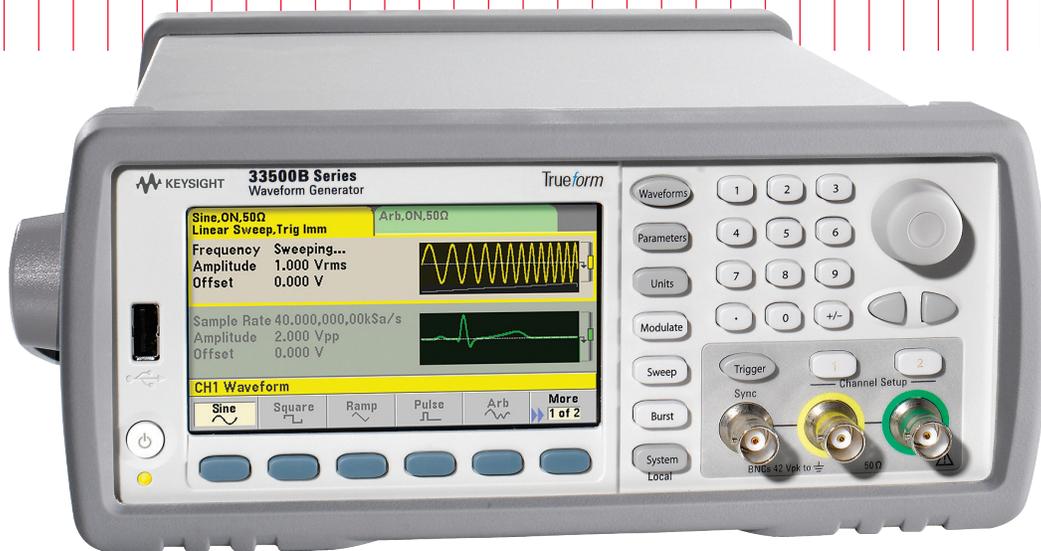


# Keysight Technologies

## Генерация высококачественных IQ сигналов

Рекомендации  
по применению



## Введение

Синфазная квадратурная модуляция или IQ-модуляция является самой распространённой схемой модуляции в коммуникационных приложениях, используемых для приёма и передачи данных. Своей популярностью она обязана эффективному использованию полосы частот, которая по-прежнему является узким местом в нашем насыщенном инфраструктурой мире. Поскольку разработчики IQ-модуляторов сталкиваются с постоянной нехваткой частотного ресурса и наличием разнообразных помех, большую важность приобретает тестирование с использованием моделирования сигналов. В частности, разработчикам нужно генерировать высококачественные сигналы с заданными параметрами и уметь легко добавлять к сигналу реалистичные искажения, чтобы тестировать разрабатываемые схемы в предельных режимах. В этой публикации мы расскажем, как использовать генераторы сигналов 33500B компании Keysight Technologies с опцией плеера IQ-сигналов для генерации идеальных и неидеальных сигналов IQ.

Сначала мы рассмотрим параметры генераторов 33500B и расскажем, как используемая в них уникальная технология Trueform может помочь в формировании более точных сигналов. Затем мы покажем, как просто можно перенести сигналы IQ из программы в генератор сигналов 33500B и воспроизвести их. И, наконец, мы исследуем встроенные функции генераторов 33500B, предназначенные для моделирования искажений IQ-сигнала для тестирования предельных возможностей разрабатываемых схем.

## Реальный пример



Вновь образованная компания проектирует устройства мониторинга для «умной сети», которые предлагают два разных способа взаимодействия: связь по линии питания (PLC) и специальный стандарт беспроводной связи, использующий диапазон ISM 900 МГц. Компания обладает

ограниченными средствами и временем для тестирования устройства, что сильно влияет на выбор контрольно-измерительного оборудования. Для тестирования коммуникационной части устройства был выбран генератор сигналов Keysight 33522B с плеером IQ-сигналов из-за его малой стоимости, простоты в обращении, высокого качества сигнала и гибкости. В качестве комплексного решения для тестирования беспроводных коммуникационных модулей – от схемы формирования IQ сигнала до усилителя ВЧ – использовались генераторы сигналов 33522B и Keysight N9310A, а для генерации сигнала несущей и модулирующих IQ-сигналов для тестирования модуля PLC использовался генератор 33522B. Поскольку устройство работает вблизи линии питания переменного тока, создающей значительные помехи, для проверки корректной работы устройства в реальных условиях неизбежно приходилось пользоваться широким функционалом генератора 33522B для создания искаженных сигналов.

## Технология генерации сигналов Trueform

Генераторы сигналов серии 33500B обладают аналоговой полосой с равномерной АЧХ до 30 МГц при частоте дискретизации 250 Мвыб/с. Используемая в генераторах 33500B эксклюзивная технология генерации сигналов Trueform обеспечивает точное воспроизведение сигнала, а не его аппроксимацию, как в широко распространённом методе прямого цифрового синтеза (DDS), который может пропускать и повторять точки. Технология Trueform обеспечивает чрезвычайно малое значение джиттера – обычно менее 5 пс среднеквадратического значения. На рис. 1 показано измерение джиттера, выполненное на импульсном сигнале 10 МГц генератора 33522B с помощью высококачественного осциллографа.



Рис. 1. Измерение джиттера генератора сигналов 33522A

Для измерения джиттера импульсного сигнала использовалась функция гистограммы осциллографа. Стандартное отклонение гистограммы представляет среднеквадратическое значение джиттера сигнала. Среднеквадратическое значение джиттера на рис. 1 (выделено выше) составляет всего 4,1 пс. Технология генерации сигналов Trueform гарантирует создание высококачественных, заведомо правильных IQ-сигналов.

## Советы по измерению

Благодаря частоте дискретизации 250 Мвыб/с, полезная полоса IQ-сигнала генераторов серии 33500B может простираться далеко за пределы заявленной аналоговой полосы 30 МГц. Для генерации IQ-сигналов с более широкой полосой нужно просто скомпенсировать спад амплитуды на верхних частотах при создании сигнала в программе. Амплитуда генераторов 33500B на частотах выше 30 МГц падает достаточно медленно, например, на частоте 50 МГц вы увидите спад около 6 дБ.

## Загрузка и генерация модулирующих IQ-сигналов в 33522B

Генераторы серии 33500B оснащены интерфейсами USB, LAN и GPIB и поддерживают широко используемые драйверы, такие как IVI, для загрузки IQ-сигналов, созданных с помощью внешнего программного обеспечения. Если вы не хотите управлять генератором сигналов дистанционно, то можете загружать сигналы через интерфейс USB на передней панели с USB-накопителя. Генератор поддерживает файлы сигналов таких форматов, как файлы с разделителями-запятыми (CSV), файлы DAT и файлы ActionScript Communication (ASC). Эти форматы файлов обычно поддерживаются такими средствами создания сигналов, как ПО MATLAB.

Генераторы серии 33500B имеют опциональный плеер, который идеально подходит для воспроизведения IQ-сигналов. Плеер IQ-сигналов предлагает простой в обращении интерфейс, позволяющий настраивать оба канала 1 и 2 так, как если бы это был один канал или сигнал. На рис. 2 показан снимок экрана генератора 33500B с опциональным плеером IQ-сигналов. Здесь генератор сигналов выводит модулирующий IQ-сигнал 64-QAM с частотой дискретизации 1 МГц.

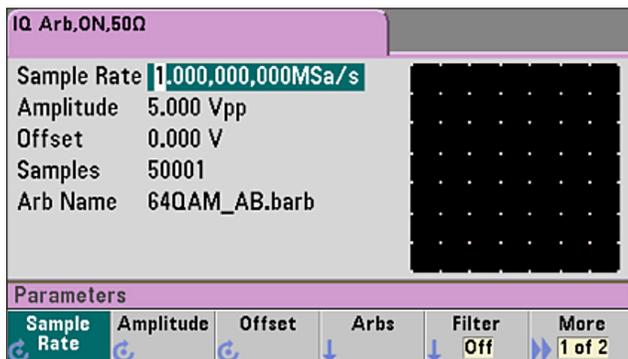


Рис. 2. Снимок экрана плеера IQ-сигналов 33500B



Рис. 3. Сигнальное созвездие и амплитуда вектора ошибки модулирующего сигнала 64-QAM

Созданный модулирующий IQ-сигнал был захвачен высококачественным осциллографом с установленным ПО анализа сигналов – см. рис. 3. В левом верхнем углу экрана видно сигнальное созвездие, в правом нижнем углу – измеренная амплитуда вектора ошибки (EVM), равная всего 0,3 % (обведено красным). Два других дисплея показывают график ошибки амплитуды в миллипроцентах (слева) и график фазовой ошибки в миллиградусах (справа).

## Имитация реальных сигналов и неидеального канала

Если вы хотите оценить предельные возможности своей схемы, то вам нужно создать не идеальный сигнал, а сигнал с нормированными искажениями, и измерить реакцию вашего устройства на этот неидеальный сигнал. Генераторы серии 33500B имеют три функции для моделирования неидеальных модулирующих IQ-сигналов.

1. Настройка баланса: позволяет указать соотношение усиления по амплитуде между двумя каналами и отрегулировать смещение амплитуды для каждого канала. Экран настройки баланса генератора 33500B показан на рис. 4.
2. Настройка сдвига фаз: позволяет сдвигать модулирующий сигнал I или Q с разрешением в несколько пикосекунд.
3. Расширенная модуляция: такие возможности модуляции, как суммирующая модуляция или фазовая модуляция, позволяют добавлять к сигналу шум, случайный джиттер или детерминированный джиттер.

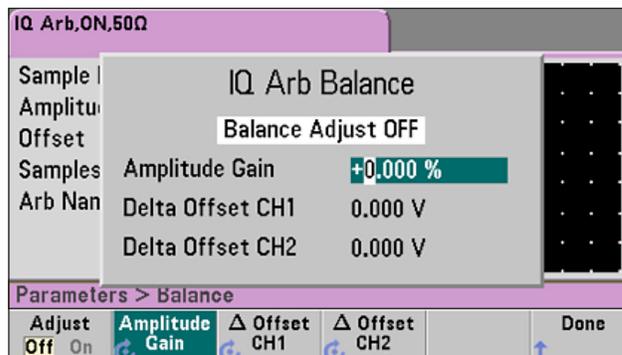


Рис. 4. Экран настройки баланса IQ

## Имитация реальных сигналов и неидеального канала (продолжение)

Давайте рассмотрим пример аддитивного шума сигнала 64-QAM, показанного на рис. 3. Генератор серии 33500В имеет встроенный сигнал гауссовского шума с пик-фактором 4,3 и настраиваемой полосой до 30 МГц. При непрерывном воспроизведении форма сигнала шума не повторяется более 50 лет. Используя функцию «суммирующей» модуляции генератора 33522В, мы добавили к модулирующим сигналам I и Q шум с полосой 30 МГц и амплитудой 10 %. Результаты можно увидеть на рис. 5. Если сравнить рис. 3 с рис. 5, то можно увидеть, что точки сигнального созвездия явно больше и смазаны. Также обратите внимание, что обведённое красным значение EVM увеличилась примерно до 1 %. Регулировка амплитуды шума в генераторе 33500В осуществляется с разрешением до 0,01 %, так что вы можете установить именно ту величину ошибки, которую хотите смоделировать.

## Заключение

Генераторы серии 33500В с плеером IQ-сигналов предоставляют простое и недорогое решение для генерации высококачественных IQ-сигналов с малой амплитудой вектора ошибки. Эксклюзивная технология генерации сигналов Trueform обеспечивает точное воспроизведение каждой точки сигнала с очень малым джиттером и шумом по сравнению с самой распространённой на современном рынке технологией генерации сигналов – DDS. Благодаря тому, что загрузить сигнал в генератор можно без удалённого соединения с ПК, и благодаря встроенному интерфейсу пользователя для воспроизведения IQ-сигналов, генераторы серии 33500В упрощают и ускоряют процесс превращения программного кода в реальные сигналы. И, наконец, благодаря таким функциям, как настройка IQ-баланса, настройка фазового сдвига между каналами и расширенная модуляция, генераторы серии 33500В позволяют имитировать реальные искажения модулирующих IQ-сигналов для тестирования предельных возможностей разрабатываемого устройства.



Рис. 5. Сигнальное созвездие и амплитуда вектора ошибки модулирующего сигнала 64-QAM с добавленным шумом.

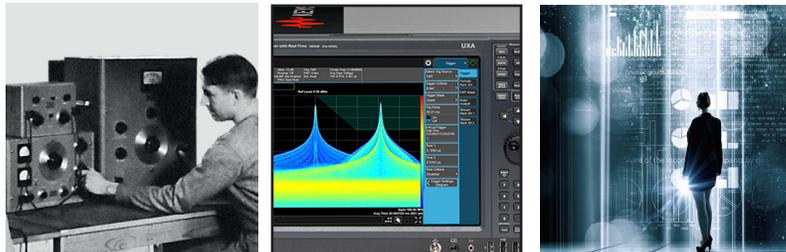
### Советы по измерению

Вновь образованной компании, проектирующей устройства мониторинга, может понадобиться смоделировать шум или джиттер в сигнале I или Q, но не в обоих этих сигналах. Это можно сделать, загрузив сигнал I в канал 1, а сигнал Q в канал 2 генератора 33500В, как отдельные сигналы произвольной формы, не используя режим IQ-плеера. После этого можно добавить шум и другие искажения сигналов с использованием функций модуляции 33522В для отдельных каналов. Обратите внимание, что выходные сигналы каналов 33522В по-прежнему можно синхронизировать по фазе, как вы сделали бы это в режиме IQ-плеера.

## Развиваемся с 1939 года

Уникальное сочетание наших приборов, программного обеспечения, услуг, знаний и опыта наших инженеров поможет вам воплотить в жизнь новые идеи. Мы открываем двери в мир технологий будущего.

От Hewlett-Packard и Agilent к Keysight.



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)

(BP-16-10-14)



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

Keysight Technologies, Inc.

Сертифицировано DEKRA на соответствие стандарту ISO 9001:2015

Система управления качеством

Информация может быть изменена без уведомления.

© Keysight Technologies, 2017

Published in USA, December 01, 2017

5991-1048RURU

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

**myKeysight**

myKeysight

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

Персонализированная подборка только нужной вам информации.

[http://www.keysight.com/find/emt\\_product\\_registration](http://www.keysight.com/find/emt_product_registration)

Зарегистрировав свои приборы, вы получите доступ к информации о состоянии гарантии и уведомлениям о выходе новых публикаций по приборам.

**KEYSIGHT SERVICES**

Accelerate Technology Adoption.  
Lower costs.

Услуги ЦСМ Keysight

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

Центр сервиса и метрологии Keysight готов предложить вам свою помощь на любой стадии эксплуатации средств измерений – от планирования и приобретения новых приборов до модернизации устаревшего оборудования. Широкий спектр услуг ЦСМ Keysight включает услуги по поверке и калибровке СИ, ремонту приборов и модернизации устаревшего оборудования, решения для управления парком приборов, консалтинг, обучение и многое другое, что поможет вам повысить качество ваших разработок и снизить затраты.



Планы технической поддержки Keysight

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

ЦСМ Keysight предлагает разнообразные планы технической поддержки, которые гарантируют, что ваше оборудование будет работать в соответствии с заявленной производителем спецификацией, а вы будете уверены в точности своих измерений.

Торговые партнеры Keysight

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

Получите лучшее из двух миров: глубокие профессиональные знания в области измерений и широкий ассортимент решений компании Keysight в сочетании с удобствами, предоставляемыми торговыми партнерами.