

# Влияние качества отображения на экране осциллографа на способность обнаружения аномалий сигнала

## Сравнение осциллографа серии 6000 компании Agilent Technologies и цифрового осциллографа другого производителя

### Рекомендации по применению 1552



#### Введение

Качество отображения сигналов на экране осциллографов может в значительной степени влиять на эффективность поиска и устранения проблем в разрабатываемых устройствах. При низком качестве отображения можно не обнаружить серьезных аномалий в сигнале. Осциллограф, способный отображать сигнал с градациями яркости, может обнаружить важные детали его формы, включая аномалии, при исследовании широкого круга аналоговых и цифровых сигналов.

В данных рекомендациях по применению приведено сравнение качества отображения различных аналоговых и цифровых сигналов, которое обеспечивают осциллограф смешанных сигналов (MSO) серии 6000 компании Agilent Technologies и цифровой осциллограф другого производителя. В некоторых примерах приводятся также результаты, полученные при использовании традиционного аналогового осциллографа. Кроме того, обсуждается методология получения количественной оценки качества отображения для облегчения сравнения различных осциллографов.

#### Третье измерение: модуляция яркости

Традиционно считается, что цифровые запоминающие осциллографы (DSO) являются двумерными приборами, представляющими графическое изображение сигнала только в виде зависимости мгновенного значения напряжения от времени. Но в действительности в осциллографе имеется и третья координата: ось Z. Это третье измерение обеспечивает непрерывное изменение яркости отображаемого сигнала в зависимости от частоты его появления в определенных позициях с координатами X-Y. В технике аналоговой осциллографии модуляция яркости представляется естественным явлением, свойственным векторному типу отображения сигнала, который разворачивается с помощью электронного луча. Когда первые цифровые осциллографы

начали вытеснять своих аналоговых конкурентов, из-за недостаточно развитой технологии цифрового отображения функция модуляции яркости в них отсутствовала. Теперь эта функция появилась в цифровой осциллографии.

Градация яркости изображения может оказаться чрезвычайно важным свойством при поиске аномалий сигнала, особенно когда приходится иметь дело с аналоговыми сигналами со сложными видами модуляции, такими как видеосигналы, сигналы записи-считывания головки дискового накопителя или сигналы возбуждения электродвигателя с цифровым управлением. Градация яркости полезна также и при исследовании большого разнообразия смешанных сигналов, имеющих место при использовании встроенных микропроцессоров и микроконтроллеров в области автомобильной, промышленной и бытовой электроники. Но даже когда приходится исследовать чисто цифровые сигналы, градация яркости помогает выявить статистическую информацию о джиттере перепадов, амплитудных помехах и относительной частоте возникновения аномалий.

В последнее время все основные производители цифровых осциллографов начали - с различной степенью успеха - вводить режим градации яркости по оси Z, чтобы эмулировать качество отображения аналоговых осциллографов.



Agilent Technologies

### **Исследование аналоговых сигналов со сложными видами модуляции**

При исследовании сигналов со сложными видами модуляции необходим осциллограф с достаточно высоким качеством отображения, позволяющий не только видеть полную картину сигнала, но и увеличивать (растягивать) выбранные фрагменты изображения для их детального изучения.

### **Композитные видеосигналы**

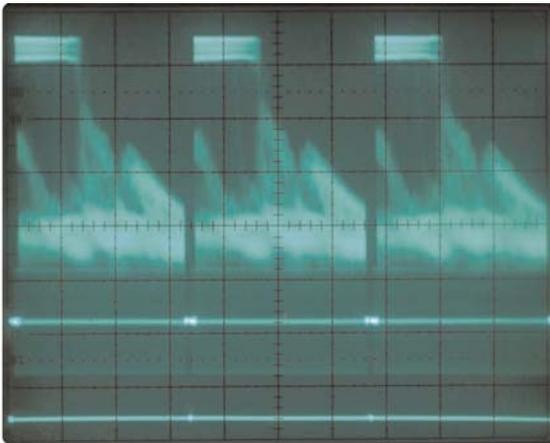
Многим инженерам хорошо знакомы композитные видеосигналы стандартов NTSC или PAL, которые являются аналоговыми сигналами со сложной модуляцией. На рисунке 1

показан один кадр композитного видеосигнала, фотографически зафиксированный с экрана аналогового осциллографа. Даже несмотря на мелькание изображения при просмотре с коэффициентом развертки, равным 5 мс/дел, можно получить важную информацию, заключенную в огибающей отображаемого сигнала.

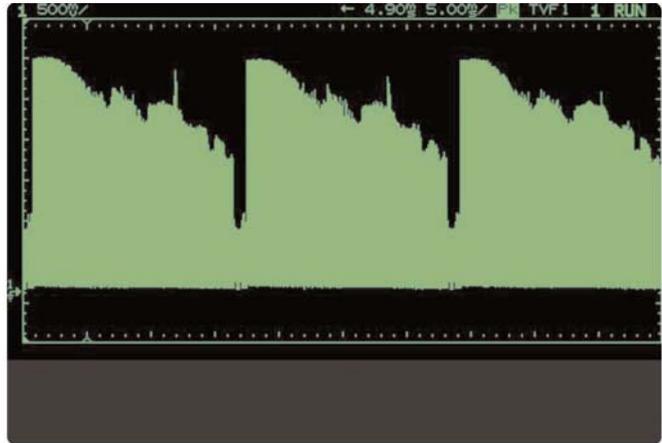
Опытный специалист по видеоустройствам может быстро оценить по этому изображению качество генерации аналогового сигнала.

На рисунке 2 показано изображение сигнала на более старой модели цифрового осциллографа без модуляции яркости по оси Z. Несмотря на

то, что этот осциллограф имеет достаточно высокую частоту дискретизации и глубину памяти для захвата деталей сигнала даже при коэффициенте развертки, равном 5 мс/дел, все захваченные точки отображаются с одинаковой яркостью. Подробности формы сигнала, заключенные в его огибающей, для визуального восприятия потеряны. Поэтому неудивительно, что при имеющейся возможности выбора между аналоговыми и устаревшими моделями цифровых осциллографов, современные лаборатории, имеющие дело с видеоустройствами, были заполнены аналоговыми осциллографами.



**Рисунок 1 - Полный кадр композитного видеосигнала, отображаемого на аналоговом осциллографе с полосой 100 МГц**



**Рисунок 2 - Полный кадр композитного видеосигнала, отображаемый на более старом цифровом осциллографе без режима градации яркости**

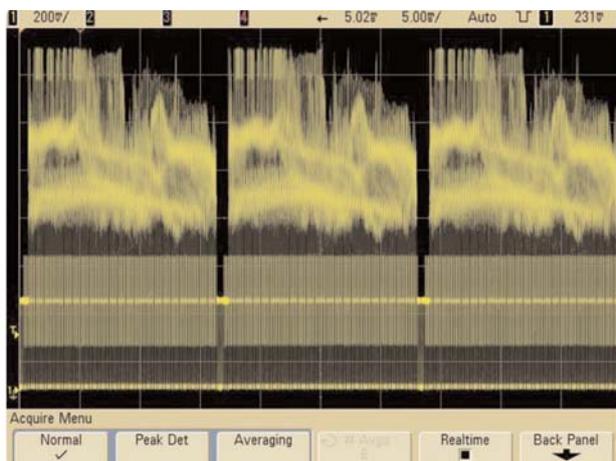
Однако качество визуального отображения аналогового осциллографа в конечном счете было перенесено и в цифровые осциллографы. На рисунке 3 показано захваченное в реальном времени изображение видеосигнала, полученное с помощью осциллографа серии 6000 компании Agilent. Этот осциллограф использует патентованную технологию MegaZoom III, разработанную компанией Agilent, которая обеспечивает до 256 уровней градации яркости цвета для каждого пикселя, используя глубокую память сбора данных

(до 8 Мбайт), отображаемую на экране с высоким разрешением (XGA). Этот цифровой осциллограф может отображать повторяющиеся аналоговые сигналы с качеством, подобным (или, возможно, более высоким) тому, какое обеспечивает аналоговый осциллограф, и может также захватывать, отображать и запоминать сложные однократные сигналы с таким же визуальным качеством. В этом обычные аналоговые осциллографы уступают своим цифровым аналогам. Аналоговые осциллографы могут

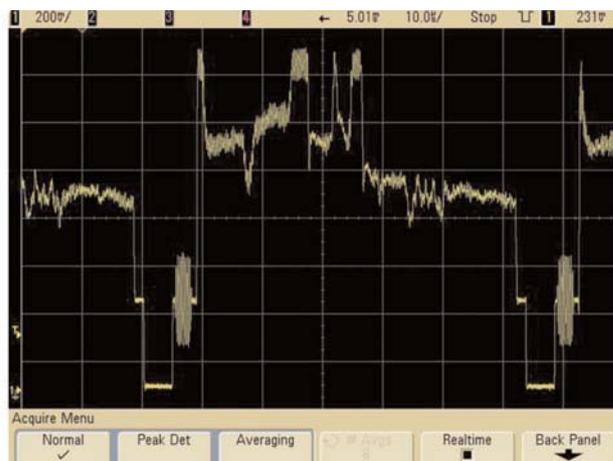
отображать только повторяющиеся сигналы.

На рисунке 4 в увеличенном масштабе показано изображение выделенного участка сигнала, представляющего одиночную строку композитного видеосигнала, захваченную в том же цикле сбора данных, который показан на рисунке 3.

Но поскольку аналоговые осциллографы не запоминают сигналы в цифровом виде, они не могут давать увеличенное изображение мгновенного “снимка” сигнала.



**Рисунок 3 - Полный кадр композитного видеосигнала, отображаемый на осциллографе серии 6000 компании Agilent**



**Рисунок 4 - Увеличенное изображение одиночной строки видеосигнала, полученное с использованием осциллографа серии 6000 компании Agilent**

### Сигнал возбуждения электродвигателя с цифровым управлением

Другим примером сложного аналогового сигнала может служить сигнал возбуждения электродвигателя с цифровым управлением. Единовременный цикл пуска двигателя можно отнести к классу однократных процессов. На рисунке 7 показано, как осциллограф смешанных сигналов (MSO) серии 6000 компании Agilent может надежно захватывать одну фазу этого однократного сигнала возбуждения при пуске двигателя. Можно также воспользоваться цифровыми/логическими каналами для синхронизации и запуска

захвата исследуемого сигнала с привязкой к цифровым управляющим сигналам электродвигателя. Такая возможность может оказаться особенно важной при попытке синхронизировать циклы сбора данных не только с последовательностями включения питания, но и с определенными командами позиционирования двигателя. Хотя это и не показано, но используя свои четыре аналоговых канала, такой осциллограф мог бы так же легко захватить одновременно все три фазы сигналов возбуждения двигателя.

На рисунке 7 показаны также два увеличенных изображения, выбранных из того же однократного цикла сбора данных. За счет глубокой памяти MegaZoom III этого осциллографа после стократного увеличения изображения можно видеть яркий вертикальный вектор (примерно в середине экрана) в средней части изображения. Дальнейшая растяжка изображения (в соотношении 20000:1) для пакетного сигнала с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) позволяет обнаружить глитч, показанный на изображении справа.

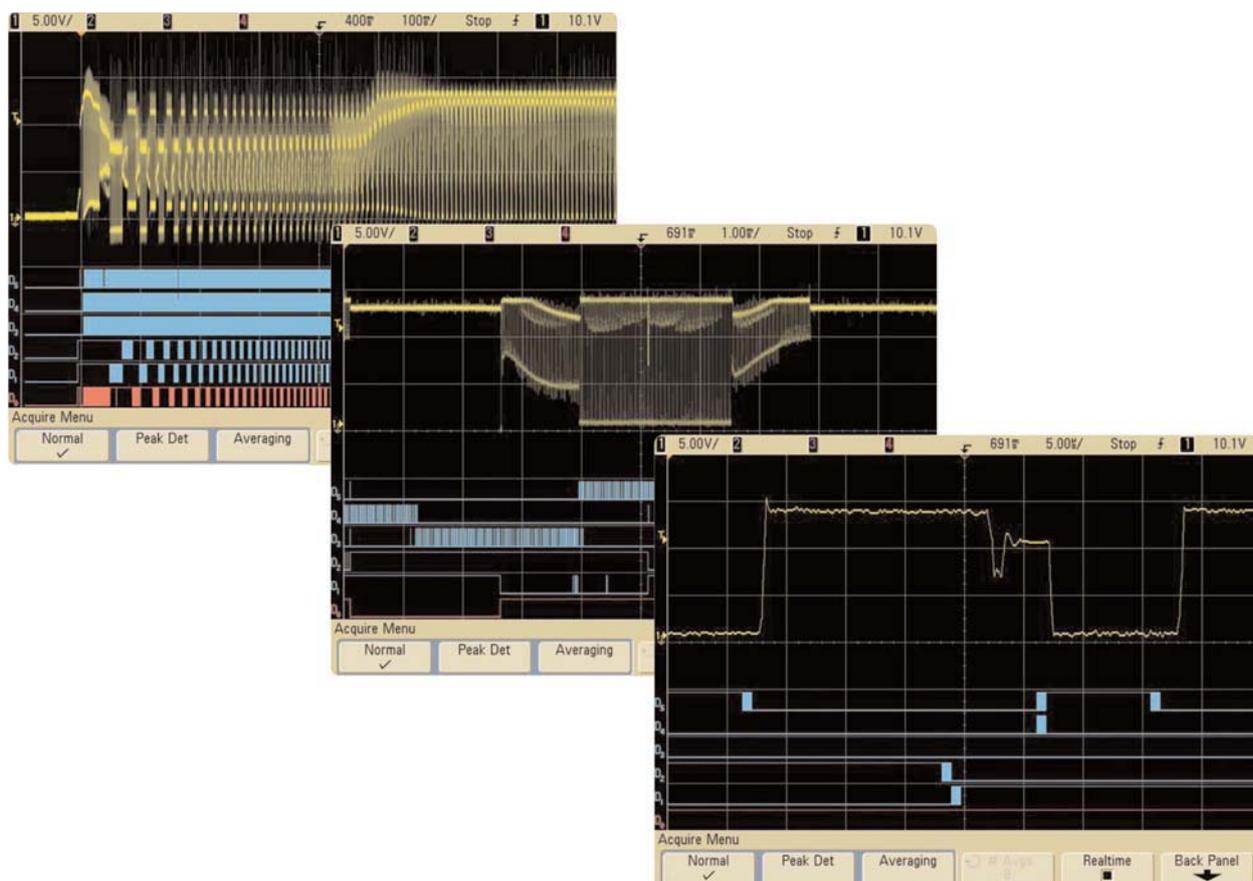
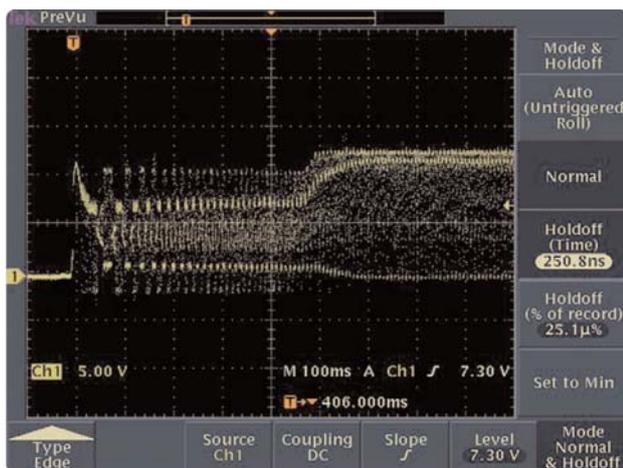


Рисунок 7 - Исследование сигналов в цикле пуска электродвигателя. Запуск осциллографа смешанных сигналов (MSO) компании Agilent по цифровым управляющим сигналам и использование различных масштабов увеличения при просмотре собранных данных позволяет обнаружить “вырожденный” импульс

Как показано на рисунке 8, цифровой осциллограф другого производителя не имеет возможности захватить и отобразить все детали этого сигнала из-за недостаточной частоты дискретизации и качества отображения. Кроме того, в цифровом осциллографе другого производителя отсутствуют дополнительные логические каналы осциллографа смешанных сигналов, и поэтому он не сможет запустить сбор данных по цифровым управляющим сигналам этого трехфазного электродвигателя. Плохое качество изображения объясняется ограниченной глубиной памяти этого осциллографа и пониженной частотой дискретизации на более медленных скоростях

развертки. Вследствие пониженной частоты дискретизации осциллографа другого производителя не предпринималось попыток увеличения полученного изображения, поскольку в результате можно было бы увидеть только несколько широко разнесенных точек, как на рисунке 6. Также не было попыток захватить этот сигнал с использованием аналогового осциллографа, поскольку исследуемый сигнал является однократным, а традиционные аналоговые осциллографы не имеют возможности отображать однократные сигналы.



**Рисунок 8 - Сигнал возбуждения при пуске электродвигателя, захваченный с использованием цифрового осциллографа другого производителя**

### Исследование цифровых сигналов

Визуальные эффекты, создаваемые градацией яркости в цифровом осциллографе, наиболее ощутимы при просмотре аналоговых сигналов со сложными видами модуляции, таких как, композитный видеосигнал или сигналы возбуждения электродвигателя, рассмотренные выше. Однако градация яркости также

чрезвычайно важна для обнаружения аномалий в сигнале при отладке цифровых схем. Рисунок 9 иллюстрирует пример обнаружения вырожденного импульса, встроенного в сигнал с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ). Яркая точка вблизи середины каждого пакета говорит о том, что осциллограф захватил аномалию сигнала.

Увеличив изображение одной из ярких точек можно отчетливо видеть подробности этой аномалии, как это показано на рисунке 10. И хотя аналоговый осциллограф при повторяющейся развертке тоже покажет эти яркие точки, он не имеет возможности увеличить изображение запомненных сигналов.

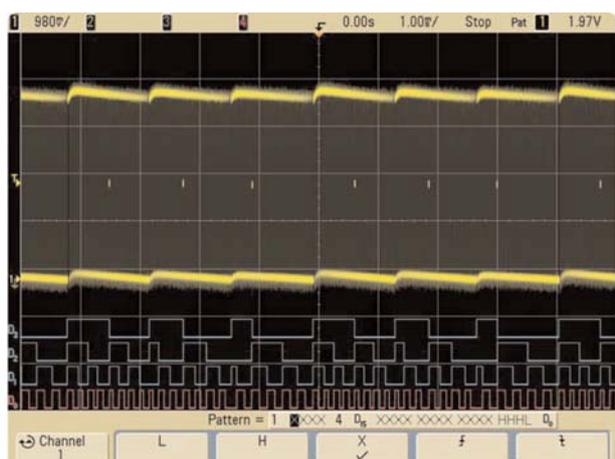


Рисунок 9 - Осциллограф серии 6000 компании Agilent выявляет "яркие точки", представляющие аномалии сигнала, скрытые в каждом цифровом пакете

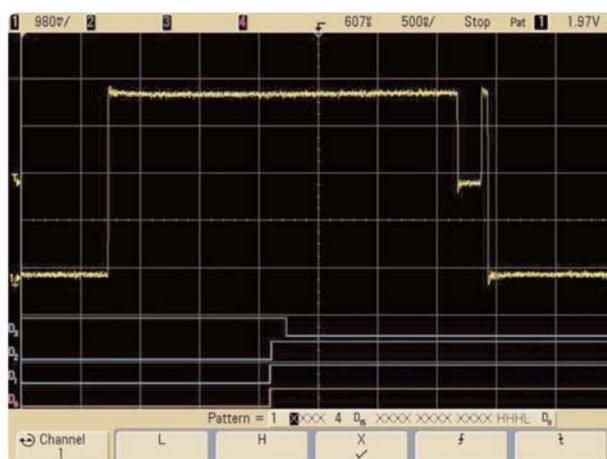
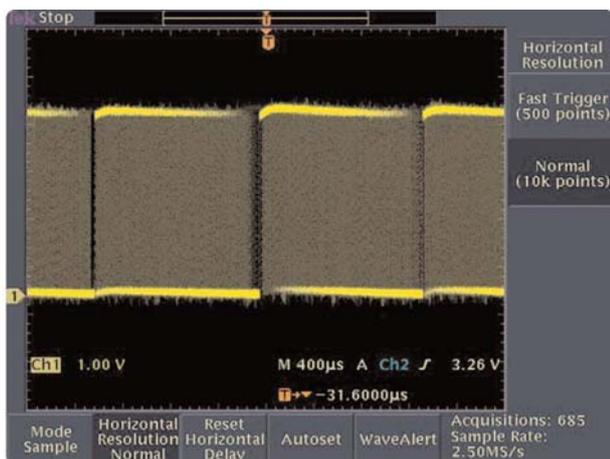
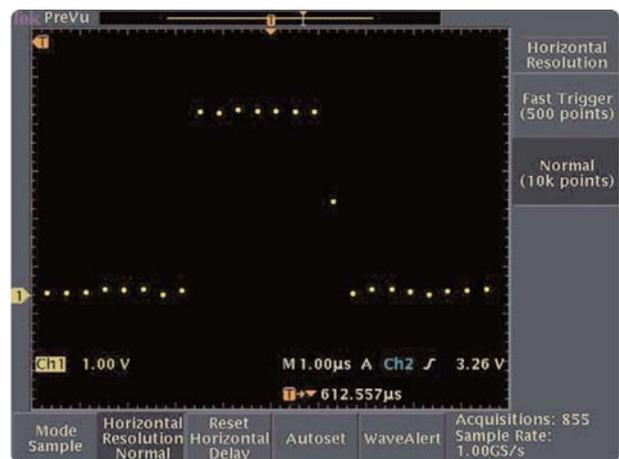


Рисунок 10 - Увеличение (растяжка) изображения "яркой точки" выявляет вырожденный импульс

На рисунке 11 показана попытка захвата того же самого цифрового сигнала с использованием цифрового осциллографа другого производителя. Этот осциллограф не имеет достаточного разрешения, чтобы отобразить аномалии в виде ярких точек. Он также не обладает достаточной глубиной памяти сбора данных и частотой дискретизации при данном значении коэффициента развертки, чтобы обнаружить вырожденный импульс после увеличения изображения, как показано на рисунке 12.



**Рисунок 11 - Цифровой осциллограф другого производителя оказался неспособным обнаружить какие-либо встроенные "яркие точки"**



**Рисунок 12 - Увеличение изображения пакета покажет только одну дискретную точку на вырожденном импульсе из-за недостаточной частоты дискретизации и глубины памяти (примечание: точки были увеличены для более четкого отображения)**

Градации яркости изображения также очень важна при просмотре сигналов, содержащих джиттер, шумы и редко повторяющиеся события. Уровни яркости изображения могут помочь оценить относительную частоту появления аномалий в сигнале, а иногда и визуально определить тип джиттера или характер шума в исследуемой системе (на основе визуальной оценки разброса яркости изображения), не прибегая к сложному программному обеспечению анализа формы сигнала.

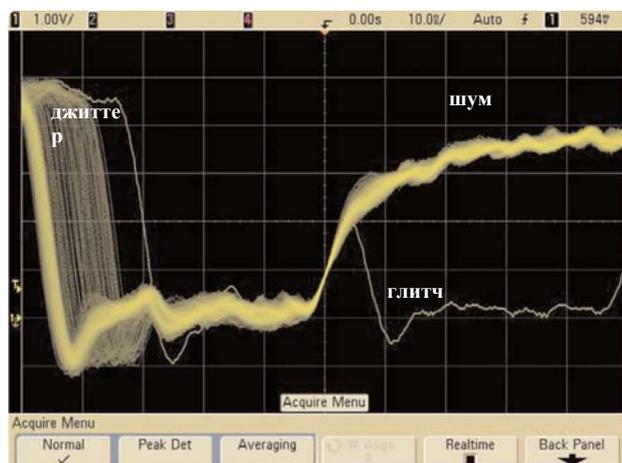
На рисунке 13 показан пример цифрового сигнала, содержащего джиттер синхронизации (в левой части экрана), шум по уровню (вершина и основание сигнала) и очень редкую кратковременную помеху (глитч) (около середины экрана). Учитывая относительно тусклое изображение глитча, можно сделать вывод, что он возникает очень редко. Можно также заметить, что характер джиттера очень сложен и, вероятно, содержит большую детерминированную

составляющую (DJ). Если бы разброс яркости изображения, наблюдаемый на перепаде сигнала, имел гауссово распределение, можно было бы предположить, что в джиттере доминирует случайная составляющая (RJ). Более глубокое обсуждение различных типов джиттера приведено в рекомендациях по применению 1448-2 "Finding Sources of Jitter with Real-Time Jitter Analysis" (нахождение источников джиттера с помощью реального времени анализа джиттера), указанных в списке литературы в конце данной брошюры.

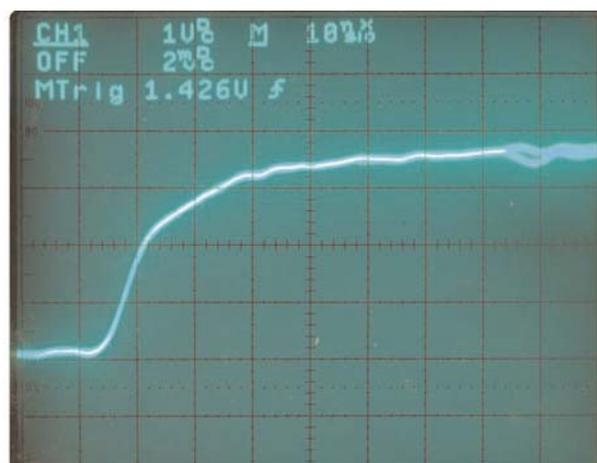
На рисунке 14 показан тот же самый сигнал, отображаемый на аналоговом осциллографе. К сожалению, здесь нельзя показать перепад сигнала с джиттером, поскольку он появляется перед опорной точкой запуска (положительный перепад). Но перепад сигнала, который иногда представляет собой редкий глитч, может быть виден. Однако на экране аналогового осциллографа нельзя

увидеть глитч, поскольку он появляется слишком редко, даже если установлена максимальная яркость.

Цифровой осциллограф другого производителя также не способен захватить и отобразить редко возникающий глитч, даже если пользователь удерживает пробник осциллографа на контрольной точке более 10 секунд. Правда, проблема захвата глитча не обусловлена недостаточным качеством отображения, а связана с недостаточной скоростью обновления осциллограмм. Более глубокое обсуждение этого важного аспекта функционирования цифровых осциллографов приведено в рекомендациях по применению 1551 "Повышение способности захвата трудноуловимых событий: почему важна скорость обновления осциллограмм сигнала в осциллографе", указанных в списке литературы в конце данной брошюры.



**Рисунок 13** - При использовании осциллографа серии 6000 компании Agilent градация яркости изображения позволяет оценить характеристики джиттера, шума и аномалий сигнала



**Рисунок 14** - Аналоговый осциллограф не в состоянии показать редко возникающий глитч

## Оценка качества отображения

Вообще оценка качества отображения осциллографа носит субъективный характер. Наилучший способ сравнить качество отображения различных цифровых осциллографов - поставить их рядом и визуально сравнить по очереди изображения нескольких разных сигналов, как было показано в этих рекомендациях по применению. К сожалению, сравнение цифровых осциллографов различных производителей, поставленных в ряд, не всегда возможно.

Вместо того чтобы просто голословно утверждать, что качество отображения одного осциллографа лучше другого, мы попытаемся количественно оценить качество отображения для получения объективной оценки при сравнении. Имеются три основные характеристики, которые в совокупности определяют качество отображения осциллографа: число отображаемых пикселей, число уровней градации яркости для каждого пикселя и число выборок, отображаемых на экран осциллографа. Так как в осциллографах серии 6000 компании Agilent используется дисплей типа XGA (768x1024), легко подсчитать, что эти осциллографы имеют разрешение, равное 786 000 пикселям. Но не все они используются для отображения сигнала. Некоторое число пикселей выделено для графики меню за пределами масштабной сетки; поэтому только 640x1000 из 768x1024 пикселей заняты для отображения сигнала. Кроме того, поскольку разрешающая способность АЦП равна 8 битам, для отображения сигнала в реальном времени на самом деле используются только 256 пикселей по вертикали из возможных 640. В результате максимальное разрешение при отображении сигнала составляет в чистом виде около 256 000 пикселей, на которые в реальном времени отображаются до 8 000 000 выборок.

Отображение 8 000 000 выборок на 256 000 пикселей означает, что при просмотре сигналов

сложной формы в каждом цикле сбора данных во многие пиксели в пределах вертикальной шкалы будет попадать по несколько выборок из массива данных. Число попаданий, приходящихся на каждый пиксел, определяет уровень градации яркости. Осциллографы Agilent серии 6000 определяют 256 уровней градации яркости. Если в некоторый пиксел попадает только одна выборка, он будет иметь минимальный видимый уровень яркости. Пиксели, в которые попадает 256 или более выборок, будут иметь максимальный уровень яркости. Умножая разрешение в пикселях на число уровней градации яркости, можно количественно оценить качество отображения цифрового осциллографа. С помощью этой формулы можно примерно оценить качество отображения осциллографа серии 6000 компании Agilent в численном виде как 65 М пиксел-уровней.

Как это значение соотносится с качеством отображения цифрового осциллографа другого производителя? Поскольку другие осциллографы используют дисплей типа VGA (640x480), максимальное число отображаемых пикселей равно примерно 300 000. Однако с учетом тех же самых допущений, касающихся размещения графики меню и разрешения АЦП (8 бит), мы приблизительно подсчитали, что осциллографы другого производителя могут использовать до 115 000 пикселей для отображения сигнала в реальном времени. Далее, осциллографы другого производителя отображают до 10 000 выборок сигнала на эти пиксели в процессе каждого цикла сбора данных. Хотя другие компании точно не указывают число уровней яркости отображения, мы приблизительно оценили, что этот осциллограф использует не более 16 уровней градации яркости. Используя эти предположения, мы оцениваем относительное качество отображения этого осциллографа как 1,8 М пиксел-уровней. Даже без учета значительной разницы в глубине памяти двух

рассматриваемых осциллографов качество отображения осциллографов серии 6000 при повторяющемся сборе данных более чем в 35 раз лучше, чем у осциллографов другого производителя, с учетом упомянутых выше допущений и вычислений. Однако однократном сборе данных в реальном времени качество отображения осциллографа компании Agilent даже еще выше (сравните рисунки 7 и 8), поскольку осциллограф серии 6000 отображает на свой дисплей 8 000 000 выборок сигнала, а осциллограф другого производителя - только 10 000.

## Заключение

При обсуждении вопроса о покупке нового цифрового осциллографа не следует ограничиваться оценкой только полосы пропускания, частоты дискретизации, числа каналов и глубины памяти. Существует еще очень важный критерий - качество отображения. Третье измерение осциллографического изображения, ось Z, которая определяет градации яркости сигналов в зависимости от частоты их появления, позволяет выявлять существенные детали формы сигналов, включая аномалии; это представляет интерес для широкого круга задач исследования аналоговых и цифровых сигналов. В данной брошюре мы попытались сделать сравнение качества отображения сигнала при использовании технологии MegaZoom III компании Agilent с качеством отображения аналоговых осциллографов и осциллографов DPO. Кроме того, мы представили методику количественной оценки качества отображения (пиксел-уровни) для сравнения цифровых осциллографов разных моделей.

Для просмотра интерактивного видео, демонстрирующего важное значение скорости обновления осциллограмм и качества отображения следует обратиться на сайт компании по адресу: [www.agilent.com/find/scope-demo](http://www.agilent.com/find/scope-demo) и затем выбрать для просмотра видео под заголовком "Expanding Beyond Two Dimensions" (расширение за пределы двухкоординатных измерений).

# Глоссарий

**Эквивалентновременная дискретизация** - преобразование входного аналогового сигнала в цифровую форму за счет многократных циклов сбора данных.

**MegaZoom III** - патентованная технология сбора данных и их отображения, разработанная компанией Agilent, которая обеспечивает в цифровом осциллографе чрезвычайно быстрые скорости обновления (до 100 000 осциллограмм/с в реальном времени) и высокое качество отображения, которое не уступает качеству отображения традиционных аналоговых осциллографов.

**Градация яркости** - изменение яркости отображения в определенных точках экрана с координатами X-Y (пиксели отображения) в зависимости от частоты попадания мгновенных значений сигнала в эти координаты.

**Осциллограф смешанных сигналов (MSO)** - осциллограф с дополнительными логическими каналами анализа временных диаграмм, в котором обеспечена непосредственная временная корреляция между аналоговыми и логическими каналами, а также возможность комбинационного запуска по всем каналам.

**Широтно-импульсная модуляция (ШИМ)** - метод, при котором изменяемым во времени параметром является длительность цифровых импульсов; после фильтрации они генерируют изменяющиеся уровни напряжения постоянного тока.

**Реальновременная дискретизация** - преобразование входного аналогового сигнала в цифровую форму, получаемое в результате однократного сбора данных благодаря высокой частоте дискретизации.