

Сравнение функциональных генераторов и генераторов сигналов произвольной формы

А. Мендеров¹

УДК 621.317 | ВАК 05.11.08

Современные генераторы сигналов построены с использованием двух различных аппаратных архитектур, что приводит к отличиям в пользовательском интерфейсе, порождая два типа продуктов: функциональные генераторы сигналов, или AFG, и генераторы сигналов произвольной формы, или AWG. Генераторы обоих типов очень гибкие и одинаково популярны на рынке. Однако важно знать их различия, чтобы выбрать наиболее подходящее испытательное оборудование для конкретного применения, о чем мы поговорим в данной статье. В качестве примера рассмотрим тестирование приемника для быстрой последовательной шины, такой как Automotive (автомобильный) Ethernet.

ГЕНЕРАТОРЫ СИГНАЛОВ С ПРЯМЫМ ЦИФРОВЫМ СИНТЕЗОМ

Прямой цифровой синтез, более известный как DDS (direct digital synthesis), – это метод генерации сигналов, который использует цифровые устройства для генерации сигналов с изменяющимися частотой или фазой из опорного тактового сигнала фиксированной частоты. Этот метод обычно применяется в менее дорогих генераторах сигналов, гарантируя отличные результаты, но он имеет важное ограничение, связанное с использованием фиксированной частоты дискретизации.

Стоит помнить, что в функциональном генераторе (с использованием DDS) желаемая пользовательская форма сигналов «строится» с помощью определенного количества выборок. Выходная частота генерируемого сигнала зависит от частоты опорного генератора и количества отсчетов, используемых для описания генерируемой формы сигнала, и вычисляется как:

$$\text{Выходная частота} = \frac{\text{Частота дискретизации}}{\text{Количество отсчетов}}.$$

На практике генератор типа DDS (рис. 1) генерирует сигнал на определенной частоте. Данные для формирования сигнала берутся из памяти сигналов генератора. При этом выборка осуществляется с частотой опорного генератора.

Генерирование этого же сигнала с более высокой частотой реализуется путем уменьшения количества

используемых генератором DDS отсчетов, в результате чего фактически сгенерированный сигнал будет несколько менее точным. Создание сигнала с более низкой частотой при фиксированной частоте дискретизации достигается путем повтора DDS-генератором точек исходного сигнала. Формирование сигналов подобным способом зачастую приводит к искажению нужной формы и нежелательно в приложениях, где требуется формирование сложных форм сигналов.

В зависимости от частоты выходного сигнала могут исчезать некоторые нюансы в фактически сгенерированном сигнале. Это может привести к увеличению джиттера, а в некоторых случаях к полному искажению сигнала, что для ряда задач является неприемлемым.

Одновременно с указанными недостатками данного способа генерации сигнала метод DDS довольно просто реализуем, что существенно снижает стоимость генераторов, а также позволяет быстро изменять частоту выходного сигнала, избегая скачков фазы – это облегчает, например, создание сигналов с частотной разверткой в реальном времени даже на высокой скорости.

ГЕНЕРАТОРЫ СИГНАЛОВ «ИСТИННОЙ» ПРОИЗВОЛЬНОЙ ФОРМЫ

Генераторы, которые в настоящее время называют генераторами сигналов «истинной» произвольной формы (True Arbitrary Waveform Generators, или True AWGs) (рис. 2), имеют концептуально очень простой принцип работы. В них используются схожие с генераторами DDS узлы формирования выходного сигнала. Отличие от DDS-генераторов заключается в наличии опорного генератора с переменной частотой.

¹ АО «ПриСТ», директор по развитию, menderov@prist.ru.

Точки дискретизированного представления формы сигнала хранятся в памяти и последовательно считываются с помощью опорного тактового генератора с переменной частотой. Значения из ячеек памяти, последовательно адресуемых тактовым сигналом, поступают в схему цифроаналогового преобразования, за которой следует фильтр низких частот.

Поскольку количество отсчетов, используемых для описания генерируемой формы сигнала, фиксировано, для изменения его выходной частоты достаточно изменить частоту тактового генератора, что приведет к более быстрой пересылке отсчетов в ЦАП.

Таким образом, частота выходного сигнала зависит только от частоты тактового генератора и количества выборок в памяти, описывающих форму сигнала, в соответствии с уже показанной выше зависимостью.

В отличие от генераторов типа DDS, генераторы сигналов типа True AWG всегда используют отдельные отсчеты, описывающие форму сигнала, независимо от выходной частоты. В результате желаемая форма сигнала всегда формируется с одинаковой точностью, независимо от частоты выходного сигнала. Точки никогда не пропускаются и не повторяются, поэтому даже мельчайшие детали, хранящиеся в образце сигнала, всегда воспроизводятся в выходном сигнале. Таким образом, точность зависит только от дискретности описания сигнала и стабильности компонентов генератора, и, по существу, не зависит от выходной частоты генерируемого сигнала.

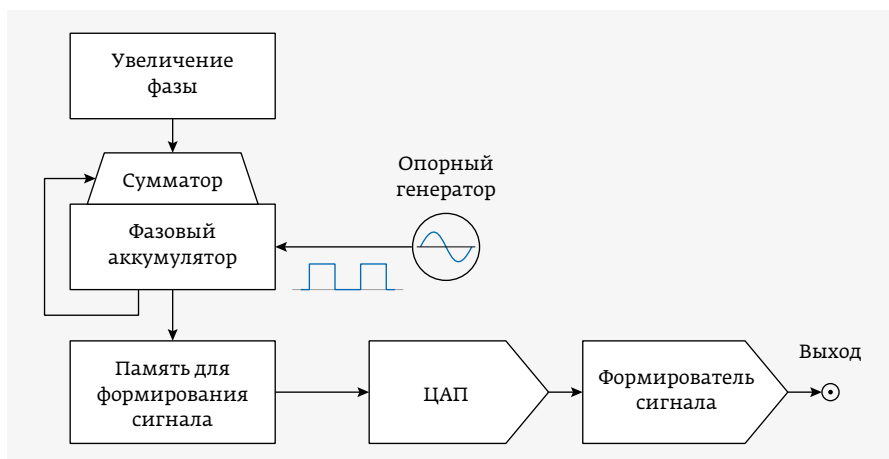


Рис. 1. Схема функционального генератора с технологией DDS

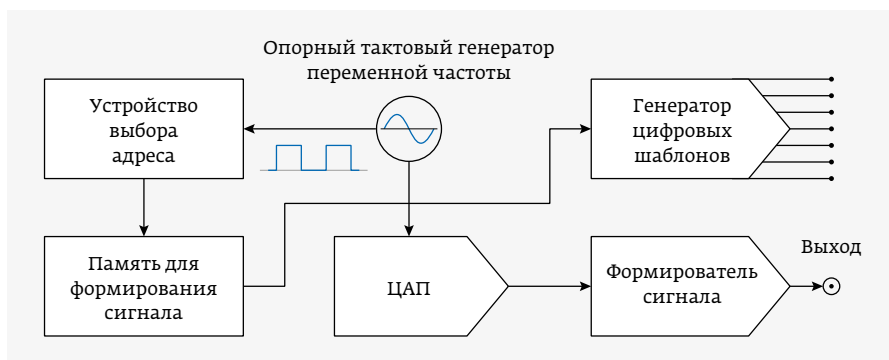


Рис. 2. Схема генератора сигналов произвольной формы

Точность, которая остается независимой от выходной частоты и сложности формы сигнала, является основным преимуществом генераторов True AWG перед функциональными генераторами на базе DDS.

С другой стороны, выполнить развертку частоты генерируемого сигнала в реальном времени сложнее, поскольку все точки определения формы сигнала должны быть пересчитаны как функция частоты. Сравнение особенностей двух типов генераторов приведено в табл. 1.

Таблица 1. Плюсы и минусы генераторов сигналов с технологией DDS и «истинной» произвольной формы

Генераторы с технологией DDS	Генераторы с технологией True Arbitrary
Тактовый генератор с фиксированной частотой дискретизации	Тактовый генератор с переменной частотой дискретизации
Максимально удобно варьировать частоту	Менее удобно варьировать частоту
Менее подходит для идеального воспроизведения каждой детали формы сигнала	Идеально подходит для систематического воспроизведения каждой детали формы сигнала
Более высокие искажения для несинусоидальных форм сигнала	Более низкие искажения для несинусоидальных форм сигнала



Рис. 3. Генератор сигналов произвольной формы T3AWG3358

Существуют приборы, которые позволяют использовать оба метода создания сигналов в одном устройстве, в зависимости от конкретных потребностей пользователя.

Модели серии T3AWG3K, выпускаемые под брендом Teledyne Test Tools (рис. 3), являются примерами генераторов сигналов произвольной формы, которые объединяют в одном приборе режимы работы DDS и True Arbitrary.

В зависимости от требований конкретного приложения генератор переключается из одного режима в другой простым нажатием кнопки на передней панели.

ПРИМЕР ТЕСТИРОВАНИЯ ПРИЕМНИКА AUTOMOTIVE ETHERNET

Ставилась задача: выполнить тестирование интерфейса Automotive Ethernet, 100BASE-T1 (скорость 66,667 Мбит/с, тип модуляций PAM3, номинальные напряжения: 1, 0, -1 В).

Для решения этой задачи необходимо не только осуществить функциональное тестирование работоспособности приемника, но и выяснить, как он будет реагировать на сигналы, имеющие разного рода искажения и шума.

Для данного комплексного тестирования можно разработать собственный передатчик-генератор тестовых сигналов 100BASE-T1, с внешней схемой, позволяющей вносить различные искажения сигнала. Но, в современных реалиях, при которых предъявляются высокие

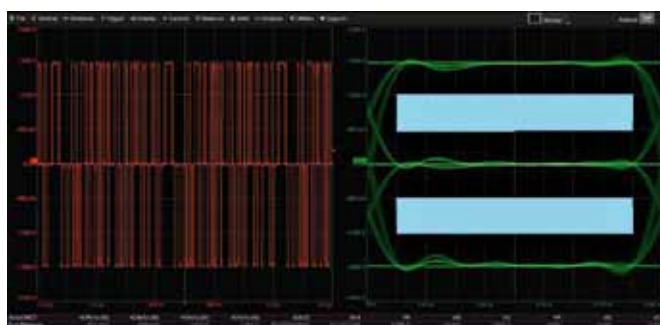


Рис. 4. Идеальный сигнал PAM3 с двумя пороговыми уровнями

требования к срокам выполнения работ, данный путь является нецелесообразным.

Второй вариант – использовать генератор сигналов произвольной формы серии T3AWG3K. Данный генератор имеет удобный пользовательский интерфейс, возможность дистанционного управления и весьма внушительные возможности по формированию сигнала с заданными характеристиками (рис. 4). Простыми манипуляциями, практически «на лету», в формируемый сигнал можно вносить искажения, необходимые для тестирования приемного устройства, такие как джиттер, шум, неправильные уровни напряжения или другие виды дефектов.

Генераторы сигналов серии T3AWG3K так же как и АКПП-3421, АКПП-3426, АКПП-3427 (разработаны и производятся итальянской компанией Active Technologies) имеют встроенный редактор Waveform Editor. В этой среде можно создавать формы сигналов любого типа и сложности, комбинируя различные сегменты и компоненты. Сегменты соответствуют последовательным частям сигнала во временной области. Каждый сегмент сигнала, в свою очередь, может быть составлен из суперпозиции нескольких компонентов.

ПРИМЕР ПОСТРОЕНИЯ СИГНАЛА PAM3 ДЛЯ AUTOMOTIVE ETHERNET

Для построения сигнала PAM3 для Automotive Ethernet будем использовать только один сегмент, который соберем как сумму двух компонентов. В качестве первого компонента выберем из библиотеки программного обеспечения Waveform Editor псевдослучайную последовательность PRBS7. В качестве второго компонента – псевдослучайную последовательность PRBS8 (рис. 5). Сложение



Рис. 5. Идеальный сигнал PAM3 100BASE-T1, созданный с помощью программы Waveform Editor Utility

этих двух компонентов позволит получить идеальный сигнал РАМЗ, который мы будем использовать для тестирования приемника Automotive Ethernet.

Для продолжения тестирования и проверки работы приемника на наличие шума в принимаемом сигнале продублируем созданную ранее форму идеального сигнала РАМЗ и добавим в сегмент новый компонент. На этот раз из predetermined сигналов, доступных в Waveform Editor, мы выберем белый шум. Установим уровень белого шума 100 мВ. В результате, путем простейших операций, получим зашумленный тестовый сигнал (рис. 6).

Аналогичным способом можно проверить способность приемника работать при условии возрастания шума в канале (рис. 7, 8). Для этого загружаем ранее созданные образцы сигнала: сначала идеальный РАМЗ (без добавления шума), а затем сигнал с возрастающим уровнем шума. Для каждой записи выбираем режим «бесконечного» повторения, с возможностью перехода к следующей форме сигнала по нажатию кнопки.

Данная подготовительная процедура занимает не более трех минут, однако полученный результат позволяет проводить объективные испытания. После перевода генератора в режим генерации сигнала, сначала на выходе мы получим сигнал РАМЗ, каждое нажатие клавиши на генераторе будет добавлять шум в формируемый сигнал, такого рода тестирование позволит оценить рабочие пределы тестируемого приемника.

Аналогично методу добавления шума в сигнал, генератор ТЗАВГЗК без особых сложностей позволяет вносить дополнительные искажения сигнала, например добавлять джиттер, смещение напряжения, или создавать тестовые сигналы с несколькими «дефектами».

Большой объем памяти генератора ТЗАВГЗК позволяет формировать сигналы любой сложности. Реализованная в генераторе возможность аппаратного смещения выходного сигнала позволяет при любом смещении использовать все преимущества вертикального разрешения ЦАП (16 бит), даже в ситуациях, когда выходная линия имеет значительный дисбаланс.

В заключение отметим, что, как правило, любую измерительную задачу можно решить несколькими способами. В конечном итоге выбор способа решения остается за пользователем, однако специалисты компании АО «ПриСТ» всегда готовы оказать помощь при выборе метода.

В ситуации, когда требуются стандартные формы сигналов, частота которых должна быстро изменяться, генератор прямого цифрового синтеза часто является наиболее удобным решением. Однако, когда требуются более сложные и четкие сигналы, в которые необходимо добавлять разного рода искажения сигнала,

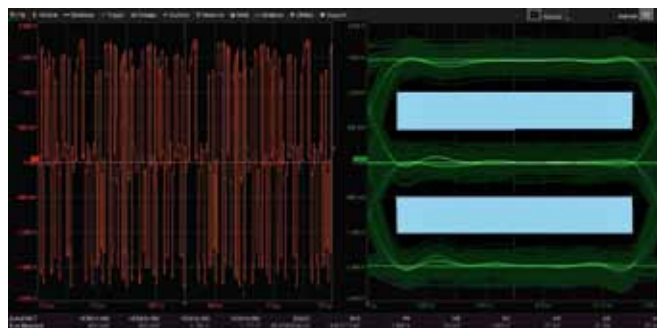


Рис. 6. Сигнал РАМЗ 100BASE-T1 с добавленным шумом



Рис. 7. Последовательность сигналов РАМЗ с возрастающим влиянием шума

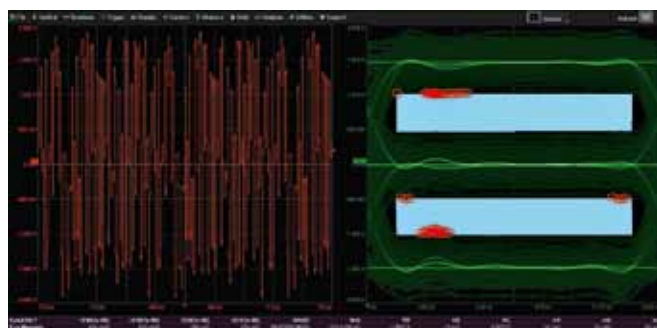


Рис. 8. Сигнал РАМЗ с нарастающим шумом, полученный и проанализированный осциллографом

как в случае отладки приемника Automotive Ethernet, то наиболее удобным выбором будет генератор сигналов произвольной формы.

Если в вашей лаборатории есть генератор сигналов ТЗАВГЗК, то это не проблема: прибор может работать в обоих режимах и гарантирует высокое вертикальное разрешение (16 бит), большой объем памяти (1 Гбайт), высокую частоту дискретизации (1,2 ГВыб/с), синхронные цифровые каналы (до 32) и высокий динамический диапазон (± 12 В) с дополнительным аппаратным смещением (± 12 В). ●