

ПРОГРАММНОЕ ВЫДЕЛЕНИЕ ТАКТОВОЙ ЧАСТОТЫ В ОСЦИЛЛОГРАФАХ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

SOFTWARE CLOCK RECOVERY IN REAL-TIME OSCILLOSCOPES

Арт Портер (Art Porter), компания Agilent Technologies

В большинстве высокоскоростных последовательных шин используется тактовая информация, встроенная в данные, поэтому для высокоуровневого анализа этой информации необходимо программное выделение тактовой частоты. Для измерения джиттера, построения глазковой диаграммы или декодирования данных с кодировкой 8b/10b осциллограф реального времени должен выделять тактовую частоту из данных. В этой статье описываются переменные, которыми может оперировать пользователь для выполнения корректных измерений при программном выделении тактовой частоты.

Осциллографы реального времени компании Agilent (серии DSO8000 и DSO80000) используют программное выделение тактовой частоты для изме-



рения джиттера, построения глазковых диаграмм, декодирования последовательных данных в формате 8b/10b и для синхронизации от заданной последовательности данных с помощью функции Agilent InfiniiScan.

Чтобы увидеть тактовую частоту, можно включить опцию «Показать тактовую частоту» в функции анализа последовательных данных.

На первом этапе программного выделения тактовой частоты отыскиваются все фронты сигнала в памяти осциллографа, как показано на рис. 2.

Следующий этап зависит от того, какой режим выделения тактовой частоты вы выбрали, что, в свою очередь, зависит от характеристик сигнала и того измерения, которое вы собираетесь выполнять. Осциллографы Agilent имеют три базовых режима выделения тактовой частоты, как показано в табл. 1.

Если выбрать постоянную частоту, программа выполняет линейную регрессию по частоте и фазе для отыскания минимума TIE. Выделение постоянной тактовой частоты позволяет увидеть все составляющие джиттера сигнала, даже те, которые добавлены намеренно, например, SSC. Режим постоянной частоты следует выбирать, например, для измерения параметров SSC или для тестирования передатчиков.

определяют характеристики выделения частоты, которые надо использовать при измерении джиттера. Типичная полоса цепи обратной связи, используемая во многих стандартах, равна $f/1667$, где f — скорость передачи данных.

Режим выделенной тактовой частоты не относится, строго говоря, к программному выделению тактовой частоты, но мы все равно рассмотрим его в



Рис. 1. Данные и выделенная тактовая частота

этой статье, поскольку он применяется в некоторых приложениях. Если выбрана выделенная тактовая частота, осциллограф выделяет тактовую частоту по фронтам сигнала в другом канале, используя пороговое значение, установленное для этого канала. Режим выделенной тактовой частоты используется для тестирования систем с явно присутствующим сигналом тактовой частоты.

Режим выделенной тактовой частоты позволяет также выполнять измерения в системах, тактовая частота кото-

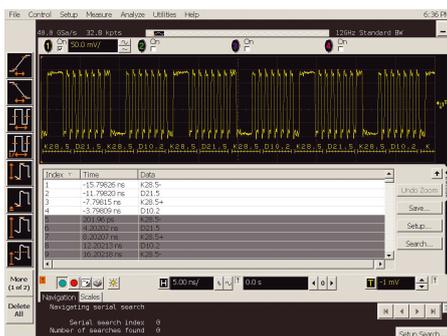


Таблица 1

БАЗОВЫЕ РЕЖИМЫ ВЫДЕЛЕНИЯ ТАКТОВОЙ ЧАСТОТЫ

Постоянная частота	Если вы хотите увидеть все составляющие джиттера сигнала на всех частотах. Пример: измерение параметров SSC, тесты передатчика
ФАПЧ	Если вы хотите измерить джиттер в том виде, в каком его воспринимает приемник после выделения тактовой частоты с помощью аппаратной ФАПЧ
Выделенная частота	Если тестируемая система использует выделенную тактовую частоту, а не встроенную в сигнал

Если выбрать выделение тактовой частоты с помощью ФАПЧ, программа эмулирует работу идеальной аппаратной системы ФАПЧ с выбранными характеристиками. Выбор этих характеристик мы обсудим позже. Все системы, использующие последовательные данные со встроенной тактовой частотой используют для ее выделения ФАПЧ. Любая аппаратная ФАПЧ фильтрует входящий джиттер с частотой ниже некоторого значения. Многие стандарты

рых ниже скорости передачи данных. Например, в DVI используется тактовая частота в 10 раз меньшая скорости передачи данных.

ВОЗМОЖНЫЕ ВАРИАНТЫ «ПОСТОЯННОЙ ЧАСТОТЫ»

Режим постоянной частоты имеет три разновидности: полностью автоматический режим, полуавтоматический режим или ручной режим. Для большинства случаев наилучшим вариантом

является полностью автоматический режим.

Иногда можно столкнуться с таким большим джиттером, что время между последовательными фронтами может быть меньше половины нормального битового периода. Если это произойдет, то на основании линейного алгоритма наилучшего соответствия может быть сделан вывод, что частота битов вдвое выше, чем она есть на самом деле. В этом случае можно использовать полуавтоматический режим и задать осциллографу «исходную» частоту. Обратите внимание, что эту проблему легко распознать по индикатору тактовой частоты EZJIT Plus или путем отображения тактового сигнала и измерения его частоты с помощью функции автоматического измерения частоты осциллографа.

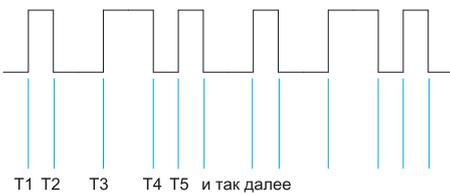


Рис. 2. Поиск фронтов

Полуавтоматический режим можно использовать для получения корректной частоты при отсутствии изолированных единиц и нулей в захваченных данных. В этом случае программа выбирает скорость передачи данных в целое число раз ниже. Можно ввести ожидаемую скорость передачи данных в качестве исходного значения и осциллограф найдет ближайшее наилучшее соответствие этой частоте.

Ручной режим используется редко. В этом режиме вы вводите точную частоту и осциллограф сравнивает сигнал с тактовым сигналом именно этой частоты. При наличии даже мизерного расхождения между опорной частотой осциллографа и опорной частотой измеряемой системы может возникнуть ошибка измерения джиттера, особенно при использовании очень больших объемов памяти. Например, если захватить 250000 интервалов сигнала, и при этом опорная частота осциллографа отличается от частоты задающего кварцевого генератора системы всего на одну миллионную долю, кумулятивная ошибка будет равна $1/4$.

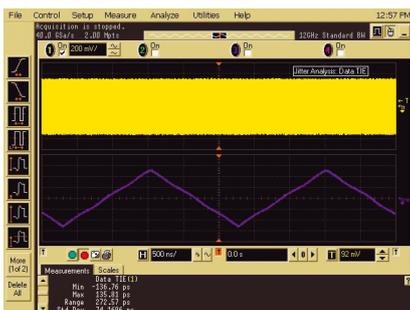


Рис. 3. Сигнал с низкочастотной фазовой модуляцией, анализируемый в режиме с выделением постоянной тактовой частоты

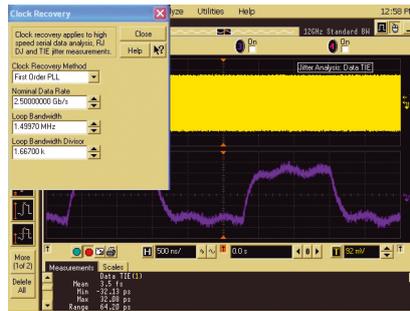


Рис. 4. Тот же сигнал, что и на рис. 3, в режиме восстановления тактовой частоты с помощью ФАПЧ

интервала. Рекомендуется везде, где можно, использовать в ручном режиме вход внешней опорной частоты осциллографа 10 МГц и синхронизировать осциллограф с измеряемой системой от общего источника частотой 10 МГц.

РЕЖИМ ВЫДЕЛЕНИЯ ТАКТОВОЙ ЧАСТОТЫ С ПОМОЩЬЮ ФАПЧ

Режим выделения тактовой частоты с помощью ФАПЧ позволяет измерять джиттер в том виде, в каком его воспринимает приемник системы после выделения тактовой частоты с помощью аппаратной ФАПЧ. В этом разделе для иллюстрации некоторых основных моментов мы рассмотрим несколько примеров измерения в режиме выделения тактовой частоты с помощью ФАПЧ.

На рис. 3 показан сигнал с низкочастотной фазовой модуляцией, подобный типичному сигналу SSC (тактирование с распределенным спектром). В данном примере сигнал модулируется по фазе треугольным сигналом частотой 33 кГц. Желтым цветом показан сигнал последовательной шины. Фиолетовым цветом показана диаграмма ТИЕ. Она представляет значение ТИЕ для каждого фронта сигнала данных, выровненное по времени с сигналом данных. Обратите внимание, что амплитудное значение ТИЕ (диапазон) составляет 272,57 пс.

На рис. 4 показан тот же сигнал, но теперь для выделения тактовой частоты используется ФАПЧ первого порядка. Заметьте, что амплитуда кривой равна теперь 64 пс.

Почему выделение тактовой частоты с помощью ФАПЧ не полностью устраняет джиттер? Разве ФАПЧ не должна подавлять любой джиттер с частотой ниже выбранной полосы пропускания обратной связи?

Нет, ФАПЧ первого порядка подавляет джиттер с частотой ниже полосы пропускания обратной связи с крутизной среза 20 дБ на декаду.

И хотя частота треугольного сигнала равна 33 кГц, вершины треугольника представляют собой быстрые изменения наклона, которые содержат высокочастотные составляющие модуляции. Вот почему после выделения тактовой частоты с помощью ФАПЧ получается меандр. ФАПЧ работает, как ФВЧ, а ФВЧ аналогичен дифференцированию;

производная от треугольного сигнала дает прямоугольный сигнал.

На рис. 5 показана реакция алгоритма выделения тактовой частоты с помощью ФАПЧ первого и второго порядка. Некоторые стандарты последовательной передачи данных определяют применение характеристики второго порядка. В этом случае, кроме полосы пропускания обратной связи, указывается обычно и коэффициент затухания.

РЕЖИМ ВЫДЕЛЕННОЙ ТАКТОВОЙ ЧАСТОТЫ

Режим выделенной тактовой частоты применяется для измерения в системах, использующих отдельную, присутствующую в явном виде тактовую частоту. В этом режиме сигнал тактовой частоты подается на один канал осциллографа, а сигнал данных — на другой. Диалоговое окно настройки тактовой частоты попросит указать канал источника тактовой частоты.

Программа анализа последовательных данных или джиттера исходит из предположения, что моменты пересечения порога сигналом тактовой частоты в точности соответствуют моментам тактирования, поэтому очень важно устранить временные сдвиги между сигналом тактовой частоты и сигналом данных, так чтобы фронты тактовой частоты не совпадали с фронтами данных. Для этого можно воспользоваться регулятором временного сдвига в канале.



Рис. 5. Характеристика восстановления тактовой частоты с помощью ФАПЧ первого и второго порядка

Если измеряемая система использует тактовую частоту, которая ниже скорости передачи данных, можно использовать умножение тактовой частоты. Этой функцией можно пользоваться и для измерения в системах с неперiodическими данными пакетного типа, в которых присутствуют сигналы тактовой частоты или частоты ниже скорости передачи данных. Например, в системе PCI Express тактовую частоту 100 МГц можно использовать в качестве выделенной тактовой частоты после умножения на 25.

Most high-speed serial data links use clock information embedded in the data, so software clock recovery is required for any higher level analysis of the information. To measure jitter or eye diagrams, real-time oscilloscopes must recover the clock from the data. This article discusses the many variables that the user has in their control to derive the correct measurements and insights using software clock recovery.