

СОВРЕМЕННЫЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ АЦП В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ УСТРОЙСТВАХ

Использование аналого-цифрового преобразования на промежуточной частоте упрощает и удешевляет аппаратную часть современных телекоммуникационных приемников, позволяет увеличить их производительность благодаря применению специализированных сигнальных процессоров. Существующие средства высокочастотного моделирования достаточно эффективны, однако в области точного моделирования АЦП есть некоторый пробел. Применение модели ADIsimADC компании Analog Devices в сочетании с системой моделирования компании Agilent Technologies Advanced Design System устраняет этот пробел и позволяет разработчикам подобрать оптимальный для проектируемого устройства вариант АЦП.

При моделировании цепочки прохождения сигнала в приемнике АЦП часто рассматривают как какой-то идеальный блок. Чтобы "приблизить" его характеристики к реальным, добавляют немного шума или искажений, предполагая, что поведение не зависит от частотного и амплитудного распределения входного сигнала. Это потенциально опасно, поскольку недостаточная точность моделирования АЦП может приводить к ошибкам, которые будут выявлены лишь на стадии характеристики устройства или при производстве. Разработанная компанией Analog Devices модель ADIsimADC – это поведенческая модель, специально созданная для того, чтобы как можно точнее отразить поведение и параметры АЦП, производимых этой компанией.

Существующие SPICE-модели АЦП, конечно, позволяют определить рабочие точки, проанализировать переходные

К.Эдельман (Agilent Technologies),
Б.Брэннон, С.Даунинг, Т.МакЛеод (Analog Devices)

процессы и даже определить частотные характеристики. Однако они слишком медленны, к тому же не всегда точно отражают логику поведения АЦП. В отличие от SPICE-моделей, поведенческая модель ADIsimADC дает возможность быстро и точно отобразить зависимость выходного кода от входного напряжения, АЧХ и другие важные параметры АЦП. Модель удобна в поддержке, не требует сопровождения объемного SPICE-файла, легко интегрируется с такими САПР как, например, Advanced Design System (ADS) компании Agilent Technologies.

МОДЕЛЬ ADIsimADC

С помощью модели ADIsimADC можно воспроизводить такие эффекты АЦП, как усиление, отстройка, задержка, джиттер тактового сигнала, искажения скорости нарастания напряжения, а также другие функциональные характеристики. Чтобы достоверно отразить работу физического устройства в ADIsimADC, каждая компонента цепочки преобразования сигнала (рис.1) моделируется с учетом специфики этого этапа. Например, в блоке дискретизации и захвата учитывается джиттер тактового сигнала, повышение уровня шума в зависимости от скорости нарастания напряжения, вносятся искажения скорости нарастания напряжения, которые вызваны ошибками захвата и установки входного сигнала. Влияние постоянного тока на характеристики усиления и отстройки также отслеживается в блоке дискретизации и захвата.

Ядро АЦП отвечает за процесс квантования сигнала. Поскольку существуют АЦП с различными схемами кванто-

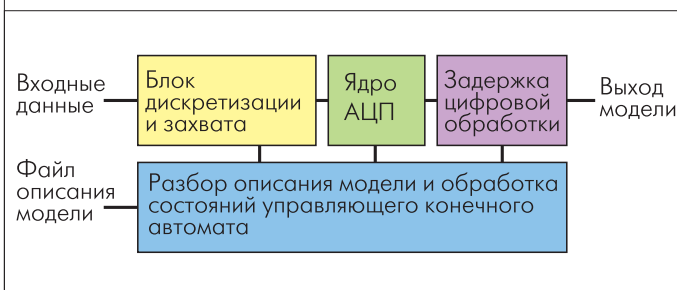


Рис. 1. Блок-диаграмма моделей ADIsimADC

вания, нужна настраиваемая поведенческая модель, чтобы моделировать большинство многоступенчатых преобразователей (включая преобразователи, использующие конвейерное и последовательное приближение). В файле настройки модели ADIsimADC можно задать архитектуру и характеристики для каждого конкретного АЦП. Результирующая модель позволяет учесть влияние теплового шума и других искажений сигнала и отследить практически любую аномалию квантования.

Входными данными для модели служат дискретизированные по времени значения напряжения, которые представляют собой оцифровываемый сигнал. Поток этих данных последовательно проходит через все блоки модели. Каждый блок вносит характерные для него искажения. Выходной поток данных содержит все внесенные искажения. Поскольку параметры модели и блоков соответствуют типичным параметрам спецификации конкретного АЦП, результат отражает основные поведенческие характеристики моделируемого преобразователя. В перспективе планируется возможность проведения моделирования наихудшего случая, соответствующего минимально (максимально) допустимым значениям, определенным в спецификации.

Модель ADIsimADC дает возможность описать зависимость производительности АЦП как функцию частоты и амплитуды входного сигнала. Это важно при разработке цепочки прохождения сигналов, так как различные трудноуловимые нюансы могут негативно повлиять на производительность системы. Например, наличие дифференциальной нелинейности (DNL) рядом с серединой шкалы может повлиять на чувствительность, точность усиления и наличие паразитных составляющих. В этом случае даже при низкоуровневом сигнале динамический диапазон АЦП (SDFR) может быть недостаточно широким.

Джиттер – колебания от выборки к выборке на входном каскаде каждого преобразователя данных – один из самых сложных аспектов дискретизации высокочастотных аналоговых сигналов. На низких частотах обычно никаких проблем не возникает. Однако на высоких частотах ошибки дискретизации аналогового сигнала, связанные с джиттером, могут вызвать серьезные проблемы. Хотя порядок отклонений составляет всего лишь фемтосекунды, ограничения параметра SNR ("сигнал/шум"), возникающие вследствие этого, могут быть весьма значительны (рис.2). На общий уровень шумов влияет множество факторов, однако джиттер, без сомнения, – основной из них, особенно для высокочастотных АЦП. Выделяют два источника джиттера. Первый – внутренний джиттер самого тестируемого АЦП. Поскольку современные проектировщики преобразователей постоянно находятся в поиске способов минимизации этого параметра, он наименее значителен (хотя и не настолько мал, чтобы им пренебречь). Второй, и главный, источник джиттера – внешний тактовый сигнал. Когда модель рассчитывает уровень шума, вызван-

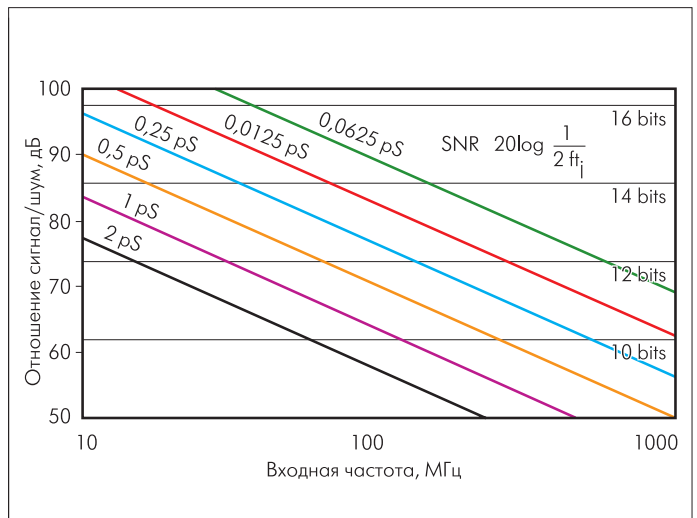


Рис.2. Зависимость отношения сигнал/шум (SNR) от входной частоты и джиттера

ный джиттером, джиттер обоих типов складывается.

Модель ADIsimADC просчитывает мгновенную скорость нарастания напряжения входного сигнала и умножает ее на джиттер (смоделированный методом Гаусса, с сигмой, равной составному среднеквадратичному значению внутреннего и внешнего джиттера). Результатом становится значение шума, вызываемого джиттером, которое точно моделируется как функция от частоты и амплитуды входного сигнала. По умолчанию значением внешнего джиттера считается значение, которое определено в настройках, используемых при характеристизации устройства. Однако пользователь в любой момент может задать свое значение.

Модель ADIsimADC позволяет эффективно отображать большинство важных характеристик АЦП. Однако существуют и некоторые ограничения. Модель точно отражает входной аналоговый сигнал с помощью выходного цифрового только для одной зоны Найквиста в единицу времени. Это вызвано тем, что модель обрабатывает только один дискретизуемый во времени аналоговый сигнал для одного цифрового выхода. При этом необходимо, чтобы входная полоса была ограничена одной зоной Найквиста. Однако такое ограничение аналогового сигнала обычно не вызывает проблем, так как в большинстве приложений фильтр Найквиста уже задействован.

ADIsimADC и ADVANCED DESIGN SYSTEM

Рассмотрим, как подобрать оптимальный АЦП для обработки нисходящего сигнала (от базовой станции к подвижному объекту) в системе стандарта HSPA (High Speed Packet Access) с применением ADIsimADC и системы Advanced Design System (ADS) компании Agilent Technologies. Модели ADIsimADC сохраняются в виде Windows-совместимых DLL-библиотек, которые в дальнейшем можно интегрировать со средствами высокочастотного моделирования. Модуль Ptolemy системы ADS позволяет подключить DLL-библиотеку

как пользовательскую модель. Далее нужно указать нужный тип модели, определить точные параметры входного сигнала АЦП (диапазон и смещение постоянной составляющей, частота дискретизации) и формат цифрового выхода.

Для анализа АЦП применяют следующую схему – генерируется модулированный сигнал, который затем преобразуется в эквивалентный немодулированный сигнал и поступает на модель рассматриваемого АЦП. Полученный результат конвертируется обратно в аналоговую форму с использованием идеального ЦАП (с аналогичным разрешением), после чего происходит демодуляция. Результат передается пакету анализа векторных сигналов VSA (Vector Signal Analyzer) для проведения измерений. Пакет VSA, работающий совместно с системой ADS, дает возможность одновременно измерять спектр, мощность в кодовой области (code-domain power, CDP), траекторию и амплитуды вектора ошибки (EVM). На рис.3 показаны результаты моделирования, отображенные средствами пакета VSA. Экран приложения демонстрирует результаты оценки мощности в кодовой области (слева сверху), траекторию (справа сверху) и составную амплитуду (справа внизу) вектора ошибки EVM, а также спектр (слева снизу).

Результаты на рис.3а получены при моделировании АЦП с разрешением 8 бит (AD9289), а на рис 3б – АЦП с разрешением 12 бит (AD9433_105). Моделирование проводилось в одинаковых условиях. Динамический диапазон спектра 8-битного АЦП составил около 45 дБ, а составная амплитуда вектора ошибки – 3,6%. Для 12-битного АЦП динамический диапазон на максимальной отстройке достиг 60 дБ, а амплитуда вектора ошибки снизилась до 0,25%. Результаты на рис.3в получены для 12-битного АЦП с учетом джиттера, среднееквадратичное значение которого составляло 20% от частоты дискретизируемого тактового сигнала. В этом случае динамический диапазон спектра значительно снизился, а амплитуда вектора ошибки превысила 1%. Этот результат наглядно показывает, насколько воздействие джиттера дискретизации тактового сигнала может снизить качество работы высокопроизводительного АЦП.

Таким образом, система ADS и поведенческая модель ADIsimADC помогают исследовать, как влияет АЦП на поведение телекоммуникационной системы. При этом учитываются дополнительные искажения. Можно варьировать состав компонентов, используя имеющиеся в ADS модели типичных высокочастотных компонентов (маломощные усилители, фильтры и др.). Анализ данных, полученных в результате такого исследования, позволяет выбрать оптимальный АЦП для окончательной конфигурации системы уже на ранних этапах проектирования. Таким образом можно избежать возвратов на этапе характеристики и производства. ○

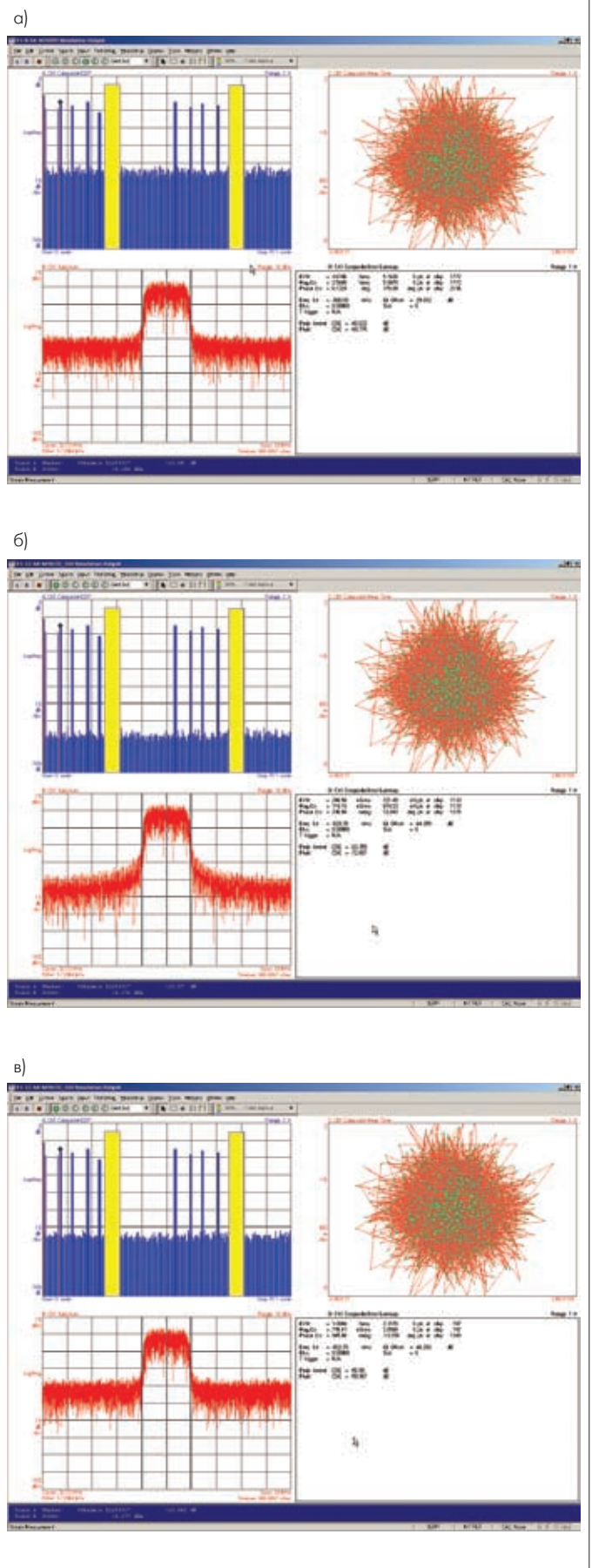


Рис.3. Иллюстрация результатов анализа АЦП в системе VSA: а) 8-битный АЦП AD9289; б) 12-битный АЦП AD9433_105; в) 12-битного АЦП AD9433_105 с учетом 20% (3,2 нс) джиттера тактового сигнала