



Оливер Ровини, Артур Пини, Грег Тэйт

Современные дигитайзеры. Справочное пособие

Часть 1

Основанная в 1989 году в Германии компания Spectrum внесла серьёзный вклад в развитие технологий высокопроизводительных модульных дигитайзеров – устройств, без которых уже немыслимо большинство современных инструментальных приложений. Разобраться в характеристиках дигитайзеров и воспользоваться широчайшими возможностями, которые открывают эти мощные устройства, поможет справочное пособие компании Spectrum, публикацию которого мы начинаем с этого номера журнала.

Мы живём поистине в цифровую эпоху, и нигде это так наглядно не проявляется, как в области испытаний и измерений. С тех пор как были разработаны первые ЭВМ, тенденция применения электронных аналого-цифровых преобразователей (АЦП) в приборах и системах только усиливалась, поскольку в них для захвата и анализа сигналов используется мощный цифровой процессор. Аналоговые осциллографы и мультиметры, так же как и многочисленные анализаторы, когда-то использовавшие аналоговые технологии, были заменены цифровыми моделями. АЦП находился в самом центре этой эволюции. В настоящее время место АЦП занял более современный преобразователь аналоговых сигналов в цифровые, или, как его ещё принято называть, дигитайзер, сделавший использование технологии аналого-цифрового преобразования проще и доступнее, чем это было когда-либо прежде.

Дигитайзеры реализуют всю мощь аналого-цифрового преобразования, дополняя его рядом важных компонентов, таких как прецизионное тактирование, предварительная обработка входного сигнала, буферная память, программное обеспечение для обработки сигналов и скоростные шины данных для передачи оцифрованной информа-

ции. Именно эти дополнения сделали АЦП универсальным и позволили использовать его максимально эффективно в постоянно расширяющемся спектре приложений. Однако так было не всегда.

История современных дигитайзеров началась примерно с 1970-х годов, когда для эффективной реализации захвата и оцифровки быстрых сигналов были использованы полупроводниковые технологии аналого-цифрового преобразования. Устройства, известные как регистраторы переходных процессов, были громоздки, сложны в использовании и дорогостоящи, и поэтому применение их было ограничено. В конце 1980-х годов регистратор переходных процессов был в большинстве случаев заменён цифровым осциллографом, поскольку цифровой осциллограф предложил простой способ захвата сигналов, дополненный к тому же таким функционалом, как предварительная обработка сигнала, расширенные возможности синхронизации и анализа сигнала. Это было такое сочетание, которое позволяло использовать его в гораздо более широком диапазоне применений. Такое положение сохранялось до начала 1990-х годов, когда с расцветом персональных компьютеров были обновлены и дигитайзеры. Аппаратная

часть и программное обеспечение компьютеров стали быстро совершенствоваться, и дигитайзеры смогли воспользоваться преимуществами и высокой производительностью новых компьютерных шин. Платы модульных дигитайзеров, совместимые с технологиями ISA и PCI, стали устанавливаться непосредственно в ПК, а программные инструменты делали их применение всё более удобным. В это же время как никогда широкая доступность быстродействующих микропроцессоров позволила достичь больших успехов в обработке и скорости измерения сигнала. С тех пор дигитайзеры непрерывно совершенствуются. Как и прежде, они работают совместно с ПК, но теперь они доступны в постоянно расширяющемся разнообразии форматов. Сегодня модульные дигитайзеры – это устройства, устанавливаемые как внутрь ПК с использованием новейшей шины PCIe, так и выполненные в одном из многих промышленных стандартов: PXI, cPCI или LXI для внешнего подключения.

Дигитайзеры могут комплектоваться готовым программным обеспечением и выполнять функции осциллографа, устройства записи сигналов, регистратора данных, спектроанализатора, мультиметра и множества других измерительных приборов. Они могут быть запро-

граммированы и настроены таким образом, чтобы интегрироваться в автоматизированные системы тестирования, а также встраиваться в качестве основного устройства сбора данных в измерительный или аналитический прибор.

Основанная в 1989 году в Германии компания Spectrum сыграла ключевую роль в эволюции и продвижении на рынок высокопроизводительных модульных дигитайзеров. К своему 25-летию компания подготовила справочное издание по дигитайзерам (Digitizer Handbook), русская версия которого, начиная с этого номера, будет частями публиковаться в журнале СТА. Мы надеемся, что этот справочник поможет специалистам понять особенности, разобраться в характеристиках и воспользоваться широчайшими возможностями, которые открывают эти мощные устройства.

ВВЕДЕНИЕ В ТЕОРИЮ И ПРАКТИКУ ОЦИФРОВКИ СИГНАЛОВ

Дигитайзер является электронным устройством для сбора данных, обрабатывающим аналоговые сигналы посредством аналого-цифровых преобразователей и сохраняющим цифровую модель сигнала в буфере данных для последующей обработки в компьютере. Так сложилось, что современные цифровые преобразователи начинают свою историю с пятидесятих-шестидесятих годов, когда стала насущной необходимость быстрого сбора, хранения и обработки нескольких каналов данных. Большинство первых дигитайзеров были построены на базе стандартов шин NIM (Nuclear Instrumentation Module) или CAMAC (Computer Automated Measurement And Control). Эти модульные стандарты и одноимённые шины применялись для устройств сбора данных и управления, а также в экспериментах с элементарными частицами в ядерной физике. Создание стандарта инструментального интерфейса шины GPIB/IEEE 488 в 1970-х годах заложило основу построения многофункциональных тестовых и измерительных систем. В то же время развитие персональных компьютеров стимулировало создание ряда стандартов компьютерных интерфейсов, таких как PCI (Peripheral Component Interconnect) и VMEbus (Versa Modular Eurocard bus), обеспечивающих типовой механизм объединения периферийных устройств в компьютере. Посредством создания на их базе со-

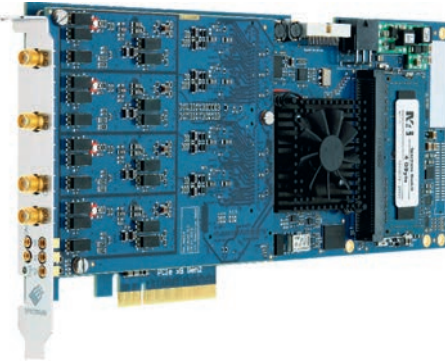


Рис. 1. M4i.4451-x8 – 4-канальный дигитайзер компании Spectrum с интерфейсом PCIe x8 Gen2

ответствующих инструментальных интерфейсных шин, таких как PXI (PCI extensions for Instrumentation) и VXI (VME extensions for Instrumentation), эти компьютерные шины были адаптированы для поддержки модульных приборов. Растущая потребность в сокращении времени обработки и росте пропускной способности инициировали разработку стандарта LXI (LAN extensions for Instrumentation) для встраиваемых измерительных систем. Таким образом, все элементы быстродействующих многоканальных измерительных систем оказались на своём месте.

Современные модульные дигитайзеры имеют схожую с классической архитектуру, дополненную новыми высокоскоростными последовательными интерфейсами, такими как PCIe Express (PCIe). На рис. 1 в качестве примера показан дигитайзер серии M4i.44xx компании Spectrum. Данные устройства поддерживают от 2 до 4 каналов с частотой дискретизации до 500 млн опросов в секунду, разрешением до 16 бит и интерфейсом PCI Express x8 Gen2, обеспечивающим скорость передачи данных до 3,4 Гбайт/с.

Терминология дигитайзеров

Выбор дигитайзера требует анализа соответствия его параметров особенностям применения. Далее приведён словарь базовых терминов и определений, общих для всех дигитайзеров.

Память данных

Цифровые данные, полученные от АЦП, хранятся в высокоскоростной буферной памяти дигитайзера, называемой памятью данных. Ёмкость этой памяти определяет длину сигнала, который может быть помещён в буфер перед передачей для обработки, визуализации или сохранения. Память большего объёма позволяет также использовать более высокую частоту дискретизации и увеличить длительность записи.

Аналого-цифровой преобразователь (АЦП)

АЦП преобразует аналоговый сигнал, полученный от источника, в цифровые данные, которые могут быть обработаны с помощью компьютера.

Полоса пропускания (–3 дБ)

Ширина полосы пропускания дигитайзера характеризует частотный диапазон, в котором во входном тракте прибора не происходит существенной потери амплитуды сигнала. Границы полосы пропускания обычно определяются как частоты в Гц, при которых амплитуда сигнала снижается до $1/2$ амплитуды сигнала на низкой частоте, что приблизительно соответствует уровню –3 дБ.

Динамический диапазон

Динамический диапазон дигитайзера определяет максимальный и минимальный уровни сигнала, которые могут быть измерены им в процессе одного опроса. Широкий динамический диапазон позволяет одновременно измерять сигналы как малых, так и больших амплитуд. Динамический диапазон связан с разрешением дигитайзера.

Эффективное число битов (ЕНОВ)

Разрешение АЦП определяется количеством битов, используемых для представления аналогового значения, в идеале давая для N -битового сигнала 2^N уровней квантования сигнала. К сожалению, все реальные схемы АЦП и связанные с ними предварительные усилители сигнала вносят некоторые шумы и искажения, тем самым снижая теоретически возможное количество уровней квантования. Эффективное число битов (ЕНОВ) является показателем качества динамической производительности АЦП и связанных с ним цепей. ЕНОВ определяется как число битов идеального АЦП, сходного своим разрешением с реальным дигитайзером.

LXI

LXI (англ. LAN eXtensions for Instrumentation, или дословно по-русски LAN-расширение для измерительной техники) – стандарт, применяемый для системной интеграции на основе локальной сети, реализующий быструю связь между несколькими приборами.

Сегментация памяти

Быстрые периодические сигналы для каждого события-триггера сохраняются в памяти дигитайзера в виде единого сегмента. Это снижает требования к скорости передачи и экономит ресурсы памяти.

Шум

Шум является случайной флуктуацией в исследуемом электрическом сигнале. Это характерно для всех электронных схем, которые обычно вносят шум в обрабатываемый сигнал.

PCI, cPCI, PCIE

Три типа интерфейсов: Peripheral Component Interconnect (PCI), compact PCI (cPCI) и PCI Express (PCIE) — объединяют дигитайзер с другими компонентами системы на материнской плате компьютера. Данные интерфейсы используются в основном для модульных дигитайзеров, устанавливаемых в шасси компьютера.

PXI (PCI-расширения для измерительной техники), PXIe

PXI является модульным стандартом для электронной аппаратуры, основанным на спецификации промышленной компьютерной шины. Этот стандарт служит основой для построения электронно-тестового оборудования, обеспечивающей сигналы тактирования и синхронизации запуска.

Разрешение АЦП

Разрешение АЦП определяется количеством битов, используемых для представления аналогового значения амплитуды сигнала. В идеале для N -битового АЦП доступно 2^N уровней. Высокое разрешение важно для измерения широкодиапазонных динамических сигналов, содержащих участки с малыми изменениями.

Частота опроса (дискретизации)

Частота опроса, или частота дискретизации дигитайзера — это количество преобразований аналогового сигнала при помощи АЦП в цифровые данные в единицу времени. Для эффективных измерений требуется дигитайзер с частотой дискретизации, как минимум, вдвое превышающей наивысшую частоту исследуемого сигнала. Её называют частотой Найквиста. Желательно, чтобы на практике частота опроса немного превышала частоту Найквиста.

Обработка сигнала

Обработкой сигнала называется процесс обработки аналоговых или цифровых данных. В общем случае данный процесс включает в себя фильтрацию, усреднение, обнаружение пиков и анализ спектра сигнала.

Отношение сигнала к шуму и искажениям (SINAD)

Отношение сигнала к шуму и искажениям (SINAD, или THD + N) является показателем качества, отражающим количественное измерение качества сигнала.

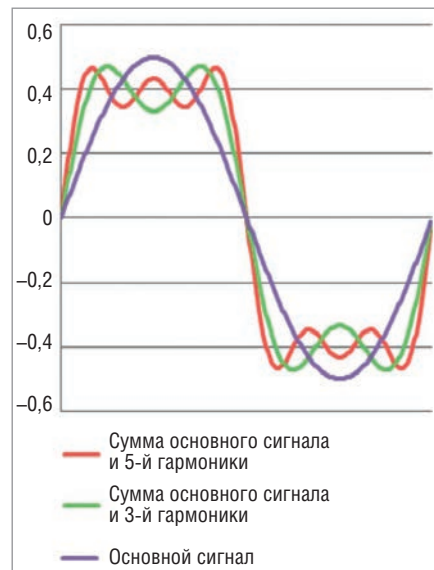


Рис. 2. Учёт высших гармоник требуется для точной аппроксимации сигнала

ла. SINAD представляет собой отношение общей мощности сигнала (в том числе сигнал + шум + искажения, или SND) к мощности его нежелательной составляющей (шум + искажения, или ND). Отсюда следует, что чем выше это значение, тем выше качество сигнала. Соотношение выражается в виде логарифмической величины (в дБ) вычисляется по формуле $10 \times \log_{10}(SND/ND)$.

LUMINEO
POWERED BY **ВЕРЕО**

ДИСПЛЕИ ДЛЯ
от -50°C

О Ф И Ц И А Л Ь Н Ы Й Д И С Т Р И Б Ъ Ю Т О Р

Ложный отклик

Ложный отклик является нежелательным компонентом сигнала, который добавляется к полезному сигналу в результате его смешивания с помехами от внутренних источников в таких устройствах, как АЦП. Максимальный уровень ложных откликов часто определяется как динамический диапазон, свободный от паразитных составляющих (SFDR).

Синхронизация

Синхронизация – это координация событий по времени в рамках измерительной системы. Данное определение имеет отношение к запуску и опросу нескольких каналов или нескольких дигитайзеров одновременно.

Регистратор переходного процесса

Регистраторы переходных процессов, или дигитайзеры – это электронные приборы для записи быстро изменяющегося сигнала, например такого, как мгновенный импульс.

Триггер

Сигнал, используемый дигитайзером для инициирования и синхронизации процесса опроса.

VME-шина

VME-шина – один из старейших стандартов компьютерных шин. Она широко

используется во многих приложениях и сертифицирована IEC как ANSI/IEEE 1014-1987.

VXI

Шина VXI является открытой стандартной платформой для создания автоматизированных тестовых систем, основанных на шине VME. VXI расширяется как VME-расширение для измерительной техники. В VXI определены дополнительные линии, предназначенные для синхронизации и запуска, а также установлены механические требования и стандартные протоколы для конфигурации, связи, расширения для нескольких шасси и другие параметры.

Критерии выбора дигитайзера

Выбор дигитайзера требует анализа соответствия ваших потребностей ключевым параметрам дигитайзера. В данном разделе приведены некоторые общие практические правила, которые помогут в этом.

Пропускная способность

Требуемая ширина полосы пропускания дигитайзера зависит от характера измеряемых вами сигналов. Для синусоидальных волн, как правило, достаточно иметь ширину полосы пропускания,

более чем вдвое превышающую максимальную частоту. Если форма сигнала представляет собой последовательность импульсов с крутыми фронтами, то предпочтительно использовать дигитайзер с шириной полосы, в пять раз превышающей частоту импульсного сигнала, с целью его захвата до пятой гармоники. Рис. 2 иллюстрирует это положение на примере аппроксимации прямоугольного импульсного сигнала до пятой гармоники.

Частота дискретизации

Теорема отсчетов утверждает: чтобы избежать потери информации, частота дискретизации цифрового преобразователя должна быть как минимум в два раза больше наивысшей составляющей частотного спектра исследуемого сигнала. Однако опрос сигнала с крутыми фронтами с частотой, лишь в два раза превышающей максимальную, недостаточно точно позволяет воспроизвести его временную диаграмму. Для точной оцифровки таких сигналов необходимо, чтобы частота дискретизации была по крайней мере в три-четыре раза больше полосы пропускания. На рис. 3 показаны значения максимальной частоты дискретизации и величины разрешения в битах у существующих на

ЖЁСТКИХ УСЛОВИЙ**до +85°C****Основные свойства
электролюминесцентных дисплеев**

- Кристальная чёткость изображения. Отсутствует размытость изображения движущегося объекта при температуре -60°C
- Широкий угол обзора – свыше 160°
- Время отклика менее 1 мс
- Средний срок безотказной работы более 116 000 часов
- Срок эксплуатации не менее 11 лет при потере яркости 25–30%
- Устойчивость к ударным и вибрационным воздействиям
- Низкий уровень электромагнитного излучения
- Компактный корпус и обрамление

Области применения

- Специальная техника
- Транспортные средства
- Промышленное оборудование
- Медицинские приборы
- Аппаратура морской техники

LUMINEQ
POWERED BY VENEQ

ПРОДУКЦИИ ВЕНЕК (LUMINEQ)

С.-ПЕТЕРБУРГ Тел.: (812) 448-0444 • info@spb.prosoft.ru • www.prosoft.ru



Реклама

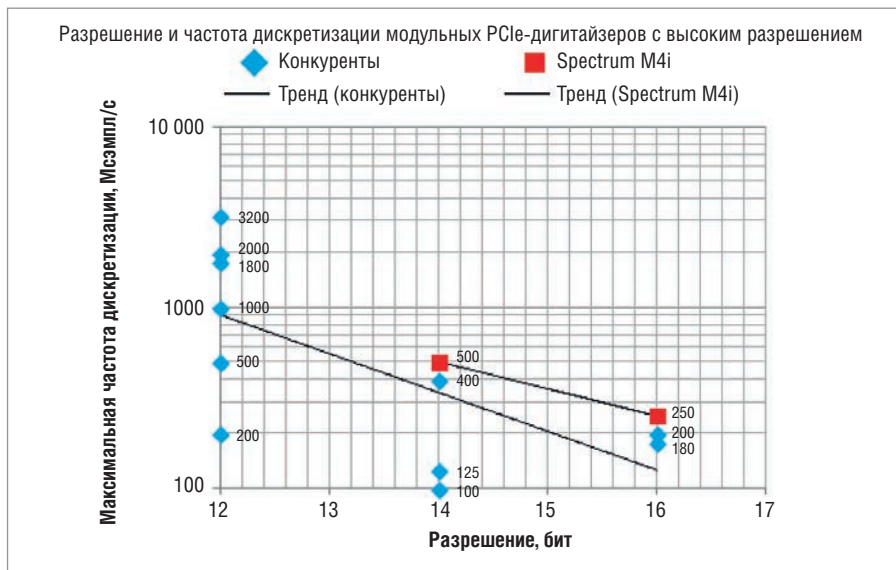


Рис. 3. Увеличение частоты дискретизации дигитайзера вынуждает понижать его битовое разрешение

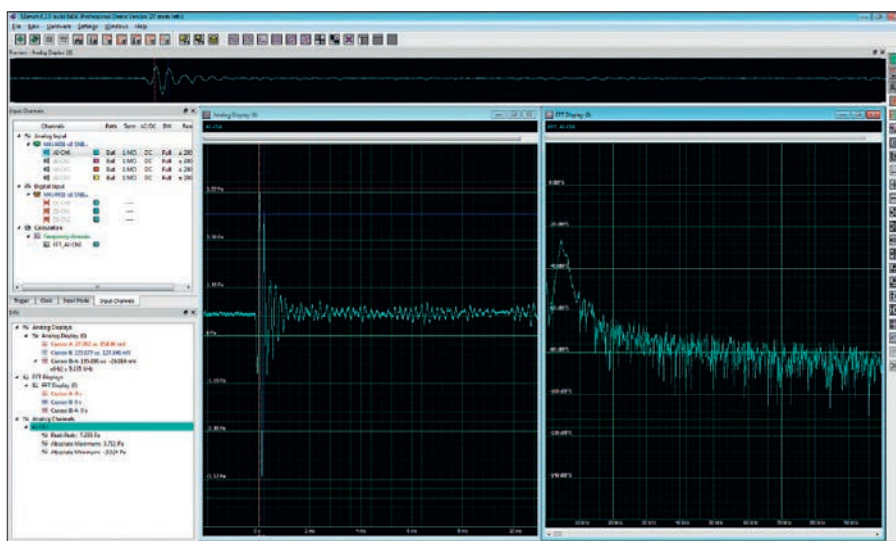


Рис. 4. Пример работы Sbench 6: осциллограмма сигнала и быстрое преобразование Фурье (БПФ)

рынке модульных PCIe-дигитайзеров с высоким разрешением. На этой же диаграмме отдельно отмечены параметры дигитайзеров Spectrum серии M4i.44xx, имеющих более высокую частоту дискретизации, чем у остальных 11 представленных для сравнения устройств конкурентов.

Разрешение и динамический диапазон

Разрешение определяет динамический диапазон дигитайзера. Динамический диапазон является отношением наивысшего и минимального уровней сигнала, с которыми способен работать дигитайзер. Приложения, подразумевающие использование динамических сигналов (сигналы с большими и малыми значениями напряжений) требуют приборов с высоким разрешением. Рассмотрим в качестве примера сигнал с полным диапазоном 1 В и с ожидаемым минимальным уровнем 100 мкВ. Соот-

ношение 10000:1, или 80 дБ соответствует 6 дБ на один бит. В идеальном случае, при отсутствии шума, это составит 13,3 разряда, то есть потребуется 14-битовый дигитайзер.

Следует отметить, что требуется компромисс между разрешающей способностью и максимальной частотой дискретизации. Высокое разрешение дигитайзера будет стоить нам более низкой максимальной частоты дискретизации. Это показано на рис. 3, где максимальная частота дискретизации для представленных дигитайзеров является зависимостью от количества битов разрешения, при этом 14- и 16-битовые модели Spectrum серии M4i.44xx обладают более высокой частотой дискретизации, нежели их конкуренты. Компромисс между разрешением и частотой дискретизации является одним из основных инженерных компромиссов. Обратите вни-

мание, что максимальную частоту дискретизации возможно увеличить путём чередования нескольких АЦП, но это, как правило, приводит к снижению эффективного числа битов (ENOB) из-за шума, несогласованности усиления АЦП, смещений и нелинейности их цепей. Когда вы сравниваете разрешение и максимальную частоту дискретизации дигитайзеров, обратите внимание, использует ли дигитайзер один АЦП или несколько чередующихся.

Ёмкость памяти данных измерений

Определяет наибольшую продолжительность записи, которую дигитайзер может выполнить за один цикл опроса. На длительность записи также влияет частота дискретизации. Для конкретного дигитайзера и продолжительность записи, и доступная частота дискретизации соответственно тем больше, чем больше объём памяти данных.

Запуск (триггерное событие)

Триггеры позволяют синхронизировать сбор данных с внешними событиями. Эффективное использование дигитайзера требует от устройства запуска большой гибкости. Простые схемы запуска по фронту сигнала в зависимости от его крутизны и уровня являются стандартными для большинства дигитайзеров. Многие модели также предлагают оконный режим запуска. Источники запуска включают в себя каналы опроса и несколько внешних триггерных входов. Для максимальной гибкости триггера эти входы вместе с возможностью перезапуска могут быть объединены логическими функциями, предоставляя расширенные способы запуска.

Количество каналов и синхронизация

Каждый модульный дигитайзер имеет на плате определённое количество каналов. Использование нескольких плат может увеличить общее количество каналов системы. Для того чтобы поддерживать синхронизацию нескольких плат, они должны иметь общие триггеры и тактирование, например, до восьми дигитайзеров Spectrum, таких как изображённый на рис. 1, могут быть присоединены к модулю Star-Hub и работать без какой-либо фазовой задержки между каналами.

Режимы сбора данных

Дигитайзеры обычно обеспечивают целый ряд различных режимов сбора данных. Так, модели M4i Spectrum поддерживают запись в кольцевой буфер (аналогичный имеющимся в осциллографах), режим FIFO, или потоковый режим, режим многократной записи

Multiple Recording (режим сегментации), опрос по стробирующему сигналу Gated Sampling и режим АВА, сочетающий медленную непрерывную запись с низкой частотой опроса с быстрым захватом данных, инициированным сигналом запуска. Все эти режимы имеют небольшое время перезапуска. Например, для плат Spectrum M4i.44x это время составляет 40 периодов опроса (то есть 80 нс при частоте опроса 500 Мсэмпл/с). Такое разнообразие режимов сбора данных позволяет пользователю настроить дигитайзер для оптимального использования памяти в различных приложениях.

Передача цифровых данных

Одним из ключевых преимуществ дигитайзеров является возможность высокоскоростной передачи потока данных в компьютер для их дальнейшего анализа и сохранения. Дигитайзеры Spectrum в режиме FIFO (поточковый режим) способны непрерывно передавать данные из буферной памяти дигитайзера в компьютер. При использовании интерфейса PCI Express x8 Gen2 скорость потоковой передачи достигает 3,4 Гбайт/с.

Форм-фактор

Современные дигитайзеры производятся в разнообразных форм-факто-

рах и стандартах. Сегодня наиболее популярным из них является PCIe, традиционно используемый, когда размер имеет решающее значение и дигитайзер нужно устанавливать внутри ПК, или PXI. При создании крупных автоматизированных систем тестирования, включающих различные приборы, выбор для всех них общего форм-фактора значительно упрощает задачу интеграции.

Драйверы и программное обеспечение

Дигитайзеры Spectrum поставляются с драйверами для Windows (XP, Vista, Windows 7 и Windows 8 (32 бит и 64 бит), Linux (в комплекте предварительно скомпилированные модули ядер для наиболее распространённых дистрибутивов, таких как Red-Hat, Fedora, SUSE, Ubuntu или Debian. Поддержка Linux также включает в себя SMP, 32-битовые и 64-битовые системы. Имеются примеры программирования в Visual C ++, Borland C ++ Builder, Lab-окна/CVI, Borland Delphi, Visual Basic, VB.NET, C #, J # и IVI. Для тех, кто желает использовать программное обеспечение сторонних производителей, таких как LabVIEW1 или MATLAB1, поставляются драйверы и примеры для этих инструментальных пакетов.

На рис. 4 представлены типовая осциллограмма и диаграмма быстрого преобразования Фурье (БПФ) сигнала, полученные в результате опроса дигитайзером одного из каналов с использованием программного обеспечения Spectrum SBench 6.

Несмотря на то что большинство дигитайзеров работают под управлением пользовательского ПО, очень важно иметь ПО от производителя для прямого управления аппаратной частью, системной интеграции и тестирования оборудования. Компания Spectrum предлагает такую программу под названием SBench 6 (рис. 4). Данное ПО обладает большой гибкостью и может быть адаптировано в соответствии с вашими требованиями для обработки от одного до сотни каналов и синхронизации нескольких модулей. SBench 6 предлагает также мощные возможности измерений, анализа и различные функции обработки сигналов. В дополнение к визуализации оцифрованных данных (уровень звукового давления акустического щелчка) как курсор, так и измеренные параметры отображаются в соответствующих единицах уровня звукового давления (паскаль). Программа включает в себя возможности математической обработки сигналов,



НА ВЕРШИНЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ, УНИВЕРСАЛЬНОСТИ, НАДЕЖНОСТИ



- Встраиваемые 1/8/16-портовые KVM-консоли оператора
- Заказные компьютерные платформы для специальных применений
- Защищенные портативные рабочие станции для ответственных применений

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ АСМЕ



Тел.: (495) 234-0636 • Факс: (495) 234-0640 • info@prosoft.ru • www.prosoft.ru



Таблица 1

Зависимость шага квантования от разрешения дигитайзера

Разрешение	Идеальный динамический диапазон	Минимальный инкремент напряжения для сигнала с входным диапазоном ± 500 мВ
8 бит	256:1	3920 мкВ
10 бит	1024:1	980 мкВ
12 бит	4096:1	244 мкВ
14 бит	16384:1	61 мкВ
16 бит	65536:1	15 мкВ

а также выполнения сложных расчётов, таких как построение гистограмм и БПФ.

Дигитайзер или цифровой осциллограф?

Дигитайзеры имеют с цифровыми осциллографами много общего и поэтому логично спросить: «Какой из приборов лучше всего подходит для измерений в моём приложении?» Есть пять вопросов, которые вы должны задать себе, чтобы решить, что именно использовать.

1. Будете ли вы использовать прибор для устранения неполадок цепи, устройства или процесса, в ходе которых могут потребоваться анализ и обработка данных?

Дигитайзер является наиболее подходящим инструментом, если необходимо измерять, анализировать или обрабатывать данные. Тесная связь дигитайзера с компьютером делает его идеальным инструментом для сбора и обработки данных больших объёмов. С другой стороны, поиск и устранение неисправностей требует интерактивных возможностей визуализации, как у осциллографа.

2. Нужно ли вам обрабатывать несколько каналов в компактном форм-факторе и с минимальной мощностью потребления?

Несколько каналов на плате и несколько плат в системе, работающих синхронно, — это сильная сторона современных модульных дигитайзеров. Модульные платформы, такие как платы серии M4i Spectrum, позволяют наращивать число аналоговых или цифровых каналов, возможности по генерации эталонных аналоговых сигналов.

3. Требуется ли высокая производительность измерений?

Это ещё одна область, где модульные дигитайзеры смогли преуспеть. Модульные дигитайзеры на основе многополосной шины PCIe способны переда-

вать данные со скоростью до 3,4 Гбайт/с и позволяют легко и быстро обрабатывать их в компьютере.

4. Требуется ли обрабатывать полученные данные сторонним или пользовательским ПО?

Высокая пропускная способность и большая буферная память делают дигитайзеры отличным объектом интеграции для систем измерения с последующей программной обработкой данных.

5. Требуется ли вам обеспечить низкую стоимость владения?

Дигитайзеры обеспечивают самую низкую стоимость на один канал опроса, простоту использования, высокую скорость интеграции и надёжности.

Вывод

Надеемся, что когда вам потребуется в следующий раз собирать данные, вы рассмотрите в качестве инструмента модульный дигитайзер и воспользуетесь всеми преимуществами этого замечательного устройства.

ПРЕИМУЩЕСТВА ШИРОКОПОЛОСНЫХ ДИГАЙЗЕРОВ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

Двумя ключевыми характеристиками дигитайзеров являются пропускная способность и разрешение по амплитуде. Однако они взаимосвязаны: увеличение разрешения достигается за счёт снижения пропускной способности, поэтому для решения своих задач пользователи вынуждены идти на компромисс в выборе дигитайзера. В этом разделе обсуждаются преимущества и ограничения широкополосных дигитайзеров с разрешением больше 12 бит и пропускной способностью выше 20 МГц.

Разрешение и динамический диапазон

Дигитайзеры преобразовывают выборки аналогового сигнала в цифровые значения с использованием АЦП. Разрешение АЦП — это количество разрядов, используемых им для оцифровки входных выборок. Для N -разрядного АЦП количество дискретных цифровых уровней, которые могут быть реализованы, равно 2^N . Таким образом, 12-разрядный дигитайзер может обеспечить 2^{12} , или 4096 уровней квантования. Бит lsb (least significant bit — младший значащий бит) представляет собой наименьший интервал, который может быть распознан. Для 12-разрядного дигитайзера он составит $1/4096$, или $2,4 \times 10^{-4}$. Чтобы преобразовать lsb в вольты, возьмём входной диапазон дигитайзера и поделим его на 2^N , где N — разрешение дигитайзера. В табл. 1 показаны значения lsb для входного сигнала амплитудой в 1 В (± 500 мВ) при использовании дигитайзеров с разрешением от 8 до 16 бит. Разрешение определяет точность измерения. Чем больше разрешение дигитайзера, тем более точными будут значения измерений. Дигитайзер с 8-разрядным АЦП делит амплитудный диапазон входного усилителя на 256 дискретных уровней. При диапазоне в 1 В 8-разрядный АЦП не может идеально распознать изменение напряжения сигнала менее чем 3,92 мВ, в то время как 16-битовый АЦП с 65536 дискретными уровнями может без проблем зарегистрировать изменение величиной 15 мкВ.

Одна из сфер использования дигитайзера высокого разрешения — это измерение малых сигналов. Можно предположить, что для сигнала с минимальным входным уровнем мы могли бы ис-

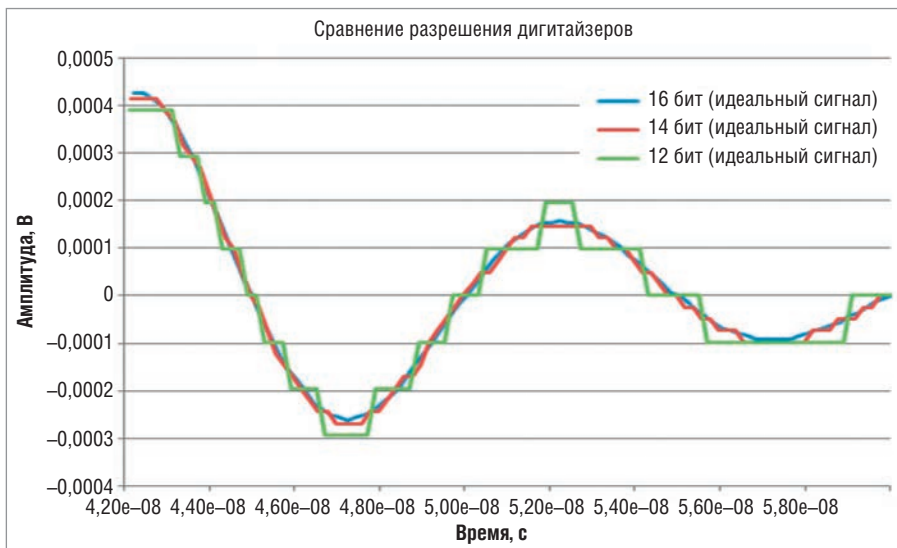


Рис. 5. Сравнение ошибки измерения для дигитайзеров с разным разрешением

пользовать более низкое разрешение прибора и меньший диапазон шкалы, предназначенной для измерения небольших напряжений. Однако в реальности во многих случаях в сигнале присутствуют компоненты как малых, так и больших величин. Таким образом, для измерения больших и малых составляющих напряжения требуется инструмент с высоким разрешением, имеющий большой динамический диапазон и способность одновременного измерения малых и больших сигналов.

Рассмотрим, как будет выглядеть сигнал после его обработки дигитайзерами с различным разрешением.

На рис. 5 сравниваются идеальные, с точки зрения отсутствия помех, затухающие синусоидальные волны амплитудой ± 200 мВ, полученные от 12-, 14- и 16-битовых дигитайзеров.

Выбранный сегмент находится близко к заключительной фазе сигнала и имеет малую амплитуду. 14- и 16-разрядные дигитайзеры имеют достаточное разрешение для точного отображения сигнала, а 12-разрядному дигитайзеру с разрешением 100 мкВ (с полной шкалой ± 200 мВ) уже не удастся распознать уровни менее 100 мкВ. С уменьшением амплитуды сигнала при любом разреше-

нии будут увеличиваться и ошибки чтения. Имейте в виду, что это идеальный случай, позже мы рассмотрим факторы, ограничивающие точность и надёжность измерений в реальных условиях.

Разрешение и частота дискретизации

Как упоминалось ранее, требуется компромисс между разрешением и максимальной частотой дискретизации, а следовательно, и пропускной способностью. Более высокое разрешение влечёт за собой снижение максимальной частоты дискретизации. Это ещё раз иллюстрирует рис. 3, где максимальная частота дискретизации нескольких конкурирующих моделей модульных дигитайзеров изображена как функция разрешения в битах. В 14- и 16-разрядных моделях Spectrum серии M4i эффективная частота дискретизации выше, чем у остальных.

Ограничения максимального разрешения

В системах на основе дигитайзеров существует несколько источников ошибок. В простейшем случае типы этих источников можно подразделить на шумы и искажения.

Искажения являются ошибками в полученном сигнале, напрямую связанными с измеряемым сигналом. Искажения не случайны и зависят от входного сигнала. Наиболее распространённой формой являются гармонические искажения. В их случае искажения появляются как составляющие, кратные входной частоте. Типичными источниками гармонического искажения являются нелинейность передаточной функции системы дигитайзера, включая насыщение, обрезку, ограничение нарастания скорости и другое. Конфигурации дигитайзеров с несколькими АЦП для достижения более высокой частоты дискретизации вносят значительные искажения на частоте выборки из-за рассогласования коэффициентов усиления и смещений АЦП. Это называется чередующимися искажениями.

Шумы. В отличие от искажения шум — это помеха, не связанная с входным сигналом. Шум может быть определён как любая часть ошибки сигнала, которая не является функцией входной частоты. Шум обычно делят на категории в зависимости от характера его распределения (то есть формы гистограммы ошибки) или формы шумового спектра.

WIND RIVER

VxWorks: 20 лет в космосе — полет нормальный!



Особенности и преимущества VxWorks:

- Настраиваемые домены защиты памяти
- «Жесткое» реальное время: переключение контекста/реакция на прерывание — единицы микросекунд
- Поддержка POSIX API
- Ресурсоемкость: ОЗУ/ПЗУ — сотни килобайт
- Поддержка многопроцессорности (SMP/AMP) и многоядерных процессоров
- Расширенная поддержка сетей TCP/IP (IPv4, IPv6)
- Функции управления энергопотреблением
- Мощный графический пакет Tilcon Graphics Suite
- Мощная интегрированная среда разработки на базе Eclipse
- Поддерживаемые процессоры: x86, ARM, MIPS, PowerPC, ColdFire
- Сертификация МЭК 15408 («Общие критерии») EAL 4/4+/6+, DO-178B уровень А, МЭК 61508 SIL 3, CENELEC EN 50128 и FDA 510(k)
- Открытый исходный текст, возможность построения ОС из исходных текстов

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ WIND RIVER

PROSOFT® 25 ЛЕТ

Москва Тел.: (495) 234-0636 • Факс: (495) 234-0640 • info@prosoft.ru • www.prosoft.ru
С.-Петербург Тел.: (812) 448-0444 • Факс: (812) 448-0339 • info@spb.prosoft.ru • www.prosoft.ru



Реклама

Если за основу классификации шума взять частоту, то шум, который равномерно распределяется по всем частотам, называется белым. Шум, который распределяется таким образом, что величина мощности шума на октаву яв-

ляется постоянной, называется розовым. Существует и много других разновидностей шумов.

Шум также характеризуется и гистограммой его распределения. Шум с нормальным распределением называет-

ся Гауссовым шумом. Существует множество источников Гауссовых шумов. Шум создается и в процессе квантования, как результат ошибки преобразования аналоговых напряжений в цифровые значения. Простейшие методы квантования производят равномерное распределение ошибки, являющееся белым шумом.

Шум возникает во всех электронных устройствах, и конструкторы делают всё возможное, чтобы уменьшить уровень шума, добавляемого к входному сигналу. Этап усиления сигнала в дигитайзере особенно способствует генерации шума и увеличению его уровня. Искажения и шумы ограничивают разрешение, которое, в принципе, может быть достигнуто дигитайзером. Шум, добавляя случайную составляющую каждому опрошенному значению, ограничивает возможности цифровых преобразователей по распознаванию малых значений амплитуды. Это показано на рис. 6, где сравниваются частотные диаграммы одного и того же затухающего сигнала синусоидальной формы, как и на рис. 5, с шумом по амплитуде и без него.

Аналогично частотной диаграмме, с добавлением и без добавления белого шума, на рис. 7 показана спектральная диаграмма затухающего синусоидального сигнала. Обратите внимание, что наличие спектрально «плоского» шума поднимает базовую линию спектра сигнала. Любые сигналы с амплитудой ниже шумового порога будут скрыты, существенно ограничивая динамический диапазон дигитайзера.

На рис. 8 показано влияние гармонических искажений на входной сигнал. В этом примере относительно большая третья гармоника (20%) изменяет форму оцифрованного сигнала. Как упоминалось ранее, искажения синхронно с источником сигнала добавляются в повторяющейся манере. Обычно гармонические искажения имеют гораздо более низкие уровни и не видны на временной диаграмме. Гармоники, как правило, выявляются на частотной диаграмме с помощью спектрального анализа на основе быстрого преобразования Фурье (БПФ). На рис. 9 изображена частотная диаграмма, на которой вы можете чётко увидеть третью гармонику. Наличие гармонических и других искажений может скрыть более мелкие спектральные отклонения, ограничивающие динамический диапазон дигитайзера. Одним из показателей спектральной чистоты выхода дигитайзера



Рис. 6. Идеальная частотная диаграмма затухающего сигнала синусоидальной формы и тот же сигнал с примесью шумов

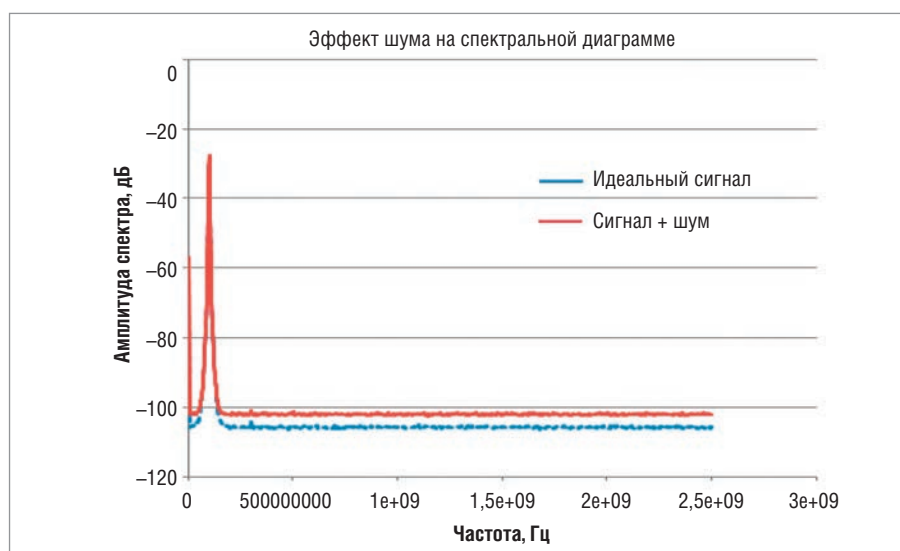


Рис. 7. Добавление белого Гауссового шума смещает базовую кривую пропорционально амплитуде шума

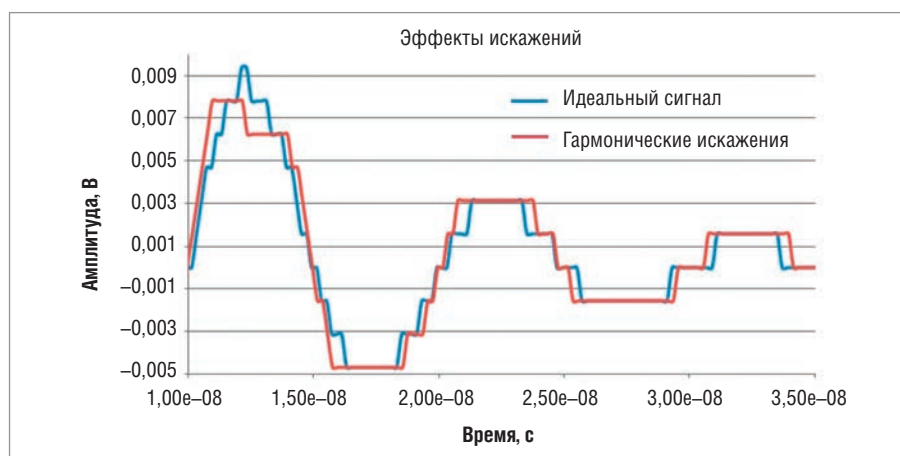


Рис. 8. Влияние гармонических искажений на оцифровываемый сигнал

Интернет вещей (IoT) — от концепции к реальности

Полностью законченное решение для ускорения внедрения IoT



Сверхкомпактные встраиваемые IoT Gateway-платформы



Серия MXE-200i

Процессор Intel Atom E3826

- > Поддержка Intel IoT Gateway
- > 2xMPCle для Wi-Fi/BT/3G
- > Соответствие EN 61000-6-4, 61000-6-2 для промышленных применений
- > Встроенное решение ADLINK SEMA Cloud



Серия MXE-100i

Процессор Intel Quark SoC X1021 со сверхнизким энергопотреблением



ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ ADLINK

МОСКВА Тел.: (495) 234-0636 • Факс: (495) 234-0640 • info@prosoft.ru • www.prosoft.ru
С.-ПЕТЕРБУРГ Тел.: (812) 448-0444 • Факс: (812) 448-0339 • info@spb.prosoft.ru • www.prosoft.ru
АЛМА-АТА Тел.: (727) 329-5121; 320-1959 • sales@kz.prosoft.ru • www.prosoft-kz.com
ВОЛГОГРАД Тел.: (8442) 260-048 • volgograd@prosoft.ru • www.prosoft.ru
ЕКАТЕРИНБУРГ Тел.: (343) 376-2820; 356-5111 • Факс: (343) 310-0106 • info@prosoftsystems.ru • www.prosoftsystems.ru
КАЗАНЬ Тел.: (843) 203-6020 • info@kzn.prosoft.ru • www.prosoft.ru
КИЕВ Тел.: +38 (044) 206-2343; 206-2478 • info@prosoft-ua.com • www.prosoft-ua.com
КРАСНОДАР Тел.: (861) 224-9513 • Факс: (861) 224-9513 • krasnodar@prosoft.ru • www.prosoft.ru
Н. НОВГОРОД n.novgorod@prosoft.ru • www.prosoft.ru
НОВОСИБИРСК Тел.: (383) 202-0960; 335-7001/7002 • Факс: (383) 230-2729 • info@nsk.prosoft.ru • www.prosoft.ru
ОМСК Тел.: (3812) 286-521 • Факс: (3812) 315-294 • omsk@prosoft.ru • www.prosoft.ru
САМАРА Тел.: (846) 277-9166 • Факс: (846) 277-9165 • info@samara.prosoft.ru • www.prosoft.ru
УФА Тел.: (347) 292-5216/5217 • Факс: (347) 292-5218 • info@ufa.prosoft.ru • www.prosoft.ru
ЧЕЛЯБИНСК Тел.: (351) 239-9360 • chelyabinsk@prosoft.ru • www.prosoft.ru

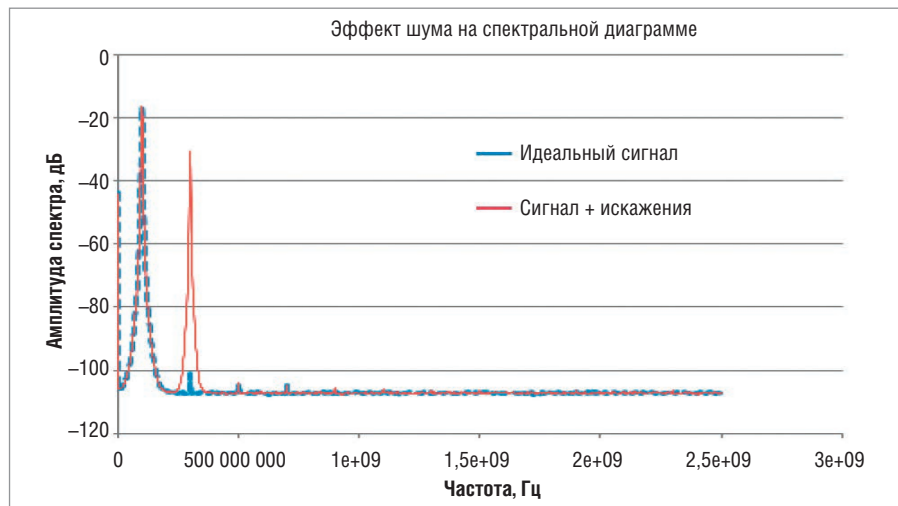


Рис. 9. Сравнение спектров сигнала неискажённой формы и сигнала с гармоническими искажениями

Таблица 2

Характеристики, объективно определяющие достоинства измерительной системы

Характеристика	Обозначение	Описание
Базовый шум	RMS	Уровень шума при отсутствии сигнала. Выражается в В
Суммарные гармонические искажения	THD	Отношение RMS суммы наиболее значительных гармоник сигнала к значению RMS основного сигнала. Выражается в дБ
Отношение сигнал/шум	SNR	Отношение амплитуды основного сигнала к RMS суммы всех других его спектральных компонентов, кроме искажения и ошибки смещения. Выражается в дБ
Отношение сигнал/шум+искажения	SINAD THD+N	Отношение амплитуды основного сигнала к RMS суммы всех других его спектральных компонентов, включая гармоники, за исключением составляющей постоянного тока. Выражается в дБ
Эффективное количество разрядов	ENOB	Количество разрядов дигитайзера, имеющего значение SINAD, как и система, в которой присутствует единственный источник шума в виде собственного шума квантования
Динамический диапазон, свободный от паразитных составляющих	SFDR	Отношение RMS амплитуды полезного сигнала к RMS следующей наибольшей гармоники. Выражается в дБ

является динамический диапазон, свободный от паразитных составляющих (SFDR, Spurious Free Dynamic Range). SFDR определяется как отношение среднеквадратичного значения (RMS-Root Mean Square) амплитуды полезного сигнала к среднеквадратичному значению следующей наибольшей спектральной составляющей на выходе (часто называемой паразитной, или побочной). Идеальный спектр, показанный на рис. 9, имеет SFDR около 81 дБ.

Минимизация эффектов шума и искажений

Минимизация воздействия искажений в первую очередь зависит от конструкции дигитайзера. Нелинейность, гармонические искажения и другие причины должны быть сведены к минимуму уже на этапе разработки. Пользователь, кроме контроля перегрузки дигитайзера, имеет мало возможностей для минимизации искажений и может лишь незначительно повлиять на минимизацию воздействия шума. Тем не менее, вот несколько простых советов.

1. Получите максимальный исследуемый сигнал в соответствии со входным диапазоном дигитайзера. Это создаст максимальное отношение сигнал–шум. Для дигитайзеров с несколькими диапазонами это сделать легче, но убедитесь, что шум не масштабировался вместе с входным затуханием. Используйте минимальную пропускную способность измерения в соответствии с приложением. Уровень шума пропорционален пропускной способности. Это может быть реализовано с помощью ограничения пропускной способности на входе или при помощи цифровой фильтрации.
2. Используйте усреднение сигнала, снижающее уровень шума пропорционально количеству усреднённых измерений. Однако имейте в виду, что эта методика требует повторяющегося сигнала и нескольких выборок.
3. Чтобы усилить сигнал и получить максимальную величину отношения сигнал/шум, для низкоуровневых

сигналов используйте внешние усилители с низким уровнем шума.
 4. Используйте надлежащее терминальное окончание в цепи прохождения сигнала. Для обеспечения широкой полосы пропускания правильным выбором является терминатор 50 Ом. Требуется терминирование сигнальной линии и дигитайзера.

Критерии качества для сравнения дигитайзеров по шумам и искажениям

Общие показатели качества, объективно определяющие достоинства измерительной системы, приведены в табл. 2. Все эти характеристики, кроме базового шума, основаны на анализе частотной диаграммы на выходе дигитайзера для синусоидального входного сигнала. Они определены в стандартах IEEE 1057 и IEEE 1241. Большинство производителей дигитайзеров указывают эти значения в описаниях своих изделий. При сравнении показателей качества убедитесь, что они приведены для одинаковых входной частоты и амплитуды сигнала, частоты дискретизации и полосы пропускания.

Приложения, требующие дигитайзеров с широким динамическим диапазоном

Приложениями, которым необходимы дигитайзеры с большим динамическим диапазоном и, следовательно, более высоким разрешением, являются те, в которых измеряемые сигналы включают в себя как высокие, так и низкие амплитудные составляющие. К ним относятся:

- эхолокация – измерения на основе отражённого эхо-сигнала, такие как радар, эхолот, лидар, УЗИ и рентгенография. В этих применениях мощный излучаемый импульс сопровождается более слабым обратным эхо и дигитайзер должен точно обрабатывать сигналы обеих амплитуд;
- измерения пульсаций требуют измерения высокоамплитудных сигналов с небольшими изменениями на вершине, при этом оба компонента сигнала должны быть учтены;
- анализ модуляции – сигналы с амплитудной модуляцией (AM, SSB, QAM и т.д.), имеющие большие амплитудные диапазоны;
- масс-спектрометрия – приложения, где существует необходимость обнаружения частиц, существенно отличающихся соотношением масса/за-

ОТКАЗОУСТОЙЧИВОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ



КЛЮЧЕВЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА

- «Нулевое» время простоя — обеспечение непрерывности работы приложений без потери данных и транзакций
- «Нулевое» администрирование — решение является простым в эксплуатации и не требует высоких затрат на обслуживание
- Предотвращение простоев, а не восстановление после сбоев
- Уровень доступности 99,999%, что соответствует 5,25 минуты простоя в год

AdvantiX Intellect FT BOX



SCADA

WWW.ADVANTIX-PC.RU

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ ADVANTIX

PROSOFT® 25 ЛЕТ

МОСКВА Тел.: (495) 234-0636 • Факс: (495) 234-0640 • info@prosoft.ru • www.prosoft.ru
С.-ПЕТЕРБУРГ Тел.: (812) 448-0444 • Факс: (812) 448-0339 • info@spb.prosoft.ru • www.prosoft.ru
ЕКАТЕРИНБУРГ Тел.: (343) 376-2820 • Факс: (343) 310-0106 • info@prosoftsystems.ru • www.prosoftsystems.ru





Рис. 10. Дигитайзер Spectrum серии M4i.44xx имеет разрешение до 16 бит и поддерживает скорость передачи данных до 3,4 Гбайт/с

- ряд, и где должна быть улучшена чувствительность масс-спектрометра;
- измерения фазы требуют измерения чрезвычайно малых изменений амплитуды для распознавания небольших фазовых девиаций;
- исследование распространения сигналов — измерение затухания сигнала, распространяющегося различными путями в различных средах, часто требует измерения значений амплитуд сигналов в очень широких пределах;
- тестирование компонентов применяется там, где требуется анализировать большие перепады напряжения или тока.

Пример измерения

В нашем примере используется дигитайзер Spectrum серии M4i.44xx (рис. 10). На рис. 11 показан пример измерения с использованием 14-разрядного дигитайзера Spectrum M4i.44xx. Значение его ENOB на частоте 10 МГц составляет

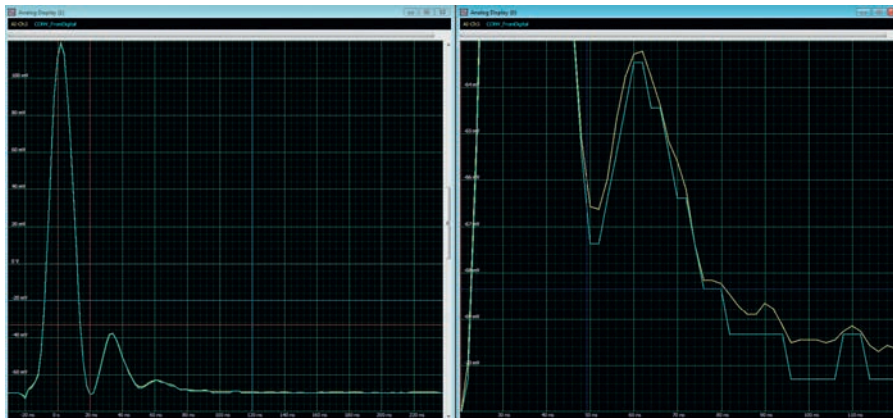


Рис. 11. Измерение с 11,6 (жёлтая линия) и 10 (синяя линия) эффективными разрядами: потеря детализации на синем графике вызвана недостатком разрешения

более 11,6 бит. Сравним это измерение с результатами моделирования данных дигитайзера, имеющего ENOB 10 разрядов. Представленные графические изображения получены с помощью программного обеспечения SBench Spectrum. На левом снимке приведены одновременно обе выборки, значения дигитайзера Spectrum показаны жёлтым цветом, другого — синим. Справа приведено то же самое изображение, увеличенное по вертикали и горизонтали. Обратите внимание, что синяя линия, ввиду более низкого разрешения, не отражает мелкие детали амплитуды.

Вывод

Разрядностью АЦП определяется лишь идеальное разрешение цифрового преобразователя. Это идеальное разрешение на практике ухудшается привнесёнными шумами и искажениями. Таким образом, реальное разрешение

является функцией базового шума, SNR, SINAD и ENOB. При выборе дигитайзера необходимо учитывать соответствие истинного разрешения дигитайзера задачам ваших измерений. Вы также должны иметь в виду, что аппаратные средства дигитайзера включают помимо АЦП и входные фильтры, средства усиления и преобразования сигнала, вносящие свой вклад в ухудшение разрешения. Учитывая все эти моменты, вы сможете выбрать дигитайзеры, наилучшим образом подходящие для вашей работы. ●

**Авторизованный перевод
Андрея Головастова,
сотрудника фирмы ПРОСОФТ
Телефон: (495) 234-0636
E-mail: info@prosoft.ru**

Продолжение статьи читайте в следующем номере журнала.

НОВОСТИ НОВОСТИ НОВОСТИ НОВОСТИ НОВОСТИ НОВОСТИ

Новая редакция Доктрины информационной безопасности Российской Федерации на «Инфофоруме-2016»

О необходимости создания новой редакции Доктрины информационной безопасности Российской Федерации Совет Безопасности Российской Федерации заявил ещё в прошлом «Инфофоруме-2015». Референт аппарата Совета Безопасности Российской Федерации Дмитрий Грибков в своём выступлении тогда отметил, что в сложившихся внешнеполитических условиях возросла потребность в поиске более эффективных мер и подходов к информационной безопасности, а анализ современных обстоятельств показывает, что действующий документ, принятый 15 лет назад, требует корректировки. Работа над обновлением Доктрины информационной безопасности Российской

Федерации активно велась в течение года. Основные положения проекта документа уже одобрены Межведомственной комиссией Совета Безопасности Российской Федерации по информационной безопасности. Принятие новой редакции Доктрины запланировано на 2016 год, и в настоящее время продолжается работа по обсуждению текста проекта с привлечением экспертного сообщества. Итоги проведённой работы и основные положения обновлённой редакции Доктрины информационной безопасности Российской Федерации будут представлены на Пленарном заседании «Инфофорума-2016», а их обсуждение продолжится в рамках тематиче-

ских сессий. Организаторы форума приглашают профессиональное сообщество присоединиться к этой дискуссии. **18-й Национальный форум информационной безопасности «Инфофорум-2016»** состоится в Москве 4–5 февраля в здании Правительства Москвы на Новом Арбате. Он открывает российский календарь ИТ-событий и обозначит основные направления развития отрасли информационной безопасности в 2016 году. «Инфофорум» соберёт более 1,5 тысячи специалистов практически из всех регионов РФ. В программе форума 15 тематических заседаний, в рамках которых пройдут дискуссии, посвящённые самым острым вопросам обеспечения ИБ, мастер-классы от лидеров отрасли, выставочная экспозиция. Регистрация участников и подробная информация — на сайте мероприятия. ●



WLAN проходит без помех

Clear Space® — запатентованная технология получения чистого сигнала в шумных средах



Серия Hirschmann OpenBAT

Беспроводное оборудование стандарта IEEE 802.11n (Wi-Fi)

- 1 или 2 радиомодуля IEEE 802.11a/b/g/h/n
- Скорость передачи до 450 Мбит/с
- Технологии MIMO 3x3, MESH, WDS
- -40...+75°C, конформное покрытие
- Внутреннее и внешнее исполнение IP40/IP67

Вся необходимая инфраструктура:

BAT-C – простой и компактный клиент сети

Антенны, кабели, грозозащита

BAT-Controller – аппаратный централизованный контроллер точек доступа

BAT-Planner – ПО для расчета зон покрытия и скоростей передачи на плане объекта



ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ HIRSCHMANN

- | | |
|---------------------|--|
| МОСКВА | Тел.: (495) 234-0636 • Факс: (495) 234-0640 • info@prosoft.ru • www.prosoft.ru |
| С.-ПЕТЕРБУРГ | Тел.: (812) 448-0444 • Факс: (812) 448-0339 • info@spb.prosoft.ru • www.prosoft.ru |
| АЛМА-АТА | Тел.: (727) 329-5121; 320-1959 • sales@kz.prosoft.ru • www.prosoft-kz.com |
| ВОЛГОГРАД | Тел.: (8442) 260-048 • volgograd@prosoft.ru • www.prosoft.ru |
| ЕКАТЕРИНБУРГ | Тел.: (343) 376-2820; 356-5111 • Факс: (343) 310-0106 • info@prosoftsystems.ru • www.prosoftsystems.ru |
| КАЗАНЬ | Тел.: (843) 203-6020 • info@kzn.prosoft.ru • www.prosoft.ru |
| КIEB | Тел.: +38 (044) 206-2343; 206-2478 • info@prosoft-ua.com • www.prosoft-ua.com |
| КРАСНОДАР | Тел.: (861) 224-9513 • Факс: (861) 224-9513 • krasnodar@prosoft.ru • www.prosoft.ru |
| Н. НОВГОРОД | n.novgorod@prosoft.ru • www.prosoft.ru |
| НОВОСИБИРСК | Тел.: (383) 202-0960; 335-7001/7002 • Факс: (383) 230-2729 • info@nsk.prosoft.ru • www.prosoft.ru |
| ОМСК | Тел.: (3812) 286-521 • Факс: (3812) 315-294 • omsk@prosoft.ru • www.prosoft.ru |
| САМАРА | Тел.: (846) 277-9166 • Факс: (846) 277-9165 • info@samara.prosoft.ru • www.prosoft.ru |
| УФА | Тел.: (347) 292-5216/5217 • Факс: (347) 292-5218 • info@ufa.prosoft.ru • www.prosoft.ru |
| ЧЕЛЯБИНСК | Тел.: (351) 239-9360 • chelyabinsk@prosoft.ru • www.prosoft.ru |