

Компоненты для создания ретрансляционных каналов связи 60 ГГц

Полноценная схема двунаправленной передачи данных с частотой 60 ГГц, основанная на системе-на-кристалле Xilinx Zynq и чипсете V-диапазона компании ADI, имеет характеристики и возможности, благодаря которым может использоваться в ретрансляционном оборудовании малых сот.

Джон Килпатрик (John Kilpatrick)
Перевод: Михаил Русских
tau68@rambler.ru

Постоянно растущий спрос на увеличение объема передаваемых данных посредством сотовых сетей заставляет операторов искать способы увеличения пропускной способности, и как ожидается, к 2030 году этот показатель должен повыситься в 5000 раз [1]. Для достижения поставленной цели потребуются увеличение пропускной способности канала в 5 раз, расширение выделенного спектра в 20 раз и увеличение количества узлов связи в 50 раз.

Многие из этих новых сот будут размещены в помещениях, где создается большая часть трафика, а оптоволокну является наилучшим вариантом для отправки трафика обратно в сети. Но вне помещений на открытом воздухе есть много мест, куда нельзя проложить оптоволоконные кабели или организация точки подключения обходится слишком дорого. Для этих ситуаций использование беспроводных ретрансляторов становится наиболее приемлемой альтернативой.

Нелицензируемый диапазон радиочастот 5 ГГц общедоступен, и для его использования не требуется организация связи в пределах прямой видимости. Однако ширина его полосы ограничена, и с большой долей вероятности на сигналы будут влиять помехи от других пользователей этого спектра из-за интенсивного трафика и широких диаграмм направленности антенн.

Но сегодня главным претендентом на обеспечение связи между такими ретрансляторами для многих тысяч наружных сот становятся каналы связи, которые работают на частоте 60 ГГц и смогут удовлетворить потребности в расширении пропускной способности. Этот спектр также является нелицензируемым, но в отличие от спектра частот ниже 6 ГГц содержит до 9 ГГц доступной полосы про-

пускания. Кроме того, благодаря высокой частоте можно формировать очень узкие и сфокусированные диаграммы направленности антенны, обеспечивающие большую устойчивость к помехам. Однако организовать связь в данном случае удастся только в пределах прямой видимости.

Модемы на основе ПЛИС и систем-на-кристалле все чаще используются для создания различных беспроводных ретрансляторов, поскольку платформы на их основе могут быть модульными и изменяемыми, что снижает общую стоимость владения для OEM-производителей. В радиочепях этих средств связи имеются приемопередатчики, интегрированные в кремниевые микросхемы и размещенные в недорогих корпусах для поверхностного монтажа.

Сегодня на рынке доступны коммерческие компоненты, предназначенные для создания полноценного двустороннего канала передачи данных на частоте 60 ГГц, схематичное изображение которого можно увидеть на рис. 1. Это решение, разработанное сотрудниками Xilinx и Hittite Microwave (теперь Analog Devices), содержит модем компании Xilinx и высокочастотные компоненты КВЧ-диапазона компании Analog Devices. Это решение отвечает требованиям к рабочим характеристикам и возможностям ретрансляционного оборудования для малых сот.

Как показано на рис. 1, для создания такого канала необходимы два узла. Каждый узел содержит передатчик (с модулятором) и соответствующую аналоговую цепь передатчика, а также приемник (с демодулятором) и соответствующую аналоговую цепь приемника.

Модемная карта состоит из аналоговых и дискретных устройств. Она включает генераторы, реализованные в цифровом виде для

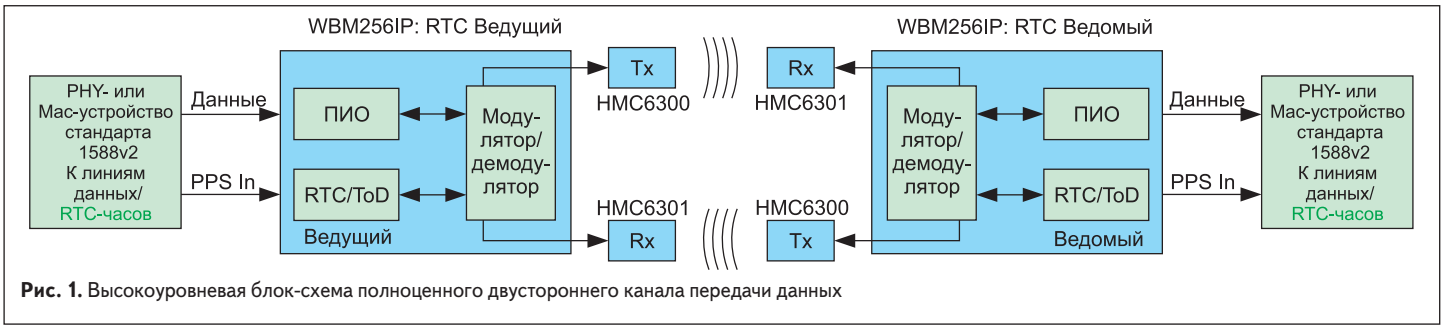


Рис. 1. Высокоуровневая блок-схема полноценного двустороннего канала передачи данных

обеспечения точности синтеза частоты, а все цифровые функции выполняются в ПЛИС или системе-на-кристалле. Это модемное ядро с одной несущей поддерживает модуляции от QPSK до 256 QAM в полосах пропускания канала до 500 МГц и обеспечивает скорость передачи данных до 3,5 Гбит/с. Модем также поддерживает дуплексную передачу как с частотным разделением (FDD), так и с временным разделением (TDD). Обеспечивающие высокую надежность методы проектирования модемов позволили уменьшить влияние фазовых шумов на местные гетеродины. Для улучшения рабочих характеристик и бюджета канала был использован код с малой плотностью проверок на четность.

Модем КВЧ-диапазона

Модем КВЧ-диапазона позволяет производителям коммуникационной инфраструктуры

разрабатывать универсальные, оптимизированные по стоимости и перенастраиваемые каналы связи для своих беспроводных ретрансляционных сетей. Он полностью адаптивный, имеет низкое энергопотребление, занимает небольшую площадь и может использоваться для развертывания снаружи и внутри помещений каналов связи типа «точка-точка», а также каналов СВЧ-диапазона типа «точка-многоточка». Данное решение позволяет операторам создавать масштабируемые системы с возможностью расширения в полевых условиях.

На рис. 2 приведена подробная структура цифрового модема, реализованного на основе системы-на-кристалле. Помимо программируемой логики (PL), масштабируемая процессорная система (PS) содержит два ядра ARM Cortex-A9 со встроенными контроллерами памяти, поддерживающие

различные стандартные периферийные линии ввода/вывода.

Эта платформа используется для выполнения различных операций по обработке данных и управления, а также для обеспечения аппаратного ускорения. Интегрированный модем КВЧ-диапазона с реализацией физического уровня (PHY), контроллером, системными интерфейсами и процессором обработки пакетов показан на рис. 2. Однако, исходя из требований к архитектуре, можно вставлять, обновлять или убирать различные модули. Например, задействовать объединитель ХРПС (подавитель кросс-поляризации помехи), чтобы использовать модем в режиме кросс-поляризации с другим модемом. Такое решение реализовано в программируемой логике, где интерфейс SERDES и линии ввода/вывода применяются для передачи данных между различными компонентами, напри-

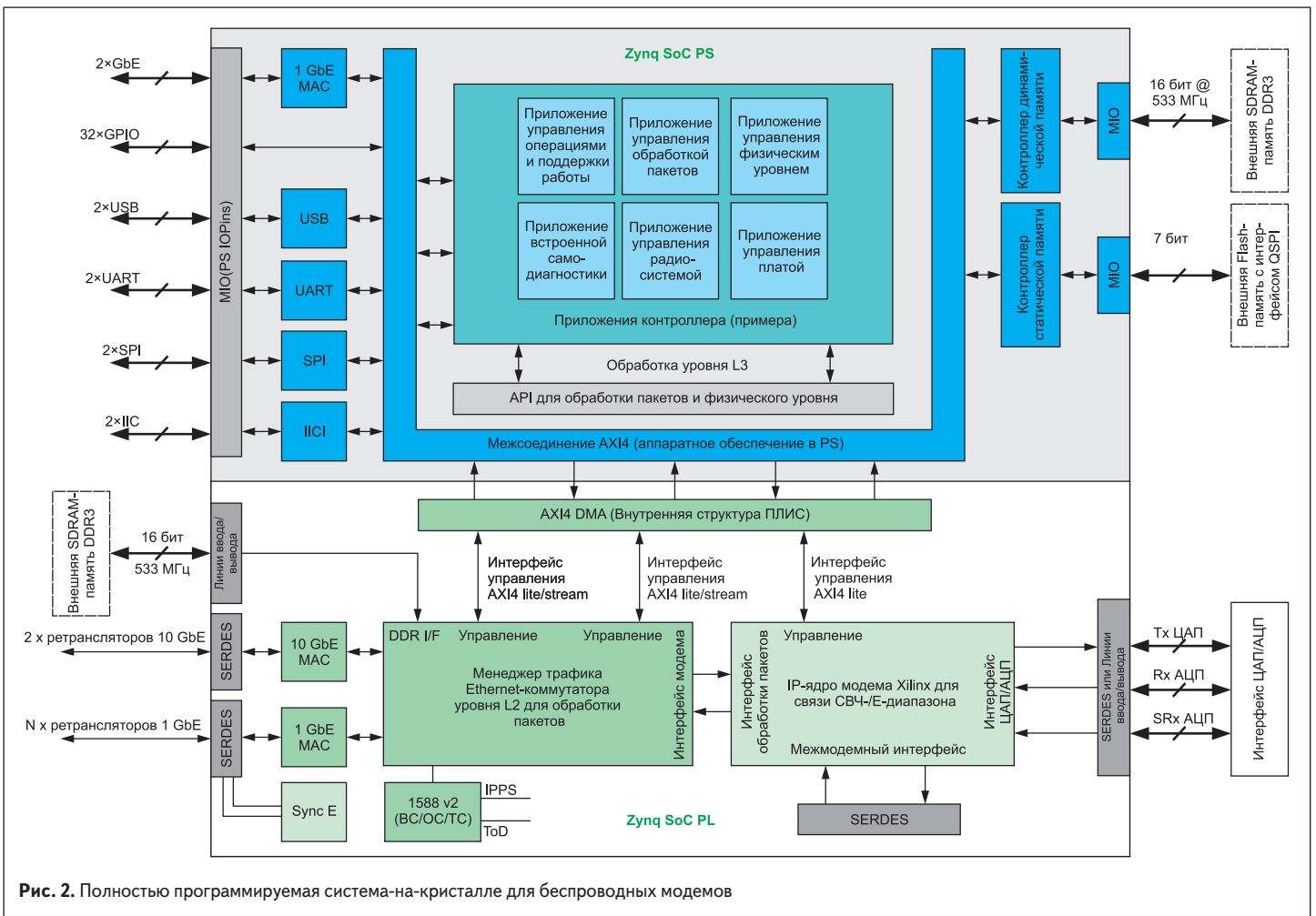
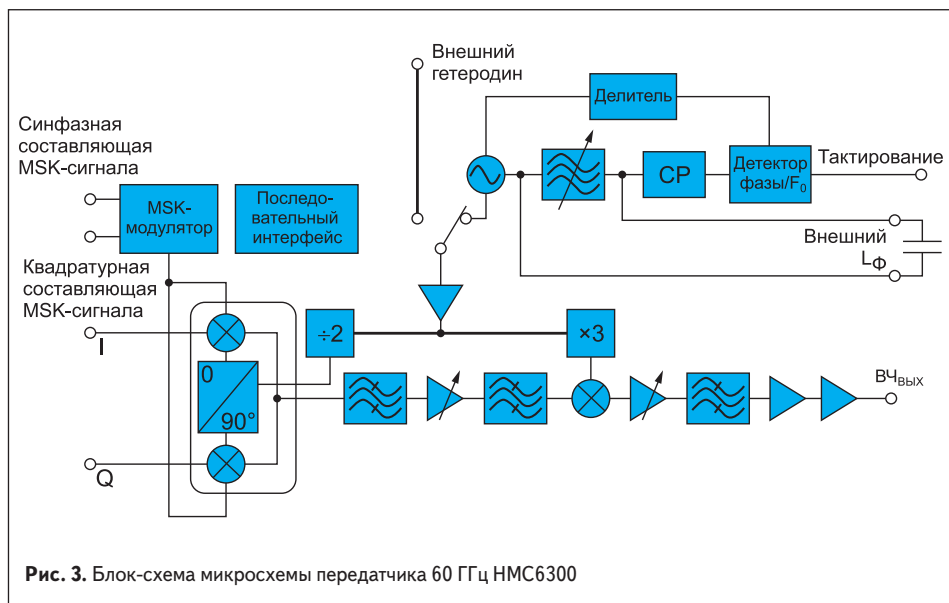


Рис. 2. Полностью программируемая система-на-кристалле для беспроводных модемов



мер между модемом и процессором пакетов, процессором пакетов и памятью, или между модемами, или ЦАП/АЦП.

К другим важным функциям модема относятся автоматическое переключение состояния без ошибок с помощью адаптивного кодирования и модуляции (ACM) для поддержания работоспособности канала, адаптивное цифровое предсказание (DPD) с обратной связью для повышения эффективности и линейности ВЧ-усилителя мощности, синхронный Ethernet (SyncE) для поддержания синхронизации системы тактирования, а также прямое исправление ошибок (ПИО) Рида — Соломона или прямое исправление ошибок с кодом с малой плотностью проверок на четность (LDPC). Выбор метода прямого исправления ошибок основан на требованиях к разработке. LDPC в основном выбирают для беспроводного ретрансляционного оборудования, а прямое исправление ошибок Рида — Соломона предпочтительно для приложений с низкой задержкой, в том числе для оборудования прямой трансляции.

Реализация LDPC характеризуется высокой степенью оптимизации и позволяет применять параллелизм ПЛИС для вычислений, выполняемых кодерами и декодерами. В результате заметно увеличивается отношение сигнал/шум. Можно задействовать разные уровни параллелизма, изменяя количество итераций ядра LDPC, тем самым оптимизируя размер и энергопотребление декодера. Также можно смоделировать работу устройства на основе ширины полосы пропускания канала и ограничений пропускной способности.

Этот модем поставляется с графическим пользовательским интерфейсом, поддерживающим режимы отображения и отладки. С его помощью удастся получить доступ к высокоуровневым функциям, таким как выбор пропускной способности канала или способа модуляции, к низкоуровневым функциям, в частности к настройке аппаратных регистров. С целью достижения пропускной способности 3,5 Гбит/с для ре-

шения, показанного на рис. 1, модем будет работать с тактовой частотой 440 МГц. В нем используются пять гигабитных приемопередатчиков (GT) для подключения к АЦП и ЦАП и несколько GT для обеспечения интерфейсов 10 GbE и CPRI.

Чипсет приемопередатчика КВЧ-диапазона

Компания Analog Devices оптимизировала свой кремний-германиевый (SiGe) чипсет 60 ГГц второго поколения, используемый в этом устройстве для ретрансляторов малых сот. Микросхема передатчика представляет собой полноценный аналоговый преобразователь с повышением частоты от основной полосы до КВЧ-диапазона. Усовершенствованный синтезатор частот охватывает диапазон 57–66 ГГц с шагом 250 МГц, характеризуется низким фазовым шумом и поддерживает различные типы модуляции вплоть до 64 QAM. Выходная мощность была увеличена примерно до 16 дБм линейной мощности, при этом встроенный детектор может контролировать выходную мощность, чтобы она не превысила нормативные пределы.

Микросхема передатчика обеспечивает как аналоговое, так и цифровое управление усилением в области ПЧ и ВЧ. Аналоговое управление усилением иногда требуется при использовании модуляции более высокого порядка, поскольку дискретное изменение усиления может быть ошибочно принято за амплитудную модуляцию, что способно привести к ошибкам по битам. Цифровое управление усилением осуществляется с помощью встроенного интерфейса SPI.

В рамках применений, где для узкополосных каналов требуется модуляция еще более высокого порядка, к передатчику в обход внутреннего синтезатора может быть подключен внешний ФАПЧ/ГУН с еще более низким фазовым шумом.

На рис. 3 показана блок-схема микросхемы передатчика, который имеет полосу пропускания до 1,8 ГГц. Вариант использования

модулятора MSK обеспечивает создание экономичного решения для передачи данных со скоростями до 1,8 Гбит/с, поскольку в этом случае нет необходимости применять дорогостоящие ЦАП с немалым энергопотреблением.

Дополняет это устройство микросхема приемника, также оптимизированная для удовлетворения жестких требований, предъявляемых к ретрансляторам малых сот. Этот приемник характеризуется значительным увеличением входной мощности в точке децибельной компрессии (P1dB) до -20 дБм и точке пересечения интермодуляции третьего порядка по входу (IP3) до -9 дБм, что позволяет эффективно работать с каналами ближнего радиуса действия, где высокий коэффициент усиления антенн-тарелок приводит к высоким уровням сигнала на входе приемника.

К другим ключевым особенностям относятся низкий уровень шума 6 дБ при максимальном усилении, перестраиваемые фильтры нижних частот и фильтры высоких частот, такие же новые синтезаторы, что и в микросхеме передатчика, для осуществления модуляции 64 QAM в диапазоне 57–66 ГГц, аналоговое или цифровое управление усилением в областях ПЧ и ВЧ.

Блок-схема микросхемы приемника показана на рис. 4. Обратите внимание, что приемник также содержит детектор AM-сигналов для демодуляции амплитудных модуляций, таких как модуляция включением/выключением (OOK). Кроме того, FM-дискриминатор демодулирует простые модуляции вроде FM или MSK. Все это дополняет квадратурный демодулятор, который используется для восстановления квадратурных выходных сигналов основной полосы частот для QPSK- и более сложных QAM-модуляций.

Микросхемы передатчика и приемника поставляются в корпусе BGA размером 4×6 мм. Эти компоненты для поверхностного монтажа позволяют производить недорогие радиоплаты для ретрансляторов.

Блок-схема модема и радиосистемы КВЧ-диапазона показана на рис. 5. Помимо ПЛИС, программного обеспечения для модема и набора микросхем КВЧ-диапазона, в устройстве имеется ряд других компонентов. К ним относятся двухканальный 12-разрядный АЦП, работающий со скоростью 1 GSPS, четырехканальный 16-разрядный ЦАП тракта приема, работающий со скоростью до 2,8 GSPS, и характеризующийся сверхнизким джиттером синтезатор тактовых импульсов с поддержкой интерфейса JESD204B, используемого как в АЦП, так и в ЦАП.

Демонстрационная платформа

Платформа, показанная на рис. 6, совместно создана инженерами Xilinx и Analog Devices для демонстрационных целей. Данное оборудование содержит модем на основе платы разработки с ПЛИС компании Xilinx, стандартную плату ФМС, содержащую АЦП, ЦАП, микросхему синхронизации, и две оценочные платы на основе радиомодулей.

Эта демонстрационная платформа предполагает использование ноутбука для управления модемом и визуального отображения информации, а также переменного ВЧ-аттенюатора для воспроизведения потерь в тракте передачи стандартного канала связи КВЧ-диапазона. На ПЛИС выполняется микропрограммное обеспечение модема WBM256. Для подключения к радиоплате основной полосы и радиоплате КВЧ-диапазона предусмотрен мезонинный разъем стандарта FMC, имеющийся на плате разработки.

Модули КВЧ-диапазона подключаются к плате основной полосы и имеют разъемы MMRX для интерфейсов 60 ГГц, а также разъемы SMA для подключения внешнего гетеродина.

Платформа содержит аппаратное и программное обеспечение, необходимое для демонстрации ретрансляционной связи типа «точка-точка», работающей со скоростью до 1,1 Гбит/с с каналами по 250 МГц для каждого направления дуплексного соединения с частотным разделением.

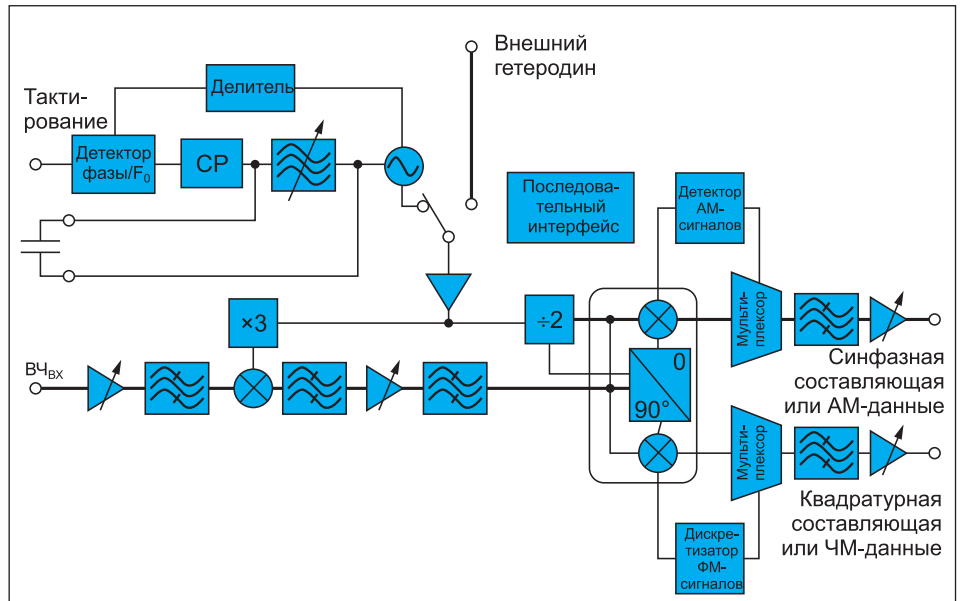


Рис. 4. Блок-схема микросхемы приемника 60 ГГц HMC6301

Модульность и конфигурируемость

Поскольку ПЛИС характеризуются высокой степенью модульности и конфигурируемости, они могут снизить стоимость при их использовании с целью создания платформ для беспроводных ретрансляторов. При выборе коммерческих компонентов для модемов КВЧ-диапазона, предназначенных для использования в ретрансляторах малых сот, следует отдавать предпочтение энергоэффективным ПЛИС или системам на кристалле и высокоэффективным широкополосным IP-ядрам. Высокая скорость также является важным фактором, и его следует учитывать при выборе гигабитных приемопередатчиков, предназначенных для широкополосной связи и функций коммутации. Необходимо искать решение, которое можно масштабировать для реализации нескольких вариантов продукта на одной аппаратной платформе от низкоуровневых продуктов для ретрансляторов малых сот, работающих со скоростью несколько сотен мегабит в секунду, до продуктов, действующих со скоростями до 3,5 Гбит/с.

Говоря о радиочастотных компонентах, нужно отметить, что микросхемы в корпусах для поверхностного монтажа позволяют уменьшить стоимость производства. Компоненты, представленные на рынке, будут соответствовать требованиям к энергопотреблению, размеру и функциональности, предъявляемым стандартами проектирования беспроводных ретрансляторов малых сот. Также для приобретения доступных высокоэффективных преобразователей данных и микросхем синхронизации, позволяющие создавать полноценные беспроводные ретрансляционные каналы. ■

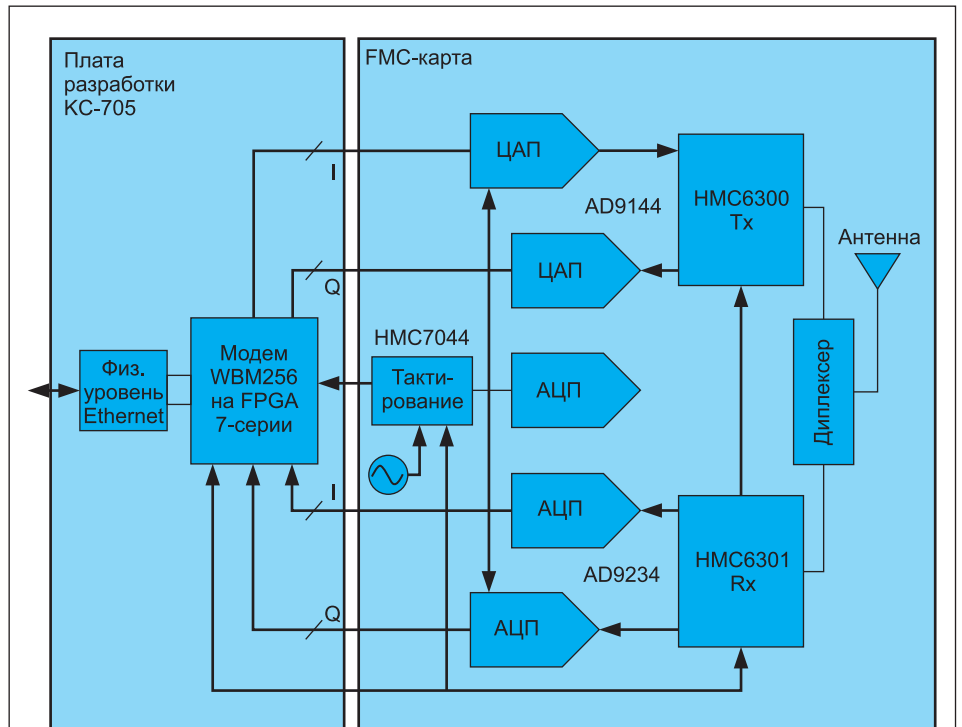


Рис. 5. Пример проекта с использованием микросхем Xilinx и Analog Devices

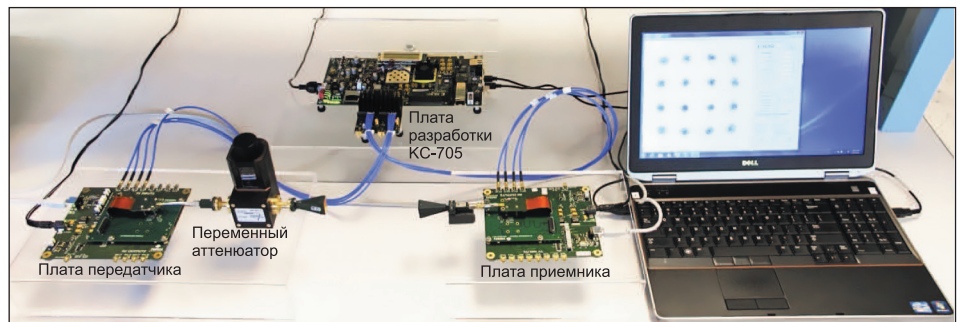


Рис. 6. Демонстрационная платформа в действии

Литература

1. Evolutionary and Disruptive Visions Towards Ultra High Capacity Networks. IWPC, April 2014.