

КАК ПОЙМАТЬ ТО, ЧТО НЕ ВИДНО НА ЭКРАНЕ ОСЦИЛЛОГРАФА?

HOW TO CATCH THE INVISIBLE ON THE OSCILLOSCOPE SCREEN?

«Видишь суслика? — Нет. — И я не вижу. А он есть.» (Из кинофильма «ДМБ»)

Героям фильмов про физиков и лириков середины прошлого века в определенной степени везло — у них не было необходимости выбирать себе инструмент для исследований. Набор стандартных лабораторных приборов того времени скромнен — осциллограф и различные виды самописцев, шуршащие ленты которых во всех советских фильмах внимательно разглядывают люди в лабораторных халатах.

Прошло не так уж и много времени, но с приходом компьютерных технологий разительно изменился и лабораторный инструментарий — «пламенным сердцем» большинства приборов стали специализированные процессоры, аналого-цифровые преобразователи и микроконтроллеры, встроенная память. Развитие средств регистрации тоже не

остановилось, а пошло по двум направлениям — создание специализированных электронных регистраторов (самописцев) и использование самого прибора для записи результатов измерений. При необходимости постоянной (или многократной) регистрации параметров физических величин удобно использовать стационарные регистраторы, как ленточные, так и электронные, где время безостановочной записи может



Рис. 1. Мультиметр DMM6500 компании Keithley



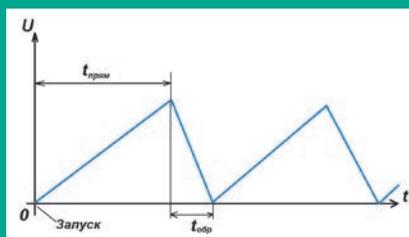
Рис. 2. Модульная измерительная система Rigol M300

измеряться сутками и неделями. Но, если возникает необходимость запомнить и проанализировать процесс оперативно, то разворачивать такие системы неудобно и затратно. Поэтому большинство современных лабораторных приборов способно сохранять данные измерений. Как правило, объем внутренней памяти достаточно мал и не позволяет сохранять файлы больших объемов. В этом случае на помощь приходит либо внешний накопитель, либо коммуникация с компьютером и специализированное ПО. К таким устройствам можно отнести и специализированные измерители-регистраторы, типа мультиметра DMM6500 компании Keithley (рис. 1), имеющего 16-битный

Одна из особенностей цифрового осциллографа — наличие так называемого «мертвого времени». Как известно, в аналоговом осциллографе «мертвое время», т.е. период времени, в который не происходит отображение сигнала, достаточно мало и определяется временем обратного хода луча, длительность которого в разы меньше времени прямого хода развертки.

В цифровом осциллографе «мертвое время» — это процесс обработки данных последовательных выборок от предыдущего захвата и вывод осциллограммы на экран. Понятно, что чем выше скорость обновления осциллограмм, тем меньше значение «мертвого времени». При поиске и регистрации редких аномалий или непериодических сигналов фактор «мертвого времени» играет существенную отрицательную роль, т.к. аномалия может попасть в период «мертвого времени» и не будет захвачена и отображена на дисплее.

Во многих случаях продолжительность «мертвого времени» осциллографа может во много раз превышать длительность отображаемого на дисплее сигнала. В настоящее время большинство распространенных осциллографов имеет скорость захвата от 10 до 30 тысяч осциллограмм в секунду. Можно подсчитать, что например, для осциллографа со скоростью 10000 осц/с осциллограммы будут обновляться один раз в 0,1 мс. При развертке 10 нс/дел и 100 нс на весь экран (10 делений) длительность «мертвого времени» будет в 1000 раз больше длительности захваченного и отображаемого сигнала. А, например, у осциллографа ADS-6122 скорость захвата осциллограмм составляет 75000 осциллограмм в секунду, т.е. осциллограммы на экране обновляются со скоростью примерно 1 раз в 13 мкс. При том же коэффициенте развертки 10 нс/дел, с учетом того, что широкоэкранный дисплей имеет 15 делений, т.е. 150 нс на весь экран, «мертвое время» превышает длительность захваченного сигнала всего лишь в 86 раз. В какой момент появиться аномалия, и будет ли она захвачена или попадет в «мертвое время», неизвестно, но вероятность захвата ее осциллографом с более высокой скоростью обновления осциллограмм значительно выше (об увеличении скорости захвата и уменьшении памяти для обнаружения редких аномалий мы уже писали в прошлых номерах журнала).



В какой момент появиться аномалия, и будет ли она захвачена или попадет в «мертвое время», неизвестно, но вероятность захвата ее осциллографом с более высокой скоростью обновления осциллограмм значительно выше (об увеличении скорости захвата и уменьшении памяти для обнаружения редких аномалий мы уже писали в прошлых номерах журнала).



Рис. 3. Аномалия синусоидального сигнала

АЦП и способного оцифровывать со скоростью 1 Мвыб/с или, например, модульную измерительную систему M300 от компании Rigol (рис. 2), имеющую расширяемую до 320 каналов измерения емкость и скорость сканирования до 500 каналов/с, с последующей трансляцией на компьютер.

В такой же степени тема сохранения данных затронула и основное средство визуализации физических процессов — осциллограф, с помощью которого можно отследить значительно более «быстрые» процессы,

чем могут зафиксировать указанные выше приборы.

Все современные цифровые осциллографы как минимум умеют сохранять в памяти информацию о сигнале в символьном виде (в различных форматах: *.csv, *.bin, *.txt) или графические файлы — «копии» экрана. Тем не менее, такие методы сохранения информации не могут удовлетворить пользователей, в силу того, что на статичных изображениях осциллограмм, даже при правильно установленной системе запуска, не всегда можно уловить искажения или изменения динамики сигнала. А сохранение в символьном или в текстовом виде не особенно актуально, т.к., к примеру, проанализировать таблицу из 10000 строк можно, но это крайне неудобно. Интерес представляет запись сигнала с возможностью его дальнейшего воспроизведения.

Что предлагают производители для решения подобных задач?

Рассмотрим два наиболее распространенных метода.

В настоящее время осциллографы имеют различные возможности для фиксации аномалий сигнала (рис. 3) или редких событий в длинные промежутки времени. Вспомним опять ленточный самописец, что может быть лучше — включил на малой скорости и будет он рисовать стрелкой несколько суток, а то и недель, без вмешательства оператора. По аналогии, можно подключить к осциллографу внешний USB-накопитель или подключить осциллограф к компьютеру и, используя специализированное ПО, сохранять данные на ПК. В этом случае, понятно, период записи будет ограничиваться только объемом накопителя, но...

РУЛОНЫ ЛЕНТ ШУРШАЩИХ

Отсутствие ограничения на длительность записи вызывает только положительные эмоции, казалось бы, чем больше информации, тем лучше. Однако при обычной записи в память неперiodических (или просто редких)



Рис. 4. Осциллограф АКТАКОМ ADS-6122

сигналов и аномалий, полезной информации мало, большая часть записи не содержит данных об искомом сигнале и ухудшает качество последующего анализа. Возникает парадокс — для захвата редкого со-

бытия надо захватить как можно больше осциллограмм, но чем больше захвачено данных, тем трудней их анализировать и искать нужный сигнал.

Кроме того, конструктивные особенности цифровых осциллографов и наличие так называемого «мертвого времени» не позволяют фиксировать сигнал постоянно, а это снижает вероятность захвата редкого события или делает его вообще невозможным.

Тем не менее, необходимость фиксации редких событий с использованием осциллографии существует и в научной, и в инженерной области, поэтому все производители измерительных приборов уделяют этой проблеме большое внимание.

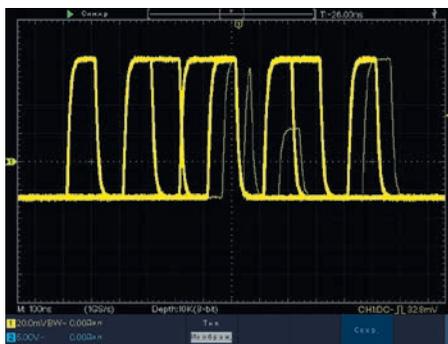


Рис. 5. Сигнал с редкой аномалией на экране осциллографа ADS-6122

Для поиска редких аномалий или полезных сигналов с большими временными промежутками (такие как импульс РЛС или кадры/пакеты данных последовательных шин) используются различные методы, но сегодня наиболее распространены два варианта: метод покадрового регистратора и технология сегментированной памяти.

Режим покадрового регистратора,

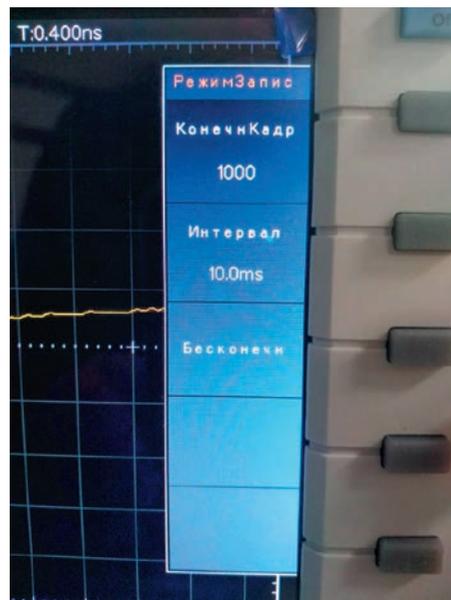


Рис. 6. Меню установки режима записи ADS-6122

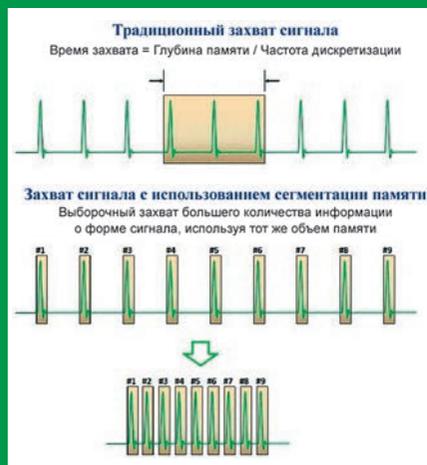
обычно, используется в приборах бюджетного класса, в то время как сегментированная память — это атрибут более сложных и дорогих приборов.

Конечно, современные цифровые осциллографы имеют большой выбор средств запуска захвата по нарушениям стандартного сигнала или регистрации редких сигналов в ждущем режиме, но надо понимать, что для установки параметров триггера необходимо иметь хоть какое-то представление о параметрах искомого объекта, а в большинстве случаев измерить или определить параметры аномалии весьма затруднительно.

ПОКАДРОВЫЙ РЕГИСТРАТОР (НА ПРИМЕРЕ ОСЦИЛЛОГРАФА АКТАКОМ ADS-6122)

В режиме покадрового регистратора осциллограф сохраняет в памяти определенное количество кадров осциллограмм. В случае ADS-6122

При определении редких аномалий или сигналов с большими временными промежутками в настоящее время в осциллографии используются технология «сегментированной памяти». У разных производителей данная технология носит разные названия и имеет некоторые отличия, но принцип работы примерно аналогичен. Сегментированная память может эффективно расширить время для сбора, путем деления доступной памяти на более мелкие сегменты. После установки условий запуска, осциллограф выборочно оцифровывает только важные части формы исследуемого сигнала с высокой частотой дискретизации и затем устанавливает временные метки для точного определения времени каждого события запуска. Это позволяет осциллографу записать большее количество событий синхронизации в виде одиночных записей в рамках большей записи (кадра), а затем просматривать каждую запись и выполнять ее измерения индивидуально. Метки времени отображают абсолютное время запуска для конкретного кадра и относительное время между запусками двух конкретных кадров.



(рис. 4), прибор может сохранить в память 1000 кадров, причем запись возможна как через определённый постоянный интервал времени (при медленно изменяющихся процессах), так и в ждущем режиме, при соответствующих установках системы запуска, что для регистрации редких событий более актуально. При сохранении во внутреннюю память, максимально можно установить запись 1000 кадров, причем количество кадров не зависит ни от установленной глубины памяти, ни от коэффициента развертки. В случае сохранения на внешний USB-носитель, в меню появляется еще одна кнопка «Бесконечно», т.е. запись будет производиться, пока память USB-носителя не заполнится полностью. В обоих случаях интервал между сохраняемыми кадрами устанавливается от 10 мс до 10 с. Конечно, устанавливаемый интервал сохранения кадров должен быть меньше, чем предполагаемый интервал появления аномалий.

Для примера, рассмотрим регистрацию сигнала с редкими аномалиями, сгенерированный с помощью демонстрационной платы, общий вид сигнала приведен на рис. 5.

В меню устанавливаем параметры записи, например запись 100 кадров с интервалом 10 мс (рис. 6).



Рис. 7. Меню установки параметров записи ADS-6122

Поскольку использовать режим постоянной записи нецелесообразно, в установках запуска сразу включаем ждущий режим.

Просмотр тоже не представляет труда, нажимаем экранную кнопку «Режим» (рис. 7) и в открывшемся

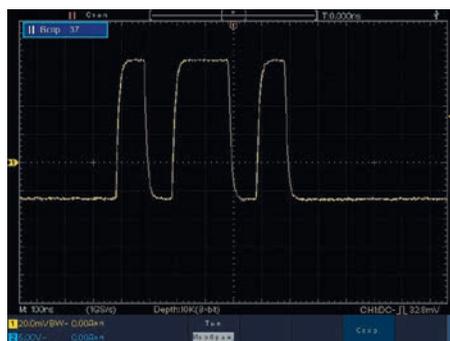


Рис. 8. Сигнал без аномалии на дисплее ADS-6122

вертикальном меню выбираем «Воспроизведение». Просмотр, записанных осциллограмм, тоже можно настраивать, в вертикальном меню можно установить последовательность кадров для просмотра или выбрать кадр по номеру. Если надо увидеть динамику изменения, то нажав кнопку «РежВоспр» можно переключаться между однократным показом или циклическим воспроизведением серии кадров.

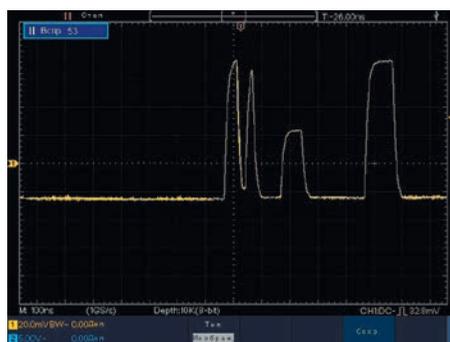


Рис. 9. Аномалия, захваченная в ждущем режиме на кадре 53 на дисплее ADS-6122

В нашем случае осциллограф записал 100 кадров и при последующем просмотре помимо нормального импульсного сигнала (рис. 8) только в 53 кадре отобразилось искажение тестового сигнала — аномалия (рис. 9). На первый взгляд задача решена.

К сожалению, не все так хорошо. Независимо от того, сколько событий запуска приходится на один кадр, он всегда будет формироваться по первому событию, и если следую-

щее событие запуска возникло чуть позже, чем записан кадр, то оно уже попадет в «мертвое время» и записано не будет.

Кстати, небольшой возврат к началу статьи про оцифровщики-регистраторы. Изучая режим записи в осциллографе ADS-6122, мы вспомнили, что несколько раз возникал вопрос от пользователей — «А нельзя ли использовать осциллограф в качестве оцифровщика и сразу записывать процесс на некий внешний



Рис. 10. Осциллограф смешанных сигналов Tektronix MSO58

носитель?» и попытались определить, в каком виде осциллограф записывает осциллограмму на внешний USB носитель. Используя в качестве источника сигнал 1 кГц на выходе калибратора записали несколько *.bin файлов на SSD диск в

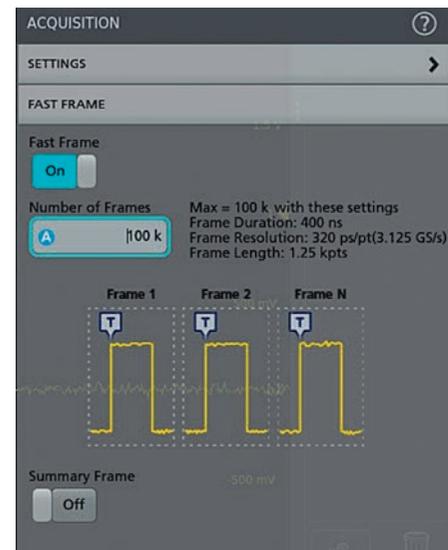


Рис. 11. Окно установки режима Fast Frame в осциллографах Tektronix серии MSO5

режиме «Запись» и проанализировали полученные данные. В итоге запись 1000 кадров при развертке 10 нс/дел, частоте дискретизации 500 Мвыб/с и глубине памяти 10 кБ дает файл объемом 3,8 МБ. При просмотре файла обнаружили, что в файл записывается не весь буфер памяти, и даже не та часть, которая отображается на экране, а записыва-

Таблица 1

ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСЦИЛЛОГРАФОВ АКТАКОМ ADS-6122 И TEKTRONIX СЕРИИ MSO5

Параметр	ADS-6122	Tektronix MSO5
Полоса пропускания, МГц	100	350, (опционально до 2 ГГц)
Количество каналов	2	4 аналоговых + 32 цифровых (опционально до 8 аналоговых и 64 цифровых)
Частота дискретизации	1 Гвыб/с	6,25 Гвыб/с на канал
Глубина памяти	40 М точек	62,5 Мточек на канал (опционально 125 М)
Скорость захвата	75000 осц/с	>500000 осц/с
Вертикальное отклонение	1 мВ/дел... 10 В/дел	1 мВ/дел... 10 В/дел
Горизонтальная разверт	2 нс/дел... 1000 с/дел	200 пс/дел... 1000 с/дел
Дисплей	20 см, цветной, TFT, 800×600 (сенсорный опционально)	15,6" WVGA 1920×1080, сенсорный, мультитач
Интерфейс	USB host, USB device, LAN, VGA (опция), WiFi (опция)	USB host, USB device, LAN (LXI), Display Port, DVI-D, Video Out

ются только точки, которыми сигнал отображается на экране, при этом длина записи фиксированная и составляет 760 точек (на канал). Информация записывалась на диск со скоростью примерно 2500 событий в минуту (около 40 в секунду), т.е. с учетом используемого в осциллографе интерфейса USB 2.0 — примерно 150-160 кБ/с. Стало понятно,



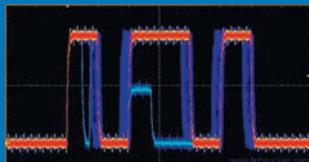
Рис. 12. Генератор Tektronix AFG31021

что использовать режим записи осциллограмм можно с любым USB носителем, даже с относительно медленными «флэшками». Со слов разработчиков, также необходим технологический интервал между записываемыми кадрами примерно 10 мс (это видно в настройке «НастрКадр» в режиме «Запись» (рис. 6), при установке интервала между кадрами минимально возможный интервал составляет 10 мс), поэтому теоретический максимум скорости записи на внешний носитель составляет 100 событий в секунду.

УБЕРЕМ «МУСОР» — СЕГМЕНТИРОВАННАЯ ПАМЯТЬ

Естественным направлением дальнейшего развития стало желание избавиться от «мусора», т.е. элементов осциллограммы, не несущих информации в записанных кадрах. Следующим шагом после покадрового регистратора стало появление технологии сегментированной памяти.

Технология цифрового люминофора или цифрового фосфора заключается в цветовой визуализации различных элементов сигнала в зависимости от частоты их повторения. Осциллографы, использующие такую технологию, как правило, имеют дополнительный процессор (в компании Tektronix такой процессор называется DTX™), который формирует динамичную трехмерную базу данных, где на каждый пиксель экрана приходится одна ячейка памяти. После каждого запуска захвата, результаты текущей выборки сигнала обновляют ячейки базы данных цифрового люминофора, т.е. на дисплее пиксели, ячейки памяти которых обновляются чаще, будут светиться ярче. Это аналогично прибору с ЭЛТ, фосфорное покрытие которой обладает эффектом послесвечения и градациями яркости отражает частоту появления сигнала. В цифровых осциллографах появилась возможность отображать частоту появления (интенсивность свечения) разными цветами, например редкие сигналы или аномалии сигналов синим цветом, а чем выше частота, тем цвет становится «теплее» — оттенки красного и желтого (при желании, цветовую гамму можно изменить). Также можно изменить и длительность эффекта послесвечения, что еще больше усиливает визуализацию сигнала.



Отображение сигнала на экране осциллографа с использованием технологии DPO

ХАРАКТЕРИСТИКИ УНИВЕРСАЛЬНОГО ГЕНЕРАТОРА TEKTRONIX AFG31021

Таблица 2

Количество каналов	1
Формы сигнала	12 встроенных форм, произвольная форма
Диапазон частот	1 мГц...25 МГц
Амплитуда	10 Впп
Модуляция	АМ, ЧМ, ФМ, ЧМн, ШИМ
Режимы	Свиппирование, пакетный режим
Выборка	1 мквыб/с...2 Гвыб/с
Память	16 М
Дисплей	сенсорный 9"
Интерфейсы	USB device, USB host; LAN, GPIB

В технологии «сегментированной памяти» записывается не целый кадр на каждое событие синхронизации, как в покадровом регистраторе, а создается одиночная запись, из сумм которых формируется общая запись (кадр), при этом, в силу высокой скорости записи, вероятность попадания аномалий в кадр будет высока. Например, в режиме с использованием сегментированной памяти осциллограф Tektronix серии MSO5 (рис. 10) позволяет записать до 5000000 осциллограмм в секунду.

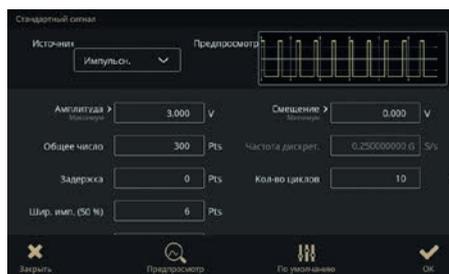


Рис. 13. Окно создания произвольного сигнала генератора AFG31021

В осциллографах Tektronix режим с использованием сегментированной памяти называется FastFrame™. На рисунке 11 представлено окно установки параметров режима FastFrame™ в меню выбора режима ACQUISITION осциллографов серии MSO5. Надо от-

метить, что при включении режима FastFrame™ установки, сделанные ранее в ACQUISITION/Settings, отключаются.

Перед началом исследований необходимо установить параметры запуска захвата. Далее, открывая окно установок режима FastFrame™, необходимо ввести только количество захватываемых кадров. При этом, увеличивая количество кадров, мы увеличиваем время захвата и обработки, а уменьшая количество — снижаем вероятность обнаружения искомого сигнала (или аномалии). Рядом с окном установки количества кадров отображается подсказка, какое максимальное количество кадров можно захватить при данных установках осциллографа, т.е. в определенных случаях можно изменить установки осциллографа для достижения компромисса — оптимального соотношения количества кадров, длительности записи и значения дискретизации.

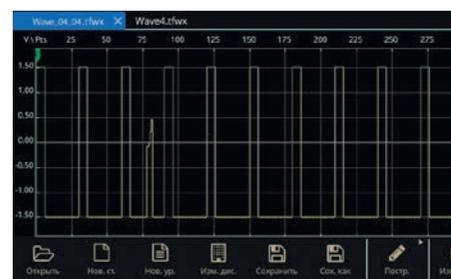


Рис. 14. Аномалия в последовательности прямоугольных импульсов на дисплее генератора AFG31021

В качестве источника сигнала используем генератор Tektronix AFG31021 (рис. 12), младшую модель в новой серии генераторов AFG3000. Отличительная особенность генератора — удобный сенсорный экран и наличие технологии InstaView («режима осциллографа», позволяющего отображать на экране реальный вид выходного сигнала). Большинство генераторов рассчитано на работу с согласованной нагрузкой 50 Ом. Однако, не всегда подключаемое устройство имеет такое сопротивление, поэтому форма выходного сигнала может исказиться и не соответ-

ствовать установленной, а режим InstaView позволяет визуализировать реальный сигнал на выходном разъеме прибора.

Попробуем создать аномалию сигнала и зафиксировать ее в режиме FastFrame™. Для этого в окне создания пользовательского сигнала (рис. 13) установим параметры и сгенерируем прямоугольный сигнал длительно-

ровать сигнал и различные неперіодические искажения, но не позволяет определить временные периоды записей событий, что необходимо для анализа.

Осциллограф с сегментированной памятью будет фиксировать любое событие, соответствующее условию запуска и формируя из отдельных записей полный кадр.



Рис. 15. Захваченный сигнал на дисплее осциллографа Tektronix MSO5, кадры № 1-9 не отображают аномалию

стью 20 нс и количеством повторов — 10 циклов. «Испорчим» его и в режиме ручного рисования, врисовав «аномалию» в сигнал (рис. 14).

В общем случае на экране осциллографа аномалия (или редкий сигнал) может отображаться достаточно быстро и не всегда удастся определить параметры искажения и настроить систему запуска таким образом, чтобы можно было увидеть и измерить параметры аномалии. Некоторое время назад прорывом стала тех-

В данном случае аномалия появилась в 10 кадре (рис. 15 и 16), где ее можно изучить и измерить. Следует отметить, что в отличие от технологии цифрового фосфора, все кадры, захваченные в режиме FastFrame™, имеют временные метки, что позволяет точно отследить момент появления аномалии от момента запуска.

Режим сегментированной памяти в осциллографах Tektronix серии MSO имеет целый ряд дополнительных возможностей, в том числе:

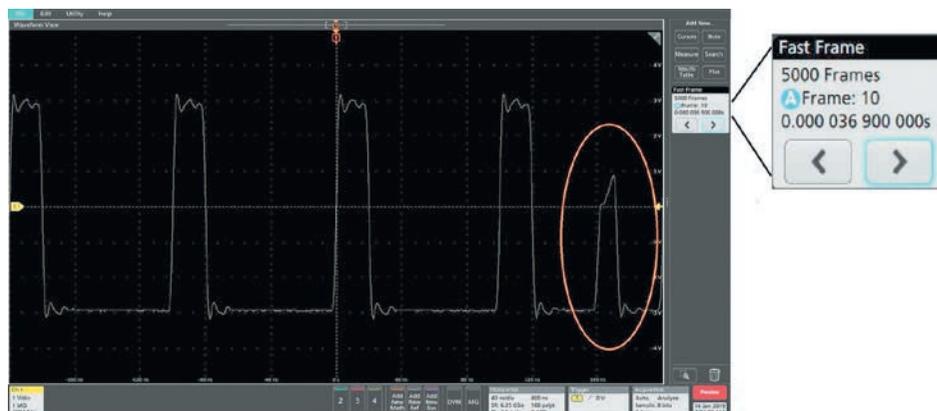


Рис. 16. Захваченный сигнал на дисплее осциллографа Tektronix MSO5, в кадре № 10 отображается аномалия

нология цифрового фосфора (DPO), которая позволяет накладывать записи «последовательно», в результате чего получается эффект, сходный со свечением люминофора в осциллографах с ЭЛТ — треки, по которым луч проходит чаще, светятся ярче, а треки аномалий и редких сигналов имеют меньшую светимость на экране.

Однако, технология цифрового фосфора позволяет только визуализи-

- получение и сравнение кадров для нескольких входных сигналов, как аналоговых так и цифровых;
- возможность использовать масштабирование при просмотре деталей сигналов;
- использовать одиночный или запуск по последовательности;
- в режиме FastFrame™ измерения производятся на всех захваченных кадрах, а не только в выделенном,

значения, помеченные «>» соответствуют измерениям в выделенном кадре;

- сбор статистики по всем кадрам захвата;
- сквозной поиск по всем кадрам;
- захваченный сигнал можно сохранить как опорный.

Основное достоинство технологии сегментированной памяти заключается в значительной экономии объема памяти при исследовании редких сигналов и аномалий с высокой частотой дискретизации на длительных интервалах времени и возможность временной привязки к событиям запуска.

Таким образом можно сказать, что в современной осциллографии, независимо от класса прибора, будь то осциллограф «Hi-end» класса для научных исследований или прибора среднего уровня для инженерных или радиолюбительских задач, есть инструменты для поиска, захвата и анализа нетипичных и неперіодических сигналов. Даже в тех случаях, когда трудно изначально определить параметры искомого сигнала для установки системы запуска, сигнал или аномалия могут быть захвачены и проанализированы, что позволит оптимизировать настройки системы запуска для последующего захвата.

Возможность захвата сигналов с большими временными интервалами востребована во многих областях науки и техники, в физических исследованиях, настройке коммуникационных систем, разработке и отладке разнообразной радиоаппаратуры. ☑

Technology keeps on developing and it also concerns laboratory equipment that achieves new functions and features. There come new processors, analog-to-digital converters and microcontrollers, internal memory. Development of recording devices also goes ahead in two directions — the creation of specialized electronic recorders and the use of the device itself to record the measurement results. Read the present article to get to know about the advantages used to catch the invisible with the oscilloscope.