

УСКОРЕНИЕ ПРОЦЕССА ТЕСТИРОВАНИЯ ЗА СЧЕТ АНАЛИЗА ДЖИТТЕРА ЗАДАЮЩЕГО ГЕНЕРАТОРА В ЧАСТОТНОЙ ОБЛАСТИ

SPEED UP YOUR DESIGN VERIFICATION PROCESS WITH FREQUENCY DOMAIN CLOCK JITTER ANALYSIS

Акихико Огинума (Akihiko Oginuma), компания Agilent Technologies

С ростом скорости передачи данных растет и потребность в анализе джиттера задающего генератора. В высокоскоростных последовательных каналах передачи данных джиттер задающего генератора влияет на джиттер данных передатчика в линии передачи и в приемнике. Совершенствуются также и процедуры оценки качества задающего генератора. В настоящее время основной акцент делается на прямой взаимосвязи характеристик задающего генератора с характеристиками системы, выраженными в виде коэффициента битовых ошибок (BER). В данной статье рассматривается роль задающего генератора и влияние джиттера задающего генератора на джиттер данных, и обсуждаются новые методы измерений с помощью нового программного обеспечения для прецизионного анализа джиттера задающего генератора Agilent E5001A, работающего на анализаторе источников сигнала E5052B. Эта программа обладает непревзойденными возможностями, позволяет

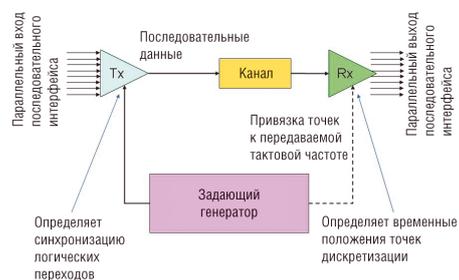


Рис. 1. Роль задающего генератора

измерять сверхнизкочастотный случайный джиттер (RJ) и анализировать в реальном времени спектр как случайного, так и периодического джиттера (PJ), позволяя улучшить качество ваших разработок. Обсуждаются также возможности измерений в реальном времени, ускоряющие процессы тестирования.

РОЛЬ ЗАДАЮЩЕГО ГЕНЕРАТОРА В ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ ИНТЕРФЕЙСАХ

На рис. 1 показаны основные компоненты задающего генератора. Передатчик обычно используется для преобразования группы параллельных сигналов, передаваемых с низкой скоростью, в последовательный поток данных. Канал передачи, по которому распространяется сигнал, представляет собой комбинацию печатных плат и кабелей. Приемник распознает входящие последовательные данные, выделяет из них тактовую частоту и, как правило, преобразует обратно в



Agilent Technologies

поток параллельных данных. В большинстве подобных описаний задающий генератор рассматривается, скорее, как один из составляющих элементов, однако в высокоскоростных системах последовательной передачи мы вынуждены признать задающий генератор основным компонентом. Обычно частота задающего генератора значительно ниже частоты передачи данных, и умножается в передатчике. Передатчик использует сигнал задающего генератора для синхронизации логических переходов в последовательном потоке данных. При этом символ тактовой частоты включается в передаваемые данные. В приемнике, могут возникнуть две ситуации. Если тактовая частота не передается, приемник восстанавливает тактовую частоту из последовательного потока данных, применяя, например, систему фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ), и использует эту тактовую частоту для расстановки точек дискретизации. Если тактовая частота передается, приемник использует для расстановки точек дискретизации и сигнал данных, и тактовую частоту.

ВЛИЯНИЕ ДЖИТТЕРА ЗАДАЮЩЕГО ГЕНЕРАТОРА НА ДЖИТТЕР ДАННЫХ ПЕРЕДАТЧИКА

В конечном итоге, синхронизация всей системы определяется задающим генератором. Он задает тактовую частоту передатчика и в обоих типах систем (с передачей и без передачи тактовой частоты) символ тактовой частоты воспроизводится в схеме восстановления тактовой частоты в приемнике. Давайте же исследуем процесс прохождения джиттера тактовой частоты через передатчик.

Для синхронизации логических переходов передатчик умножает тактовую частоту на соответствующий коэффициент и получает частоту передачи данных. На

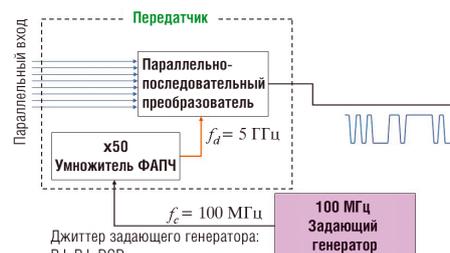


Рис. 2. Влияние джиттера задающего генератора на передатчик

пример, если частота задающего генератора 100 МГц, а скорость передачи выходного сигнала 5 Гбит/с, передатчик использует ФАПЧ для умножения частоты задающего генератора на 50. Умножающая ФАПЧ усиливает джиттер задающего генератора и добавляет к нему свой собственный джиттер (в основном это случайный джиттер генератора, управляемого напряжением (ГУН), который входит в состав ФАПЧ). Умножение частоты на n приводит к умножению отношения мощности фазового шума к несущей на n^2 , так что джиттер быстро нарастает.

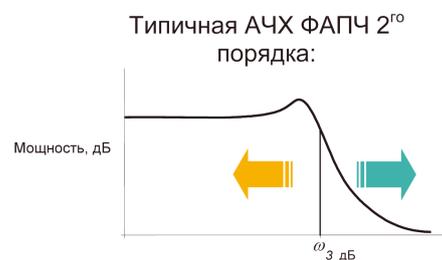


Рис. 3. Амплитудно-частотная характеристика ФАПЧ

Умножитель в схеме ФАПЧ передатчика обладает определенной АЧХ, соответствующей обычно фильтру второго порядка, как показано на рис. 3. Неоднородность АЧХ порождает интересный вопрос: имеет ли вообще значение джиттер задающего генератора? Если бы ФАПЧ была идеальной и обладала нулевой полосой пропускания, она бы просто отфильтровала джиттер задающего генератора и выдала бы на передатчик абсолютно стабильную тактовую частоту. Конечно, нулевая полоса пропускания означает бесконечное время захвата, поэтому приходится идти на компромисс, тем не менее, чем уже полоса ФАПЧ, тем меньше джиттер задающего генератора проникает в данные. Поэтому чтобы определить, сможет ли система работать с нужным BER, нужно выполнить тщательное измерение спектрального состава джиттера.

РЕАЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ ДЖИТТЕРА

Если взглянуть на реальные высокоскоростные цифровые схемы, то можно обнаружить много источников джиттера, как показано на рис. 4. Как мы уже говорили, тактовая частота распределяется обычно на несколько ИС и при этом может умножаться или делиться. Даже если предположить, что сигнал тактовой частоты, поступающий с кварцевого генератора, практически не имеет джиттера, умножение или деление

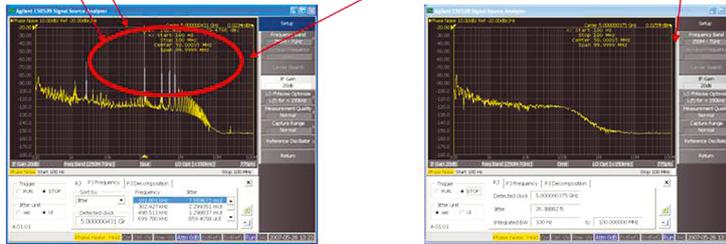


Рис. 4. Реальные источники джиттера

выходной тактовой частоты выполняется не точно из-за аддитивного шума ИС или из-за помех от других устройств.

Одним из основных источников шума является шум импульсных источников питания, частота преобразования которых лежит обычно в диапазоне от 100 кГц до 1 МГц. Шум импульсных источников питания проникает в сигнал тактовой частоты и проявляется в форме периодического джиттера, показанного на левом нижнем графике.

Другим источником периодического джиттера могут быть помехи от линий передачи данных или тактовых частот, причем продукты интермодуляции могут проникать в линии тактовой частоты и тоже проявляться в форме периодического джиттера. Если спектральные компоненты периодического джиттера находятся на достаточном удалении от тактовой частоты, их можно отфильтровать с помощью полосового фильтра или фильтра низких частот. Тем не менее, серьезные проблемы возникают в тех случаях, когда частота джиттера близка к частоте задающего генератора, поскольку построение фильтров с высокой добротностью на этих частотах практически невозможно. То же справедливо и для случайного джиттера – делитель частоты может добавить широкополосный шум, приводящий к увеличению случайного джиттера выходного сигнала тактовой частоты.

Для диагностирования проблем очень важно привязать характеристики джиттера к физической компоновке схемы в реальных рабочих условиях.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДЖИТТЕРА ТАКТОВОЙ ЧАСТОТЫ ПУТЕМ ИЗМЕРЕНИЯ ФАЗОВОГО ШУМА

Для тщательного анализа сигнала тактовой частоты необходима точность, измеряемая фемтосекундами. Такой точности можно достичь только при использовании методов измерения фазового шума. Анализ фазового шума вклю-

чает два основных измерения, $S_{\phi}(f_{\phi})$ и $\phi(t)$, которые дают полную информацию о фазе тактовой частоты вплоть до границы полосы измерения фазового шума.

Анализ случайного джиттера (RJ) с помощью анализатора фазового шума позволяет решить две важные проблемы. Во-первых, интегрирование спектра RJ позволяет определить ширину соответствующего Гауссова распределения RJ в интересующем нас спектре. Во-вторых, анализ поведения $S_{\phi}(f_{\phi})$ позволяет выявить основные причины возникновения RJ (рис. 5).

Компоненты периодического джиттера (PJ) проявляются в виде выбросов спектра фазового шума. Знание частот PJ помогает диагностировать проблемы.

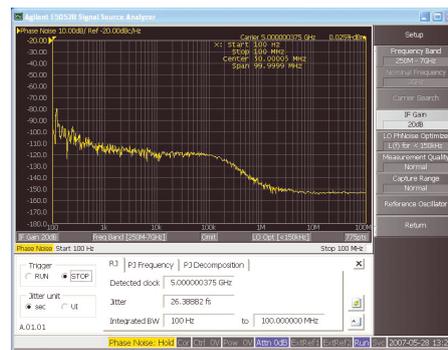


Рис. 5. Анализ случайного джиттера путем измерения фазового шума

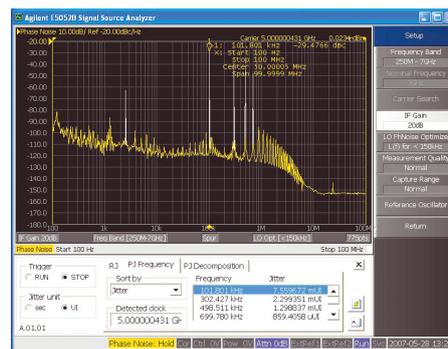


Рис. 6. Частоты периодического джиттера в спектре фазового шума

Измеряя среднеквадратическое значение PJ для каждой частоты PJ, можно оценить влияние каждого компонента PJ на общий джиттер тактовой частоты и сделать заключение о том, как изменится общий джиттер в случае устранения основной составляющей PJ (рис. 6).

ИЗМЕРЕНИЕ ДЖИТТЕРА В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ С ПОМОЩЬЮ РАСШИРЕННОЙ АРХИТЕКТУРЫ

В отличие от традиционных методов измерения джиттера, анализатор источников сигнала E5052B с программой E5001A позволяет измерять джиттер в реальном времени на основе измерения фазового шума. Для этого прибор использует метод ФАПЧ с эталонным источником. Он автоматически определяет тактовую частоту, и встроенный эталонный источник за несколько миллисекунд автоматически настраивается на тактовую частоту, после чего выполняются измерения шумового сигнала на выходе фазового детектора ФАПЧ.

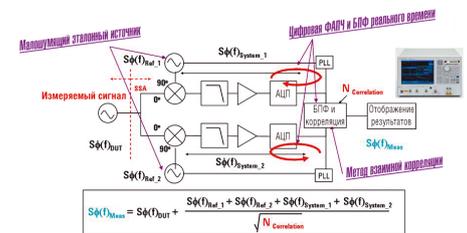


Рис. 7. Расширенная архитектура анализатора источников сигнала Agilent E5052B

Шумовые сигналы захватываются с помощью АЦП, работающего со скоростью 250 М выб./с, что обеспечивает полосу измерения джиттера до 100 МГц, перекрывая диапазон анализа джиттера ОС-192. Быстрое преобразования Фурье (БПФ) реального времени, используемое для получения данных в частотной области, существенно повышает скорость измерения. Например, измерения в полосе от 1 кГц до 100 МГц выполняются всего за 0,3 секунды.

НЕПРЕВЗОЙДЕННЫЙ УРОВЕНЬ СОБСТВЕННЫХ ШУМОВ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ВЗАИМНОЙ КОРРЕЛЯЦИИ

Анализатор E5052B позволяет измерять джиттер с очень высоким разрешением и обладает очень низким уровнем собственных шумов с типичным значением джиттера RJ порядка нескольких фемтосекунд при скорости передачи 10 Гбит/с. Типичный высококачественный осциллограф (реального времени или запоминающий) имеет собственный джиттер более ста фемтосекунд из-за ограниченного диапазона АЦП и сравнительно большого остаточного джиттера внутреннего источника тактовой частоты. Анализатор E5052B сохраняет широкий динамический диапазон, определяя фазовый шум в диапазоне модулирующего сигнала, где мощный сигнал несущей отсутствует. E5052B может опустить предел измерения джиттера даже ниже

уровня остаточного джиттера собственного задающего генератора за счет применения метода взаимной корреляции между двумя независимыми измерительными каналами (см. рис. 7). Метод взаимной корреляции позволяет снизить уровень собственных шумов при измерении джиттера от 100 до 1000 раз по сравнению с современными высококачественными осциллографами.

ЭМУЛЯЦИЯ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФАПЧ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

На рис. 9 приведен пример влияния амплитудно-частотной характеристики ФАПЧ, примененной непосредственно к сигналу фазового шума задающего генератора. На рисунке видно, как подавляются различные участки спектра, что позволяет выполнять анализ джиттера, относящегося к данному приложению. Применяемый в E5052B анализ джиттера в реальном времени путем измерения фазового шума ускоряет процесс проектирования. В анализатор E5052B можно



Рис. 8. Результирующий уровень собственного джиттера с применением метода взаимной корреляции

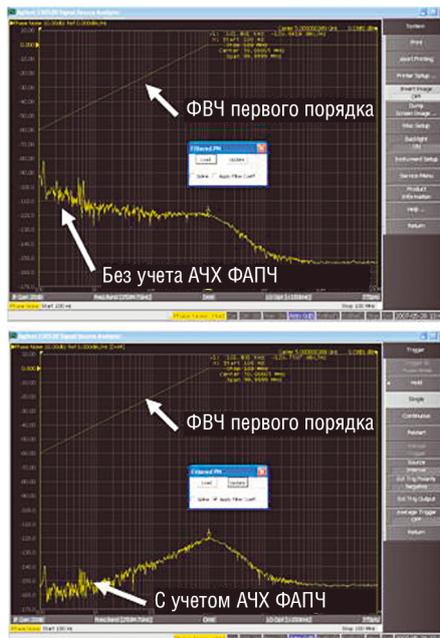


Рис. 9. Эмуляция амплитудно-частотной характеристики ФАПЧ

импортировать любую амплитудно-частотную характеристику ФАПЧ, что позволяет быстро и просто переключаться с одной АЧХ ФАПЧ на другую.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основной целью анализа джиттера в высокоскоростных последовательных ка-

налах передачи данных является определение влияния джиттера задающего генератора на коэффициент битовых ошибок системы. Наиболее точный подход заключается в применении к задающему генератору передаточной функции передатчика (и приемника), соответствующей наихудшему случаю, и измерении результирующего случайного и периодического джиттера тактовой частоты. Программа прецизионного анализа джиттера задающего генератора E5001A, работающая на анализаторе E5052B, изменяет традиционную парадигму измерения джиттера, и не только позволяет выполнять глубокий анализ джиттера с точностью до нескольких фемтосекунд, но и предлагает простые в обращении функции анализа джиттера в реальном времени, существенно ускоряющие процессы тестирования. ☑

The author reviews the role of reference clock and the effects of clock jitter on data jitter, and discusses a new measurement technique equipped with the Agilent E5001A Precision Clock Jitter Analysis Application running on the E5052B Signal Source Analyzer (SSA) that delivers unprecedented capabilities, ultra-low random jitter (RJ) measurement and real-time jitter spectrum analysis on both RJ and periodic jitter (PJ) components, allowing you to improve your design quality.

Новинка!

FLUKE®

Надежные тепловизоры Ti25 и Ti10 помогут точно определить зону неисправности

Простые в использовании тепловизоры Fluke Ti25 и Ti10 помогут выявить и решить проблемы, возникающие на производстве. С помощью запатентованной технологии IR-Fusion® Вы можете получить четкую термограмму в комбинации с обычным изображением и определить проблемные участки.

- Приборы отображают даже небольшую разницу температур на дисплее с высокой разрешающей способностью
- Проверены на прочность при падении с двухметровой высоты
- Встроенный диктофон позволяет добавлять комментарии к каждой термограмме (Ti25)
- Сохраняют более 1 200 термограмм по технологии IR-Fusion® с температурными данными и голосовыми комментариями.
- Измеряют температуру до 350 °C (Ti25)

Fluke. Мы приводим Ваш мир в движение!

Закажите Ti25 или Ti10 прямо сейчас! Найдите ближайших к Вам дистрибьюторов с помощью сайта www.fluke.ru.

А также подпишитесь на рассылку новостей E-test-it! (выпуски 6 раз в год)

Технология IR-Fusion®:
Ни одна проблема не останется за кадром