

# Характеристики системы запуска осциллографа

Колин Мэттсон (Keysight Technologies)

**Правильная настройка системы запуска осциллографа является важным элементом для получения надёжных результатов измерений. В статье обсуждаются характеристики системы запуска осциллографа реального времени, рассказывается о том, как настроить эту систему на оптимальную производительность, и как эти настройки влияют на систему запуска.**

## ОБЗОР СИСТЕМЫ

Чтобы понять, от чего зависят характеристики системы запуска, нужно сначала разобраться в самой системе. Почти все современные осциллографы используют аналоговые системы запуска (см. рис. 1). Когда сигнал подаётся на один из входных каналов осциллографа, то в первую очередь он попадает на предварительный усилитель этого канала. Задача предусилителя заключается в таком усилении и смещении сигнала, чтобы максимально использовать динамический диапазон АЦП и не допустить возникновения отсечки. Выходной сигнал предусилителя поступает на АЦП для дискретизации, а копия этого же сигнала подаётся на компараторы системы запуска канала. Компараторы оценивают сигнал и решают, находится ли он выше или ниже порога, заданного для соответствующего канала. Выходы компараторов устанавливаются в единицу или ноль в зависимости от того, превысил сигнал порог или нет. Как

правило, каждый входной канал имеет несколько компараторов запуска. Это позволяет осциллографу реализовать условия запуска, требующие нескольких порогов в одном канале (запуск по переходу и т.п.). Выходные сигналы компараторов всех каналов поступают в так называемую «систему запуска». Это довольно сложная система, которая может содержать специализированные ИС, ПЛИС и компоненты общего назначения. Её работа заключается в распознавании заданных событий запуска в процессе наблюдения за выходными сигналами компараторов. Для осуществления такого распознавания выполняются сложные логические операции над всеми входными сигналами, от которых зависит событие запуска. Детальное рассмотрение способов реализации режимов запуска в этой системе выходит за рамки данной статьи, но важно понять, что весь анализ, необходимый для определения того, отвечает ли исследуемый сигнал

требованиям заданного события запуска, выполняется по выходным сигналам аналоговых компараторов, а не по сохранённым в памяти оцифрованным данным.

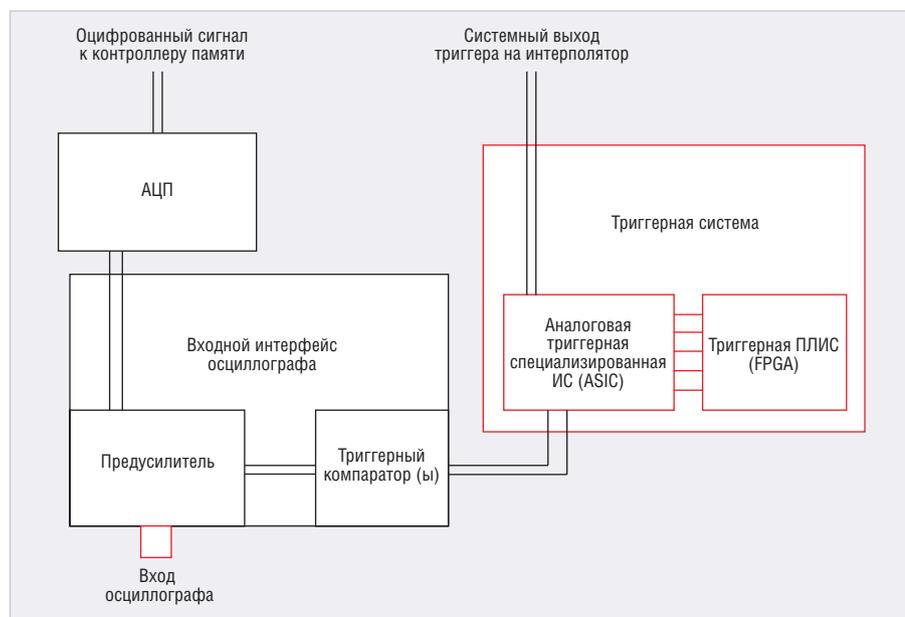
Многие считают сигнал на выходе компаратора запуска «цифровым», поскольку некоторая информация об исходном сигнале в процессе обработки компаратором теряется (длительность фронта, постоянная составляющая и т.п.), и выход компаратора представляет собой чисто логическое состояние – выше или ниже порога. Всё это верно, но, когда идёт речь о выходе компаратора как об «аналоговом» сигнале, имеется в виду, что он представляет собой изменяющееся во времени напряжение на дорожке печатной платы, в отличие от сохранённых в памяти единиц и нулей.

Рассмотрим некоторые параметры системы запуска, способные повлиять на её характеристики.

## УРОВЕНЬ ЗАПУСКА

Уровнем запуска называется значение напряжения, с которым компаратор осциллографа сравнивает входной сигнал. Всякий раз, когда вы настраиваете уровень запуска по фронту или меняете какие-либо ещё «вертикальные» параметры запуска, вы настраиваете уровень запуска. Тщательная настройка уровня запуска является ключом к надёжной работе системы запуска. Выбирая режим запуска, использующий лишь один критерий, например фронт или длительность импульса, постарайтесь настроить уровень на середину амплитуды входного сигнала (см. рис. 2), если только вы не исследуете какое-либо особое поведение вблизи основания или вершины сигнала (см. рис. 3). Заметьте, по горизонтали сигнала присутствует большой джиттер. Для лучшего выделения джиттера использован режим с бесконечным послесвечением. Чем ближе установлен уровень к одному из крайних значений уровня сигнала, тем менее надёжным будет запуск. Необходимо отметить, что неудачный выбор уровня увеличивает джиттер запуска.

Зачастую осциллографы позволяют выбрать несколько уровней для каждого входного канала. Обычно это дела-



**Рис. 1. Упрощённая одноканальная схема аналоговой системы запуска типичного цифрового осциллографа**

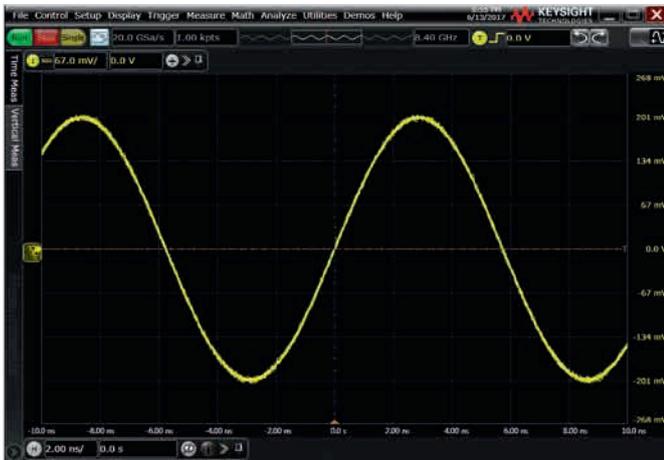


Рис. 2. Установка уровня посередине сигнала на осциллографе Keysight Infiniium серии S



Рис. 3. Установка уровня близко к вершине сигнала на осциллографе Keysight Infiniium серии S

ется для того, чтобы осциллограф поддерживал режимы запуска с несколькими уровнями, такими как запуск по переходу или по ранту. В этом случае не забудьте настроить оба уровня в соответствии с нужным режимом.

### ГИСТЕРЕЗИС ЗАПУСКА

Инженеры-электронщики знакомы с концепцией гистерезиса, но многие не знают, что современные осциллографы используют это явление для фильтрации нежелательных событий запуска. Вспомните, что на компараторы системы запуска поступают выходные сигналы канальных предусилителей. Если эти компараторы не имеют гистерезиса, или их гистерезис слишком мал, или пользователь настроил уровень запуска на середину уровня сигнала (на уровень постоянного смещения сигнала), то компаратор будет срабатывать на шум даже при отсутствии иной активности. Очевидно, что пользователя такая ситуация не устроит, поскольку он ожидает запуска осциллографа только по достоверным событиям. В связи с этим компараторы системы запуска осциллографа имеют некоторый гистерезис. В зависимости от модели осциллографа гистерезис может быть фиксированным или настраиваемым.

В различных моделях осциллографов настройка гистерезиса может называться по-разному, но в большинстве случаев соответствующие пункты в меню настройки запуска называются «чувствительность» или «подавление шумов». На рисунке 4 «установка флага» Analog Noise Reject (подавление аналогового шума) увеличивает гистерезис компараторов запуска, связанных с любыми аналоговыми каналами, уча-

ствующими в формировании условий запуска.

Большая чувствительность означает меньший гистерезис. Если вы работаете с сильно зашумленными сигналами, то во избежание ложных срабатываний попробуйте увеличить гистерезис. И наоборот, если требуется запуск на грани срыва из-за масштабирования сигнала или его спектрального состава, то может понадобиться как можно меньший гистерезис. Запуск на грани срыва будет рассмотрен далее.

### МАСШТАБ ПО ВЕРТИКАЛИ

Помимо настройки уровня, важным фактором, влияющим на характеристики системы запуска, является правильный выбор масштаба по вертикали для всех сигналов, участвующих в условиях запуска. И, к сожалению, именно этим фактором чаще всего пренебрегают. Поскольку уровень запуска (на выходе предусилителя/входе компаратора) и гистерезис компаратора зависят от вертикального масштаба входного канала, а сигнал максимально использует динамический диапазон осциллографа без отсечки, эти параметры будут обеспечивать максимальную точность по отношению к сигналу. Рассмотрим следующий пример. Допустим, требуется наблюдать на экране осциллографа три сигнала, два из которых мы хотим использовать для формирования условий запуска. Обычно это делается так: включаются все три канала, выбирается вертикальный масштаб и смещение в каждом канале так, чтобы сигналы располагались друг над другом и были видны одновременно, не перекрываясь (см. рис. 5). Такой подход является в корне неправильным! Не забывайте, что вертикальный масштаб и смещение

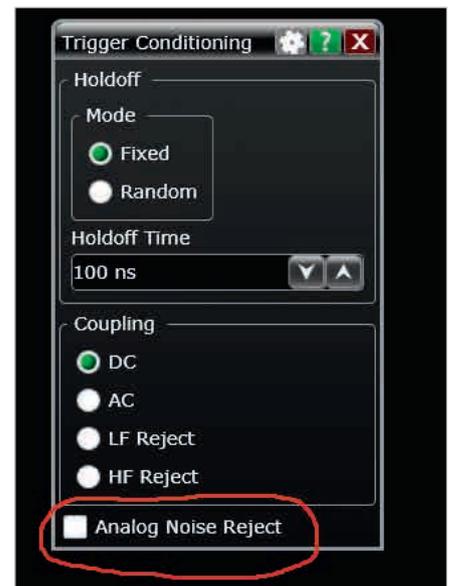


Рис. 4. Окно настройки запуска осциллографа Keysight Infiniium серии S

влияют не только на изображение, но они также определяют усиление сигнала предусилителем перед подачей его на АЦП и компараторы запуска. Сжимая сигналы так, чтобы они уместились на экране без перекрытия, мы тем самым ограничиваем разрешение их оцифровки и принудительно ухудшаем характеристики системы запуска. При этом не только снижается точность уровня запуска. Может получиться и так, что запуск вообще не произойдет из-за гистерезиса. Зачастую гистерезис выражается в процентах от полного вертикального диапазона. Если сжать сигнал так, чтобы он полностью оказался в зоне гистерезиса, то компараторы этого канала не будут срабатывать.

Как же нужно настроить осциллограф при наличии нескольких сигналов, которые необходимо наблюдать, и по которым осуществляется запуск?



Рис. 5. Три различных сигнала, одновременно отображаемых на экране осциллографа Keysight Infiniium серии S

В первую очередь нужно выбрать масштаб всех сигналов таким, чтобы они занимали большую часть вертикального диапазона (см. рис. 6). Это гарантирует получение высокого разрешения АЦП, хорошей точности уровней и гистерезиса запуска. Если нас устраивает наложение сигналов, то на этом можно остановиться.

А что делать, если действительно необходимо наблюдать каждый сигнал в отдельности или, может быть, сфокусироваться на одном из них? Для решения данной задачи возможны различные варианты в зависимости от используемого осциллографа. Некоторые современные осциллографы имеют расширенные настройки изображения, не зависящие от вертикального масштаба и смещения, которые можно использовать для перемещения каждого сигнала в своё собственное окно (см. рис. 7). В этом случае окна можно расположить друг над другом, и сигналы будут выглядеть так, как если бы они имели малый вертикальный масштаб. Каждое окно будет представлять собой полный вертикальный диапазон осциллографа. Некоторые осциллографы (включая осциллографы Keysight Infiniium серии S) позволяют перетаскивать некоторые или все окна с сигналами на внешние мониторы. Для решения многих задач, вместо изменения вертикального масштаба и смещения сигнала в предусилителе, достаточно изменить способ его отображения на экране. Если осциллограф не обладает такой возможностью, то можно попробовать другой способ. Допустим, нас интересует изображение только третьего сигнала, а первые два нужны лишь для запуска. В этом случае большинство осцилло-

графов позволяет запускаться от каналов, сигналы которых не выводятся на экран. Для этого нужно включить все три канала и выбрать соответствующий масштаб. Затем требуется настроить запуск по первым двум каналам и отключить отображение этих каналов, оставив настройки запуска неизменными. После этого на экране останется только третий сигнал (см. рис. 8). При использовании данного метода первые два сигнала вообще не захватываются, поэтому, если необходимо осуществлять их наблюдение или измерение, то такой подход не работает.

### АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Подобно всем другим аналоговым схемам, компоненты, составляющие систему запуска, – предусилитель, компараторы и сигнальный тракт – обладают некоторой амплитудно-частотной характеристикой. Это может показаться странным, но очень часто данная АЧХ сильно отличается от АЧХ тракта захвата осциллографа. В узкополосных осциллографах это отличие не представляет особой проблемы, но в моделях с широкой полосой пропускания оно может стать источником разочарования. В последние годы полоса пропускания тракта захвата высокопроизводительных осциллографов реально во времени существенно увеличилась, а аналоговая система запуска за столь быстрым прогрессом не поспевает. К сожалению, это означает, что в большинстве высокопроизводительных моделей система захвата имеет гораздо более широкую полосу пропускания, чем система запуска. Если полоса пропускания системы захвата почти всегда указывается прямо на корпусе



Рис. 6. Три правильно масштабированных сигнала, наложенные друг на друга

осциллографа, то полоса системы запуска обычно приводится лишь в техническом описании прибора как «максимальная полоса при запуске по фронту» или «минимальная длительность глитча». При этом не стоит забывать, что некоторые режимы запуска могут иметь полосу меньше заявленной, и лучше всего считать заявленное значение «максимальной полосой».

Действительно ли разница в полосе пропускания систем захвата и запуска столь важна? Забегая вперёд, отметим, что чаще всего она вовсе не важна. Обычно возможностей запуска современных осциллографов вполне достаточно для большинства задач, с которыми может столкнуться пользователь. Рассмотрим несколько сценариев, способных привести к странному поведению запуска из-за различия АЧХ трактов запуска и захвата.

#### Сценарий 1: сверхбыстрые сигналы.

Если имеется высокопроизводительный осциллограф, и требуется увидеть высокоскоростной сигнал, скажем в диапазоне 18...20 ГГц, то можно обнаружить, что осциллограф вообще не может по нему запускаться. Если же прибор запускается, то, скорее всего, это происходит на грани срыва: частота запуска развёртки значительно ниже, чем ожидалось, наблюдается очень большой джиттер и т.п. Когда высокоскоростной сигнал проходит через схему, ведущую к системе запуска, его высокочастотные составляющие ослабляются и в конце концов могут стать совершенно не обнаруживаемыми.

Рассмотрим эту ситуацию на примере синусоидального сигнала. С ростом частоты синусоидального сигнала, даже если его амплитуда на экране осцил-



Рис. 7. Отображение каждого из трёх сигналов в отдельном окне

лографа остаётся постоянной (в тракте захвата), амплитуда, достигающая системы запуска, будет снижаться. Если увеличить частоту за пределы возможностей системы запуска, то фактически это будет означать, что сигнал в тракте запуска уменьшится настолько, что станет необнаружимым. Если рассматривать несинусоидальные сигналы, что вполне характерно для пользовательских задач, то ослабление высокочастотных составляющих сигнала означает, что фронты, достигающие системы запуска, будут не столь крутыми, как те, что видны на экране осциллографа.

**Сценарий 2: цифровая коррекция АЧХ.** Всегда следует помнить о том, что предусилители и сигнальный тракт осциллографа весьма далеки от совершенства. В научно-исследовательских лабораториях специалисты из всех сил стараются добиться максималь-

но точного представления сигнала на экране, и один из используемых ими способов заключается в применении цифровой обработки сигнала. Использование цифровой коррекции тракта захвата в высокопроизводительных осциллографах является вполне обычной практикой для того, чтобы показать пользователю наилучшее представление сигнала в том виде, в каком он присутствует на входном разъёме осциллографа или даже, в некоторых моделях, на кончике зонда. К сожалению, поскольку цифровая обработка выполняется с сохранёнными в памяти оцифрованными данными, аналоговый тракт запуска не может воспользоваться её результатами. Таким образом, если осциллограф использует цифровую коррекцию АЧХ, ограничивающие фильтры в тракте захвата или другие способы коррекции, то сигнал на



Рис. 8. Отображение только третьего канала при запуске от первого и второго каналов

экране может отличаться от того, что «видит» система запуска. Обычно это означает, что система запуска «видит» сигнал с несколько иной формой фронтов и большими или меньшими выбросами/провалами, чем тот сигнал, что видит пользователь. Если попытаться выбрать точку запуска вблизи вершины или основания сигнала, то, скорее всего, можно заметить разницу между трактом захвата и запуска, связанную с цифровой обработкой, которая обычно проявляется как явная погрешность уровня запуска в этих предельных точках.

Лучший способ сгладить последствия описанных выше сценариев заключается в соблюдении приведённых ранее рекомендаций по выбору вертикального масштаба и уровней. При таком подходе можно добиться от системы запуска наилучших характеристик. ☺

**НОВОСТИ МИРА**

**ОТР и МГТУ им. Баумана подписали договор о сотрудничестве**

Компания ОТР (Организационно-технологические решения) подписала договор о сотрудничестве с Московским государственным техническим университетом имени Н.Э. Баумана.

Договором предусмотрено проведение вузом и ИТ-компанией совместных активностей, связанных с ознакомлением студентов с новейшими ИТ-технологиями, получением учащимися теоретических знаний по наиболее востребованным ИТ-специальностям, а также с привлечением их к практическим занятиям для формирования навыков применения ИТ-инструментов и накопления

практического опыта, способствующего последующему трудоустройству.

Тесное сотрудничество МГТУ им. Н.Э. Баумана, одного из ведущих технических вузов страны, и ОТР, известного отечественного разработчика сложных инновационных ИТ-решений, применяемых сегодня в госуправлении и бизнесе, может стать важным шагом в подготовке ИТ-кадров, владеющих самыми современными технологиями, базирющимися на искусственном интеллекте, методах умной роботизации и инструментах бизнес-анализа.

В ближайших планах ОТР стоит разработка курсов очного и дистанционного обучения созданию программных роботов (на платформах ведущих мировых профильных вендоров),

а также работа со студентами, готовыми посвятить себя системному и бизнес-анализу.

Повышение эффекта от цифровизации в госуправлении и бизнесе сегодня напрямую связано с подготовкой высококвалифицированных кадров, знакомых не только с отдельными ИТ-продуктами и технологиями, но и владеющих академическим образованием, пониманием процессов, стоящих за автоматизацией и работой искусственного интеллекта. Высокий уровень академической подготовки выпускников Бауманского университета позволяет готовить ИТ-специалистов как для ИТ-компаний, так и для коммерческих предприятий из других отраслей, а также для госструктур.

Пресс-служба ОТР