

# Углубленный анализ сигналов с использованием функции архива данных осциллографа R&S®RTO

## Указания по применению

### Изделия:

- |               |               |
|---------------|---------------|
| I R&S®RTO1002 | I R&S®RTO1022 |
| I R&S®RTO1004 | I R&S®RTO1024 |
| I R&S®RTO1012 | I R&S®RTO1044 |
| I R&S®RTO1014 |               |

Редко встречающиеся ошибки и перемежающиеся сигналы всегда сложны для захвата прибором. Осциллограф R&S®RTO поддерживает захват данных и подробный анализ таких сигналов за счет использования функции архива данных. Режим работы с архивом данных позволяет пользователю обратиться к предшествующим собранным данным и использовать для их анализа широкий набор функций прибора RTO. Кроме того, сохраняются точные временные характеристики осциллограммы, что используется для последующего анализа.

# Содержание

<b>1</b>	<b>Введение .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Основные сведения о работе цифрового осциллографа .....</b>	<b>5</b>
2.1	Принцип действия .....	5
2.2	Требования к памяти.....	6
2.2.1	Параметры настройки .....	6
2.2.2	Требования к памяти для работы с импульсными сигналами.....	7
2.3	Захват данных и управление запуском .....	7
<b>3</b>	<b>Режим работы с архивом данных осциллографа RTO .....</b>	<b>9</b>
3.1	Описание работы.....	9
3.2	Организация памяти.....	10
3.3	Определение достоверности собранных данных сигнала .....	11
3.3.1	Оценка времени простоя .....	11
3.3.2	Режим ультрасегментации .....	13
3.4	Ограничения использования режима работы с архивом данных .....	15
<b>4</b>	<b>Примеры применения .....</b>	<b>16</b>
4.1	Конфигурация временной развертки.....	16
4.2	Импульсные радиолокационные сигналы.....	16
4.3	Выявление перемежающихся сбоев.....	21
<b>5</b>	<b>Заключение .....</b>	<b>26</b>
<b>6</b>	<b>Библиография .....</b>	<b>27</b>
A	Приложение А.....	28
B	Приложение В.....	29
<b>7</b>	<b>Информация для заказа.....</b>	<b>31</b>

# 1 Введение

Цифровые осциллографы, благодаря своей универсальности и гибкости, являются незаменимыми приборами для тестирования и отладки электронных устройств и систем. Основными требованиями для современных осциллографов являются: высокая частота дискретизации для лучшего разрешения сигналов и объемная память для захвата длинных сигнальных последовательностей. Другой проблемой является обработка редких, случайных или кратковременных событий. Такие события, как правило, появляются нечасто и происходят в течение короткого промежутка времени. Для захвата подобных сигналов в удовлетворительном качестве требуется высокое разрешение и длительное время захвата. Оба условия означают, что к объему памяти отсчетов предъявляются особые требования.

Для того чтобы удовлетворить это требование, приборы RTO снабжены режимом работы с архивом данных, который позволяет просматривать предшествующую осциллограмму в случае если захват данных был остановлен, независимо от того, произошло ли это в ручном режиме, при появлении ошибки или при нарушении пределов маски.

- I Наиболее важными применениями режима работы с архивом данных RTO являются тестирование и отладка электронных приборов. Современные электронные приборы – сложные устройства и требуют непростого тестирования, потому что имеют высокую скорость передачи сигналов в сочетании с малыми амплитудами сигналов и большой плотностью размещения элементов. Особенно это касается редко возникающих сбоев, проявляющихся при цифровом проектировании. Влияние, которое оказывают эти сбои на цифровые схемы, выражается, например, в повреждении, в перебое в работе из-за перезагрузки или в снижении производительности.
- I Другой пример применения режима работы с архивом данных RTO – это анализ редких или случайных событий в области ядерной физики и физики высоких энергий, импульсных лазеров и импульсных радиолокационных систем. Физические события преобразуются в электрический сигнал, и момент их происхождения непредсказуем, но такие события происходят сериями и необходимо захватить все события в соответствии с хронологией по времени.

Кроме двух упомянутых выше примеров, при которых применение режима работы с архивом данных крайне удобно, этот режим может использоваться и во множестве других случаев.

Если режим работы с архивом данных включен, то обеспечивается полный доступ к ранее собранному данным. Пользователь может использовать весь набор функций RTO для анализа каждой записанной осциллограммы. Функции анализа включают в себя: масштабирование, курсорные функции, поиск, математические функции, декодирование протоколов, тестирование по маске и измерительные функции.

При работе осциллографа RTO с повторяющимися сигналами с длительным неиспользуемым рабочим временем между сигналами можно использовать захват только активной части сигнала в комбинации с длительным временем наблюдения. В этом случае RTO захватывает короткую часть осциллограммы со значимыми событиями сигнала и при этом точно сохраняет временные соотношения. С помощью режима работы с архивом данных пользователь может детально анализировать записанные осциллограммы, а также временные соотношения между осциллограммами.

Кроме того, осциллограф RTO обеспечивает высокую скорость захвата данных – до 1 миллиона выборок в секунду, что повышает вероятность детектирования сбоя сигнала, что в свою очередь сокращает общее время измерений [1]. Для сигналов с непредсказуемым появлением событий, частота захвата данных для захвата событий может быть недостаточна. В таком случае может использоваться режим ультрасегментации RTO "Ultra-Segmentation Mode" с минимальным нерабочим

временем (временем простоя) между последовательными выборками в 300 нс. Обе перечисленные особенности прибора существенно увеличивают уровень достоверности захвата целостной последовательности осциллограмм.

Для лучшего понимания работы режима работы с архивом данных и наилучшего использования его преимуществ в следующем разделе данного документа описаны основы внутренней архитектуры и работы осциллографа RTO. В третьем разделе объясняются принципы работы в режиме работы с архивом данных. В четвертом разделе на двух примерах продемонстрирована конфигурация режима работы с архивом данных для характерных задач и преимущества использования данного режима.

## 2 Основные сведения о работе цифрового осциллографа

### 2.1 Принцип действия

На рисунке 1 показана блок-схема осциллографа RTO, на которой стрелками обозначены потоки данных между отдельными блоками обработки. Весь путь данных от аналогового входного каскада до дисплея делится на две секции, каждая из которых обозначена различным цветом.

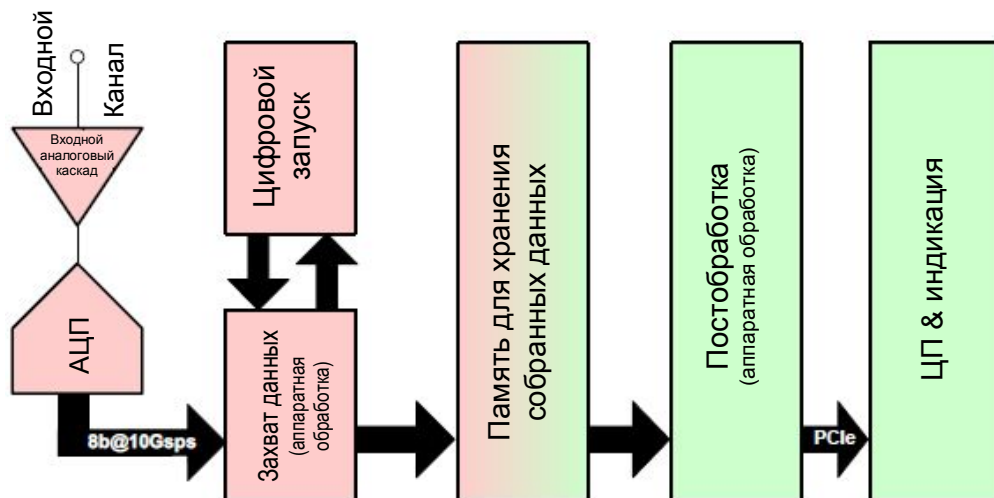


Рисунок 1 – Блок-схема осциллографа R&S® RTO

В первой секции цепочка захвата (сбора) данных включает в себя блок цифрового запуска, обозначенный розовым цветом. В нем параллельно обрабатываются все входные данные до сохранения дискретных данных каждого канала в память собранных данных. Этапы обработки состоят из аналоговой предварительной обработки входным аналоговым каскадом, дискретизации входного сигнала с помощью аналого-цифрового преобразователя (АЦП) и цифровой фильтрации и децимации в блоке захвата данных. В конце цепочки захвата данных отсчеты сохраняются в памяти собранных данных. Параллельно с процессом захвата данных система запуска осциллографа RTO генерирует событие запуска на базе оцифрованного входного сигнала. Действительное событие запуска управляет началом захвата данных.

Вторая секция, обозначенная светло-зеленым цветом, отвечает за постобработку данных. На этом этапе RTO, прежде чем отобразить данные на дисплее, обрабатывает их с помощью выбранной операции анализа, например, используется измерение, вычисление, тестирование по маске, курсор. Память собранных данных используется в обеих фазах – и сборе и последующей обработке, поэтому этот блок отмечен на блок-схеме обоими цветами – и розовым и светло-зеленым.

Эти две секции работают попеременно в двух исключаящих фазах, в дальнейшем называющихся фазой сбора и фазой постобработки. Типичным режимом работы является непрерывный захват данных. В этом режиме работы рабочие фазы чередуются. На рисунке 2 показан график распределения работы этих операций. Сокращение 'acq' обозначает фазу захвата данных, а 'pp' – фазу постобработки. Событие запуска дает начало фазе захвата данных. Фаза захвата данных

заканчивается, когда в памяти записано такое количество данных, какое было задано параметром (длина записи). Следующая фаза начинается с чтения записанной осциллограммы из памяти собранных данных для последующей обработки. Только после того как этот процесс будет завершен, может начаться следующая фаза захвата данных.



Рисунок 2 – График распределения работы фаз осциллографа RTO в режиме непрерывного захвата данных "Continuous Acquisition"

На рисунке 3 показан полный цикл работы RTO с использованием уже упомянутых цветов. На левой стороне рисунка – блок захвата данных, в котором происходит запись осциллограмм, он обозначен отрицательным целым числом диапазона [1-n, 0], вход со стороны памяти собранных данных обозначен стрелкой с надписью 'W'. С правой стороны находится блок постобработки данных, чтение записанных осциллограмм из памяти собранных данных обозначено стрелкой с надписью 'R'.

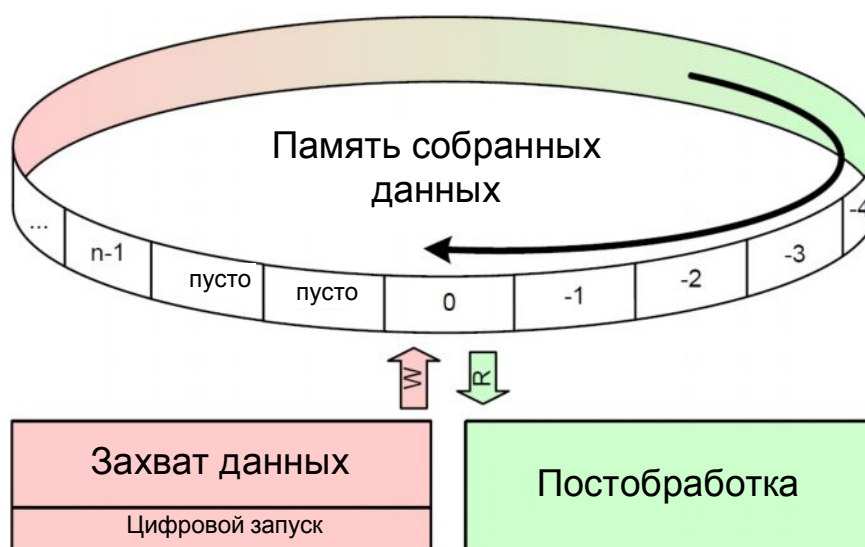


Рисунок 3 – Поток данных в осциллографе RTO

## 2.2 Требования к памяти

### 2.2.1 Параметры настройки

Во время выполнения фазы захвата данных в памяти сохраняются захваченные отсчеты. Настройка длины записи данных определяет сохраняемое количество отсчетов, а частота дискретизации определяет количество захватываемых отсчетов в секунду. В диалоговом окне RTO "Horizontal" можно настроить оба этих параметра (см. рисунок 4).

Максимальная частота дискретизации соответствует частоте дискретизации АЦП, для RTO она составляет 10 млрд. отсчетов/с. Стандартный размер памяти RTO для хранения осциллограмм – 20 млн. отсчетов на канал. Для прибора RTO доступны опции увеличения объема памяти для хранения осциллограмм. С помощью опций RTO-B101 и RTO-B102 возможно расширение памяти до 50 и 100 млн. отсчетов на канал.

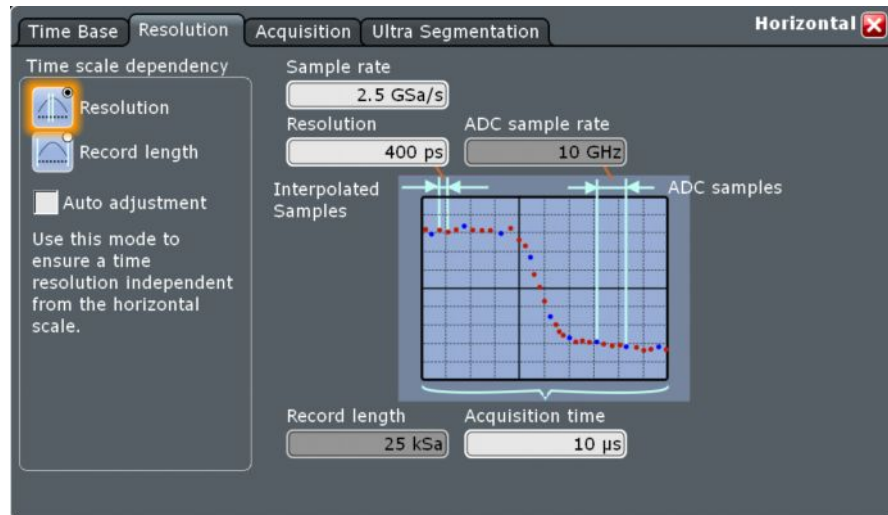


Рисунок 4 – Диалоговое окно Horizontal / Resolution

### 2.2.2 Требования к памяти для работы с импульсными сигналами

В примере, представленном ниже, выделены требования к памяти для работы с импульсными сигналами (см. рисунок 7), о которых говорилось в разделе 1. Количество отсчетов за период наблюдения зависит от выбранной частоты дискретизации, количества импульсов, которые должны быть записаны, и частоты повторения импульсов. Равенство (2-1) показывает соответствующее вычисление. Реалистичные и разумные параметры для рассмотрения требуемой памяти отсчетов перечислены в Таблице 1 в столбце "Пример". Требуемый размер памяти для хранения отсчетов составит 2 млрд. отсчетов. Это значение превышает размер памяти для хранения отсчетов стандартных осциллографов реального масштаба времени, представленных на рынке. В разделе 3.4 этот пример будет рассмотрен снова в отношении режима работы с архивом данных, и будут показаны его преимущества.

$$S_M = \frac{R_S \cdot N_P}{R_P} \tag{2-1}$$

Таблица 1		
	Пример	
$S_M$	2 млрд. отсчетов	Требуемый размер памяти для хранения отсчетов
$R_S$	10 млрд. отсчетов/с	Частота дискретизации / количество отсчетов в секунду
$N_P$	20	Количество импульсов
$R_P$	100 с <sup>-1</sup>	Средняя частота повторения импульсов / импульсов в секунду

### 2.3 Захват данных и управление запуском

Анализ характерных сигналов, как было уже упомянуто выше, требует настройки параметров захвата данных и запуска.

Осциллограф RTO обеспечивает работу мощных функций запуска, которые позволяют осуществлять более избирательный захват данных. Пользователь должен указать основные условия запуска. Однако это может быть достаточно трудно, так как условия для выделения отдельных событий сигнала не всегда известны. С помощью маски и измерительных функций пользователь может задать ожидаемый результат, и RTO остановит захват данных в случае нарушения заданных условий. Затем данные будут доступны для анализа, и пользователь сможет создать более подходящие условия запуска.

Фаза захвата данных запускается при готовности цифровой системы запуска. В осциллографе RTO поддерживается огромный набор всевозможных типов запуска: по фронту (Edge), по глитчу (Glitch), по длительности (Width), по ранту (Runt), по окну (Window), по тайм-ауту (Timeout), по интервалу (Interval), по скорости нарастания (Slew Rate), по тактированию сигнала данных (Data2Clock), по состоянию (State), по шаблону (Pattern), по последовательному шаблону (Serial Pattern), по NFC- и ТВ-сигналам. Если пользователь выберет правильный тип запуска и корректно его настроит, то сможет обнаружить различные события аналоговых, цифровых и логических сигналов. В разделе 4.3 в качестве примера разобран один из указанных типов запуска.

Если установлен автоматический режим запуска "auto mode" и условие запуска не встречается в течение определенного периода времени, то для инициации отображения сигнала создается внутреннее событие запуска. Для редких событий и единичных сигналов важно чтобы запуск произошел точно в момент возникновения этих событий и при этом был выбран ждущий режим "normal mode" для захвата данных единичных сигналов. В таком случае (и если запуск не произошел в течение заданного периода времени) появится окно, отображающее сигнал с момента последнего события запуска.



## 3 Режим работы с архивом данных осциллографа RTO

Режим работы с архивом данных осциллографа RTO сглаживает внутреннее противоречие между частотой дискретизации и временем наблюдения.

Как правило, цифровой осциллограф реального масштаба времени не захватывает одну длинную осциллограмму целиком. Вместо этого множество осциллограмм, запись которых запускается в соответствии с определенными условиями, сохраняются в виде отдельных записей в памяти собранных данных. Соответствующая организация памяти объясняется подробнее в разделе 3.2.

### 3.1 Описание работы

Режим работы с архивом данных RTO позволяет пользователю получить доступ к осциллограммам, записанным ранее и сохраненным в памяти собранных данных. Режим работы с архивом данных может быть использован, только в случае приостановки процесса захвата данных. Пользователь может воспроизвести осциллограммы последнего цикла захвата данных для просмотра, а также может применить встроенные функции анализа RTO для каждой записи. Функции анализа включают в себя измерение, математические операции, тестирование по маске, курсорные операции и операции отображения.

Данные, прошедшие постобработку, отображаются как графически, в виде осциллограмм, так и в виде числовых значений. Что касается распределения работы фаз, которое показано на рисунке 2, в режиме работы с архивом данных используется последовательное распределение отдельных фаз постобработки, тогда как в режиме непрерывного захвата данных используется попеременное распределение фаз сбора и постобработки.

Диалоговое окно "History" (см. рисунок 5) содержит элементы управления для доступа и отображения полученных осциллограмм. Меню "History" (Архив данных) вызывается нажатием клавиши "History" на передней панели или из панели меню "Display" > "Show history". Выполняющийся непрерывный захват данных при этом немедленно прекращается.

Самая последняя (по времени) полученная осциллограмма имеет нулевой индекс, при этом на экране отображается именно эта осциллограмма. Более ранние записи нумеруются в обратном порядке – по убыванию. При ручном изменении порядкового номера в поле ввода, обозначенном "Current asc", осциллограф RTO производит постобработку и отображение осциллограммы с выбранным порядковым номером. Вместо отображения отдельных осциллограмм, пользователь может воспроизвести все собранные осциллограммы с помощью клавиши "Play". Пользователь может выбрать диапазон записей, которые должны быть воспроизведены и обработаны (см. рисунок 6) с помощью диалогового окна параметров режима работы с архивом данных. Можно установить время воспроизведения собранных данных. Изменение этого параметра в меньшую сторону полезно для уменьшения времени анализа, если в RTO собрано большое количество осциллограмм и пользователь применит этот метод для использования автоматической маски или функции измерений. Независимо от ручных настроек отображения воспроизведения осциллограмм, абсолютное или относительное время записи показано в диалоговом окне параметров режима работы с архивом данных.



Рисунок 5 – Диалоговое окно отображения результатов режима работы с архивом данных

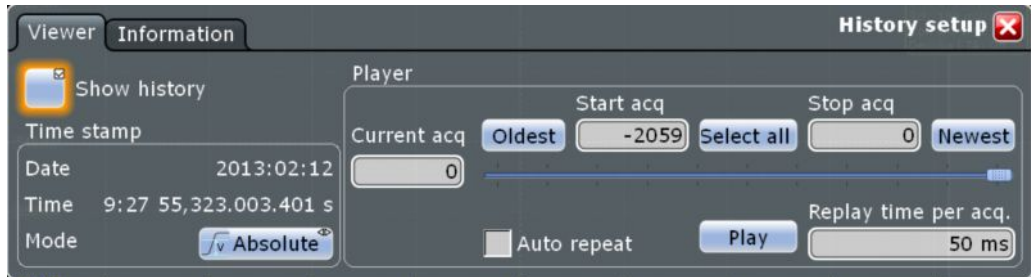


Рисунок 6 – Диалоговое окно настроек режима работы с архивом данных

Важным условием для режима работы с архивом данных является остановка процесса захвата данных в случае, если прибор RTO находится в режиме непрерывного захвата данных. Есть несколько способов остановки захвата данных: нажатие вручную клавиш HISTORY, "RUN CONT" или "RUN Nx SINGLE" на передней панели или настройка условия "Stop on Violation" для маски или функции измерений. Пример такой конфигурации приведен в разделе 4.3.

### 3.2 Организация памяти

Память собранных данных и ее организация очень важны для режима работы с архивом данных, а ее сегментация активно используется для сохранения собранных данных. Это может быть продемонстрировано на примере работы с импульсным сигналом (см. раздел 1 и 2.2). В верхней части рисунка 7 показана пачка (последовательность) импульсов. Так как импульсы имеют малое время нарастания, то требуется высокое разрешение, а время наблюдения (из-за большого промежутка между импульсами) обычно составляет несколько мкс. В данном примере показана пачка из пяти импульсов с похожими, но не одинаковыми временными интервалами между ними. На временной оси имеются разрывы, которые обозначают, что интервалы между импульсами случайные, но большие по сравнению с длительностью импульсов.

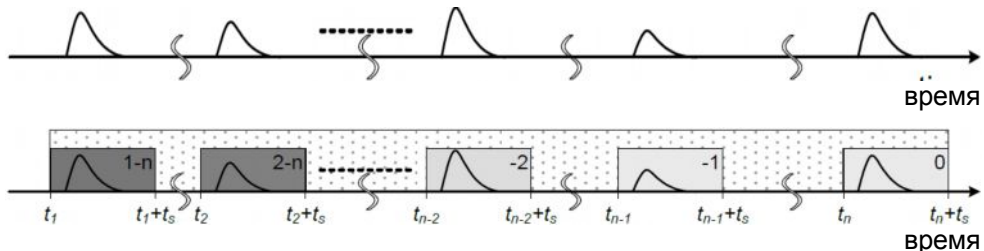


Рисунок 7 – Однократный или множественный захват данных для пачки импульсов

В нижней части рисунка 7 показана та же самая последовательность сигналов, что и на верхнем рисунке. В случае однократного захвата данных прибор RTO запишет эти импульсы во временном интервале  $[t_1, t_n + t_s]$ . Область, заполненная точками, вокруг импульсов соответствует области захвата данных в таком случае.

При захвате данных линия задержки задерживает сигнал относительно события запуска, которое генерируется цифровым осциллографом на основании того же сигнала. Запуск цифрового осциллографа инициирует захват данных незадолго до начала импульса с предварительно определенным временем захвата  $t_s$ . Пять блоков отображаемых импульсов с градациями серого цвета являются индикаторами времени захвата  $[t_k, t_k+t_s]$ , где  $k \in [1, n]$ . Допустим, что время захвата  $t_s$  кратное  $n$ , много меньше времени наблюдения, что обсуждалось в разделе 2.2. В результате, прибор RTO не записывает данные в течение длительного периода времени неактивности. Такой подход может сохранить большой объем памяти и позволит эффективно использовать память собранных данных.

Для дальнейшей иллюстрации этого преимущества воспользуемся числовыми значениями примера, приведенного в таблице 1, полагая, что ширина импульсного сигнала менее 100 нс. При времени захвата данных  $t_s$ , равном 100 нс и сохранении остальных параметров ( $R_S = 10$  млрд. отсчетов/с,  $N_P = 20$ ,  $R_P = 100 \text{ с}^{-1}$ ), общий размер требуемой памяти составляет 20 тыс. отсчетов. В данном примере это приводит к значительному уменьшению требуемой памяти до 200000 (2 млрд. отсчетов/ 20 тыс. отсчетов).

Записи логически упорядочиваются так, как если бы они сохранялись в циклическом буфере, тогда как при этом они физически распределены в линейно адресуемой DRAM памяти. В верхней части рисунка 8 показаны импульсные сигналы. Как уже обсуждалось, отдельные импульсы дискретизируются во время захвата данных  $t_s$ , умножая которое на частоту дискретизации плюс некоторое дополнительное время, получаем соответствующее количество памяти, требуемое для данной осциллограммы.

Циклический буфер, показанный на рисунке 8, с записанными осциллограммами, обозначенными индексами от 0 до 1- $n$ , где нулевая область соответствует последней записанной осциллограмме, а 1- $n$  – наиболее давно записанной. В организации памяти каждая осциллограмма объединяется с наибольшим служебным блоком заголовка (OVH) и временной меткой для записи. В разделе 3.4 обсуждается максимальное возможное число записей, которое по другому называется объемом архивной памяти. По мере добавления временных меток сохраняются точные временные соотношения между записанными осциллограммами. Неиспользованные записи предыдущего захвата данных обнуляются и становятся недоступными. Если размер требуемой для захвата данных памяти превышает объем архивной памяти, то новые записи записываются вместо самых старых (1- $n$ ).

Когда включается режим работы с архивом данных прибора RTO, текущая отображенная осциллограмма является самой последней записанной осциллограммой, и пользователь может выбрать последовательность отображения записанных осциллограмм, как показано в нижней строке рисунка 8.

### 3.3 Определение достоверности собранных данных сигнала

В данном разделе рассказано о влиянии такого параметра как время наблюдения на вероятность обнаружения ошибок. Во введении будет объяснено, почему эта тема очень важна для работы с архивом данных.

#### 3.3.1 Оценка времени простоя

Для эффективного использования режима работы с архивом данных важно понимать, какова достоверность собираемых данных. Концепция попеременной работы фаз захвата данных и постобработки была уже описана, но пользователь должен помнить, что во время фазы постобработки осциллограф не может захватывать данные, это время простоя прибора. Оно является общей характеристикой цифрового осциллографа как класса, а не конкретного прибора RTO. В указаниях

по применению [1] подробно описано влияние времени простоя измерений и получение вероятности обнаружения сбоев в сигнале.

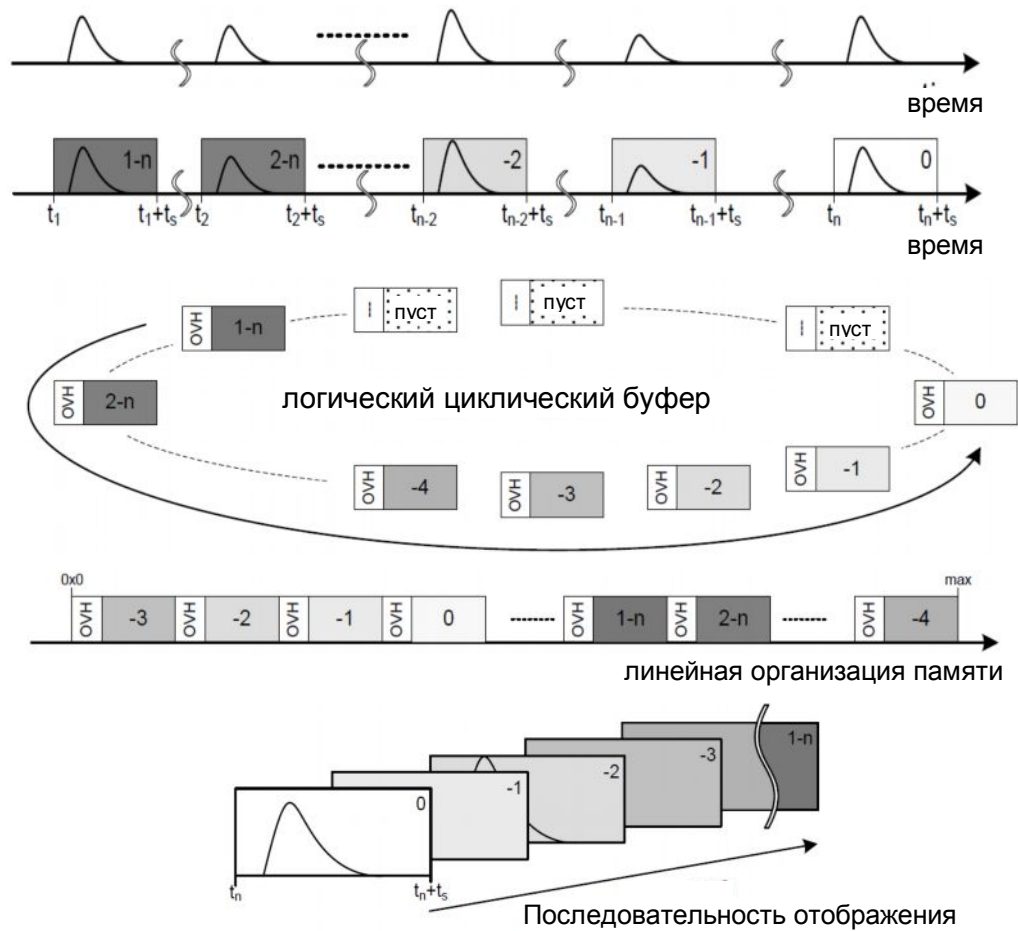


Рисунок 8 – Организация памяти для хранения собранных данных

Время простоя осциллографа состоит из фиксированного и изменяемого отрезков времени (см. рисунок 9). Фиксированная часть,  $t_{fb}$ , определяется индивидуальными особенностями архитектуры осциллографа. Изменяемая часть зависит от времени, требуемого для проведения постобработки, длины записи, количества активных каналов, выбранной функции постобработки и воспроизведения осциллограмм на дисплее.

На рисунке 9 показан режим постоянного захвата данных. После события запуска в момент  $t_1$ , вызванного появлением импульса (1-n), прибор RTO начинает захват данных в течение времени захвата данных  $t_s$ . В определенный момент RTO заканчивает захват данных, и для того чтобы продолжить работу в фазе постобработки требуется некоторое фиксированное время  $t_{fb}$ . В фазе постобработки осциллограф работает с собранными данными в течение времени  $t_{vb}$ . Через промежуток времени  $t_1+t_s+t_{fb}+t_{vb}$ , прибор RTO готов к дальнейшей работе и ожидает получения следующего события запуска.

В данных указаниях по применению с учетом концепции времени простоя и времени захвата данных анализируется возможность обнаружения случайных сбоев полученного сигнала. На рисунке 10 показана зависимость вероятности обнаружения сбоя сигнала во времени от частоты захвата данных. Пользователь может заметить, что высокая частота захвата данных является обязательной для достижения высокой достоверности собранных данных. Для обеспечения высокой степени достоверности прибор RTO обеспечивает высокую скорость захвата в 1 млн. осциллограмм в секунду. Пользователь может проверить скорость захвата

данных осциллографа RTO с помощью диалогового окна Performance (см рисунок 11). Для доступа к этому окну необходимо выбрать в меню команду "Display > Performance".

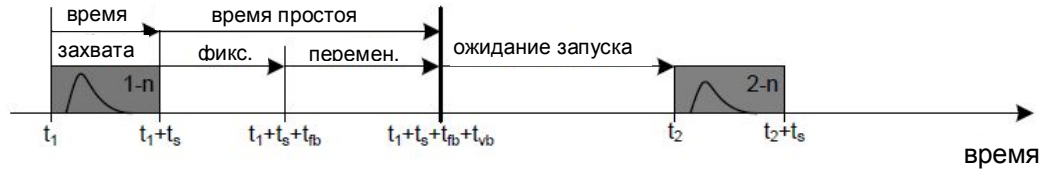


Рисунок 9 – Цикл сбора и постобработки данных цифрового осциллографа

Необходимо обратить внимание на два эффекта, которые могут помешать достижению высокой скорости захвата данных прибором RTO. Во-первых, если длина записи велика, то соответствующее время захвата будет уменьшать скорость захвата данных. Во-вторых, если установлен ждущий режим запуска прибора RTO и частота событий запуска меньше, чем максимальная скорость захвата данных, то это, конечно, уменьшит частоту захвата данных.

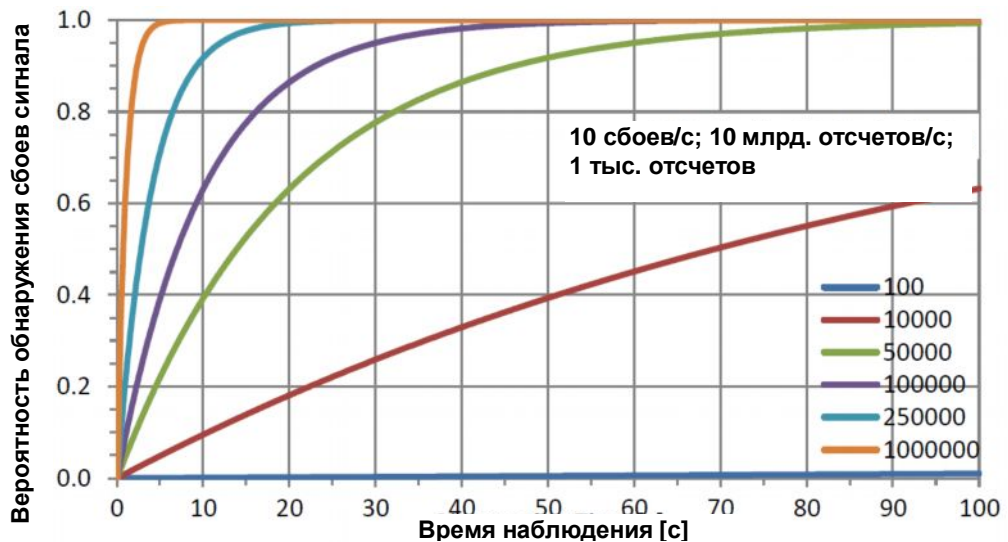


Рисунок 10 – Вероятность обнаружения сбоя



Рисунок 11 – Диалоговое окно отображения результатов Performance

### 3.3.2 Режим ультрасегментации

В предыдущем разделе внимание было сфокусировано на важности скорости захвата данных осциллограммы при случайном распределении сбоев во времени. В некоторых случаях такое допущение правомерно, однако в других, например при работе с импульсным сигналом, нет явной пользы от использования высокой скорости захвата данных. Пример: для данного сигнала требуется захватывать все импульсы, а не только некоторые. Если прибор RTO готов к запуску по нужному

сигналу, то более важно уменьшить время простоя, чтобы прибор был готов к записи следующего импульса.

Специально для этого случая в осциллографе RTO предусмотрен режим ультрасегментации (Ultra-Segmentation mode). На рисунке 9 мы видим, что время простоя состоит из двух отрезков разного интервала ( $t_{fb} \approx 0,3$  мкс, мин.  $t_{vb} \approx 0,9$  мкс [2]). Основной является переменная часть времени простоя  $t_{vb}$ , которая отвечает за постобработку. При исключительно последовательном распределении фаз захвата данных переменная часть времени простоя не будет учтена (см. рисунок 9). Следовательно, в режиме ультрасегментации не происходит обновления отображения захваченных осциллограмм. После окончания последовательности сбора для доступа к данным и отображения полученных осциллограмм используется режим работы с архивом данных.

На рисунке 12 показан режим ультрасегментации и преимущества того, что переменная часть времени простоя не учитывается. После события запуска, возникшего в момент времени  $t_1$  и захвата данных импульса (1-n) в течение времени захвата  $t_s$ , прибору RTO нужно только фиксированное время простоя  $t_{fb}$ , чтобы снова быть готовым к обработке следующего события запуска и захвату данных следующего сигнала.

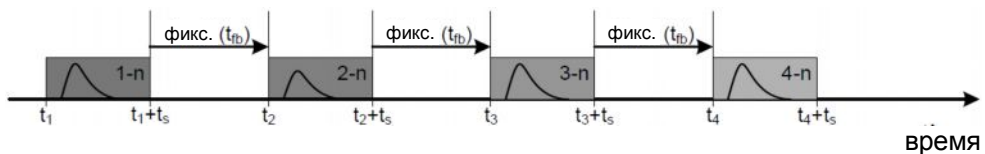


Рисунок 12 – Цикл ультрасегментации цифрового осциллографа

Режим ультрасегментации вызывается нажатием клавиши "HORIZONTAL" на передней панели и выбором вкладки "Ultra Segmentation". При этом открывается диалоговое окно, в котором пользователь может выбрать данный режим и указать количество захватываемых осциллограмм (см. рисунок 13).

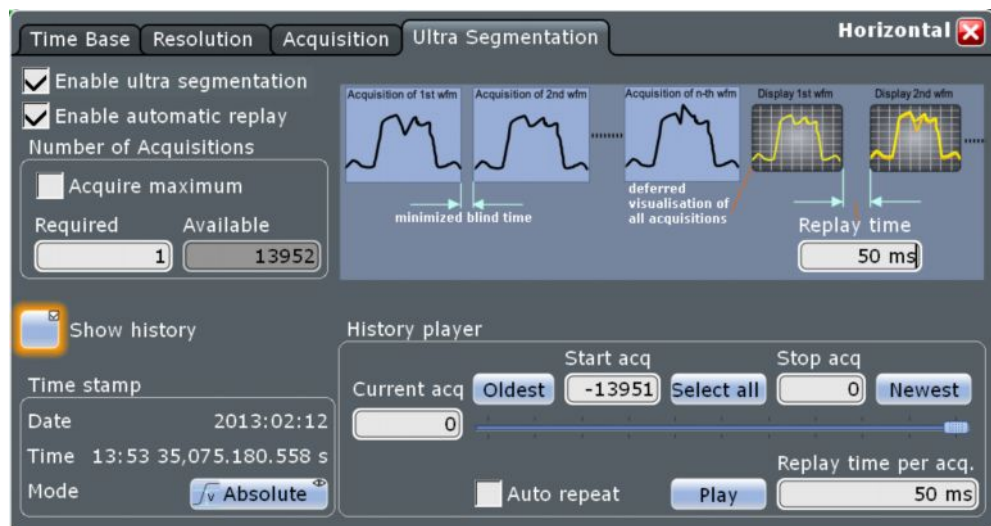


Рисунок 13 – Диалоговое окно режима ультрасегментации

Когда последовательность захвата данных, заданная для режима ультрасегментации, выполнена, пользователь, при нажатии в диалоговом окне кнопки "Show history", получает доступ к функции запуска режима работы с архивом данных, в том числе и к автоматическому воспроизведению осциллограммы. Другой способ состоит в нажатии клавиши "HISTORY" на передней панели. После этого пользователь может использовать функции, уже описанные в разделе 3.1.

### 3.4 Ограничения использования режима работы с архивом данных

В данном разделе приведены некоторые ограничения по использованию режима работы с архивом данных. Во-первых, как уже упоминалось, доступ к собранным данным возможен только тогда, когда захват данных остановлен. При следующем запуске захвата данных все данные предыдущего захвата будут удалены. Это происходит, если пользователь нажимает клавишу RUN на передней панели или посылает соответствующую команду удаленного доступа. Во-вторых, добавление входного канала или изменение временного масштаба также приведет к обнулению данных в памяти, даже если захват данных был остановлен.

Также имеются два отдельных режима захвата данных, в которых режим работы с архивом данных не доступен, режим дискретизации "equivalent time" и режим "roll-mode". Из-за специфического использования памяти в этих режимах, полученные данные не доступны в режиме работы с архивом данных.

Что касается памяти собранных данных, то здесь есть ограничение максимального количества записей, которые могут быть сохранены. По другому это количество называется объемом архивной памяти. Пользователь может примерно оценить его следующим образом:

$$H = \frac{S_M}{R_L + 1000} - 1 \quad (3-1)$$

Таблица 2	
$H$	Объем архивной памяти на канал
$S_M$	Доступная память на канал (20 / 50 / 100 млн. отсчетов <sup>1</sup> )
$R_L$	Длина записи, обычно 5 тыс. отсчетов

В зависимости от конфигурации режима децимации, математических режимов осциллограммы или активных расчетных сигналов, объем архивной памяти может быть меньше. Если входной канал не используется, то активный канал распределяет память неактивного канала. Например, четырехканальный осциллограф RTO с 20 млн. отсчетами на канал будет иметь в распоряжении 80 млн. отсчетов памяти для работы одного канала, если остальные каналы не активны.

<sup>1</sup> Опция RTO-B101 поддерживает 50 млн. отсчетов на канал, а опция RTO-B102 – 100 млн. отсчетов на канал

## 4 Примеры применения

Прежде чем перейти к примерам применения, стоит проверить конфигурацию прибора RTO и определиться со стратегией получения максимальной выгоды использования режима работы с архивом данных.

### 4.1 Конфигурация временной развертки

Наиболее важное ограничение состоит в выборе подходящей частоты дискретизации, соответствующей теореме Котельникова (теореме о дискретизации Найквиста-Шеннона). В общем случае, частота дискретизации должна быть больше в два или более раз наивысшей частотной составляющей спектра сигнала. Для импульсных ВЧ-сигналов пользователю следует учесть гармоники несущей частоты и ширину полосы пропускания.

После определения частоты дискретизации пользователь должен определить время захвата данных или длину записи. Все три значения могут быть сконфигурированы в диалоговом окне HORIZONTAL (см. рисунок 4), но они связаны друг с другом, так как длина записи определяется как время захвата данных, умноженное на частоту дискретизации. Для импульсного сигнала максимальная длительность ограничивает минимальное время захвата данных.

Для цифровых сигналов время захвата данных определить не так легко, как в случае работы с импульсным сигналом. Правильный выбор сильно зависит от содержания сигнала. Заданная символьная длина может быть хорошим выбором, например, для протокола UART: 10 бит, включая байт данных и стоп-биты.

И последний пункт, который надо рассмотреть – время наблюдения. При работе с импульсным сигналом пользователю нужно знать количество импульсов, которое необходимо записать. В любом случае пользователь на основании вычислений, предложенных в разделе 3.4, должен понять, не превышает ли требуемый размер памяти доступного объема архивной памяти осциллографа RTO.

### 4.2 Импульсные радиолокационные сигналы

После теоретической подготовки подробно рассмотрим импульсный радиолокационный сигнал. На этом примере продемонстрированы некоторые особенности прибора RTO, включая анализ нескольких записанных осциллограмм в частотной области и соответствующее тестирование по маске, а также измерения во временной области. Дополнительно будет показан случай малого времени простоя RTO, в том числе при работе в режиме ультрасегментации. В этом случае должны быть захвачены все требуемые данные, и пользователь получит их с высоким уровнем достоверности. И снова необходимо подчеркнуть, что режим работы с архивом данных и ультрасегментация – это две различные вещи, и доступ к осциллограмме, полученной с помощью режима ультрасегментации, производится только в режиме работы с архивом данных.

Для того чтобы подчеркнуть особенности прибора RTO, в данных указаниях по применению приняты некоторые допущения для упрощения настройки. Вместо измерений реальных сигналов и для обеспечения гибкости измерений, сигнал генерируется векторным генератором сигналов SMBV100A [2] от Rohde & Schwarz, что позволяет легко получить сложную пачку (последовательность) импульсов. Канал 1 прибора RTO подключается напрямую к выходу векторного генератора с согласованной нагрузкой 50 Ом. Выбрана номинальная несущая частота сигналов 400 МГц, что не является типичным радиолокационным диапазоном. Однако



реальный радиолокационный сигнал обычно подвергается понижающему преобразованию в сравнимый ПЧ-диапазон. Осциллограф RTO может непосредственно захватывать и измерять сигнал с частотой 400 МГц.

Радиолокационный сигнал состоит из последовательности трех различных типов импульсов и в общем включает в себя 21 импульс. На рисунке 15 показаны захваченные импульсы, сгруппированные в одной выборке данных, часто именуемые пачкой импульсов. Эта пачка импульсов повторяется каждые 100 мс и близка к реально существующим сигналам. Параметры ЛЧМ-импульса поясняются на рисунке 14. Первый тип импульсов, обозначенный как 'Тип 1', возникает только один раз и характеризуется 2 МГц ( $\Delta f$ ) постепенно снижающейся ЛЧМ с длительностью импульсов 8 мкс. Он имеет частотный сдвиг 2 МГц относительно номинальной несущей частоты. На имеющейся горизонтальной оси деление шкалы 500 мс/деление и импульс еле видим из-за малой амплитуды и близкого соседнего импульса. Следующие импульсы второго типа – Типа 2, который характеризуется 3,5 МГц постепенно снижающейся ЛЧМ номинальной несущей частоты и длительностью импульсов 5 мкс. И, наконец, десять импульсов третьего типа – Типа 3 – с частотой следования 800 мкс. Эти импульсы также характеризуются 3,5 МГц постепенно снижающейся ЛЧМ номинальной несущей частоты, но имеют длительность импульсов 13 мкс. Все три типа имеют различные уровни амплитуды.

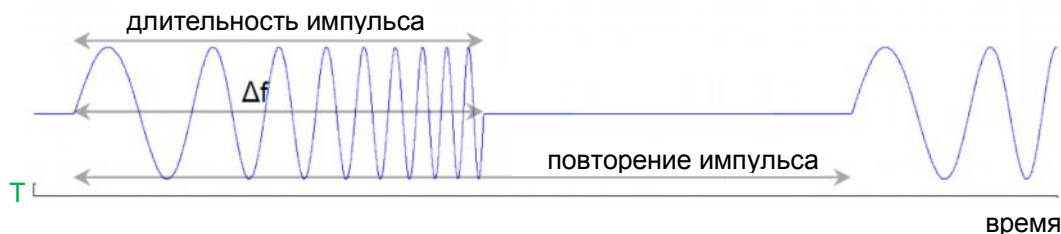


Рисунок 14 – Параметры ЛЧМ импульса

Основываясь на параметрах сигналов, описанных выше, зададим разрешение 400 пс, чтобы параметр удовлетворял критерию Найквиста, принимая во внимание все гармоники несущей. При длине записи 12,5 млн. отсчетов и непрерывном захвате данных на каждую осциллограмму придется по 5 мс, так что прибор RTO отобразит всю пачку импульсов. Низкая частота захвата данных связана с тем, что из-за 100 мс интервала эта пачка импульсов проходит только десять раз в секунду.

Всесторонний анализ будет включать несколько пачек импульсов, так как анализа одной пачки недостаточно. Поэтому на следующем этапе общее время наблюдения составит 3 с. При частоте повторения 100 мс и требуемом разрешении 400 пс понятно, что для анализа потребуется использование архива данных. Для того чтобы максимизировать возможности обнаружения, а значит уменьшить время простоя, потребуется режим ултра-сегментации. При априори неизвестной последовательности импульсов с неизвестным временем повторения это важно. При разрешении 400 пс с длиной записи 50 тыс. отсчетов, то есть времени захвата 20 мкс для 600 пачек импульсов. Без использования режима работы с архивом данных, требования к памяти для хранения данных будут определено превышать имеющуюся память.

Для проверки правильности настроек важно обеспечить захват всех деталей сигнала. Поэтому начальная часть исследования RTO состоит в анализе временных меток. Сценарий для программы MATLAB®, приведенный в данном документе (см. страницу 28), предназначен для получения относительных меток времени отдельных захваченных осциллограмм. Дальнейший анализ временных меток (более подробно см. приложение В на странице 29), полученных с помощью сценария для MATLAB®, показывает, что все импульсы захвачены должным образом.

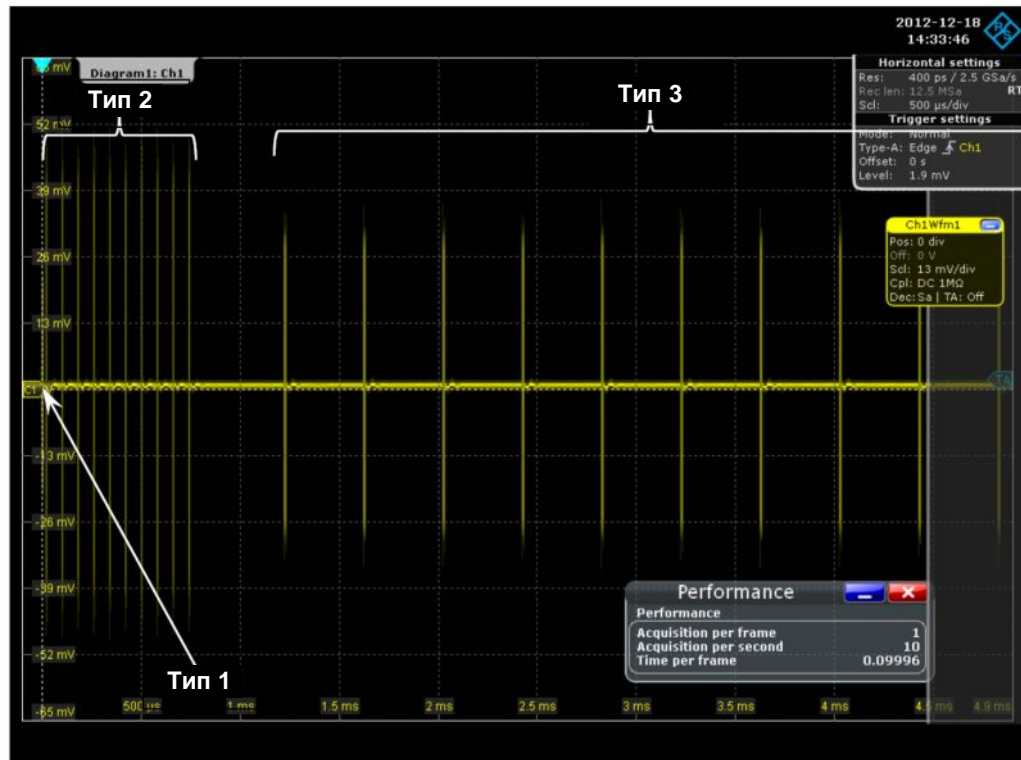


Рисунок 15 – Пачка импульсов

На рисунке 16 показаны временные метки записанных импульсов (21 импульс) в интервале 5 мс, за которым следует период отсутствия активности в 95 мс, который не показан для лучшей наглядности. Во вторых, временная разница между первым и вторым импульсами невелика и составляет 20,29846 мкс. Так как время захвата ( $t_s$ ) составляет 20 мкс, временная разница между выборками с номерами -34 и -33 уменьшается на время захвата 298 нс (см. стр. 29), что эквивалентно минимизированному времени простоя ( $t_{fb}$ ). Захваченные импульсы столь близки друг к другу в отдельных выборках данных, что представляют собой настоящую сложность для работы цифрового осциллографа!

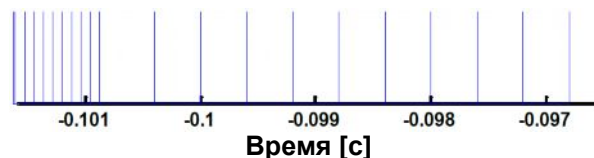


Рисунок 16 – Записанные временные метки

Второй этап – верификация отдельных импульсов. Для анализа требуемых параметров пользователь может использовать функцию измерений, в том числе для получения длительности и амплитуды импульса. Кроме того, пользователь может легко получить остальные параметры в частотной области, например, полосу пропускания. Для этого необходимо настроить функцию MATH FFT прибора RTO на центральную частоту 400 МГц и полосу обзора 12,5 МГц и применить к спектру функцию измерений полосы сигнала "signal bandwidth". Для того чтобы получить наилучшие результаты, сигнал строится как усредненный с использованием окна Хэмминга. Это окно рекомендуется к использованию для синусоидальных сигналов в руководстве пользователя [4]. Чтобы убедиться в наличии спектра шириной 3,5 МГц вокруг несущей частоты 400 МГц для всех осциллограмм, пользователь может добавить маску и проверить этот параметр для всех импульсов.

Указанная настройка показана на рисунке 17, также как и результаты измерений длительности импульса и полосы пропускания сигнала в соответствии с описанной конфигурацией. Чтобы проверить эти параметры для всех осциллограмм, пользователь может просто нажать клавишу PLAY в окне результатов History и режим работы с архивом данных получит возможность проведения измерений со всеми осциллограммами в памяти.

В результате, импульсы второго и третьего типов показывают предполагаемую девиацию симуляции. Для импульсов первого типа один тест по маске в частотной области показывает предполагаемый сдвиг центральной частоты на 2 МГц (см. рисунок 18). Также измеряется уменьшенная полоса пропускания 2 МГц.

В итоге, высокое разрешение по времени, а также длительное время наблюдения являются ключевыми факторами для анализа импульсных сигналов во временной и частотной областях. Осциллограф RTO в полной мере отвечает этим требованиям, кроме того, для работы доступны режим архива данных и большой набор измерительных и контрольных функций, таких как стандартный режим непрерывного захвата данных или режим "RUN Nx SINGLE".



Рисунок 17 – Радиолокационный импульс типа 3



Рисунок 18 – Радиолокационный импульс типа 1

### 4.3 Выявление перемежающихся сбоев

Второй пример применения, как описано в главе 1, это отладка цифровой цепи для поиска перемежающихся сбоев. Для такого применения оказываются полезными функции маски и запуска и в данном разделе эти функции будут описаны более подробно. Для создания измерительной установки осциллограф RTO подключается к демонстрационной плате RTO. На плате имеется источник 10 МГц TTL-сигнала для формирования PRBS-сигнала, который с помощью активного пробника (RT-ZS30) захватывается для анализа RTO. На примере PRBS-сигнала демонстрируются случайные аномалии сигнала.

Для целенаправленного поиска еще неизвестной ошибки сигнала демонстрационной платы с помощью осциллографа RTO пользователь может использовать трехшаговый подход. Для локализации выхода на первом шаге, прибор RTO отображает цифровой сигнал прибора в виде глазковой диаграммы, используя функцию послесвечения экрана. Аномалии на глазковой диаграмме приводят ко второму шагу. Наблюдаемые аномалии являются не характерными показателями, а всего лишь индикаторами. Для удобства может быть использована клавиша AUTOSET, которая конфигурирует осциллограф и настраивает запуск отображения глазковой диаграммы по двум фронтам. На глазковой диаграмме четко видны фронты высокого и низкого уровней цифрового сигнала. Но в середине есть некоторые выбросы, на которые мы обратим внимание на следующем шаге.

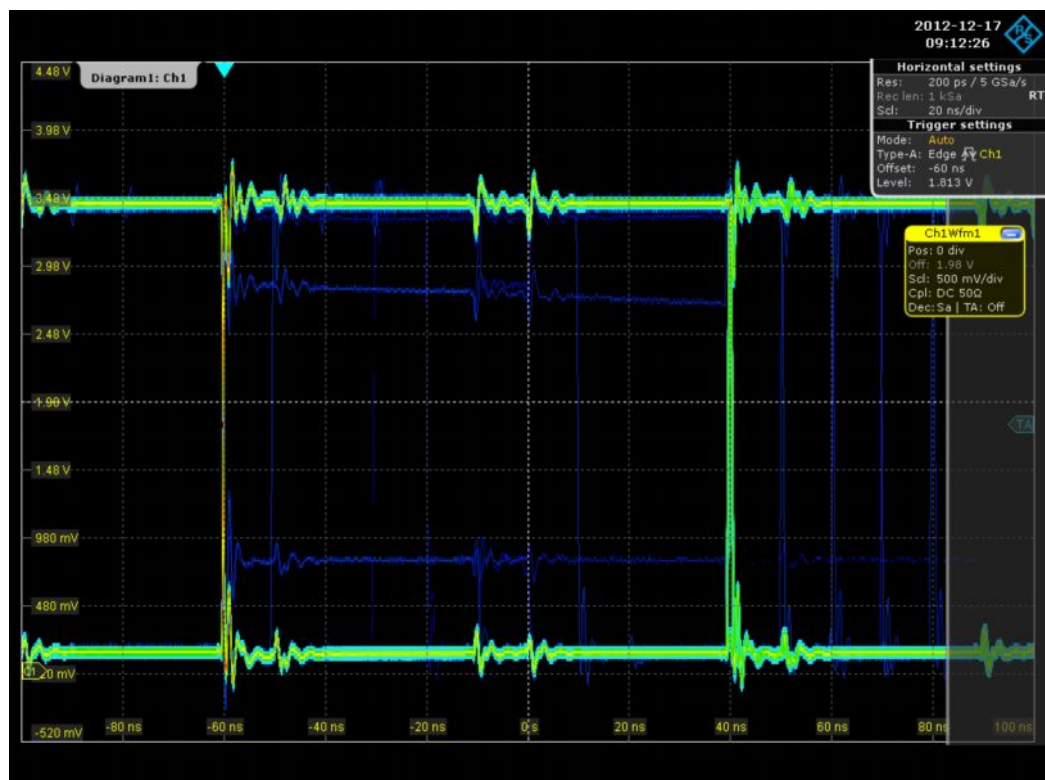


Рисунок 19 – Глазковая диаграмма с использованием функции послесвечения

На втором шаге пользователь определяет требуемые допуски заданной маски на основании стандартов интерфейса или особенностей прибора. В данном примере используется простая прямоугольная маска, основанная на особенностях формирования TTL-сигналов. Меню маски может быть вызвано, например, с помощью клавиши "MASK" на передней панели и позволяет пользователю задать требуемую маску. В данном случае, маска задана в диапазоне [5;95] нс и [0,45;3,05] В. При применении этой маски прибор RTO захватывает специфические нарушения (см. рисунок 20) и отображает статистику на значке сигнала.

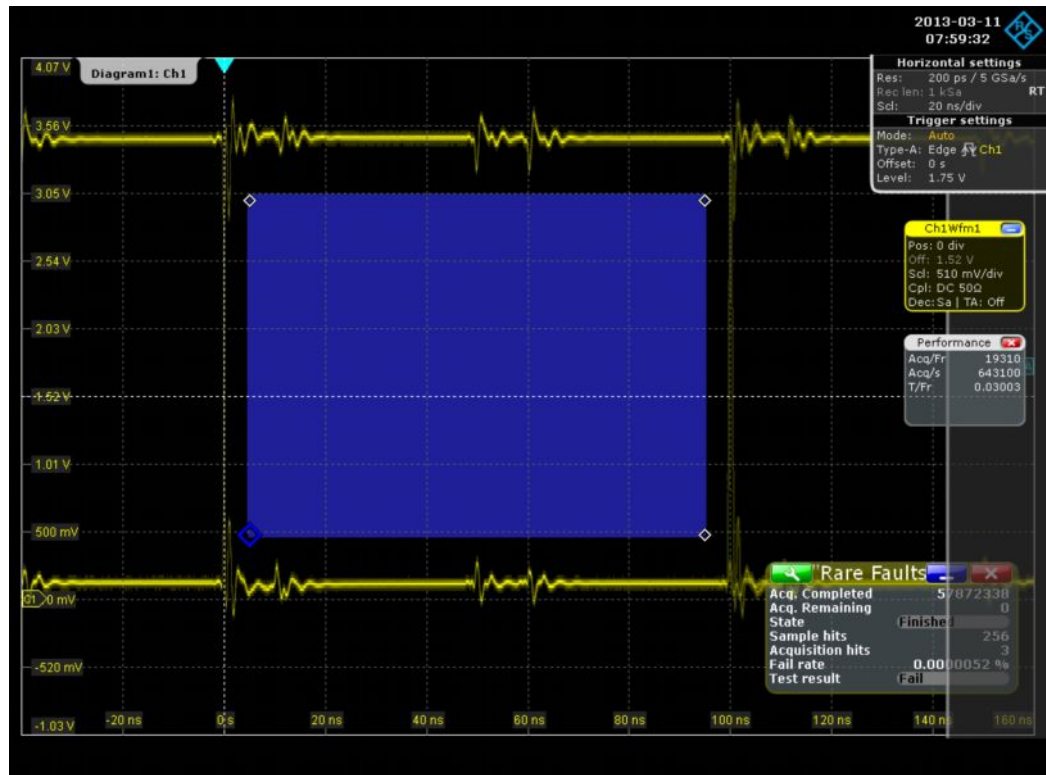


Рисунок 20 – Применение тестирования по маске (выполнение)

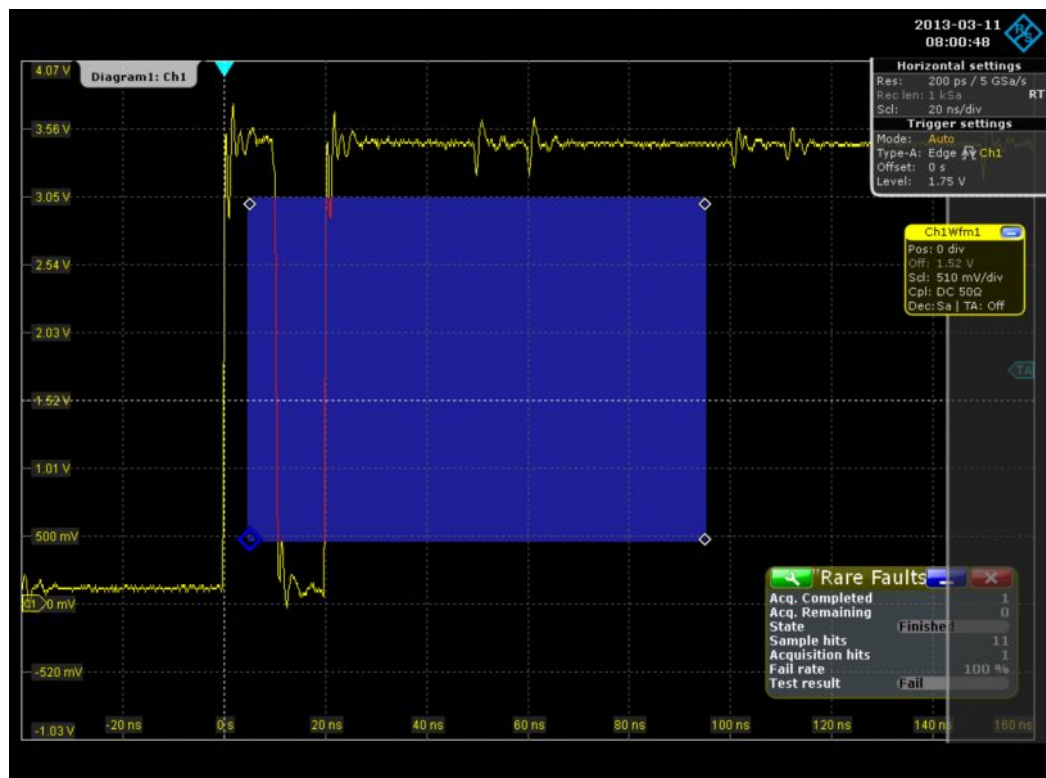


Рисунок 21 – Применение тестирования по маске (остановка на сбое)

На рисунке 21 показана остановка захвата данных сигнала прибором RTO при нарушении пределов маски. Такая реакция была настроена во вкладке "Event Actions /Reset" меню маски. На кривой захваченного сигнала виден выброс длительностью около 10 нс.

На третьем шаге используется накопленная информация с тем, чтобы пользователь получил преимущество от определенных функций запуска. В данном случае настроен режим запуска GLITCH (по глитчу, выбросу) по импульсу длительностью менее 25 нс, так как точная длительность возможных выбросов неизвестна. Для захвата только осциллограмм с выбросами, установлены ждущий режим запуска "Normal" и разрешение 500 пс. Учитывая взаимосвязи, определенные в главе 4.1, длина записи составит 100 тыс. отсчетов, что позволит записать произвольное количество 500-битных периодов. Если происходит сбой, то интересно, что происходило до этого сбоя, поэтому точка начала запуска в примерах на рисунке 22 и рисунке 23 установлена как 98% отображения.

Ссылаясь на главу 4.1, внимательный пользователь должен проверить объем архивной памяти. Для данной конфигурации осциллограф со стандартной памятью хранения данных 20 млн. отсчетов на канал будет поддерживать объем архивной памяти 800 осциллограмм для четырехканального прибора RTO. Пользователь может указать количество осциллограмм, которые должны быть записаны в окне управления запуском. При конфигурации запуска по глитчу, захват данных осциллограммы будет начинаться только при возникновении выброса (глитча).

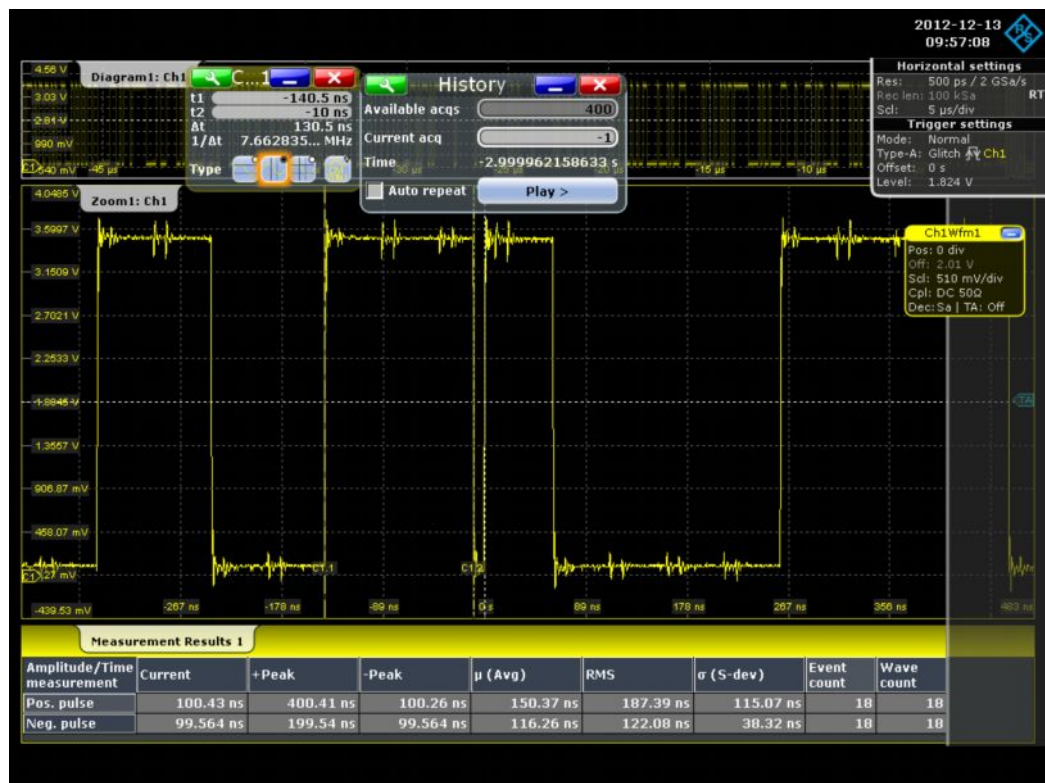


Рисунок 22 – Отладка с помощью режима работы с архивом данных

После завершения захвата данных пользователь может применить огромный набор функций анализа. В данном случае прибор RTO работает с 500-битными интервалами на осциллограмму (см. верхнее окно рисунка 22), при увеличении масштаба окна будет показан выброс, а для измерения его характеристик применяется курсор. Изменяя значение поля "Current acq", например, с помощью поворотной ручки, пользователь может просканировать осциллограммы. Этот способ управления RTO позволяет пользователю подробно проанализировать причину появления выброса в потоке собранных данных и получить высокую степень достоверности при захвате всех перемежающихся сбоев.

Кроме непосредственного анализа пользователь также может использовать опцию RTO для статического анализа собранных данных в фазе постобработки. Например, функции измерений покажут длительность положительных и отрицательных импульсов для всех импульсов в каждой захваченной осциллограмме и для всего набора осциллограмм. Кроме того, пользователь может активировать отображение гистограммы для всех этих значений, включая статистику. Если пользователь сконфигурирует эту функцию, то воспроизведение архивных данных дополнит статистические данные.

На рисунке 23 осциллограф RTO отображает указанные функции измерений в нижних двух окнах. Из статистики видно, что учтены все (401) осциллограммы, и что минимальная длительность выброса составляет 9,5 нс. Это значение может быть определено с высокой степенью достоверности, так как прибор RTO был настроен на захват импульсов длительностью до 25 нс, а аппаратно может детектировать импульсы длительностью<sup>2</sup> до 100 пс. На гистограмме длительности импульсов показаны отдельные столбцы на 100 нс и кратных значениях, взвешенные по частоте появления более чем для 50000 импульсов.



Рисунок 23 – Отладка с помощью режима работы с архивом данных

Так же как в примере, описанном в разделе 4.2, временные метки загружаются, анализируются и отображаются на рисунке 24. Временная разница между выбросами, отображенными красным цветом, в зависимости от числа возникновения событий. Из данного графика становится ясно, что выбросы возникают через две и три секунды. Однако пока непонятно, случайно ли распределена временная разница между значениями 2 и 3 с.

<sup>2</sup> 50 пс для RTO-1044



Вторая гистограмма на той же самой оси, отображенная синим цветом, показывает временную разницу между каждым вторым выбросом. Эта гистограмма показывает, что выбросы распределены попеременно между 2 и 3 с с периодичностью 5 с. Второй график на рисунке 24 показывает с увеличенным разрешением эту гистограмму и отображает распределение относительно среднего значения. Здесь четко видно неустойчивое распределение выбросов.

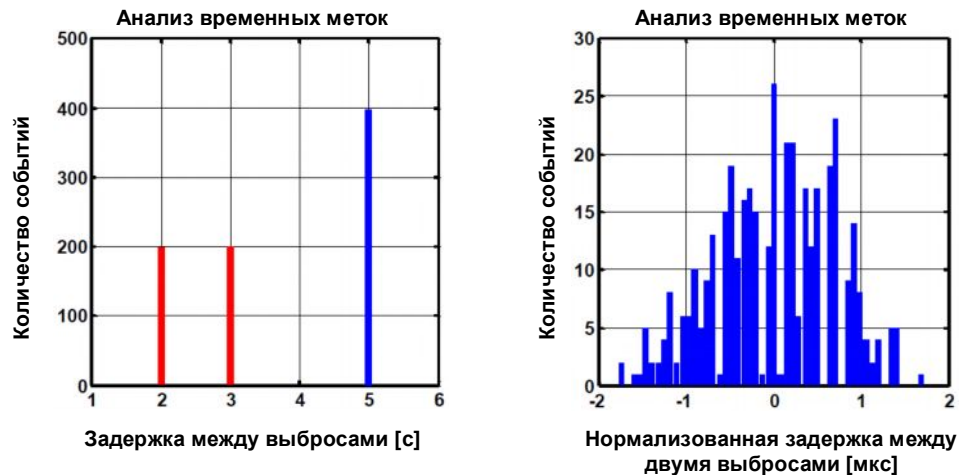


Рисунок 24 – Анализ временных меток

Приняв во внимание все время наблюдения, 1000 с, пользователь может заметить, что цифровой осциллограф не способен захватывать такие сигналы с выбранным разрешением за один цикл захвата данных. Таким образом, использование режима работы с архивом данных становится обязательным для углубленного анализа. Режим работы с архивом данных не сводится к двум описанным выше примерам применения; пользователь может также использовать этот режим для анализа последовательных или параллельных протоколов в комбинации с опцией смешанных сигналов MSO.

## 5 Заключение

Режим работы с архивом данных осциллографа RTO позволяет пользователю получить доступ к данным, собранным ранее и применить широкий спектр функций анализа прибора RTO. Временные соотношения между собранными данными сохраняются и могут быть использованы в качестве основы для последующего анализа.

Более того, этот режим смягчает внутреннее противоречие между высокой частотой дискретизации и длительным временем наблюдения. В некоторых случаях можно получить большую пользу при использовании режима работы с архивом данных, в том числе, в данных указаниях по применению представлен анализ двух возможных применений.

Многочисленные возможности запуска прибора RTO позволяют пользователю сфокусировать внимание на важных деталях анализа за счет селективности записи. Более того, осциллограф RTO обеспечивает эффективное использование архитектуры памяти, широкий выбор функций тестирования и измерений для анализа полученных осциллограмм. Кроме того, непрерывная ось времени позволяет пользователю расширять время наблюдения за пределы возможностей хранения собранных данных. В целом, описанные особенности делают режим работы с архивом данных важным инструментом, например, для отладки цифровых схем и анализа редких перемежающихся сигналов или данных последовательных протоколов. Примечательно, что режим работы с архивом данных является стандартной функцией прибора RTO.

MATLAB<sup>®</sup> является зарегистрированной торговой маркой компании MathWorks, Inc.

R&S<sup>®</sup> является зарегистрированной торговой маркой компании Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG.

## 6 Библиография

- [1] Гвидо Шульце, Боб Барнетт, "Влияние времени простоя цифрового осциллографа на проводимые измерения", Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG, Август 2010. Доступно онлайн: [http://www2.rohde-schwarz.com/file\\_15192/1ER02\\_1e.pdf](http://www2.rohde-schwarz.com/file_15192/1ER02_1e.pdf).
- [2] Контроль и измерения, "Спецификация цифрового осциллографа R&S®RTO", Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG, Декабрь 2012. [Доступно онлайн: [http://cdn.rohde-schwarz.com/dl\\_downloads/dl\\_common\\_library/dl\\_brochures\\_and\\_datasheets/pdf\\_1/RTO\\_dat-sw\\_en.pdf](http://cdn.rohde-schwarz.com/dl_downloads/dl_common_library/dl_brochures_and_datasheets/pdf_1/RTO_dat-sw_en.pdf)].
- [3] Гарри Найквист, "Определённые проблемы теории телеграфной передачи", *зимний съезд А. и. Е. Е.*, Нью-Йорк, 1928.
- [4] Руководство по эксплуатации векторного генератора сигналов R&S®SMBV100A, Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG, Мюнхен, 2012
- [5] Контроль и измерения, Цифровой осциллограф RTO. Руководство по эксплуатации, Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG, Мюнхен, 2012

# Приложения

## А Приложение А

Ниже приведен программный код для системы MATLAB®, который был использован для получения информации о временных метках, записанных прибором RTO осциллограмм для дальнейшего анализа. Примеры анализа обсуждаются в разделах 4.2 и 4.3.

```

1  %% ---- Установление соединения с RTO ----
2  RTO = visa('ni', 'TCPIP::10.113.10.39');
3  RTO.Timeout = 10;
4  fopen(RTO);
5  % Запрос и отображение подключения инструмента ID String
6  fprintf(RTO, '*IDN?'); disp([' ID: ' fscanf(RTO)])
7  % Работа с режимом работы с архивом данных RTO
8  % - получение имеющегося количества собранных данных
9  % - получение временных меток для собранных данных
10 %% ---- конфигурация RTO ----
11 % Включение режима работы с архивом данных
12 fprintf(RTO, ':CHANnel:WAVEform:HISTory:STATe 1');
13 % Получение доступных собранных данных и вывод данных
14 nofAcq = str2num(query(RTO, 'ACQuire:AVAILable?'));
15 fprintf('\n=====');
16 fprintf('Number of available acquisitions: %i\n', nofAcq);
17 fprintf('=====');
18 % создание массива
19 timeStampRel = zeros(nofAcq,1,'double');
20 % получение временных меток для собранных данных и вывод данных
21 for idx = -(nofAcq-1):0
22     fprintf(RTO, 'CHANnel:WAVEform:HISTory:CURRent %i', idx);
23     fprintf(RTO, '*OPC?'); [~,] = fscanf(RTO);
24
25     fprintf(RTO, 'CHANnel:WAVEform:HISTory:TSRelative?');
26     timeStampRel(nofAcq + idx) = str2double(fscanf(RTO));
27     fprintf('Acquisition %i\t%9.7f\n',...
28         idx, timeStampRel(nofAcq + idx));
29 end
30 % Закрытие соединения
31 fclose(RTO);
32 % сохранение данных для дальнейшей обработки
33 save timeStamp.m timeStampRel;

```

## В Приложение В

В таблице 3 показано подмножество полученных временных меток записанных осциллограмм. В первом столбце содержится индекс собранных данных, во втором – соответствующая метка времени. Результат постобработки, добавленный в третьем столбце, показывает временную разницу между двумя соседними временными метками

Таблица 3		
Текущий номер выборки (Current acq,)	Относительная временная метка [с]	Временная разница [мкс]
-34	-0,196799628	95179,52141
-33	-0,101620106	20,29846
-32	-0,101599808	79,99993
-31	-0,101519808	79,99977
-30	-0,101439808	79,99997
-29	-0,101359808	79,99973
-28	-0,101279808	79,99995
-27	-0,101199808	79,99975
-26	-0,101119809	79,99997
-25	-0,101039809	79,99973
-24	-0,100959809	79,99995
-23	-0,100879809	479,99913
-22	-0,10039981	399,999143
-21	-0,099999811	399,999356
-20	-0,099599811	399,999145
-19	-0,099199812	399,999356
-18	-0,098799813	399,999161
-17	-0,098399814	399,999166
-16	-0,097999814	399,999351
-15	-0,097599815	399,99915
-14	-0,097199816	399,999373
-13	-0,096799817	95179,52106
-12	-0,001620296	20,298469

# Алфавитный указатель

АЦП (ADC)		ПСБП (PRBS)	
Аналого-цифровой преобразователь (Analog Digital Converter).....	5, 6	Псевдослучайная битовая последовательность (Pseudo Random Bit Sequence).....	21
ЛЧМ (LFM)		ТТЛ (TTL)	
Линейная частотная модуляция (Linear Frequency Modulated).....	17	Транзисторно-транзисторная логика (Transistor–Transistor Logic).....	21
Память DRAM			
Динамическая оперативная память (Dynamic Random Access Memory).....	11		

## 7 Информация для заказа

Название	Тип	Код заказа
<b>Цифровые осциллографы</b>		
<b>600-МГц, 2 канала</b> 10 млрд. отсчетов/с, 20/40 млн. отсчетов	R&S®RTO1002	1316.1000.02
<b>600- МГц, 4 канала</b> 10 млрд. отсчетов/с, 20/40 млн. отсчетов	R&S®RTO1004	1316.1000.04
<b>1 ГГц, 2 канала</b> 10 млрд. отсчетов/с, 20/40 млн. отсчетов	R&S®RTO1012	1316.1000.12
<b>1 ГГц, 4 канала</b> 10 млрд. отсчетов/с, 20/80 млн. отсчетов	R&S®RTO1014	1316.1000.14
<b>2 ГГц, 2 канала</b> 10 млрд. отсчетов/с, 20/40 млн. отсчетов	R&S®RTO1022	1316.1000.22
<b>2 ГГц, 4 канала</b> 10 млрд. отсчетов/с, 20/80 млн. отсчетов	R&S®RTO1024	1316.1000.24
<b>4 ГГц, 4 канала</b> 20 млрд. отсчетов/с, 20/80 млн. отсчетов	R&S®RTO1044	1316.1000.44
<b>Дополнительная память, 50 млн. отсчетов на канал</b>	R&S®RTO-B101	1304.8428.02
<b>Дополнительная память, 100 млн. отсчетов на канал</b>	R&S®RTO-B102	1304.8438.02
<b>Смешанные сигналы, 400 МГц, 5 млрд. отсчетов/с, 16 каналов, 200 млн. отсчетов на канал</b>	R&S®RTO-B1	1304.9901.03

## 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.

## Обязательства по охране окружающей среды

- Энергосберегающие изделия
- Постоянное улучшение экологической устойчивости
- Сертифицированная система экологического менеджмента ISO 14001



## Контакты в регионах

Европа, Африка, Ближний Восток  
+49 89 4129 12345

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

Северная Америка

1-888-TEST-RSA (1-888-837-8772)

[customer.support@rsa.rohde-schwarz.com](mailto:customer.support@rsa.rohde-schwarz.com)

Латинская Америка

+1-410-910-7988

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

Азия/Тихий океан

+65 65 13 04 88

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

Китай

+86-800-810-8228 /+86-400-650-5896

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

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

R&S® является зарегистрированным товарным знаком компании Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG. Товарные знаки и торговые марки принадлежат соответствующим владельцам.

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

Mühlhofstraße 15 | D - 81671 München

Тел. + 49 89 4129 - 0 | Факс + 49 89 4129 - 13777

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