

Поиск аномалий и анализ сигналов в осциллографах LeCroy с помощью функции WaveScan

А.А. Дедюхин, ЗАО «Прист»

Современные цифровые осциллографы, за последние десятилетия стали мощным инструментом в разработке и проектировании самого широкого круга радиоэлектронных устройств – от устройств силовой электроники до высокоскоростных систем передачи. Постоянно увеличивающаяся скорость и комплексность сигналов в современных цифровых системах требуют новых методов анализа этих сигналов. В равной пропорции, с развитием электронной элементной базы и разработкой новых технологий, возрастают и задачи стоящие перед современными цифровыми осциллографами. Развитие nano технологий, германиево-кремниевых технологий при разработке полупроводников - все это позволило значительно расширить полосу пропускания цифровых осциллографов. В этой сфере бесспорным лидером является компания LeCroy выпустившая в 2006 году цифровой осциллограф реального времени LeCroy SDA-18000, имеющий полосу пропускания 18 ГГц и частоту дискретизации 60 Гвыб/с и стробоскопический осциллограф WaveExpert с полосой пропускания 100 ГГц. Все большее число пользователей активно использует не только возможности цифрового осциллографа достоверно отображать форму входного сигнала, но его расширенные возможности по измерению параметров сигнала, сбору и анализу информации о входном сигнале, математической обработке информации и многие другие возможности.

Но, все-таки, основной целью применения цифровых осциллографов является наблюдение и анализ формы входного сигнала. Это, в последнее время является одним из направлений развития программного обеспечения цифровых осциллографов, кроме расширения полосы пропускания, увеличения частоты дискретизации и расширения длины внутренней памяти.

Долгое время для анализа формы сигнала и поиска, содержащихся в нем аномалий, использовались возможности схемы синхронизации. В [1] подробно описаны способы использования расширенных режимов синхронизации и специальных режимов развертки по поиску и анализу артефактов, или заданных параметров сигнала. Но такой способ позволяет захватить сигнала с заданными параметрами и увидеть его четко посередине экрана, но этот метод не лишен некоторых недостатков. **Во-первых** он позволяет захватить сигнал по заданным параметрам схемы синхронизации, но при смене параметров анализа этого же захваченного сигнала, повторный анализ произвести уже невозможно. **Во-вторых** за время ожидания полезного события, другие события, которые могут представлять интерес для анализа теряются из-за простоя схемы запуска развертки. **В-третьих** даже расширенные возможности схемы синхронизации имеют достаточно ограниченный набор условий запуска или ограниченный диапазон задаваемых параметров для таких условий. Например, длительность импульса ограничена значением 500 пс, а скорость нарастания сигнала ограничена значением 1 нс. В то время как сами цифровые осциллографы имеют способность отображать гораздо более короткие импульсы или сигналы с гораздо большей скоростью нарастания фронтов. Более широкие возможности по анализу сигналов как в реальном масштабе времени, так уже захваченного и сигнала в длинную память обеспечивают режимы трендов и графиков слежения, построенные по результатам обработки выбранного вида измерения, описанные в [2]. В основе этого типа анализа лежат методы цифровой обработки захваченного осциллографом сигнала и ограничения возникают из-за ограниченности тех или иных алгоритмов измерения амплитудно-временных параметров и максимальной частоты дискретизации конкретного экземпляра цифрового осциллографа. Но и это способ не является идеальным, поскольку позволяет обеспечить анализ сигнала только на основе временных измерений, плохо применим для амплитудных измерений входного сигнала, не позволяет регистрировать некоторую структуру сигнала, например не монотонности сигналов и рванты, и это метод сопряжен со значительными временными затратами при анализе.

Разработанный компанией LeCroy режим WaveScan является новым программным инструментом для анализа и поиска артефактов как в «живом» сигнале реального времени, отображаемого на экране осциллографа, так и в сигнале, записанном в длинную память цифрового осциллографа. Базой для режима WaveScan явились принцип сбор информации X-Stream и вычислительные возможности открытой платформы осциллографов LeCroy, способные записывать в память для последующей обработки большие массивы данных, производить аналитическую обработку этих массивов данных по заданным алгоритмам, включая штатные алгоритмы измерений и выводить информацию на экран осциллографа в видах удобных для наблюдения пользователем. При этом, как уже отмечалось в [1], осциллографы LeCroy регистрируют все результаты измерения буфера данных, полученных за один проход развертки входного сигнала. Это выгодно отличает возможности режима WaveScan от аналогичных режимов конкурентов, построенных на принципах расширенных возможностей схемы синхронизации или обработки внешними программными средствами. Второй основой режима WaveScan, в части вывода на экран результатов анализа сигнала, явился успешный опыт, полученный на основе декодирования шин CAN (где так же необходима регистрация и отображение сигнала по

заданным условиям). Некоторые вполне успешные решения, ранее примененные при анализе шин CAN, использованы в режиме WaveScan, а так же при декодировании таких сигналов, как I2C и SPI.

Режим WaveScan позволяет проводить анализ и расширенный поиск в сигналах со следующими особенностями:

1. Захват и поиск при однократном запуске развертки, при последующем выборе режима поиска и методе отбора. При этом режим поиска и методы отбора для одного и того же сигнала могут изменяться бесконечное число раз.
2. Сканирование - выбор режима поиска и метода отбора для накопления информации и статистики при регистрации периодических или редких событий.
3. Возможность поиска многократно повторяющихся событий, что недоступно для условия запуска схем синхронизации. В то время как для программного поиска, каким является WaveScan, может обнаружить все случаи наступления заданного события, зарегистрированные в длинной памяти осциллографа.
4. Автоматическая навигация по событиям, интуитивно понятная любому пользователю. С масштабированием по горизонтали и вертикали.
5. Большое количество типов регистрируемых событий, в отличие от условий запуска схем синхронизации. Программная обработка имеет гораздо более широкий спектр возможностей, чем схемы запуска. ПО позволяет обнаружить практически любое событие, которое можно описать алгоритмами измерения и обработки, а так же нарастить новые возможности, исходя из существующих требований.
6. Анализ – использование функций накопления и построения гистограмм по результатам заданного режима поиска и метода отбора событий.
7. Возможность выявления событий с малой длительностью. Схемы запуска развертки имеют достаточно ограниченные пределы своих возможностей, так например осциллографы LeCroy имеют ограничение по длительности схемы запуска развертки менее 500 пс. В то время как возможности осциллографа SDA-18000 позволяют анализировать системы последовательной передачи данных со скоростями до 12 Гбит/с. В основе работы режима WaveScan лежат программные методы обработки сигналов, возможности которых ограничены только частотой дискретизации конкретного типа осциллографа LeCroy. А как уже отмечалось выше, частота дискретизации современных осциллографов LeCroy составляет 60 Гвыб/с, что позволяет обнаруживать импульсы длительностью до 50 пс, что в десять раз превосходит возможности схемы синхронизации. А диапазон абсолютных значений при анализе измеряемых величин с использованием программного режима WaveScan составляет $\pm 179,76931\text{e}+306$, что в сотни миллиардов раз перекрывает существующие на сегодняшний день возможности самого совершенного цифрового осциллографа.

Захват и поиск сигнала при однократном запуске развертки и сканирование сигнала при выбранном режиме поиска и базируются на одних и тех же принципах обработки входного сигнала. Но если при однократном запуске развертки пользователь имеет большой ресурс времени на более детальное изучение захваченного сигнала, включая изменение режима поиска и отбора в одном и том же захваченном сигнале. То при сканировании сигнала изменение режима поиска и отбора не является предпочтительным, но предоставляет возможность поиска во входном сигнале участков с заданными параметрами, программирование действий при обнаружении этих сигналов, накопление и анализ статистики появления заданных пользователем событий. Основными особенностями режима WaveScan является то, что:

1. Осциллограф цветовым маркером красного цвета отмечает на осциллограмме участки сигнала соответствующие заданному режиму и методу поиска сигнала;
2. Осциллограф формирует таблицу результатов, соответствующую заданному режиму и методу поиска сигнала. Таблица состоит из двух колонок – первая номер поиска по порядку, вторая – числовое значение результатов поиска. Выбор строки таблицы результатов (мышкой, подключенной к осциллографу или использование сенсорного экрана) приводит к цветовому выделению на входном сигнале маркера, соответствующего данному поиску и поиска данного фрагмента на масштабированном сигнале растяжки.
3. Таблица результатов поиска содержит до 10000 значений, это означает, что осциллографы LeCroy в режиме анализа сигнала WaveScan способны зафиксировать десять тысяч участков сигнала по заданным условиям.
4. Наличие режима «Мульти-Зум» обеспечивает масштабирование исходного сигнала до удобных для просмотра размеров и перемещение по меткам по принципу «Предшествующий - Следующий» (заданный режимом «Мульти-Зум» фрагмент будет выделен в таблице результатов). При этом фрагмент, выделенный растяжкой «Мульти-Зум», так же отмечается на основном сигнале яркостной градацией.
5. Наличие дополнительной осциллограммы «Scan Наложение» представляющей собой последовательное наложение в режиме послесвечения или без него заданных фрагментов исходного сигнала.
6. Наличие гистограммы (режиме поиска по заданным параметрам) отображающей статистическое распределение выбранного параметра измерения.

Так на рисунке 1 приведён общий вид экрана осциллографа LeCroy в режиме WaveScan.

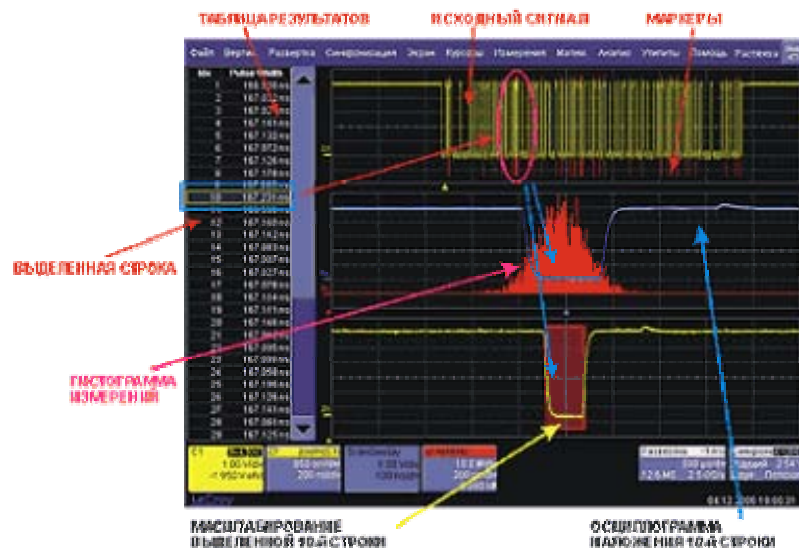


Рисунок 1

Режимы поиска

Осциллографы LeCroy в режиме анализа сигнала WaveScan имеют следующие режимы поиска сигналов:

1. Поиск фронта;
2. Поиск не монотонности;
3. Поиск ранто;
4. Поиск по заданным измерениям.

Поиск по фронту. В этом режиме осциллограф фиксирует все фронты сигнала находящиеся на заданном пользователем абсолютном или относительном уровнях и имеющих гистерезис не менее 0,5 деления. Осциллограф формирует таблицу измерений, в которой фиксируются метки времени по горизонтальной оси (линии развертки) соответствующие этому фронту. В качестве объекта регистрации, пользователь может выбрать положительный фронт, отрицательный фронта или регистрацию обоих фронтов одновременно. Это режим предпочтительно использовать при записи в длинную память цифрового осциллографа редких и коротких сигналов (например, периодических и непериодических импульсов лазера), поиск которых в длинной памяти осциллографа затруднен из-за очень маленькой длительности сигнала на основной осциллограмме, но с применением режима WaveScan, просмотр таких сигналов сводится к простому нажатию на кнопки «Предшествующий» или «Следующий» в поле управления осциллограммой масштабирования.

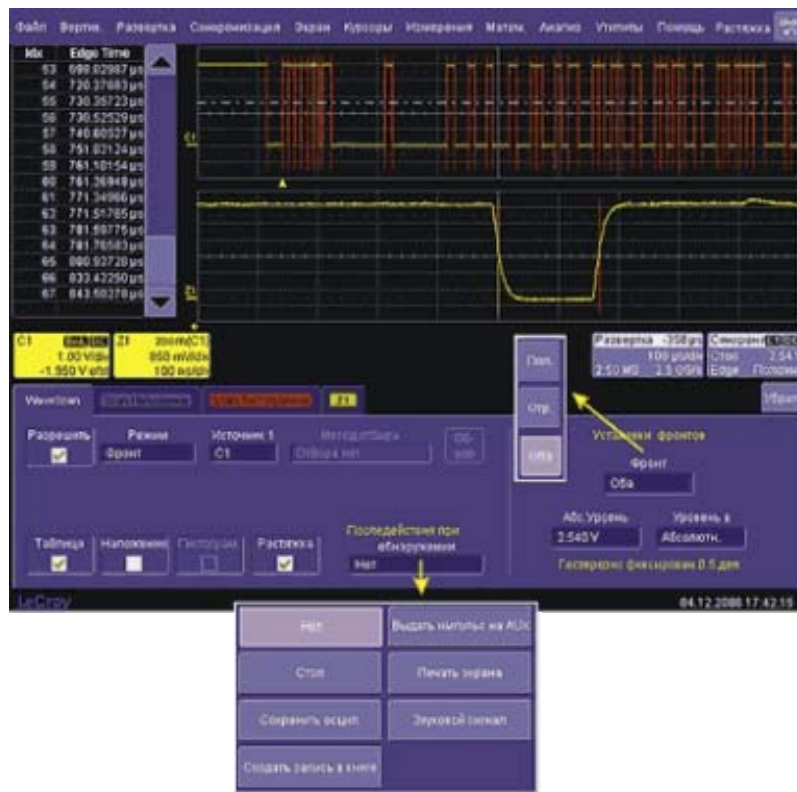


Рисунок 2

Очень часто процесс анализа формы сигнала, особенно если существует необходимость поиска очень редких артефактов или с использованием длинной памяти, занимает длительное время, при этом инженер не всегда имеет достаточно времени, чтобы присутствовать рядом с прибором и визуально следить за процессом анализа. Для расширения возможностей цифрового осциллографа по контролю за процессами анализа и документирования полученных результатов, режим WaveScan имеет возможность программирования последствий при обнаружении заданных условий. Это:

1. Останов сбора информации;
2. Сохранение массива данных осциллограммы, полученных в результате сбора информации в виде предварительно заданных файлов баз данных;
3. Создание записи в записной книжке осциллографа, фиксирующей осциллограмму как графический объект с «пояснительной запиской», содержащей информацию о дате и времени регистрации события, а так же профиль осциллографа (положения всех органов управления и режимов), при котором был зарегистрирован этот сигнал;
4. Выдача импульса на внешний разъем осциллографа, для управления внешними устройствами;
5. Сохранение осциллограммы как графического файла с заданным расширением и на заданный носитель;
6. Подача звукового сигнала;
7. Отсутствие каких-либо действий;

После остановки сбора информации (в ручном или автоматическом режиме), к полученному массиву данных, возможно применить поиск по заданным измерениям с заданным методом отбора.

Поиск не монотонности. Это один из специализированных программных алгоритмов, позволяющий регистрировать и анализировать нестандартные формы входного сигнала. В этом режиме осциллограф фиксирует фронты сигнала с изменяющимся вектором, пересекающие два заданных пороговых с учетом заданного гистерезиса. Иными словами, если в заданных пользователем пределах сигнал выходит за пределы этого «коридора», а в пределах «коридора» изменяет вектор направления, то есть сигнал, то увеличивается по амплитуде, то уменьшается по амплитуде больше определенного значения, это фиксируется осциллографом как не монотонность сигнала. Значение гистерезиса, или минимальной амплитуды сигнала, задается для снижения влияния паразитных шумов сигнала или уровней сигнала, которые при обработке игнорируются прибором. В таблице измерений, формируемой осциллографом, будут отображаться значения уровня, представляющие собой разницу между максимальным и минимальным значениями не монотонности (см. рисунок 3).

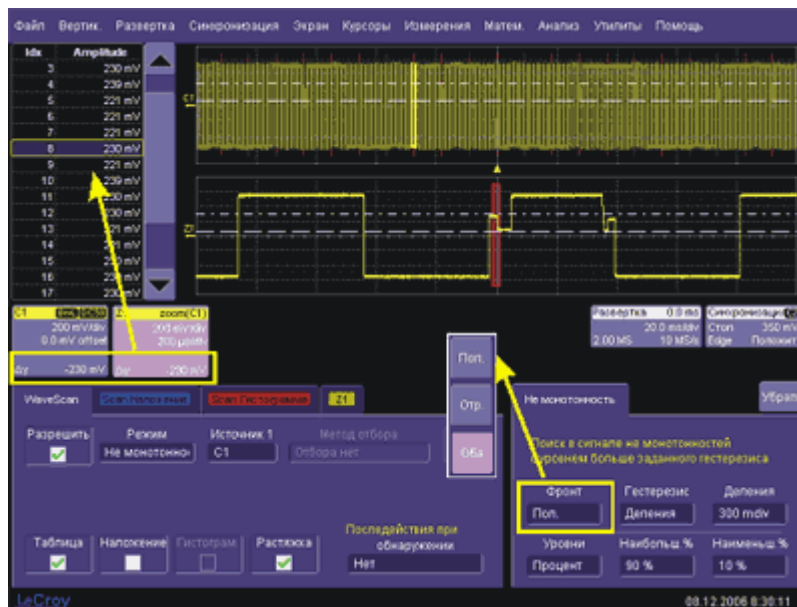


Рисунок 3

При регистрации не монотонностей пользователь может самостоятельно задавать как положительную монотонность, когда на нарастающем фронте сигнала есть отрицательные перепады, так и положительную монотонность, когда на спадающем фронте сигнала есть положительные перепады. Возможно так же задать поиск обоих типов не монотонностей одновременно. При этом пороговые уровни и значения гистерезиса можно задавать в абсолютных единицах (Вольтах), делениях шкалы или относительных единицах от амплитуды сигнала (в %). Так на рисунке 4 приведен пример регистрации обоих типов не монотонности одновременно.



Рисунок 4

Поиск рантов. Рантом называется сигнал положительной или отрицательной полярности имеющий меньший уровень, чем все остальные сигналы. Рантовая синхронизация последнее время стала одним достаточно распространенных типов запуска схемы развертки многих современных цифровых осциллографов. Но разница в реализации режимов синхронизации и анализа сигнала состоит в том, что при синхронизации по ранту возможно задать минимальный и максимальный пороги уровней ранта, в то время как амплитуда ранта игнорируется, в режиме анализа WaveScan этот недостаток устранен и пользователь может регистрировать только раны интересующей амплитуды. Так же при использовании схемы синхронизации регистрируется только один рант, как раз тот, что запускает развертку. А при использовании режима анализа, возможно регистрировать множественные ранты, при этом схема синхронизации может выполнять запуски по другим условиям. Алгоритм регистрации ранта достаточно прост - осциллограф фиксирует только те сигналы которые пересекают 1-й заданный порог уровня, но не пересекают 2-й заданный порог уровня и повторно пересекают 1-й порог, с учетом заданного гистерезиса. Этот алгоритм позволяет регистрировать только сигналы, имеющие меньший уровень, чем все остальные – см. рисунок 5.



Рисунок 5

В этом режиме, так же как и при регистрации не монотонностей и фронтов сигнала, представляется возможность регистрировать ранты, как положительной, так и отрицательной, а так же ранты обеих полярностей одновременно, что то же недоступно для режимов запуска схем синхронизации. В таблице измерений регистрируются амплитудные значения рантов.

Поиск по заданным измерениям. Поиск по заданным параметрам измерения является наиболее значимым и самым широким из всех режимов поиска сигналов, существующих в осциллографах LeCroy. Именно это режим при анализе и поиске артефактов позволяет полностью реализовать возможности длины памяти осциллографа, высокой частоты дискретизации и режимов измерения. Если три первых режима поиска сигналов абсолютно идентичны для всех осциллографов LeCroy, то режим поиска по заданным измерениям для разных серий осциллографов LeCroy будет иметь свой набор измеряемых параметров. Это связано с наращиванием возможностей конкретных типов осциллографов в серии при увеличении полосы пропускания и наличием новых возможностей по измерению параметров в более старших сериях. Например, в осциллографах серии WaveSurfer Xs нет возможности измерения и анализа джиттера сигнала, в то время как в осциллографах серии SDA эта функция является стандартной. Наращивание возможностей поиска по заданным параметрам режима WaveScan так же происходит при установке дополнительных программных опций. Например, при установке дополнительной опции тестирования оптических дисковых приводов или жестких дисков в программную оболочку осциллографа добавляются специализированные параметры измерения, характерные только для этих типов приводов. Соответственно, в режиме WaveScan анализ сигналов и поиск артефактов уже возможен по специфическим параметрам, характерным только для оптических или магнитных приводов. Но в любом случае, минимальный набор измеряемых параметров (для осциллографа LeCroy серии WaveSurfer Xs) составляет 10 параметров и это набор самых основных параметров, для осциллографа WaveRunner Xi, в штатной комплектации, это уже 20 параметров, а для осциллографов старших серий WaveMaster и SDA, это более 30 параметров, при установке дополнительных опций.

Итак, для начала поиска по заданным измерениям осциллографу необходимо задать два основных условия:

1-е условие. Необходимо задать тип измерений. Для этого в поле «Измерение» выбирается тип анализируемого параметра. Чаще всего измерения проводятся в одном из источников, это может быть или осциллограмма входного сигнала, или математическая осциллограмма, или осциллограмма памяти. Но ряд измерений, например, измерение или временного фазового сдвига между двумя сигналами, очевидно, что требуют наличия двух источников входного сигнала.

2-е условие. Необходимо задать метод отбора. Под методом отбора, собственно и понимаются методы отбора интересующих событий. Осциллографы LeCroy в режиме WaveScan имеют следующие методы отбора (смотри рисунок 6):

1. Отбора нет - режим отбора выключен и осциллограф отображает в таблице измерений все измеренные значения и отмечает их на осциллограмме.
2. Отбор значений больше заданного параметра.
3. Отбор значений меньше заданного параметра.
4. Отбор значений, находящихся в заданных пределах, предел определяется как, заданное значение \pm абсолютное отклонение.
5. Отбор значений, находящихся вне заданных пределов, предел определяется как, заданное значение \pm абсолютное отклонение.
6. Отбор значений, находящихся в заданных пределах, предел определяется как, заданное значение \pm относительное отклонение.
7. Отбор значений, находящихся вне заданных пределов, предел определяется как, заданное значение \pm относительное отклонение.
8. Отбор редких событий.

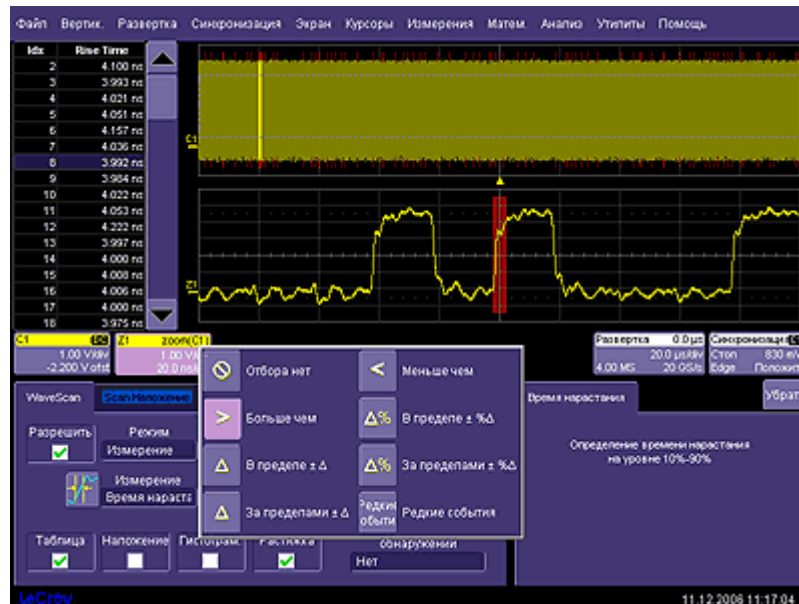


Рисунок 6

В отличие от предыдущих режимов поиска сигналов, теперь в таблице измерений режима WaveScan будут представлены результаты измерений сигналов, удовлетворяющих заданным условиям отбора и еще раз напомним, что таблица измерений может содержать до 10000 значений.

На рисунке 6 приведен пример отбора сигнала по заданным условиям времени нарастания. На рисунке 7, приведен пример отбора сигнала по частоте. Сигнал получен с выхода свип-генератора, частота которого изменяется линейно от 1 МГц до 10 МГц (центральная частота 5 МГц), с периодом свипирования 1 мс. Сигнал с выходе генератора записывается в длинную память осциллографа и условием отбора является отображение всех сигнала соответствующих условия «в пределах 5 МГц \pm 5%». Поскольку на основной осциллограмме C1 идентифицировать сигналы соответствующие условиям отбора не представляется возможным из-за большой степени сжатия сигнала, осциллограмма Z1 представляет собой автоматическую растяжку сигнала C1 с индикацией начала интересующих событий.

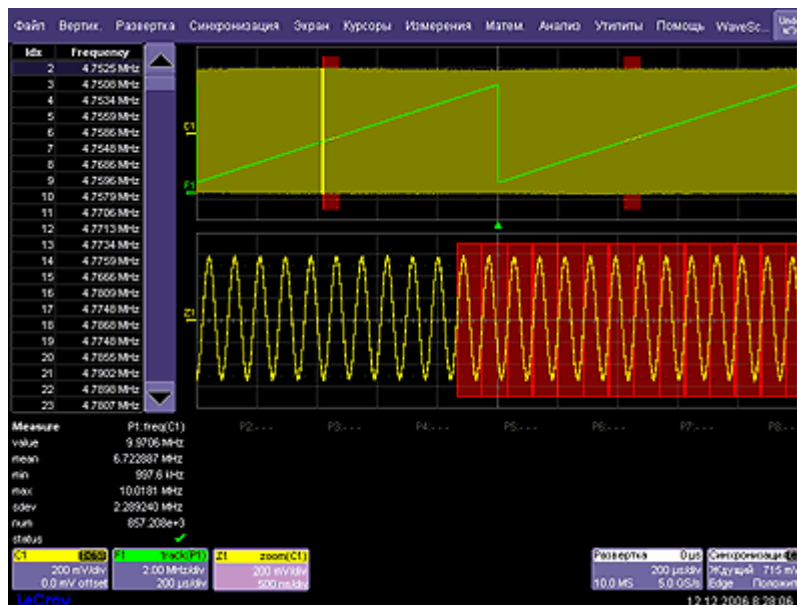


Рисунок 7

Пилообразный график F1 зеленого цвета, является графиком слежения измерения частоты сигнала C1, полученный из измерения частоты P1 и в данном случае предназначен для контроля «правильности» отбора сигналов заданной частоты.

На рисунке 8 приведен пример отбора импульсных сигналов по условия «длительность меньше 5 мкс» и растяжка Z1 индицирует четвертое событие.

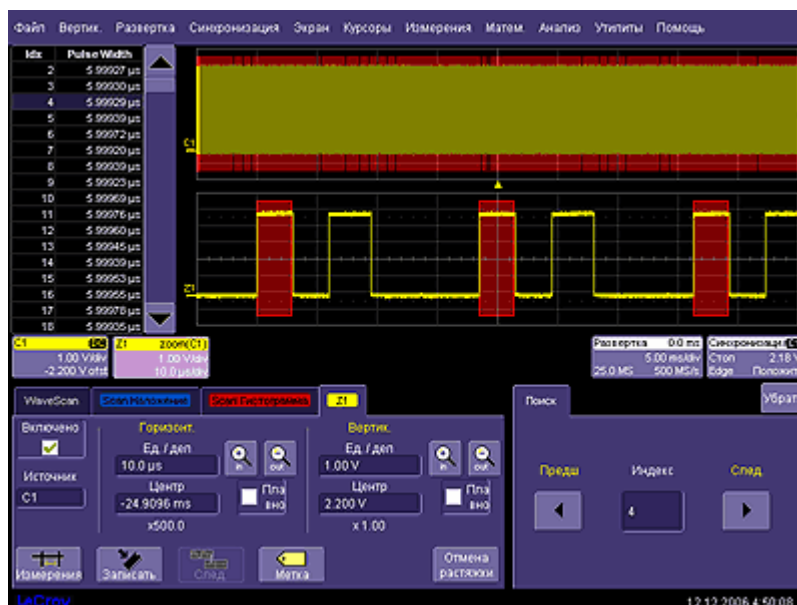


Рисунок 8

Если методы отбора с 1 по 7, указанные выше, являются общепринятыми, то отбор редких событий это абсолютно новый подход к анализу сигнала. **Редким событием** считается событие, имеющее наименьшее или наибольшее значение из всего измеренного массива данных, полученных за один период сбора информации сигнала, или оба этих события одновременно. Уж не раз акцентировалось внимание на то, что при проведении измерений, осциллографы LeCroy способны хранить в буфере все измеренные значения, обрабатывать и выводить статистические данные – данные по статистике измерений, строить тренды, графики слежения и гистограммы. А в окне измерения (см. рисунок 9 окно измерения P1), помимо прочей информации отображаются минимальные и максимальные значения измеренного параметра, в данном случае это время нарастания импульса в системе последовательной передачи данных. Но до появления режима WaveScan, для определения местоположения участков сигнала с экстремальными значениями предполагалось последовательное использование графиков слежения (построенные по результатам измерения), определение или минимума, или максимума значений на этих графиках и последующая трансформация этого участка на осциллограмму, где и определялось участки сигнала с минимальными или максимальными значениями выбранных параметров.

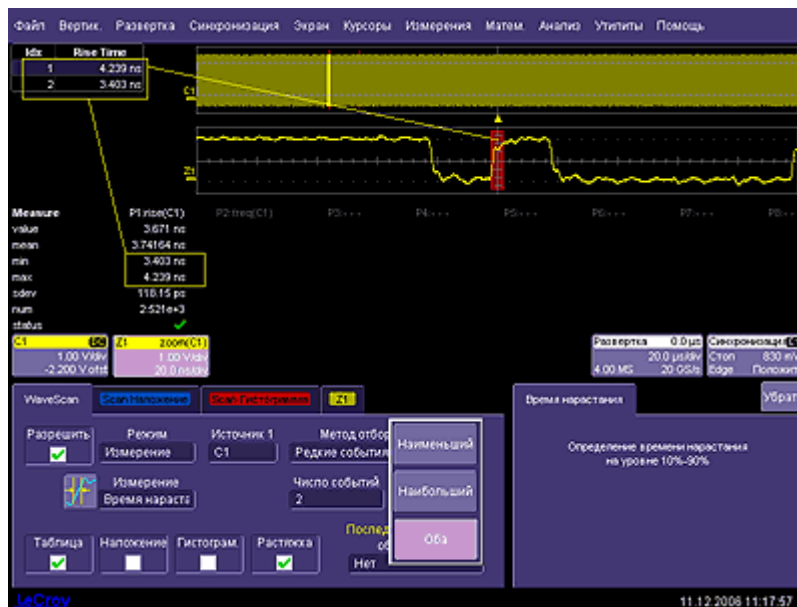


Рисунок 9

Теперь такая сложная многоступенчатая последовательность действий выполняется выбором одного режима анализа сигнала. При этом, как видно из рисунка 9, минимальное и максимальное значения в области измерений P1, полностью соответствуют данным таблицы измерений. Так же расширение возможностей поиска экстремальных значений не ограничивается поиском одного или двух экстремальных значений, число таких экстремальных событий можно задать до 1000. Это означает, что при анализе сигнала, например в системах последовательной передачи данных, обладающих большой скоростью передачи, где критическим является время нарастания и спада единичных интервалов, можно выделить и проанализировать до 1000 фронтов сигнала, которые потенциально могут привести к снижению достоверности передачи информации такой системой. А такие задачи, до этого, были способны решать только достаточно дорогостоящие системы анализа.

Новым в режиме WaveScan, значительно облегчающим задание условий поиска и анализа является функция «Обзор». В общем, не возникает сомнений в том, что для анализа сигнала по различным условиям отбора, эти условия отбора нужно необходимо задать. Например, при анализе длительности импульсов в последовательном сигнале, необходимо или предварительно знать значение длительности импульса, которая анализируется или ищется в этом сигнале, или в режиме накопления статистических данных произвести измерения длительности импульса этой последовательности опираясь на полученные результаты ввести данные для анализа. Функция «Обзор» упрощает эти действия. При выборе данной функции, осциллограф LeCroy в автоматическом режиме производит измерение выбранного параметра по всему буферу данных (если даже этот режим и находится в выключенном состоянии). И по результатам статистики измерений, простым нажатием на нужное окно предложит выбрать среднее из измеренных значений, как минимальное, максимальное или среднее для режимов анализа по допускам. Или использовать закон «1,2 и 3 сигм» для определения местонахождения и значений участков сигнала, находящихся в центре или по краям статистического распределения выбранного параметра измерения. Окно управления режима «Обзор» приведено на рисунке 10.

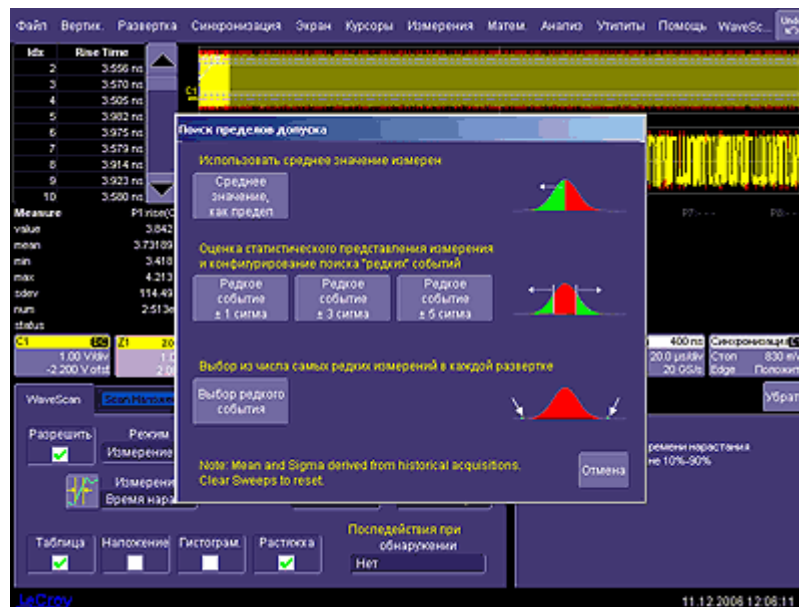


Рисунок 10

Функция «Scan Наложение». Анализ любого исследуемого сигнала был бы не полным, если при таком анализе не производилось накопление и обработка статистических данных, полученных в результате поиска сигнала по различным условиям. В [2] достаточно подробно описаны принципы статистической обработки измерений осциллографов LeCroy, но режим WaveScan имеет несколько модифицированных статистических режимов. Очевидно, что поиск сигнала по заданным условиям - это достаточно расширенный программный алгоритм, но сам по себе он не дает информации об изменениях сигнала при его периодическом сканировании. Так, например, при регистрации не монотонностей, приведенных на рисунке 4, или обнаружении рантов, приведенных на рисунке 5, или индикации редких событий, приведенных на рисунке 9, таблица измерений будет актуальна только для одного текущего события, присутствующего в настоящий момент на экране осциллографа, а сам обнаруженный артефакт, в виде осциллограммы, будет перезаписан при последующем запуске развертки. Так же очевидно, что при тестировании самого широкого круга устройств разработчику или инженеру-наладчику необходима суммарная информация о множественных процессах протекающих в тестируемом устройстве, а не только о наличии того или иного сбоя за короткий промежуток времени. Так, на рисунке 11 приведена последовательность сигналов типа $\sin(x)/x$ имеющих разную длительность. Осциллограф в режиме WaveScan производит отбор импульсов имеющих длительность более 400 нс. В режиме масштабирования контролируется 38-ой импульс, соответствующий условиям отбора. Для текущей осциллограммы C1 из таблицы измерения видно, что длительность импульса в настоящий момент составляет 428,44 нс и его форма приведена на осциллограмме Z1 внизу экрана. Осциллограмма So (синего цвета) представляет собой наложение всех сигналов соответствующих условиям отбора и имеющий номер «38», начиная с момента запуска анализа сигнала.

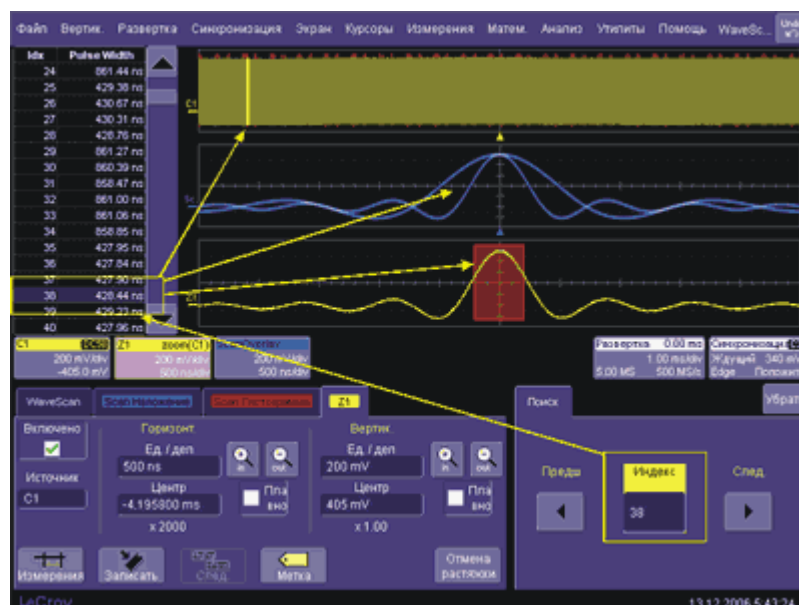


Рисунок 11

Из рисунка 11 видно, что «сигнал № 38» имеет два состояния.

Как и в любой осциллограмме наложения, в функция «**Scan Наложение**» имеет возможность выбора времени послесвечения, включая бесконечное послесвечение, а также собственное масштабирование осциллограммы наложения. Таким образом пользователь может накапливать осциллограммы, соответствующие заданным условиям отбора, для их визуальной оценки и анализа процессов, происходящих в исследуемом сигнале. Данный режим отсутствует в осциллографах серии WaveSurfer Xs.

Функция «Scan Гистограмма». Визуальная оценка сигнала, отобранного согласно условий режима WaveScan, бесспорно полезный шаг осциллографов LeCroy навстречу пожеланиям потребителя. Но, как известно, человеческий глаз достаточно плохой измерительный инструмент, особенно если речь идет о многосложных процессах. Так, на рисунке 12 приведен пример отбора из последовательности импульсов, имеющих длительность менее 50 нс.

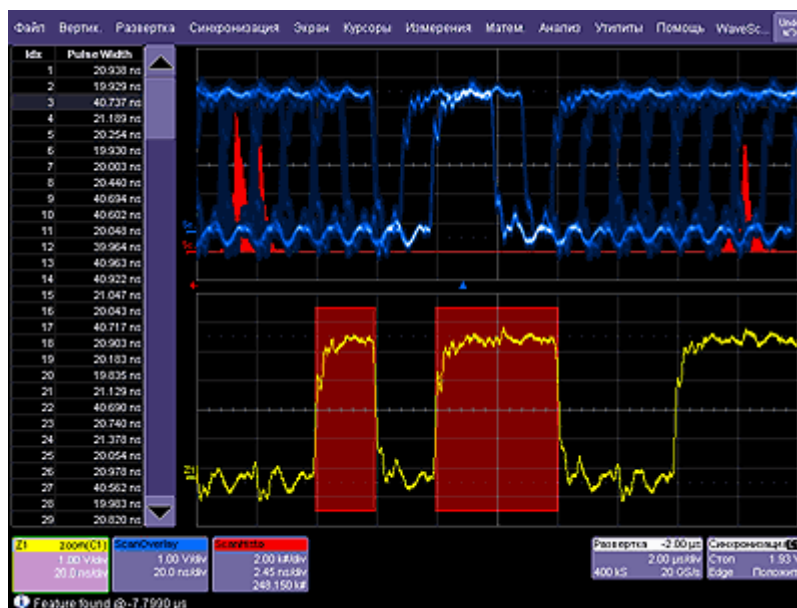


Рисунок 12

На осциллограмме наложения отображаются сигналы, имеющие длительность соответствующую заданным условиям, но из визуального анализа этой осциллограммы можно предположить, что в эти пределы попадают сигналы четырех различных длительностей. Но так ли это на самом деле? Ответ возможно получить применив суммарный метод статистической обработки результатов измерения - то есть построенные гистограммы. Поскольку таблица измерений WaveScan содержит данные о длительности импульсов, соответствующих заданным условиям отбора, то накопление информации и статистическая обработка производится по этим данным. На рисунке 13, при выключенной для наглядности осциллограммы наложения, приведена гистограмма измерения длительности импульсов в пределах до 50 нс.

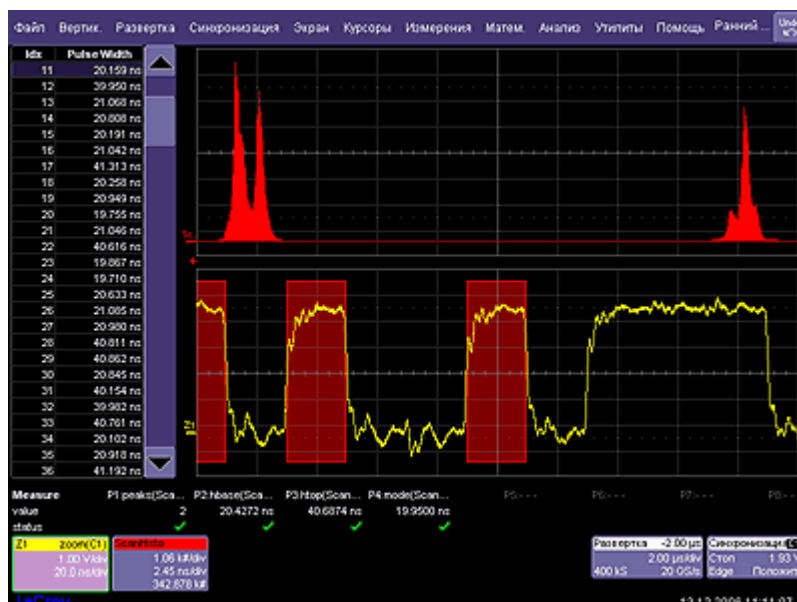


Рисунок 13

Гистограмма уже отображает, что сигнал содержит импульсы, имеющие всего две значения длительности, а не четыре, как предполагалось ранее исходя из осциллограммы наложения. При этом видно, что более короткий импульс имеет достаточно большое значение джиттера. Применяв метод автоматических или курсорных измерений к данной гистограмме не трудно определить число стабильных состояний -2, наиболее вероятные значения длительностей -20,42 нс и 40,68 нс, значения самого короткого импульса 19,95 нс и другие параметры. Данный режим отсутствует в осциллографах серии WaveSurfer Xs.

В заключение обзора режима WaveScan, следует отметить также, что режим WaveScan, являясь комплексным инструментом по анализу и регистрации сигналов, в том числе, содержащих аномалии, и существенно расширяющий возможности осциллографа, ранее доступные только режимами запуска схемы синхронизации, дает максимальный эффект в анализе и поиске аномалий при комбинировании этих двух режимов.

Ну, и эта публикация была бы не до конца законченной, если бы мы традиционно не сравнили выше описанные возможности осциллографов LeCroy, с возможностями аналогичных режимов нашего давнего «друга и партнера» осциллографа Tektronix серии DPO-4000. А заодно в очередной раз дадим возможность «пародистам» поискать «подтасовки» и «некорректные сравнения» (А то, что-то перед Новым Годом они приуныли без работы! Будет чем заняться на длинный Новогодних каникулах!).

Обращаясь к сравнению аналогичных с WaveScan режимам других производителей цифровых осциллографов, логично было бы его сравнить с режимом Wave Inspector осциллографа Tektronix DPO-4000. В начале 2006 года компания Tektronix анонсировала новую серию цифровых осциллографов DPO-4000. Отличительной особенностью этих моделей являлось наличие режима Wave Inspector, позволяющего, среди прочих возможностей, автоматически производить маркирование и поиск сигналов по заданным условиям. Это был первый осциллограф на рынке (оцените комплимент) позволяющий полностью автоматически производить функцию поиска по всей зарегистрированной осциллограмме и автоматически устанавливать маркеры на определенные пользователем события. Но, закрытая платформа нового осциллографа, ограниченность вычислительных ресурсов и возможностей, использование в режиме анализа сигнала принципов аналоговой схемы синхронизации – все это свели на нет гигантские усилия разработчиков компании Tektronix, после анонсирования компанией LeCroy в своих осциллографах режима WaveScan. Недостатки схемы синхронизации в расширенном режиме уже рассматривались в начале данной публикации и повторять их не имеет смысла, но удивительно то, что при реализации программных алгоритмов поиска, компания Tektronix все эти недостатки перенесла в режима Wave Inspector, по сути, дополнив возможности схемы синхронизации только возможностями маркирования участков поиска и перемещения от маркера к маркеру. И при этом были проигнорированы расширение возможностей по анализу сигнала, доступные при использовании высокоскоростной системы сбора данных. Казалось бы, зачем повторять те возможности, которыми и так обладает схема синхронизации? Но, встав на защиту режима Wave Inspector особо выделим, что:

1. Схема синхронизации в расширенном режиме, позволяет зафиксировать только одно событие, соответствующее условиям запуска. А режима поиска Wave Inspector позволяет видеть множественные события (до 2000), соответствующее условиям поиска, пусть даже они и имеют те же параметры, что и условия запуска.
2. В цифровых осциллографах это была первая полностью автоматическая функция поиска сигналов по заданным условиям.

Но диалектика современного технического развития такова, что, тот кто был вчера первым не означает, что он и сегодня лидер. А диалектика в отношении к различным техническим решениям определяется подходом «вчерашнее решение было хорошо вчера, а сегодня есть новые более совершенные решения».

Рисунок 14 для большей наглядности сравнения демонстрирует как перечень режимов схемы синхронизации, так и перечень условий поиска сигналов. В дальнейшем на всех рисунках, полученные с экранов осциллографа Tektronix DPO-4000, будем сохранять родной английский интерфейс, а при необходимости перевод на русский язык тех или иных режимов или терминов приводится в переводе автора данной публикации. Это связано с тем, что в настоящий момент перевод интерфейса на русский язык, в некоторых местах, некорректен до степени подмены основных технических понятий и терминов, что вводит пользователей в существенное заблуждение. И я глубоко надеюсь, что в последующих прошивках эти досадные недочеты будут устранены.

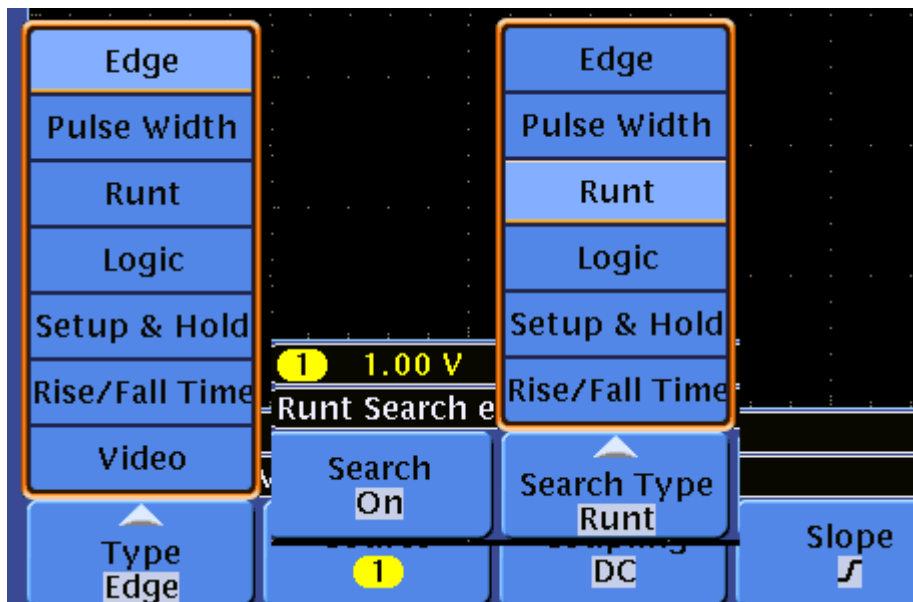


Рисунок 14

Из рисунка 14 видно, что отличие режимов синхронизации и поиска сигналов состоит лишь в том, что в режиме поиска сигналов отсутствует поиск по видео сигналам, ну это и понятно.

В качестве другой аналогичности этих двух режимов приведем пример поиска ранта (Runt) и синхронизации по ранту. Рисунок 15 отображает окна настройки обоих режимов одновременно, а так же минимальные пределы длительности ранта в обоих случаях.

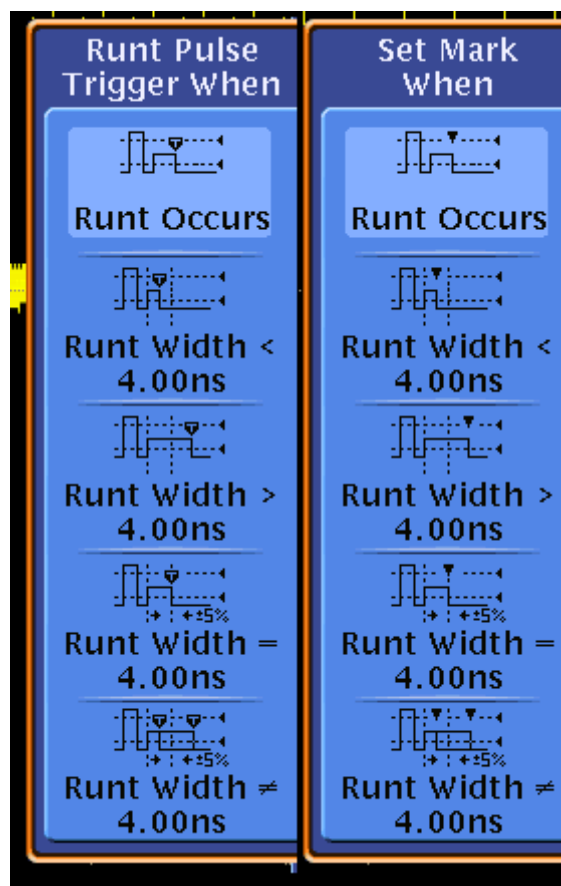


Рисунок 15

Сравнения по всем другим режимам с картинками приводить нет смысла.

Режим Wave Inspector осциллографов Tektronix функционирует вполне успешно до тех пор, пока дело не доходит до серьезных вычислений (но про эту «особенность» DPO-4000 к размышлению уже писалось не однократно). Попробуем на цифровом осциллографе просмотреть спектр сигнала, например, частотно модулированный сигнал с несущей 100 МГц, девиацией 200 кГц и частотой модулирующего колебания 1 кГц. Для целей поиска гармоник очень кстати воспользоваться режимом

WaveScan для осциллографа LeCroy и режимом Wave Inspector для осциллографа Tektronix. Режим поиска зададим по фронту (если в спектре сигнала есть гармоника, то у нее просто обязан быть фронт!). Для осциллографа LeCroy результат поиска представлен на рисунке 16, и процесс занял пару секунд. Частота дискретизации 5 ГГц, память 25М (но эти параметры не так важны для поиска), пороговый уровень поиска фронта – 38,8Дб.

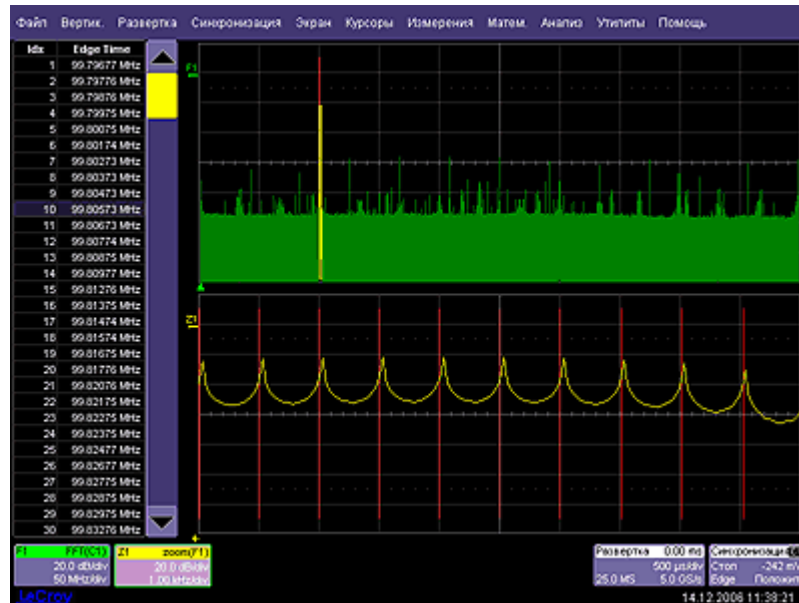


Рисунок 16

Теперь очередь за Tektronix DPO-4000. Частота дискретизации 2,5 ГГц, память 1М (модель DPO-4032, но эти параметры тоже не так важны для поиска, ну будут гармоники отображены чуть похуже – это не страшно), режим поиска по фронту, пороговый уровень -38,8 Дб. Жмем кнопочку «Поиск» - результат поиска 275 фронтов и маркер есть на нужном месте - все как положено (см. рисунок 17 и тихо прошипим, сколько это заняло времени).

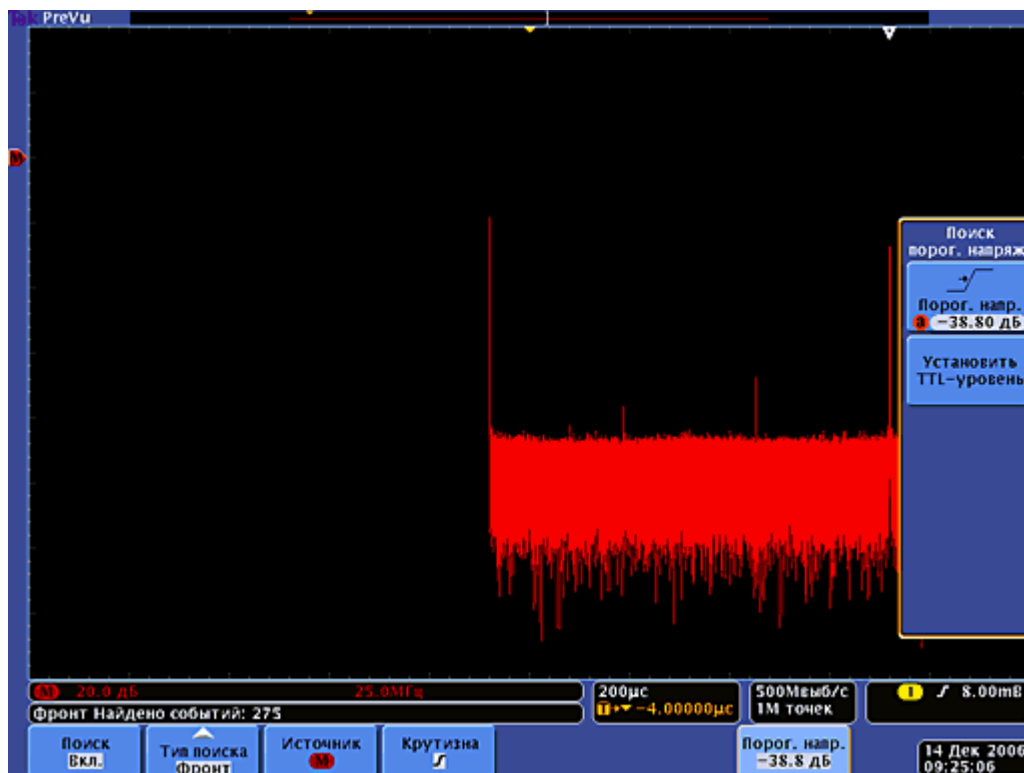


Рисунок 17

Далее, согласно инструкции по эксплуатации, жмем кнопочку «следующий маркер», после чего DPO-4032 используя режим масштабирования должен четко показать растяжку с этим следующим маркером. Но вся эта «стая» маркеров дружно улетает с экрана осциллографа, а на поле растяжки полная чернота. Очевидно от возмущения даже маркеры с основного сигнала слетели в черноту - смотри рисунок 18.

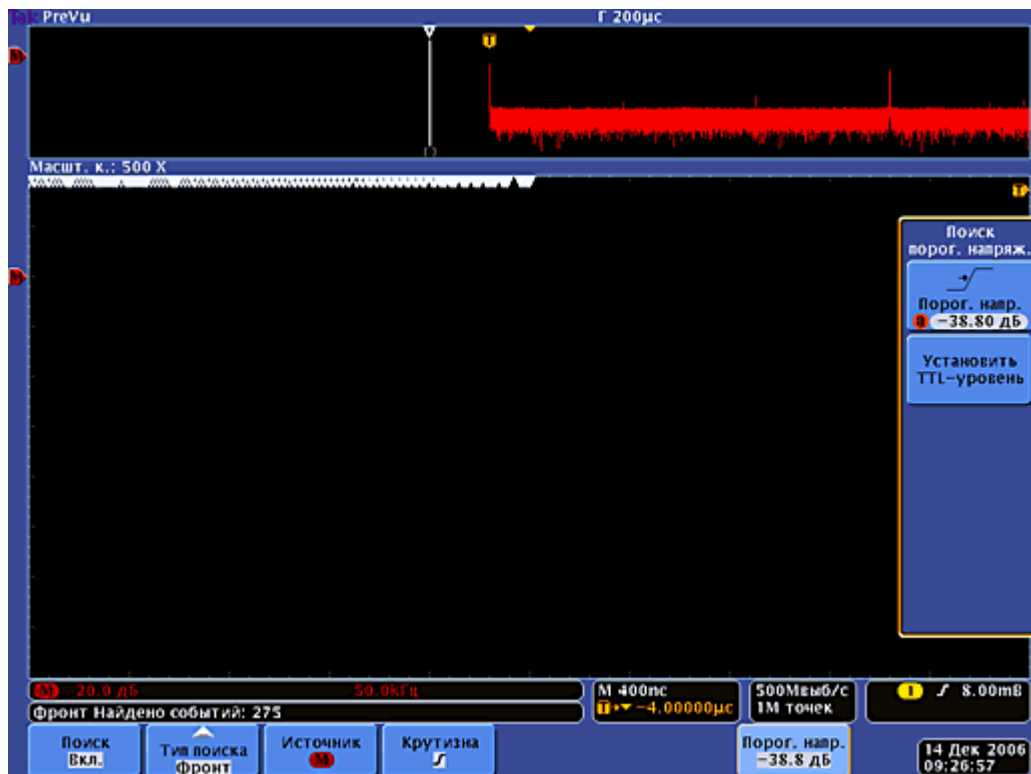


Рисунок 18

Что они там показывают и кому? Судя по основной спектрограмме - там вообще ничего нет. Попытка номер два, органами управления БПФ, придадим спектрограмме поле презентабельный вид. Вот они 275 маркеров - снова на поле спектрограммы и готовы к новой попытке растяжки - см. рисунок 19. Снова включаем режим поиска по заданным условиям и...

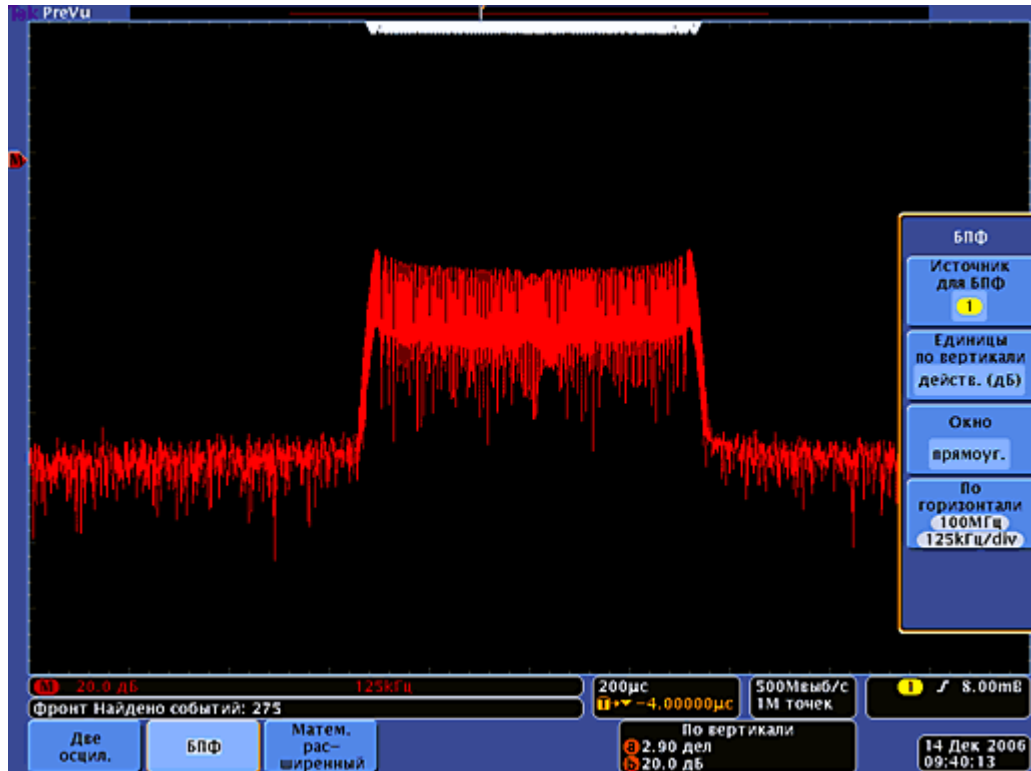


Рисунок 19

Блин!!! Опять не получилось!!! Вся «стая» маркеров, как воробушки, в ряд расселись над растяжкой спектрограммы видно совсем не понимая – что же от нее хотят (рисунок 20 и поле растяжки)? А хотят-то простого - поиска участка сигнала по заданным условиям, согласно заложенного алгоритма. Один маркер – один фронт спектрограммы. 275 маркеров, должны встать на 275 фронтов спектрограммы. И, если обратить внимание на верхнюю спектрограмму то, после попытки растяжки

маркеры, которые в начале правильно располагались на основной спектрограмме, теперь тоже скукожились в один треугольник. А-я-яй, разве же так поступают «настоящие» осциллографы?!

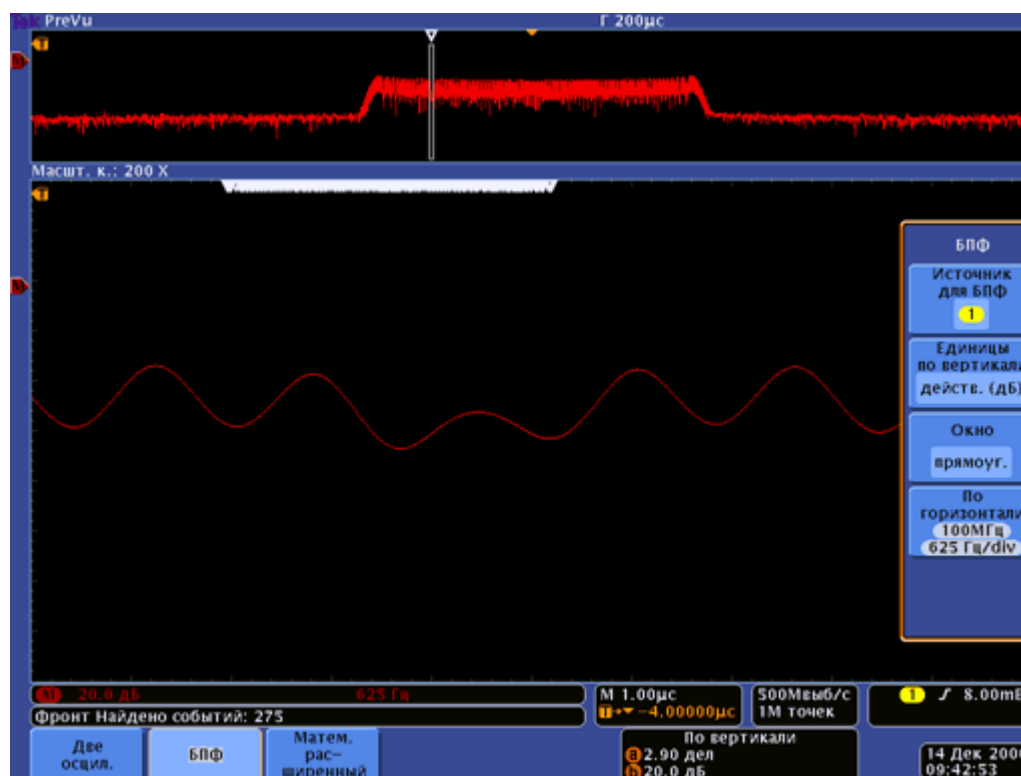


Рисунок 20

Ну да... это, похоже, очередной «жучок» в софте, который скоро исправят в Tektronix. Господа, не переживайте - все ошибаются.

Сколько еще «жучков» ползает по софту Tektronix? Господа «тренеры» команды Tektronix читающие этот сарказм, попросите кого-нибудь исправить и этот «баг» в следующих версиях софта. А заодно попросите и мне что-нибудь подарить на Новый Год – не зря же мне заниматься тестированием ваших «Бета-версий».

Основные отличия режимов Tektronix Wave Inspector и LeCroy WaveScan сведем в таблицу 1.

Режимы	LeCroy WaveScan	Tektronix Wave Inspector
Модели и серии	Стандартная функция для осциллографов серий WaveRunner Xi; WavePro; WaveMaster; WaveExpert и осциллографы серий SDA. Для осциллографа WaveRunner – опция. Стандартная функция для осциллографов серий WaveSurfer Xs, но с ограничением функций в пределах возможностей осциллографа.	Только для осциллографов серии DPO-4000
Режимы поиска		
Фронтов	Есть	Есть
Рантов	Есть	Есть, но без анализа амплитуды
Немонотонностей	Есть	Нет
По результатам измерений	Есть, число измерений зависит от типа осциллографа и установленных опций	Нет
Логического сигнала	Нет	Есть
Времени установки и фиксации	Нет	Есть
Времен нарастания и спада	Есть	Есть
По шинам CAN, I2C, SPI	Есть	Есть
Дополнительно		
Пределы значений	от - 179,76931e+306 секунд	От 4 нс до 8

поиска параметров по временной оси	до +179,76931e+306 секунд; индикация 7 разрядов	секунд; индикация 3 разряда
Программирование последствий при обнаружении условий поиска	Есть 6 различных последствий	Нет
Формирование таблицы измерений	Есть	Нет
Условия отбора		
Отбор значений больше заданного параметра	Есть	Есть
Отбор значений меньше заданного параметра	Есть	Есть
В пределах условия «заданное значение \pm абсолютное отклонение»	Есть	Нет
Вне пределов условия «заданное значение \pm абсолютное отклонение»	Есть	Нет
В пределах «заданное значение \pm относительное отклонение»	Есть, относительное отклонение от 0% до 100%	Есть, относительное отклонение всегда 5%
Вне пределов «заданное значение \pm относительное отклонение»	Есть, относительное отклонение от 0% до 100%	Есть, относительное отклонение всегда 5%
Отбор редких событий	Есть	Нет
Отбор событий по статистике измерений	Есть	Нет
Статистически анализ		
Осциллограммы наложения	Есть, за исключением серии WaveSurfer Xs	Нет
Построение гистограмм	Есть, за исключением серии WaveSurfer Xs	Нет
Число регистрируемых событий	10,000	2,000

С Новым годом всех! И всех сотрудников московского представительства Tektronix и дилеров Tektronix тоже!

Литература:

1. А.А. Дедюхин, к.т.н. А.В. Пивак [«Использование специальных режимов схемы синхронизации и развертки ЦЗО для регистрации сложных сигналов»](#);
2. А.А. Дедюхин [«Измерения в цифровых осциллографах и обработка результатов измерения»](#).