

Анализ джиттера и глазковых диаграмм в режиме реального времени с помощью осциллографов RIGOL MSO8000/A

Виктор Козаренко,
ведущий инженер департамента
измерительного оборудования,
ООО «Террамак»

В статье рассматриваются методы настройки устройств и каналов последовательной передачи данных с помощью функции анализа джиттера и глазковых диаграмм. Показаны результаты отладки, полученные на цифровых осциллографах RIGOL MSO8000/A.

Введение

При отладке устройств формирования и приема высокоскоростных последовательных протоколов передачи данных инженерам приходится проводить целый комплекс измерений, включающий в себя декодирование и запуск по сигналам, отображение эюр напряжений, измерение и анализ джиттера, глазковых диаграмм в режиме реального времени. Как правило, для этого требуется несколько измерительных дорогостоящих приборов, что не всегда рационально с точки зрения бюджета и наличия свободного места. Уникальными возможностями, сочетающими в себе упомянутые функциональные возможности, обладают цифровые осциллографы RIGOL MSO8000/A с предустановленной и активированной опцией MSO8000-JITTER.

Измерение джиттера

Согласно определению Международного союза телекоммуникаций (International Telecommunication Union, ITU), джиттер — это кратковременные изменения значащих моментов девиации сигналов во времени относительно их идеального положения во времени. Понятие «кратковременность» означает, что частота этих изменений больше или равна 10 Гц. Джиттер измеряется по отношению к идеальному источнику тактового сигнала или к самому себе. Поскольку джиттер содержит случайные компоненты, для его характеристики используются такие статические значения как среднеквадратическое отклонение или полный размах.

Цифровые осциллографы RIGOL MSO8000 с установленной опцией MSO8000-JITTER обеспечивают построение в реальном масштабе времени эюр напряжения, измерения параметров глазковых диаграмм с функцией восстановления тактовой частоты. Перечисленные возможности позволяют выявить межсимвольную интерференцию, а также осуществить измерение детерминированного (систематического) джиттера в системах высокоскоростной последовательной передачи данных. Измеряемые параметры: джиттер искажений временного интервала (time interval error, TIE) (рис. 1), джиттер периода (cycle to cycle), джиттер длительности положительного импульса (+width to +width), джиттер длительности отрицательного импульса (-width to -width).

При измерении джиттера искажений временного интервала текущий фронт в сигнале сравнивается с соответствующим фронтом в идеальном сигнале, определенным функцией восстановления тактовой частоты. Затем все интервалы измеряются на основе идеальной скорости передачи данных для формирования статистики искажений.

При измерении джиттера периода сначала измеряется первый период, а затем значение первого периода вычитается из значения

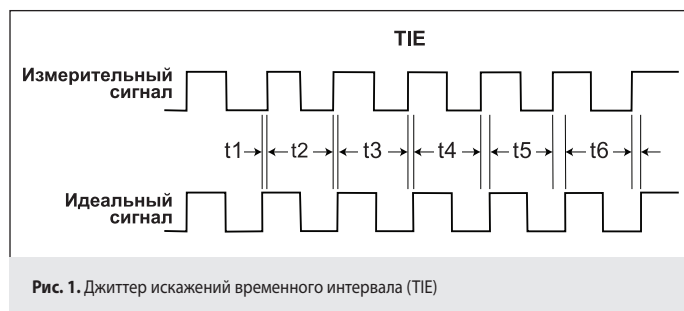


Рис. 1. Джиттер искажений временного интервала (TIE)

второго периода. Все дальнейшие измерения проводятся в соответствии с этим правилом.

При измерении джиттера длительности положительного импульса, на первом этапе осуществляется вычитание положительного импульса первого периода из длительности положительного импульса второго периода. Далее, для второго результата измерений, длительность положительного импульса второго периода вычитается из длительности положительного импульса третьего периода и т. д., пока не будут измерены все периоды сигнала.

При измерении джиттера длительности отрицательного импульса, на первом этапе осуществляется вычитание отрицательного импульса первого периода из длительности отрицательного импульса второго периода. Далее, для второго результата измерений, длительность отрицательного импульса второго периода вычитается из длительности отрицательного импульса третьего периода и т. д., пока не будут измерены все периоды сигнала.

При измерениях джиттеров TIE и Cycle to Cycle можно задать фронт измеряемого сигнала — нарастающий Rising, спадающий Falling, оба Rising и Falling — Either.

Анализ результатов измерений отображается в виде графика результатов тренда и гистограммы.

Доступны следующие способы восстановления тактовой частоты в MSO8000/A:

- восстановление тактового сигнала с постоянной частотой: Recovery Type — Constant;
- с помощью фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ): Recovery Type — PLL.
- Точность формирования тактовой частоты имеет решающее значение в цифровых системах передачи данных. Даже незначительные отклонения частоты тактового сигнала от идеальной влияют на количество возникновения ошибок и прохождение данных по каналу передачи. При измерениях джиттера

с помощью TIE важными инструментами визуализации являются график тренда и гистограмма. На рис. 2 показан периодический джиттер. Желтым цветом обозначен тактовый сигнал, а фиолетовым — тренд джиттера TIE. Тренд показывает, что джиттер TIE периодически накапливается. Это значит, что на тактовую частоту влияет периодический сигнал. С помощью курсорных изменений и распределения TIE можно провести анализ джиттера. Форма и девиация отклонений TIE являются важными компонентами при определении причины возникновения джиттера. Поскольку джиттер TIE рассчитывается как накопленное изменение периода основного сигнала, график TIE выглядит как интеграл изменений периода. Треугольная волна на рисунках представляет собой изменение периода в виде меандра. Это важный момент для отладки джиттера сигнала. Тренд TIE показывает, что изменения периода удлиняются линейно (сторона треугольника поднимается), а затем период линейно сокращается (сторона треугольника опускается). Когда TIE линейно увеличивается, период должен быть длиннее ожидаемого значения, а при линейном уменьшении TIE значение периода меньше ожидавшегося. Таким образом, период изменяется между двумя фиксированными значениями. Одно из них чуть выше, а другое чуть ниже ожидаемого периода. В приведенном примере прямоугольный сигнал с частотой 10 кГц влияет на тактовую частоту. Из гистограммы видно, что это колебание является постоянным, поскольку распределение TIE равномерно и симметрично распределяется между этими значениями. Мешающий сигнал показан голубым цветом на рис. 3.

Другими причинами возникновения джиттера тактового сигнала могут быть фазовые шумы в системах ФАПЧ, флуктуации уровня сигнала, электромагнитные помехи, конструктивные особенности приборов и т. д.

Осциллограф MSO8000 с опцией JITTER позволяет просматривать статистическую таблицу значений TIE, а также джиттер периода,

джиттер длительности положительного импульса, джиттер длительности отрицательного импульса. В своей совокупности, эти инструменты определения джиттера позволяют тщательно визуализировать и анализировать проблемы синхронизации в каналах связи последовательной передачи данных (рис. 4).

Глазковая диаграмма и качество сигнала

Основной целью анализа качества сигнала является уменьшение количества ошибок данных в канале передачи. Помимо ошибок синхронизации, существуют проблемы, связанные с полосой пропускания, качеством заземления, шумами и согласованием импеданса. Все эти факторы могут влиять на интерпретацию информационных битов приемником. Одним из лучших методов визуализации целостности сигнала данных является тестирование с помощью глазковой диаграммы в режиме реального времени.

Глазковая диаграмма — это интерференционная картина, возникающая при наложении большого числа периодов цифрового сигнала. Глазковые диаграммы — очень удобный способ быстрой и интуитивной оценки качества цифрового сигнала. Правильно построенная диаграмма содержит все возможные последовательности битов, начиная с простых 101, 010 и заканчивая изолированными единицами после длинного ряда последовательных нулей и других проблемных последовательностей. Пример формирования глазковой диаграммы приведен на рис. 5.

Основными параметрами глазковой диаграммы являются (рис. 6):

- One: уровень «1»;
- Zero: уровень «0»;
- Eye Width: ширина глазковой диаграммы;
- Eye Height: высота глазковой диаграммы;
- Eye Amplitude: амплитуда глазковой диаграммы;



Рис. 2. Тренд TIE и гистограмма TIE



Рис. 4. Пример отображения результатов анализа джиттера на MSO8000



Рис. 3. Результат поиска мешающего сигнала с помощью тренда TIE и гистограммы TIE

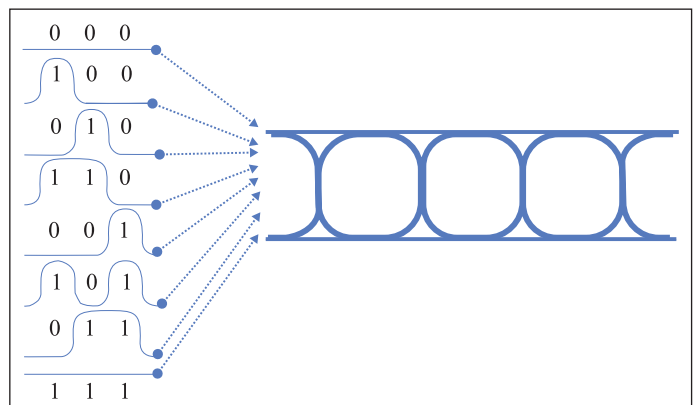


Рис. 5. Пример формирования глазковой диаграммы

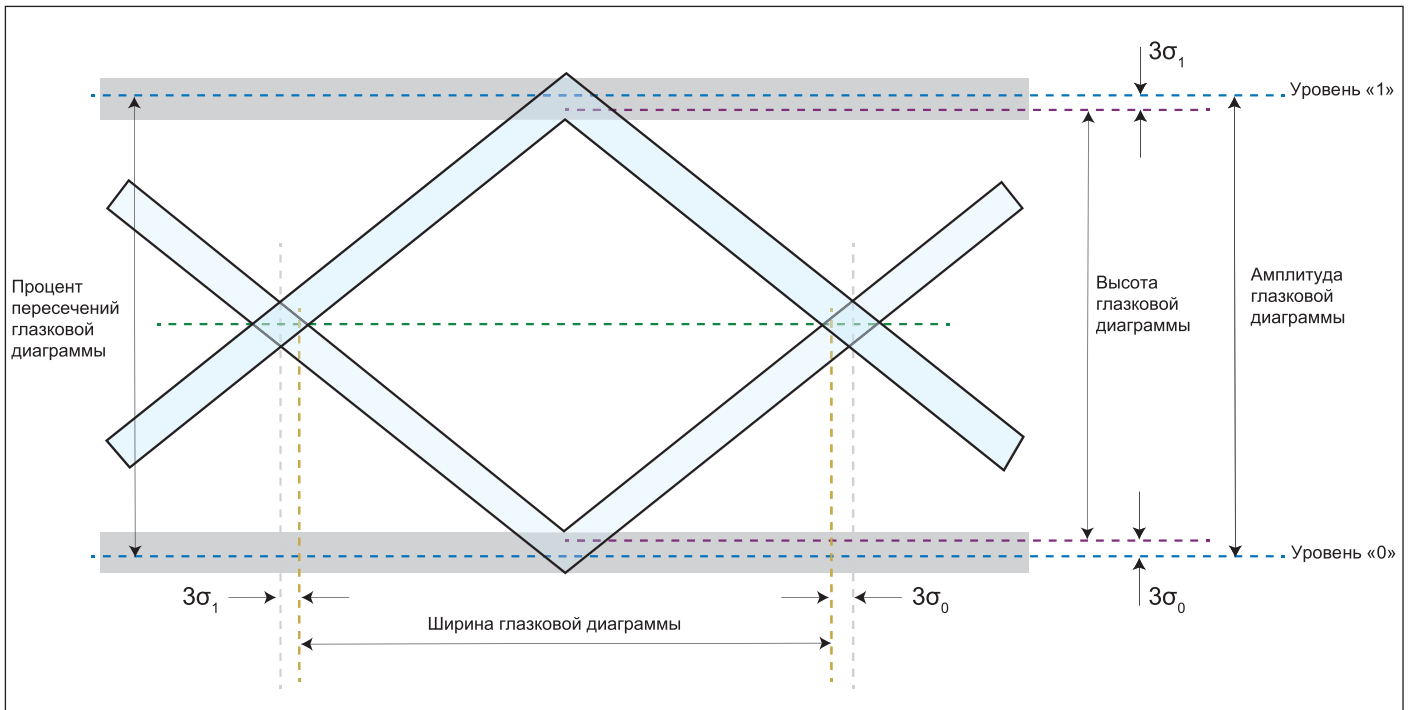


Рис. 6. Основные параметры глазковой диаграммы

- Crossing Percentage: процент пересечений глазковой диаграммы;
- Q-фактор: отношение сигнал/шум;
- $3\sigma_1$: джиттер уровня «1», что применимо и к фазовому дрожанию перехода от 0 к 1;
- $3\sigma_0$: джиттер уровня «0», что применимо и к фазовому дрожанию перехода от 1 к 0.

Для наглядности приведем примеры глазковых диаграмм сигналов с сильными и допустимыми искажениями. Начнем улучшать неидеальные характеристики устройства формирования сигнала. Размытость глазковой диаграммы на рис. 7 указывает на некоторые потенциальные проблемы с сигналом. В зависимости от устанавливаемых пользователем порогов прибор вычисляет ширину и высоту глаза. Приведенный сигнал имеет ограничение по полосе пропускания, так как наклон переднего и заднего фронтов значительно завалены по сравнению с идеальным состоянием. Кроме того, существует некоторая неопределенность в отношении восстановленной тактовой частоты. Из приведенной гистограммы видно, что распределение периода не является гауссовым, что указывает на неслучайную причину сдвига тактовой частоты. Присутствует также некоторый шум, вызывающий колебания амплитуды, что приводит к закрытию глазковой диаграммы по вертикали.

После устранения проблем с коммутацией соединительных кабелей, включая разъемы, а также решения проблем с перекрестными помехами мы увидим (рис. 8), что глаз начинает приоткрываться. Гистограмма распределения ошибок синхронизации (фиолетовый цвет) становится симметричной, что способствует сужению фазового джиттера.

После идентификации и удаления находящегося поблизости источника шума глазковая диаграмма принимает вид, показанный на рис. 9. Видно, что увеличилась высота и ширина глаза, сигнал стал более четким. Однако переходы восходящих и нисходящих битов пока не достигают того же высокого или низкого уровня, что и нисходящие биты. Пока еще передние и задние фронты имеют наклон около 45° , что является недопустимым и указывает на сохраняющиеся проблемы с пропускной способностью.

Наконец, после устранения проблем с пропускной способностью устройства и канала передачи данных был получен достойный результат проведенной отладки (рис. 10). Распределение гистограммы

показывает, что были также устранены выбросы в синхронизации сигнала. В итоге, глазковая диаграмма приняла вид, близкий к идеальному с максимальными значениями Eye Width, Eye Height, Eye Amp, Q factor.

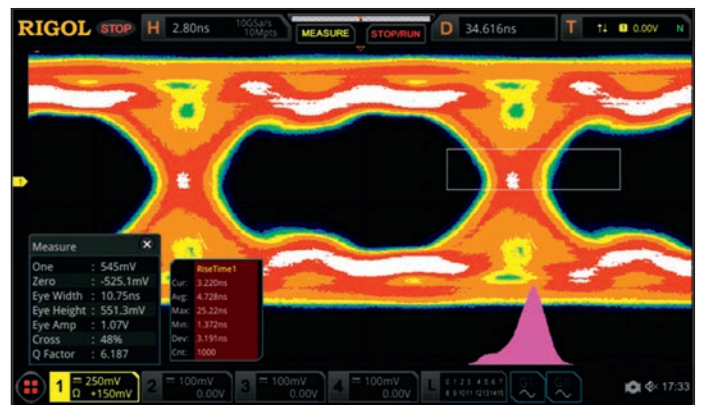


Рис. 7. Пример глазковой диаграммы сигнала с ошибками



Рис. 8. Глазковая диаграмма с улучшенным таймингом



Рис. 9. Глазковая диаграмма с улучшенным шумоподавлением



Рис. 10. Глазковая диаграмма после комплекса улучшений характеристик устройства

Выводы

Разработка и отладка устройств и каналов высокоскоростной передачи цифровых данных являются нетривиальными задачами и невозможны без современной аппаратуры,

досконально измеряющей и анализирующей джиттер и глазковые диаграммы в режиме реального времени. Осциллографы RIGOL серии MSO8000/A с опцией MSO8000-JITTER предоставляют такие возможности при оптимальном соотношении цена/качество. ■

Литература

1. Материалы с сайта rigol.com.
2. Материалы с сайта rigol-shop.ru.
3. RIGOL MSO8000A Series Digital Oscilloscope User Guide. May. 2023.

185x157