

Развитие беспроводных систем

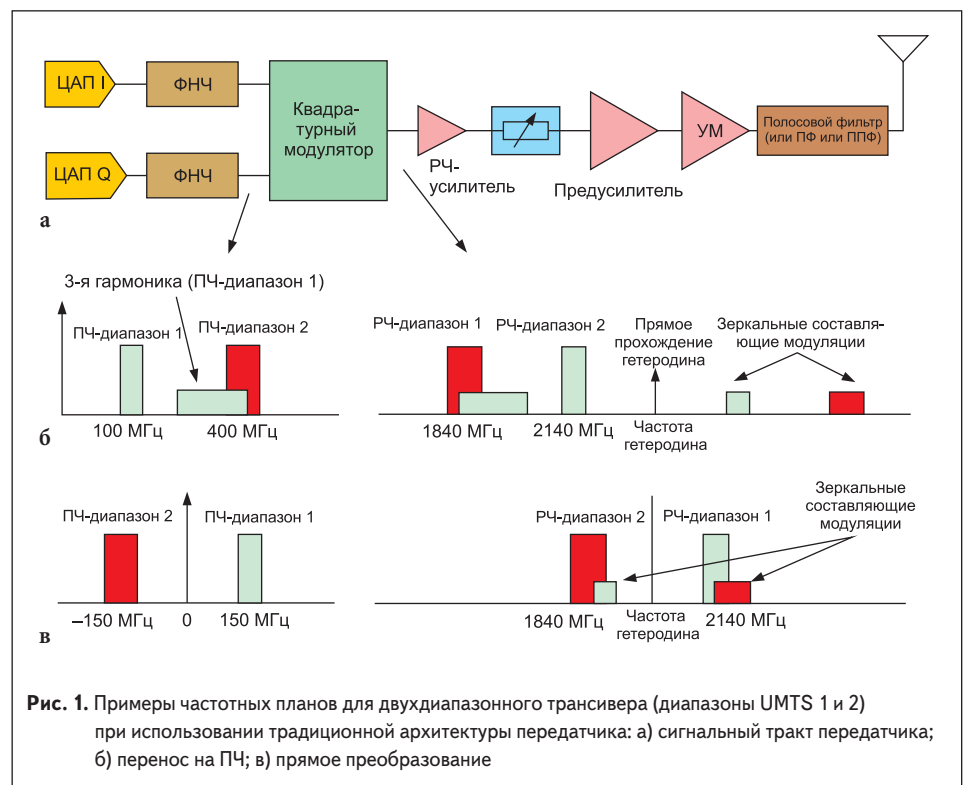
на основе быстродействующих ЦАП

Высокопроизводительные цифро-аналоговые преобразователи (ЦАП) способны обеспечить необходимую гибкость для одновременной поддержки нескольких частотных диапазонов и нескольких стандартов в современных базовых станциях систем беспроводной связи.

Ю Ченг (Yi Zhang)
Ассаф Толедано (Assaf Toledano)

Скорость передачи данных и объемы передаваемой информации в системах беспроводной связи постоянно растут. Пользователи проявляют все больший интерес к продвинутым услугам по передаче данных, требуя увеличения зоны покрытия системы беспроводной связи и более эффективного использования полосы частот. Различия в технологиях передачи сигналов, реализованных в отдельных стандартах, и выделение дополнительных участков спектра частот усложняют задачи управления сетями и снижения затрат. Провайдеры служб беспроводной связи ищут решения, которые позволят не только защитить уже сделанные инвестиции, но и упростить системы с учетом возможных будущих обновлений сетей и увеличения их емкости.

Одно из таких решений заключается в применении беспроводных устройств, поддерживающих несколько частотных диапазонов и несколько стандартов связи, — например, многодиапазонных мультистандартных радиотрансиверов (multiband, multistandard-radio, MB-MSR) базовых станций (БС). Экономически эффективная реализация таких БС на основе существующих технологий является непростой задачей для разработчиков радиосистем. К счастью, развитие БС поддерживается появлением новейшего поколения радиочастотных ЦАП, таких как модель AD9129 производства компании Analog Devices. Рассмотрим некоторые вопросы, возникающие при проектировании передатчика многодиапазонной мультистандартной БС на базе РЧ ЦАП.



На рис. 1а приведен пример архитектуры системы, которая широко применяется в передатчиках БС систем беспроводной связи. В ней входные потоки цифровых данных синфазной (I) и квадратурной (Q) составляющих модулируют цифровой сигнал несущей, а ЦАП преобразовывает модулированный сигнал в пару выходных сигналов I и Q на промежуточной частоте (ПЧ). К выбору ПЧ необходимо отнестись очень внимательно, поскольку ее значение должно быть достаточно большим для подавления зеркальной побочной составляющей модулированного сигнала полосовым фильтром, но при этом достаточно низкой для поддержания хорошего качества выходного сигнала в ЦАП. Эта архитектура успешно применяется в однодиапазонных радиосистемах различных поколений. Ее преимущества и проектные компромиссы хорошо известны. В то же время данная архитектура обладает несколькими характерными ограничениями, которые усложняют частотное планирование в проектах многодиапазонных радиотрансиверов.

Рис. 1б иллюстрирует одно из ограничений, которое часто возникает при непосредственном применении данной архитектуры в проекте многодиапазонной системы. В однодиапазонной радиосистеме гармоники выходного сигнала ЦАП обычно рассматриваются как внеполосные побочные спектральные составляющие и подавляются фильтром нижних частот, подключенным к выходу ЦАП. В двухдиапазонной системе эти гармонические сигналы могут попадать в полосу верхнего диапазона передатчика. Это ограничение преодолевается при использовании подхода, показанного на рис. 1в. Два сигнальных диапазона центрированы относительно нуля в комплексной частотной области. При этом гармоники расположены вне рабочих диапазонов и могут быть устранены путем фильтрации. Данный подход также позволяет снизить требования к частоте дискретизации ЦАП и ширине полосы фильтра нижних частот за счет уменьшения полосы реального сигнала.

В то же время при таком частотном плане появляется проблема на выходе модулятора, поскольку, в зависимости от расстояния между каждым из диапазонов и частотой гетеродина, возникающая в процессе модуляции зеркальная побочная составляющая от сигнала одного диапазона, вероятно, будет перекрываться с сигналом другого диапазона. Эти зеркальные составляющие можно устранить при помощи довольно сложного алгоритма коррекции погрешности квадратур, однако это может приводить к значительному усложнению цифровой обработки сигнала в основной полосе частот, поскольку внутрисполосные зеркальные составляющие не подавляются аналоговой фильтрацией.

Выбор ЦАП играет ключевую роль с точки зрения архитектуры радиопередатчика. Его быстродействие и качество преобразования определяют, насколько близко к антенне может выполняться операция цифро-аналогового преобразования. РЧ ЦАП расширяет область цифровой обработки сигнала за пределы полосы модуляции в область радиочастот. Он может синтезировать комплексный цифровой сигнал непосредственно на рабочей частоте передатчика, что позволяет отказаться от аналогового преобразования частоты, применяемого в традиционной архитектуре, и переместить эту операцию в цифровую область. Цифровое преобразование частоты увеличивает свободу проектирования и повышает характеристики системы с точки зрения частотного планирования и шума. Это свойство является особенно привлекательным для многодиапазонных мультистандартных радиотрансиверов.

Свобода частотного планирования при использовании РЧ ЦАП увеличивается благодаря тому, что цифровая модуляция является идеальной и не порождает зеркальных составляющих, способных интерферировать с полезным сигналом. Единственной переменной, которую необходимо выбрать при частотном планировании, является частота дискретизации ЦАП. На рис. 2 изображена архитектура прямого синтеза сигнала РЧ с применением РЧ ЦАП и проиллюстрирована возможность реализации двухдиапазонных систем без проблем, характерных для традиционной архитектуры. В этом примере двухдиапазонный сигнал синтезируется непосредственно на частотах рабочих диапазонов. Частота дискретизации ЦАП выбирается таким образом, чтобы гармоники сигналов располагались далеко от диапазонов передачи и могли быть отфильтрованы перед передачей сигнала в следующий РЧ-каскад.

Уровень шума в архитектуре с прямым преобразованием в область РЧ ниже по двум причинам. Первая заключается в устранении аналогового каскада повышения частоты. В традиционных архитектурах

основной вклад в общий коэффициент шума сигнального тракта передатчика вносит шум модулятора, поскольку вклад шума ЦАП на выходе модулятора обычно ниже шумового порога, приведенного к выходу модулятора. Устранение каскада аналогового модулятора позволяет разработчику системы уменьшить коэффициент шума благодаря низкому шумовому порогу ЦАП и высокому коэффициенту усиления РЧ-усилителя. Второй причиной улучшения шумового порога является уменьшение вносимых потерь антенны, поскольку в данном случае для передачи в нескольких диапазонах не требуется сумматор. Таким образом, возможность РЧ ЦАП синтезировать сигналы нескольких диапазонов не только снижает сложность (и, как следствие, габариты и стоимость), но и повышает качество системы.

Типичная многодиапазонная система связи включает в себя логику интерфейса обмена данными, микросхему программируемой логики (Field Programmable Gate Array, FPGA) или специализированную интегральную микросхему (Application-Specific Integrated Circuit, ASIC), ЦАП, фильтры, усилительные блоки и РЧ-усилители мощности. На плате передатчика ЦАП играет роль интерфейса между цифровой логикой и цепью драйвера аналогового выходного сигнала ВЧ. Выбор ЦАП очень важен с точки зрения системного уровня, поскольку обеспечиваемые им качество преобразования, частота дискретизации и ширина полосы напрямую влияют на архитектуру и структуру системы. Для поддержания оптимальных характеристик преобразования необходимо уделить особое внимание вспомогательным аналоговым схемам, включая схему выходного интерфейса ЦАП, схему тактовой синхронизации, линии передачи, цепь питания и заземления. В процессе проектирования может потребоваться анализ и моделирование перечисленных выше схем, а также печатной платы ЦАП.

Особые проблемы могут возникнуть с трассировкой цепи питания. Для питания цифровой части схемы ЦАП обычно требуются два напряжения (напряжение питания интерфейса ввода/вывода и напряжение питания ядра), а выходные РЧ-каскады могут потребовать еще до четырех или пяти дополнительных источников питания. Домены питания необходимо изолировать друг относительно друга, а трассировку путей прохождения возвратных токов необходимо уделить повышенное внимание во избежание перекрестных помех между доменами. Обеспечение развязки между напряжениями питания критически важно для поддержания низкого шума.

Основной сигнал синхронизации ЦАП — один из самых критичных сигналов на плате. Он является дифференциальным и изолируется от других сигналов «заграднением» из переходных отверстий. Кроме того, во избежание наводок и перекрестных помех необходимо контролировать цепи прохождения возвратных токов. Любые сигналы, наводящиеся на сигнал синхронизации, будут проходить на выход ЦАП. Наводки цифровых сигналов на сигнал синхронизации уменьшают запас по шуму в системе. Также необходимо предотвратить наводки выходных сигналов ЦАП на сигнал синхронизации, поскольку они могут вызывать появление в спектре гармоник второго и более высоких порядков.

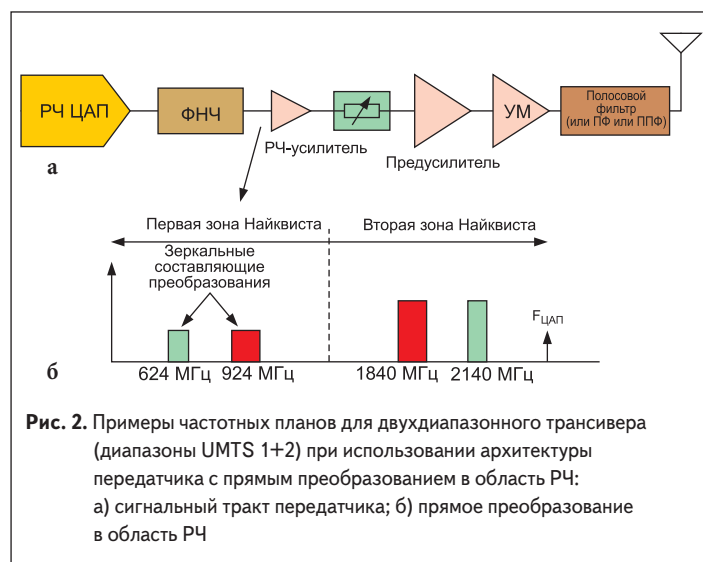
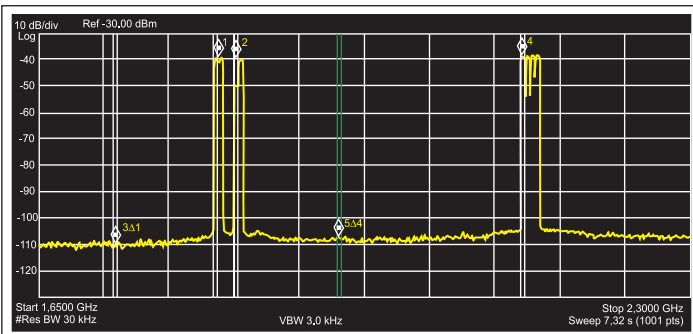
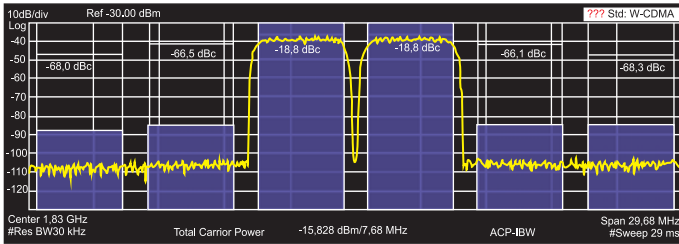


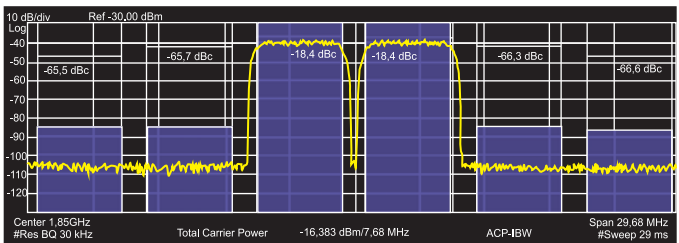
Рис. 2. Примеры частотных планов для двухдиапазонного трансивера (диапазоны UMTS 1+2) при использовании архитектуры передатчика с прямым преобразованием в область РЧ: а) сигнальный тракт передатчика; б) прямое преобразование в область РЧ



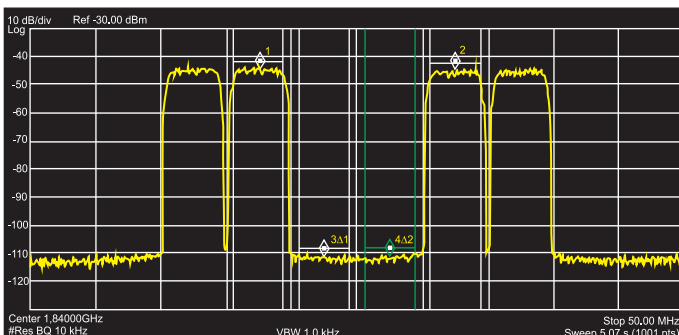
а



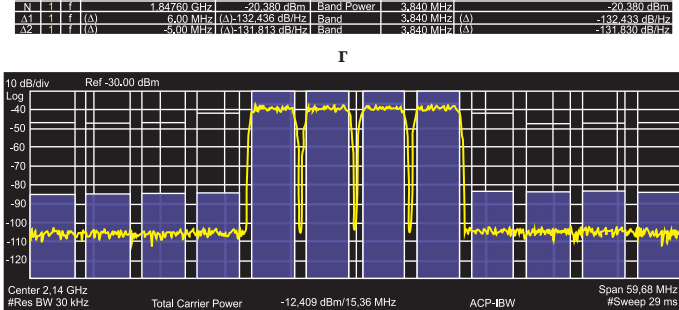
б



в



г



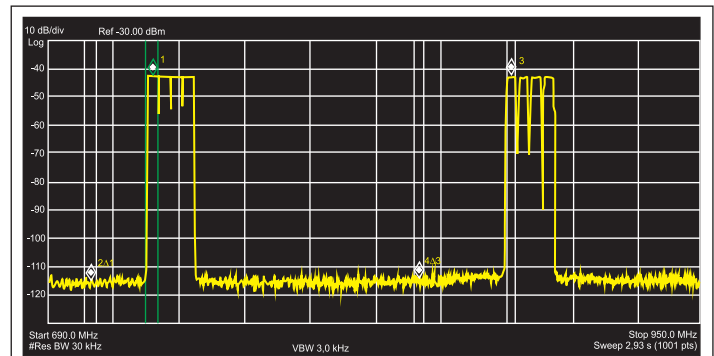
д

Рис. 3. Графики спектра выходного сигнала РЧ ЦАП AD9129 при частоте дискретизации 2764,8 MSPS: а) восемь каналов WCDMA шириной 5 МГц во 2-й зоне Найквиста; б) два канала WCDMA шириной 5 МГц в полосе 1825–1835 МГц; в) два канала WCDMA шириной 5 МГц в полосе 1845–1855 МГц; г) промежуток между двумя парами каналов WCDMA; д) четыре канала WCDMA шириной 5 МГц в полосе 2130–2150 МГц

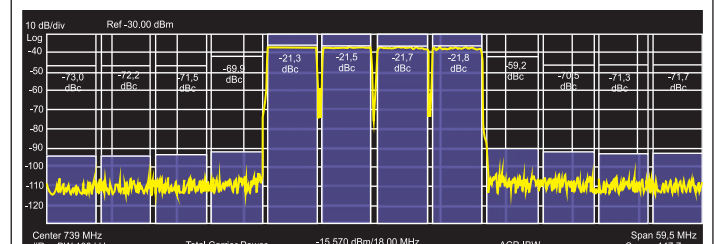
Драйвер сигнала синхронизации предпочтительнее разместить как можно ближе к ЦАП для уменьшения шума и наводок. Выходы ЦАП соединяются с нагрузкой линиями передачи. Чтобы гарантировать предсказуемое поведение выходных сигналов ЦАП, импеданс линий передачи должен соответствовать импедансу нагрузки. Выходной импеданс РЧ ЦАП одинаково зависит как от корпуса, так и от кристалла, поэтому при его анализе и моделировании необходимо учитывать эффект «многослойного пирога». Согласование выходного импеданса ЦАП и импеданса нагрузки критически важно для поддержания максимально эффективной передачи мощности от ЦАП в последующий каскад, а также минимизации отражений сигнала обратно на выход ЦАП. Грамотное проектирование линий передачи повышает отношение сигнал–шум, что необходимо для хорошей многодиапазонной системы связи.

На сегодня типичные многодиапазонные радиопередатчики включают в себя несколько трактов ВЧ, которые содержат ЦАП ПЧ, квадратурные модуляторы, полосовые фильтры, РЧ-усилители мощности и заключительный каскад фильтрации перед выдачей сигнала в антенну. Реализация нескольких частотных диапазонов в одном передатчике при использовании такой архитектуры требует значительной площади печатной платы. Кроме того, при таком большом количестве компонентов потребляется существенная мощность и выделяется довольно большое количество тепла, что требует применения теплоотвода или вентилятора и, в конечном счете, увеличивает сложность и стоимость системы.

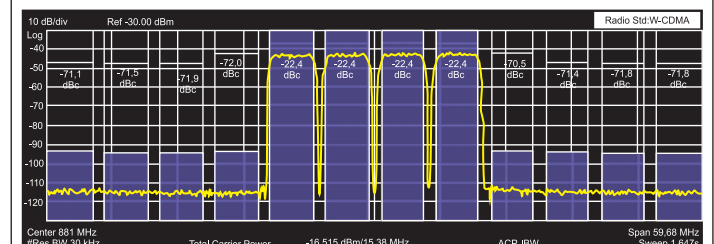
Поскольку РЧ ЦАП обладают достаточной полосой для синтеза сигналов в нескольких РЧ-диапазонах, они могут использоваться



а



б



в

Рис. 4. Графики спектра выходного сигнала РЧ ЦАП AD9129 при частоте дискретизации 2764,8 MSPS: а) четыре канала WCDMA шириной 5 МГц и четыре канала LTE шириной 5 МГц в 1-й зоне Найквиста; б) четыре канала WCDMA шириной 5 МГц в полосе 729–749 МГц; в) четыре канала WCDMA шириной 5 МГц в полосе 871–891 МГц

для построения одного передатчика с многодиапазонным выходом. Так, например, трехдиапазонный передатчик, включающий в себя три пары ЦАП ПЧ, три модулятора и три полосовых фильтра, можно заменить одним РЧ ЦАП и выходным фильтром. Благодаря увеличению рабочей полосы современных усилителей мощности можно достичь даже еще большего уменьшения габаритов платы, поскольку компоненты РЧ-цепей для разных диапазонов будут отличаться только в тракте, следующем за выходом усилителя мощности. Таким образом, многодиапазонный передатчик можно построить на базе комбинации РЧ ЦАП, выходного фильтра между ЦАП и усилителем мощности, усилителя мощности и выходных фильтров между усилителем мощности и антенной.

На рис. 3 изображен спектр выходного сигнала РЧ ЦАП AD9129, работающего с частотой дискретизации 2764,8 млн отсчетов в секунду (MSPS) в режиме формирования сигнала во 2-й зоне Найквиста. Данный ЦАП имеет разрядность 14 бит и поддерживает работу с частотой дискретизации до 2800 MSPS. Синтезированный сигнал представляет собой восемь каналов стандарта WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) шириной по 5 МГц в трех разных частотных диапазонах. Два канала располагаются в полосе частот 1825–1835 МГц, два канала — в полосе 1845–1855 МГц и еще четыре канала — в полосе 2130–2150 МГц. Сигналы отдельных каналов были сгенерированы

в микросхеме FPGA и затем преобразованы непосредственно в аналоговый выходной сигнал при помощи РЧ ЦАП.

На рис. 4 изображен спектр выходного сигнала AD9129, работающего с частотой дискретизации 2764,8 MSPS в режиме формирования сигнала в 1-й зоне Найквиста. Синтезированный сигнал представляет собой четыре канала стандарта WCDMA шириной по 5 МГц и четыре канала нисходящего потока LTE (Long Term Evolution) в двух разных частотных диапазонах. Каналы WCDMA занимают полосу 871–891 МГц, а каналы LTE — полосу 729–749 МГц.

* * *

Современные сети беспроводной связи требуют применения конфигурируемых, легко модернизируемых, многодиапазонных и мультистандартных базовых станций. Архитектура передатчика с непосредственным преобразованием в область РЧ обеспечивает эффективное с точки зрения стоимости и качества сигнала решение для построения подобных устройств. Развитие технологии РЧ ЦАП, воплотившееся в появлении таких компонентов, как ЦАП AD9129 компании Analog Devices, упрощает проектирование многодиапазонных мультистандартных радиопередатчиков и способствует в будущем все более широкому внедрению архитектуры с прямым преобразованием в область РЧ. ■