

Решение проблем с шумами осциллографа при проведении точных измерений

Сергей КОРНЕЕВ
info@prist.ru

В статье рассматриваются методы, которые могут быть использованы для сбора, отображения и измерения сигналов с максимальной точностью при помощи цифровых осциллографов. Сложности исследования сигналов с высоким уровнем шума, низким соотношением сигнал/шум и прикладные задачи в сфере медицинского оборудования, а также прочие специфичные высокочастотные исследования требуют применения нового поколения осциллографов с высоким разрешением.

Цифровой осциллограф сейчас стал самым мощным и часто используемым инструментом для инженеров-разработчиков при тестировании и ремонте электронных устройств. Поскольку характеристики электронных устройств становятся лучше с каждым новым поколением, требования к спецификации таких устройств становятся более жесткими, а для этого необходима высокая точность измерений.

Проблема точных измерений ВЧ-сигналов

Все цифровые осциллографы реального времени включают широкополосный усилитель и АЦП. Поскольку сигнальные скорости ста-

ли выше, соответственно, возросли требования к пропускной способности и скорости сбора данных. Однако собственный шум широкополосного усилителя имеет тенденцию увеличиваться с квадратным корнем пропускной способности. В ряде случаев это становится проблемой. Никто из инженеров не хочет потратить свое время, исследуя качество сигнала устройства, а позже обнаружить, что он фактически исследовал шум, добавленный к его сигналу в процессе обработки данных осциллографом.

Решения

Рассмотрим, какие же методы предлагают производители осциллографов для решения задачи точных измерений зашумленного сигнала.

1. Самое очевидное решение состоит в том, чтобы использовать для измерений цифровой осциллограф с широкой полосой пропускания, малым собственным шумом и высокой частотой дискретизации. Наиболее востребованы модели осциллографов с полосой пропускания до 500 МГц. Некоторые приложения требуют немного большей или обходятся меньшей полосой пропускания.

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. Эти осциллографы имеют входной усилитель с очень низким уровнем шума и быстродействующее АЦП с частотой дискретизации 2 ГГц и вертикальным разрешением 12 бит. Новые модели осциллографов имеют соотношение сигнал/шум не хуже 55 дБ, что по сравнению с 35 дБ для 8-битных осциллографов дает более четкое отображение сигнала во временной и частотных областях. Это также добавляет точность в статистической обработке, так как уменьшается влияние собственных шумов прибора при поиске кратковременных импульсов или построении гистограмм распределения значений параметра. Пользователь может характеризовать фактический сигнал с очень маленьким воздействием от входного усилителя.

Конечно, до появления серии Wave Runner HRO 6 Zi были осциллографы с разрешением АЦП более 8 бит, но все они имеют узкую полосу пропускания, либо недостаточную частоту дискретизации и достаточно ограниченный набор инструментов для анализа, таких как БПФ, математика, измерения и режимы синхронизации. Осциллографы WaveRunner HRO 6 Zi предлагают полный набор аналитических инструментов для решения самых сложных исследовательских задач: анализатор спектра, 16 экранов отображения сигналов, допусковый контроль, анализ



Рис. 1. Осциллограф Wave Runner HRO 662i

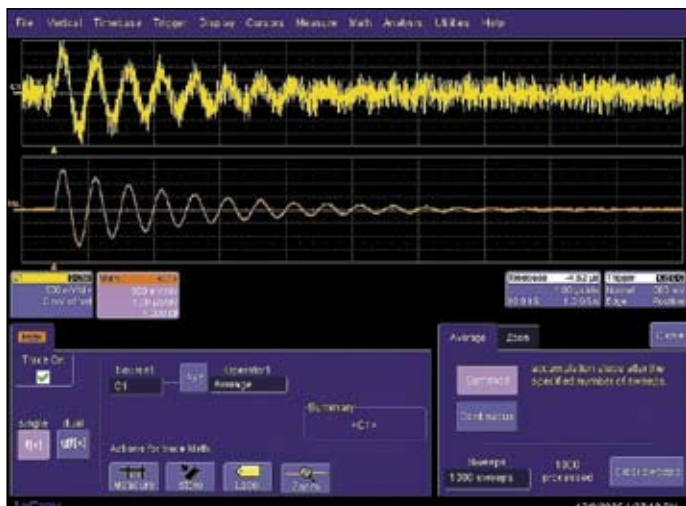


Рис. 2. Верхняя развертка — необработанные данные с АЦП. Нижняя развертка — 1000-кратное усреднение; уровни шумов (от сигнала и от процесса обработки в системе сбора данных) значительно сокращен путем усреднения



Рис. 3. Тот же сигнал, что представлен на рис. 2. Нижняя развертка представляет собой однократный сбор данных без усреднения; фильтр удаляет шум свыше 8 МГц; как реальный, являющийся частью сигнала, так и приобретенный в процессе сбора данных

электрической мощности, анализ систем последовательной передачи данных, анализ джиттера и временных параметров, режим предынструрии, синхронизация по результатам измерений, все виды измерений, режим WaveScan (поиск заданных участков сигнала в памяти осциллографа), XDEV (создание собственного пользовательского интерфейса), режим TriggerScan (захват и регистрация редких аномалий).

2. Усреднение. Математический буфер складывает значения N выборок и делит на количество выборок N . Когда требуемый уровень шумоподавления достигнут, пользователь может просмотреть форму усредненного сигнала и сделать измерения. Это известный метод, доступный в большинстве осциллографов. Однако есть ряд ограничений на применение этого метода. Он не работает при непериодическом и нестабильном сигнале. Измерения времени нарастания, длительности импульса, однократных импульсов и других параметров будут изменены удалением части сигнала. «Истинный» шум, который является частью сигнала, также будет удален.

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

На рис. 2 и 3 представлены оба метода обработки сигнала — усреднение и фильтрация, примененные к одному и тому же сигналу.

При детальном рассмотрении обоих изображений мы можем видеть отличие после обработки. Сигнал после усреднения выглядит более гладким, тогда как после фильтрации мы можем заметить всплески и неровности, особенно заметные в середине экрана. Действительно ли эти перекрестные помехи существуют в реальном сигнале или эти искажения добавлены фильтром? Как видно на рис. 3, в параметрах фильтра задана частота среза 8 МГц. Фильтр пропускает более низкие частотные составляющие шума, которые и вызывают «ухабистую» структуру. Если бы фильтр был настроен на более низкую частоту, то отфильтрованный сигнал, показанный на рис. 3, был ближе к усредненной форме, приведенной на рис. 2. Какой из двух представленных методов обработки сигнала более верный? Пользователь не знает. В данном случае исходная форма сигнала, поданного на вход осциллографа, была гладкой. Однако метод фильтрации сильно исказил форму сигнала. Фильтры удаляют шум осциллографа, но они удаляют и реальный сигнал.

Можно ли использовать в таком случае фильтры, чтобы оценить реальную форму сигнала? Ответ — можно, только если вы поймете, какова корректная форма исходного сигнала, прежде чем будете производить настройки фильтра.

Реальные измерительные задачи

Тестирование источника питания

Рассмотрим реальный пример тестирования источника питания (рис. 4). Большинство инженеров не разрабатывает источники питания, но они должны проверять соответствие их параметров допустимым нормам или искать причину отказа. Любой источник питания, у которого есть очевидные отказы, может быть протестирован и отлажен на 8-битном осциллографе.

Плоский сигнал на верхней развертке при детальном рассмотрении (увеличение масштаба) показывает наличие очевидных проблем с шумами источника. Частотный анализ позволяет идентифицировать источник шума.

В следующем примере (рис. 5, 6) приведено исследование другого источника питания на осциллографах двух разных производителей.

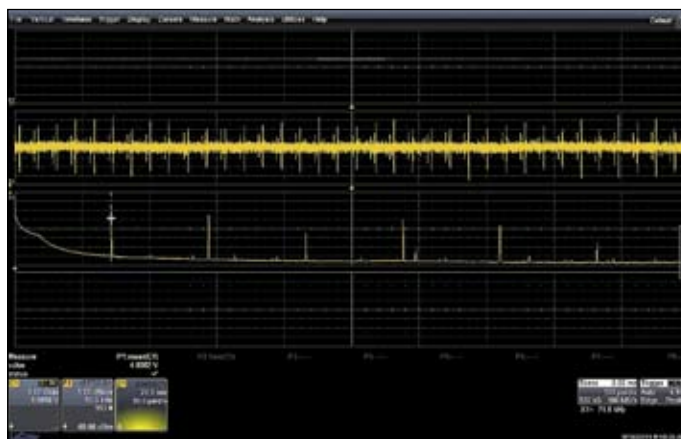


Рис. 4. Верхняя развертка — сигнал с источника питания; средняя развертка — увеличенный масштаб; нижняя развертка — частотный анализ

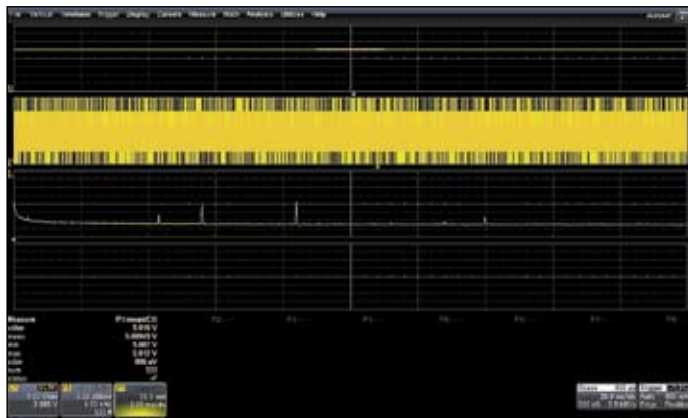


Рис. 5. Осциллограммы напряжения источника питания, снятые 8-битным осциллографом LeCroy (измерения показывают значение шума 160 мВ_{пик-пик}; нижняя развертка — БПФ-анализ)

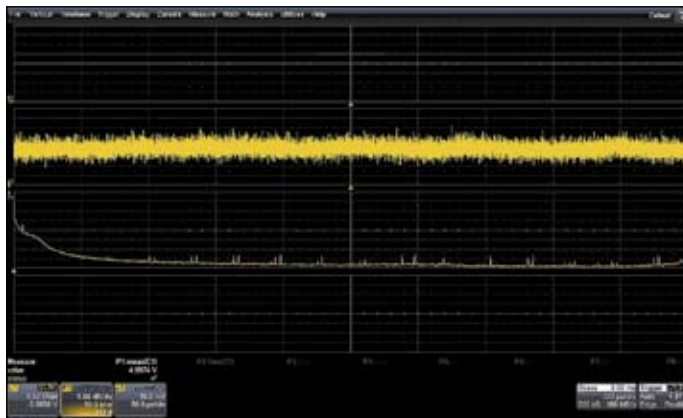


Рис. 7. Осциллограммы напряжения источника питания, снятые осциллографом высокого разрешения LeCroy Wave Runner HRO 6 Zi. Измерения показывают значение шума 50 мВ_{пик-пик}

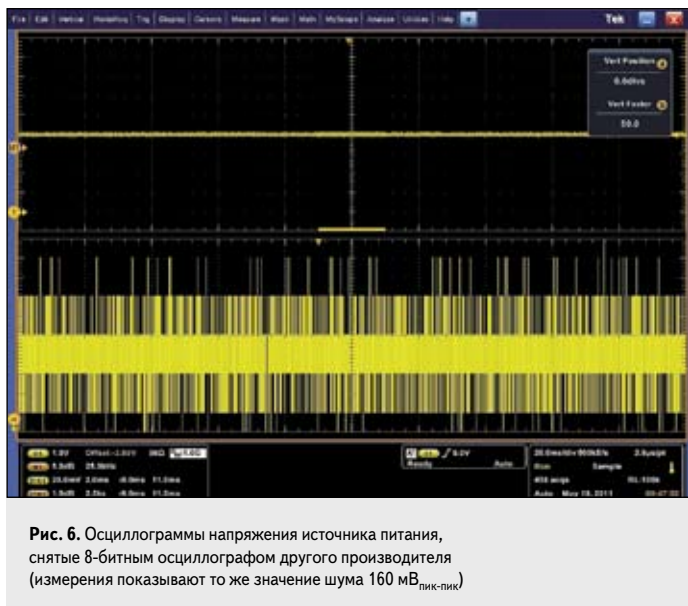


Рис. 6. Осциллограммы напряжения источника питания, снятые 8-битным осциллографом другого производителя (измерения показывают то же значение шума 160 мВ_{пик-пик})

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. В любом случае он впустую бы потратил свое время. Может быть, сравнив два частотных спектра с разных осциллографов, инженер пришел бы к выводу, что источники шумов имеют разную природу. Какой из осциллографов имеет более корректные показания? На этот вопрос нельзя ответить. Рис. 7 разрешает все сомнения. Если бы источник питания был протестирован с помощью осциллографов высокого разрешения, результат измерения шума составил бы 50 мВ пикового значения, что вполне допустимо для источника питания этого типа. В предыдущих тестах 160 мВ пикового значения были шумом, добавленным 8-битным осциллографом. Частотный спектр показывает природу шума. Разная природа шумов в двух предыдущих моделях осциллографов объясняется различной схемотехникой входных усилителей разных производителей.

Измерение сигнала с низким соотношением сигнал/шум

Рассмотрим другой пример — измерение сигнала, характерного для медицинских применений. На рис. 8 показан кардиосигнал. В данном случае 8-битного разрешения осциллографа, на котором была снята осциллограмма, недостаточно, чтобы рассмотреть мельчайшие пики на сигнале, несущие полезную информацию. Применение фильтра-

ции (рис. 9) позволяет удалить высокочастотный шум и рассмотреть мелкие детали.

Как видно на рис. 9, шум уменьшился, но мы видим некие неровности. Что это — искажения сигнала фильтром или же реальные всплески в сигнале?

Тот же сигнал, полученный с помощью осциллографа высокого разрешения, представлен на рис. 10. При увеличенном масштабе ви-

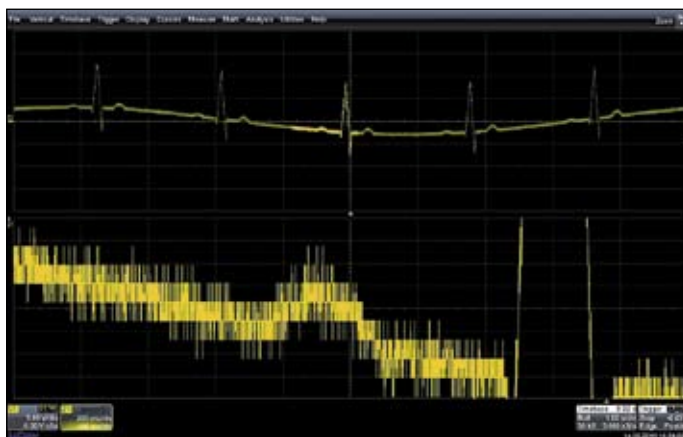


Рис. 8. Сигнал, содержащий значительный шум, часть из которого относится к реальному сигналу, а часть — шум, добавленный системой сбора (нижняя развертка — увеличенное изображение)

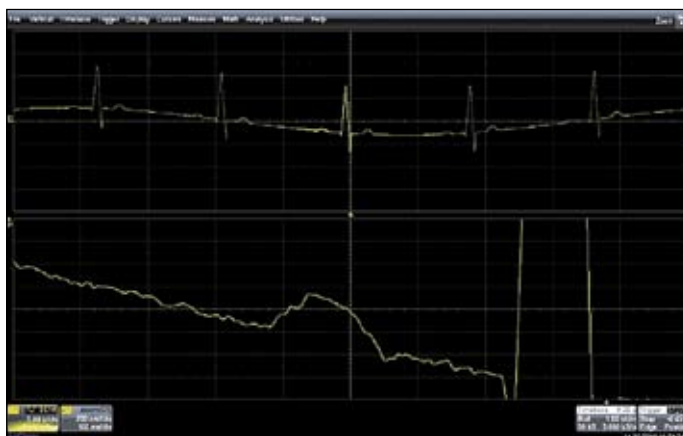


Рис. 9. Аналогичный сигнал на том же осциллографе, но с применением высокочастотной фильтрации

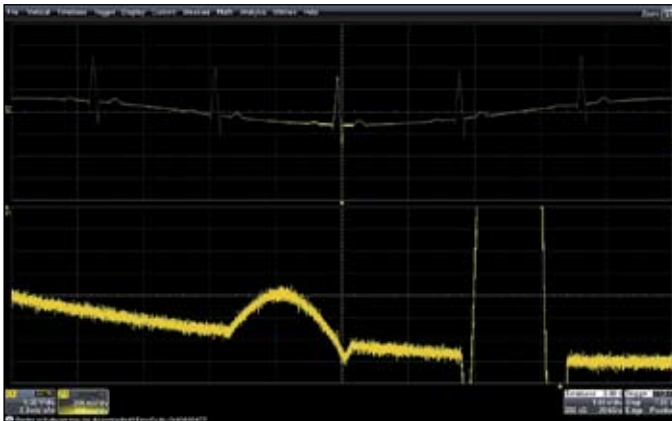


Рис. 10. Кардиосигнал, представленный на рис. 8 и 9, но снятый на осциллографе Wave Runner HRO 6 Zi

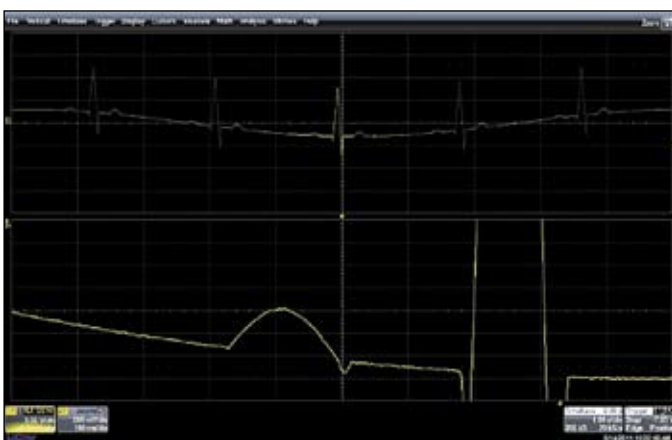


Рис. 11. Кардиосигнал, полученный на том же осциллографе Wave Runner HRO 6 Zi, но высокочастотный шум удален фильтром

ден небольшой шум от входного усилителя осциллографа, но, прежде всего, осциллограф дает четкое представление о форме сигнала. На рис. 11 показан тот же сигнал на Wave Runner HRO 6 Zi, но уже с применением высокочастотного фильтра.

Теперь мы четко видим, что после большого всплеска в центре экрана идет маленький отрицательный выброс.

Основной вывод, который инженеры давно усвоили: если есть паразитный шум на входе, значит, паразитный шум будет и на выходе. Если осциллограф добавляет значительное количество шума к сигналу при сборе данных, то и после обработки отображение и измерения сигнала, вероятно, будут неправильными. Такие инструменты, как усреднение и фильтрация, также будут малоэффективны. С другой стороны, если осциллограф осуществляет чистый сбор данных, то намного более вероятно, что пользователь может применить аналитические возможности осциллографа и получить правильное решение.

Заключение

Судя по представленным экспериментам, математические методы и другие способы увеличения четкости изображения, применяемые в 8-битных осциллографах, не всегда дают истинное представление о реальном сигнале. Если инженер должен провести более точные измерения, наиболее простой способ сделать это состоит в том, чтобы получить сигнал с низким уровнем шума, используя осциллограф высокого разрешения. Следует применять специальные технические решения, такие как 12-битные широкополосные осциллографы серии WaveRunner HRO 6 Zi: они позволяют получить «чистые» данные. ■