

Осциллографы АКИП-4133 и АКИП-4133 / 1 с полосой пропускания 16 ГГц

Часть 2

УДК 621.317 | ВАК 05.11.08

Я. Россоский¹

В первой части статьи, опубликованной в десятом номере журнала «ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес» за 2019 год, было рассказано о ряде особенностей и характеристик широкополосных цифровых осциллографов АКИП-4133 и АКИП-4133/1. В данном номере рассматриваются другие возможности этих приборов.

ОТОБРАЖЕНИЕ СИГНАЛОВ

Отображение сигналов включает такие функции, как послесвечение, различные форматы экрана и его шкал, а также регулировки цвета.

В режиме послесвечения осциллограф обновляет отображение вновь собранными сигналами, но результаты предыдущих регистраций стирает не сразу, а по истечении установленного времени послесвечения, которое может быть выбрано в диапазоне от 0,1 до 20 с. Все предыдущие регистрации отображаются с пониженной яркостью, а новые – обычным цветом с нормальной яркостью.

В режиме «градация серого» (рис. 23) осциллограф использует пять различных степеней интенсивности одного

цвета. В процессе запоминания различная интенсивность выбранного цвета зависит от количества попадающих мгновенных значений сигнала в данный пиксель осциллограммы. Максимальному количеству попаданий соответствует наивысшая цветовая яркость, минимальному – низшая. Информация о зонах сигнала с наименьшим значением попаданий может представлять значительный интерес при изучении шумов, временных нестабильностей, а также составляющих дрейфа исследуемого сигнала. Период обновления может быть выбран в диапазоне от 1 до 200 с.

В режиме «градация цвета» (рис. 24) отображение формируется накопленными точками, имеющими различные цвета. Цвет индицирует плотность попадания мгновенных значений сигнала в данный пиксель

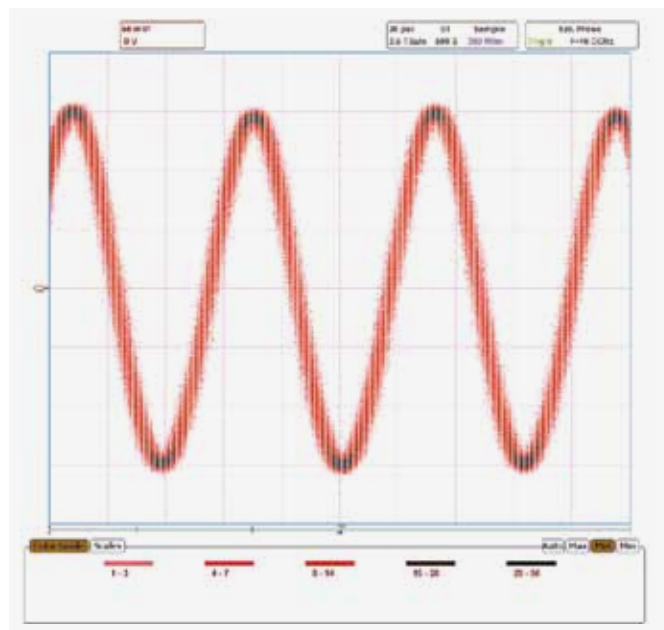


Рис. 23. 16-ГГц гармонический сигнал, отображаемый в режиме «градация серого»

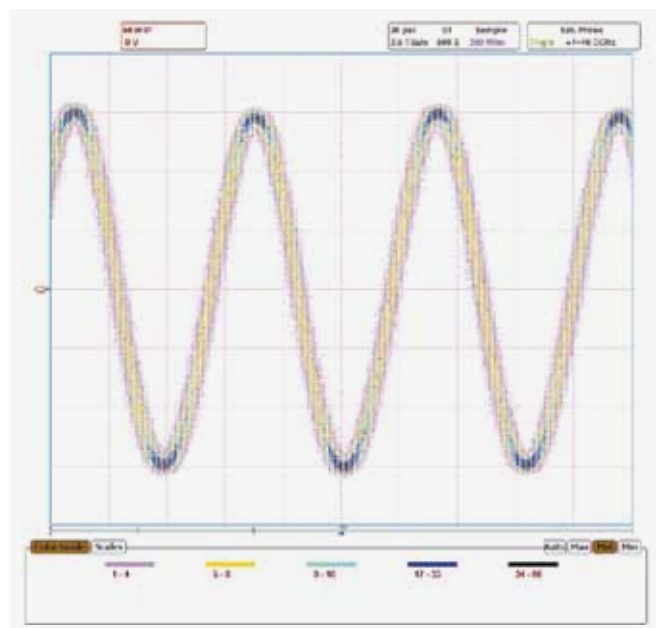


Рис. 24. 16-ГГц гармонический сигнал, отображаемый в режиме «градация цвета»

¹ ЗАО Eltesta, исполнительный директор, info@eltesta.com.



Рис. 25. Пример формата экрана с четырьмя независимыми шкалами

осциллограммы. Режим «градация цвета» полезно использовать при работе с гистограммами, глазковыми диаграммами, масками, то есть при статистических измерениях. Его также применяют при необходимости получить как можно больше визуальной информации о сигнале.

Режим «градация цвета» использует накопленную базу данных о сигналах для 257 точек по вертикали и 501 точки по горизонтали. За каждой точкой находится свой 28-разрядный счетчик. Любое попадание сигнала в точку экрана увеличивает значение кода, записанного в счетчик. Каждый цвет, используемый в режиме «градация цвета», представляет собой диапазон значений, записываемых в счетчик каждой точки в данный момент. В процессе сбора, когда общее число попаданий увеличивается, растет и значение диапазона, соответствующего каждому цвету. Максимальное значение, записываемое в счетчик, равно 268 435 455. Осциллограф АКИП-4133 использует пять цветов для формирования режима градации цвета. Каждый цвет может быть выбран из стандартного меню Windows. Период обновления здесь также может быть задан в диапазоне от 1 до 200 с.

Функция отображения определяет, какое число независимых шкал будет использовано при отображении информации – одна, когда вся информация совмещена на одном графике, две, когда вся информация отображается на двух графиках с отдельными вертикальными шкалами, или четыре, когда вся информация отображается на четырех графиках (рис. 25). При этом любой сигнал может быть перемещен на любой график.

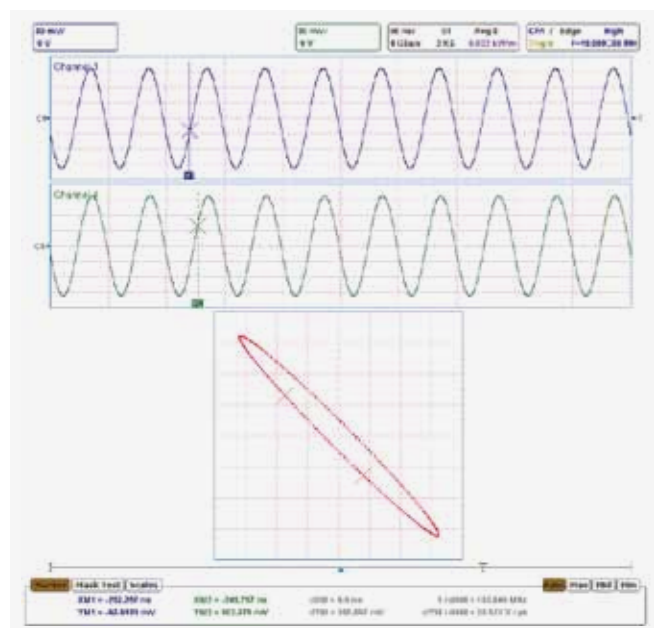


Рис. 26. Отображение с использованием форматов Y-T (два верхних графика) X-Y (нижний график)

Для проведения фазовых измерений используют XY-форматы отображения (рис. 26). В формате XY горизонтальная ось соответствует напряжению сигнала одного из источников, в то время как вертикальная – напряжению сигнала другого источника. В формате XY & Y-T отображаются осциллограммы обоих форматов – Y-T и XY. При этом формат Y-T расположен в верхней части экрана, а формат XY – в нижней части. Формат XY используется для сравнения частот или разности фаз сигналов, а также для отображения взаимной зависимости двух величин, например, тока от напряжения или напряжения от частоты.

Отметим также такой интересный формат, как «танDEM», при котором экран разделяется на несколько шкал не только по вертикали, но и по горизонтали (рис. 27).

АВТОМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛОВ

Осциллограф АКИП-4133 обеспечивает широкий спектр автоматических измерений. В нем предусмотрено свыше 50 типов измерений, относящихся к четырем категориям: амплитудные, временные, межканальные и спектральные. До 10 измерений может быть проведено одновременно (рис. 28).

К амплитудным относятся измерения таких параметров, как максимум, минимум, вершина, основание, размах, амплитуда, середина, среднее, среднее за период, среднеквадратическое значение, площадь, выброс и др. К временным относятся измерения периода, частоты, длительностей положительного и отрицательно-го фронтов, длительности импульса, скважности и др.

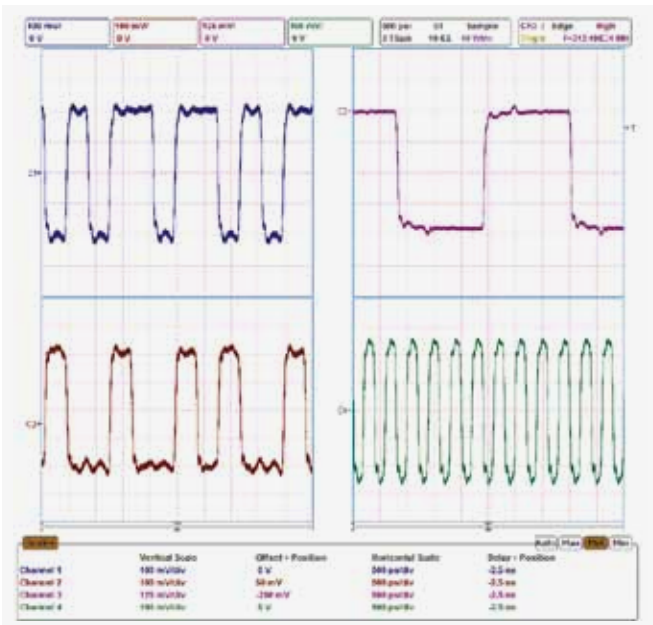


Рис. 27. Формат отображения «тандем»

К межканальным относятся измерения параметров (задержки, фазы и ослабления), выполняемые для двух сигналов (рис. 29). Спектральные измерения выполняются с использованием быстрого преобразования Фурье (БПФ).

Все алгоритмы измерений базируются на таких вспомогательных параметрах, как уровни вершины и основания сигнала по вертикали, значения порогов, а также горизонтальные границы. Уровни вершины и основания могут быть определены по гистограмме, заданы по минимуму

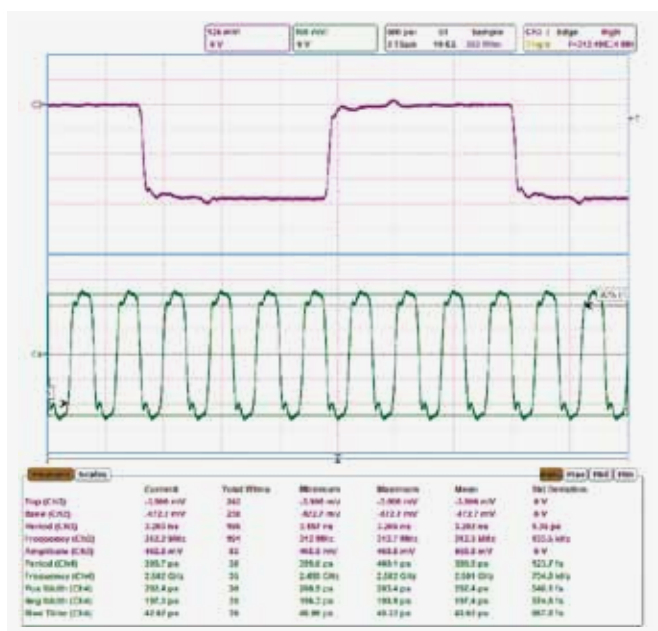


Рис. 28. Измерение десяти параметров в двух каналах

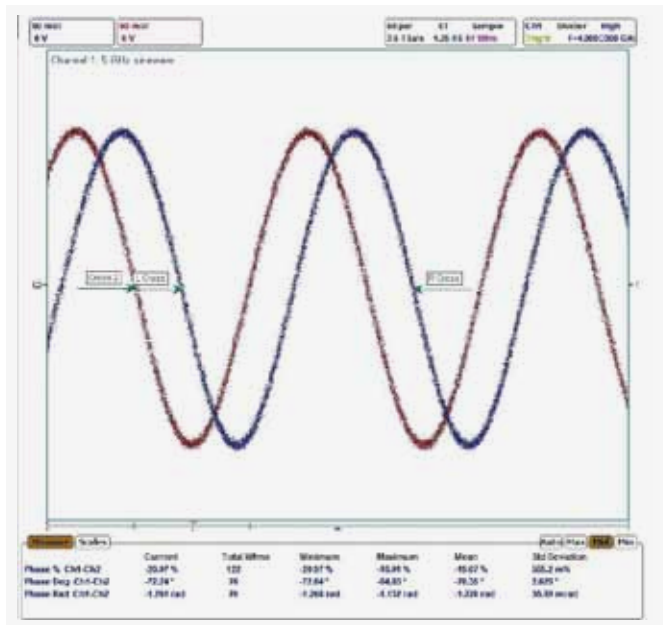


Рис. 29. Фазовые измерения для двух гармонических сигналов с частотой 5 ГГц

и максимуму сигнала или выбраны произвольно оператором. Пороги используют при измерениях фронта и среза и устанавливают в процентах от амплитуды, единицах вертикальной шкалы или в делениях. Стандартными порогами являются 10–50–90% и 20–50–80%. Горизонтальные границы задают произвольную часть шкалы, внутри которой выполняются измерения (рис. 30).

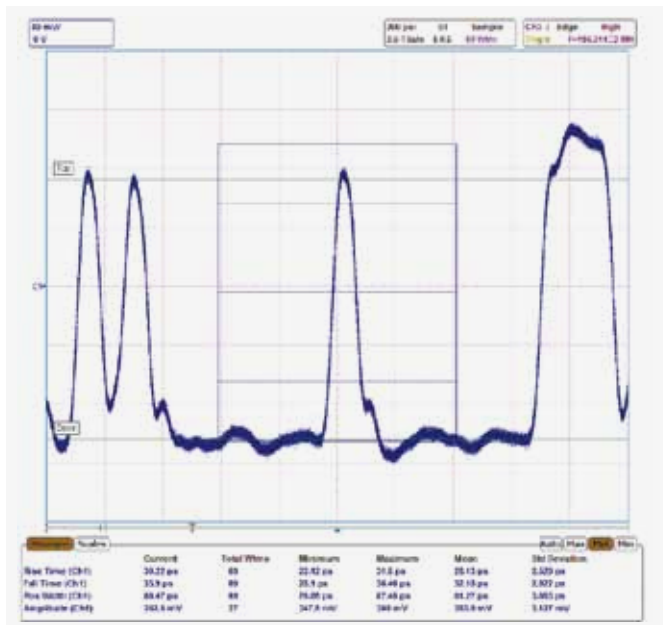


Рис. 30. Измерение параметров импульса внутри заданных горизонтальных границ

МАРКЕРЫ

Маркеры представляют собой перемещаемые по экрану вертикальные или горизонтальные линии, а также перекрестия этих линий с сигналами (рис. 31). Маркер можно установить в произвольную точку экрана.

Координаты маркера отображаются исходя из масштабов шкалы по вертикали и горизонтали, что делает маркерные измерения более точными, чем измерения по шкале. Два Y-маркера измеряют абсолютные значения по вертикали (напряжение) и их разность. Два X-маркера измеряют абсолютные значения по горизонтали (время) и их разность. Два XY-маркера совмещают маркер с сигналом, что делает измерения более точными, а также позволяет измерять крутизну между двумя точками пересечения маркеров с сигналами. Наилучшая разрешающая способность при маркерных измерениях: напряжения – 80 мкВ, временного интервала – 0,1 пс.

ГИСТОГРАММЫ

Гистограммы представляют собой статистическое представление результатов измерений сигнала. В осциллографе АК ИП-4133 используют два типа гистограмм – вертикальную и горизонтальную.

Вертикальная гистограмма представляет собой вероятностное распределение собранных о сигнале данных вдоль вертикальной оси внутри заданного окна на гистограммы. Информация, собранная на такой гистограмме, используется при статистическом анализе источника сигнала. Вертикальная гистограмма

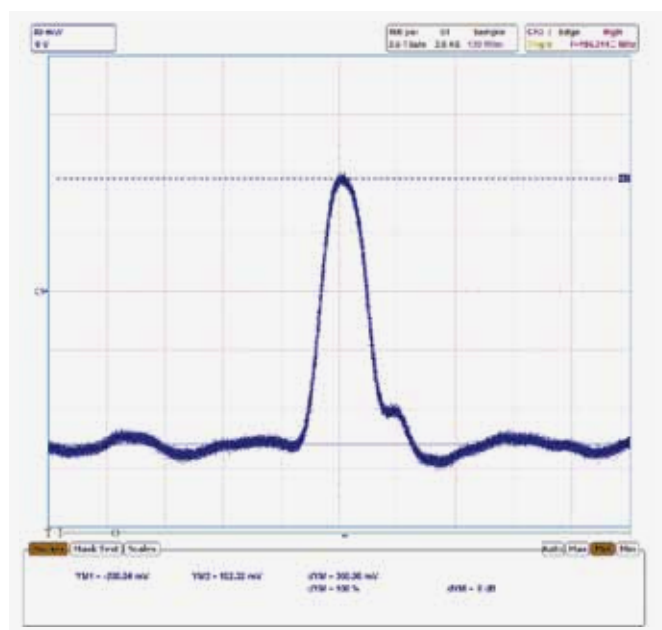


Рис. 31. Измерения амплитуды короткого импульса с помощью маркеров

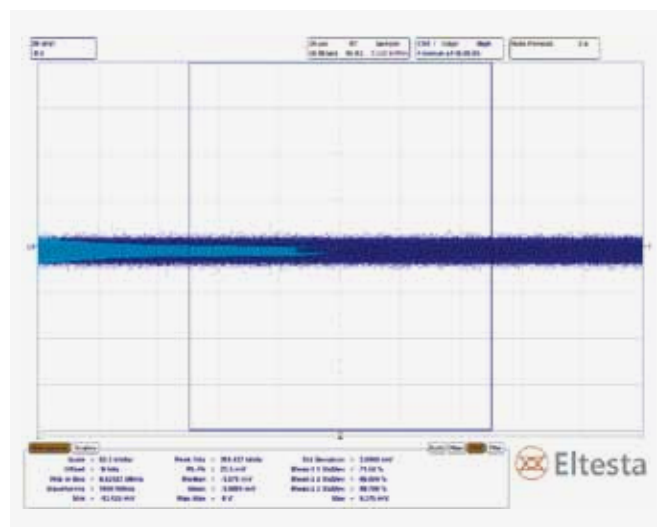


Рис. 32. Вертикальная гистограмма результатов измерения собственных шумов осциллографа АК ИП-4133 при выбранной полосе пропускания 16 ГГц. Измеренное стандартное отклонение (среднеквадратическое значение) равно 2,0906 мВ

является наиболее приемлемым способом измерения характеристик шумов исследуемых сигналов (рис. 32).

В перечень параметров как вертикальной, так и горизонтальной гистограммы входят: масштаб шкалы в событиях или в децибелах на деление; смещение гистограммы в событиях или в децибелах относительно ее основания; общее число событий внутри окна гистограммы; общее число сигналов, использованных при построении гистограммы; число событий, соответствующих пику гистограммы; ширина гистограммы; середина гистограммы; среднее значение гистограммы; значение стандартного отклонения (σ), а также процент событий внутри интервала, отстоящего на $\pm 1\sigma$, $\pm 2\sigma$ или $\pm 3\sigma$ от среднего значения.

Правильный выбор ширины окна вертикальной гистограммы позволяет повысить точность измерения шумов для конкретной точки сигнала на оси времени.

Осциллограф АК ИП-4133 имеет низкий уровень собственных шумов, зависящий от выбранной полосы пропускания. При полосе пропускания 16 ГГц его типовое среднеквадратическое значение не превышает 2,2 мВ, при полосе пропускания 450 МГц – 0,65 мВ, а при полосе пропускания 100 МГц – 0,45 мВ.

Горизонтальная гистограмма представляет собой вероятностное распределение собранных о сигнале данных вдоль горизонтальной оси внутри заданного окна гистограммы. Наибольшее применение горизонтальная гистограмма находит при измерении временной нестабильности отображаемых сигналов (рис. 33).

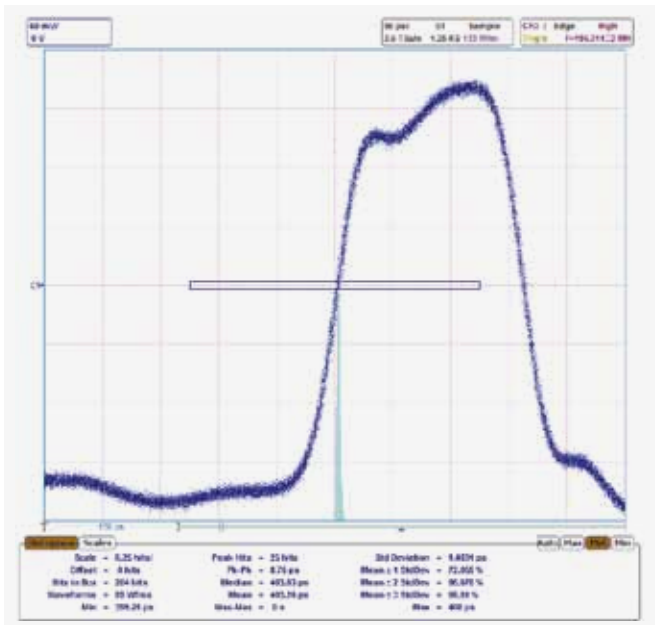


Рис. 33. Пример измерений временной нестабильности короткого пикосекундного импульса с помощью горизонтальной гистограммы. Измеренное среднеквадратическое значение временной нестабильности фронта импульса равно 1,4831 пс

Широкое применение гистограмма находит при измерениях глазковых диаграмм. Она, например, чрезвычайно чувствительна к поиску так называемых двух- или

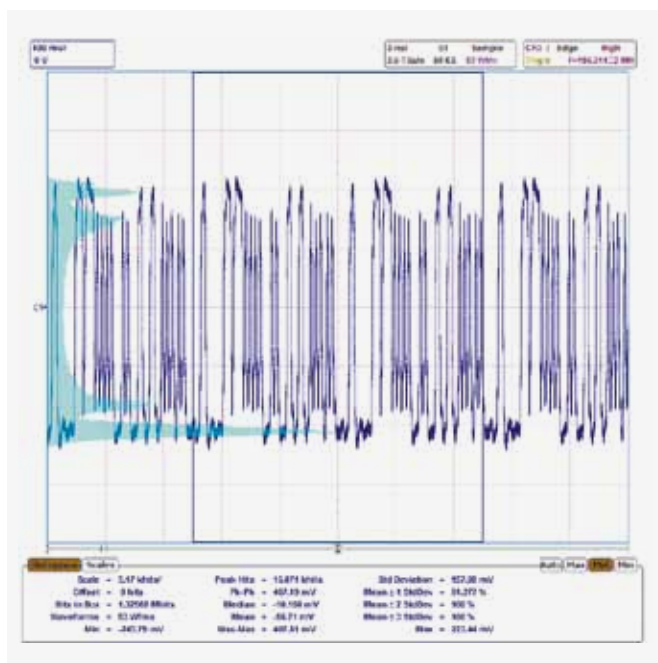


Рис. 34. Пример четырехгорбовой вертикальной гистограммы при наличии перекрестных искажений

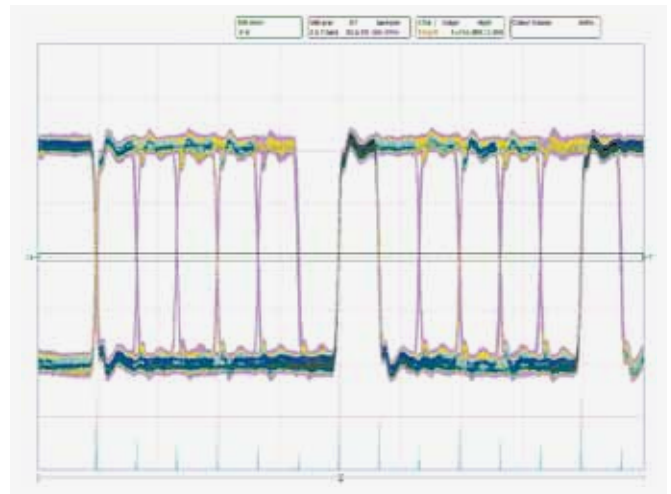


Рис. 35. Пример пачки гистограмм цифровой последовательности

многогорбовых глазковых диаграмм. Такие глазковые диаграммы возникают при искажениях, вызванных перекрестным влиянием одних битов последовательности данных на другие (рис. 34).

Горизонтальная гистограмма позволяет проводить сравнительную оценку временной нестабильности глазковой диаграммы «от бита к биту» (рис. 35). Форма каждой из гистограмм дает экспресс информацию о причинах, приводящих к нарушению целостности глазковой диаграммы.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ

Основываясь на данных о собранных сигналах, осциллограф АКІП-4133 позволяет провести одновременное вычисление до четырех математических функций. Любая математическая функция может быть выбрана в качестве оператора для одного или двух операндов (источников). Например, инверсия является однооперандной функцией, в то время как сложение – двухоперандной. В качестве операндов могут быть выбраны «живые» сигналы, запомненные сигналы или другие математические функции.

В осциллографе используется несколько категорий математических функций: арифметические (12 функций), алгебраические (14 функций), тригонометрические (12 функций), спектральные (6 функций), логические (7 функций) и др. Предусмотрена возможность редактирования формул.

К арифметическим относятся такие функции, как сложение, вычитание, умножение, деление, абсолютное значение, инверсия, полусумма, масштабирование и др. (рис. 36).

Из алгебраических функций доступны показательная (в том числе с основаниями e и 10), логарифмическая,

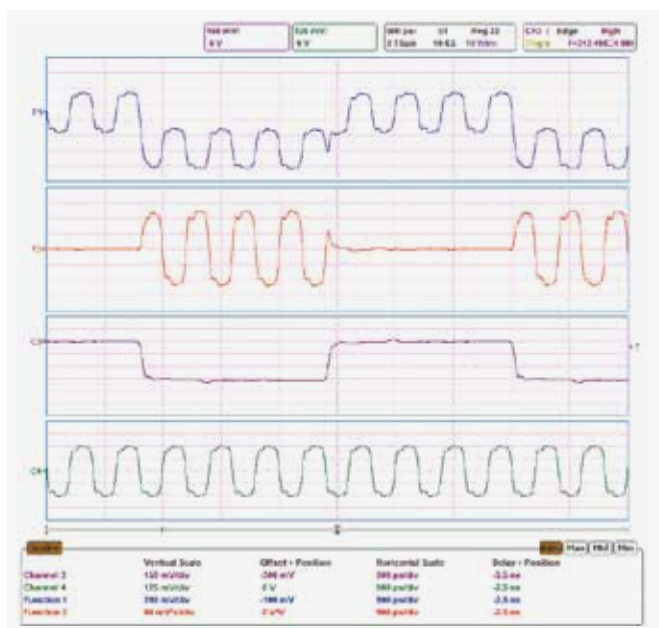


Рис. 36. Пример используемых арифметических функций. Фиолетовый цвет – канал 3; зеленый – канал 4; синий – сумма 3-го и 4-го каналов; красный – произведение 3-го и 4-го каналов

квадрат, куб, квадратный корень и др., а также операции дифференцирования и интегрирования (рис. 37).

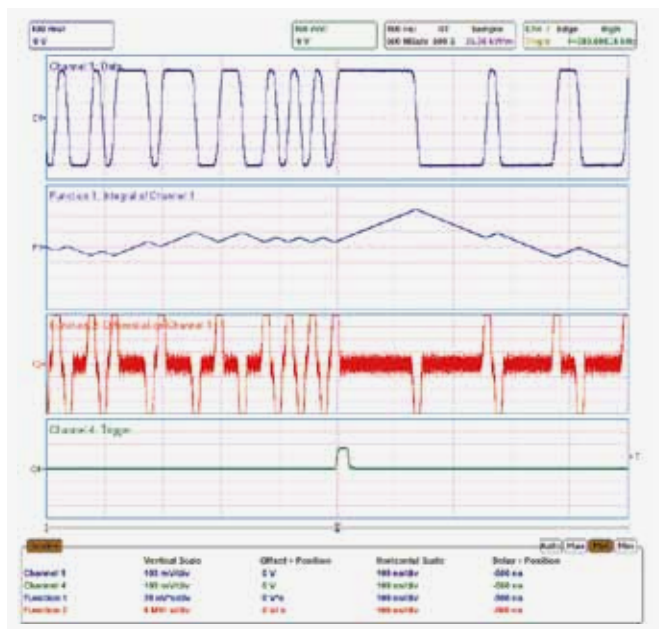


Рис. 37. Пример используемых алгебраических функций. Темно-синий – сигнал последовательности данных, зеленый – сигнал синхронизации данных, синий – интеграл входной последовательности, красный – дифференциал входной последовательности

К тригонометрическим функциям относятся синус, косинус, тангенс, котангенс, арксинус, арккосинус, арктангенс, арккотангенс, гиперболический тангенс и гиперболический котангенс.

К спектральным относятся такие функции, как прямое и обратное БПФ. Для компенсации ограничений, свойственных БПФ, оператор должен использовать окна БПФ. Тип окна определяет полосу и крутизну соответствующего математического фильтра. Осциллограф поддерживает шесть типов окон БПФ: прямоугольное, которое не изменяет данные о сигнале, собранные во временной области, и пять окон БПФ, имеющих различные функции фильтра во временной области – окно Хэмминга, окно Хеннинга, плоское окно, окно Блэкмана-Харриса и окно Кайзера-Бесселя.

К логическим относятся такие функции, как И, И-НЕ, ИЛИ, ИЛИ-НЕ, исключающее ИЛИ, исключающее ИЛИ-НЕ, а также НЕ.

В реальном масштабе времени при уменьшении отношения частот стробирования и входного сигнала возникают его искажения. В осциллографе АК ИП-4133 доступны функции линейной или $\sin(x)/x$ интерполяции. Функция $\sin(x)/x$ интерполяции эффективно восстанавливает форму входного сигнала (рис. 38).

Тренд является математической функцией, показывающей характер изменения параметра сигнала во времени. По вертикальной оси здесь откладывается значение

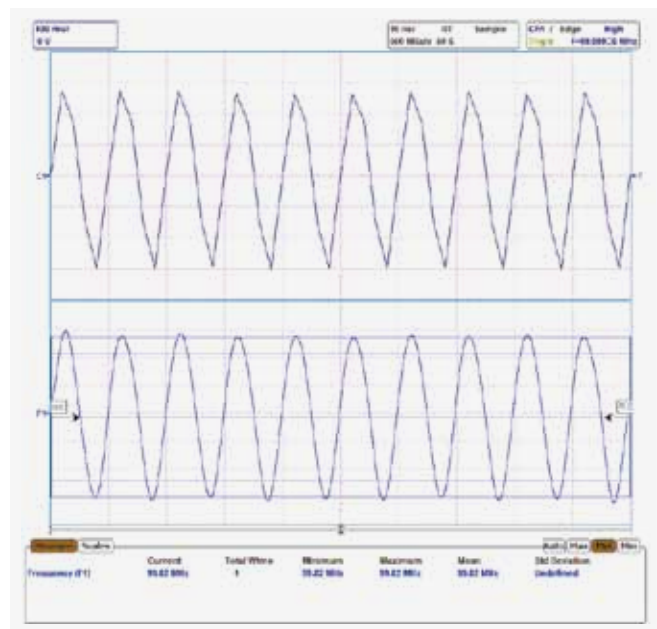


Рис. 38. Пример использования $\sin(x)/x$ интерполяции. Сверху – гармонический сигнал с частотой 100 МГц, стробируемый на частоте 500 МГц. Внизу – сигнал, восстановленный с использованием функции интерполяции

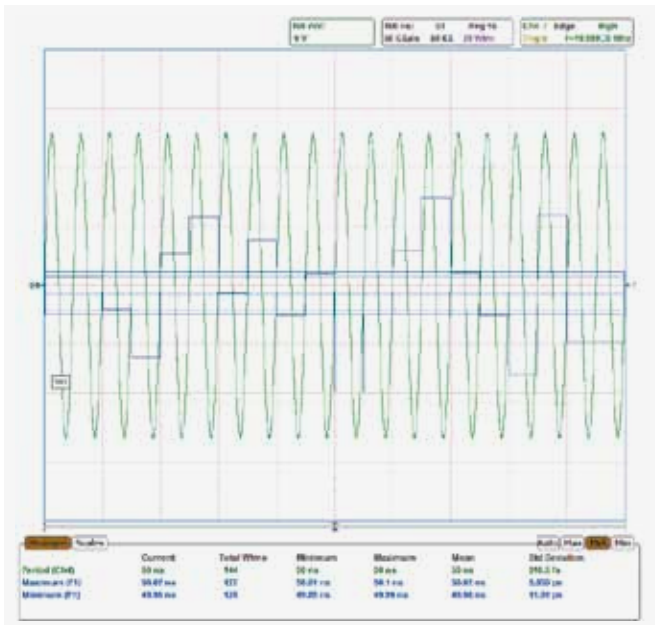


Рис. 39. Функция «тренд» измеряет нелинейность развертки

выбранного параметра, а по горизонтальной – период сигнала, для которого вычисляется этот параметр.

В приведенном на рис. 39 примере осциллограф измеряет период гармонического сигнала, используемого для калибровки развертки (показан зеленым цветом). Тренд измеряемого периода (синий цвет) является математической функцией этого сигнала. Амплитудные измерения функции тренда показывают эволюцию изменения

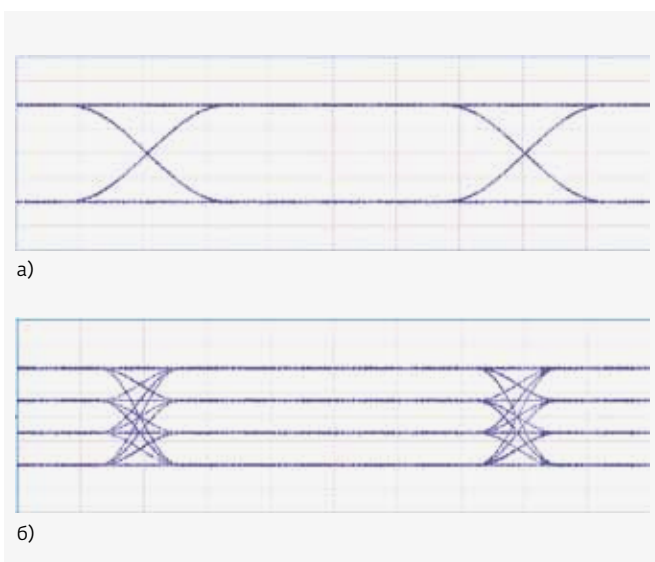


Рис. 40. Примеры разноуровневых глазковых диаграмм: а – двухуровневая (РАМ-2); б – четырехуровневая (РАМ-4)

значения периода, то есть демонстрируют величину нелинейности развертки в различных точках горизонтальной шкалы.

ГЛАЗКОВЫЕ ДИАГРАММЫ

Глазковая диаграмма является эффективным графическим методом оценки качества цифрового сигнала. Она позволяет определить интегральные характеристики, описывающие качество канала передачи данных и его способность воспроизводить сигналы в неискаженном виде.

Известна зависимость между требуемой полосой пропускания осциллографа и максимальной скоростью потока данных. Для регистрации третьей гармоники потока это соотношение равно 1,8, а для пятой гармоники – уже 3. Из этого следует, что осциллограф АК ИП-4133, имеющий полосу пропускания 16 ГГц, регистрирует третью гармонику 8,8-Гбит/с глазковой диаграммы и пятую гармонику 5,3-Гбит/с глазковой диаграммы.

В общем случае глазковые диаграммы бывают разноуровневыми (рис. 40). Осциллограф АК ИП-4133 измеряет двухуровневые глазковые диаграммы. Типами таких диаграмм являются NRZ (Non-return-to-zero, без возврата к нулю) и RZ (Return-to-zero, с возвратом к нулю) (рис. 41).

Качественную глазковую диаграмму на экране осциллографа АК ИП-4133 можно получить двумя способами. Первый способ – когда на вход канала подается измеряемая последовательность, и она же выбирается в качестве

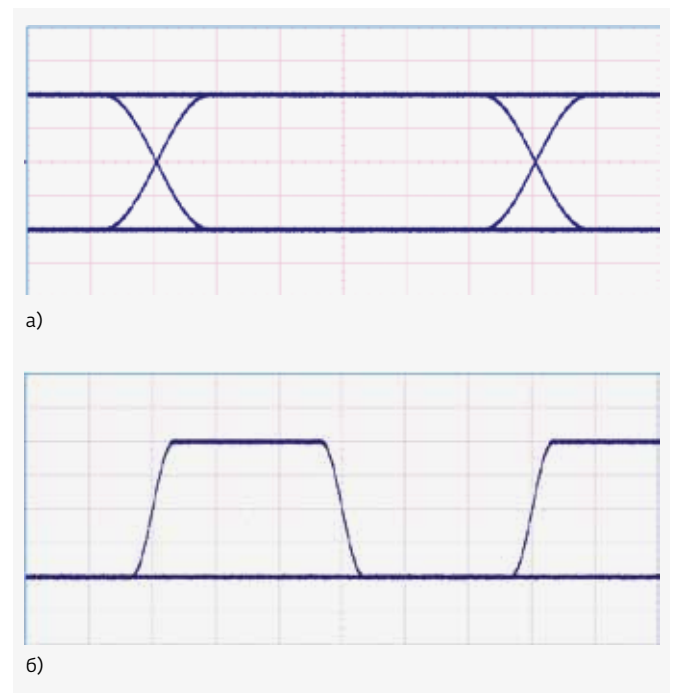


Рис. 41. Типы двухуровневых глазковых диаграмм: а – NRZ; б – RZ

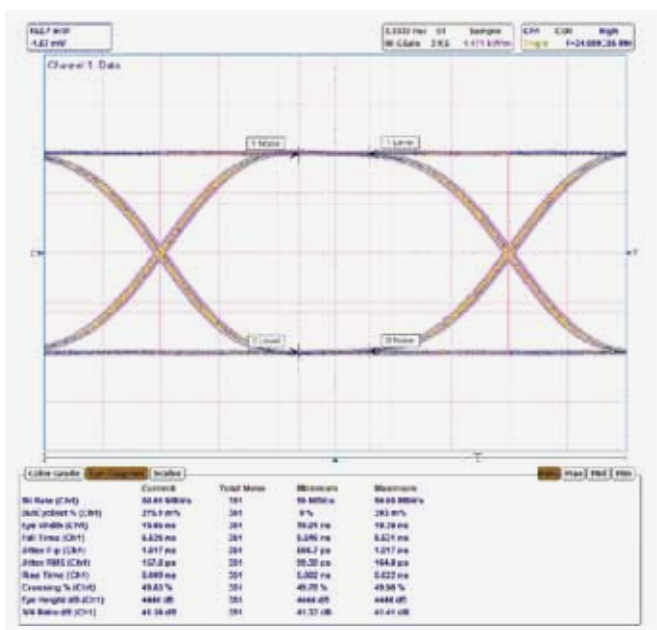


Рис. 42. Измерение десяти параметров 50-Мбит/с NRZ глазковой диаграммы

источника синхронизации, а в качестве способа синхронизации выбирают Clock recovery (восстановление тактовой частоты). При этом способе диапазон скоростей достигает 8 Гбит/с.

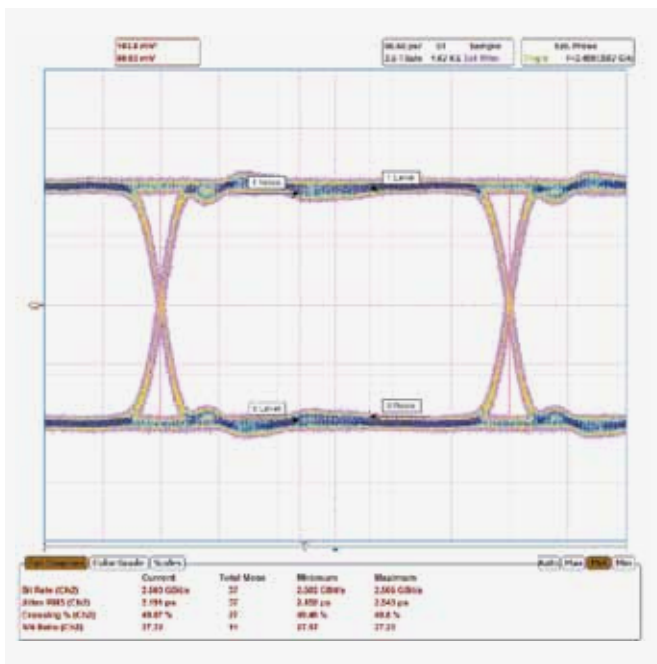


Рис. 43. Измерение параметров 2,5-Гбит/с NRZ глазковой диаграммы. Среднеквадратическое значение джиттера – 2,543 пс, уровень пересечения – 48,8%, отношение сигнал/шум – 27,32

Второй способ – когда на вход канала подается изменяемая последовательность, а тактовый сигнал, используемый в качестве сигнала синхронизации, подается на другой канал или на вход внешнего делителя частоты. В принципе, при втором способе нет необходимости использовать режим восстановления тактовой частоты, а диапазон скоростей может быть доведен до 16 Гбит/с.

Для проведения правильных измерений глазковая диаграмма автоматически устанавливается таким образом, чтобы по вертикали ее размер составил четыре больших деления, а по горизонтали – шесть больших делений (рис. 42).

Если после установки масштабов «глаз» полностью открыт и принимает форму, близкую к прямоугольной, – канал передачи сигнала идеален. По мере увеличения шумов, фазовых дрожаний, длительности фронтов, низкочастотных и других видов искажений «глаз» прикрывается. При полностью закрытом «глазе» различие битов последовательности становится затруднительным.

Осциллограф АКИП-4133 может измерять 27 вертикальных и 15 горизонтальных параметров NRZ глазковой диаграммы, причем десять из них одновременно (рис. 43 и 44), и 26 вертикальных и 17 горизонтальных параметров RZ глазковой диаграммы, также 10 из них одновременно (рис. 45).

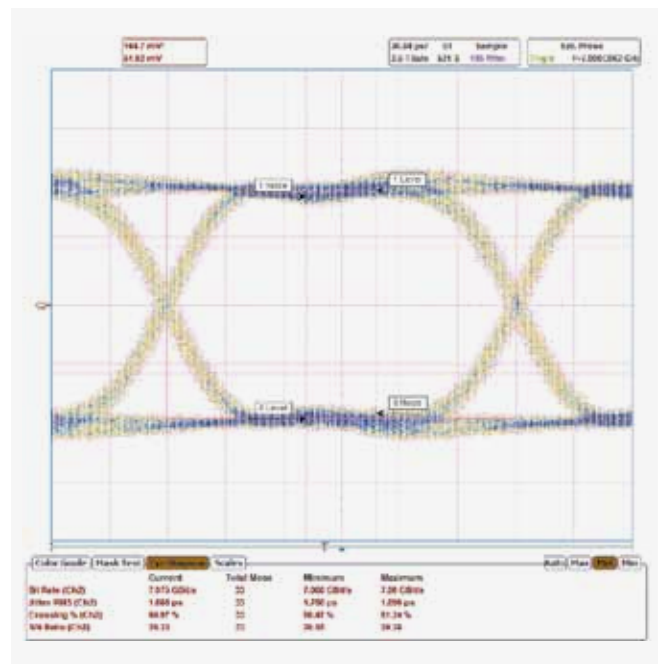


Рис. 44. Измерение параметров 8-Гбит/с NRZ глазковой диаграммы. Среднеквадратическое значение джиттера – 1,896 пс, уровень пересечения – 51,24%, отношение сигнал/шум – 20,36

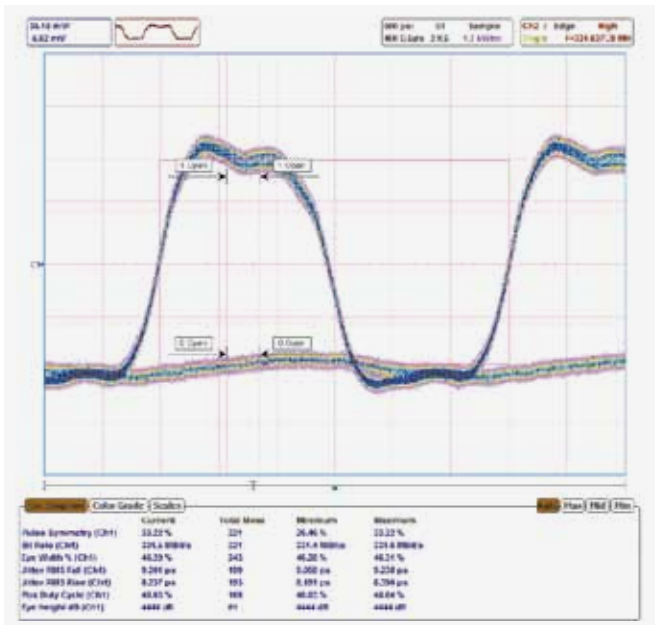


Рис. 45. Пример измерения параметров 330-Мбит/с RZ глазковой диаграммы

ТЕСТИРОВАНИЕ ПО МАСКЕ

Этот тест используется при необходимости контроля формы измеряемых сигналов. Некоторые сигналы могут быть довольно сложными по форме, как например глазковые диаграммы, а количество возможных аномалий сигнала может быть значительным, что вызывает трудности при проведении стандартных измерений.

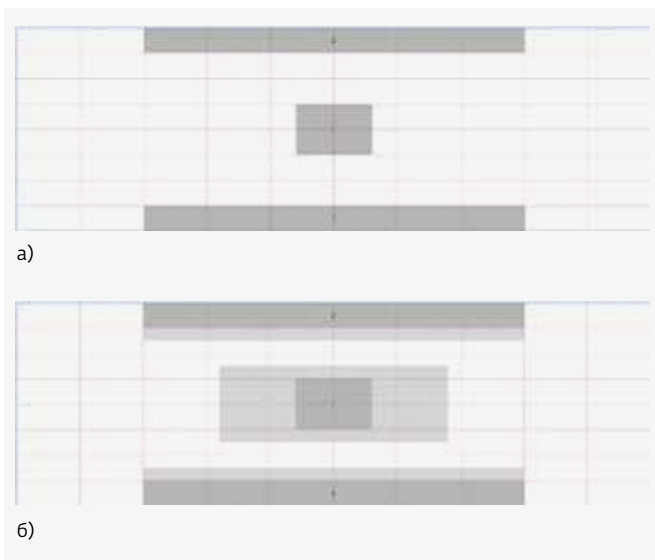


Рис. 46. Виды стандартных масок: а – четырехугольная 2,48-Гбит/с стандартная (OC-48/STM-16) маска; б – эта же отредактированная маска с расширенными границами, ужесточающими проведение теста

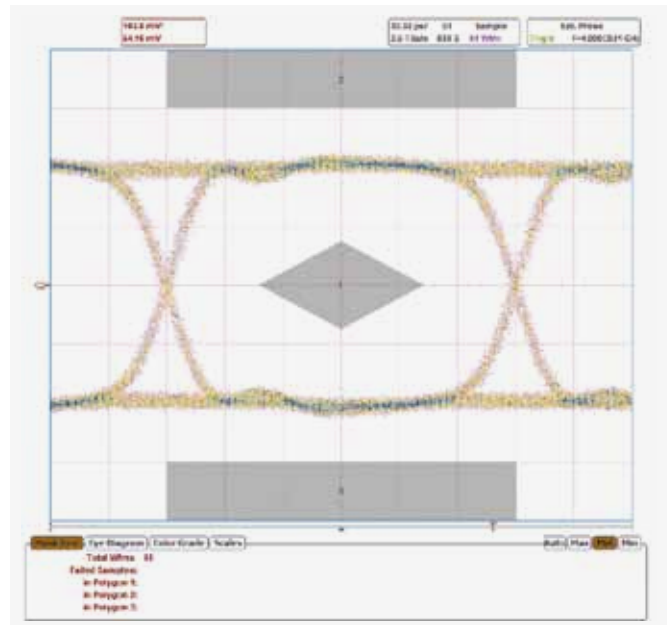


Рис. 47. Тест по 5-Гбит/с маске на соответствие стандарту PCI Express. Маска состоит из трех шаблонов, причем если внешние имеют форму прямоугольника, то внутренний – форму ромба. Видно, что сигнал не пересекает зоны шаблонов

Тест находит широкое применение на производстве, при контроле качества продукции, а также при ее тестировании на соответствие требованиям стандартов. Тест работает по принципу «годен/не годен».

Маски представляют собой геометрические фигуры, показывающие области экрана, в которые не должны попасть исследуемые сигналы. АК ИП-4133 использует маски трех типов – стандартные, автоматические и произвольные.

Форма стандартных масок зависит от типа стандарта и используемой тактовой частоты. Осциллограф позволяет анализировать маски следующих международных стандартов: SONET/SDH, Ethernet, RapidIO, G.984.2, Fibre Channel, ITU-T G.703, PCI Express, ANSI T1.102, InfiniBand, Serial ATA, XAUI. Форма стандартных масок – это, как правило, четырех- или шестиугольник. Предусмотрена возможность редактирования стандартных масок (рис. 46).

В осциллографе АК ИП-4133 используется 161 тип стандартных масок. На рис. 47 показан пример теста по 5-Гбит/с маске на соответствие стандарту PCI Express.



Рис. 48. Результаты тестирования по маске и ее дополнительным границам



УДОБНО!

ВЫГОДНО!

НАДЕЖНО!

ЛИНЕЙНЫЕ ПРОГРАММИРУЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ФУНКЦИЕЙ ЭЛЕКТРОННОЙ НАГРУЗКИ

Серия GPP

- Каналы Кан1/ Кан2 разработаны таким образом, чтобы каждый из этих выходов мог кроме выдачи напряжения выполнять функцию нагрузки (режим отбора мощности) до 50 Вт
- Время установления выходного напряжения регулируемых каналов: ≤ 50 мкс (независимое включение)
- Функция поглощения мощности с режимами CC, CV, CR. Аппаратная реализация защиты OVP/ OCP/ OTP
- Режим выдачи последовательности Uвых, встроенные формы выходного напряжения (8 типов)
- Функция регистратора параметров на выходе (напряжение/ ток - минимальная выборка 1 изм/с)
- Интерфейсы: стандартно LAN, RS-232, USB, Ext I/O, вариант исполнения с GPIB

	GPP-71326	GPP-72323	GPP-73323	GPP-74323
Каналы	1 канал	2 канала	3 канала	4 канала
Мощность	192 Вт	192 Вт	217 Вт	212 Вт
Регулируемые каналы	32 В/ 6 А	2×(32 В / 3 А)	2×(32 В / 3 А)	2×(32 В / 3 А)
Нерегулируемые каналы	-	-	(1,8 В/2,5 В/3,3 В/5 В) 5 А	15 В/ 1 А 5 В/ 1 А

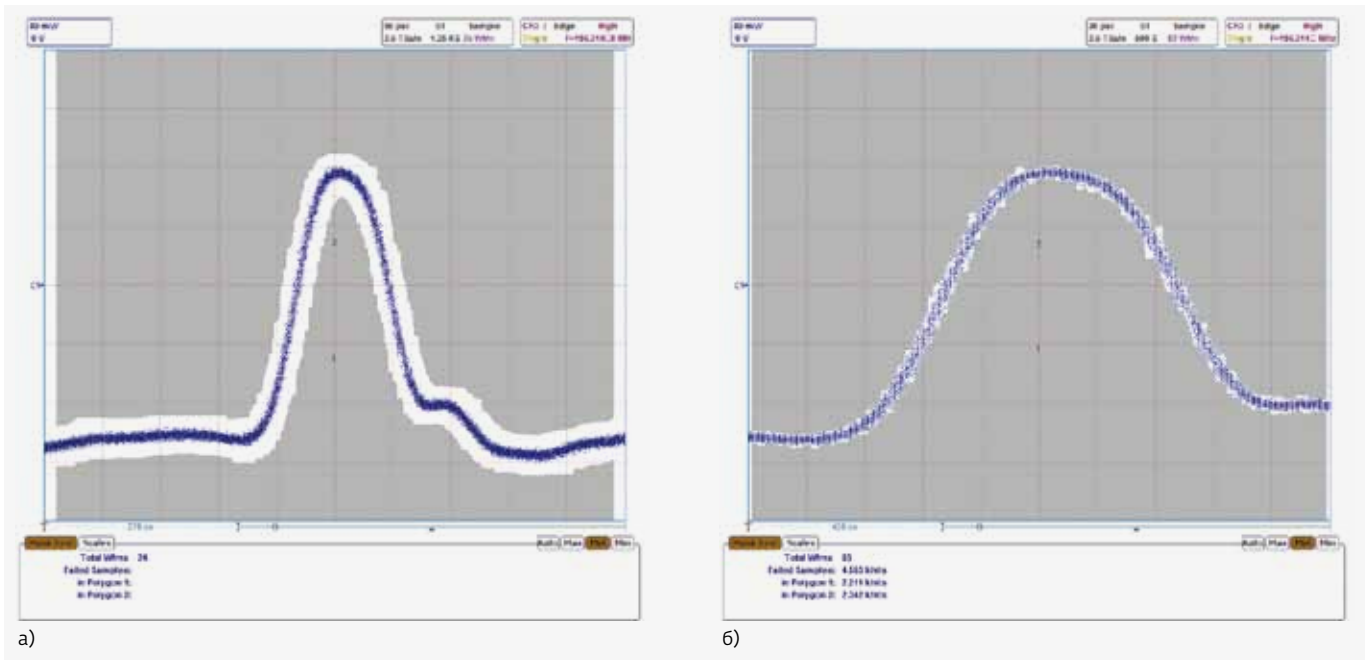


Рис. 49. Примеры использования автоматической маски: а – тест по автоматической маске импульса длительностью 90 пс при отсутствии помех, горизонтальная шкала 50 пс/дел; б – тест того же импульса при воздействии помех, горизонтальная шкала 20 пс/дел. Эквивалентная частота стробирования в обоих случаях составляет 2,5 ТГц/с

Принцип теста заключается в определении попадания осциллограммы сигнала на маску, что является нарушением ее границ. Такое попадание обнаруживает выход параметров за заданные пределы. Это фиксируется

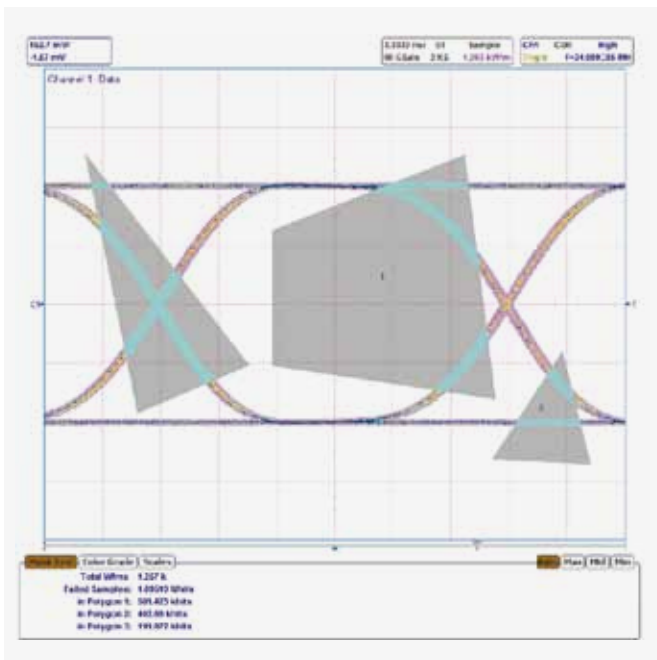


Рис. 50. Тест 50-Мбит/с глазковой диаграммы по произвольно построенной маске

изменением цвета сигнала, что говорит об ошибке в его форме.

Статистические результаты теста включают информацию об ошибках, зарегистрированных внутри стандартных шаблонов, внутри дополнительных границ шаблонов, а также полную информацию об ошибках (рис. 48).

Автоматическая маска строится по форме исследуемого сигнала путем добавления к нему некоторых заданных значений допусков по вертикали и по горизонтали. На рис. 49а приведена автоматическая маска, построенная для импульса длительностью 90 пс. Маска состоит из двух шаблонов, плавно повторяющих форму сигнала с его обеих сторон.

На рис. 49б показан тест этого же сигнала, находящегося в условиях воздействия помех. Голубым цветом маркированы точки сигнала, выходящие за пределы допусков. В приведенном примере обеспечивается точность допускового контроля $\pm 12,5$ пс.

Произвольная маска может быть создана самим пользователем. При этом количество шаблонов может достигать до восьми, а их форму можно произвольно редактировать. На рис. 50 показан пример теста 50-Мбит/с глазковой диаграммы по произвольно построенной маске.

Таким образом, широкополосные цифровые осциллографы АК ИП-4133 и АК ИП-4133/1 обладают широким набором возможностей, которые позволяют эффективно применять их в различных приложениях. ●

РОССИЙСКАЯ НЕДЕЛЯ ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

21–24
апреля
2020

Россия, Москва,
ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»

5G Big Data Умный город
Геоданные и навигационные технологии
Цифровое правительство ЦОДы
Информационная **IoT** Smart Device Show
безопасность **Телеком**
Искусственный интеллект **Спутниковая связь**
Умная мобильность Российский софт
AR&VR Future TV
Дроны и беспилотные системы **Стартапы**



СВЯЗЬ

32-я международная выставка
«Информационные
и коммуникационные технологии»

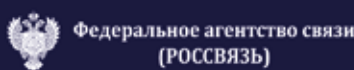
www.sviaz-expo.ru



НАВИТЕХ

12-я международная выставка
«Навигационные системы,
технологии и услуги»

www.navitech-expo.ru



www.hi-techweek.ru

Реклама 12+

6C ЭКСПОЦЕНТР