

Новые широкополосные интегрированные преобразователи Analog Devices

для СВЧ-радиосистем

Работающие в частотном диапазоне 24–44 ГГц широкополосные интегрированные преобразователи с повышением или понижением частоты позволяют улучшить характеристики СВЧ-радиосистем и уменьшить их размеры.

Джеймс Вонг (James Wong)

Кейси Чатзопулос
(Kasey Chatzopoulos)

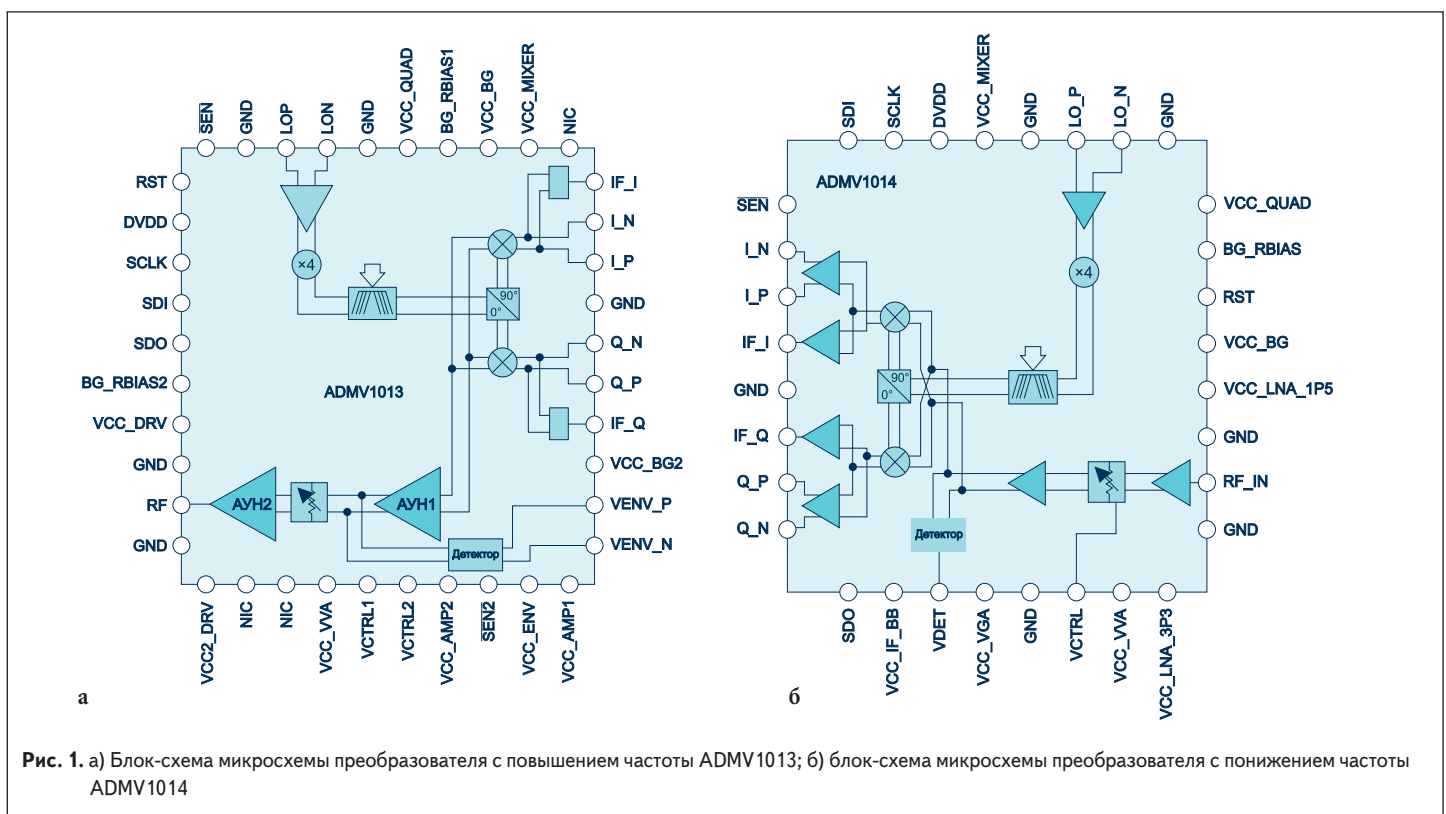
Муртаза Тахиралли
(Murtaza Thahirally)

Перевод: Михаил Русских
tau68@rambler.ru

Analog Devices выпустила две высокоинтегрированные микросхемы преобразователей с повышением и понижением частоты ADMV1013 и ADMV1014 соответственно. Эти микросхемы работают в очень широком частотном диапазоне 24–44 ГГц с согласованием на 50 Ом и могут поддерживать полосу пропускания более 1 ГГц. Характеристики ADMV1013 и ADMV1014 упрощают проектирование и реализацию

небольших 5G-станций, которые охватывают популярные полосы частот 28 и 39 ГГц, используемые в ретрансляторах и оборудовании прямой трансляции, а также во многих других передатчиках и приемниках со сверхширокой полосой частот.

Каждая микросхема преобразования с повышением или понижением частоты характеризуется высокой степенью интеграции (рис. 1) и содержит квадратурный смеситель



со встроенным квадратурным фазовращателем, конфигурируемым для прямого преобразования в/из несущей частоты (0–6 ГГц) или в/из промежуточной частоты (ПЧ) 800 МГц — 6 ГГц. ВЧ-выход преобразователя с повышением частоты имеет встроенный усилитель-драйвер тракта передачи с аттенуатором, управляемым напряжением (АУН), а ВЧ-вход преобразователя с понижением частоты содержит малошумящий усилитель (LNA) и каскад усиления с АУН. Цепь гетеродина обеих микросхем состоит из встроенного буфера гетеродина, умножителя частоты на 4 и программируемого полосового фильтра. Управление большинством функций программирования и калибровки осуществляется через интерфейс SPI, что делает эти микросхемы легко настраиваемыми программным способом, благодаря чему значительно повышается удобство их использования.

Подробное рассмотрение преобразователя с повышением частоты ADMV1013

ADMV1013 имеет два режима преобразования частоты. Один из режимов — это прямое преобразование с повышением частоты квадратурных составляющих сигналов синфазной (I) и квадратурной (Q) до несущей частоты. В этом I/Q-режиме дифференциальные входы I и Q могут работать с сигналами с частотой 0–6 ГГц, например генерируемыми двумя высокоскоростными цифро-аналоговыми преобразователями (ЦАП). Эти входы имеют настраиваемый диапазон синфазного напряжения 0–2,6 В, в связи с чем могут легко сопрягаться с большинством ЦАП. Поэтому при выборе ЦАП с определенным синфазным напряжением регистры преобразователя с повышением частоты могут быть легко настроены так, чтобы обеспечивалось соответствие оптимальному смещению для этого синфазного напряжения, благодаря чему упрощается сопряжение компонентов. Другим режимом является однополосное преобразование с повышением частоты в область ВЧ из области комплексных сигналов ПЧ, таких как сигналы, генерируемые квадратурным цифровым устройством преобразования с повышением частоты. Уникальной особенностью ADMV1013 является его способность обеспечивать цифровую коррекцию ошибки смещения смесителей I- и Q-составляющих в I/Q-режиме, благодаря чему минимизируется утечка от гетеродина в выходной канал ВЧ. Утечка гетеродина после калибровки может составлять до –45 дБм на выходе ВЧ при максимальном усилении. Еще более сложной задачей, которая затрудняет разработку радиоустройства с преобразователем с повышением частоты, является дисбаланс фаз I- и Q-составляющих, что ухудшает подавление боковой полосы. Дополнительная сложность, связанная с преобразованием с повышением частоты, заключается в том, что боковая полоса обычно находится слишком близко к несущей СВЧ-диапазона, из-за чего применение фильтров становится непрактичным. ADMV1013 решает эту задачу за счет того, что позволяет пользователю выполнять цифровую коррекцию дисбаланса фаз I- и Q-составляющих посредством настройки регистра. При работе

в штатном режиме преобразователь с повышением частоты демонстрирует подавление боковой полосы 26 дБн до калибровки. После калибровки с помощью встроенных регистров подавление боковой полосы может быть улучшено до 36 дБн. Управление обеими функциями коррекции осуществляется через интерфейс SPI и не требует дополнительных схем. Также можно осуществить дополнительное подавление путем выполняемой в I/Q-режиме дополнительной регулировки баланса фаз I- и Q-составляющих на выходе ЦАП в основной полосе. Эти функции позволяют упростить структуру внешних фильтров и повысить высокочастотные характеристики в СВЧ-диапазоне.

Благодаря встроенному буферу гетеродина уровень входного сигнала может составлять 0 дБм. За счет этого данное устройство можно непосредственно подключать к синтезатору со встроенным генератором, управляемым напряжением (ГУН), такому как ADF4372 или ADF5610, при этом количество внешних компонентов может быть значительно сокращено. Встроенный умножитель преобразует частоту гетеродина на желаемую несущую частоту и пропускает через программируемый полосовой фильтр для уменьшения нежелательных гармоник умножителя перед подачей на относящийся к смесителю каскад квадратурного фазового генератора. Такая конфигурация значительно уменьшает внесение паразитных помех в частотные смесители, обеспечивая при этом надежную работу компонента с внешним недорогим низкочастотным синтезатором/ГУН. Модулированный выходной ВЧ-сигнал затем усиливается, проходя через два усилительных каскада со стоящим между ними аттенуатором, управляемым напряжением. Функция регулировки усиления обеспечивает диапазон регулировки 35 дБ с максимальным межкаскадным усилением преобразования 23 дБ. ADMV1013 имеет 40-выводной корпус LGA (рис. 2). Сочетание всех этих функций позволяет достичь высоких характеристик, максимальной универсальности и легкости в использовании, при этом для работы данного устройства требуется минимальный набор компонентов. Таким образом, на основе этого устройства можно реализовать компактные СВЧ-платформы, в том числе базовые станции небольшой мощности.

Подробное рассмотрение преобразователя с понижением частоты ADMV1014

ADMV1014 (рис. 3) также имеет некоторые элементы, присутствующие в ADMV1013, — например, буфер гетеродина, частотный умножитель, программируемый полосовой фильтр и квадратурный фазовращатель в своем тракте гетеродина. Тем не менее, поскольку это устройство представляет собой преобразователь с понижением частоты (блок-схема — рис. 1б), то в состав его высокочастотного входного интерфейса входит МШУ, за которым следуют аттенуатор, управляемый напряжением, и усилитель. Полный диапазон регулировки усиления 19 дБ управляется с помощью напряжения постоянного тока, подаваемого на вывод VCTRL. Пользователи могут использовать ADMV1014

в I/Q-режиме в качестве демодулятора прямого преобразования из СВЧ-диапазона в диапазон основной полосы частот. В этом режиме демодулированные I- и Q-сигналы усиливаются на соответствующих дифференциальных выходах I- и Q-составляющих. Их усиление и максимальное синфазное напряжение могут быть установлены путем записи определенных значений в регистры через интерфейс SPI, что позволяет связывать по постоянному току дифференциальные сигналы, например, с парой аналого-цифровых преобразователей основной полосы частот. Кроме того, ADMV1014 можно использовать в качестве преобразователя с понижением частоты, подавляющего помехи по зеркальному каналу, для синфазных ПЧ-портов I и Q. В любом режиме дисбаланс фаз и амплитуд I- и Q-составляющих может быть скорректирован с помощью интерфейса SPI, тем самым улучшив у преобразователя с понижением частоты характеристики подавления помех по зеркальному каналу, поскольку он демодулирует в основную полосу или ПЧ. Этот преобразователь с понижением частоты имеет коэффициент шума всех каскадов 5,5 дБ, а максимальное усиление преобразования составляет 17 дБ в диапазоне частот 24–42 ГГц. При приближении рабочей частоты к границе полосы частот до 44 ГГц коэффициент шума всех каскадов будет все еще составлять 6 дБ.

Улучшение характеристик 5G-радиосистем миллиметрового диапазона

На рис. 4 показаны измеренные характеристики преобразователя с понижением частоты при работе на частоте 28 ГГц с использованием сигналов 5G NR на четырех независимых каналах полосой 100 МГц, модулированных посредством квадратурной

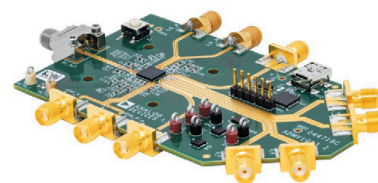


Рис. 2. Оценочная плата на основе ADMV1013 в корпусе для поверхностного монтажа размером 6×6 мм

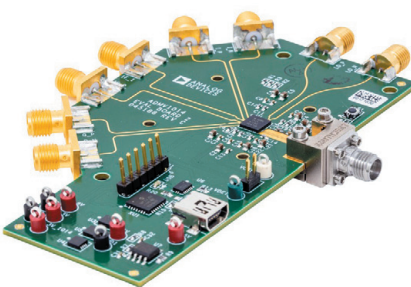


Рис. 3. Оценочная плата на основе ADMV1014 в корпусе для поверхностного монтажа размером 5×5 мм

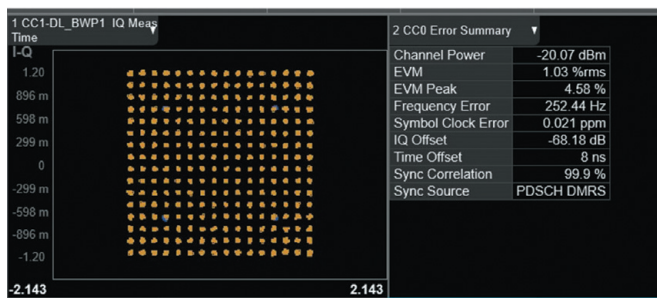
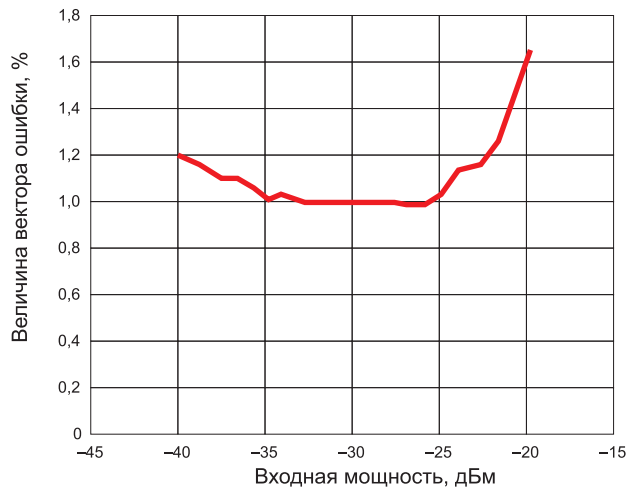


Рис. 4. Полученная величина вектора ошибки в среднеквадратическом процентном отношении к входной мощности и соответствующая диаграмма созвездия модуляции 256 QAM на частоте 28 ГГц

амплитудной модуляции 256 QAM при входной мощности -20 дБм на канал. Полученная величина вектора ошибки составила -40 дБ (1% среднеквадратического значения), что позволяет демодулировать схемы модуляции более высокого порядка, которые требуются для 5G-радиосистем миллиметрового диапазона. Благодаря ширине полосы пропускания этих преобразователей, составляющей более 1 ГГц, а также точке пересечения интермодуляции третьего порядка по выходу, равной для преобразователя с повышением частоты 23 дБм и для преобразователя с понижением частоты 0 дБм, можно ожидать, что данная комбинация будет поддерживать квадратурные амплитудные модуляции высокого порядка и, следовательно, более высокую пропускную способность при передаче данных. Данные устройства могут быть полезны и в других областях применения, например в широкополосных линиях связи для спутников и наземных станций, защищенных радиостанциях, высокочастотном контрольно-измерительном оборудовании и радиолокационных системах. Эти преобразователи обладают лучшими характеристиками подавления помех по зеркальному каналу и превосходной линейностью среди подобных устройств, а учитывая компактные размеры и высококачественные СВЧ-каналы, можно утверждать, что эти преобразователи могут стать отличным вариантом для создания на их основе широкополосных базовых станций. ■