

Приемопередатчики ADRV9008/ADRV9009 для систем SDR

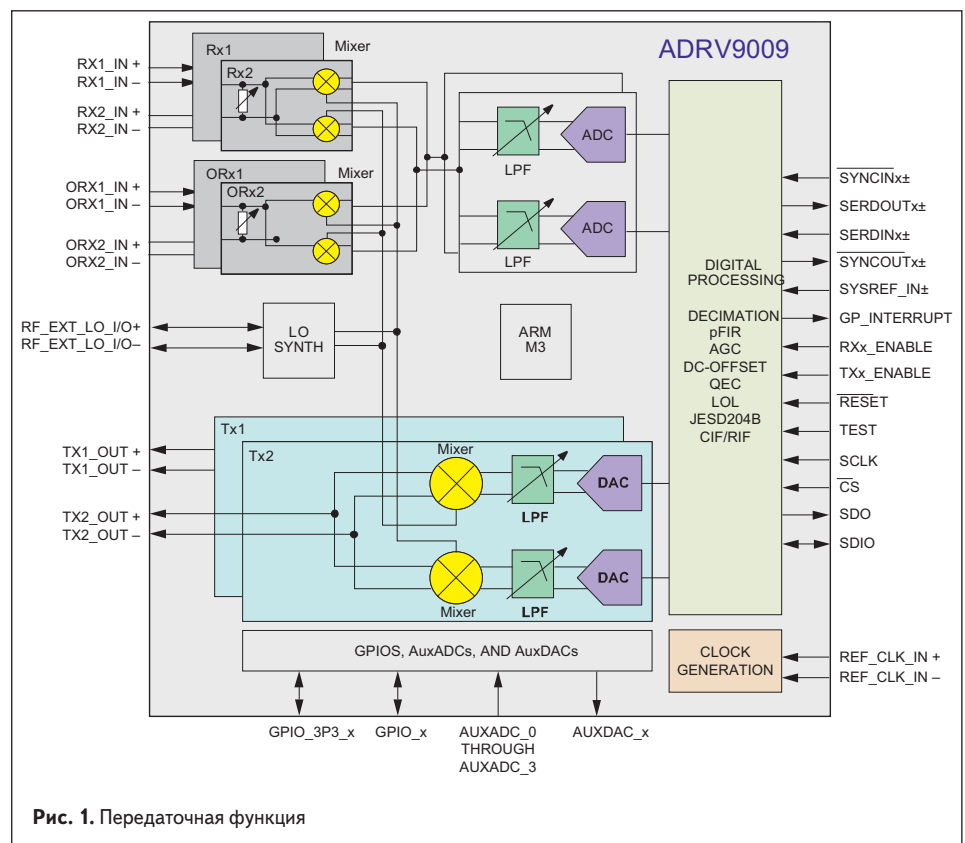
В статье кратко рассмотрены характеристики широкополосных приемопередатчиков с цифровой обработкой сигналов ADRV9008/ADRV9009, предназначенных для построения высокоскоростных систем связи и других высокочастотных устройств, работающих в диапазонах частот 75 МГц...6 ГГц. Широкая полоса пропускания приемного и передающего трактов, низкий уровень шумов и встроенные синтезаторы частоты позволяют создавать системы с высокими техническими характеристиками при минимальном количестве оборудования.

Владимир Макаренко, к. т. н.
v.makarenko@vdm.ais.ua

В составе серии ADRV9008/ADRV9009, выпускаемой компанией Analog Devices, предусмотрено три микросхемы двоярных приемопередатчиков, обеспечивающих прием и передачу данных в широком диапазоне частот с высокой скоростью. Возможность работы с массивами MIMO и фазированными антенными решетками — такова основная особенность моделей данной серии. Их применение позволяет обеспечить быстрое переключение несущей частоты и упрощает

формирование диаграммы направленности антенны цифровыми методами, а цифровая обработка сигналов в трактах приема и передачи значительно расширяет возможности самих устройств и позволяет реализовать все функции систем SDR (Software-Defined Radio).

Приемопередатчики предназначены для использования в базовых станциях систем связи 3G/4G/5G-сетей с макросотами, в широкополосных активных антенных системах, в системах



ММО, РЛС с активными фазированными решетками и портативном испытательном оборудовании [1–3].

Рассмотрим структурную схему приемопередатчика ADRV9009, приведенную на рис. 1 [3]. В ИМС ADRV9008-1 отсутствует приемник наблюдения, а в ADRV9008-2 — более широкая полоса пропускания радиотракта. В остальной структуре этих микросхем не имеет различий.

Микросхема содержит двухканальный приемник (Rx1, Rx2) и двухканальный приемник наблюдения (ORx1, ORx2). Все приемники построены по схеме прямого преобразования частоты. Для преобразования используются квадратурные смесители (MIXER), а сигнал с частотой несущего колебания формируется встроенным синтезатором частоты на основе ФАПЧ с дробными коэффициентами деления (LO SYNTH). Все управляемые напряжения генераторы (VCO) и компоненты фильтра контура ФАПЧ интегрированы в ИМС.

Сформированный на выходах смесителей полезный сигнал выделяется фильтрами нижних частот (LPF) и подается на входы 12-разрядных АЦП (ADC). Прямое преобразование частоты значительно снижает требования к АЦП приемников по сравнению с требованиями в приемниках с трактами промежуточной частоты. Выходные сигналы АЦП подаются на входы цифрового сигнального процессора (DIGITAL PROCESSING), в котором и осуществляется обработка принятых сигналов.

Сигналы передатчиков формируются в цифровом сигнальном процессоре и преобразуются в аналоговые посредством 10-разрядных цифроаналоговых преобразователей (DAC) и ФНЧ. С помощью смесителей сигналы переносятся в нужную область частот. Сигналы несущих частот формируются синтезатором частоты.

Система управления приемником поддерживает автоматическое и ручное управление коэффициентом усиления приемного тракта, коррекцию напряжения смещения, квадратурную коррекцию ошибок (QEC) и цифровую фильтрацию.

В ИМС имеется встроенный генератор тактовой частоты (CLOCK GENERATION), который

формирует сигналы, необходимые для функционирования АЦП и ЦАП, цифровых схем и последовательного интерфейса. Возможна работа нескольких ИМС ADRV9009 с синхронизацией сигналов тактовых генераторов (входы REF_CLK_IN) и синхронизацией сигналов синтезаторов (входы RF_EXT_LO_I/O).

Широкополосные обзорные приемники (ORx) предназначены для использования в приложениях TDD (Test-Driven Development) — разработка ПО через тестирование.

Высокоскоростной интерфейс JESD204B обеспечивает скорости передачи до 12 288 Гбит/с, поддерживает чередующийся режим работы при низких скоростях передачи данных. Предусмотрены форматы данных как с фиксированной, так и с плавающей запятой. Формат с плавающей запятой позволяет внутренней системе автоматической регулировки усиления AGC (Automatic Gain Control) быть «невидимой» для демодулятора.

Напряжение питания ядра ADRV9009 осуществляется напрямую от регуляторов 1,3 и 1,8 В и управляется через стандартный 4-проводной последовательный порт. Максимальная потребляемая мощность не более 5,66 Вт. Имеется режим работы с пониженным энергопотреблением. Максимальная температура кристалла не превышает +110 °С.

ADRV9008/ADRV9009 выпускаются в корпусах 196-CSP_BGA с габаритными размерами 12×12 мм.

Основные технические характеристики передатчика ADRV9009:

- диапазон изменения частоты несущего колебания: 75–6000 МГц;
- полоса частот передаваемого сигнала: 450 МГц (в режиме большого сигнала: 200 МГц);
- неравномерность АЧХ в рабочем диапазоне частот: не более 1 дБ;
- диапазон регулировки выходной мощности: 0–32 дБ;
- переходное затухание между каналами: 60–67 дБ (в зависимости от диапазона изменения частоты несущего колебания);
- спектральная плотность шума: не более –148 дБм/√Гц;
- точка пересечения интермодуляционных искажений третьего порядка OIP3: 23–29 дБ

(в зависимости от диапазона изменения частоты несущего колебания);

- отклонение частоты несущего колебания: не более –80 дБпш (дБ полной шкалы);
- максимальная выходная мощность: +9 дБм.

Основные технические характеристики приемника ADRV9009:

- диапазон изменения частоты несущего колебания: 75–6000 МГц;
- полоса частот принимаемого сигнала: 200 МГц;
- диапазон регулировки коэффициента усиления: 0–30 дБ;
- неравномерность АЧХ в рабочем диапазоне частот: не более ±0,5 дБ;
- коэффициент шума: 12 дБ при работе в полосе частот 600–6000 МГц;
- переходное затухание между каналами: не менее 80 дБ;
- максимальный уровень входного сигнала: –9,5 дБм.

Основные технические характеристики обзорного приемника ADRV9009:

- диапазон изменения частоты несущего колебания: 75–6000 МГц;
- полоса частот принимаемого сигнала: 450 МГц;
- диапазон регулировки коэффициента усиления: 0–30 дБ;
- неравномерность АЧХ в рабочем диапазоне частот: не более 1 дБ;
- уровень шума: не более –57,5 дБпш (дБ полной шкалы);
- уровень составляющих интермодуляционных искажений третьего порядка: не более –70 дБм;
- максимальный уровень входного сигнала: –8 дБм.

Встроенный синтезатор обеспечивает перестройку частоты с дискретностью 2,3 Гц, уровень боковых составляющих в спектре выходного сигнала синтезатора не более –85 дБн. Спектральная плотность фазового шума не более –100 дБн/Гц в полосе 100 кГц относительно несущей и не более –153 дБн/Гц в полосе частот 10 МГц. Диапазон частот внешнего сигнала опорной частоты составляет 150–8000 МГц.

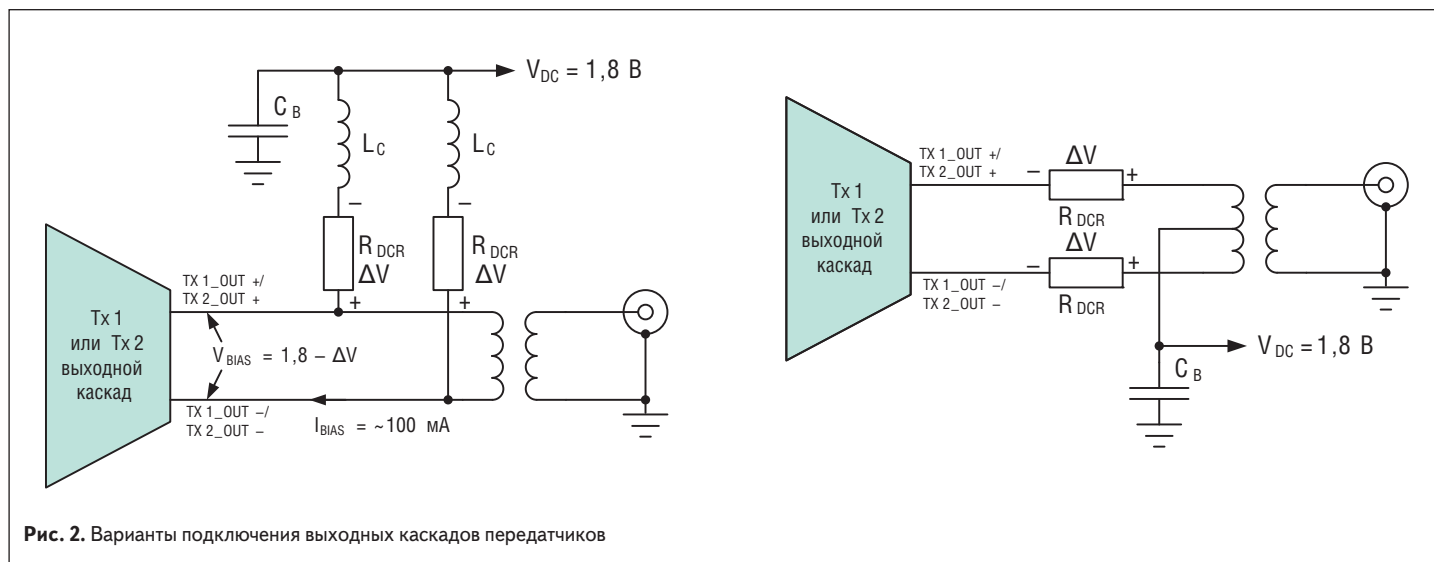


Рис. 2. Варианты подключения выходных каскадов передатчиков

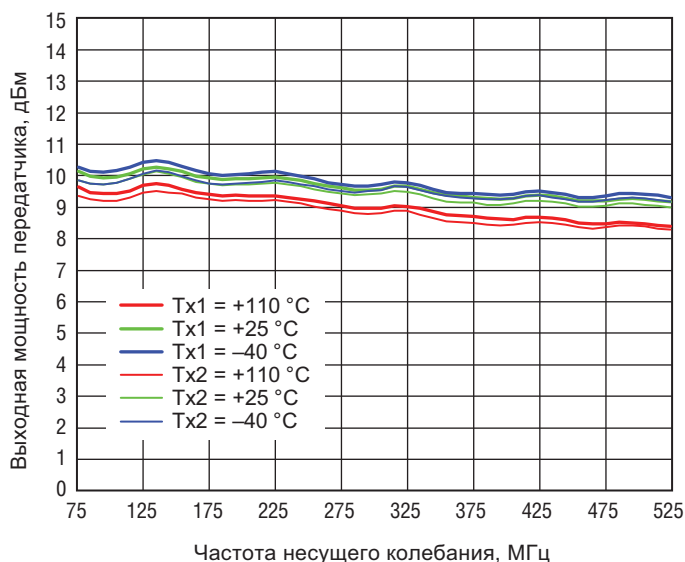


Рис. 3. Зависимости выходной мощности передатчиков от частоты несущего колебания в диапазоне 75–525 МГц при различных значениях температуры окружающей среды

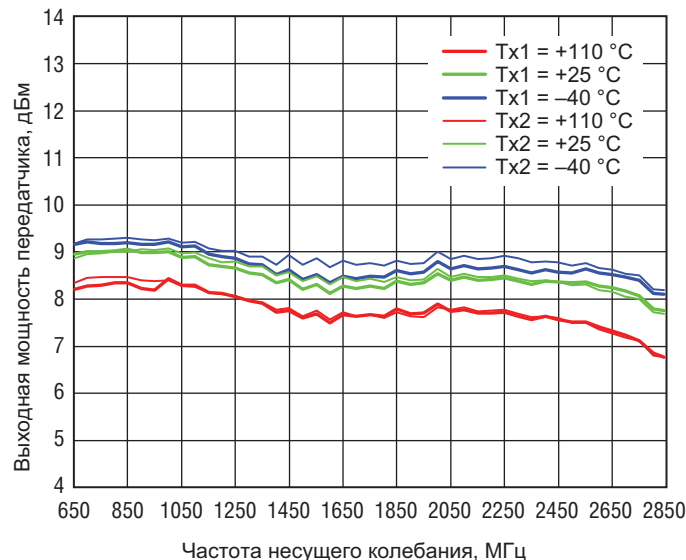


Рис. 4. Зависимости выходной мощности передатчиков от частоты несущего колебания в диапазоне 650–2850 МГц при различных значениях температуры окружающей среды

На рис. 2 приведены два варианта подключения источника питания и внешних цепей выходных каскадов передатчиков ИМС ADRV9009. Сопротивления потерь в проводах и катушках индуктивности обозначены как RDCR [3]. Другие варианты схем включения с выходным трансформатором и без него можно найти в [1–3].

В [3] приведено множество графиков, характеризующих параметры приемопередатчика в режимах приема и передачи в различных полосах частот при различных значениях температуры кристалла.

На рис. 3 показаны зависимости максимальной выходной мощности передатчиков от частоты несущего колебания при различных значениях температуры окружающей среды при работе в диапазоне частот 75–525 МГц, а на рис. 4 — в диапазоне 650–2850 МГц.

Из приведенных графиков следует, что наибольшую мощность передатчик обеспечивает при температуре $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (до 10 дБм на частоте 75 МГц). С ростом частоты максимальная излучаемая мощность снижается примерно на 2 дБм при центральной частоте выходного сигнала 2,85 ГГц.

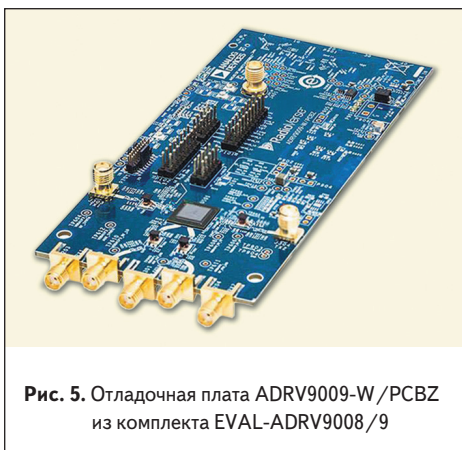


Рис. 5. Отладочная плата ADRV9009-W/PCBZ из комплекта EVAL-ADRV9008/9

Подробную информацию о параметрах приемопередатчиков можно найти в [3]. О полноте информации свидетельствует количество рисунков, их в документе насчитывается 476.

Для облегчения работы конструкторов изделий с использованием приемопередатчиков ADRV9008/ADRV9009 в [1–3] приведены рекомендации по конструированию и примеры конструкций печатных плат с их использованием.

Для экспериментальных исследований с приемопередатчиками компания Analog Devices предлагает отладочный комплект EVAL-ADRV9008/9, состоящий из отладочной платы (рис. 5) и программного обеспечения [4].

В большинстве случаев плата ADRV9009-W/PCBZ подключается к разъему HPC1 (если

не указано иное). На рис. 6 приведен один из возможных вариантов конфигурации оборудования для тестирования приемопередатчиков ADRV9008/ADRV9009.

Подробную информацию о программном обеспечении и конфигурации оборудования для отладки и программирования ИМС ADRV9008/ADRV9009 можно найти в [4].

Литература

1. www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADRV9008-1.pdf
2. www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADRV9008-2.pdf
3. www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADRV9009.pdf
4. wiki.analog.com/resources/eval/user-guides/adrv9009

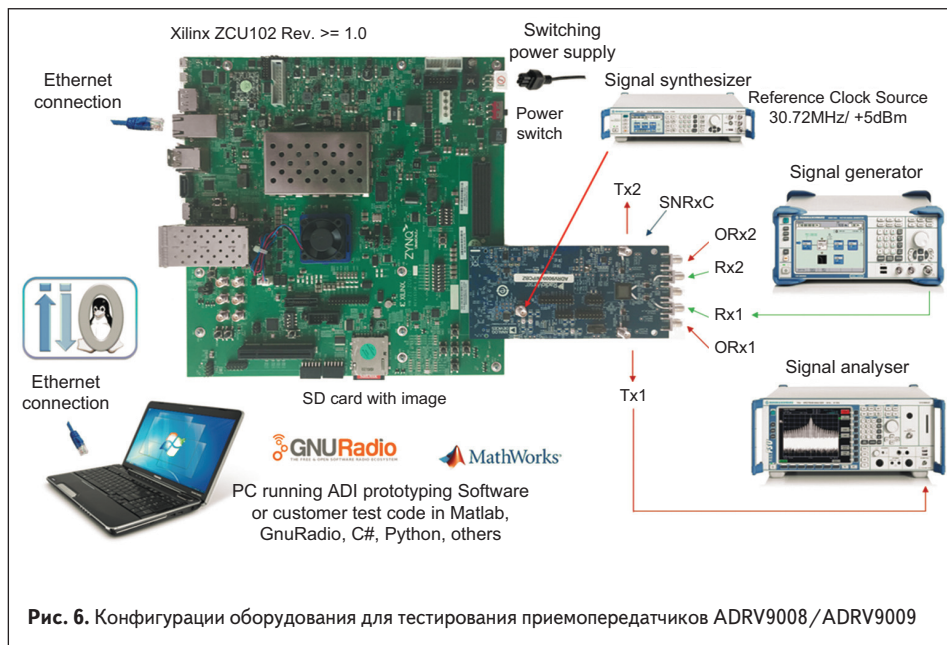


Рис. 6. Конфигурации оборудования для тестирования приемопередатчиков ADRV9008/ADRV9009