

Шесть советов по повышению точности измерений с помощью высококачественных осциллографов

Роберт ЛЭШЛИ
(Robert LASHLEE)

Осциллографы являются контрольно-измерительными приборами, и поэтому возможность выполнения точных измерений является их основным качественным показателем. К сожалению, пользователи не всегда знают о функциях, способных существенно повысить точность измерений. В настоящей статье обсуждаются некоторые из этих функций, а также общие вопросы повышения точности.

Точность измерений и статистика

Для достоверного прогнозирования надежности цифровой системы нужно знать статистические показатели ее функционирования. Отдельные измерения времени установления, времени удержания, задержки распространения и фазового сдвига сигнала не позволяют адекватно оценить вероятность ошибки, связанной с нарушением временных соотношений. В то же время разработка, основанная на параметрах с наилучшими значениями, может оказаться неоптимальной. Измерения наилучшего случая не показывают, насколько часто и при каких условиях может возникнуть этот самый худший случай.

В таких ситуациях ценную информацию может дать статистика измерений. Вообще измерения выполняются на многочисленных захватах некоторого сигнала. Затем результаты всех измерений усредняются и рассчитываются соответствующие статистические показатели. В качестве примеров таких показателей, рассчитываемых осциллографами, можно привести среднее значение, стандартное отклонение, минимальное и максимальное значения измеренных величин.

- Стандартное отклонение является мерой разброса измеренной величины (насколько отдельные значения отклоняются от среднего). Если стандартное отклонение велико, значит, большинство отдельных измерений, используемых для расчета среднего значения, расположено очень близко от этого среднего значения. Если стандартное отклонение велико, значит, результаты измерений имеют достаточно большой разброс. Не забывайте, что величина стандартного отклонения должна

оцениваться по сравнению со средним значением. Стандартное отклонение 20 нс мало, если среднее значение равно одной секунде, но велико, если среднее значение равно 25 нс. Небольшое стандартное отклонение означает, что полученные результаты обладают высокой воспроизводимостью (плотно сгруппированы, имеют высокую степень повторяемости и т. п.), но оно не означает, что они безошибочны. Вполне можно получить результаты, которые плотно сгруппированы вокруг неверного значения.

- Минимальным и максимальным значением называется минимальный и максимальный результат конкретного измерения. Эти значения показывают диапазон разброса результатов, вычисленный на основе сделанных измерений. Анализируя, насколько далеко отстоят эти значения от средней величины, вы можете оценить абсолютное максимальное отклонение своих измерений. Однако эта статистическая величина наиболее чувствительна к погрешностям измерения. Если крайние значения являются реальными в том смысле, что они не связаны с ошибками процесса измерения или с аномалиями сигнала, то их нужно учитывать. Однако если они возникли из-за ошибок, то максимальные и минимальные значения измерения могут демонстрировать большие абсолютные отклонения, тогда как на самом деле результаты не будут иметь столь большого разброса.

Теперь, когда вы поняли смысл статистических показателей, которые может дать ваш осциллограф, давайте рассмотрим возможные способы повышения точности измерений.

Совет 1. Используйте полный динамический диапазон аналого-цифрового преобразователя

Для преобразования аналоговых сигналов в цифровые (которые затем могут обрабатываться, анализироваться, отображаться и сохраняться) в осциллографах применяются аналого-цифровые преобразователи (АЦП).

Для максимального повышения точности измерений осциллограмма должна отображаться с использованием всего динамического диапазона АЦП. Это значит, что осциллограмма должна иметь максимальный вертикальный размах на экране осциллографа. В предыдущих поколениях осциллографов вертикальная чувствительность изменялась дискретно с кратностью шага 1-3-5, то есть значение напряжения на одно деление устанавливалось шагами, кратными 1, 3 или 5. Однако для тонкой настройки амплитуды сигнала в соответствии с полным динамическим диапазоном АЦП зачастую требуется более мелкий шаг. Осциллографы серии Agilent Infiniium 90000A и новой серии Agilent Infiniium 9000A оборудованы с этой целью верньерной настройкой вертикальной чувствительности с малым шагом, что позволяет эффективней использовать динамический диапазон АЦП (рис. 1). Пользователь может по-прежнему пользоваться традиционной дискретной настройкой, но при нажатии соответствующий регулятор переходит в режим верньера.

Использование полного динамического диапазона АЦП для отображения сигнала важно и в тех случаях, когда приходится работать с несколькими осциллограммами. Зачастую необходимо вывести несколько



Рис. 1. Новый осциллограф серии Agilent Infiniium 9000A, оборудованный вернерной настройкой

осциллограмм на один экран. Но поскольку при этом не так-то просто отличить один сигнал от другого, приходится изменять вертикальный масштаб и сдвигать сигналы по вертикали, так чтобы осциллограммы не перекрывались. Если осциллограммы нужно просто рассмотреть, то наложение их друг на друга или разнесение в разные зоны по вертикали ничего страшного не несет. Но если вы выполняете измерения, это может привести к существенному снижению точности, поскольку вы снижаете вертикальное разрешение и отношение сигнала к шуму. Лучше разделить экран на отдельные окна. В каждом из этих окон должен быть задействован весь динамический диапазон АЦП, что позволяет использовать полный размах для всех осциллограмм.

Совет 2. **Точно устанавливайте пороги измерений**

Обычно по умолчанию осциллографы используют стандартные уровни порогов 10–90%. Это значит, что такая величина, как длительность фронтов, рассчитывается как время изменения уровня осциллограммы от 10 до 90% амплитуды. Однако во многих стандартах используются пороги 20–80%. Значит, при выполнении измерений необходимо, чтобы пороги соответствовали требованиям конкретного стандарта. Кроме того, если анализируемая осциллограмма имеет выбросы или звоны, можно улучшить результаты, установив нижний и верхний порог измерения на 20 и 80% соответственно.

Совет 3. **Ограничивайте полосу пропускания в соответствии с требованиями измерения**

Многие пользователи считают, что чем шире полоса пропускания, тем лучше. Если вы выполняете измерения 4-гигагерцовым

осциллографом, то с 8-гигагерцовым они будут еще точнее, правильно? Но на самом деле это не всегда так. Ограничивая полосу осциллографа до того значения, которое реально нужно для конкретного измерения, вы ограничиваете шум, а следовательно, повышаете точность.

Осциллографы серии Agilent Infiniium 9000A позволяют ограничивать полосу пропускания с помощью полосового фильтра, доступного в диалоговом окне Acquisition («Захват») в меню осциллографа. Этот фильтр легко включается путем установки флажка, после чего активируется соответствующее поле, в котором можно выбрать одну из предлагаемых полос.

Более того, вы можете приобрести осциллограф, полоса которого соответствует вашим текущим потребностям, а затем обновить его, если для измерений потребуется большая полоса. Осциллографы серии Agilent 9000A позволяют расширять полосу пропускания описанным выше способом. Например, если в настоящее время вы работаете с шиной PCI-Express Gen 2, можно купить осциллограф с меньшей полосой, а затем расширить ее, когда вы начнете работать с шиной PCI-Express Gen 3 (в связи с большими требованиями этой шины к полосе пропускания).

Совет 4. **Измеряйте все фронты**

При выполнении измерений фронтов обычно измеряются характеристики одного из них, а затем рассчитываются статистические показатели на основе серии измерений. Однако если ваш осциллограф имеет режим, в котором измеряются временные параметры всех фронтов захваченного сигнала, это может существенно повысить точность измерения периодических сигналов. Например, осциллографы серии Agilent Infiniium 9000A и 9000A имеют функцию измерения всех

фронтов, способную охватить до двух миллионов фронтов. Это позволяет выполнять статистический анализ всей осциллограммы (до двух миллионов фронтов), а не одного фронта.

Совет 5. **Используйте соответствующий пробник/головку пробника**

АЧХ любого пробника в той или иной степени отличается от идеала, что вносит вклад в общую погрешность системы. Кроме того, пробник и измеряемая схема образуют цепь, характеристики которой отличаются от характеристик схемы без пробника. Сигнал на щупе пробника не такой, как сигнал, присутствующий в том же месте при отключенном пробнике. Создаваемая пробником нагрузка зачастую оказывает большее влияние, чем передаточная характеристика осциллографа, и должна учитываться при анализе погрешностей измерения. Вот несколько советов относительно пробников и точности измерений:

1. Проверьте полное входное сопротивление пробника и оцените его влияние на вашу цепь. Не забывайте, что влияние нагрузки растет с ростом частоты, старайтесь использовать максимально короткие провода «земли».
2. Пробник будет вносить минимальные искажения в измеряемый сигнал, если он обладает плоской АЧХ в полосе измерения. Плоская АЧХ позволяет наиболее точно передать сигнал в осциллограф.
3. Невозможно выполнить измерение лучше, чем это позволяет пробник и соединительные провода, поэтому тщательно выбирайте пробники и применяйте их с соответствующими устройствами согласования. Это улучшит результаты измерений и их воспроизводимость.
4. Осциллограф и пробник образуют единую измерительную систему (рис. 2).



Рис. 2. Пробники серии InfiniMax 1168A/1169A или N2870A

Если вы правильно понимаете влияние пробника на общую полосу пропускания системы, то сможете верно выбрать осциллограф и пробник. Лучшее, что может сделать пробник, это максимально снизить влияние на измеряемую схему и передать сигнал с минимальными искажениями.

Совет 6. Снижайте шум

Один метод снижения шумов (ограничение полосы) мы уже обсуждали, но он далеко не единственный. Например, многие осциллографы (такие как Agilent Infiniium 90000A

и 9000A) предлагают режимы захвата с высоким разрешением. Большинство цифровых осциллографов в нормальном режиме захвата обладают вертикальным разрешением 8 бит. В отличие от этого, в режиме высокого разрешения (обычно до 12 бит) снижается шум канала вертикального отклонения и повышается разрешающая способность по вертикали. Правда, за это приходится расплачиваться сужением полосы пропускания и снижением частоты дискретизации осциллографа.

Также для снижения шумов можно изменять режимы усреднения. Однако для этого сигнал должен быть периодическим или представлять собой постоянное напря-

жение. В этих режимах выполняется усреднение периодического сигнала по результатам многократных захватов, в результате чего удается снизить шум. Но при этом также сужается полоса и снижается частота дискретизации.

Заключение

Знание того, как влияют на измерения различные параметры и устройства, может серьезно отразиться на точности измерений. Правильное использование всех возможностей пробника и осциллографа всегда гарантирует получение точных результатов. ■