

# Влияние времени простоя цифрового осциллографа на измерения

## Руководство по применению

### Изделия:

- I R&S®RT01012
- I R&S®RT01014
- I R&S®RT01022
- I R&S®RT01024

Все цифровые осциллографы имеют некоторое время простоя. Пользователь пропустит важные события в сигнале, происходящие в испытываемом приборе на протяжении этого времени. Следовательно, необходимо понять влияние времени простоя на измерения.

В настоящем указании по применению объяснены основные причины появления времени простоя и указано, почему важным фактором является высокая скорость сбора данных. Кроме того, в нем пояснены возможности осциллографов R&S RTO и то, каким образом они помогают ускорить отладку, измерения и анализ.

# Содержание

1	Что такое время простоя? .....	3
1.1	Архитектура цифрового осциллографа.....	3
1.2	Время простоя — характеристика цифровых осциллографов.....	4
2	Каково влияние времени простоя?.....	6
2.1	Невидимые аномалии сигнала.....	6
2.2	Влияние времени простоя на измерения.....	7
2.3	Время испытаний, необходимое для регистрации редких событий в сигнале.....	9
3	Какие компромиссы используют применяемые в настоящее время решения для уменьшения времени простоя? .....	11
3.1	«Один проход» с длинной памятью.....	11
3.2	Специальные события запуска .....	11
3.3	Специальные режимы сбора данных .....	12
3.4	Более быстрый сбор данных без необходимости специального режима .....	12
4	Подход, используемый в осциллографах R&S®RTO.....	13
4.1	Архитектура осциллографов RTO: предназначена для снижения до минимума времени простоя.....	13
4.2	Максимальная скорость сбора данных 1 миллион осциллограмм в секунду .....	14
4.3	Благодаря высокой скорости сбора данных средства анализа дают более быстрые результаты .....	16
5	Заключение.....	18
6	Список литературы.....	19
7	Дополнительная информация .....	19
8	Информация для заказа.....	19

# 1 Что такое время простоя?

Возможно, кто-то помнит первые цифровые осциллографы, появившиеся в начале восьмидесятых годов. Они знаменовали собой революционное изменение технологии, однако, также потребовали изменения сложившихся у пользователей представлений. Использование цифровых технологий предоставило преимущество постобработки сигнала и постоянного хранения данных, однако, это достигалось ценой малых частот обновления экрана. С течением времени цифровые осциллографы претерпели огромные улучшения и почти полностью заменили аналоговые осциллографы.

Однако насколько в действительности можно доверять отображению цифровым осциллографом измеряемого сигнала? Знаете ли вы, что осциллограф большую часть времени находится в простое? И как это влияет на способность выявлять ошибки сигнала в сложных системах?

## 1.1 Архитектура цифрового осциллографа

Для того чтобы понять происхождение времени простоя требуется базовое понимание устройства цифрового осциллографа. На рисунке 1 показаны типовые модули, входящие в состав цифрового осциллографа.

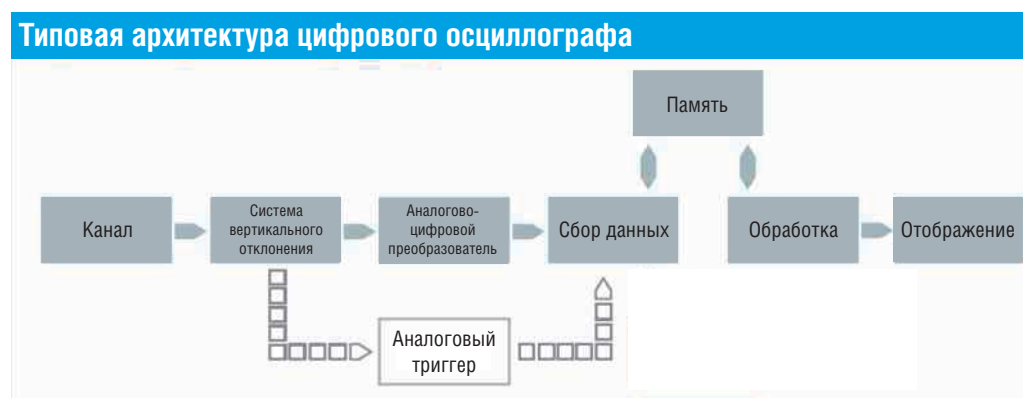


Рис. 1: Типовая блок-схема цифрового осциллографа

Измеряемый сигнал прикладывается ко входу осциллографа и проходит через аттенюаторы или усилители системы вертикального отклонения. Аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) через регулярные промежутки времени производит выборку сигнала и преобразует соответствующие амплитуды сигнала в дискретные цифровые величины, называемые «точками выборки». Блок сбора данных выполняет функции обработки, такие как фильтрация и прореживание выборки. Выходные данные хранятся в памяти как «отсчеты выборки сигнала». Число отсчетов в записи сигнала определяется задаваемой пользователем «длиной записи».

В зависимости от нужд пользователя, в дальнейшем с этими отсчетами выборки сигнала может быть проведена постобработка. В её задачи входят арифметические функции, например, усреднение, математические операции, например, КИХ-фильтрация, автоматические измерения, например, времен нарастания и спада, и функции анализа, например, построение гистограмм или испытания на соответствие маске. Другими примерами постобработки являются декодирование протоколов, анализ джиттера и анализ векторных сигналов.

У цифрового осциллографа нет принципиальных ограничений на этапы обработки, выполняемые с отсчетами выборки сигнала. В зависимости от архитектуры осциллографа такие функции постобработки выполняются программным образом, посредством центрального процессора прибора, или аппаратным, посредством специализированных ИС или программируемых пользователем логических матриц (FPGA — Field Programmable Gate Array). После этого конечные результаты представляются пользователю на экране осциллографа.

После завершения этого цикла — от оцифровки до отображения сигнала — осциллограф готов к регистрации следующего сигнала.

## 1.2 Время простоя — характеристика цифровых осциллографов

Пользователи аналоговых осциллографов привыкли видеть на экране почти все подробности сигнала. Свечение люминофора экрана создает естественное послесвечение, которое используется для быстрого обнаружения аномалий сигнала.

В то время как аналоговым осциллографам необходимо только вернуть в исходное состояние систему горизонтального отклонения для следующего хода развертки электронного луча, цифровые осциллографы тратят большую часть цикла сбора данных на постобработку отсчетов выборки сигнала [1]. В течение этого времени обработки цифровой осциллограф находится в простое и не может отслеживать измеряемый сигнал. Следовательно, цифровые осциллографы способны делать только отдельные «снимки» измеряемого сигнала. Хотя многие пользователи цифровых осциллографов не знают о том, что осциллограф большую часть времени находится в простое, эта характеристика существенно влияет на количество зарегистрированных и, в конечном счете, отображенных деталей сигнала.

### Определения цикла сбора данных, скорости сбора данных и коэффициента времени простоя

На рисунке 2 показан пример цикла сбора данных. Цикл сбора данных состоит из времени активного сбора данных и периода простоя. На протяжении времени активного сбора данных осциллограф регистрирует определенное число отсчетов выборки сигнала и записывает их в память. Время простоя в цикле сбора данных состоит из постоянного и переменного промежутков времени. Постоянные части определяются индивидуальной архитектурой прибора. Переменная часть зависит от времени, необходимого на постобработку, и является функцией числа отсчетов выборки сигнала (длительности записи и количества активных каналов) и числа выбранных функций постобработки (например, интерполяция, математические функции, измерения и анализ). На заключительном этапе периода простоя графический процессор подготавливает отсчеты выборки сигнала для отображения, а осциллограф возвращает триггер в исходное состояние и готовит его к новому циклу сбора данных.

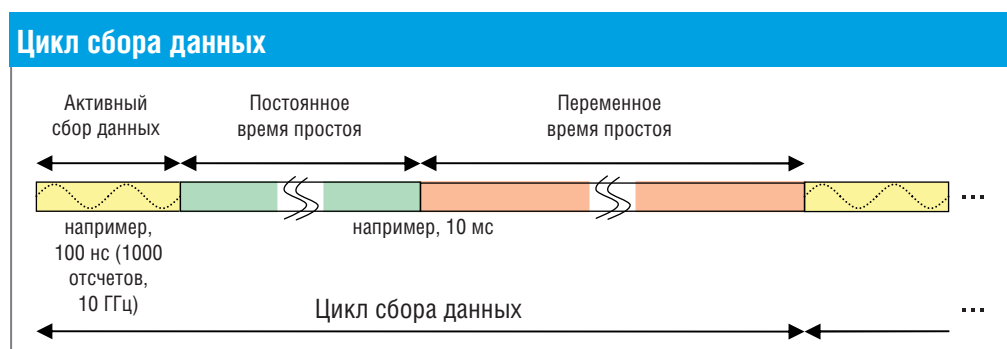


Рис. 2: Цикл сбора данных и анализа цифрового осциллографа

Отношение времени активного сбора данных к времени простоя является важной характеристикой цифрового осциллографа. Его можно определить либо как коэффициент времени простоя, либо как скорость сбора данных о сигнале.

**Уравнение 1:**  $\text{коэффициент\_времени\_простоя} = \frac{\text{время\_простоя}}{\text{время\_цикла\_сбора\_данных}}$

**Уравнение 2:**  $\text{скорость\_сбора\_данных} = \frac{1}{\text{время\_цикла\_сбора\_данных}}$

Например, если время активного сбора данных 100 нс, а время простоя 10 мс, то общий цикл сбора данных составляет 10,0001 мс. Это дает коэффициент времени простоя 99,999% и скорость сбора данных менее 100 осциллограмм в секунду.

### Большое количество данных — проблема вычислительной мощности

Естественной реакцией на обсуждаемые до сих пор вопросы было бы сказать: «Давайте создадим более быстрый цифровой осциллограф с увеличенной вычислительной мощностью и конвейерной архитектурой». Однако такое решение потребовало бы огромных вычислительных мощностей. Например, цифровой осциллограф с 8-битным АЦП и частотой дискретизации 10 Гвыб/с непрерывно производит 80 Гбит данных, которые необходимо обработать и отобразить. Кроме того, к отсчетам выборки сигнала часто применяются цифровая фильтрация, арифметические операции, функции анализа и измерений, что также требует дополнительной вычислительной мощности. В настоящее время обработка в реальном масштабе времени, без времени простоя для цифрового осциллографа, используемого в условиях лаборатории, нереализуема. Тем не менее, необходимость как можно более короткого времени простоя остается в силе, поскольку инженеры не хотят пропустить важные детали сигнала и, для получения надежных результатов анализа, нуждаются в большом количестве зарегистрированных сигналов.

### Измерение времени простоя осциллографа

Имеются различные способы определения фактической скорости сбора данных и соответствующего времени простоя цифрового осциллографа. Поскольку скорость сбора данных может изменяться в зависимости от настроек прибора, оценка должна проводиться для используемых условий измерения.

Некоторые осциллографы оснащены счетчиком собранных данных, другие имеют дисплей, непосредственно отображающий параметры скорости сбора данных. Другой возможностью служит наблюдение за сигналом запуска осциллографа. Каждый нарастающий фронт обозначает новый цикл сбора данных.

Необходимо быть внимательным и убедиться, что в сигнале источника события запуска встречаются более часто, чем предполагаемая скорость сбора данных. В противном случае результаты измерения не покажут действительных характеристик осциллографа.

## 2 Каково влияние времени простоя?

После того как в разделе 1 приведена общая информация о наличии времени простоя, возникает естественный вопрос: как влияет время простоя на измерения, выполняемые осциллографом? Пользователь осциллографа ожидает высокой достоверности и доверяет отображаемым сигналам. Это включает ожидания точного представления времени и амплитуды, а также полное отслеживание поведения сигнала во времени.

### 2.1 Невидимые аномалии сигнала

В типичном варианте испытаний пользователь выполняет ряд измерений, для того чтобы определить источник ошибочного поведения системы. Другим вариантом может быть тот, когда пользователь старается подтвердить безошибочную работу на протяжении многих периодов сигнала. Разумным подходом для такого рода задач является использование стандартного события запуска, такого как «фронт», и включение режима послесвечения, для того чтобы отслеживать изменения сигнала во времени (смотрите рисунок 4). Этот режим можно использовать, для того чтобы выделить редкие события в сигнале различной яркостью или различным цветом. После того как пользователю становится известна форма ошибки сигнала, он может вновь запустить сбор данных с соответствующим условием запуска, таким как ширина выброса или амплитуда ранта. Однако такой двухэтапный подход возможен только при повторяющемся поведении сигнала. Нахождение неизвестного события в сигнале невозможно.

С другой стороны, на рисунке 3 показано, что события в сигнале, возникающие во время простоя, не будут зарегистрированы и, следовательно, не будут отображены. Они остаются невидимыми для пользователя. Обнаружить ошибки такого рода можно, если только аномальное поведение сигнала повторяется с течением времени. При больших временах наблюдения увеличивается вероятность, что ошибочное поведение сигнала совпадет со временем активного сбора данных осциллографом.

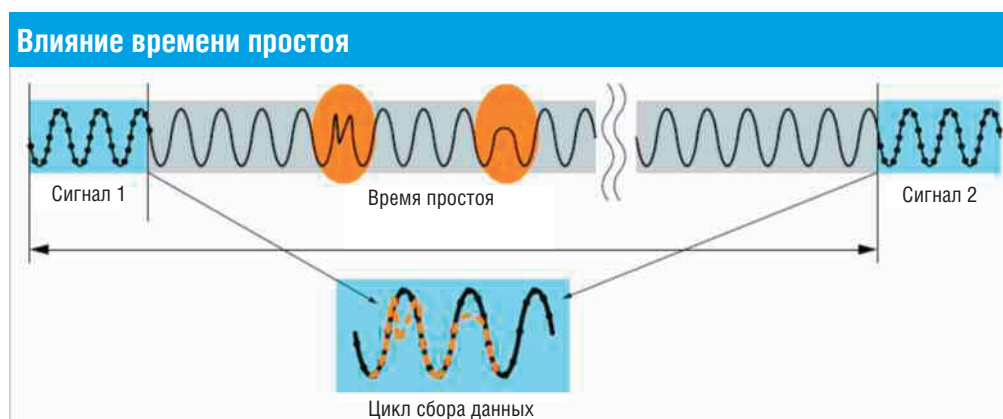


Рис. 3: События в сигнале, возникающие в течение времени простоя осциллографа остаются невидимы для пользователя

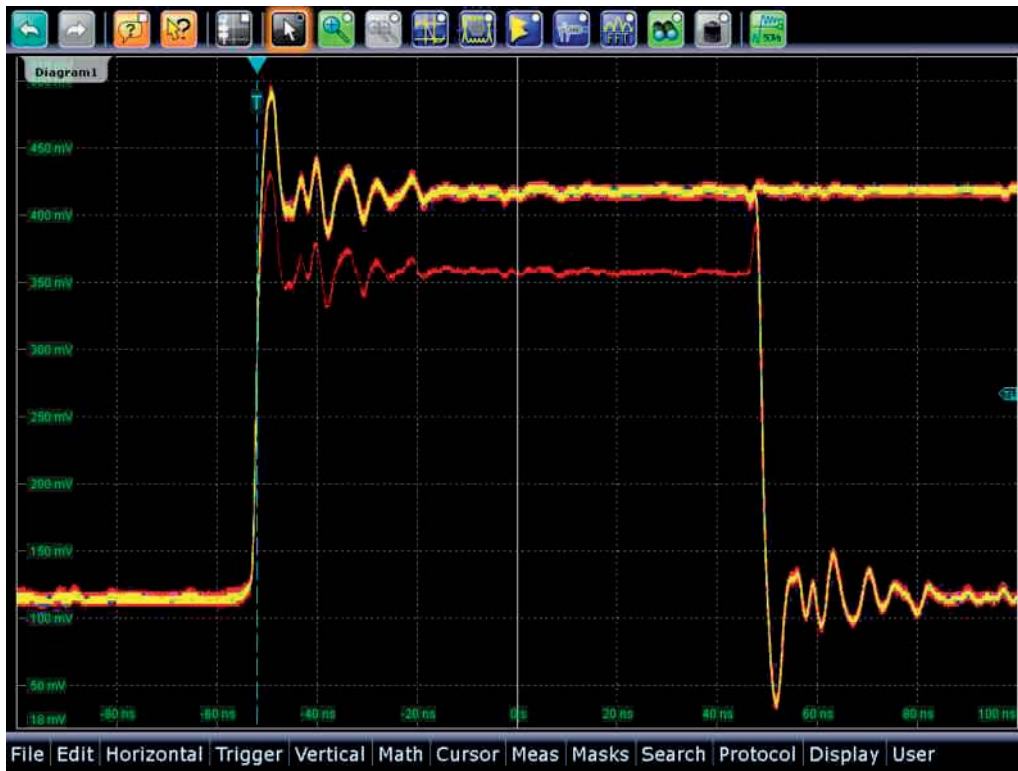


Рис. 4: В режиме послесвечения выделяются редко возникающие сигналы. В этом примере иногда возникает рант — сигнал меньшей амплитуды.

## 2.2 Влияние времени простоя на измерения

Пользователь цифрового осциллографа должен быть осведомлен о том, что этот измерительный инструмент регистрирует только части сигнала. В следующем разделе обсуждаются несколько областей, в которых время простоя влияет на результаты измерения.

### Быстрота реагирования прибора

Наиболее очевидным следствием времени простоя является быстрота реагирования прибора. Пользователи осциллографа часто увеличивают временную развертку, для того чтобы увеличить вероятность регистрации трудноуловимого события. На данном этапе это может быть неочевидно, однако, увеличение временной развертки действительно может привести к уменьшению коэффициента времени простоя. К сожалению, увеличение длительности записи приводит к снижению скорости сбора данных и значительному уменьшению частоты обновления осциллограмм. Это может оказаться крайне неудобно, если настройки прибора необходимо изменить в режиме непрерывной регистрации. После каждого изменения настроек, которое требует нового цикла сбора данных, пользователь вынужден делать паузу и ждать, пока результат этого изменения отобразится на экране.

### Обнаружение редких аномалий сигнала

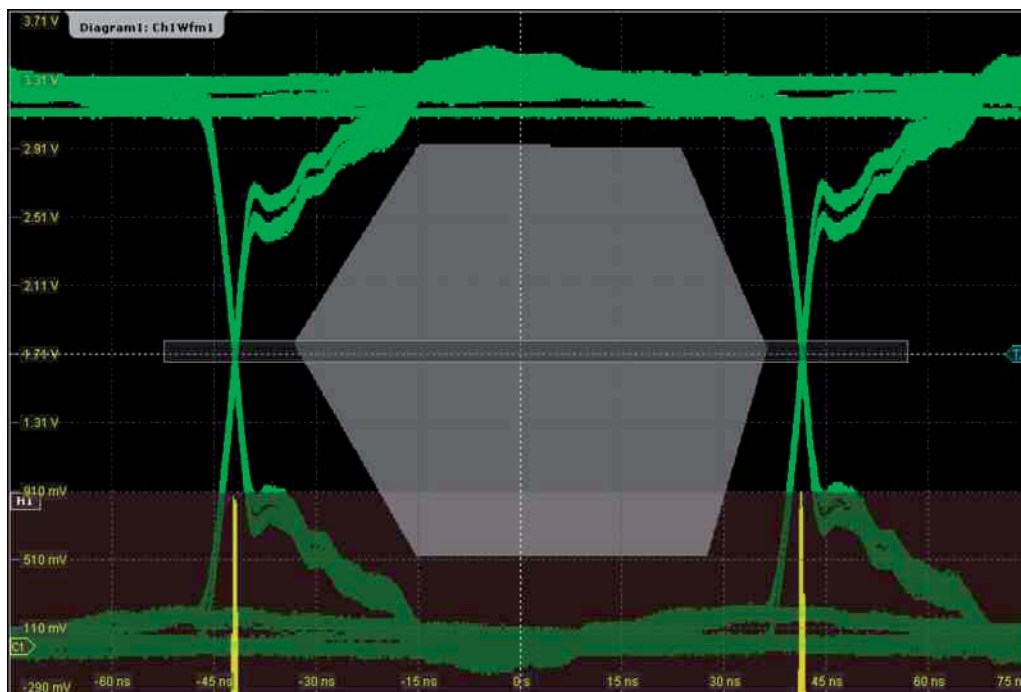
Наибольшее влияние на процесс отладки время простоя оказывает в тех случаях, когда необходимо найти и проанализировать редкие события в сигнале.



Как обсуждалось ранее, аномалии сигнала могут быть отображены только, когда они возникают во время активного сбора данных цикла сбора данных (см. рисунок 3). У типичного цифрового осциллографа время активного сбора данных намного меньше 1%. Поэтому пользователь полагается на повторяющийся характер сигнала и длительное время ожидания. В конце концов, аномалия сигнала совпадет со временем активного сбора данных осциллографа. Более короткое время простоя позволяет быстрее зарегистрировать поведение неизвестного сигнала. Более подробное обсуждение влияния времени испытаний на обнаружение редких ошибок сигнала приведено в разделе 2.3.

### Достоверность результатов анализа

Функции анализа, такие как измерения, испытания на соответствие маске (рисунок 5), построение гистограмм и БПФ требуют дополнительного времени обработки и, следовательно, увеличивают время простоя в каждом цикле сбора данных. Чем больше длина записываемого сигнала, тем хуже становится ситуация. Многие из таких функций анализа характеризуют статистическое поведение и пределы испытываемого сигнала для наихудшего случая. Длительное время простоя находится в противоречии с требованием собрать большое количество сигналов, для того чтобы получить результаты с высокой статистической достоверностью. Следовательно, большое время простоя оказывает непосредственное влияние на общее время испытаний.



*Рис. 5: Испытания на соответствие маске или построение гистограммы для проверки параметров физического уровня требуют сбора большого числа сигналов для получения статистически достоверных результатов*

### Уменьшение времени сбора данных при использовании математических и курсорных функций, а также функций масштабирования

Другие операции постобработки, такие как арифметические операции с сигналом, курсорные функции и окна масштабирования также требуют дополнительного времени обработки. При их активации скорость сбора данных цифрового осциллографа, как правило, значительно снижается. Если время наблюдения фиксировано, меньшее число деталей сигнала включаются в анализ и отображаются на экране.



## 2.3 Время испытаний, необходимое для регистрации редких событий в сигнале

Как изложено в разделе 2.1, цифровой осциллограф регистрирует только небольшую часть испытываемого сигнала и, следовательно, пропускает детали сигнала, которые приходятся на время простоя (рисунок 3). В предположении, что поведение пропущенного сигнала носит периодический характер, для расчета среднего времени, необходимого для регистрации и визуализации таких событий в сигнале, можно использовать статистические методы. В дальнейшем будет приведено больше подробностей относительно времени, требуемого для регистрации редких событий в сигнале.

### Расчет статистического времени испытаний, необходимого для регистрации редких событий в сигнале

Для данного времени сбора данных о сигнале (то есть число отсчетов \* разрешение, или 10 \* временной масштаб), данной скорости сбора данных и данной частоты повторения события в сигнале (то есть частоты повторения выброса), вероятность регистрации и отображения события в сигнале возрастает с увеличением времени измерения согласно следующему уравнению:

$$\text{Уравнение 3: } P = 100 - 100 * (1 - \text{GlitchRate} * T)^{\text{AcqRate} * t_{\text{measure}}}$$

P:	вероятность регистрации редкого повторяющегося события в сигнале [%]
GlitchRate:	частота ошибочного сигнала (например, повторения выброса) [1/с]
T:	время активного сбора данных или время отображения сигнала (длительность записи / частота дискретизации, или длительность записи * разрешение, или 10 * цена деления шкалы времени) [с]
AcqRate:	скорость сбора данных [осциллограмм/с]
$t_{\text{measure}}$ :	время измерения [с]

Чтобы рассчитать требуемое время измерений для заданной вероятности, используется следующее уравнение:

### Уравнение 4:

$$t_{\text{measure}} = \frac{\log\left(1 - \frac{P}{100}\right)}{\text{AcqRate} * \log(1 - \text{GlitchRate} * T)}$$

### Пример требуемого для визуализации ошибки в сигнале времени испытаний

Предположим, имеется сигнал с частотой повторения ошибки 10 раз в секунду. Сам сигнал представляет собой сигнал данных, отображаемый осциллографом с временной разверткой 10 нс/дел. Если размер экрана составляет 10 делений по горизонтали, может быть определено время активного сбора данных, составляющее 100 нс. Для того чтобы гарантировать регистрацию желаемого события в сигнале с высоким уровнем вероятности, используется вероятность 99,9%.

Необходимое время испытаний зависит от скорости сбора данных осциллографа. В следующей таблице приведено требуемое время испытаний для нескольких скоростей сбора данных о сигнале.

Скорость сбора данных	Время испытаний
100 осциллограмм/с	19 часов : 11 мин : 08 с
10 000 осциллограмм/с	11 мин : 31 с
100 000 осциллограмм/с	1 мин : 09 с
1 000 000 осциллограмм/с	7 с

Таблица 1: Среднее время испытаний для регистрации повторяющейся ошибки сигнала с вероятностью 99,9% ( $T=100$  нс,  $GlitchRate = 10/c$ )

### Пример вероятности визуализации ошибки в сигнале

На следующем графике (рисунок 6) показана зависимость требуемого времени испытаний для частоты ошибки в сигнале, равной 10 ошибок в секунду. С увеличением скорости сбора данных вероятность обнаружения редкой ошибки в сигнале за меньшее время значительно увеличивается.

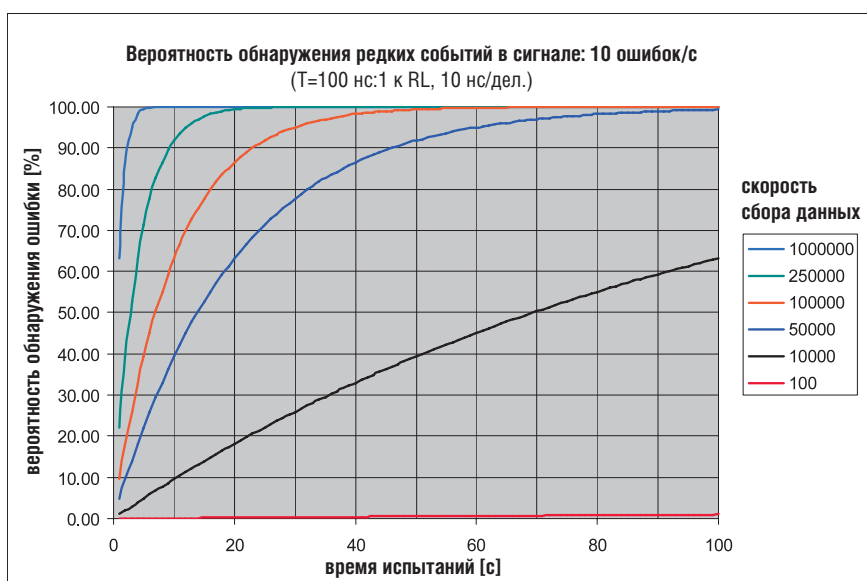


Рис. 6: Вероятность обнаружения редкого события в сигнале, возникающего 10 раз в секунду, за требуемое время испытаний, в зависимости от скорости сбора данных осциллографа

## 3 Какие компромиссы используют применяемые в настоящее время решения для уменьшения времени простоя?

Большое время простоя цифровых осциллографов ограничивает возможность визуального контроля испытываемых сигналов. Для решения этой проблемы, связанной с архитектурой осциллографов, разработаны различные алгоритмы.

### 3.1 «Один проход» с длинной памятью

При регистрации одного сигнала может быть зафиксирована непрерывная последовательность сигнала. Постобработка производится после выполнения «одного прохода» и, следовательно, не прерывает последовательность сигнала. Максимальное время активного сбора данных зависит от частоты дискретизации и размера памяти осциллографа. При типовом объеме памяти 10 миллионов отсчетов и частоте дискретизации 10 ГГц максимальное время непрерывной записи составляет 1 мс. Даже при большом объеме памяти, например, 10 миллионов отсчетов, при этой частоте дискретизации максимально возможное непрерывное время наблюдения составляет только 10 мс. В таблице 2 приведено еще несколько примеров максимальной длительности регистрации сигнала как функции частоты дискретизации и объема памяти.

Длительность регистрации			
	10 миллионов отсчетов	50 миллионов отсчетов	100 миллионов отсчетов
10 ГГц	1 мс	5 мс	10 мс
5 ГГц	2 мс	10 мс	20 мс
1 ГГц	10 мс	50 мс	100 мс
500 МГц	20 мс	100 мс	200 мс
100 МГц	100 мс	500 мс	1 000 мс
10 МГц	1 000 мс	5 000 мс	10 000 мс

Таблица 2: Максимальная длительность регистрации сигнала зависит от частоты дискретизации и объема памяти сигнала



#### Компромисс

При таком подходе часто оказывается невозможно реализовать достаточно длительное время наблюдения сигнала для обнаружения неизвестного ошибочного поведения. Даже в тех случаях, когда ошибочное событие в сигнале успешно зарегистрировано, может оказаться очень сложно или даже невозможно найти его на экране из-за огромного количества представленных данных.

### 3.2 Специальные события запуска

В 1940-х годах для получения стабильного отображения формы сигнала была изобретена система синхронизации. Первым событием запуска для аналогового осциллографа было событие «фронт». Для того чтобы сосредоточить сбор данных на особом поведении сигнала, современные цифровые осциллографы способны использовать целый ряд событий запуска. Несколькими примерами могут служить ширина выброса, амплитуды ранта или время нарастания.

**Компромисс**

Специальные события запуска могут помочь выделить ошибки сигнала, однако, проблема заключается в том, что необходимо знать, какое событие запуска необходимо использовать. Во время процесса отладки особое поведение ошибки в сигнале первоначально неизвестно. Несмотря на то, что некоторые осциллографы поддерживают алгоритм обучения и предлагают варианты событий запуска, для того чтобы определить, можно ли использовать предлагаемое событие запуска, требуется ручное вмешательство.

### 3.3 Специальные режимы сбора данных

Для уменьшения времени простоя некоторые осциллографы поддерживают специальные режимы сбора данных. В этих режимах имеющиеся функции постобработки ограничены, чтобы уменьшить время простоя и увеличить скорость сбора данных. В других подходах используются специальные тракты обработки, которые обходят стандартные модули сбора данных и обработки и сосредотачиваются на быстром отображении точек осциллограммы сигнала.

Целью таких специальных режимов сбора данных является контроль сигнала и выделение необычного поведения сигнала посредством специальной градации цветов (режим послесвечения). Однако за более высокую скорость сбора данных в таких специальных режимах регистрации приходится платить. Ограниченная функциональность, например, недоступность инструментов анализа, ограниченные возможности управления осциллографом или невозможность сохранить информацию о сигнале — вот только некоторые примеры.

**Компромисс**

Использование таких специальных режимов сбора данных требует двухэтапного подхода. Сначала пользователь пытается визуализировать критическое поведение сигнала. На втором этапе специальное событие запуска используется для повторной регистрации критического события в сигнале. Как следствие, поведение анализируемого сигнала на втором этапе отличается от поведения сигнала на этапе первоначального обнаружения. Кроме того, в таких режимах быстрого просмотра недоступны или ограничены функции анализа. Задачи обработки в сочетании со стандартным режимом по-прежнему требуют больших затрат времени.

### 3.4 Более быстрый сбор данных без необходимости специального режима

Наилучшее решение — это ускорить сбор и обработку данных таким образом, чтобы значительно снизить время простоя в стандартном режиме работы осциллографа. В этом случае преимущества более короткого времени простоя сочетаются с полной функциональностью осциллографа и его возможностями анализа. Большинство стандартных осциллографов работают со скоростью сбора данных менее 100 сигналов/с.

**Компромисс**

Некоторые осциллографы, в диапазоне от базовых до средней производительности, в классе с шириной полосы  $\leq 1$  ГГц, обладают более высокими скоростями сбора данных  $\leq 50\,000$  сигналов/с при максимальной частоте дискретизации 5 ГГц или  $\leq 95\,000$  сигналов/с при максимальной частоте дискретизации 2 ГГц. До настоящего времени нет подходящего решения для приборов с большей частотой дискретизации, в классе с шириной полосы  $\geq 1$  ГГц.

## 4 Подход, используемый в осциллографах R&S®RTO

Конструкция цифрового осциллографа R&S RTO нацелена на достижение минимального времени простоя в стандартном режиме сбора данных. На следующем рисунке приведены дополнительные детали об архитектуре осциллографов RTO и связанных с ней преимуществ.

### 4.1 Архитектура осциллографов RTO: предназначена для снижения до минимума времени простоя

Приведенные в главах 1 и 2 рассуждения показывают, что наибольший вклад в формирование времени простоя вносят обработка данных и подготовка отображения. Поэтому, в архитектуре осциллографов RTO основное внимание уделяется оптимизации трактов обработки и задач, выполняемых графическим контроллером.

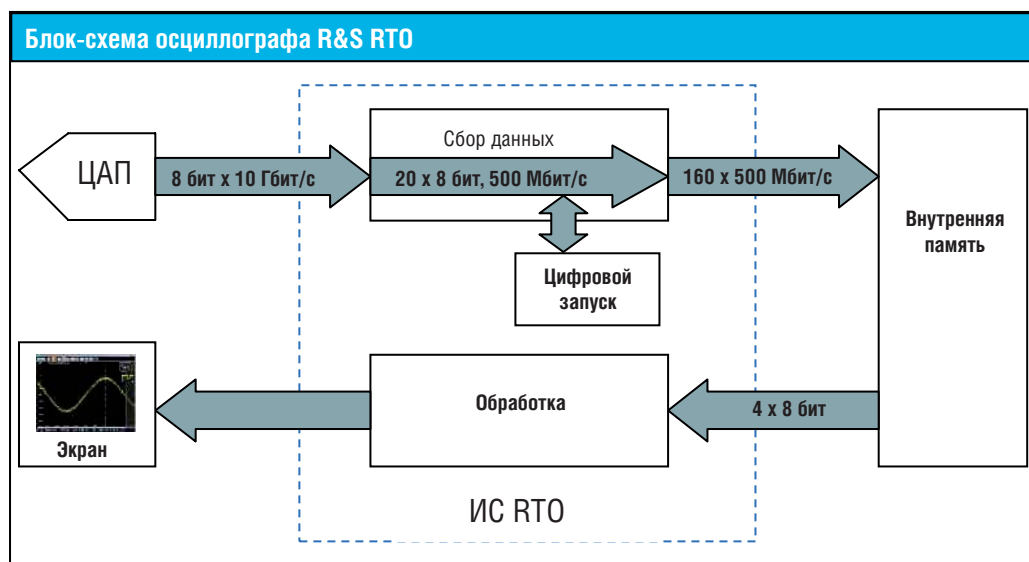


Рис. 7. Архитектура осциллографов RTO позволяет снизить до минимума время простоя

На рисунке 7 показаны тракты обработки сигнала осциллографа R&S RTO, которые реализованы посредством специализированной ИС. Ключевой особенностью цифровых осциллографов является то, что они в реальном масштабе времени записывают отсчеты после АЦП во внутреннюю память. Разница между отдельными моделями осциллографов заключается в возможностях обработки, которые могут быть добавлены в этот тракт, работающий в реальном масштабе времени.

Модуль сбора данных осциллографов RTO, например, включает в тракте, работающем в реальном масштабе времени, возможность компенсации фазового сдвига, цифровые фильтры, функции математического объединения сигналов каналов (сумма, разность, обратная величина). Также имеющийся в тракте блок прореживания способен одновременно выводить три сигнала на основе различных операций прореживания (выборка, высокое разрешение, пиковый детектор, среднеквадратичное значение).

Ключом к сохранению высокой скорости передачи данных служит широкое использование параллельной обработки. 8-битовый АЦП осциллографов RTO с частотой дискретизации 10 ГГц каждую секунду выдает 80 Гбит данных, которые необходимо обработать. В блоке сбора данных эта информация обрабатывается в 20 параллельных трактах.

Тракт обработки между памятью сигнала и экраном также состоит из нескольких путей (до четырех). Благодаря этому достигается очень короткие времена простоя, даже при активных опциях обработки сигнала (интерполяция, математические операции и т.п.). Осциллографы RTO выполняют большую часть функций обработки сигнала и измерений в специализированной ИС RTO. В отличие от решений на программной основе, при этом не требуется доступ к ЦПУ и связанная с ним передача данных.

С такой архитектурой тракт обработки данных после памяти сигнала способен достичь скорости передачи данных, равной 1/5 от находящегося перед памятью сигнала тракта, работающего в реальном масштабе времени. Это приводит к теоретически достижимому значению времени активного сбора данных 20%. Запас при обработке данных снижает в реальном приборе эту величину до 10%, при работе с максимальной частотой дискретизации 10 ГГц. Это очень большая величина для цифровых осциллографов. Ближайшее по скорости решение при частоте дискретизации 10 ГГц может обеспечить время активного сбора данных только 0,5%, с использованием специального быстрого режима отображения. Осциллографам RTO не нужны такие компромиссы. Другие цифровые осциллографы собирают данные еще медленнее, и времена активного сбора данных даже ниже 0,01%.

Кроме того, осциллографы RTO оснащены работающей в реальном масштабе времени цифровой системой синхронизации. Традиционным подходом является использование отдельного тракта синхронизации, реализованного с помощью аналоговых схем. В этом случае, два тракта (сбора данных и синхронизации) должны быть тщательно согласованы, чтобы до минимума снизить джиттер триггера. При этом для снижения джиттера до приемлемых уровней часто требуются процедуры постобработки. В осциллографах RTO тракты сбора данных и синхронизации одинаковые, поэтому они уже согласованы. Это одновременно обеспечивает запуск в реальном масштабе времени, низкий джиттер триггера и высокую скорость сбора данных.

Последним узким местом для реализации высоких скоростей сбора данных в цифровом осциллографе является графическое отображение сигналов. Поэтому ИС RTO также содержит специальный графический процессор, который подготавливает пиксельное представление собранных данных о сигналах для отображения на экране. Для того чтобы обработать большой поток данных всей ИС, в осциллографах RTO используется несколько графических процессоров в перемежающемся режиме.

## **4.2 Максимальная скорость сбора данных 1 миллион сигналов в секунду**

Интеграция в одной ИС нескольких высокоскоростных трактов обработки, цифровой системы синхронизации, графического процессора и интеллектуального контроллера памяти (рисунок 7) позволила достичь кратчайших времен простоя и самых высоких скоростей сбора данных. Осциллографы R&S RTO регистрируют, обрабатывают и отображают 1 миллион сигналов в секунду, при этом длина записи составляет 1000 отсчетов при максимальной частоте дискретизации 10 ГГц.

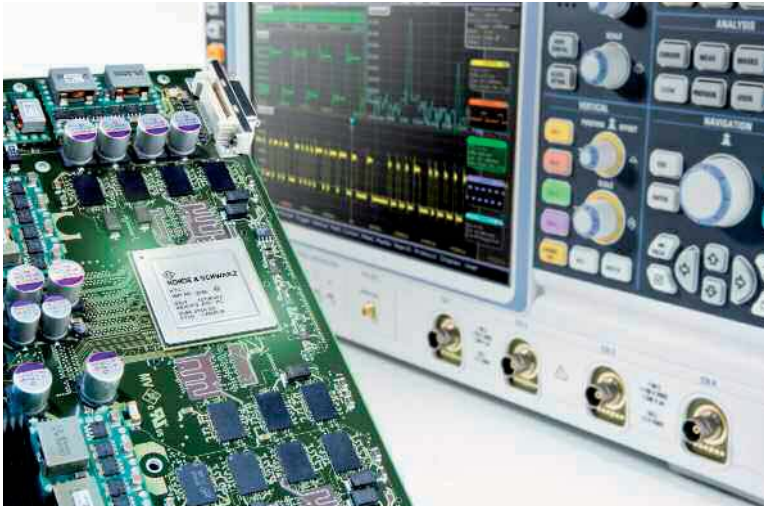


Рис. 8: ИС RTO ASIC, обладающая высоким уровнем интеграции обработки данных, обеспечивает кратчайшее время простоя

Как рассматривалось в главе 1.2, скорость сбора данных зависит от значений параметров и используемых функций обработки.

На рисунке 9 показана скорость сбора данных осциллографов RTO в зависимости от временной развертки и длины записи. Приведенное в главе 1.2 рассмотрение показывает, что скорость сбора данных уменьшается с увеличением длины записи сигнала. Так происходит потому, что увеличение времени активного сбора данных ведет к увеличению общей длительности цикла сбора данных. Процент времени простоя у осциллографов RTO, однако, остается стабильным для различных временных разверток, при сохранении постоянного разрешения.

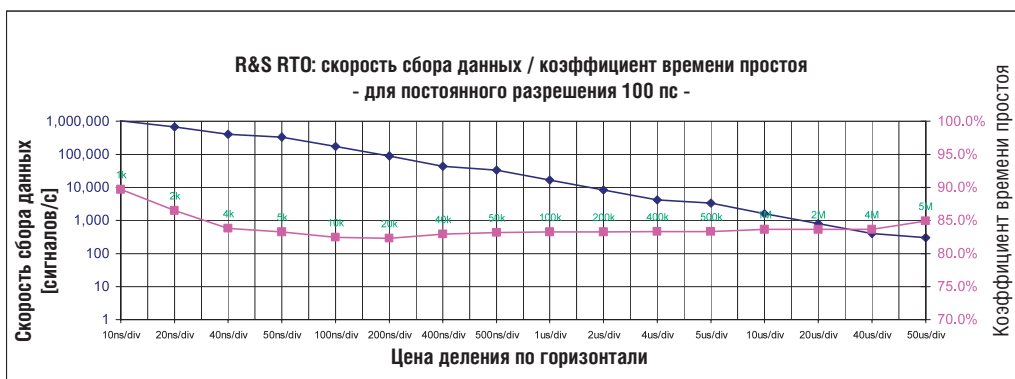


Рис. 9: R&S RTO — зависимость скорости сбора данных и коэффициента времени простоя для постоянного разрешения

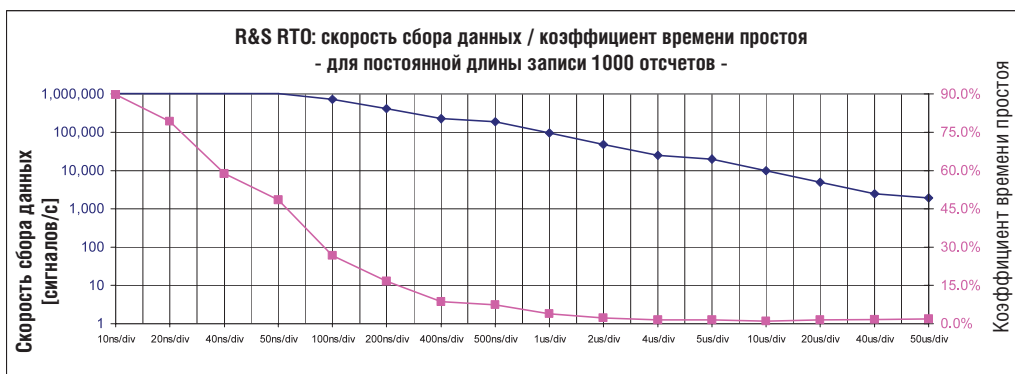


Рис. 10: R&S RTO — зависимость скорости сбора данных и коэффициента времени простоя для постоянной длины записи



Рисунок 10 и таблица 3 иллюстрируют важный момент, относящийся к обнаружению редких ошибок в сигнале. При постоянной длине записи коэффициент времени простоя осциллографов RTO еще более снижается для малых частот дискретизации, это делает возможным более частое активное наблюдение сигнала.



#### Практический совет

Если возможно, для того чтобы быстрее зарегистрировать редкие ошибки сигнала, начинайте с уменьшенной частоты дискретизации. При низкой частоте дискретизации процентное соотношение времени простоя меньше, это обеспечивает лучшее перекрытие сигнала.

Причиной этого является то, что одинаковое число отсчетов при медленной временной развертке соответствует большему времени активного сбора данных, в то время как время обработки остается постоянным.

Частота дискретизации	Временная развертка	Скорость сбора данных	Время простоя
10 ГГц	10 нс/дел	1 020 000 осциллограмм/с	90%
5 ГГц	20 нс/дел	1 020 000 осциллограмм/с	79%
2 ГГц	50 нс/дел	950 000 осциллограмм/с	52%
1 ГГц	100 нс/дел	707 000 осциллограмм/с	29%
100 МГц	1 мкс/дел	92 000 осциллограмм/с	8%
10 МГц	10 мкс/дел	9 500 осциллограмм/с	5%

Таблица 3: При постоянной длине записи процентное соотношение времени простоя снижается при уменьшении частоты дискретизации. Примеры измерений осциллографом RTO (1 канал, 1000 отсчетов, точечный режим)

### 4.3 Благодаря высокой скорости сбора данных средства анализа дают более быстрые результаты

Дополнительное преимущество дает возможность сохранения высоких скоростей сбора данных и коротких времен простоя вместе с использованием функций анализа. Чем больше сигналов включено в анализ, тем выше статистическая достоверность результатов. При высокой скорости сбора данных необходимое число сигналов регистрируется быстрее, а вероятность обнаружения ошибок сигнала и включения их в анализ возрастает.

В осциллографах RTO наиболее важные функции анализа реализованы в ИС. Благодаря нескольким трактам обработки, время простоя очень мало, даже если эти функции анализа активны. В таблице 4 приведен краткий обзор максимальных скоростей сбора данных, которые достигаются осциллографами RTO для некоторых специальных функций анализа. Обычные осциллографы при активных функциях анализа способны работать со скоростями сбора данных не более 100-1000 осциллограмм в секунду.

Функция анализа	Максимальная скорость сбора данных
нет	> 1 000 000 осциллограмм/с
Гистограмма	> 1 000 000 осциллограмм/с
Испытания на соответствие маске	> 600 000 осциллограмм/с
Курсорные измерения	> 1 000 000 осциллограмм/с
Масштабирование	> 500 000 осциллограмм/с

Таблица 4: Максимальные скорости сбора данных осциллографов RTO при активных функциях анализа

На рисунке 11 изображен пример анализа регистрируемых сигналов с помощью гистограммы. Благодаря высокой скорости сбора данных осциллографы RTO способны за короткое время строить гистограммы на основе большого количества сигналов. Это очень важно для достоверности статистических результатов. В приведенном примере достигнута скорость сбора данных более 1 000 000 осциллограмм в секунду.

На рисунке 12 изображен еще один пример сочетания высокой скорости сбора данных осциллографа RTO и функции анализа. Осциллографы RTO позволяют за несколько секунд получать результаты испытаний на соответствие маске с высокой статистической достоверностью. В этом примере 6 миллионов осциллограмм были зарегистрированы за 10 секунд. Скорость сбора данных во время проведения испытаний на соответствие маске превышала 600 000 осциллограмм в секунду.



Рис. 11: Высокая скорость сбора данных обеспечивает быстрое отображение спектра даже с БПФ.

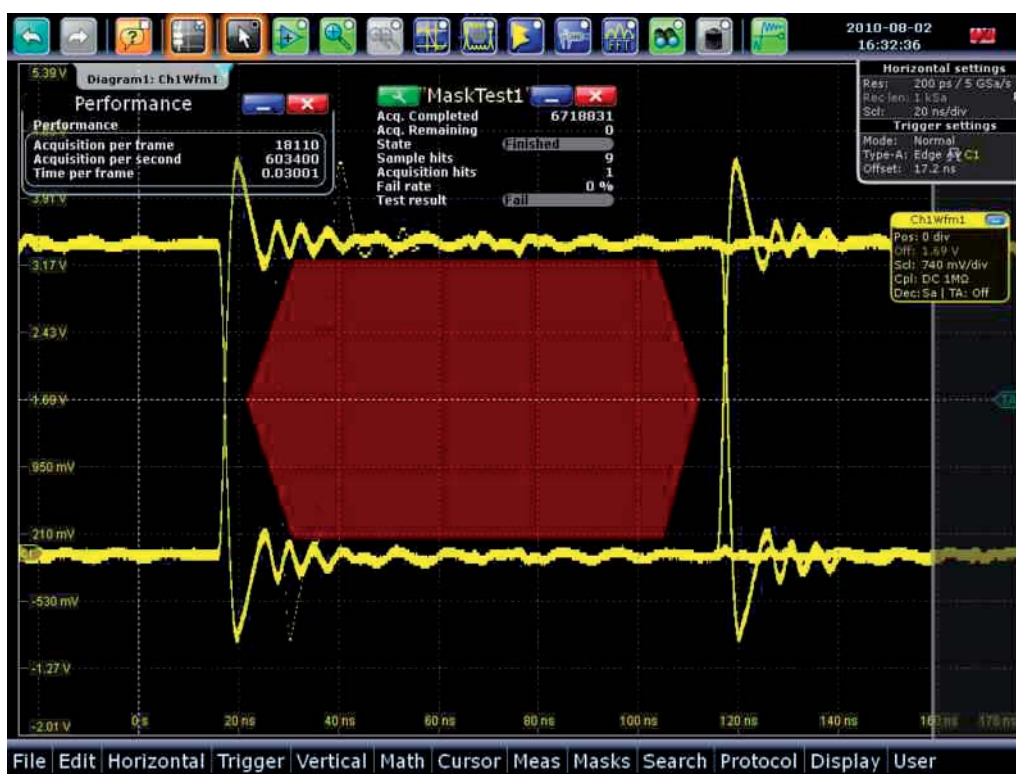


Рис. 12: Результаты испытаний на соответствие маске с высокой статистической достоверностью, благодаря большому числу сигналов. R&S RTO выполняет анализ испытаний на соответствие маске, регистрируя более 600 000 осциллограмм в секунду.

## 5 Заключение

Все цифровые осциллографы имеют некоторое время простоя, которое влияет на достоверность отображаемых деталей сигнала и результаты соответствующих измерений и анализа.

Благодаря своей архитектуре и высокому уровню интеграции аппаратного обеспечения для сбора и обработки данных, осциллографы R&S RTO значительно снижают время простоя.

Более того, они обеспечивают новый уровень возможностей для отладки и анализа, поскольку скорость сбора данных остается высокой даже во время выполнения задач измерения и анализа.

Высокая скорость сбора данных и соответствующие малые времена простоя обеспечивают следующие преимущества:

- ┆ быстрое обнаружение редких аномалий сигнала
- ┆ хорошая быстрота реагирования прибора, даже при использовании длинной памяти и функций анализа
- ┆ результаты измерений обеспечивают высокую статистическую достоверность
- ┆ уменьшение общего времени испытаний, необходимого для задач отладки и измерения

Эти преимущества, вместе с другими выдающимися особенностями, такими как цифровая синхронизация, широкий динамический диапазон (ENOB — Effective Number of Bits) и интуитивно понятный интерфейс делают осциллографы RTO правильным выбором для сегодняшних и завтрашних опытно-конструкторских работ.

## 6 Список литературы

- [1] И. Хикман: Цифровые осциллографы, Newnes, 2001 г.
- [2] R&S®RTO — цифровые осциллографы, брошюра изделия
- [3] R&S®RTO — цифровые осциллографы, руководство по эксплуатации

## 7 Дополнительная информация

Настоящее руководство по применению подлежит исправлениям и дополнениям. Новые редакции можно загрузить с нашего сайта. Замечания и предложения относительно настоящего указания по применению присылайте на адрес электронной почты [TM-Applications@rohde-schwarz.com](mailto:TM-Applications@rohde-schwarz.com).

## 8 Информация для заказа

Наименование	Тип	Код заказа
Базовый модуль (включая принадлежности, для каждого канала: пассивный пробник с шириной полосы 500 МГц (10:1), пакет с принадлежностями, краткое руководство по эксплуатации, диск CD с руководством пользователя, провод питания)		
Цифровые запоминающие осциллографы		
1 ГГц, частота дискретизации 10 ГГц, 20/40 миллионов отсчетов, 2 канала	R&S®RTO1012	1304.6002.12
1 ГГц, частота дискретизации 10 ГГц, 20/80 миллионов отсчетов, 4 канала	R&S®RTO1014	1304.6002.14
2 ГГц, частота дискретизации 10 ГГц, 20/40 миллионов отсчетов, 2 канала	R&S®RTO1022	1304.6002.22
2 ГГц, частота дискретизации 10 ГГц, 20/80 миллионов отсчетов, 2 канала	R&S®RTO1024	1304.6002.24

Дополнительные рекомендации можно получить в местном коммерческом представительстве Rohde & Schwarz.

### **О компании Rohde & Schwarz**

Rohde & Schwarz представляет собой независимую группу компаний, специализирующуюся на производстве электронного оборудования. Компания Rohde & Schwarz является ведущим поставщиком решений в области контрольно-измерительного оборудования, теле- и радиовещания, радиомониторинга и радиолокации, а также систем защищенной радиосвязи. 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.

### **Обязательства по охране окружающей среды**

- \* Энергосберегающие изделия
- \* Постоянное улучшение экологической устойчивости
- \* система управления природопользованием ISO 14001



### Контакты в регионах

США и Канада

США: 1-888-TEST-RSA (1-888-837-8772)

из других стран: +1 410 910 7800

[CustomerSupport@rohde-schwarz.com](mailto:CustomerSupport@rohde-schwarz.com)

### Восточная Азия

+65 65 13 04 88

[CustomerSupport@rohde-schwarz.com](mailto:CustomerSupport@rohde-schwarz.com)

### Остальные страны мира

+49 89 4129 137 74

[CustomerSupport@rohde-schwarz.com](mailto:CustomerSupport@rohde-schwarz.com)

Настоящее указание по применению и поставляемое программное обеспечение могут использоваться только на условиях, изложенных на страницах загрузки веб-сайта компании Rohde & Schwarz.

R&S® — зарегистрированный товарный знак компании Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG. Товарные знаки и торговые марки принадлежат соответствующим владельцам.

**Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG**

Mühlendorfstraße 15 | D - 81671 München

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

[www.rohde-schwarz.com](http://www.rohde-schwarz.com)