

ДИСКРЕТИЗАЦИЯ В ЦИФРОВОМ ОСЦИЛЛОГРАФЕ

SAMPLING IN THE DIGITAL OSCILLOSCOPE

Шумский И.А. (I. Shumskiy), к.т.н.

Мы продолжаем цикл статей об основных принципах выбора цифрового осциллографа для ваших задач. В этой статье мы уделим внимание главным характеристикам цифрового осциллографа — режиму, разрядности и частоте дискретизации, и как это влияет на результаты измерений.

В современной осциллографической технике существуют два основных вида оцифровки аналоговых данных: оцифровка в реальном времени и оцифровка в режиме стробоскопа.

ОЦИФРОВКА В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

Оцифровка в реальном времени — это основной тип оцифровки аналоговых сигналов в осциллографии, позволяющий работать с любыми сигналами, как периодическими, так и непериодическими, в том числе одиночными.

Аналоговый сигнал поступает на аналогово-цифровые преобразователи (АЦП) в реальном времени, оцифровка (получение выборок) проходит также в реальном времени, оцифрованный сигнал в реальном времени заполняет буферную память прибора (рис. 1). Временное разрешение (интервал дискретизации) такого осциллографа равно величине, обратной частоте оцифровки используемого АЦП.

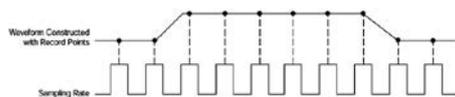


Рис. 1. Схема получения выборок при оцифровке входного сигнала в режиме реального времени

Полученные точки оцифрованного сигнала для отображения на экране цифрового запоминающего осциллографа (ЦЗО) обычно соединяются между собой с помощью программного или аппаратного интерполятора. Наиболее часто используемой функцией для интерполяции выборок осциллографа является функция $\sin(x)/x$, хотя иногда используют линейную интерполяцию или другую. Подробнее об этом можно прочитать в статье «Интерполяция в цифровой осциллографии», Афонский А.А., Суханов Е.В., КИПиС, 2010 г., № 5).

Оцифровка в реальном времени требует от производителя осциллографов наличия быстрых АЦП (частоты дискретизации современных осциллографов подчас достигают сотен гигагерц), быстрой и длинной

цифровой памяти, которую надо заполнять со скоростью дискретизации, а также быстрых интерфейсов передачи данных между отдельными блоками устройств (например, из АЦП в память). Это требует использования, как правило, высокотехнологичных и дорогих комплектующих (микропроцессоров, схем памяти и АЦП), самые продвинутые из которых, могут даже являться объектами экспортных ограничений международной торговли. Все эти факторы довольно долго определяли как относительно узкий круг производителей, освоивших эти технологии, так и высокую цену цифровых осциллографов.

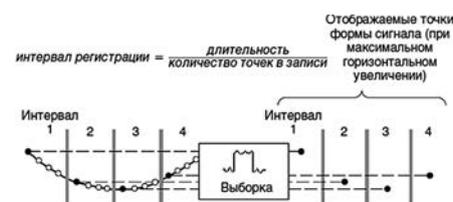


Рис. 2. Режим Sample (Выборка)

В настоящее время, скоростные АЦП, обеспечивающие скорость оцифровки на уровне 1 гигабитов в секунду и более, а также схемы памяти кардинально подешевели, что существенно расширило предложение на рынке и сделало цены на ЦЗО доступными широкому кругу пользователей. При этом производители, все равно «выжимают» из доступной элементной базы максимум возможного. Например, во многих осциллографах, АЦП, установленные на каждом аналоговом канале осциллографа, могут объединяться при работе в одноканальном режиме. Сигнал в этом режиме подается сразу на все



Рис. 3. Регистрация зашумленного сигнала осциллографом АКТАКОМ ADS-6122H в режиме «выборка», часть присутствующих в сигнале выбросов высокой амплитуды не фиксируются

АЦП одновременно, проводя поочередную оцифровку входного сигнала на максимальных частотах каждого АЦП, но сдвинутых по фазе. Оцифрованный сигнал затем «сшивается» из собранных сегментов в единый массив и отображается на экране осциллографа. Это дает увеличение скорости оцифровки (в зависимости от числа задействованных АЦП) в 2 или 4 раза выше скорости работы каждого отдельного АЦП канала. Для пользователя эти особенности архитектуры прибора могут означать, что заявляемая производителем в рекламе максимальная частота дискретизации будет достигаться только в одноканальном режиме, а при одновременной работе нескольких каналов будет пропорционально уменьшаться (это может также касаться и длины доступной буферной памяти).

РЕЖИМЫ ОЦИФРОВКИ ДАННЫХ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

В большинстве современных цифровых осциллографов в режиме реального времени АЦП работают на максимальной частоте дискретизации независимо от выбранной пользователем развертки. Т.к. буферная память осциллографа имеет ограниченную длину, то на длинных горизонтальных развертках на каждый интервал регистрации (одно место в буферной памяти) приходится несколько



Рис. 4. Режим Peak Detect (Пиковая детекция)

выборок, собранных на максимальной скорости АЦП. Таким образом, на длинных развертках оцифрованные точки (выборки) перед переносом в память необходимо прореживать. Это можно делать разными способами, получая разные полезные режимы сбора данных.

В режиме Sample (Выборка) сохраняется первая точка выборки из каждого интервала регистрации (рис. 2). Это обычный режим сбора данных, присутствующий во всех осциллографах (рис. 3).

Режим Peak Detect (Пиковая детекция) использует самые высокие и самые низкие точки выборки в двух последовательных интервалах регистрации (рис. 4). Этот режим полезен для выявления высокочастотных

всплесков (глитчей) даже при использовании медленной развертки. Данный режим реализуют не все производители осциллографов, однако его можно найти практически во всех моделях ЦЗО TEKTRONIX, а также в большинстве моделей ЦЗО АКТАКОМ и RIGOL (рис. 5).

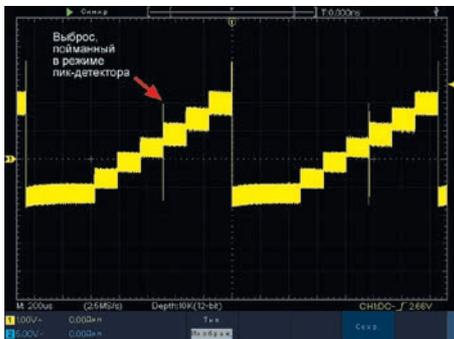


Рис. 5. Регистрация зашумленного сигнала осциллографом АКТАКОМ ADS-6122Н в режиме «пик-детектора», зафиксированы выбросы высокой амплитуды и повышенный уровень ВЧ-шумов

Режим пик-детектора также позволяет эффективно бороться с отображением на экране цифрового осциллографа так называемых ложных частот, возникающих при использовании длинных горизонтальных разверток из-за биения близких частот измеряемого сигнала и частоты дискретизации.



Рис. 6. Режим Envelope (Огибающая)

Регистрация в режиме Envelope (Огибающая) находит самую верхнюю и самую нижнюю точки записи во множестве циклов регистрации (рис. 6). В режиме записи огибающей для каждого цикла регистрации используется пиковая детекция. Этот режим дает представление об уровне шумов (включая высокочастотные) в сигнале даже на медленных развертках.



Рис. 7. Режим Average (Усреднение)

Регистрация в режиме Average (Усреднение) вычисляет среднее значение для каждой точки записи по множеству циклов регистрации. При усреднении для каждого цикла регистрации используется режим выборки (рис. 7). Режим усреднения используется для уменьшения случайных шумов и подходит только для повторяющихся событий (рис. 8).

Режим Hi Res (Высокое разрешение) вычисляет среднее значение для всех отсчетов в каждом интервале регистрации (рис. 9). По сути это реализация одного из методов усреднения данных, который можно использовать для анализа однократных



Рис. 8. Режим усреднения 256 осциллограмм в осциллографе RIGOL DS2102A помогает подавить шум в сигнале, но он требует строго повторяющегося сигнала

событий (рис. 10). Режим высокого разрешения позволяет получать осциллограммы с более высоким разрешением (и меньшей шириной полосы частот сигнала) и реально создает альтернативу решениям, использующим АЦП с большим, чем 8 бит, разрешением по вертикали. Производители нередко указывают, что в данном режиме эффективное вертикальное разрешение поднимается с 8 до 11 или даже 12 бит.

ОЦИФРОВКА В РЕЖИМЕ СТРОБОСКОПА

Оцифровка сигнала в режиме стробоскопа (другое название — режим эквивалентного времени) — это достаточно старый способ оцифровки высокочастотного аналогового сигнала, появившийся в эпоху, когда не было скоростных АЦП. Стробоскопический сбор данных — это оцифровка не в реальном времени, он применяется для повторяющихся сигналов, что является важнейшим условием его применимости.



Рис. 9. Режим Hi Res (Высокое разрешение)

При стробоскопическом способе оцифровка высокочастотного сигнала происходит относительно медленным АЦП, но не за один проход (как в реальном времени), а за несколько проходов (подчас, сотен или даже тысяч). И, для оцифровки сигнала требуется соответственно несколько сотен или тысяч периодов его повторения.

Каждый проход (серия оцифровки АЦП) происходит с временным сдвигом относительно предыдущего прохода, таким образом, что после достаточного количества проходов будет оцифрован весь повторяющийся элемент сигнала (рис. 11).

Следует иметь в виду, что в режиме стробоскопа точки оцифровки сигнала регистрируются не последовательно, а в разной, и поэтому на экране они предстают не соединенными в общую линию, а отдельно, так как в этом случае интерpolator обычно не используется (рис. 12).

Стробоскопический метод оцифровки сигнала может иметь очень высокое временное разрешение (единицы пикосекунд и даже фемтосекунды), определяемое отношением периода повторяющегося оцифрованного сигнала к количеству собранных точек, что на несколько порядков лучше, чем у метода реального времени. Обратная величина от временного разрешения называется эквивалентной частотой дискретизации. Типичные значения эквивалентной частоты дискретизации лежат в диапазоне от десятков гигавыборок в секунду (Гвыб/с) для самых младших моделей осциллографов до десятков теравыборок/с (Твыб/с) для старших моделей.



Рис. 10. Режим Hi-Res в осциллографе RIGOL DS2102A помогает подавить шум в сигнале даже при однократном захвате

Стробоскопический режим наиболее часто применяется для анализа фронтов повторяющихся сигналов, а также для построения «глазковых» диаграмм связанных сигналов для анализа качества прохождения цифрового сигнала в линии связи (рис. 13).

ВЫБОР РАЗРЯДНОСТИ АЦП

Большинство современных цифровых осциллографов осуществляют преобразование аналогового электрического сигнала в цифровой вид (оцифровку) с помощью 8-битного АЦП. В этом случае оцифрованный

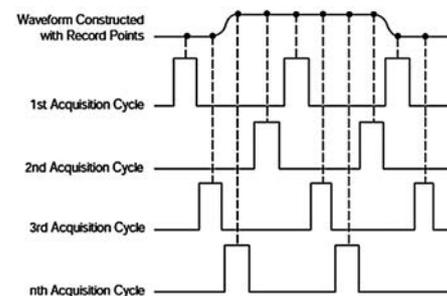


Рис. 11. Схема выборок при оцифровке периодического сигнала стробоскопическим способом

сигнал будет иметь 256 уровней амплитуды (2 в степени 8). Такого вертикального разрешения, как правило, достаточно для отображения всех необходимых элементов сигнала на экране осциллографа (который редко имеет более 600 пикселей по вертикали).

В последнее время ряд производителей предлагает цифровые осциллогра-

НОВОСТИ на www.kipis.ru

**ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРИБОРАМИ,
РЕГИСТРАЦИИ ДАННЫХ
И АВТОМАТИЗАЦИИ ИЗМЕРЕНИЙ**

Компания Keysight Technologies объявила о выпуске новой версии своего популярного программного обеспечения BenchVue — интуитивного и простого в обращении приложения для ПК. ПО BenchVue может работать с несколькими приборами, одновременно управляя измерениями и захватом данных без программирования самих измерительных приборов.

Новое ПО BenchVue 3.5 компании Keysight позволяет существенно упростить и ускорить решение повседневных задач за счет повышения степени автоматизации базовых измерений.

С помощью приложения Test Flow, входящего в состав ПО BenchVue, пользователи могут за считанные минуты создавать автоматические тестовые последовательности, не прибегая к традиционному программированию приборов. Это приложение объединяет средства захвата и анализа данных ПО BenchVue с мощностью секвенсора. ПО BenchVue 3.5 поддерживает переменные, математические функции, а также интеграцию с ПО Command Expert при необходимости программирования измерительных приборов и создания собственных тестовых последовательностей.

Кроме того, ПО BenchVue 3.5 содержит новые приложения, которые поддерживают генераторы сигналов, универсальные частотомеры и ручные анализаторы серии FieldFox компании Keysight.

При подключении измерительного прибора к ПК через локальную сеть (LAN), GPIB или USB, прибор автоматически настраивается для работы с ПО BenchVue. Не требуется никакого программирования или установки драйверов, что существенно ускоряет процессы тестирования. Захват и экспорт данных выполняется несколькими щелчками мыши.

- Основные возможности BenchVue:
- Расширяемые приложения, поддерживающие управление приборами с функцией автоконфигурирования (plug and play);
 - Регистрация данных таких приборов, как цифровые мультиметры, осциллографы, источники питания и анализаторы FieldFox;
 - Быстрое создание автоматических тестов и анализ данных;
 - Простой экспорт в широко распространенные форматы данных, такие как .csv, MATLAB, Microsoft Word и Microsoft Excel.

www.keysight.com

фы с увеличенной разрядностью АЦП (например, 10, 12 и даже 14 бит), что предполагает повышенное разрешение и точность по вертикали.

Как видно из рис. 14, осциллограф с 12-битным разрешением позволяет увидеть больше деталей собранного сигнала, чем 8-битный (правда для этого надо использовать экранную лупу прибора — зум).

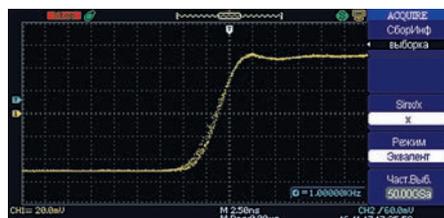


Рис. 12. Отображение фронта сигнала осциллографом АКТАКОМ АОС-5102 в режиме эквивалентного времени (стробоскопа)

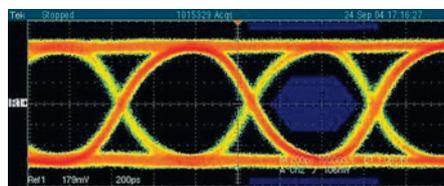


Рис. 13. Глазковая диаграмма, построенная для анализа качества элемента цифрового видеосигнала

При этом нужно понимать, что разрядность АЦП — это далеко не единственный фактор, определяющий вертикальную точность, разрешение и чувствительность осциллографа. Существенное влияние на вертикальную точность осциллографа оказывают:

- нелинейность каскадов осциллографа;
- ошибки схем генератора смещения прибора;
- неточность коэффициента усиления;
- искажения (гармонические и нелинейные);
- фазовый шум (джиттер) и случайный шум и проч.

Последний фактор (шум) особенно сильно влияет на разрешение по вертикали, кардинально (в разы) возрастая по мере увеличения полосы пропускания осциллографа и частоты анализируемого сигнала. Т.е. если амплитуда шума в сигнале превышает вертикальное разрешение АЦП на выбранной вертикальной развертке, то это, очевидно, снижает реальное вертикальное разрешение всего прибора, т.к. все мелкие детали сигнала маскируются шумовой дорожкой.

Чтобы оценить влияние всех этих факторов на реальное вертикальное разрешение ввели такой параметр как ENOB (Effective Number Of Bits) «эффективную битность преобразования АЦП». ENOB сильно зависит от частоты измеряемого сигнала и на реальных сигналах может быть заметно ниже, заявленной в спецификации, битности АЦП.

ENOB сильно снижается при увеличении полосы пропускания осциллографа и частоты исследуемого сигнала. Это иллюстрирует выдержка из спецификации цифрового осциллографа ТЕКТРОНИХ DPO7254 (рис. 15), который имея максимальную полосу пропускания 2,5 ГГц, снабжен функцией

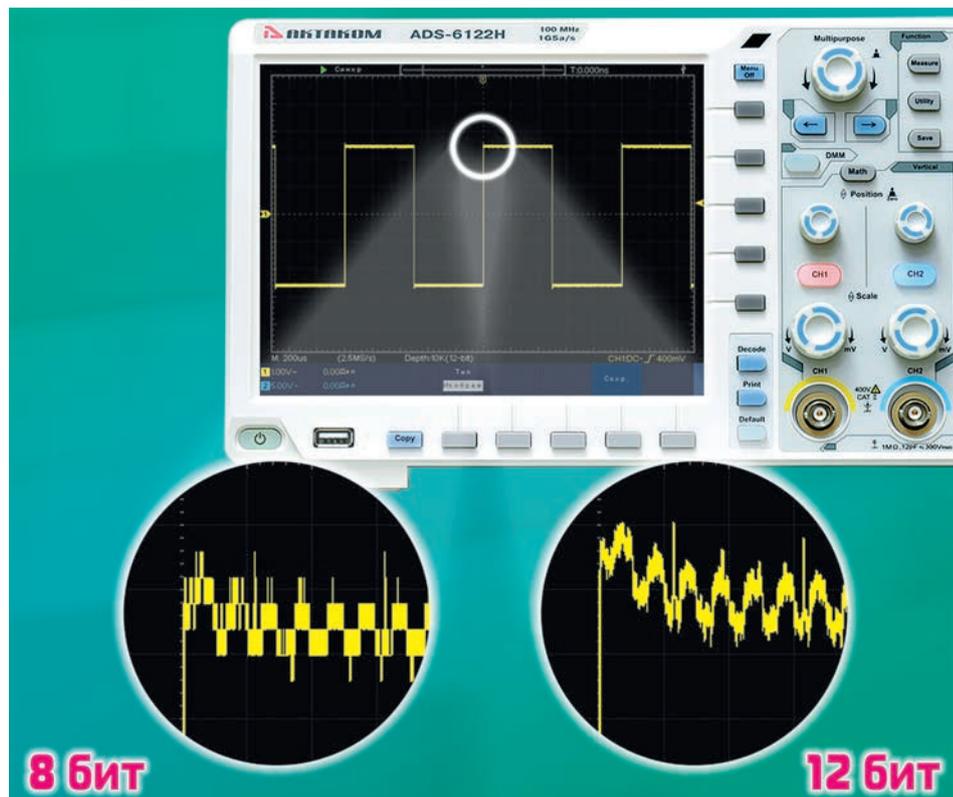


Рис. 14. Цифровой осциллограф АКТАКОМ ADS-6122H с вертикальным разрешением 12-бит

управления полосой пропускания, позволяющей произвольно снижать этот параметр.

Как видно из этой спецификации, для сигнала 510 МГц на максимальной входной полосе пропускания 2,5 ГГц ENOB составляет 6,1 бит, при уменьшении полосы пропускания в ряду 2,5 ГГц -> 2 ГГц -> 1 ГГц -> 0,5 ГГц ENOB увеличивается 6,1 бит -> 6,3 бит -> 6,9 бит -> 7,2 бит. Таким образом, чем больше полоса пропускания осциллографа, тем ниже ENOB для одного и того же сигнала, т.к. больше уровень проникших в канал осциллографа ВЧ-шумов, который осциллографы с меньшей полосой пропускания просто не пропускают (фильтруют входными каскадами).

40 GS/s	Analog bandwidth setting			
Input Frequency	2,5 GHz	2,0 GHz	1,0 GHz	0,5 GHz
10 MHz	6,2 bits	6,4 bits	6,9 bits	7,2 bits
510 MHz	6,1 bits	6,3 bits	6,9 bits	7,2 bits
1010 MHz	5,9 bits	6,1 bits	6,9 bits	
1510 MHz	6,1 bits	6,4 bits		
2010 MHz	6,1 bits	6,3 bits		
2510 MHz	5,6 bits			

20 GS/s	Analog bandwidth setting			
Input Frequency	2,5 GHz	2,0 GHz	1,0 GHz	0,5 GHz
10 MHz	6,1 bits	6,3 bits	6,8 bits	7,1 bits
510 MHz	6,1 bits	6,3 bits	6,8 bits	7,1 bits
1010 MHz	5,8 bits	6,3 bits	6,8 bits	
1510 MHz	6,0 bits	6,3 bits		
2010 MHz	6,1 bits	6,3 bits		
2510 MHz	5,6 bits			

10 GS/s	Analog bandwidth setting			
Input Frequency	2,5 GHz	2,0 GHz	1,0 GHz	0,5 GHz
10 MHz	6,1 bits	6,4 bits	6,9 bits	7,2 bits
510 MHz	6,1 bits	6,3 bits	6,9 bits	7,2 bits
1010 MHz	5,7 bits	6,1 bits	6,9 bits	
1510 MHz	5,9 bits	6,4 bits		
2010 MHz	6,0 bits	6,3 bits		
2510 MHz	5,5 bits			

Рис. 15. Выдержка из спецификации 8-битного ЦЗО ТЕКТРОНИХ DPO7254С

Отсюда виден способ повышения ENOB — использование ВЧ-фильтров, отсекающих ненужные ВЧ-шумы, ухудшающих вертикальное разрешение.

Очень эффективно улучшают эффективное вертикальное разрешение осциллографа и разные методы усреднения собранных данных, которые также помогают подавить случайные шумы в сигнале (см. описанный выше режим Hi-Res).

Также следует учитывать, что практически любой пассивный пробник настолько сильно «хватает» наводки и шумы, что при его использовании независимо от типа осциллографа ENOB снижается до 7 бит.

На частотах выше нескольких гигагерц разница между 8-битным и 10- или 12-битным осциллографом заметно снижается. К примеру, 10-битный осциллограф LeCroy HDO9404 с полосой пропускания 4 ГГц на сигнале частотой 2 ГГц согласно спецификации обеспечивает ENOB, равной 6,8 бит, т.е. падает более, чем на 3 бита по сравнению с исходными 12 битами АЦП, тогда как 8-битный осциллограф ТЕКТРОНИХ DPO70404С с той

же полосой пропускания 4 ГГц на таком же сигнале обеспечивает ENOB на уровне 5,8 бит, т.е. изначальная разница в 2 бита на высоких частотах превращается всего в 1 бит, а вертикальное разрешение становится лучше не в 4 раза (2 бита) а всего лишь в два (1 бит).

Таким образом, повышение вертикального разрешения и точности для 10- или 12-битных осциллографов по сравнению с 8-битовыми остается существенным только для относительно низкочастотных сигналов. Это обязательно надо брать в расчет при выборе осциллографа для Вашей задачи.

КАК ОПРЕДЕЛИТЬ НЕОБХОДИМУЮ ЧАСТОТУ ДИСКРЕТИЗАЦИИ?

Для задач, связанных с изменением однократных или переходных процессов, частота дискретизации имеет первостепенное значение. Более высокая частота дискретизации определяет более широкую полосу пропускания для однократных сигналов и дает большее временное разрешение для измерений, выполняемых на цифровом осциллографе.

Хотя даже бюджетные цифровые осциллографы в настоящее время достигли значений частоты дискретизации на уровне 1 ГГц (1 миллиарда выборок в секунду) и более, но для точной реконструкции сигнала важно не столько абсолютная частота дискретизации, а то, насколько она достаточна для использованной полосы пропускания (т.е. для макси-

мальных частот сигнала, подвергаемых оцифровке).

На этот вопрос дает ответ известная всем производителям цифровых осциллографов теорема Котельникова (см. врезку).



Рис. 16. Измерение скорости нарастания фронта тестового сигнала (исходное значение 6 нс) осциллографом RIGOL DS1074Z в режиме линейного интерполятора (sin(x)/x выключен); результаты измерения дают заметную ошибку — 7,9 нс

Теорема Котельникова дает граничное условие для соотношения между частотой оцифровки и максимальной частотой, содержащейся в сигнале (это отношение называется передискретизацией) не ниже 2:1. На практике большинство производителей цифровых осциллографов используют отношение между частотой дискретизации и полосой пропускания осциллографа на уровне не хуже 2,5:1 (если есть интерполяция sin(x)/x) или 10:1 (линейная интерполяция) для предотвращения искажения сигнала.

Указанная в спецификации производителей ЦЗО частота дискретизации

Теорема Котельникова

Принципиально важным теоретически и практически является вопрос о выборе числа отсчетов сигнала для его преобразования в цифровую форму и дальнейшего восстановления сигнала по его отсчетам. Как часто надо делать равномерные выборки произвольного сигнала, чтобы после преобразования в цифровую форму, а затем снова в аналоговую была сохранена форма сигнала? Ответ на этот важный вопрос дает теорема об отсчетах или теорема Котельникова (за рубежом именуемая также теоремой Найквиста, теоремой об отсчетах и т.д.): «Если спектр сигнала $e(t)$ ограничен высшей частотой f_B , то он без потери информации может быть представлен дискретными отсчетами с числом, равным $2 \times f_B$ ». При этом сигнал восстанавливается по его отсчетам $e(k \times dt)$, следующим с интервалом времени $dt=1/f_B$, с помощью фильтра, реализующего восстановление по формуле:



Для восстановления непрерывного сигнала по его выборкам достаточно располагать функцией $\text{sinc}(t)=\sin(t)/t$ с учетом ее особого значения $\text{sinc}(t)=1$ при $x=0$. Рисунок показывает пример дискретизации некоторого сигнала (нарастающая, а затем спадающая экспоненты) с периодом квантования dt и затем восстановления сигнала по выражению (1). Несмотря на малое число отсчетов (их 11) восстановленная форма сигнала весьма близка к форме исходного сигнала. Источник: Энциклопедия измерений (www.kipis.ru/info)

$$e(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} e(k \cdot dt) \frac{\sin(\pi(t - k \cdot dt) / dt)}{\pi(t - k \cdot dt) / dt} \quad (1)$$

Для восстановления непрерывного сигнала по его выборкам достаточно располагать функцией $\text{sinc}(t)=\sin(t)/t$ с учетом ее особого значения $\text{sinc}(t)=1$ при $x=0$.



может относиться к производительности только одного канала. В некоторых осциллографах при включении нескольких каналов одновременно частота дискретизации в каждом канале и величина передискретизации пропорционально уменьшается. Это увеличивает вероятность появления искаженных сигналов, если учитывать зависимость между частотой дискретизации и полосой пропускания для однократных сигналов.

Использование той или иной функции интерполятора важно, когда величина передискретизации недостаточна (хуже, чем 10:1). В этом случае считается, что линейная интерполяция дает более точные амплитудные измерения параметров реального сигнала, а интерполятор $\sin(x)/x$ обеспечивает более точные измерения временных параметров сигнала. Последнее иллюстрирует результаты измерения фронта прямоугольного импульса в двух режимах интерполяции, представленные на рис. 16 и рис. 17.

Подводя итог, следует заметить, что для обоснованного выбора цифрового запоминающего осциллографа с точки зрения реализованной в нем системы дискретизации сигнала необходимо



Рис. 17. Измерение скорости нарастания фронта тестового сигнала (исходное значение 6 нс) осциллографом RIGOL DS1074Z в режиме интерполятора $\sin(x)/x$; результаты измерения дают близкое к исходному значению величину – 6,1 нс

точно представлять себе базовые параметры сигнала, который планируется на нем анализировать. Необходимо представлять, каков его спектральный состав и максимальные полезные частоты, которые необходимо наблюдать, какая понадобится передискретизация, и вид интерполяции для работы, какой уровень шума и возможные виды помех, какие измерения и с каким разрешением планируется произвести и т.д.

Так, например:

- переключать за 12 битный осциллограф для работы с сильно зашумлен-

ным высокочастотным сигналом явно не имеет смысла;

- для отлавливания редких импульсных выбросов в разрабатываемой электронной схеме очень пригодится прибор с режимом пик-детектора;
- для измерения шумов и выбросов (например, для оценки качества источников постоянного напряжения) будет весьма полезен режим огибающей сигнала по накопленным осциллограммам и т.д.

В таблице 1 представлена сводная информация о параметрах систем дискретизации некоторых представленных на рынке осциллографов с наиболее популярной на рынке полосой пропускания 100 МГц. ☑

We keep on publishing a series of articles devoted to the main principles of choosing a digital oscilloscope for your measurement tasks. In the current article we would like to draw your attention to the sampling as the main characteristic of digital oscilloscopes, namely how the mode, number of digits and sampling rate affect the measurement results.

Таблица 1

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ДИСКРЕТИЗАЦИИ НЕКОТОРЫХ ОСЦИЛЛОГРАФОВ С ПОЛОСой ПРОПУСКАНИЯ 100 МГц

Модель	АЦП, бит	Аналоговых каналов	Макс. частота дискретизации	Макс. частота дискретизации (все каналы)	Передискретизация (1 канал/ все каналы)	Строб. режим	Пик-детектор	Усреднение осциллограмм (макс)	Hi-Res	Режим огибающей	Интерполятор Sin(x)/x линейная
АКТАКОМ											
ADS-2182	8	2	1 Гвыб/с	500 Мвыб/с	10:1 / 5:1	-	+	2...128	-	-	+
ADS-2108	8	2	1 Гвыб/с	1 Гвыб/с	10:1	-	+	2...128	-	-	+
AOC-5102/5104	8	2/4	2 Гвыб/с	1 Гвыб/с	20:1 / 10:1	50 Гвыб/с	+	2...256	-	-	+
ADS-2102(M)	8	2	1 Гвыб/с	500 Мвыб/с	10:1 / 5:1	50 Гвыб/с	+	2...256	-	-	+
ADS-2124T	8	4	2 Гвыб/с	1 Гвыб/с	20:1 / 10:1	-	+	2...512	-	-	+
ADS-2114T	8	4	1 Гвыб/с	500 Мвыб/с	10:1 / 5:1	-	+	2...512	-	-	+
ADS-2121M(V)	8	2	2 Гвыб/с	1 Гвыб/с	20:1 / 10:1	-	+	2...128	-	-	+
ADS-2111M(V)	8	2	1 Гвыб/с	500 Мвыб/с	10:1 / 5:1	-	+	2...128	-	-	+
ADS-6122	8	2	1 Гвыб/с	500 Мвыб/с	10:1 / 5:1	-	+	2...128	-	-	+
ADS-6122H	12	2	1 Гвыб/с	500 Мвыб/с	10:1 / 5:1	-	+	2...128	-	-	+
ADS-4132D	8	2	1 Гвыб/с	500 Мвыб/с	10:1 / 5:1	-	+	2...256	-	2...256	+
ADS-4122	8	2	1 Гвыб/с	500 Мвыб/с	10:1 / 5:1	-	+	2...256	-	2...256	+
ADS-4112	8	2	1 Гвыб/с	500 Мвыб/с	10:1 / 5:1	-	+	2...256	-	2...256	+
RIGOL											
DS1102D	8	2	1 Гвыб/с	500 Мвыб/с	10:1 / 5:1	10 Гвыб/с	+	2...256	-	-	+
DS1102E	8	2	1 Гвыб/с	500 Мвыб/с	10:1 / 5:1	25 Гвыб/с	+	2...256	-	-	+
DS1104B	8	4	2 Гвыб/с	1 Гвыб/с	20:1 / 10:1	25 Гвыб/с	+	2...256	-	-	+
MSO/DS1104Z	8	4	1 Гвыб/с	250 Мвыб/с	10:1 / 2.5:1	-	+	2...1024	12 бит	-	+
MSO/DS2102A	8	2	2 Гвыб/с	1 Гвыб/с	20:1 / 10:1	-	+	2...8196	12 бит	-	+
MSO/DS4014E	8	100	2 Гвыб/с	2 Гвыб/с	20:1 / 20:1	-	+	2...8196	12 бит	-	+
DS4102/DS4104	8	2/4	4 Гвыб/с	2 Гвыб/с	40:1 / 20:1	-	+	2...8196	12 бит	-	+
ТЕКТРОНИК											
TBS1104	8	4	1 Гвыб/с	1 Гвыб/с	10:1	-	+	2...128	-	-	+
TPS2012B/TPS2014B	8	2/4	1 Гвыб/с	1 Гвыб/с	10:1	-	+	2...128	-	-	+
TBS2012/TBS2014	8	2/4	1 Гвыб/с	1 Гвыб/с	10:1	-	+	2...512	-	-	+
TBS1102B (-EDU)	8	2	2 Гвыб/с	2 Гвыб/с	20:1	-	+	2...128	-	-	+
TDS2012C/TDS2014C	8	2/4	2 Гвыб/с	2 Гвыб/с	20:1	-	+	2...128	-	-	+
DPO/MSO2012B DPO/MSO2014B	8	2/4	1 Гвыб/с	1 Гвыб/с	10:1	-	+	2...512	-	-	+
THS3014 (-TK)	8	4	2,5 Гвыб/с	1,25 Гвыб/с	25:1 / 12,5:1	-	+	2...64	-	-	+
TDS3012C/TDS3014C	9	2/4	1,25 Гвыб/с	1,25 Гвыб/с	12,5 : 1	-	+	2...512	-	2...512	+
MDO3012/MDO3014	8	2/4	2,5 Гвыб/с	2,5 Гвыб/с	25:1	-	+	2...512	+	2...2000	+