

Преимущества цифровой системы запуска осциллографа R&S®RTO

Указания по применению

Изделия:

- | Цифровой осциллограф
R&S®RTO

Запуск (синхронизация) – ключевая функция осциллографа. Он служит для захвата особых событий сигнала с целью подробного анализа и обеспечивает стабильное наблюдение за повторяющимися сигналами.

Начиная с изобретения в 1940-х, система запуска осциллографа претерпевала постоянные усовершенствования. Полностью цифровая система запуска цифровых осциллографов R&S®RTO ставит новую веху в ее истории, предоставляя значительные преимущества пользователю по точности измерений, плотности сбора данных и функциональности.

В данном документе рассказано о принципах работы обычной системы запуска и показаны преимущества цифрового запуска в реальном масштабе времени в осциллографах серии RTO.

Содержание

1	Принципы работы обычной системы запуска	3
1.1	Важность системы запуска для осциллографа	3
1.2	Реализация обычной системы запуска	3
1.3	Недостатки аналоговой системы запуска	4
2	Цифровая система запуска	6
2.1	Концепция системы цифрового запуска	6
2.2	Обнаружение события запуска при использовании системы цифрового запуска.....	7
2.3	Определение временной синхронизации точки запуска в цифровой системе запуска.....	8
3	Преимущества цифровой системы запуска.....	9
3.1	Малый джиттер запуска в реальном масштабе времени	9
3.2	Оптимизированная чувствительность запуска	10
3.3	Минимально обнаружимая длительность импульса	11
3.4	Отсутствие маскирования события запуска.....	12
3.5	Гибкая фильтрация сигналов запуска	13
3.6	Выявление выравнивания каналов блоком запуска.....	14
3.7	Функция просмотра архива данных с использованием временных меток....	15
4	Заключение	16
5	Литература	17
6	Дополнительная информация.....	17
7	Информация для заказа.....	17

1 Принципы работы обычной системы запуска

1.1 Важность системы запуска для осциллографа

Система запуска осциллографа обычно выполняет две функции:

1. Обеспечение стабильного отображения

Изобретение системы запуска (синхронизации) было прорывом для осциллографов как средств отладки при проектировании электронных и электрических устройств [1]. Система запуска гарантирует стабильное отображение сигналов при непрерывном наблюдении повторяющихся сигналов.

2. Отображение особых характеристик сигнала

Система запуска может реагировать на выделенные события. Это удобно для локализации и отображения таких особых характеристик сигнала, как недостигнутые логические уровни ("Runt"), искажения сигнала, вызванные перекрестными помехами (например, "Glitch"), пологие фронты ("Rise time") или неверная синхронизация между каналами ("Data2Clk"). Из года в год набор событий запуска и гибкость настройки запуска непрерывно совершенствовались.

Точность системы запуска, как и ее гибкость, определяют качество отображения и анализа измеряемого сигнала.

1.2 Реализация обычной системы запуска

В настоящее время большинство осциллографов являются цифровыми в том смысле, что измеряемый сигнал дискретизируется и сохраняется в виде непрерывных серий цифровых значений. Тем не менее, система запуска, которая ответственна за детектирование события сигнала, все еще является аналоговой цепью, которая обрабатывает исходный измеряемый сигнал. На рисунке 1 показана упрощенная блок-схема цифрового осциллографа.

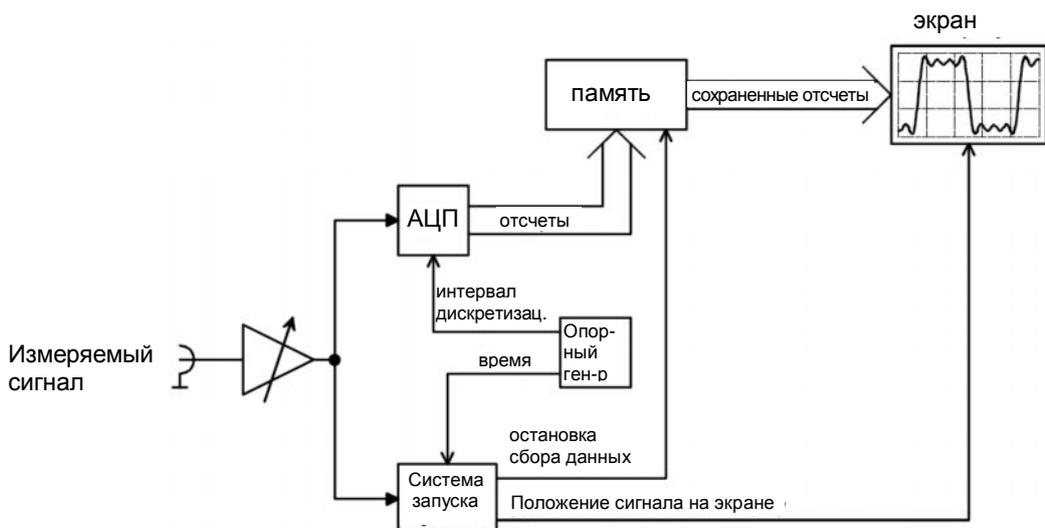


Рисунок 1 – Упрощенная блок-схема цифрового осциллографа с аналоговым блоком запуска

Входной усилитель используется для регулировки уровня измеряемого сигнала так, чтобы его амплитуда соответствовала рабочему диапазону АЦП и, соответственно, отображению на осциллографе. Отрегулированный сигнал с выхода усилителя параллельно передается на АЦП и в систему запуска. В одном тракте АЦП дискретизирует измеряемый сигнал, и оцифрованные значения отсчетов записываются в память. В другом тракте система запуска сравнивает сигнал с действительными событиями запуска (например, пересечение порога при запуске типа "Edge").

При возникновении действительного условия запуска завершается запись отсчетов АЦП, а полученный сигнал обрабатывается и выводится на экран. На рисунке 2 показан пример захваченного и отображаемого сигнала. Оцифрованные точки отсчетов из АЦП помечены на сигнале кружками. Для данного примера применяется событие запуска "Edge" по нарастающему фронту. Пересечение уровня запуска измеренным сигналом приводит к возникновению действительного события запуска.

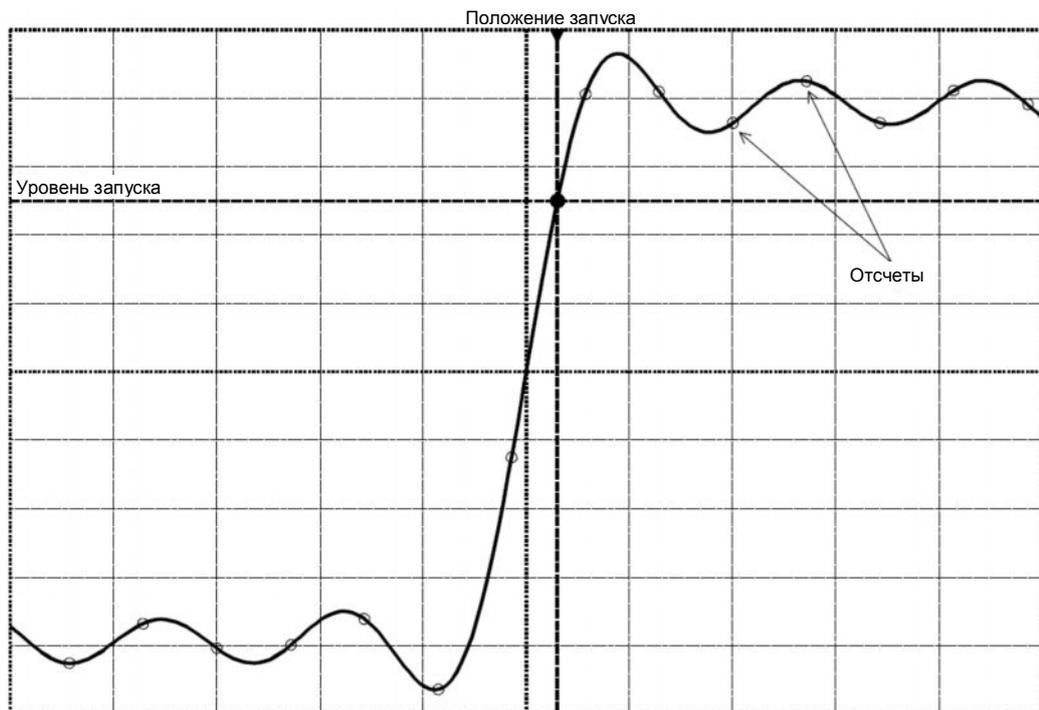


Рисунок 2 – Пример измеряемого сигнала с отсчетами АЦП и точкой запуска

1.3 Недостатки аналоговой системы запуска

Для точного отображения сигнала на сетке осциллографа необходима точная синхронизация точек запуска по времени. Если оценка времени запуска неточна, то отображаемый сигнал не пересекает точку запуска (точку пересечения уровня запуска и положения запуска) на диаграмме. Соответствующий пример приведен на рисунке 3.

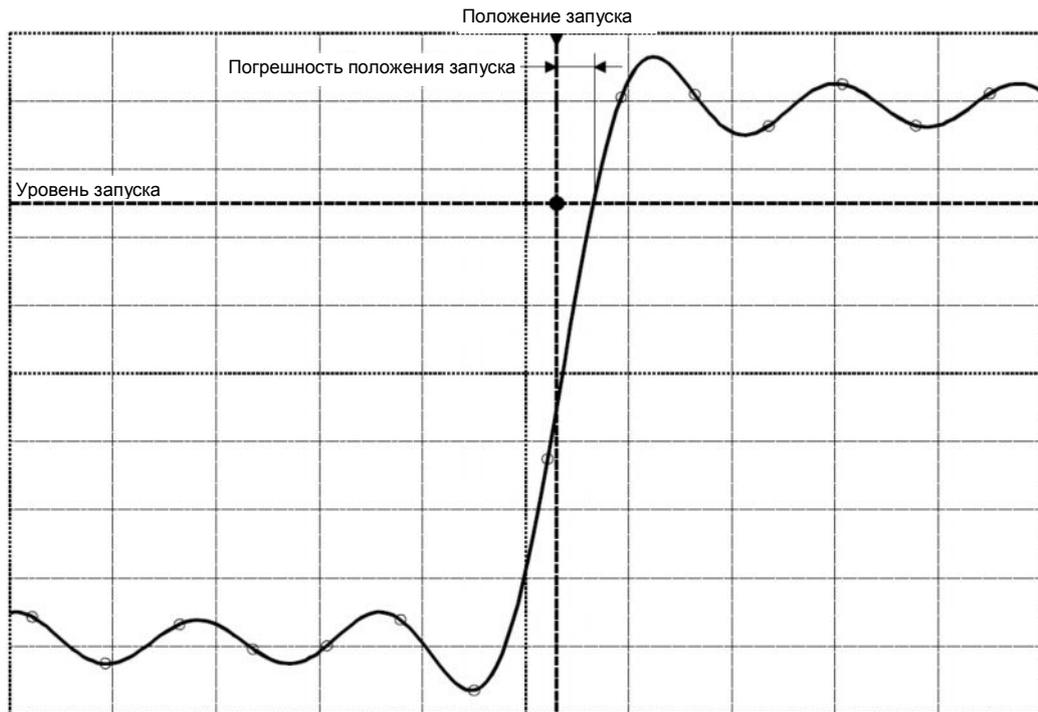


Рисунок 3 – Пример несоответствия между отображаемым сигналом и фактической точкой запуска

Неточное положение запуска может быть вызвано следующими причинами:

1. Неточное измерение фронта сигнала запуска

В системе запуска измеряемый сигнал сравнивается с порогом запуска с помощью компаратора. Синхронизация фронта на выходе компаратора должна производиться очень точно. Для этого используется преобразователь «время-цифровой код» (TDC). Неточность результатов TDC заключается в сдвиге отдельно отображаемых сигналов относительно точки запуска. Случайная составляющая погрешности TDC приводит к изменению данного сдвига при каждом событии запуска, что выражается в джиттере запуска.

2. Источники систематических погрешностей в трактах измеряемого сигнала

Измеряемый сигнал обрабатывается в двух разных трактах – в тракте сбора данных с ЦАП и в тракте запуска (рисунок 1). Оба тракта вносят различные линейные и нелинейные искажения, которые приводят к систематическому несовпадению отображаемого сигнала и заданной точки запуска. В худшем случае система запуска может не реагировать на действительные события запуска, хотя они видны на экране, или система реагирует на события запуска, которые не могут быть верно захвачены и отображены в тракте сбора данных.

3. Источники шума в трактах измеряемого сигнала

Два тракта, к АЦП и к аналоговой системе запуска, содержат усилители с различными источниками шумов. Их влияние приводит к задержкам и колебаниям амплитуды, что проявляется в виде сдвигов положения запуска (джиттер запуска) на экране осциллографа. Джиттер запуска отображается в правой части рисунка 4 в виде ширины и высоты наложенных сигнальных кривых. В левой части рисунка 4 показано, что джиттер запуска проявляется в виде случайных вертикальных и горизонтальных сдвигов относительно идеального положения точки запуска.

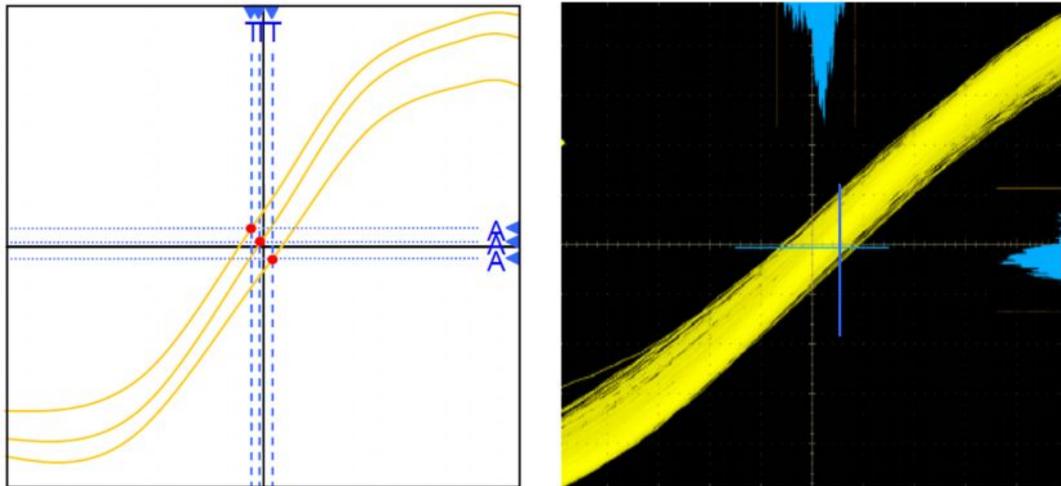


Рисунок 4 – Джиттер запуска при накоплении нескольких сигналов

В следующей главе описана реализация системы запуска, выполненной в цифровом виде. Цифровая система запуска не содержит погрешностей, описанных ранее, и, таким образом, обеспечивает более точный подход к реализации системы запуска осциллографа.

2 Цифровая система запуска

2.1 Концепция системы цифрового запуска

На рисунке 5 приведена упрощенная блок-схема цифрового осциллографа с системой цифрового запуска.

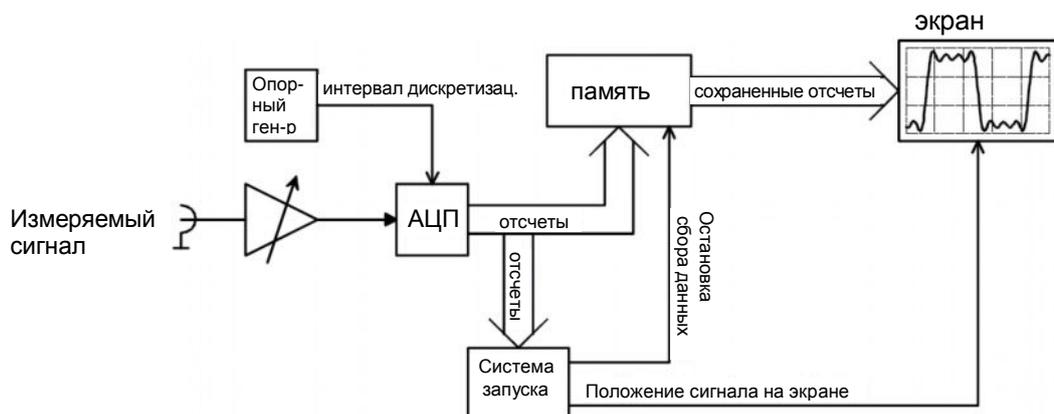


Рисунок 5 – Блок-схема цифрового осциллографа с системой цифрового запуска

В отличие от аналоговой системы запуска система цифрового запуска работает с отсчетами АЦП напрямую. Измеряемый сигнал не разбивается на два тракта. Таким образом, система цифрового запуска обрабатывает сигнал, идентичный захваченному и отображенному. Недостатки аналоговой системы запуска, описанные в главе 1.3, устранены за счет описанной реализации.

Для вычисления точки запуска в системе цифрового запуска используются методы цифровой обработки сигналов. Точные алгоритмы определяют действительные события запуска и измеряют отметки времени с высокой точностью.

Обработка сигнала в реальном масштабе времени для непрерывного наблюдения измеряемого сигнала представляет для цифрового запуска сложную задачу. Работа цифровой системы запуска R&S®RTO базируется на АЦП со скоростью преобразования 10 млрд. отсчетов/с и, таким образом, система должна обеспечивать обработку данных со скоростью 80 Гбит/с (разрядность АЦП – 8 бит).

Так как система цифрового запуска использует те же оцифрованные данные, что и устройство сбора данных, то необходимо отметить, что возможен запуск только по событиям сигнала в пределах диапазона АЦП.

2.2 Обнаружение события запуска при использовании системы цифрового запуска

Для выбранного события запуска компаратор, прежде всего, сравнивает измеряемый сигнал с заданным порогом запуска. В простейшем случае, при запуске типа "Edge" (по фронту), событие запуска обнаруживается при пересечении сигналом порога запуска в заданном направлении (нарастающий или спадающий фронт).

В цифровой системе сигнал представлен в виде отсчетов. Теорема Котельникова говорит о том, что частота дискретизации должна быть хотя бы в два раза больше, чем максимальная частота сигнала. Только при выполнении таких условий возможно полное восстановление сигнала.

Рисунки 2 и 3 показывают, что рассмотрения только отсчетов АЦП недостаточно для того, чтобы видеть все детали сигнала. То же самое верно и для цифрового запуска – то, что решение о запуске целиком зависит от отсчетов АЦП, неверно из-за того, что можно пропустить пересечения порога запуска. Таким образом, разрешение по времени увеличено путем повышения дискретизации сигнала с помощью интерполятора до скорости 20 млрд. отсчетов/с (рисунок 6). После интерполятора компаратор сравнивает значения отсчетов с заданным порогом запуска. Если обнаруживается событие запуска, выходной уровень компаратора изменяется.

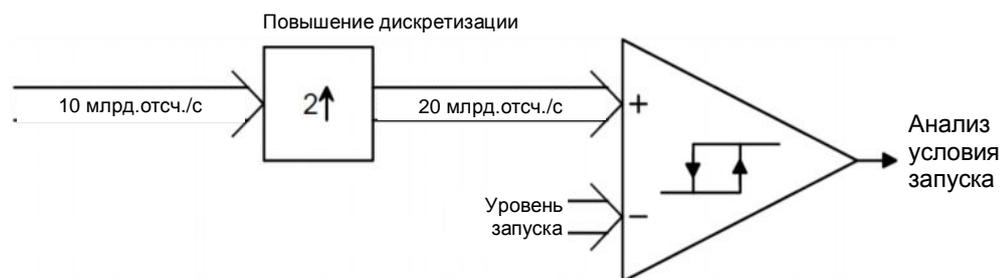


Рисунок 6 – Увеличение частоты дискретизации в цифровой системе запуска по методу повышения дискретизации

На рисунке 7 приводится пример, где «слепая» зона в сигнале уменьшается за счет увеличения разрешения с помощью повышения дискретизации в 2 раза. На левом графике отсчеты сигнала не содержат выброс сигнала. Порог запуска за пределами отсчетов АЦП не способен обнаружить выброс. На графике справа частота дискретизации сигнала удвоена с помощью интерполяции. Теперь возможен запуск по выбросу сигнала.

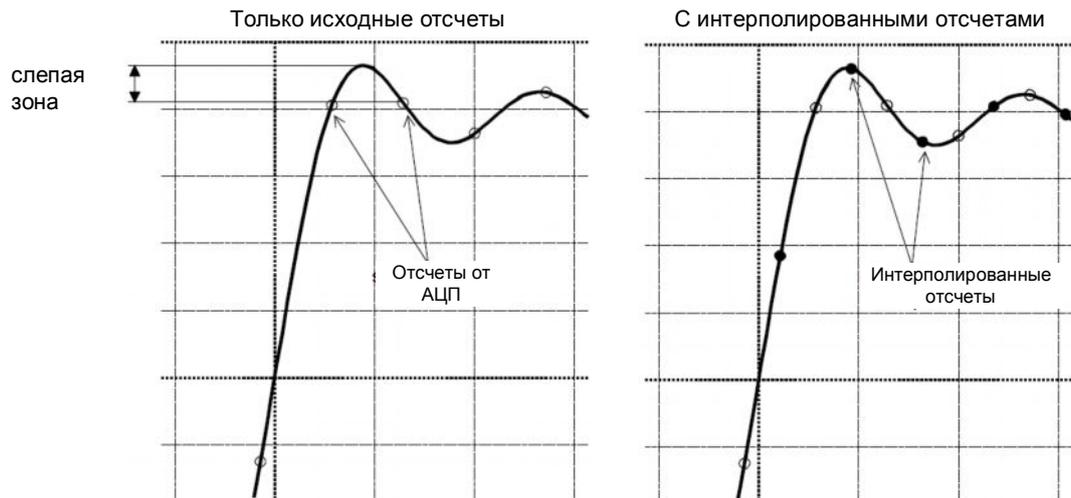


Рисунок 7 – Пример повышения дискретизации для ограничения слепой зоны запуска

Максимальная частота сигнала в примере составляет 3,5 ГГц. Данный пример показывает, что система цифрового запуска R&S RTO способна надежно обнаруживать даже высокочастотные составляющие при использовании АЦП со скоростью преобразования 10 млрд. отсчетов/с.

2.3 Определение временной синхронизации точки запуска в цифровой системе запуска

Главное требование для достоверного восстановления измеряемого сигнала в случайный момент времени – выполнение теоремы Котельникова (критерий Найквиста). В осциллографе RTO используются многофазные фильтры, которые способны вычислять измеряемый сигнал в любой момент времени с отношением сигнал/шум (SNR) более 90 дБ. Точка пересечения измеряемого сигнала и порога запуска вычисляется в реальном масштабе времени с помощью итерационного метода с точностью 250 фс.

Некоторые события запуска, такие, как импульсная помеха ("Glitch") или длительность импульса ("Pulse width") основаны на условиях синхронизации. Осциллограф RTO поддерживает высокоточный запуск по таким событиям, так как точки пересечения с порогом определяются в реальном масштабе времени. Синхронизация событий запуска может быть установлена с разрешением в 1 пс, а минимальная обнаруживаемая длительность импульса составляет 100 пс.

3 Преимущества цифровой системы запуска

3.1 Малый джиттер запуска в реальном масштабе времени

Результатом использования идентичных отсчетов для накопления и запуска является очень малый джиттер запуска, ниже 1 пс (среднеквадратичное значение)¹ для R&S RTO. На рисунке 8 показан пример оценки джиттера запуска в точке запуска с частотой тактового сигнала 10 МГц со временем нарастания 400 пс.

Как описывалось в главе 2.1, блок цифрового запуска реального масштаба времени прибора R&S RTO находится в тракте обработки между АЦП и памятью системы сбора данных. В отличие от систем запуска с «улучшенным ПО», основанным на пост-обработке данных, он не требует дополнительных периодов простоя после каждого цикла сбора данных. Впервые, в осциллографе RTO, наименьший джиттер запуска, максимальная скорость сбора данных и скорость анализа в 1 млн. сигналов (осциллограмм) в секунду являются частью стандартного режима сбора данных.

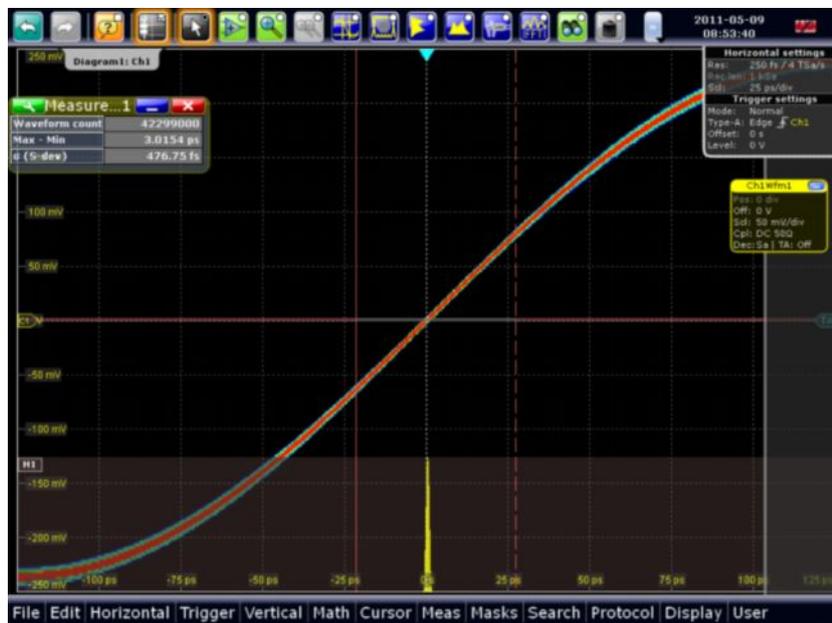


Рисунок 8 – Собственный джиттер запуска, полученный с помощью синусоидального сигнала частотой 2 ГГц и амплитудой (размахом) 500мВ



Совет по применению

Опция термостатированного кварцевого генератора ОСХО, доступная для осциллографа R&S RTO, увеличивает точность опорного генератора до $\pm 0,2 \text{ млн}^{-1}$. Опция особенно полезна для длительного сбора данных, для сбора данных с большим смещением запуска или для приложений, в которых представляет интерес временное отношение между редкими событиями запуска.

¹ Джиттер запуска, измеренный в точке запуска, зависит от времени нарастания измеряемого сигнала. Пологие фронты сигнала приводят к большему отображаемому джиттеру запуска.

3.2 Оптимизированная чувствительность запуска

Существует два противоречивых условия, относящихся к чувствительности запуска. Для стабильного запуска по зашумленным сигналам система запуска требует четкого гистерезиса в области порога запуска (см. рисунок 9). С другой стороны, широкий гистерезис ограничивает чувствительность системы запуска для сигналов с малой амплитудой.

Чувствительность запуска традиционных осциллографов обычно ограничена более чем одним вертикальным делением. К тому же, можно выбрать больший гистерезис в режиме "Noise Reject" для стабильного запуска при зашумленных сигналах.

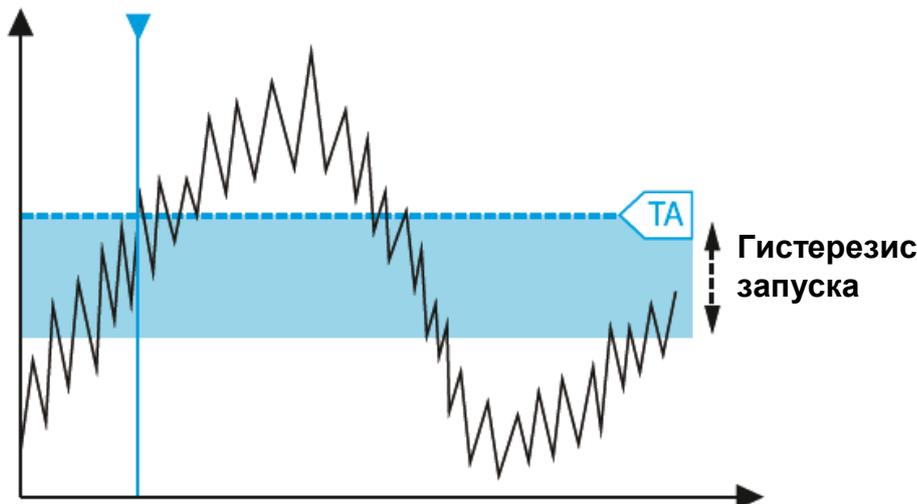


Рисунок 9 – Гистерезис уровня запуска обеспечивает стабильный запуск по зашумленным сигналам

Цифровая система запуска осциллографа R&S RTO позволяет производить отдельную настройку гистерезиса запуска (от 0 до 5 делений) с целью оптимизации чувствительности запуска для соответствующих характеристик сигнала, рисунок 10.

- I В автоматическом режиме гистерезиса "Auto" встроенное ПО прибора R&S RTO использует гистерезис, зависящий от вертикальной шкалы.
- I Гистерезис может быть увеличен вручную в режиме "Manual" для обеспечения стабильного запуска по сигналам с высоким уровнем шума (рисунок 9).
- I Нулевой гистерезис обеспечивает наибольшую чувствительность запуска для сигналов с крутыми фронтами.

Другое преимущество осциллографа R&S RTO, о котором необходимо упомянуть в данной теме, заключается в том, что входной каскад с низким уровнем шума позволяет производить запуск с точностью до 1 мВ/дел. без ограничений по ширине полосы.



Рисунок 10 – Гистерезис порога запуска RTO свободно программируется. Для наивысшей чувствительности задается нулевой гистерезис.

3.3 Минимально обнаружимая длительность импульса

Следующий ключевой параметр системы запуска – это минимально обнаружимая длительность (ширина) импульса. Она соответствует самому узкому импульсу, который может обнаружить осциллограф и произвести запуск.

Осциллографы семейства R&S RTO поддерживают стабильный запуск по импульсу, импульсным помехам (глитчу), интервалам и времени нарастания/убывания вплоть до 100 пс.

Пример стабильного запуска по длительности импульса менее 100 пс показан на рисунке 11. В данном примере синусоидальная волна с частотой 1 ГГц и малой амплитудой +/-200 мВ используется для демонстрации чувствительности запуска прибора R&S RTO.

В синусоидальной волне условия малой длительности импульса могут выполняться в самой верхней и нижней частях сигнала. В данном примере важно, чтобы гистерезис запуска быть установлен равным нулю, т.к. фронты в верхней части сигнала очень пологие.

На диаграмме можно видеть, что все захваченные сигналы удовлетворяют условию запуска по длительности импульса менее 100 пс.

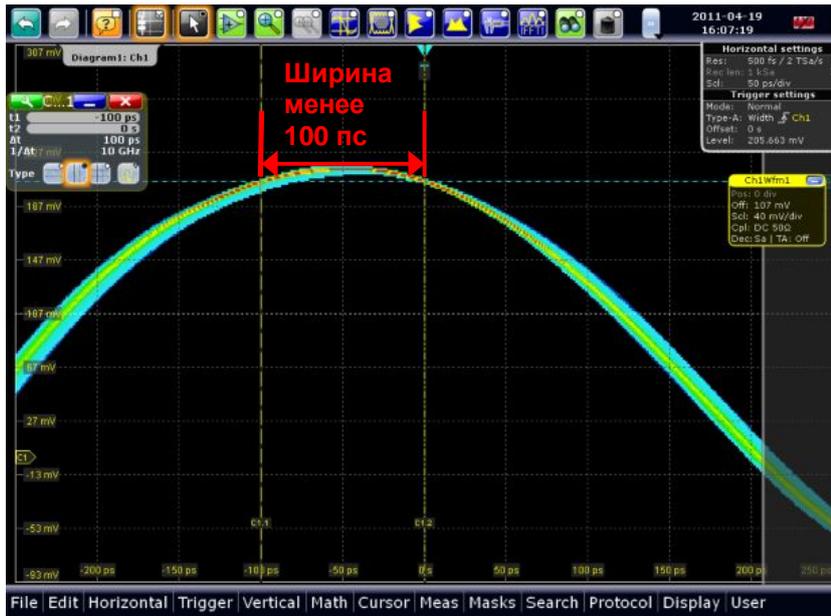


Рисунок 11 – Запуск RTO с длительностью импульса запуска менее 100 пс

3.4 Отсутствие маскирования события запуска

Для аналогового запуска требуется некоторое время после решения о повторном взводе (перезарядке) цепи запуска перед тем, как запуск будет возможен вновь. В течение данного времени перезарядки осциллографы не могут реагировать на новые события запуска – события запуска, возникающие во время перезарядки, маскируются.

В отличие от аналоговой, цифровая система запуска осциллографов R&S RTO способна анализировать отдельные события запуска с помощью преобразования время-код (TDC) на 400 пс-отрезках (рисунок 12) с разрешением 250 фс. Это важно для приложений со сложными условиями запуска, например, задержка на определенное количество событий, или последовательности запусков A-B, где перед запуском требуется выполнение нескольких событий B.

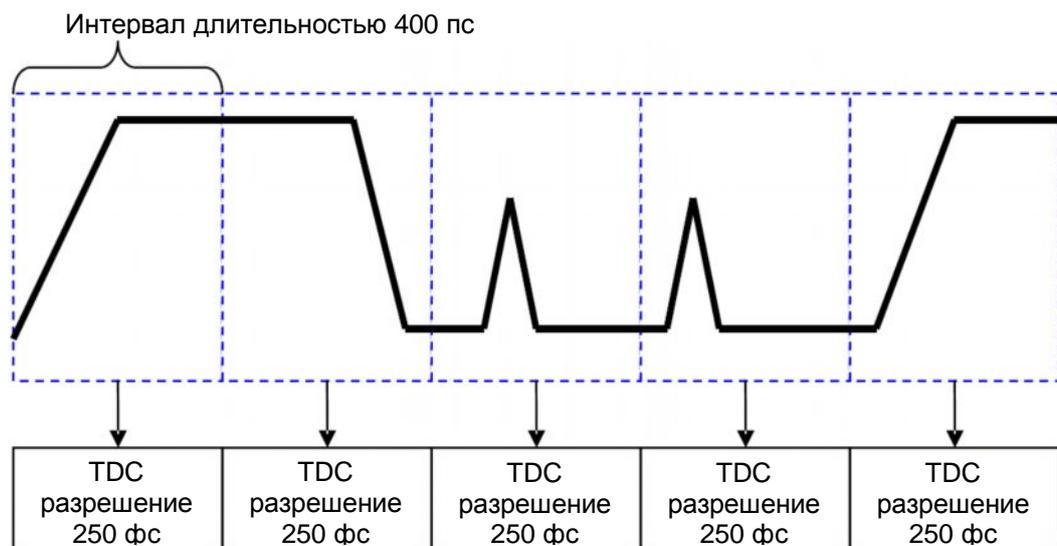


Рисунок 12 – Система запуска RTO может обнаруживать события запуска в интервалах длительностью 400 пс с разрешением 250 фс.



Совет по применению

Многосегментный режим с минимальной длительностью слепой зоны 300 нс поддерживает накопление быстро повторяющихся событий запуска.

3.5 Гибкая фильтрация сигналов запуска

Специализированные интегральные схемы (ASIC) сбора данных и запуска в осциллографах R&S RTO поддерживают гибкое программирование частоты среза цифрового НЧ-фильтра в тракте реального времени.

Те же самые настройки фильтра могут быть использованы для обоих или для каждого в отдельности сигнала запуска и измеряемого сигнала (рисунок 13). НЧ-фильтрация сигнала запуска лишь подавляет ВЧ-шум в целях запуска, в то же время, захватывая и отображая нефильтрованный измеряемый сигнал.

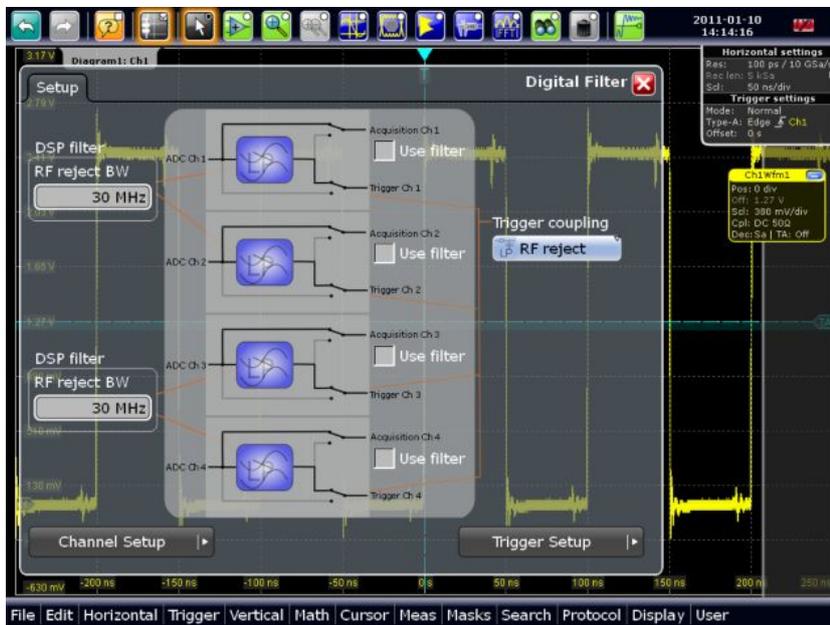


Рисунок 13 – Гибкое определение фильтра для сбора данных и сигнала запуска

Соответствующий приложению пример показан на рисунке 14. Здесь пользователь применяет запуск по ранту (короткому импульсу) для захвата импульсов данных, не достигающих уровня логической единицы. Настройка порогов запуска по ранту оказывается сложной из-за большого начального выброса, который пересекает окно короткого импульса. Решением является применение НЧ-фильтра только к сигналу запуска. Теперь возможен анализ изначального и неизмененного сигнала измерения.

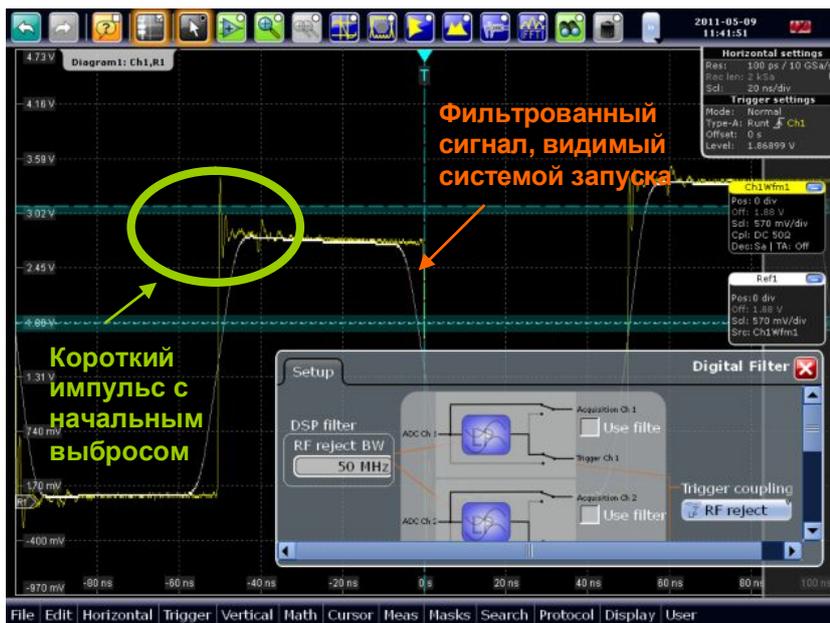


Рисунок 14 – Запуск по короткому импульсу (ранту), в котором начальный выброс подавляется НЧ-фильтром для сигнала запуска

3.6 Выявление выравнивания каналов блоком запуска

Синхронизация между входными каналами осциллографа (выравнивание) важно для измерений и условий запуска между двумя и более сигналами. Различные длины кабелей, щупы, или положения точек зондирования также вызывают сдвиги между каналами. Обычные цифровые осциллографы содержат функцию выравнивания сигналов для компенсации задержек по различным входам. Выравнивание обычно выполняется в тракте сбора данных после АЦП и, таким образом, не может быть обнаружено обычным аналоговым запуском. Это приводит к отображению на экране и анализу системой запуска неустойчивых сигналов.

В цифровом осциллографе R&S RTO блок сбора данных и блок запуска используют идентичные оцифрованные и обработанные данные (рисунок 15). Таким образом, сигналы, показанные на экране, и сигнал, обработанный блоком запуска, согласованы, даже если используется канал выравнивания. Так как в приборе RTO используются цифровые фильтры задержки, то можно установить выравнивание с шагом 1 пс.

Примеры для взаимных условий запуска каналов включают запуск по контролю событий запуска одного канала (например, "Edge") и конкретных комбинаций уровней (состояние "high" или "low") в других каналах.

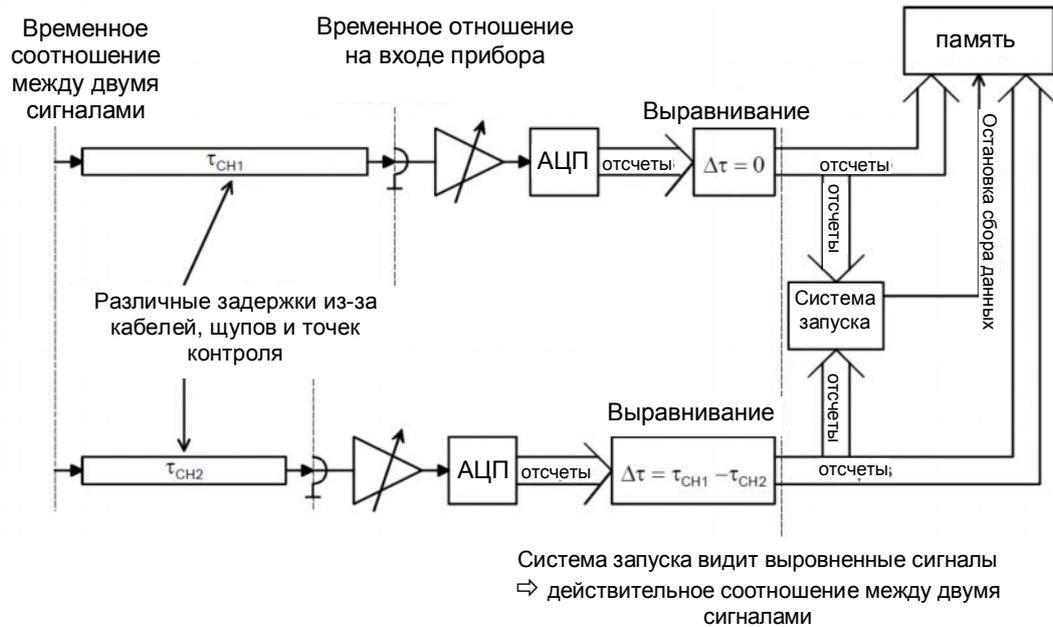


Рисунок 15 – Система цифрового запуска прибора R&S RTO может использовать канальное выравнивание для подходящего запуска по комбинациям состояний каналов

3.7 Функция просмотра архива данных с использованием временных меток

Во многих случаях реальная причина ошибки не может быть точно определена, пока не будет просмотрен архив собранных данных сигнала (осциллограмм). В осциллографах R&S RTO всегда предоставляется доступ к ранее полученным сигналам. Независимо от функции, из которой было остановлено измерение, данные сигнала, хранящиеся в памяти, сразу же доступны для анализа. К тому же, каждый сигнал имеет индивидуальную метку времени для точного определения момента возникновения события запуска. В зависимости от опции памяти пользователю доступны исчерпывающие данные для эффективной отладки.

Инструмент просмотра архива данных управляет повторным воспроизведением сигналов, см. рисунок 15. Временные метки могут быть отображены в виде абсолютного времени относительно системного, или относительно последнего запущенного сигнала. Разрешение по меткам времени во втором режиме – одна пикосекунда (1 пс). В приложениях, требующих длительной стабильной синхронизации, особенно полезной будет опция термостатированного опорного генератора (аппаратная опция R&S RTO-B4), которая обеспечит высокую точность развертки по времени.



Совет по применению

Все инструменты обработки и анализа сигналов, такие, как математический тест, функции измерения, тест по маске или инструменты гистограммы, могут быть применены во время повторного воспроизведения данных сигнала.

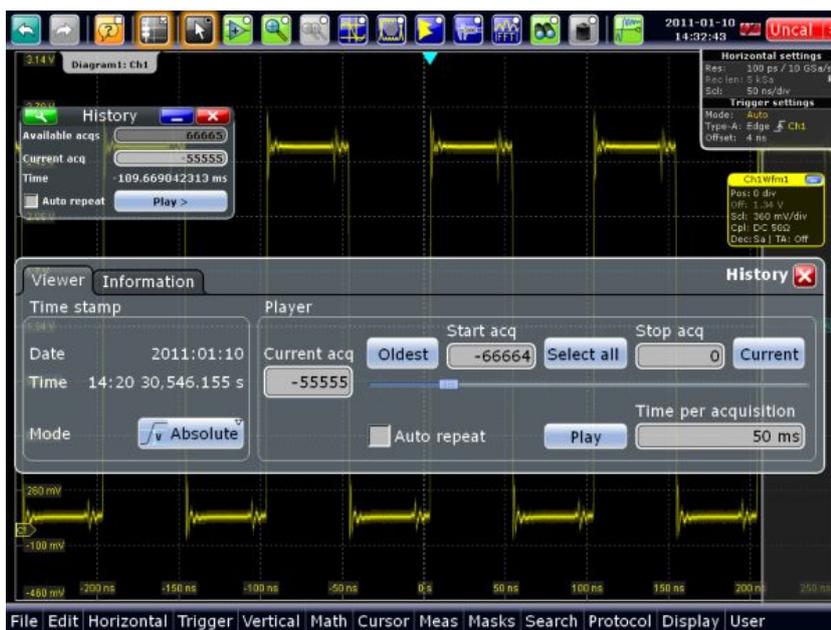


Рисунок 16 – Инструмент просмотра архива данных обеспечивает доступ ко всем сигналам в памяти сбора данных

4 Заключение

В данном документе были обсуждены преимущества цифровой системы запуска в сравнении с традиционной аналоговой системой. Цифровая система работает напрямую с отсчетами АЦП. Такая архитектура обеспечивает постоянную синхронизацию для собранных данных и данных запуска, что приводит к получению более точных результатов измерений.

Характерной чертой цифрового осциллографа R&S RTO является цифровой запуск в реальном масштабе времени. Она позволяет добиться очень низкого джиттера запуска в сочетании с очень высокой скоростью сбора и анализа данных сигнала.

Цифровая система запуска осциллографа R&S RTO позволяет производить точные измерения благодаря высокой чувствительности запуска во всей полосе и подстраиваемому цифровому фильтру для сигнала запуска.

Данные преимущества вкупе с такими характеристиками, как высокий динамический диапазон (ЕНОВ) входного каскада, высокая скорость сбора и анализа данных, и интуитивно понятный интерфейс превращают осциллограф RTO в мощное средство отладки и анализа.

5 Литература

- [1] Hickmann, I.: Digital Oscilloscopes, Newnes, 2001
- [2] R&S application note, "The Impact of Digital Oscilloscope Blind Time on Your Measurements"
- [3] R&S product brochure, "R&S®RTO Digital Oscilloscopes"
- [4] R&S user manual, "R&S®RTO Digital Oscilloscopes - Getting Started"

6 Дополнительная информация

Данный документ может улучшаться и дополняться. Для загрузки новых версий посетите [наш веб-сайт](#). Свои комментарии и предложения по данному документу просьба присылать по адресу TM-Applications@rohde-schwarz.com.

7 Информация для заказа

Обозначение	Тип устройства	Код заказа
Базовый блок (в состав входят аксессуары: на канал: пассивный пробник напряжения 500 МГц (10:1), мешочек для принадлежностей, краткое руководство, компакт-диск с руководством, шнур питания)		
Цифровые осциллографы		
1 ГГц, 10 млрд. отсч./с, 20/40 млн. отсч., 2 канала	R&S®RTO1012	1316.1000.12
1 ГГц, 10 млрд. отсч./с, 20/80 млн. отсч., 4 канала	R&S®RTO1014	1316.1000.14
2 ГГц, 10 млрд. отсч./с, 20/40 млн. отсч., 2 канала	R&S®RTO1022	1316.1000.22
2 ГГц, 10 млрд. отсч./с, 20/80 млн. отсч., 4 канала	R&S®RTO1024	1316.1000.24

О компании Rohde & Schwarz

Rohde & Schwarz представляет собой независимую группу компаний, специализирующуюся на производстве электронного оборудования. Rohde & Schwarz является ведущим поставщиком контрольно-измерительных систем и приборов, оборудования для теле- и радиовещания, систем радиомониторинга и радиопеленгации, а также систем профессиональной радиосвязи специального назначения. Rohde & Schwarz успешно работает уже 75 лет, представительства и сервисные центры компании находятся в более чем 70 странах. Головной офис компании расположен в Мюнхене, Германия.

Приверженность делу охраны окружающей среды

- Энергосберегающие изделия
- Непрерывное усовершенствование в области экологической устойчивости
- Сертифицированная система экологического менеджмента ISO 14001



Контакты в регионах

США & Канада

США: 1-888-TEST-RSA (1-888-837-8772)

извне США: +1 410 910 7800

CustomerSupport@rohde-schwarz.com

Восточная Азия

+65 65 13 04 88

CustomerSupport@rohde-schwarz.com

Другие регионы

+49 89 4129 137 74

CustomerSupport@rohde-schwarz.com

Данный документ и поставляемые программы могут применяться только при соблюдении условий, изложенных в области загрузки на веб-сайте Rohde & Schwarz.

R&S® является зарегистрированной торговой маркой компании Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG. Все торговые марки являются собственностью их владельцев.

Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG

Mühlendorfstraße 15 | D - 81671 München

Phone + 49 89 4129 - 0 | Fax + 49 89 4129 - 13777

www.rohde-schwarz.com