигналов, включая сигнал выборки chip select. Разделение обращений к СБИС происходит посредством адресации через трехразрядное поле NUM. Если в контроллере MC-12 для связи с 1288ХК1Т задействованы каналы прямого доступа к памяти (DMA), то по последовательному интерфейсу к одному контроллеру можно подключить лишь четыре 1288ХК1Т. Однако еще четыре 1288ХК1Т присоединяются через линк-порты.

1288ХК1Т может работать как с одним, так и с несколькими источниками сигнала. Интерфейс с внешним АЦП достаточно гибок и согласован с АЦП фирмы Analog Devices (в частности, с 10-разрядными AD9203, AD9071, AD9051; с 12-разрядными AD9224 и AD6640, с 14-разрядными AD6644 и AD6645). В режиме комплексного входного сигнала можно использовать двоянные 8-разрядные АЦП (рис. 10).

Типичная область применения 1288ХК1Т – создание трактов канальной фильтрации, требующих большого динамического диапазона представления сигнала. Такие тракты используются в базовых станциях систем сотовой связи как относительно узкополосных (GSM, IS-136), так и широкополосных стандартов (IS-95, cdma2000-1х/3х, UMTS, Globalstar). При этом встроенные цифровые гетеродины и дециматоры в приемном тракте позволяют реализовывать:

- мультистандартные перепрограммируемые приемники (концепция SDR);
- приемники с ФАР, в том числе с направленным приемом сигнала, включая алгоритмы smart-антенны и пространственной селекции помех;



**Рис. 11. Структура трансивера MF12**

**Основные технические характеристики приемника 1288ХК1Т**

SFDR гетеродина	не хуже 100 дБ
Точность настройки гетеродина	0,019 Гц (при частоте дискретизации 80 МГц)
Точность установки фазы гетеродина	0,005
Общий коэффициент децимации	1–16384
Тактовая частота	100 МГц
Два программируемых КИХ-фильтра-дециматора 64-го порядка в каждом канале;	
Скорость работы программируемых КИХ-фильтров (64-й порядок, тактовая частота 100 МГц):	3,125 MSPS для каждого канала; 12,5 MSPS при объединении четырех каналов
Шаг плавной регулировки уровня сигнала на выходе канала	2 <sup>-14</sup>
Питание (ядро/аналоговая часть/периферия)	2,5/2,5/3,3 В
Диапазон рабочих температур	-40...85°C
Корпус	PQFP208

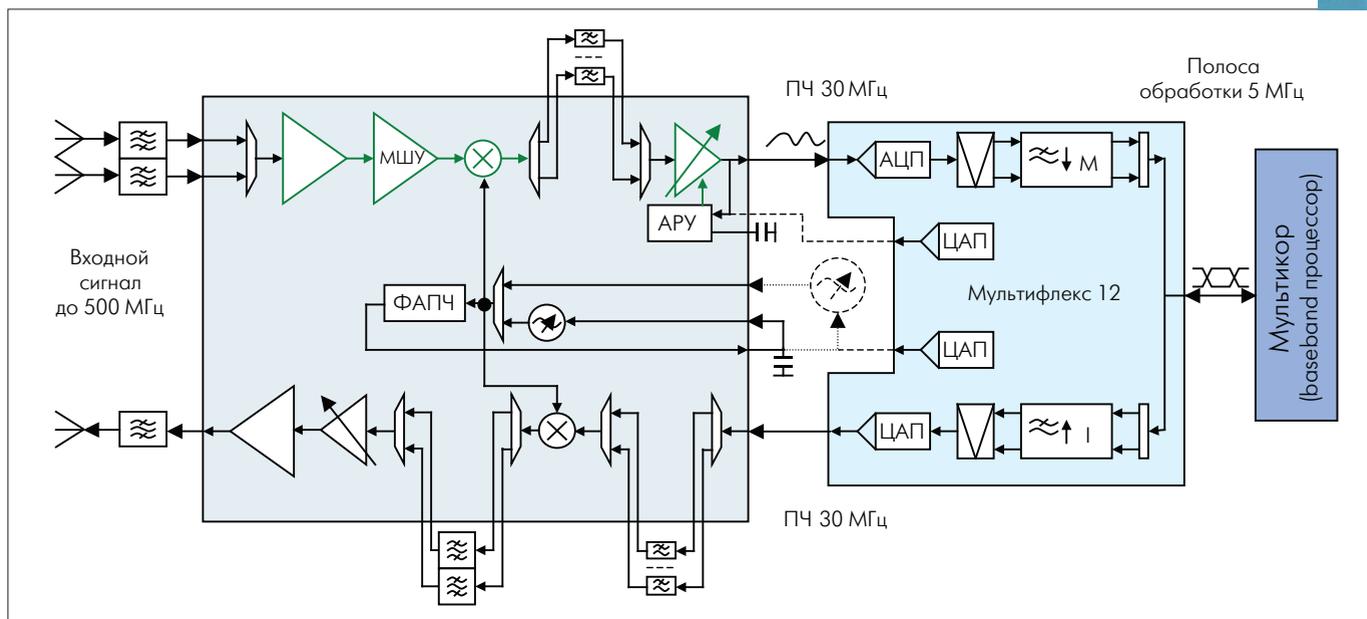
- многоканальные приемники сигнала с частотным разделением каналов;
- устройства защиты от узкополосных помех на основе гребенки фильтров (параллельный анализатор спектра).

Устройства на основе 1288ХК1Т отличает большая гибкость, обусловленная наличием четырех идентичных независимых каналов приема (могут быть частотно разделенными). Это позволяет, с одной стороны, реализовывать системы со сложной многоканальной структурой сигналов (cdma2000 3х), а с другой стороны, оптимально перераспределять ресурсы при обработке сигналов с высокой тактовой частотой. Возможность обработки сигналов с высокой тактовой частотой открывает широкие перспективы применения 1288ХК1Т в высокоскоростных системах передачи данных. Благодаря простоте переконфигурирования 1288ХК1Т эффективна для построения портативных мультистандартных терминалов, совмещающих в себе, например, функции устройства позиционирования при помощи глобальной сети навигации и мобильного терминала системы сотовой связи.

**ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СЕМЕЙСТВА МУЛЬТИФЛЕКС**

Приемник 1288ХК1Т (MF01) стал первым представителем семейства Мультифлекс, призванного (вкуче с другими разработками компании ЭЛВИС) обеспечить отечественных разработчиков полным набором инструментов для создания современных радиоэлектронных систем. Предполагается два направления развития семейства Мультифлекс. Одно из них предусматривает создание устройств с относительно небольшой производительностью и низким энергопотреблением. Первым представителем этого направления должен стать цифровой трансивер MF12 (рис. 11). В отличие от 1288ХК1Т, новый прибор включает встроенные сигнальные АЦП и ЦАП и 4 ЦАП управления радиотрактом. Кроме того, он будет оснащен дополнительными функциональными узлами, такими как ресемплер, входное АРУ, преобразователи полярных координат в прямоугольные и обратно, блок управления мощностью передатчика. Уровень энергопотребления – порядка 100–200 мВт. На основе 1288ХК1Т можно будет реализовывать портативные устройства для различных систем связи с шириной полосы до 2МГц, в том числе таких стандартов связи, как GSM, IS-95 (CDMA), cdma2000 (1X и 3X), WCDMA (UMTS).

Для создания законченного решения при разработке такого рода устройств в компании ЭЛВИС создается аналоговый трансивер "ФлексРадио" (рис. 12). Первый образец рассчитан на СВ, КВ и УКВ диапазоны (до 500 МГц), последующие должны работать в гигагер-



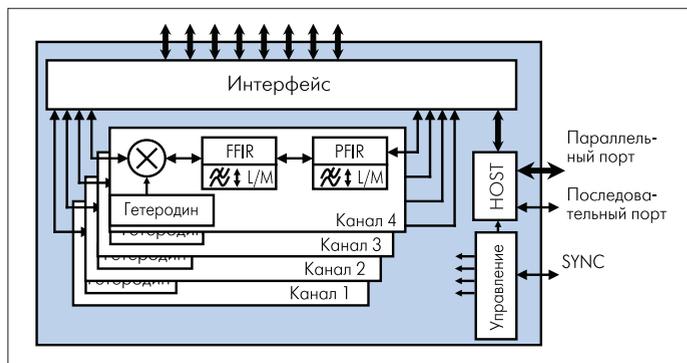
**Рис. 12. Аналоговый трансивер "ФлексРадио"**

цевых диапазонах частот. С появлением цифрового и аналогового трансиверов компания ЭЛВИС сможет поставлять законченный чипсет для разработки беспроводной цифровой приемопередающей аппаратуры. Произойти это должно уже в 2007 году.

Направление высокопроизводительных устройств семейства Мультифлекс представлено проектом MF02 (рис. 13). Это – четырехканальный высокоскоростной цифровой приемопередатчик без встроенных ЦАП/АЦП. Производительность каждого из четырех его каналов будет превосходить суммарную производительность приемника 1288ХК1Т. Предполагается, что скорость входных отсчетов составит не менее 200 МГц (не менее 400 МГц при объединении каналов), ширина полосы обработки в одном канале – не менее 25 МГц, длина программируемых КИХ-фильтров – до 256 коэффициентов. Используются 20-разрядные коэффициенты и 24-разрядные данные.

Заявленные характеристики трансивера MF02 позволяют создавать на его основе самые современные системы беспроводной передачи данных, включая приемопередающие тракты ФАР и базовых станций. К сожалению, крупные заказчики, в том числе государственные, пока не проявили к нему должного интереса. А разрабатывать подобное устройство в рамках инициативного проекта, учитывая его универсальность, – занятие достаточно дорогое.

В заключение отметим, что сам факт появления СБИС 1288ХК1Т свидетельствует о высоком потенциале компании ЭЛВИС. Новая микро-



**Рис. 13. Цифровой трансивер MF02**

схема, безусловно, окажется полезной и востребованной на российском рынке, тем более что по основным параметрам она не уступает зарубежным аналогам, например, СБИС GC4016 (Texas Instruments), AD6634 (Analog Devices) или HSP50216 (Intersil) [5]. И, разумеется, это – еще один "кирпичик" в универсальный отечественный конструктор разработчика РЭА, к созданию которого столь много усилий прикладывают специалисты компании ЭЛВИС.

*В статье использованы материалы компании ЭЛВИС*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Щербак Н. Программируемые радиостанции – будущее тактической связи. – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2001, №5, с.16–19.
2. David Marsh. Software-defined radio Tunes in. – EDN, 2005, March 3, p.52–64.
3. Шахнович И. Сотовый телефон третьего поколения. SuperHomodyne versus superHeterodyne. – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2001, №3, с.20–23.
4. Солохина Т., Александров Ю., Петричкович Я. Сигнальные контроллеры компании ЭЛВИС: первая линейка отечественных DSP. – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2005, №7, с.70–77.
5. Гусев В.В. и др. "Мультифлекс" – первая отечественная серия аналого-цифровых "систем на кристалле" на базе SDR-технологии. – Chip News, 2005, №4, с. 22–27.