

КОМП'ЮТЕРНІ ЗАСОБИ, МЕРЕЖІ ТА СИСТЕМИ

V. Romanov, I. Galelyuka

METHODS OF PERFECTING OF PERFORMANCES OF MICROELECTRONIC COMPONENTS AND ANALYSIS OF THEIR EFFICIENCY WITH VIRTUAL EVALUATION BOARDS

It is considered signal averaging to increase the ADC resolution and time interleaving to increase ADC sample rate. The methods are checked with virtual evaluation board.

Рассмотрены методы совершенствования параметров аналоговых интерфейсов на основе БИС и особенности оценки эффективности этих методов с помощью виртуальных плат.

© В.А. Романов, И.Б. Галелюка,
2006

УДК 381.3

В.А. РОМАНОВ, И.Б. ГАЛЕЛЮКА

МЕТОДЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ И АНАЛИЗ ИХ ЭФФЕКТИВНОСТИ С ПОМОЩЬЮ ВИРТУАЛЬНЫХ ОЦЕНОЧНЫХ ПЛАТ

Виртуальное проектирование (работа с моделями) – основной метод разработки и создания БИС и сверхбольших интегральных схем (СБИС). В то же время при разработке средств вычислительной техники, систем управления измерительных каналов биосенсорных и других устройств на основе БИС и СБИС в основном используются методы физического моделирования. Учитывая, что каждая БИС и СБИС сопровождается макромоделью, методы виртуального проектирования легко могут быть распространены и на законченные изделия, состоящие из большого числа микроэлектронных компонентов. Развитие виртуальных лабораторий автоматизированного проектирования (ВЛАП) – важная задача информационных технологий. Возможность коллективного доступа к средствам ВЛАП на современном этапе позволяет разрабатывать различные вычислительные и измерительные устройства с широким использованием баз данных, электронных библиотек, пакетов прикладных программ, виртуальных оценочных плат. Это дает возможность автоматизировать расчеты параметров (точность, производительность, надежность и т.п.) основных узлов, обрабатывать конструктивные и эргономические решения, включая разработку печатных плат, корпусов и т.д. Задачи, решаемые с помощью ВЛАП, подробно рассмотрены в [1, 2].

Кроме вышеперечисленных возможностей, виртуальные методы позволяют проверить и

оценивать схемотехнические и другие приемы совершенствования параметров БИС и СБИС в составе проектируемых изделий. Рассмотрим некоторые из них. Современные БИС и СБИС представляют собой сложные системы на кристалле, которые могут включать в себя многоканальные быстродействующие аналого-цифровые преобразователи (АЦП) с высоким разрешением, цифровые фильтры, сигнальные процессоры, интерфейсы и другие аналоговые и цифровые узлы. Кажется бы, улучшить их паспортные параметры невозможно, так как нельзя изменить архитектуру кристалла. Однако, как видно на рис. 1, суммируя и усредняя результаты кодирования одного и того же сигнала V_S на выходе четырехканального 12-разрядного АЦП AD12500, можно увеличить его разрешение до 13 двоичных разрядов. Известно, что на

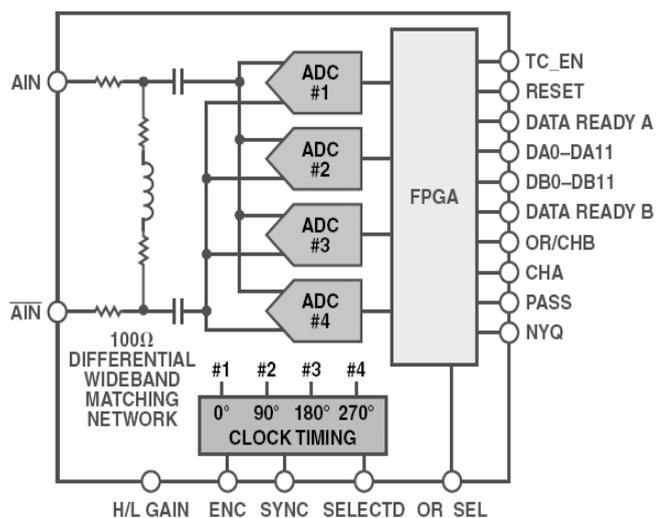


РИС. 1. Структурная схема четырехканального АЦП AD12500 с одним источником дифференциального входного сигнала

входе каждого из четырех АЦП имеется сигнал V_{Si} плюс шум V_{Ni} . Суммарное значение сигнала V_T плюс суммарное среднеквадратичное значение шума на выходе АЦП будет равно

$$V_T = V_{S1} + V_{S2} + V_{S3} + V_{S4} + \sqrt{V_{N1}^2 + V_{N2}^2 + V_{N3}^2 + V_{N4}^2}. \quad (1)$$

Учитывая, что сигнал $V_{S1} = V_{S2} = V_{S3} = V_{S4}$, то в соответствии с (1) напряжение на выходе АЦП в результате суммирования увеличится в четыре раза, а уровень шума только в два. Таким образом, отношение сигнал/шум SNR тоже увеличится вдвое, что соответствует 6,02 дБ. В связи с тем, что отношение SNR [дБ] = 6,02N + 1,76, отсюда

$$N + \Delta N = \left[\frac{SNR \text{ [дБ]} - 1,76}{6,02} \right] + \frac{6,02 \text{ [дБ]}}{6,02} = N + 1. \quad (2)$$

Используя выражения (1), (2), можно показать, что при увеличении числа АЦП до восьми отношение SNR увеличивается на 9 дБ, до 16 АЦП – на 12 дБ, до 32 АЦП – на 15 дБ. Однако, чем больше АЦП содержит БИС, тем больше ее по-

ры, сигнальные процессоры, интерфейсы и другие аналоговые и цифровые узлы. Кажется бы, улучшить их паспортные параметры невозможно, так как нельзя изменить архитектуру кристалла. Однако, как видно на рис. 1, суммируя и усредняя результаты кодирования одного и того же сигнала V_S на выходе четырехканального 12-разрядного АЦП AD12500, можно увеличить его разрешение до 13 двоичных разрядов. Известно, что на

требление и размеры корпуса, поэтому современные БИС, как правило, содержат не более восьми преобразователей.

Следует отметить, что увеличение разрядности АЦП согласно (2) возможно, если параметры преобразователей в составе БИС идентичны как на постоянном, так и на переменном токе. На постоянном токе увеличение разрядности АЦП характеризуется ростом эквивалентного разрешения в соответствии с (2), на переменном токе – ростом эффективного числа двоичных разрядов. Эквивалентное разрешение определяется отношением сигнал/шум, эффективное число двоичных разрядов зависит, кроме того, от уровня нелинейных или гармонических искажений THD , которые вычисляются в соответствии с выражением [3]:

$$THD = 10 \log_{10} \left[\frac{\sum_{i=2}^m H^2(i)_{\text{СКВ}}}{S^2} \right] \text{ дБ} , \quad (3)$$

где $H^2(i)_{\text{СКВ}}$ – среднеквадратичное значение (СКВ) амплитуды i -гармоники; m – число гармоник; S – среднеквадратичное значение амплитуды входного сигнала.

Учет шумов и нелинейных искажений выполняется в соответствии с выражением

$$THD + N = 10 \log_{10} \left[\frac{\sum_{i=2}^m H^2(i)_{\text{СКВ}} + N^2_{\text{СКВ}}}{S^2} \right] \text{ дБ} . \quad (4)$$

Первый параметр легко определить расчетным путем, второй – измеряется путем подачи на вход АЦП гармонического сигнала и выделения на выходе ложных гармонических составляющих. Это может быть сделано с помощью быстрого преобразования Фурье (БПФ). Поставить натуральный эксперимент для определения эффективного числа двоичных разрядов или динамического диапазона неискаженного сигнала в полосе частот пропускания исследуемого АЦП весьма затруднительно. Данный параметр целесообразно анализировать с помощью виртуальной оценочной платы АЦП ADIsimADC [4]. При этом число гармоник m , как правило, не больше пяти. Пример частотного спектра многоканального АЦП, полученного с помощью виртуальной оценочной платы, показан на рис. 2.

Еще одним приемом, позволяющим улучшить параметры микроэлектронных систем на кристалле, является подмешивание шума на вход аналогового

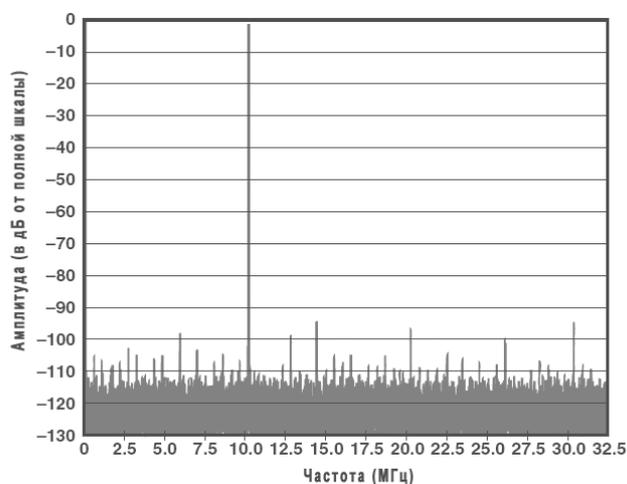


РИС. 2. Частотный спектр многоканального АЦП AD12500

АЦП дискретные отсчеты на его выходе не меняют своих значений. Чем ближе код на выходе АЦП к прямоугольной форме, тем больше в спектре выходного сигнала содержится ложных гармонических составляющих. Для устранения влияния возможных гармонических искажений вследствие корреляции между входным сигналом и шумом квантования можно применить подмешивание случайного сигнала на вход АЦП для преобразования его в некоррелированный белый шум на выходе. Несмотря на то, что при этом суммарный шум на выходе АЦП растет, дополнительный шум позволяет разрушить прямоугольную форму сигнала на выходе и соответственно прямоугольную форму шума квантования. Среднеквадратичный уровень подмешиваемого на вход АЦП сигнала не превышает $1/3$ ЕМР или составляет 2 ЕМР от пика к пику. Это значит, что мы теряем один или два значащих разряда на выходе АЦП, однако в спектре выходного шума будут отсутствовать ложные гармоники. На рис. 4 показаны полученные с помощью виртуальной платы ADIsimADC спектры выходного шума без подмешивания и с подмешиванием случайного сигнала. Как следует из рис. 4, б – средний уровень шума на выходе АЦП при подмешивании вырос на 4 дБ, однако при этом в спектре отсутствуют ложные гармоники большой амплитуды. Реализовать схемы подмешивания с применением аналогового генератора белого шума (как правило, специального диода, или операционного усилителя, входной шум которого приближается к белому) или цифрового генератора псевдослучайного шума можно в соответствии с функциональными схемами, показанными на рис. 5, а, б.

Подмешивание шума с последующим усреднением является эффективным приемом уменьшения дифференциальной нелинейности параллельно-последовательных конвейерных АЦП, выполненных в микросхемотехническом исполнении.

интерфейса. Известно, что если уровень сигнала на входе АЦП близок к величине кванта и составляет несколько единиц младшего разряда (ЕМР), то между шумом квантования и входным сигналом наблюдается сильная корреляция [5]. На рис. 3, а показан входной сигнал АЦП с амплитудой 1,5 ЕМР; б – выходной код этого АЦП; в – шум квантования. Благодаря корреляции шум квантования изменяется по тому же закону, что и входной сигнал АЦП. При малых сигналах на входе

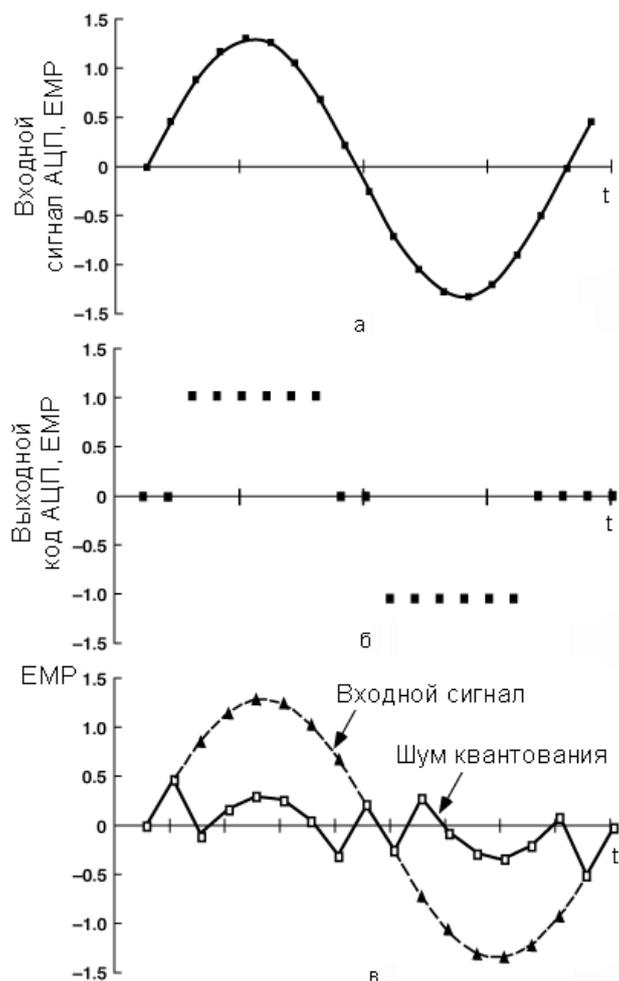


РИС. 3. а – входной сигнал АЦП амплитудой $\pm 1,5$ ЕМР; б – цифровой код этого сигнала; в – распределение шума квантования во времени при кодировании сигнала низкого уровня

Такие преобразователи состоят, как правило, из нескольких линеек малоразрядных АЦП с разрешением не более пяти бит. Из-за плохого согласования шкал этих АЦП передаточная характеристика всего преобразователя может иметь большую дифференциальную нелинейность (рис. 6). Добавление случайного шума на вход такого преобразователя с последующим усреднением результатов преобразования позволяет существенно уменьшить дифференциальную нелинейность. На рис. 7 показаны полученные с помощью виртуальной оценочной платы АЦП ADIsimADC зависимости дифференциальной нелинейности преобразователя AD6645 от выходного кода (рис. 7).

Многоканальные АЦП с преобразователем в каждом канале (см. рис. 1) имеют еще одну возможность совершенствования своих параметров. Она заключается в том, что, осуществляя запуск каждого из АЦП с определенным сдвигом при одном и том же входном сигнале, можно в

четыре раза (соответственно числу параллельно включенных АЦП) увеличить частоту Котельникова (Найквиста) для сигнала на входе преобразователя [6]. Величина сдвига φ определяется из выражения

$$\varphi = \frac{2\pi(m-1)}{M}, \quad (5)$$

где t – номер запускаемого АЦП, M – число АЦП в составе многоканального преобразователя.

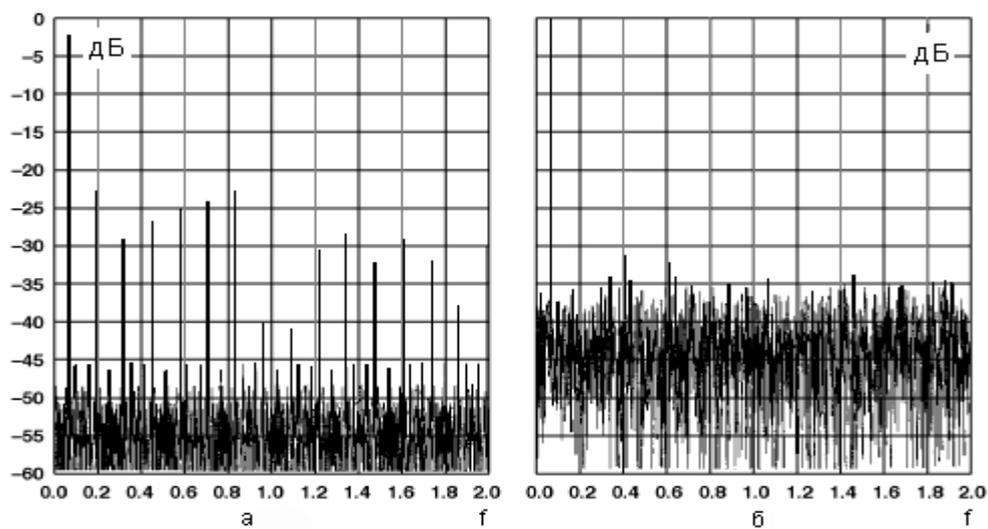


РИС. 4. а – спектр выходного шума АЦП без подмешивания; б – с подмешиванием псевдослучайного сигнала на входе преобразователя

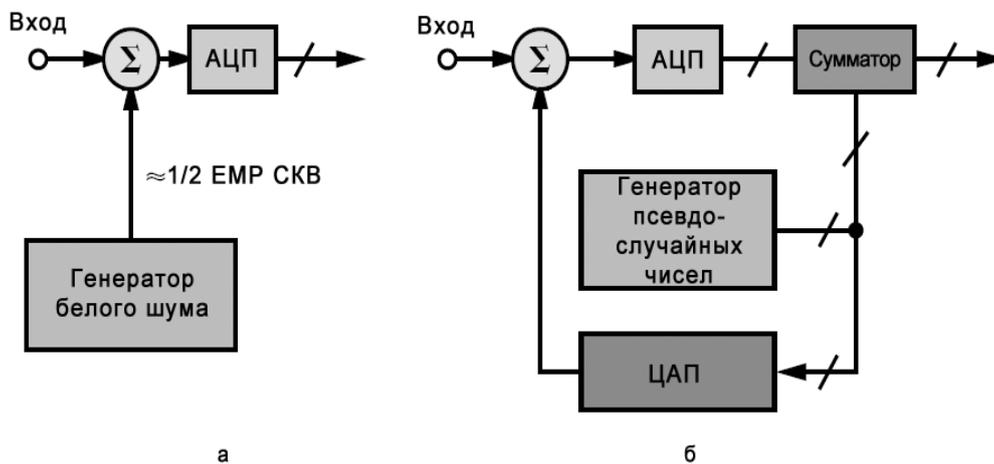


РИС. 5. а – структурная схема подмешивания аналогового сигнала на вход АЦП; б – структурная схема подмешивания цифрового сигнала на вход АЦП

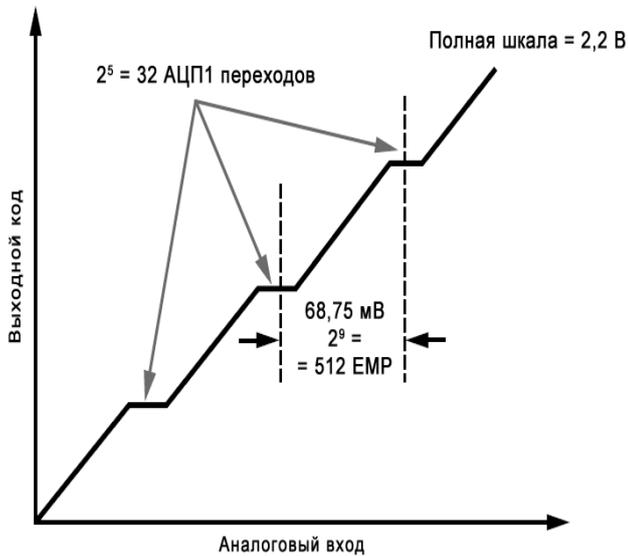


РИС. 6. Передаточная характеристика параллельно-последовательного конвейерного АЦП с высокой дифференциальной нелинейностью

Следует отметить, что точность восстановления сигнала на выходе такого преобразователя зависит от согласования характеристик каждого из параллельно включенных АЦП. Рассогласование статических (смещение и наклон передаточной характеристики) и динамических (полоса пропускания и фазовая задержка) характеристик отдельных АЦП может привести к существенной потере точности преобразования. Провести натурный эксперимент для исследования передаточной характеристики многоканального АЦП с распределенным во времени запуском в полосе

пропускания и при разных частотах выборки весьма затруднительно. Зная разброс параметров таких БИС можно с помощью виртуальной оценочной платы получить выходные спектральные характеристики при заданной частоте входного сигнала и частоте выборки.

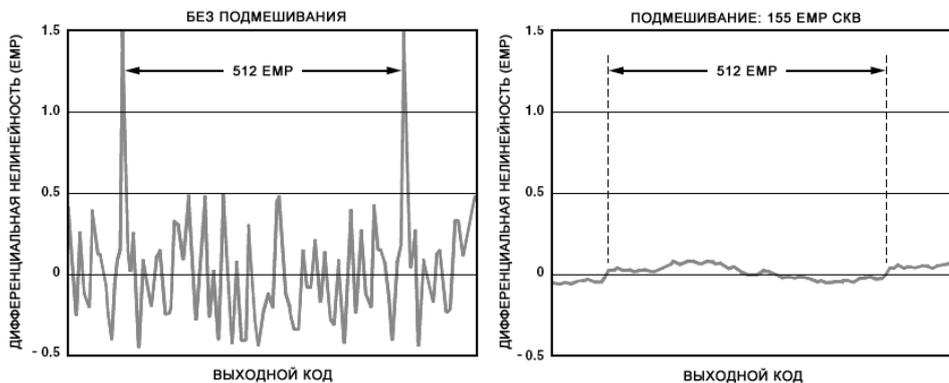


РИС. 7. Дифференциальная нелинейность AD6645 без и с подмешиванием

В заключение рассмотрим особенности виртуальной оценочной платы ADIsimADC. Прежде всего, необходимо получить у разработчика этой платы (фирмы Analog Devices) информацию о том, какие типы АЦП (типы БИС) моделируются с помощью ADIsimADC. Отметим, что перечень таких АЦП постоянно расширяется. Учитывая, что аналого-цифровые преобразователи могут использоваться как в контуре управления, так и в системах связи, виртуальная оценочная плата моделирует смещение и наклон передаточной характеристики, частоту выборки, полосу пропускания, дрожание тактовых импульсов, задержку распространения сигналов в АЦП как на переменном, так и на постоянном токе. Входной сигнал для виртуальной платы задается в вольтах во всем частотном диапазоне. На частоте среза модель демонстрирует ослабление динамического диапазона на 3 дБ. Следует указать, что выбранная разработчиком модель преобразователя ведет себя в полном соответствии с физическим аналогом. Если, например, преобразователь имеет дифференциальный вход, его модель не позволяет работать с несимметричным сигналом, если синфазный уровень в физическом аналоге регулируется, то же самое обеспечивает и виртуальная плата. Если параметры модели, задаваемые разработчиком, не соответствуют техническому описанию на АЦП, то результаты преобразования, которые выдает модель на выходе, будут равны нулю.

Виртуальная оценочная плата ADIsimADC использована в Институте кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины при проектировании измерительных каналов биосенсорных приборов.

Выводы. Параметры БИС и СБИС аналоговых интерфейсов могут быть улучшены за счет применения специальных методов обработки результатов преобразования. Оценка эффективности применения этих методов может быть выполнена с помощью виртуальных оценочных плат.

1. Palagin O.V., Galelyuka I.B., Romanov V.O. Structure and organization of typical Virtual Laboratory for Computer-Aided Design // Proceeding of the Third IEEE Workshop on "Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications", IDAACS'2005. – Sofia, Bulgaria. – 2005, September 5–7. – P. 460 – 463.
2. Палагін О.В., Брайко Ю.О., Галелюка І.Б. та інші. Структурна організація віртуальної лабораторії для проектування засобів обчислювальної техніки // Комп'ютерні засоби, системи та мережі, 2005. – № 4. – С.47–56.
3. Кестер У. Выходной шум АЦП: всегда ли нужно с ним бороться? // Электронные компоненты и системы, 2006. – № 5. – С. 3–8.
4. Галелюка И.Б. Как виртуальная плата ADIsimADC моделирует поведение преобразователей данных // Электронные компоненты и системы, 2006. – № 6. – С. 8–11.
5. Джозефсон О. Особенности применения и преимущества сигма-дельта АЦП // Электронные компоненты и системы, 2006. – № 1. – С. 3–13.
6. Ридер Р., Луней М., Хенд Дж. Особенности проектирования многоканальных АЦП // Электронные компоненты и системы, 2006. – № 6. – С. 3–7.

Получено 13.04.2006