

# Keysight Technologies

Технология генерации  
сигналов Trueform

Технический обзор

## Введение

Технология генерации сигналов *Trueform* представляет собой эксклюзивную технологию Keysight Technologies, применяемую в новых генераторах сигналов серии 33500B. Технология *Trueform* дает ощутимые преимущества по сравнению с прямым синтезом сигнала (DDS) – традиционной технологией, используемой в генераторах сигналов стандартной и произвольной формы. Эти преимущества включают значительно меньший джиттер, снижающий погрешность измерения, и истинное (а не приблизительное) представление выбранного сигнала. В этом обзоре мы познакомим вас с технологией *Trueform* и сравним ее с технологией DDS.

Концептуально, простейший способ генерации сигнала заключается в сохранении его в виде отдельных точек в памяти, а затем в поочередном считывании этих точек и передачи их по каждому тактовому импульсу в ЦАП. После считывания последней точки генератор возвращается к первой, и начинается следующий цикл. Иногда такой способ генерации называют «точкой на такт» (PPC).

И хотя такой метод создания сигналов кажется очевидным, он обладает двумя существенными недостатками. Во-первых, для изменения частоты сигнала (или частоты дискретизации), приходится изменять тактовую частоту, а хороший малозумящий источник перестраиваемой тактовой частоты усложняет конструкцию прибора и повышает его стоимость. Во-вторых, поскольку во многих приложениях ступенчатый сигнал на выходе ЦАП нежелателен, приходится использовать аналоговую фильтрацию для сглаживания этих ступенек. В связи со сложностью и высокой стоимостью, эта технология используется в основном в генераторах высшего класса.

Технология DDS использует фиксированную тактовую частоту и упрощенную схему фильтрации, поэтому обходится дешевле метода PPC. В системе DDS фазовый аккумулятор добавляет приращения на выход с каждым периодом тактовой частоты, при этом выход аккумулятора представляет фазу сигнала. Выходная частота пропорциональна приращению, что позволяет легко менять частоту даже при фиксированной тактовой частоте. Выходные значения аккумулятора преобразуются из фазы в амплитуду обычно с помощью некоторой таблицы преобразования.

Применение фазового аккумулятора позволяет применять в DDS фиксированную тактовую частоту, но при этом сигнал по-прежнему воспроизводится с эффективной частотой дискретизации, превышающей тактовую частоту. Поэтому в методе DDS не каждая точка отражается в результирующем выходном сигнале. Другими словами, DDS использует не каждую точку памяти сигнала, но выполняет достаточно хорошую аппроксимацию. Но поскольку это всего лишь аппроксимация, сигнал до некоторой степени искажается. DDS может непредсказуемым способом пропускать и/или повторять некоторые фрагменты сигнала. В лучшем случае это приводит к увеличению джиттера, в худшем – к сильным искажениям. Мелкие особенности сигнала могут полностью или частично игнорироваться.

Новая технология Trueform, разработанная компанией Keysight, представляет собой скачок в технологии генерации сигналов произвольной формы. Trueform вобрала в себя лучшее из двух существующих технологий. Она позволяет создавать воспроизводимые сигналы с низким уровнем шума без пропуска точек, подобно технологии PPC, но обходится это по цене DDS. Trueform использует патентованный генератор виртуально регулируемой тактовой частоты с улучшенной фильтрацией, адаптирующейся к частоте дискретизации сигнала. В следующих разделах мы рассмотрим некоторые преимущества, которыми обладает Trueform по сравнению с DDS.

### Улучшенная целостность сигнала

Одним из ключевых преимуществ технологии Trueform по сравнению с DDS является лучшая целостность сигнала. В частотной области это преимущество можно увидеть, сравнив спектры, а во временной области – сравнив джиттеры. На рис. 1 показано представление в частотной области синусоидального сигнала частотой 10 МГц, созданного с помощью технологии Trueform. На рис. 2 показано представление в частотной области того же синусоидального сигнала 10 МГц, но созданного с помощью технологии DDS.

В идеальном случае синусоидальный сигнал должен содержать только основную частоту без гармоник, но на самом деле это не так, поэтому мы хотим, чтобы уровень гармоник был как можно меньше. На рис. 1 и 2 хорошо виден уровень второй гармоники по отношению к основной частоте. Видно, что уровень второй гармоники сигнала Trueform примерно на 5 дБ меньше уровня второй гармоники сигнала DDS. Кроме того, в спектре DDS явно видны четвертая и пятая гармоники (выделены красными кружками). И наконец, в спектре DDS можно даже обнаружить негармоническую составляющую между четвертой и пятой гармониками.

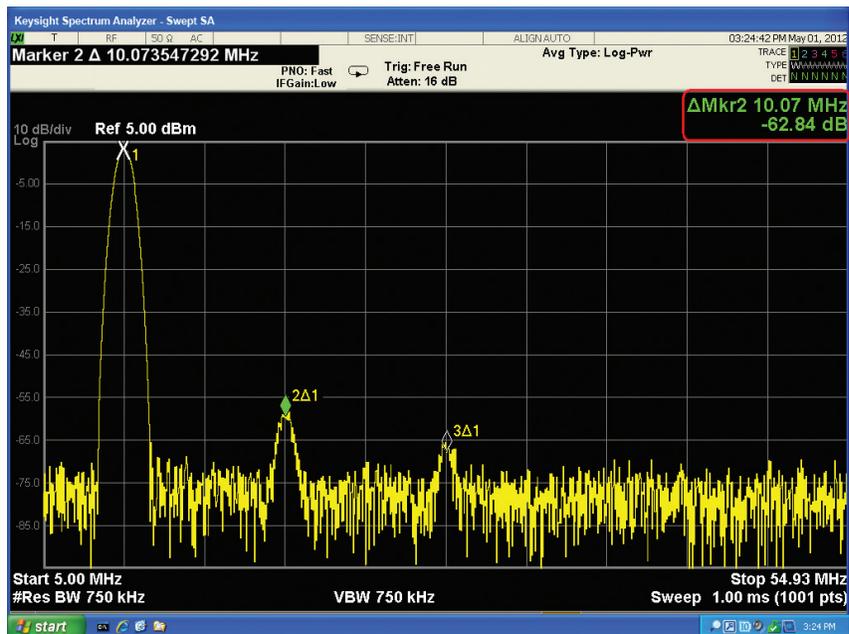


Рис. 1. Гармоники сигнала, созданного по технологии Trueform

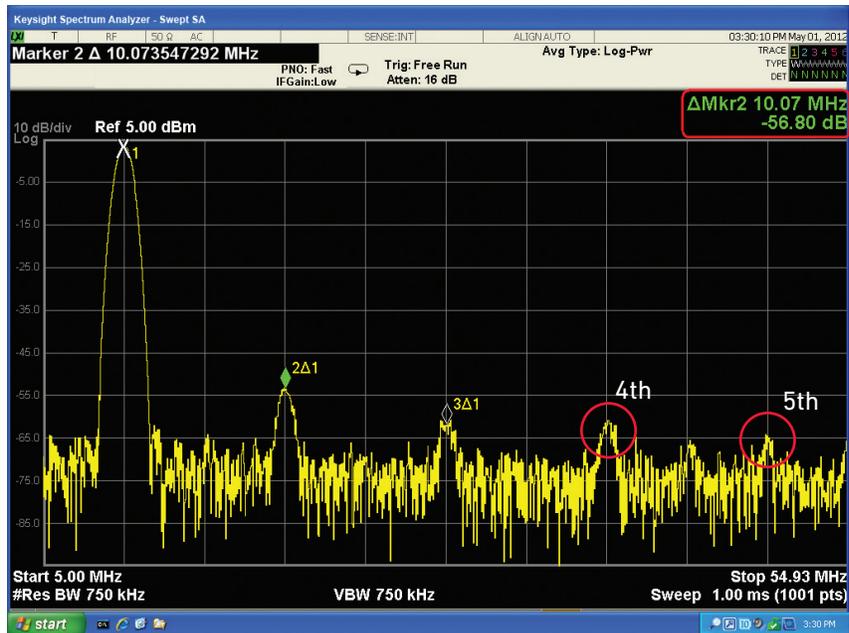


Рис. 2. Гармоники сигнала, созданного по технологии DDS

Если сравнить эти два сигнала с точки зрения джиттера, то преимущество Trueform станет еще очевидней. На следующем рисунке показано измерение джиттера, выполненное на импульсном сигнале частотой 10 МГц с помощью высокопроизводительного осциллографа. Осциллограмма растянута так, чтобы был виден передний фронт импульса, и при этом включен режим послесвечения. Для измерения периодического джиттера использовалась функция гистограммы. Результаты измерения стандартного отклонения на каждом рисунке обведены красным цветом и представляют собой среднеквадратический джиттер сигнала. Измерение джиттера импульсного сигнала Trueform показано на рис. 3, а импульсного сигнала DDS – на рис. 4.

Чувствительность осциллографа и скорость развертки на рис. 3 и 4 выбраны одинаковыми. Джиттер импульсного сигнала Trueform почти в 10 раз меньше джиттера импульсного сигнала DDS.

Лучшая целостность сигнала Trueform, по сравнению с DDS, означает меньшую погрешность измерений. Это особенно важно в задачах, использующих синхронизацию по фронтам, таких как генерация сигналов тактовой частоты, сигналы запуска или коммуникационные сигналы. Прямым следствием меньшего джиттера является меньшая погрешность синхронизации ваших измерений.



Рис. 3. Измерение джиттера сигнала, созданного по Trueform

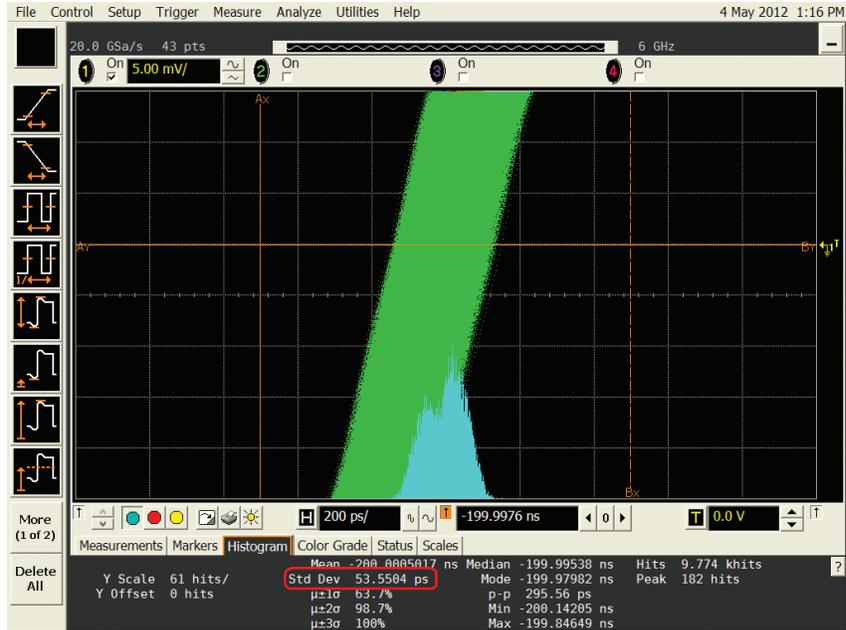


Рис. 4. Измерение джиттера сигнала, созданного по DDS

## Какие сигналы вы создаете, такие и получаете

Как мы уже говорили, технология DDS использует фиксированную тактовую частоту и фазовый аккумулятор, и поэтому не может гарантировать воспроизведение каждой точки или особенности сигнала. Чем выше частота, тем больше пробелов появляется в выходном сигнале по сравнению с идеальной формой. В отличие от этого, Trueform воспроизводит каждую точку сигнала, независимо от установленной частоты сигнала или частоты дискретизации. Это становится актуальным, когда вы работаете с сигналами, содержащими мелкие детали, критичные для выполнения теста.

В качестве примера мы создали сигнал, состоящий из импульса с семью уменьшающимися по амплитуде выбросами на его вершине. Этот сигнал был загружен в генератор с системой Trueform и в генератор сигналов произвольной формы с системой DDS. Сначала оба генератора воспроизводили этот сигнал с частотой 50 кГц. Результаты были измерены осциллографом, как показано на рис. 5. Желтая осциллограмма соответствует сигналу Trueform, а зеленая – сигналу DDS.

На частоте 50 кГц оба генератора смогли воспроизвести все семь выбросов на вершине импульса. Но видно, что выбросы сигнала, созданного Trueform, имеют большую амплитуду. На рис. 6 показано воспроизведение тех же сигналов, но уже с частотой 100 кГц.

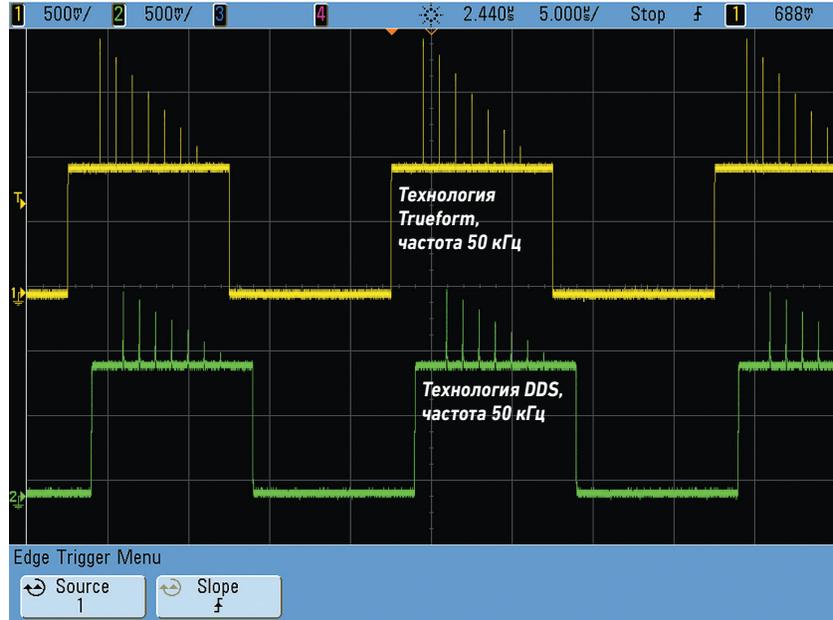


Рис. 5. Сравнение сигналов произвольной формы на частоте 50 кГц

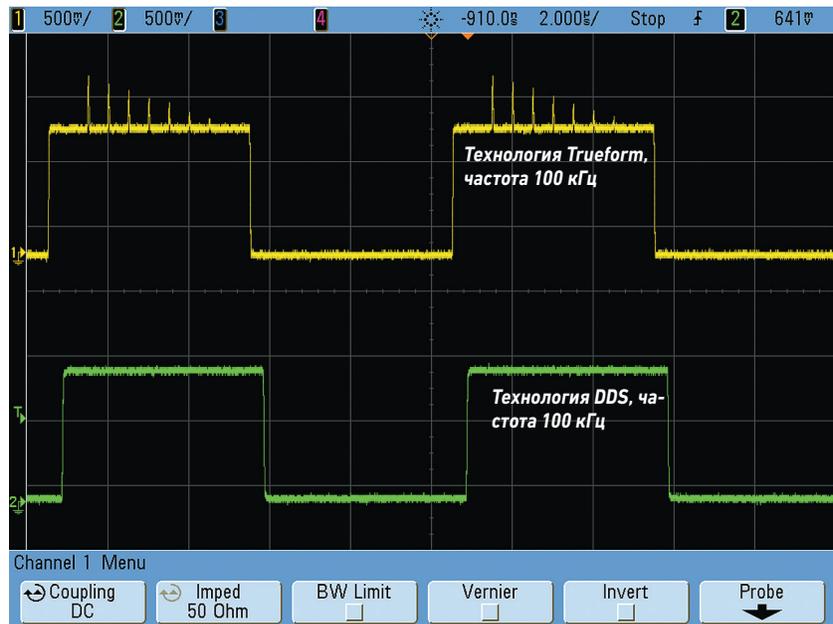


Рис. 6. Сравнение сигналов произвольной формы на частоте 100 кГц

На частоте 100 кГц генератор с системой Trueform воспроизвел все семь выбросов, а генератор DDS не воспроизвел ни одного. На рис. 7 эти сигналы были воспроизведены еще раз, но теперь частота была повышена до 200 кГц.

И снова на частоте 200 кГц генератор, использующий технологию Trueform, воспроизвел все семь выбросов сигнала. Генератор DDS перешел от полного пропуска выбросов на частоте 100 кГц к воспроизведению трех выбросов на частоте 200 кГц. Обратите внимание, что три выброса, воспроизведенные на частоте 200 кГц, не совпадают по фазе ни с одним из семи выбросов, расположенных именно там, где они и должны быть. Эти примеры показывают, что работая с сигналами, содержащими мелкие детали, методу DDS доверять нельзя.

Несколько десятилетий технология DDS была доминирующей технологией генераторов сигналов стандартной и произвольной формы, поскольку была недорогой альтернативой высококачественной технологии PPC. Основным недостатком применения технологии DDS является низкое качество сигнала, которое проявляется в виде джиттера и гармонического шума, а также в пропуске точек, вследствие чего вы не получаете истинного представления запрограммированного сигнала. Патентованная технология Trueform компании Keysight представляет собой следующий скачок в развитии технологий генерации сигналов, предлагая возможности PPC по цене DDS. Это значит, что вы получаете меньший джиттер выходного сигнала и именно ту форму, которая вам нужна.

Технология Trueform компании Keysight предлагает новую альтернативу, которая объединяет лучшие стороны DDS и поточечной архитектуры, обладая преимуществами обеих технологий при отсутствии их ограничений. Технология Trueform использует эксклюзивный метод дискретизации сигнала, который обеспечивает непревзойденные характеристики по низкой цене, свойственной технологии DDS.

Приведенная ниже таблица демонстрирует революционные возможности технологии Trueform.

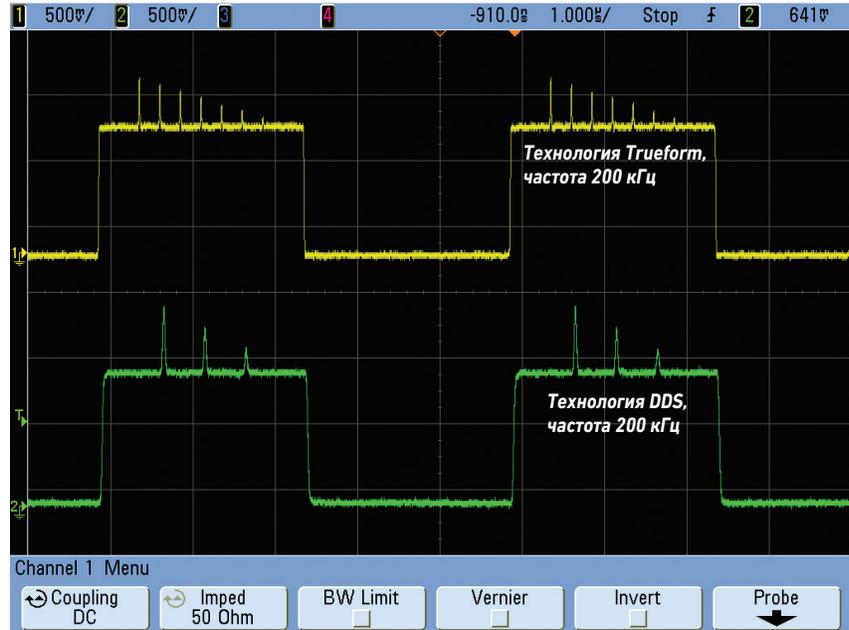


Рис. 6. Сравнение сигналов произвольной формы на частоте 200 кГц

	DDS: традиционный генератор сигналов, 25 МГц	Trueform: генератор сигналов Keysight 33511B, 30 МГц	Преимущество
Джиттер фронтов	500 пс	40 пс	В 12 раз лучше
Воспроизведение специальных сигналов	Пропуск точек сигнала	Воспроизведение всех точек без исключения	Точное воспроизведение сигнала
Нелинейные искажения	0,2 %	0,04 %	В 5 раз лучше
Сглаживание	Нужно использовать внешний фильтр	Выполняется всегда	Отсутствие ступенек
Последовательная подача сигналов произвольной формы	Невозможна	Стандартная функция	Простое создание сложных сигнальных последовательностей



**[www.axiestandard.org](http://www.axiestandard.org)**

AXIe представляет собой открытый стандарт, основанный на AdvancedTCA®, с расширениями для контрольно-измерительных приложений. Компания Keysight входит в число основателей консорциума AXIe. ATCA®, AdvancedTCA® и логотип ATCA являются зарегистрированными в США товарными знаками PCI Industrial Computer Manufacturers Group.



**[www.lxistandard.org](http://www.lxistandard.org)**

LXI представляет собой интерфейс на основе Ethernet, пришедший на смену интерфейсу GPIB. Он обеспечивает более быстрый обмен данными и позволяет использовать в измерительных приборах веб-технологии. Компания Keysight входит в число основателей консорциума LXI.



**[www.pxisa.org](http://www.pxisa.org)**

PXI (PCI eXtensions for Instrumentation) – это формат модульного высокопроизводительного вычислительного и контрольно-измерительного оборудования, предназначенного для работы в жестких производственных условиях.

**Планы компании Keysight по гарантийному обслуживанию**

**[www.keysight.com/find/AssurancePlans](http://www.keysight.com/find/AssurancePlans)**

Пятилетняя страховка защитит вас от внеплановых расходов, связанных с ремонтом и калибровкой приборов.



**[www.keysight.com/go/quality](http://www.keysight.com/go/quality)**

Система управления качеством Keysight Technologies, Inc. сертифицирована DEKRA по ISO 9001:2008



**Торговые партнеры компании Keysight**

**[www.keysight.com/find/channelpartners](http://www.keysight.com/find/channelpartners)**

Получите двойную выгоду: богатый опыт и широкий выбор продуктов Keysight в сочетании с удобствами, предлагаемыми торговыми партнерами.

[www.keysight.com/find/trueform](http://www.keysight.com/find/trueform)  
[www.keysight.com/find/33500B](http://www.keysight.com/find/33500B)

**Российское отделение  
Keysight Technologies**

115054, Москва, Космодамианская  
наб., 52, стр. 3

Тел.: +7 (495) 7973954

8 800 500 9286 (Звонок по России  
бесплатный)

Факс: +7 (495) 7973902

e-mail: [tmo\\_russia@keysight.com](mailto:tmo_russia@keysight.com)

[www.keysight.ru](http://www.keysight.ru)

**Сервисный Центр  
Keysight Technologies в России**

115054, Москва, Космодамианская  
наб., 52, стр. 3

Тел.: +7 (495) 7973930

Факс: +7 (495) 7973901

e-mail: [tmo\\_russia@keysight.com](mailto:tmo_russia@keysight.com)