

# ШУМЫ ОСЦИЛЛОГРАФА: КАК С НИМИ БОРОТЬСЯ?

С.Корнеев info@prist.ru

Цифровой осциллограф сегодня – самый мощный и часто используемый инструмент инженеров-разработчиков при тестировании и ремонте электронных устройств. Поскольку характеристики таких устройств становятся все лучше, повышаются и требования к точности их измерения. Одна из основных проблем, затрудняющих проведение точных измерений, – искажение полезного сигнала шумами, вносимыми измерительной аппаратурой. О том, как оптимально решить эту проблему, рассказывается в статье.

## СПОСОБЫ ИЗМЕРЕНИЯ ЗАШУМЛЕННОГО СИГНАЛА

Все цифровые осциллографы реального времени включают широкополосный усилитель и АЦП, определяющие их полосу пропускания и частоту дискретизации. Значения данных параметров все время улучшаются, но при этом возрастает собственный шум широкополосного усилителя. В ряде случаев это становится проблемой. Ни один инженер не хочет провести свое время, исследуя качество сигнала тестируемого устройства, а потом обнаружить, что он фактически исследовал шум, добавленный к сигналу в процессе обработки данных осциллографом.

Приведем методы, которые предлагают производители осциллографов для точных измерений зашумленного сигнала.

### Использование осциллографов с малым шумом

Самое очевидное решение – использовать для измерений цифровой осциллограф с широкой полосой пропускания, малым собственным шумом и высокой частотой дискретизации. Эту задачу успешно решила компания LeCroy, выпустив серию осциллографов Wave Runner HRO 6 Zi (рис.1), которая включает две модели с полосами

пропускания 400 и 600 МГц – наиболее востребованными на практике. Осциллографы имеют входной усилитель с очень низким уровнем шума и быстродействующий АЦП с частотой дискретизации 2 ГГц и вертикальным разрешением 12 бит. Соотношение сигнал/шум у этих моделей не хуже 55 дБ, что дает более четкое отображение сигнала во временной и частотных областях по сравнению с 8-битными осциллографами (с соотношением сигнал/шум 35 дБ). Пользователь может анализировать фактический сигнал, очень мало искаженный входным усилителем осциллографа.

Конечно, до появления серии Wave Runner HRO 6 Zi уже были осциллографы с разрешением АЦП более 8 бит, но все они имели либо узкую полосу пропускания, либо недостаточную частоту дискретизации, а также ограниченный набор инструментов для анализа. В осциллографах же WaveRunner HRO 6 Zi для решения самых сложных исследовательских задач предлагается полный набор аналитических инструментов: анализатор спектра, 16 экранов отображения сигналов, средства для анализа джиттера, режим предыстории, режим WaveScan (поиск заданных участков сигнала в памяти осциллографа), режим TriggerScan (захват и регистрация редких аномалий) и др.

### Усреднение

В этом методе складываются значения N выборок, хранящиеся в специальном буфере, и результат делится на число выборок. Когда требуемый уровень шумоподавления достигнут, пользователь может просмотреть форму усредненного сигнала и сделать измерения. Это известный метод, доступный в большинстве осциллографов. Однако на его применение есть ряд ограничений. Метод не работает при непериодическом и нестабильном сигнале. Измерения времени нарастания, длительности импульса, однократных импульсов и других параметров будут искажены удалением части сигнала. "Истинный" шум, который является частью сигнала, также будет удален.

### Фильтрация

Аналоговые и цифровые фильтры встроены во многие модели осциллографов различных производителей. Этот метод не требует наличия периодического сигнала или устойчивой синхронизации. Преимущества метода состоят в том, что можно более гибко пользоваться настройками фильтра и удалять высокочастотный шум, оставляя низкочастотный. К тому же, в большинстве случаев, реальный сигнал отображается одновременно с пропущенным через фильтр.

Интересно сравнить оба метода обработки сигнала - усреднение и фильтрацию, - примененные к одному и тому же сигналу (рис.2, 3).



**Рис.2.** Результаты применения усреднения. Верхняя развертка – необработанные данные с АЦП. Нижняя развертка – 1000-кратное усреднение. Уровни шума (от сигнала и от процесса сбора данных) значительно сокращены путем усреднения

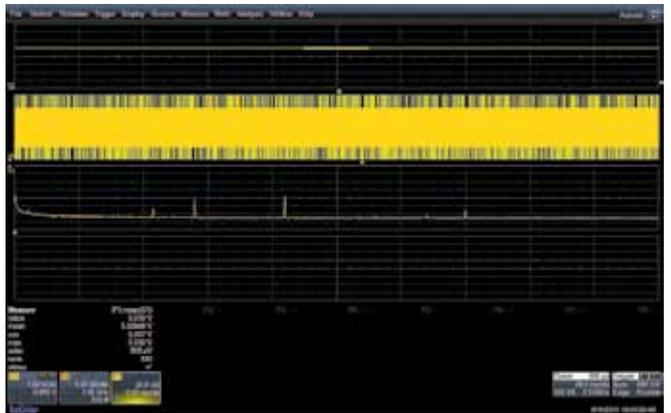
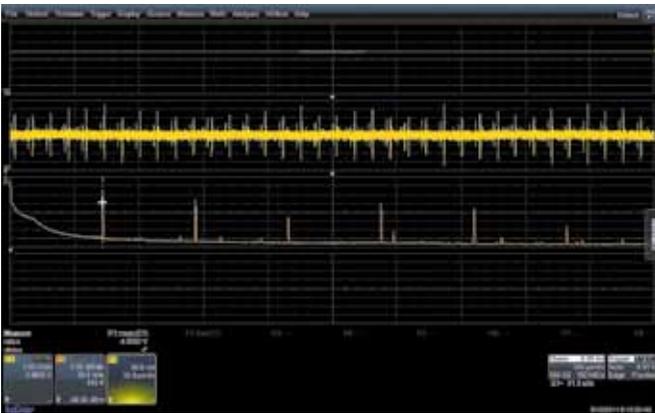


**Рис.1.** Осциллограф Wave Runner HRO 6 Zi

При детальном рассмотрении обоих изображений можно видеть отличия. Сигнал после усреднения выглядит более гладким. После фильтрации наблюдаются всплески и неровности, особенно заметные в середине экрана. Действительно ли эти помехи существуют в реальном сигнале, или искажения добавлены фильтром? В параметрах фильтра в данном примере задана частота среза 8 МГц. Фильтр пропускает более низкие частотные



**Рис.3.** Результаты применения фильтрации (сигнал тот же, что на рис.2). Нижняя развертка представляет однократный сбор данных без усреднения. Фильтр удаляет шум свыше 8 МГц – как реальный, являющийся частью сигнала, так и приобретенный в процессе сбора данных



**Рис.4.** Осциллограммы напряжения источника питания, снятые 8-битным осциллографом. Верхняя развертка – сигнал с источника питания. Средняя развертка – увеличенный масштаб. Нижняя развертка – частотный анализ

**Рис.5.** Осциллограммы напряжения источника питания, снятые 8-битным осциллографом LeCroy. Измерения показывают пиковое значение шума 160 мВ. Нижняя развертка – БПФ-анализ

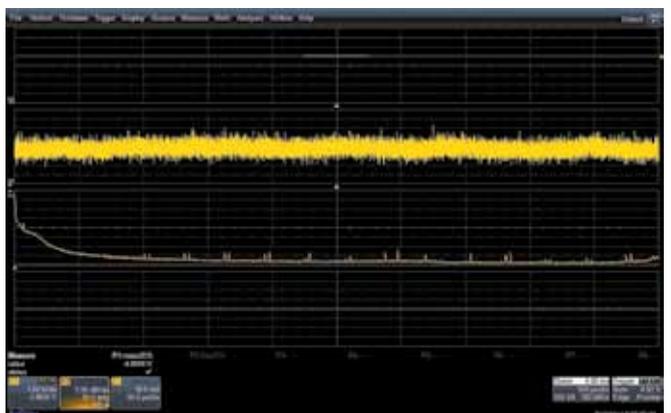
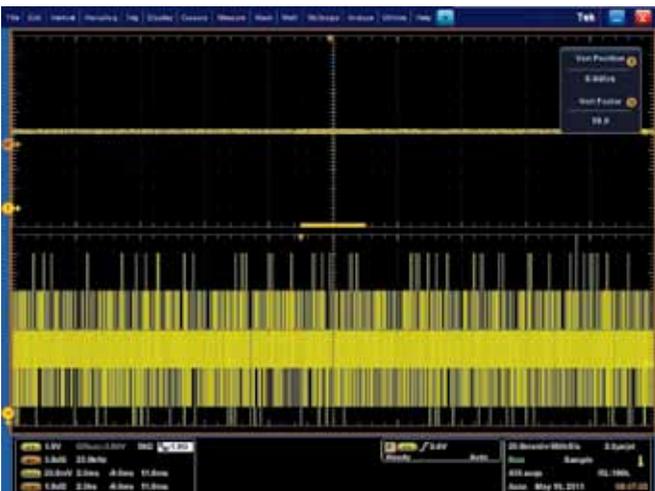
составляющие шума, которые и вызывают "ухабистую" структуру. Если бы он был настроен на более низкую частоту, то отфильтрованный сигнал (см. рис.3) был бы ближе к усредненной форме (см. рис.2). Какой из двух представленных методов обработки сигнала более верный? На основе полученных результатов этого сказать нельзя. В данном случае исходная форма сигнала, поданного на вход осциллографа, была гладкой, а метод фильтрации ее сильно исказил. Фильтры удаляют шум осциллографа, но они также искажают реальный сигнал.

Можно ли в таком случае использовать фильтры, чтобы оценить реальную форму сигнала? Да, но только если возможно определить корректную форму исходного сигнала, прежде чем будут производиться настройки фильтра.

**РЕАЛЬНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ**

**Тестирование источника питания**

Рассмотрим реальный пример тестирования источника питания. Большинство инженеров не разрабатывают источники питания, но они должны проверять соответствие их параметров допустимым нормам или искать причину их отказа. Любой источник питания, у которого есть очевидные проблемы в работе, может быть протестирован и отлажен на 8-битном



**Рис.6.** Осциллограммы напряжения источника питания, снятые 8-битным осциллографом другого производителя. Измерения показывают пиковое значение шума 160 мВ (как и на рис.5)

**Рис.7.** Осциллограммы напряжения источника питания, снятые осциллографом высокого разрешения LeCroy Wave Runner HRO 6 Zi. Измерения показывают пиковое значение шума 50 мВ

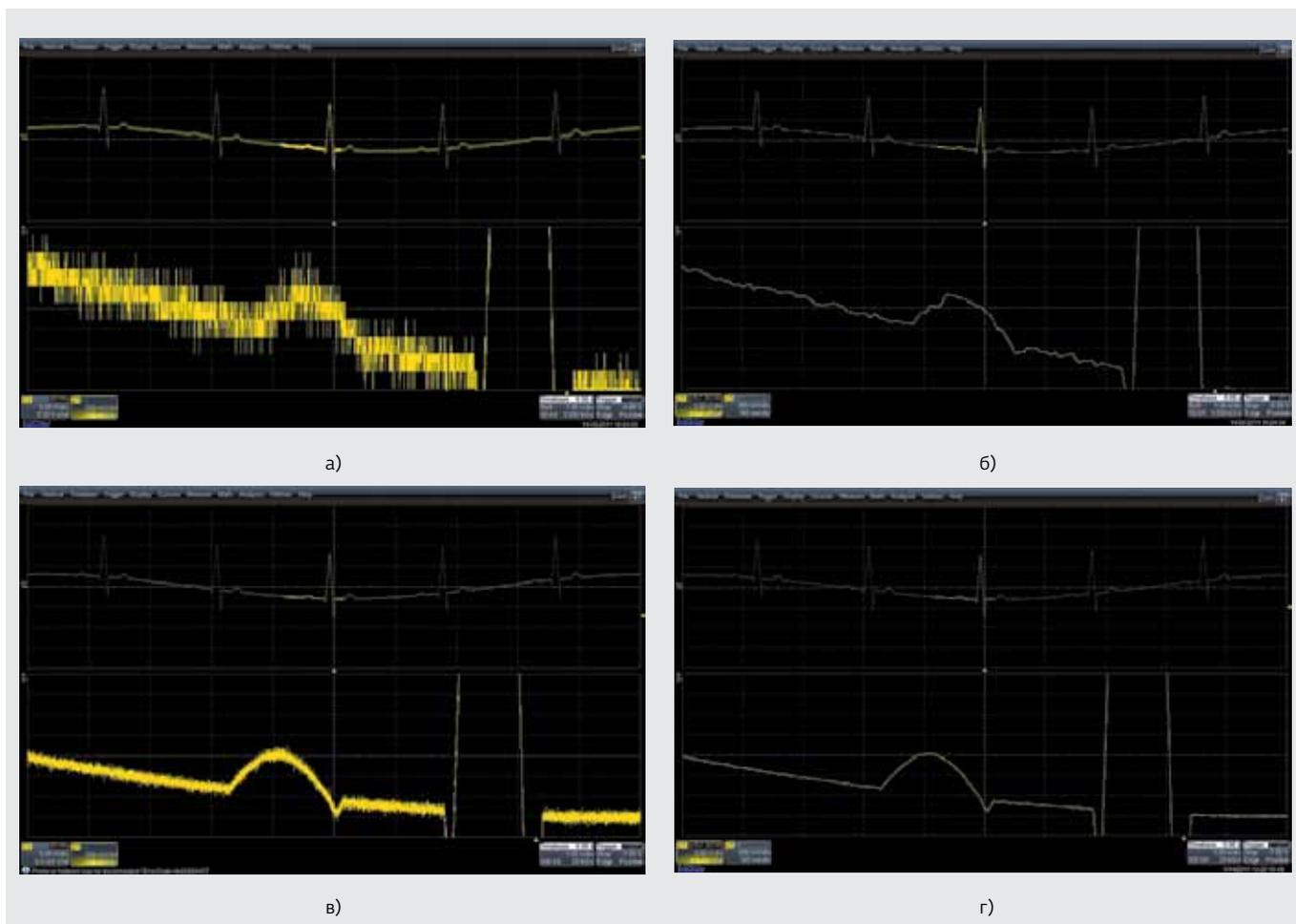
осциллографе (рис.4). Плоский сигнал на верхней развертке при детальном рассмотрении (увеличении масштаба) показывает наличие проблем с шумами источника. Идентифицировать источник шума позволяет частотный анализ.

Следующий пример демонстрирует исследование другого источника питания на осциллографах двух разных производителей (рис.5, 6). Возможно, инженер, который протестировал бы этот источник с помощью двух различных осциллографов и получил одинаковый результат, пришел бы к выводу, что источник питания неисправен. Или он мог бы проанализировать частотный спектр и выявить причину шума. А, возможно, сравнив два частотных спектра с разных осциллографов, он пришел бы к выводу, что источники шумов имеют разную природу. В любом случае, он впустую бы потратил свое время, так как данные с обоих осциллографов не отражают объективную картину. Какой же из осциллографов имеет более корректные показания? Ответ требует дополнительной информации, для чего используем осциллограф высокого разрешения. Результат измерения шума

составил 50 мВ пикового значения (рис.7), что вполне допустимо для источника питания данного типа. В предыдущих тестах 160 мВ пикового значения были шумом, добавленным 8-битным осциллографом. Разная же природа шумов в двух предыдущих моделях осциллографов объясняется различной схмотехникой входных усилителей.

### **Измерение сигнала с низким соотношением сигнал/шум**

Рассмотрим дугой пример – измерение сигнала, характерного для медицинских приложений (рис.8). В данном случае 8-битного разрешения осциллографа, на котором была снята осциллограмма, недостаточно, чтобы рассмотреть мельчайшие пики на сигнале, несущие полезную информацию (рис.8а). Применение фильтрации (рис.8б) позволяет удалить высокочастотный шум и рассмотреть мелкие детали. Как видно на рис.8б, шум уменьшился, но наблюдаются некие неровности. Что это – искажения сигнала фильтром или же реальные всплески в сигнале?



**Рис.8.** Кардиосигнал, содержащий значительный шум, часть которого относится к реальному сигналу, а часть добавлена системой сбора: а) сигнал, полученный 8-битным осциллографом; б) тот же сигнал, но с применением высокочастотной фильтрации; в) сигнал, снятый на осциллографе Wave Runner HRO 6 Zi; г) сигнал, полученный на Wave Runner HRO 6 Zi, но высокочастотный шум удален фильтром. Нижняя развертка – увеличенное изображение

Чтобы ответить на этот вопрос, тот же сигнал был исследован с помощью осциллографа высокого разрешения Wave Runner HRO 6 Zi (рис.8в). При увеличенном масштабе виден небольшой шум от входного усилителя осциллографа, но, прежде всего, осциллограф дает четкое представление о форме сигнала. После применения высокочастотного фильтра (рис.8г) хорошо видно, что за большим всплеском в центре экрана идет маленький отрицательный выброс.

Основной вывод, который инженеры давно усвоили, – паразитный шум на входе приводит к искажениям на выходе. Если осциллограф добавляет значительное количество шума к сигналу при сборе данных, то и после обработки отображение сигнала, вероятно, будет неправильным. Такие методы, как усреднение

и фильтрация также будут малоэффективны. С другой стороны, если осциллограф вносит малые искажения, то намного более вероятно, что пользователь может применить аналитические возможности осциллографа и получить правильные результаты.

Как видим из приведенных выше экспериментов, математические методы и другие способы увеличения четкости изображения, применяемые в 8-битных осциллографах, не всегда дают истинное представление о реальном сигнале. Если инженер должен сделать более точные измерения, наиболее простой способ – использовать для получения сигнала с низким уровнем шума осциллограф высокого разрешения. Лучшее решение – 12-битные широкополосные осциллографы серии WaveRunner HRO 6 Zi, позволяющие получить "чистые" данные. ●