

Преимущества блочной реализации приемо-передающих устройств

Найджел Уилсон (Nigel Wilson)

Перевод: Андрей Лебедев, rf@macrogroup.ru

Концепция проектирования приемо-передающих устройств

По мере стремительного внедрения «Интернета вещей» (Internet of Things, IoT) в нашу жизнь возрастает необходимость в обеспечении беспроводной связи между широким рядом

устройств, начиная носимой электроникой и заканчивая бытовыми приборами «умных» домов. Кроме того, растет число стандартов и протоколов для радиointерфейсов, используемых в таких устройствах. Беспроводные технологии востребованы и в «традиционных» системах спутниковой связи, авионики и оборудовании связи для морских перевозок, а также во многих других областях — научных, медицинских и промышленных.

Несмотря на преобладание беспроводных приложений Wi-Fi и Bluetooth, работающих в полосе частот 2,4 ГГц, по-прежнему остаются востребованными системы, которые функционируют в диапазонах ВЧ, ОВЧ и УВЧ. Некоторые из них занимают полосы, прежде использовавшиеся станциями наземного радиовещания. В этих условиях задача инженеров, реализующих проекты в жестких временных рамках, становится еще сложнее. Положение усугубляется также тем, что традиционный подход по созданию дискретных схемных решений для приемо-передающей аппаратуры уже не годится.

Компания CML Microcircuits (CML) является мировым лидером в разработке, конструировании и поставке маломощных полупроводников для обработки аналоговых, цифровых и смешанных сигналов. Ассортимент радиочастотных изделий компании CML представляет собой набор блоков (платформ) для реализации части или всего тракта беспроводного радиointерфейса. С помощью этих высокоэффективных микросхем создаются универсальные решения для приложений, работающих в ВЧ-, ОВЧ- и УВЧ-диапазонах.

Модульный подход позволяет значительно сократить цикл проектирования радиointерфейсов приемо-передающих устройств.

Как ускорить разработку приемо-передающих устройств

Ни для кого не секрет, что проектирование приемо-передающих приложений может оказаться чрезвычайно сложным делом. Некоторые инженеры, особенно старой школы, предпочитают использовать дискретную реализацию, однако такой подход в настоящее время находится в противоречии с тенденцией компаний вывести свою продукцию на рынок быстрее конкурентов.

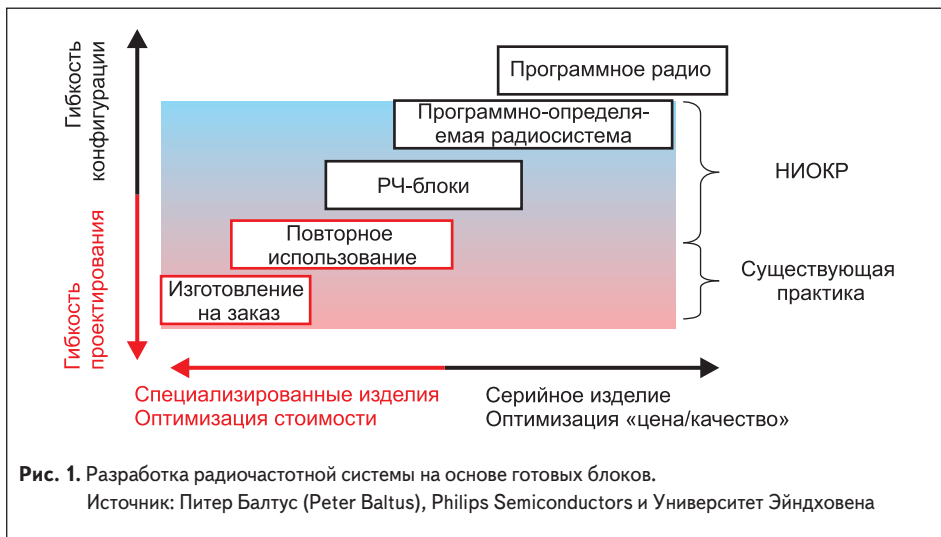


Рис. 1. Разработка радиочастотной системы на основе готовых блоков. Источник: Питер Балтус (Peter Baltus), Philips Semiconductors и Университет Эйндховена

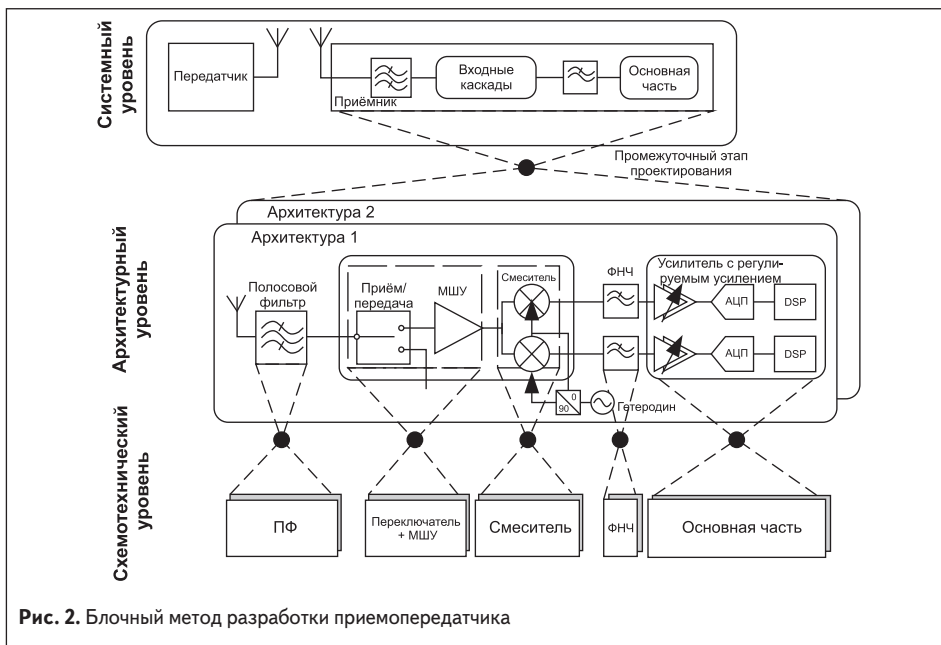


Рис. 2. Блочный метод разработки приемопередатчика

Эволюция беспроводных технологий в сторону увеличения скорости передачи данных и объемов передаваемой информации не только открывает множество возможностей, но и порождает немало проблем. Одна из них заключается в необходимости обеспечить высокую эффективность при очень малом уровне потребления энергии. Кроме того, быстрый рост беспроводных сервисов увеличивает потребность в высокоинтегрированных и недорогих решениях с техническими

характеристиками, соответствующими жестким требованиям. Чтобы их выполнить, необходимы новые полупроводниковые изделия и технологии проектирования конечных систем.

Блочный подход (рис. 1), применяемый для построения радиоканала, имеет более высокий уровень абстракции, обеспечивает повторное использование блоков и анализ характеристик системы на самых ранних этапах проектирования.

Рассмотрим в качестве примера беспроводной приемник, состоящий из радиочастотных, аналоговых и цифро-аналоговых каскадов обработки сигналов (рис. 2).

Как правило, проектирование системы и дискретной схемы осуществляется отдельно. Однако решающее значение для построения оптимальной системы имеет как раз учет взаимодействия между ее разными уровнями. В отличие от традиционного подхода, блочный метод проектирования представляет систему с начального уровня до ее конечной схемной реализации.

Блочная реализация приемно-передающего тракта беспроводной системы позволяет решить несколько задач — повысить надежность системы в целом, проанализировать ее производительность, построить абстрактные поведенческие модели и т. д. Оптимизация на уровне системы выполняется с помощью поведенческих моделей. Чтобы обеспечить требуемую точность, характеристики моделей ограничивают фактической эффективностью реализации конкретной схемы. Результаты показывают, что блочное проектирование обеспечивает требуемые характеристики системы.

Разработка приемно-передающих устройств с помощью решений CML

Ассортимент радиочастотных изделий от компании CML в полной мере отвечает требованиям широкого ряда приложений, в т. ч. систем передачи речи и обработки данных.

На рис. 3 приведены примеры типичных архитектур для высокоинтегрированных решений: системы цифровой/аналоговой двухсторонней радиосвязи (TWR); системы беспроводной передачи (WD) телеметрической информации и программно-определяемой радиосистемы (SDR).

Модули типичных приемно-передающих устройств, представленных на рис. 3, обычно включают в себя следующие элементы.

- Приемник (Rx). Поскольку каждый из блоков в цепочке приемника Rx в некоторой степени усиливает сигнал (или вносит в него потери), цепь приема сигналов характеризуется распределенным коэффициентом усиления. Следует учитывать несколько факторов, которые сказываются на распределении коэффициента усиления во входной радиочастотной части, каскадах усиления промежуточной частоты (ПЧ) и каскадах основной полосы частот (baseband BB). Во многих случаях требуется, чтобы передача сигнала по всей системе осуществлялась линейно в широком диапазоне условий эксплуатации, включая уровень сигнала, наличие помех и изменение температуры окружающей среды.
- Передатчик (Tx) осуществляет модуляцию, преобразование с повышением частоты и усиление мощности; в модульном подходе первые две функции объединены. Разработка передатчика требует глубокого понимания особенностей типов модуляции, что напрямую оказывает влияние на выбор таких модулей, как смесители с повышающим

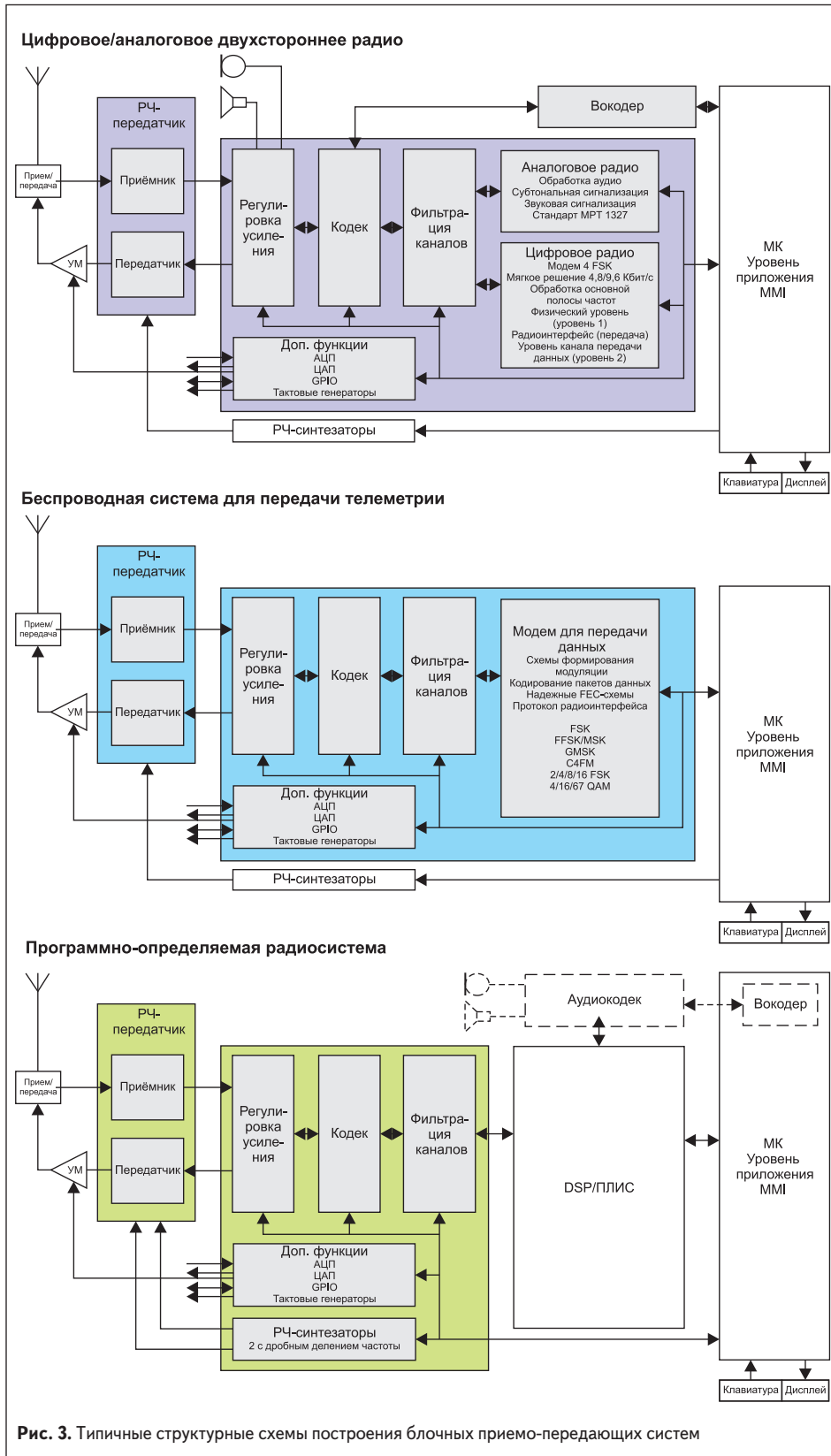


Рис. 3. Типичные структурные схемы построения блочных приемно-передающих систем

преобразованием, задающие генераторы и усилители мощности (УМ).

- Приемопередатчик (XCVR) представляет собой комбинацию двух упомянутых выше главных составляющих частей радиоканала. Далее мы рассмотрим пример блочного проектирования приемопередатчика.
- Усилитель мощности является одним из важнейших компонентов беспроводных передатчиков, поскольку он обеспечивает заданные рабочие характеристики, надежность и приемлемую стоимость радиопередатчика. При проектировании УМ для передатчика требуется учитывать факторы, которые влияют на характеристики микросхемы усилителя мощности: выбор оптимальной полупроводниковой технологии, точность моделей транзисторных устройств, особенности корпусирования, теплоотвод и методы проектирования схемы передатчика.
- Смеситель (Mixer) предназначен для преобразования частоты. Выполняет две главные функции:
 - преобразование частоты радиосигнала в промежуточную частоту (ПЧ или в частоту основной полосы) для дальнейшей обработки в приемнике;
 - преобразование сигнала основной полосы частот или сигнала промежуточной частоты в более высокую или в несущую для последующей передачи.

Примечание. Смесители, как правило, требуют соответствующей фильтрации, поскольку одной из их функций является удаление побочных частот в передатчиках или удаление нежелательных эффектов преобразования в приемниках.

- Гетеродин (LO) используется во всех приемопередающих устройствах беспроводных систем. Усилитель гетеродина функционирует при условии, что его тракт обратной связи (ОС) удовлетворяет двум условиям — балансу амплитуд и балансу фаз.
 - Условие баланса амплитуд: усиление превышает потери в схеме обратной связи.
 - Условие баланса фаз: генерация колебаний происходит, если фазы выходного напряжения цепи ОС и входного напряжения совпадают.

В современных системах гетеродин должен перестраиваться в заданном диапазоне частот, что определяется системой. С этой целью применяется генератор, управляемый напряжением (ГУН), с программно-управляемой петлей фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ).

Блочный подход для разработки приемопередающих устройств

Поскольку в приемопередающих устройствах применяется большинство упомянутых функций, разумно использовать предлагаемые на рынке устройства. Так, например, микросхемы серий SM99x и SM97x от компании CML Microcircuits уже включают в себя интегрированный приемник, передатчик, приемопередатчик, модулятор/демодулятор и синтезатор частоты с ФАПЧ. Применение этих ИС значительно ускорит проектирование и сократит время вывода конечного устройства на рынок. Давайте кратко

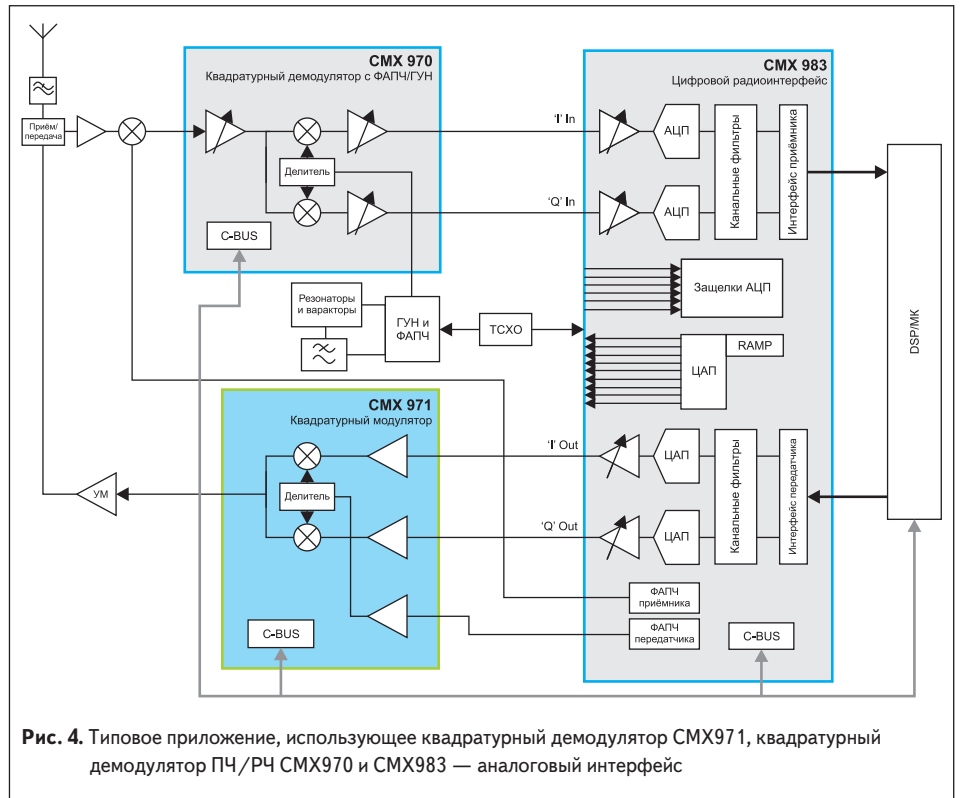


Рис. 4. Типовое приложение, использующее квадратурный демодулятор SMX971, квадратурный демодулятор ПЧ/РЧ SMX970 и SMX983 — аналоговый интерфейс

остановимся на характеристиках микросхем упомянутых серий:

- **SMX971** — высокоэффективный квадратурный модулятор с широким диапазоном рабочей частоты (рис. 4). Управление SMX971 осуществляется либо по последовательной шине, либо напрямую. Коэффициент деления гетеродина устройства SMX971 программируется (2 или 4), оно позволяет улучшить линейность и уменьшить шум.

- **SMX972** — маломощный квадратурный демодулятор ПЧ/РЧ с широким диапазоном рабочей частоты и оптимизированным энергопотреблением (рис. 5). Этот демодулятор, предназначенный для супергетеродинных схем с ПЧ до 300 МГц, можно использовать в приложениях с низкой ПЧ или систем с преобразованием вниз в основную полосу частот. Встроенная схема ФАПЧ с ГУН вместе с отдельными дифференциальными

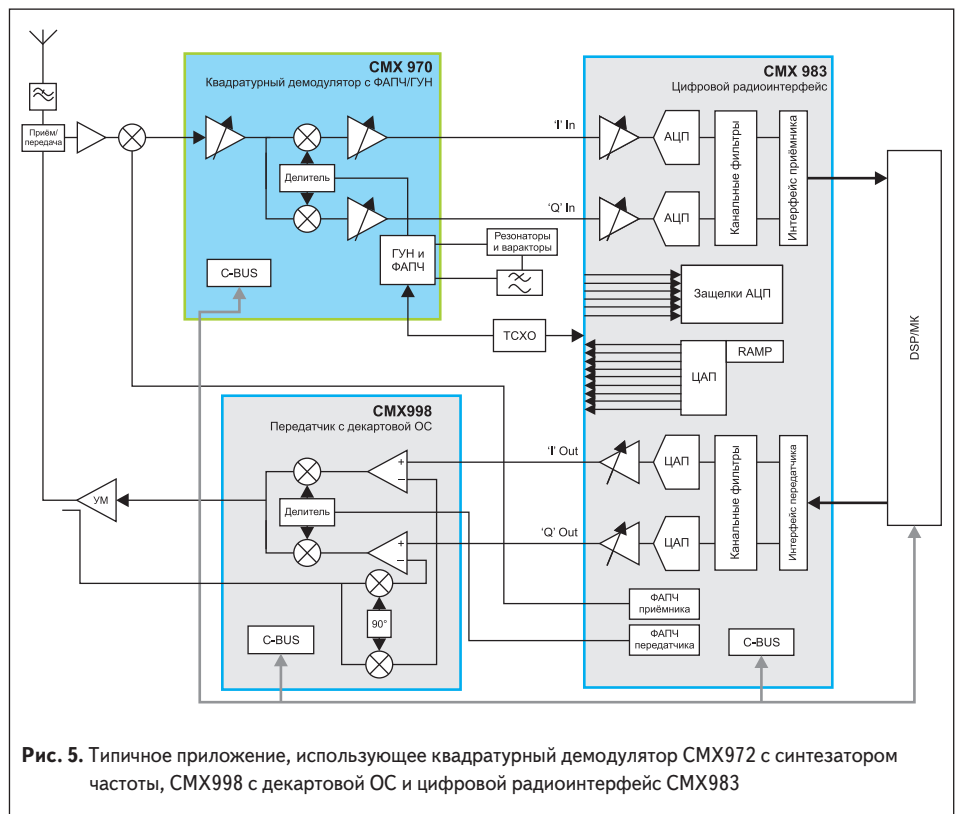


Рис. 5. Типичное приложение, использующее квадратурный демодулятор SMX972 с синтезатором частоты, SMX998 с декартовой ОС и цифровой радиоинтерфейс SMX983

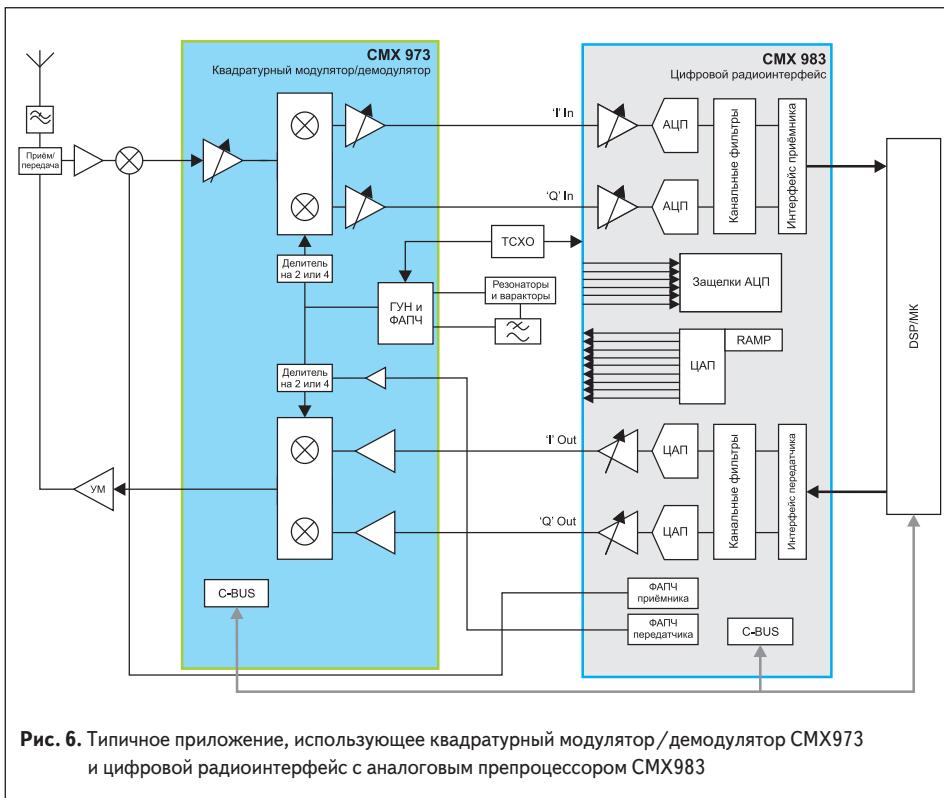


Рис. 6. Типичное приложение, использующее квадратурный модулятор/демодулятор SMX973 и цифровой радиointерфейс с аналоговым препроцессором SMX983

усилителями для основной полосы частот повышают гибкость такого решения. Управление SMX972 осуществляется по последовательной шине.

- **SMX973** — цифровой радиointерфейс с аналоговым препроцессором (рис. 6). В состав микросхемы входит квадратурный (I/Q) модулятор и маломощный квадратурный демодулятор ПЧ/РЧ. Этот демодулятор, предназначенный для супергетеродинных схем с ПЧ до 300 МГц, может использоваться в системах с низкой ПЧ или при преобразовании сигнала в основную полосу частот в приемниках прямого преобразования.

Модулятор преобразует непосредственно из основной полосы в желаемую частоту передачи вплоть до 1 ГГц и имеет квадратурную фазовую коррекцию, обеспечивающую малую погрешность I/Q. Встроенный синтезатор частоты с ФАПЧ и ГУН вместе с несвязанными дифференциальными усилителями основной полосы обеспечивают дополнительную гибкость. Управление SMX973 осуществляется по последовательной шине. Подобно SMX971 и SMX971 микросхема SMX973 поставляется в малогабаритном 32-контактном корпусе VQFN, специально оптимизированном для работы с радио-

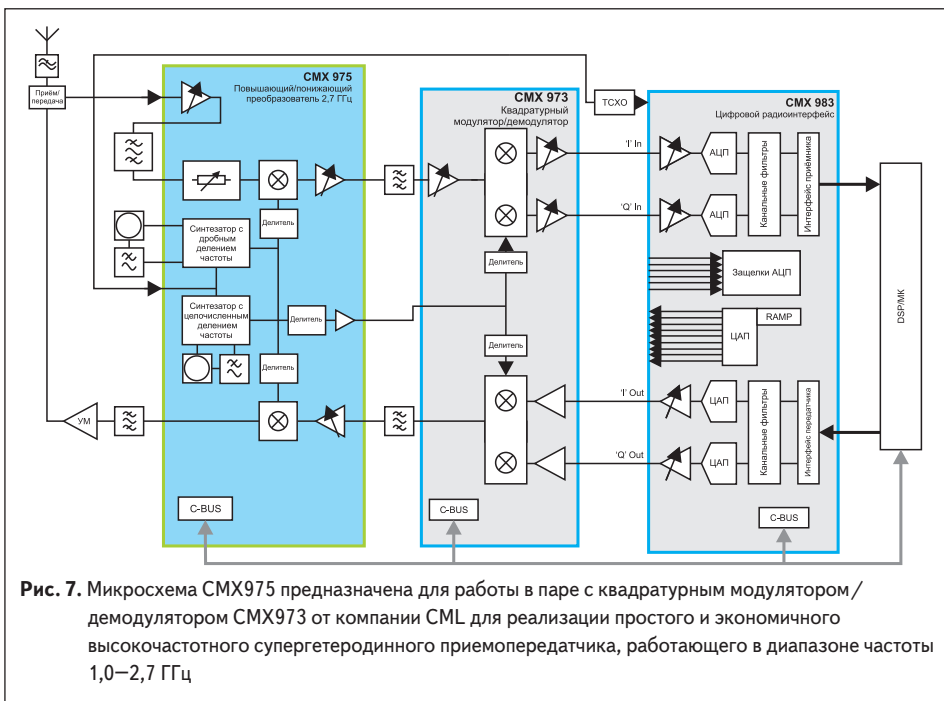


Рис. 7. Микросхема SMX975 предназначена для работы в паре с квадратурным модулятором/демодулятором SMX973 от компании CML для реализации простого и экономичного высокочастотного супергетеродинного приемопередатчика, работающего в диапазоне частоты 1,0–2,7 ГГц

частотными сигналами. Необходимость лишь в минимальном числе внешних компонентов позволяет успешно использовать это устройство в приложениях с ограниченным свободным пространством.

- **SMX975** — компактный блок, расширяющий возможности построения приемопередатчиков (рис. 7). В его состав входят: радиочастотный синтезатор частоты с ГУН, синтезатор ПЧ с ГУН, повышающий смеситель для передатчика, понижающий смеситель приемника и МШУ. РЧ-синтезатор с дробными коэффициентами деления работает на частоте до 3,6 ГГц с использованием полностью интегрированного внутреннего ГУН или с внешним источником сигнала до 6 ГГц. Синтезатор ПЧ использует синтезатор с целочисленным коэффициентом деления и работает на частоте до 1 ГГц. В его состав входит ГУН, требующий всего одной внешней индуктивности. Смеситель приемника настраивается в режиме отклонения изображения или в обычном режиме, а смеситель передатчика конфигурируется для подавления боковой полосы или в обычном режиме. Интегрированный малошумящий усилитель уменьшает коэффициент усиления на 18 дБ в три этапа.
- **SMX979** — маломощный синтезатор с двойным синтезатором — радиочастотным с дробным и целочисленным делением ПЧ, который обеспечивает генерацию сигналов в широком диапазоне частоты. Он напрямую поддерживает не только однократное преобразование частоты, но и супергетеродинную архитектуру, а также минимизирует количество внешних компонентов. SMX979, выполненный в малогабаритном корпусе VQFN размером 6×6 мм, обеспечивает гибкую настройку генератора. Дробный синтезатор РЧ с собственным ГУН работает в диапазоне 2,7–3,6 ГГц и в диапазоне 338 МГц...3,6 ГГц при использовании настраиваемого делителя выходной частоты. Синтезатор ПЧ, обеспечивающий целочисленное деление, работает в диапазоне 500–1000 МГц. В его состав входит полностью интегрированный фильтр контура и ГУН.
- **SMX99x** — семейство высокоэффективных и гибких интегральных микросхем, в состав которых входят: квадратурный приемопередатчик SMX991, квадратурный приемник SMX992, квадратурный модулятор SMX993/993W, приемник прямого преобразования SMX994 (рис. 8) и передатчик SMX998 с картезианской обратной связью. Микросхемы SMX993/993W предназначены для работы в диапазоне 100 МГц...1 ГГц, а SMX998 — до 30 МГц. Эти микросхемы учитывают потребности большинства форматов передачи информации, в т. ч. передачи данных и кодированного речевого сигнала в системах с постоянной огибающей и линейной модуляцией. Эти микросхемы, выпускаемые в компактных корпусах типа VQFN, имеют высокую степень интеграции и малое энергопотребление, что позволяет уменьшить занимаемую площадь на печатной плате. Чтобы максимально сократить время

проектирования с использованием этих РЧ-изделий, предлагаются отладочные и демонстрационные комплекты, а также информационные материалы с рекомендациями по практическому применению в соответствующих приложениях.

Выводы

Основные преимущества использования модульного подхода для разработки приемопередающих устройств заключаются в следующем:

- уменьшается время проектирования и быстрее окупаются затраты;
- упрощается тестирование готовой конструкции;
- уменьшается количество внешних дискретных компонентов;
- повышается надежность;
- улучшаются технические характеристики и управление системой;
- повышается вероятность повторного использования готового решения;
- уменьшается себестоимость конечного изделия.

Технология и продукция CML Microcircuits в полной мере адаптированы к реализации блочного подхода к проектированию приемопередающих устройств. ■

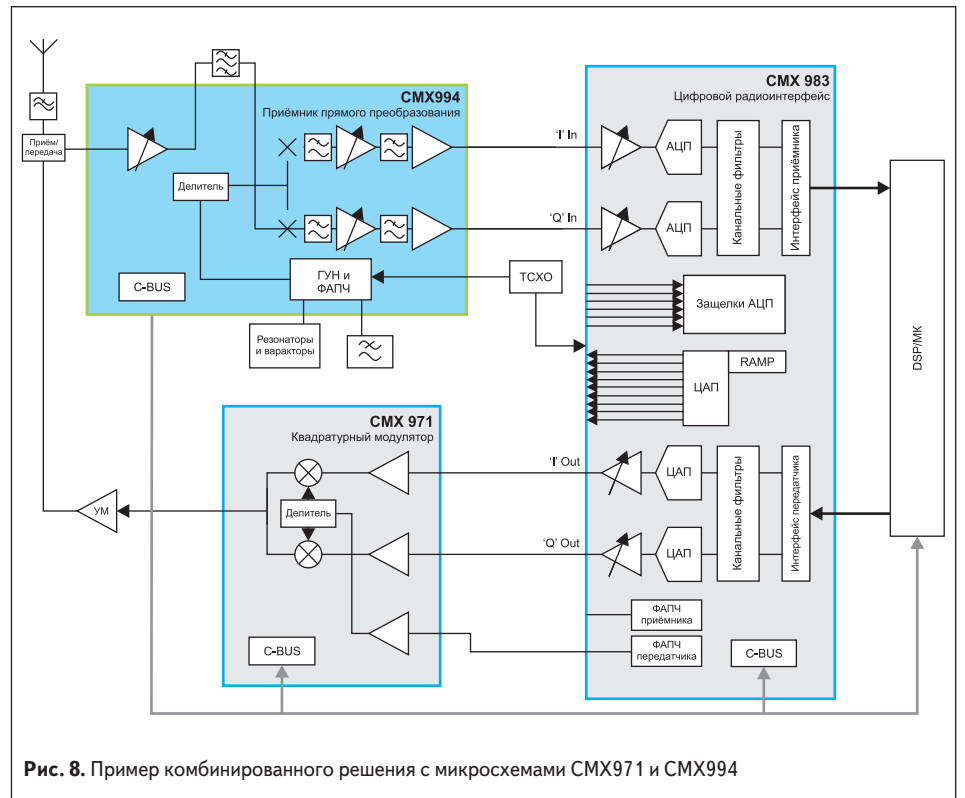


Рис. 8. Пример комбинированного решения с микросхемами CMX971 и CMX994