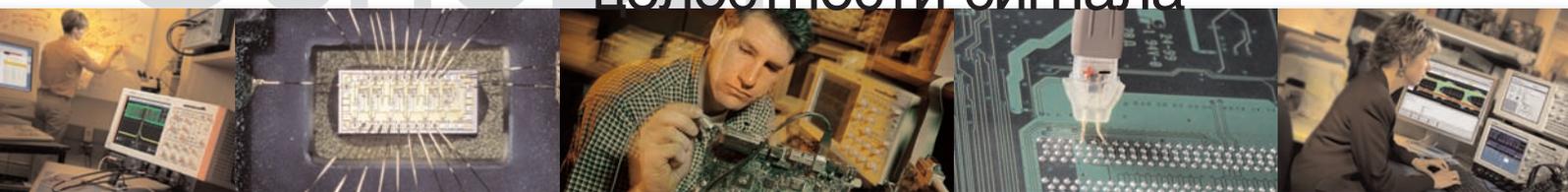


ОСНОВЫ

ЦЕЛОСТНОСТИ СИГНАЛА

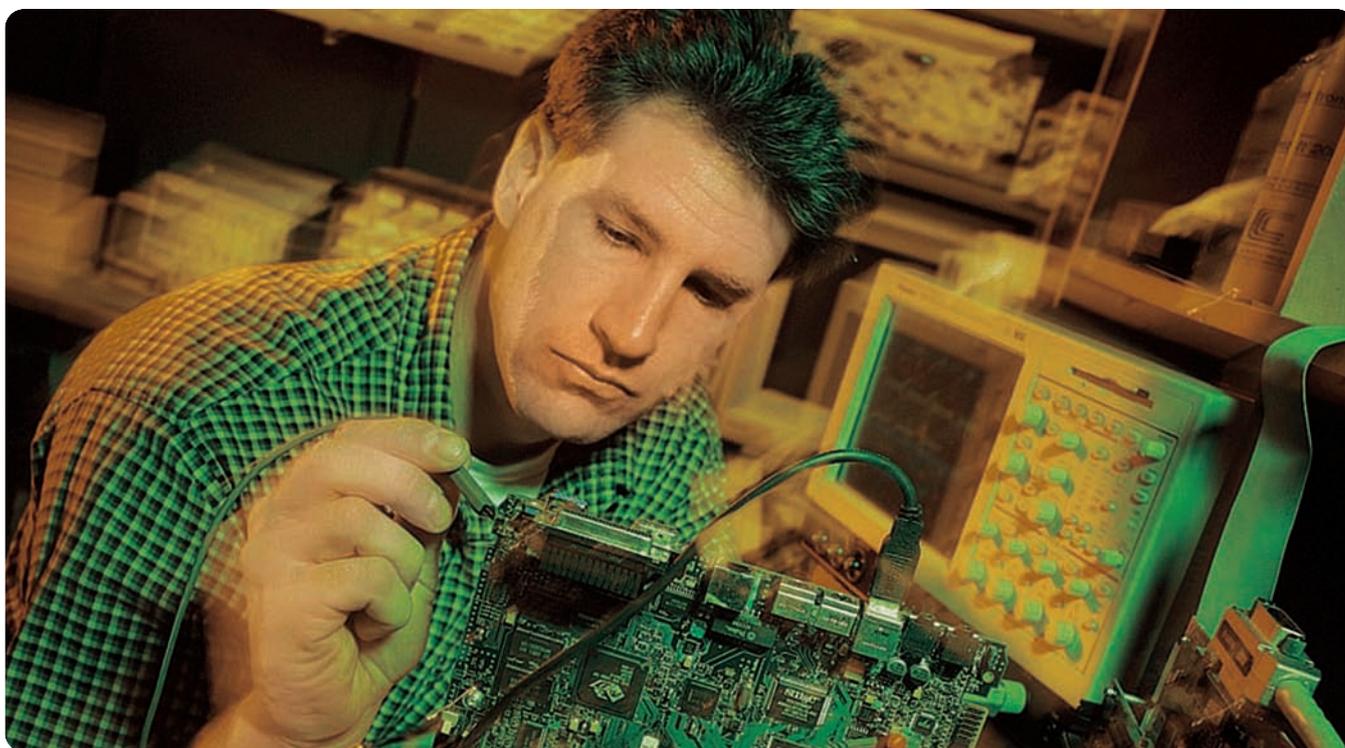


Оглавление

Введение -----	4	Примеры применения -----	22-25
Что такое «целостность сигнала»	4	Выводы -----	26
Цифровая технология -----	5		
Цифровые технологии в век информации	5		
Технический обзор -----	6-7		
Разработка на основе концепции целостности сигнала	6-11		
Решения оценки -----	12		
Требования к решениям оценки целостности сигнала	12		
Логические анализаторы и обнаружение цифровых сбоев	13		
Пробники логических анализаторов	14		
Цифровые осциллографы и обнаружение искажений аналоговых сигналов	15-16		
Пробники осциллографов	17		
Значение полосы пропускания осциллографа	18-19		
Объединение логических анализаторов с осциллографами для обнаружения нарушений целостности сигнала	20		
Средства анализа джиттера (нестабильности фронтов) упрощают выполнение сложных измерений	21		

Основы целостности сигнала

► Начальное руководство



Что такое «целостность сигнала»

В традиционном понимании термин «целостный» означает «полный и нетронутый». Таким образом, целостный цифровой сигнал должен иметь четкие и быстрые переходы, стабильные и четкие логические уровни, точные соотношения во времени, а кроме того в нем не должно быть переходных процессов. По причинам, которые будут объяснены далее, создание и поддержание полных и нетронутых сигналов в цифровых системах становится все более затруднительным. Сохранение целостности цифровых сигналов стало настоящей необходимостью для разработчиков систем.

В этом кратком руководстве предоставлены сведения о причинах, особенностях, воздействии и способах устранения неполадок, связанных с отсутствием целостности сигнала в цифровых системах.

Цифровые технологии в век информации

Прошло два десятилетия с того времени как появились персональные компьютеры в их современном виде, и почти 15 лет с тех пор как рядовым потребителям стали доступны сотовые телефоны. В течение этого времени сохранялась одна тенденция: спрос на возрастающее число функций и услуг и расширение полосы частот для его удовлетворения. Пользователям ПК первого поколения, когда-то восхищавшимся возможностями простых электронных таблиц, сейчас требуется графика, звук и видео. Подписчикам мобильных телефонов, когда-то довольные самой возможностью общаться без проводов, теперь нужны текстовые сообщения, биржевые котировки, работа в Интернете и многое другое.

Предприятия, правительства и отдельные люди во всех странах мира стали зависеть от новой информации и полагаться на ее своевременную и надежную доставку. Современную культуру, основанную на переплетении взаимозависимых данных, хорошо определяет чеканный термин «век информации».

Спрос на информацию удовлетворяется постоянным потоком прорывов в технологиях полупроводников, архитектуры шин ПК, инфраструктуры сетей и средств беспроводной связи. Быстродействие процессоров ПК (и тем более особого класса компьютеров – серверов) достигло нескольких гигагерц, соответственно возросли производительность и быстродействие внутренних шин.

Эти возросшие скорости позволяют поддерживать такие приложения как 3D-игры и системы автоматизированного проектирования. Чтобы на экране появилось трехмерное изображение с текстурами и тенями, необходимо обеспечить огромную производительность на уровне схемных плат, причем если изображение движется, центральный процессор, графическая подсистема и память должны постоянно обмениваться данными.

Компьютеры – всего лишь одна грань информационного века с его жаждой скорости. Разработчики цифровых средств связи (в особенности те, кто занимается электронными и оптическими элементами инфраструктуры для мобильных и стационарных сетей) работают со скоростями передачи данных до 40 Гбит/с. А группы, разрабатывающие цифровые видеоприборы, создают передающее оборудование нового поколения для интерактивного видео с высоким разрешением.

Рост скорости передачи данных поддерживается многочисленными технологиями. Появляются последовательные шины, преодолевающие скоростные барьеры, свойственные старой архитектуре параллельных шин. В таких компонентах как запоминающие устройства Rambus используется схема с точным управлением, с импедансом 28 Ом (вместо более распространенных 50 Ом), что обеспечивает целостность сигнала при максимальных тактовых частотах. В поисках способов увеличения плотности монтажа и сокращения пути сигналов разработчики обращаются к печатным платам уменьшенного размера и повышенной плотности, на которых устанавливаются микросхемы с шариковыми выводами и используются глухие межслойные переходные отверстия.

Основы целостности сигнала

- ▶ Начальное руководство

Разработка с учетом требований к целостности сигнала

Чем шире полоса частот, тем важнее «детали» цифрового сигнала

Участие в гонке за полосой частот цифрового сигнала требует новаторского мышления. Для повышения быстродействия системы недостаточно просто увеличить тактовую частоту. По мере увеличения частоты проводимость дорожек на печатной плате обретает сложный характер. На низких частотах (например, тактовых частотах старых систем) сопротивление дорожки преимущественно активное. По мере роста частоты начинает сказываться емкость дорожки. На самых высоких частотах сильнее проявляется индуктивность дорожки. Все эти характеристики могут неблагоприятно влиять на целостность сигнала.

На тактовых частотах сотни мегагерц и более важное значение имеют все конструктивные особенности:

- ▶ распределение тактовых сигналов;
- ▶ очертания проводящих дорожек;
- ▶ ответвления;
- ▶ пределы допустимого шума;
- ▶ импедансы и нагрузки;
- ▶ влияние линий передачи;
- ▶ возвратные токи сигналов;
- ▶ согласование;
- ▶ развязки;
- ▶ распределение питания.

Все эти соображения влияют на целостность цифровых сигналов тактирования и данных, распространяющихся в системе. Идеальный цифровой импульс составляет единое целое по времени и амплитуде; на нем нет искажений и нестабильности фронтов, его переходы быстрые и четкие. По мере увеличения быстродействия системы поддерживать идеальные характеристики сигнала становится все труднее. Поэтому сохранение целостности сигнала становится жизненно важной проблемой. Время нарастания импульса может быть удовлетворительным при тактовой частоте системы 50 МГц, но недостаточно быстрым для частоты 500 МГц и более. Значение целостности сигнала возрастает по мере того как в цифровых системах все чаще применяются гигабитные скорости передачи данных.

Проблемы временного согласования влияют на целостность цифрового сигнала

Инженеры, работающие над новыми цифровыми системами, как правило, сталкиваются с проблемами целостности сигналов в цифровой форме. Иначе говоря, двоичные сигналы на шинах или выходах устройства приобретают неверные значения. Ошибку можно заметить на осциллограмме (при измерении временных соотношений) в логическом анализаторе; она может проявиться и на уровне состояний и даже на уровне протокола. Следует помнить, что всего один неправильный бит может оказать самое серьезное влияние на оператор программы или переход.

Искажения цифрового сигнала вызываются многими основными причинами. Особенно распространены причины, связанные с временными соотношениями.

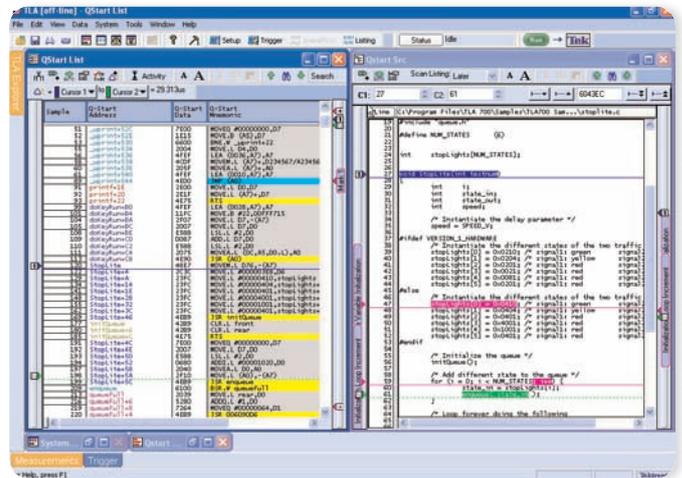
- ▶ Конфликты на шине возникают, когда два формирователя одновременно подают сигнал на одну и ту же шину. В результате неизбежно появляются искажения. Обычно один из формирователей установлен в состояние с высоким импедансом и остается «отключенным», пока другой формирователь передает данные. Если состояние с высоким импедансом не устанавливается в нужный момент, два формирователя вступают в конфликт на шине. Ни один из них не может одержать верх, и на шине устанавливается неопределенное состояние, которое может не достигать порогового уровня; в результате на шине устанавливается, например, уровень логического нуля там, где должна быть логическая единица.
- ▶ В цифровых системах могут происходить нарушения времени установки и удержания. Для работы тактируемых устройств, например D-триггеров, требуется, чтобы данные на входе оставались неизменными в течение заданного времени перед приходом фронта тактового импульса. Этот промежуток времени называется временем установки. Аналогичным образом входные данные должны оставаться неизменными в течение заданного времени после прохождения переднего фронта тактового импульса. Этот промежуток времени называется временем удержания.

При нарушении времени установки и удержания на выходе могут появиться непредсказуемые выбросы, либо состояние выхода может вообще не измениться. По мере увеличения быстродействия устройств требования по времени установления и удержания ужесточаются, что затрудняет устранение неполадок, связанных с временными соотношениями.

- ▶ **Метаустойчивость** – неопределенное или нестабильное состояние данных, появившееся в результате нарушения временных соотношений, например времени установления и удержания. При этом в выходном сигнале могут появиться выбросы, ведущие к неполадкам.
- ▶ Неопределенные состояния могут появиться при несовпадении во времени переходов состояний на нескольких входах логического устройства. Эта неполадка может быть вызвана изменениями или ошибками в задержках входных сигналов.

Приборы для сбора цифровых данных, в частности, логические анализаторы, оснащены развитыми средствами, позволяющими пользователям синхронизировать прибор по цифровым сигналам, хранить эти сигналы и просматривать их в различных форматах. Пробники, подсоединенные к исследуемой системе, передают данные на каналы логического анализатора. Современные логические анализаторы могут одновременно собирать данные из нескольких тысяч тестовых точек.

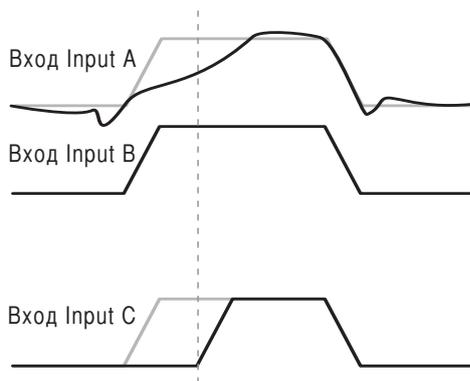
Основной режим отображения – режим временных диаграмм, в котором отображаются потоки цифровых импульсов и их взаимное расположение, как показано на рис. 1. На экране состояний (**Рис. 1**) отображаются данные, выбранные по тактовым сигналам, генерируемым внутри испытываемой системы, что позволяет разработчику определять состояния цифровых схем. В дальнейшем эти результаты можно интерпретировать с помощью дизассемблеров и пакетов поддержки процессоров, что позволяет с помощью логического анализатора сопоставить трассировку работы программного обеспечения в реальном времени (привязанную к исходному коду) с низкоуровневыми процессами в аппаратуре. В большинстве приборов такие действия ограничены областью цифровых сигналов.



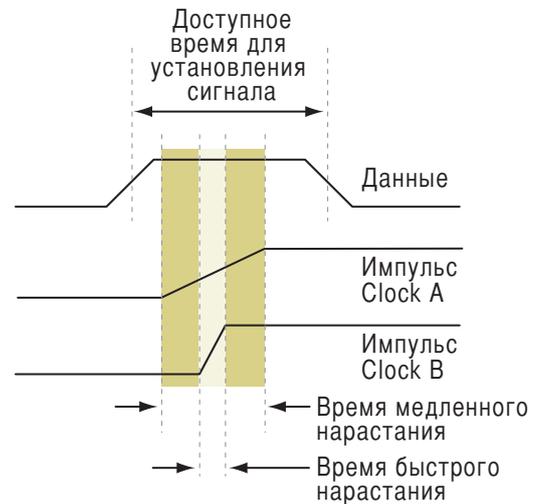
▶ **Рис. 1.** Экран логического анализатора с временной диаграммой и трассировкой программы, совмещенной с исходным кодом

Основы целостности сигнала

► Начальное руководство



► **Рис. 2.** Черная кривая на осциллограмме Input A – фактический сигнал в аналоговом представлении. Затянутый фронт нарастания черной осциллограммы пересекает пороговый уровень с запозданием, что приводит к уменьшению длительности выходного импульса. Целостность сигнала Input A очень низкая.



► **Рис. 3.** Если сигнал данных Data тактируется сигналом Clock A, затянутый фронт этого сигнала требует отвести для данных слишком много времени. Более крутой фронт сигнала Clock B оставляет больше времени для установки значения данных. (рисунок не в масштабе).

Прослеживание искажений аналоговых сигналов

Многие неполадки цифровой техники легче обнаруживаются, если имеется возможность глубоко изучить поведение сигнала и исследовать аналоговое представление цифрового сигнала со сбоями. Причина неполадки, проявляющейся в виде смещенного цифрового импульса, может скрываться в его аналоговых характеристиках. Аналоговые характеристики могут вызвать цифровые сбои, когда сигналы с низкой амплитудой преобразуются в неверные логические состояния или когда импульсы сдвигаются во времени из-за затянутого фронта нарастания. Просмотр потока цифровых импульсов одновременно с аналоговым представлением этих импульсов – первый шаг при поиске подобных неисправностей.

При обсуждении целостности сигналов особого внимания заслуживают переходы сигналов. Почему это так, объясняет временная диаграмма на **Рис. 2**. Предположим, сигналы поступают на два входа обычной спадающей логической схемы «И». Серой линией показано, каким должен быть сигнал Input A. Наложена на него искаженная черная осциллограмма – аналоговое представление реального сигнала. Из-за продолжительного времени нарастания реальный сигнал пересекает пороговый уровень существенно позже, чем требуется. В результате выходной импульс укорачивается (правильная длительность импульса показана серым цветом). Эта неполадка может вызвать ошибки в последовательной

логике. Целостность сигнала Input A очень невысокая, что вызывает серьезные последствия для остальных цифровых элементов системы.

Предположим, выходной сигнал должен использоваться в адресе памяти. Укороченный импульс может привести к тому, что вместо логической единицы он будет воспринят как ноль, что приведет к неправильному выбору ячейки памяти. Разумеется, содержимое этой ячейки окажется совершенно неприемлемым для выполняемой операции. В конечном счете результат операции окажется неверным.

Даже в тех случаях, когда не появляются повторяющиеся ошибки, затянутые фронты могут привести к появлению нерегулярных сбоев системы. Допуски по времени в самых быстродействующих системах оставляют немного времени на нарастающие и спадающие фронты. Время установки и удержания за последние годы значительно уменьшилось. Например, память Rambus и DDR (с удвоенной частотой данных) характеризуется временами нарастания и спада в сотни пикосекунд.

Из-за затянутых фронтов остается слишком мало времени для установления значения данных, как показано на рис. 3. Временные соотношения на **Рис. 3** преувеличены для наглядности. Из-за медленного нарастания тактового сигнала может не хватить времени для установления сигнала данных.

Эти два примера показывают некоторые возможные последствия неполадок с фронтами в цифровых системах.

Топология схемы, время перехода, и целостность сигнала

Как мы уже видели, искажение времени нарастания или спада само по себе может привести к цифровым сбоям. Для современных цифровых технологий требуются сигналы с быстрыми и четкими фронтами.

Важно помнить, что во многих цифровых системах, работающих с низкими тактовыми частотами, фронты могут быть очень быстрыми. Успехи в технологии полупроводниковых устройств позволили получить быстрые фронты практически во всех семействах логических схем. Независимо от тактовой частоты, эти фронты несут высокочастотные компоненты. Быстрые фронты дают много преимуществ, но вместе с тем вносят ряд трудностей в работу конструктора.

В современной архитектуре шин используются сигналы с временем нарастания и спада в диапазоне сотен пикосекунд. Некоторые из примеров приведены в **Табл. 1**.

Чтобы использовать такие сигналы, конструкторам приходится предпринимать дополнительные усилия при выборе компонентов, способов согласования и топологии. Если на дорожки длиной 150 мм на печатной плате подан сигнал с фронтом короче двух наносекунд, эти дорожки, независимо от тактовой частоты, действуют как длинные передающие линии.

Цифровое устройство	Время перехода (время нарастания и спада)
DDR RAM	<250 пс
FireWire IEEE 1394b	От 80 до 300 пс
InfiniBand	≈100 пс
USB 2.0	>500 пс

► Таблица 1. Время перехода в цифровых устройствах.

В современных устройствах фронты могут быть на порядок короче, а это значит, что скорость перехода следует учитывать при разработке любого цифрового устройства.

При быстром перепаде сигнала создаются новые пути его распространения. Эти неосознаваемые соединения не отображаются на схемах, но тем не менее обеспечивают пути непредсказуемого взаимного влияния сигналов. Например, плоскости заземления и питания становятся частью системы линий передачи, сформированных циркуляцией сигналов по печатной плате и в свою очередь взаимодействующих друг с другом.

Эти взаимодействия называются перекрестными помехами и колебаниями в шине заземления.

Подобные эффекты обусловлены классическими аналоговыми явлениями. Из-за них происходят многие из сбоев, поражающих новые цифровые системы. Целостность цифровых сигналов зависит от их поведения в аналоговой области.

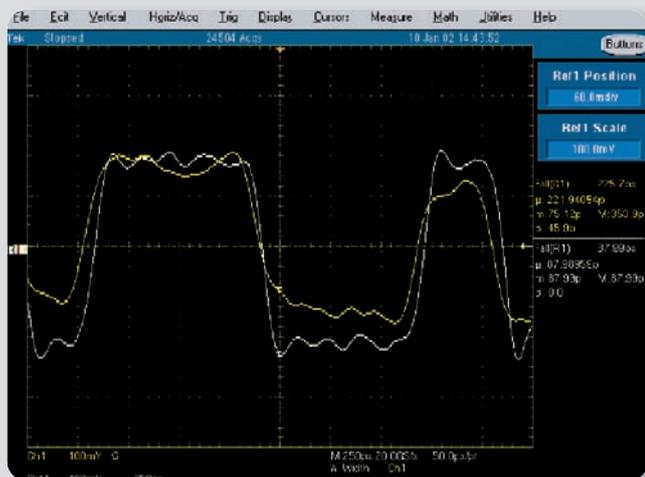
Основы целостности сигнала

► Начальное руководство

Целостность сигнала – многозначный термин

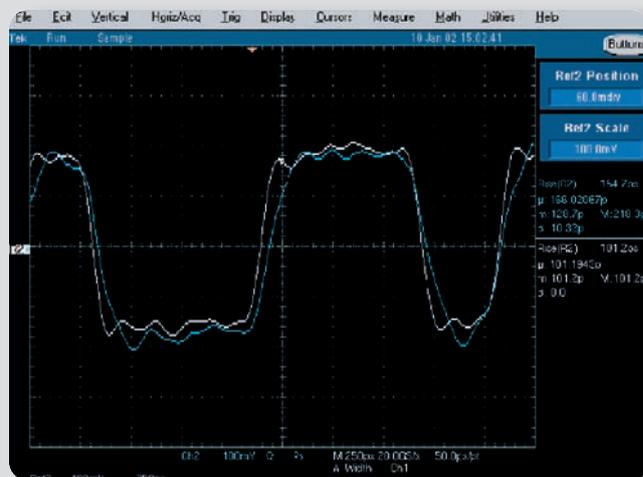
Для целей нашего обсуждения определим нарушение «целостности сигнала» как любое явление, способное неблагоприятно повлиять на способность сигнала к передаче двоичной информации. В реальных, действующих цифровых устройствах двоичным сигналам присущи аналоговые атрибуты, обусловленные сложным взаимодействием многочисленных элементов схемы, от выходных параметров формирователя до согласования путей распространения сигналов.

Основные виды неполадок.



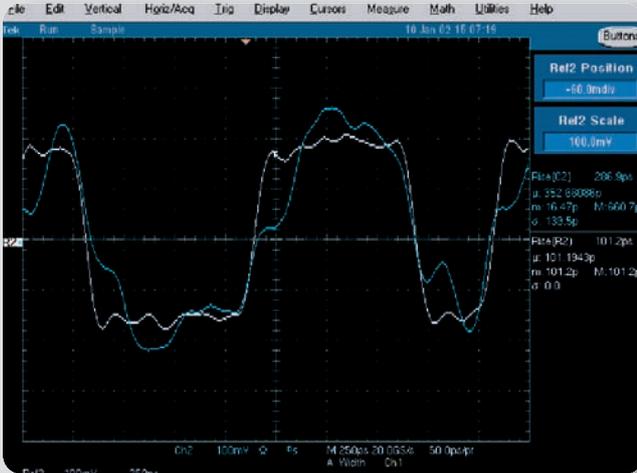
► Нарушения амплитуды

В число нарушений амплитуды входит «звон» (колебания), спад вершины (уменьшение амплитуды в начале импульса) и низкие импульсы (не достигающие полной амплитуды).



► Искажения фронтов

Искажения фронтов могут быть вызваны неудачной топологией печатной платы, как описано ранее, неправильным согласованием или даже применением некачественных полупроводниковых устройств. В число искажений фронта входят выбросы, скругленный фронт, «звон», затянутый фронт и другие искажения.



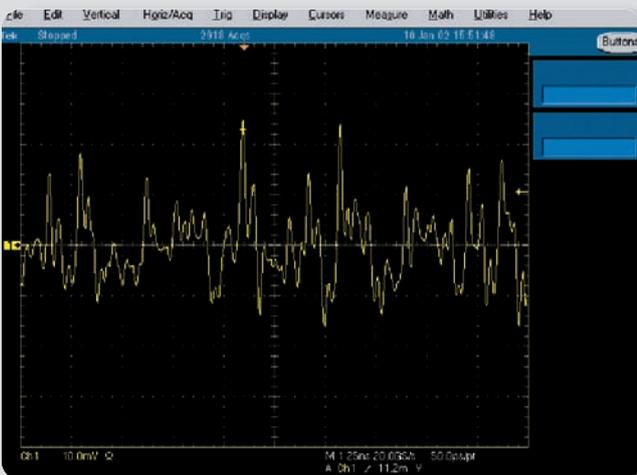
► **Отражения**

Отражения могут появиться вследствие неправильного согласования и неудачной топологии печатной платы. Исходящий сигнал отражается в направлении источника и накладывается на следующие импульсы.



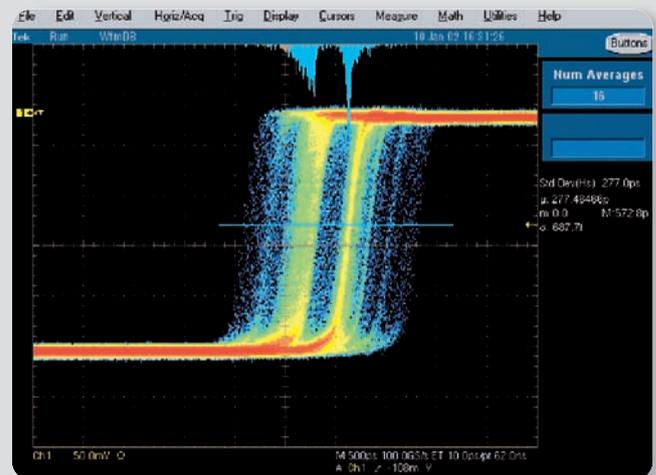
► **Колесания в шине заземления**

Колесания в шине заземления, вызванные избыточным током (или сопротивлением источника питания и возвратных путей по заземлению), могут вызвать смещение опорного уровня схемы при протекании больших токов.



► **Перекрестные помехи**

Перекрестные помехи возникают, когда длинные проводники проходят рядом, что приводит к связи между ними через взаимную емкость и индуктивность. Кроме того, значительные токи и резкие фронты приводят к увеличению уровня электромагнитного излучения и, следовательно, перекрестных помех.



► **Нестабильность фронтов**

Нестабильность фронтов возникает, когда в цифровом сигнале происходят малые смещения фронтов от цикла к циклу. Это может повлиять на точность соблюдения временных соотношений и синхронизации в цифровых системах.

Основы целостности сигнала

► Начальное руководство

Проверка целостности сигнала. Требования:

Непосредственные наблюдения и измерения сигнала – единственный способ найти причины неполадок, связанных с нарушением целостности сигнала. Как всегда, правильный выбор средства упрощает выполнение задачи. В большинстве случаев измерения целостности сигнала выполняются с помощью одних и тех же привычных приборов, имеющихся почти в любой лаборатории электронной техники. К этим приборам относятся логический анализатор и осциллограф. Пробники и программное обеспечение завершают основной набор инструментов. Кроме того, для создания искаженных сигналов с целью тестирования новых устройств и систем в условиях повышенной нагрузки и оценки их качеств могут использоваться источники сигналов.

Какие основные вопросы необходимо рассмотреть при создании системы измерения целостности сигнала? К самым важным моментам относятся следующие.

- Подсоединение пробников – способен ли измерительный прибор точно передавать сигналы с тестируемого устройства на вход системы регистрации? Являются ли пробники надежными и удобными в использовании?
- Полоса пропускания и переходная характеристика – способен ли измерительный прибор точно распознавать поведение сигнала (цифрового и аналогового) вплоть до пикосекундного диапазона? Возможно, одной из самых важных характеристик для измерения целостности сигнала является ширина полосы пропускания осциллографа и переходная характеристика. Эти характеристики обеспечивают адекватную регистрацию искажений сигнала, определяющих его целостность.
- Временное разрешение – способен ли измерительный прибор правильно захватывать данные о времени переходов в каждом цикле передачи данных, даже при самых высоких значениях тактовой частоты? Временное разрешение логического анализатора является важной характеристикой для первоначального обнаружения неправильно расположенных импульсов и фронтов, влияющих на целостность сигнала.
- Длина памяти – сколько отсчетов может храниться в измерительном приборе при высокой частоте дискретизации?
- Синхронизация – имеется ли в измерительном приборе универсальный набор функций синхронизации и, что более важно, имеются ли функции синхронизации, позволяющие точно определить неполадки, связанные с целостностью сигнала?
- Отображение и анализ – имеется ли в измерительном приборе возможность отображения результатов в форме, удобной для просмотра и интерпретации?
- Интеграция – обеспечена ли возможность интеграции измерительного прибора с другими приборами с целью создания сбалансированного решения для измерения аналоговых и цифровых сигналов, позволяющего исследовать все характеристики системы на цифровом и аналоговом уровнях, а также на уровне протоколов?

Функции логического анализатора	Рекомендуемые параметры для анализа целостности сигнала
Объединение с осциллографом	Совмещенные по времени осциллограммы на экране логического анализатора, многоканальные глазковые диаграммы
Подсоединение пробников	Одновременный сбор данных для временных диаграмм, регистрации состояний и аналоговых сигналов через один пробник логического анализатора
Временное разрешение измерений времени	125 пс (при тактовой частоте 8 ГГц)
Сбор данных о состоянии с тактовой частотой	До 800 МГц
Длина памяти	До 256 млн отсчетов
Синхронизация	По фронту, по выбросам, логическая, по времени установки и удержания и т. п.
Анализ	Пакеты поддержки процессора и дизассемблеры
Экран	Несколько экранов

► **Таблица 2.** Для анализа целостности сигнала необходимо использовать логические анализаторы с самыми лучшими на данный момент техническими характеристиками.

Логический анализатор обнаруживает неполадки цифровых систем

Как было отмечено выше, логический анализатор является первым рубежом обороны при отладке цифровых систем, особенно при работе со сложными системами, в которых имеется множество шин, входов и выходов. Данный прибор оснащен большим числом каналов, памятью большого объема и современными функциями синхронизации для регистрации цифровых данных из множества тестовых точек и согласованного отображения этой информации.

Поскольку логический анализатор – это цифровой прибор, он обнаруживает пересечение сигналом пороговых уровней, а затем отображает логические сигналы так, как они воспринимаются логическими интегральными схемами. Полученные временные диаграммы являются четкими и понятными, их легко сравнивать с предполагаемыми данными, чтобы убедиться в правильной работе всех компонентов. Обычно эти временные диаграммы служат отправной точкой для поиска неполадок, нарушающих целостность сигнала.

Не все логические анализаторы подходят для анализа целостности сигнала в условиях современных сверхвысоких (и все увеличивающихся) скоростей передачи цифровых данных. В таблице 2 приведены некоторые сведения о технических характеристиках, на которые следует обратить внимание при выборе логического анализатора для устранения неполадок, связанных с целостностью сигнала, в современных устройствах.

Делая акцент на частоте дискретизации и емкости памяти, легко упустить из вида функции синхронизации, имеющиеся в логическом анализаторе. Зачастую использование функций синхронизации являются скорейшим способом найти источник проблемы. Если логический анализатор регистрирует ошибку, это является доказательством того, что она произошла. В большинстве современных логических анализаторов предусмотрены функции синхронизации, позволяющие обнаруживать определенные события, нарушающие целостность сигнала, – например, глитчи (выбросы) и нарушения времени установки и времени удержания. Эти условия запуска могут одновременно применяться для сотен каналов, что является уникальным преимуществом логических анализаторов.

Основы целостности сигнала

► Начальное руководство

Пробники логических анализаторов

Схема расположения пробников логического анализатора играет важную роль при регистрации высокочастотных цифровых сигналов. Пробник *должен* передавать сигнал на логический анализатор с максимально возможной точностью. Большинство логических анализаторов удовлетворяют этому требованию, а в некоторых из них эта концепция получила дальнейшее развитие.

В некоторых логических анализаторах требуется подсоединение отдельных пробников для регистрации состояния и временных характеристик. Этот способ, известный как «двойное подключение», подвергает риску среду, в которой распространяется сигнал, поскольку он оказывает влияние на все выполняемые измерения. Например, одновременное подсоединение к тестовой точке двух пробников может привести к созданию неприемлемой нагрузки; подключение к тестовой точке каждого пробника связано с удвоенным риском повреждения и нарушения подсоединения. Более того, подсоединение к тестируемому устройству двух пробников может отнимать много времени.

В некоторых логических анализаторах предоставляется возможность одновременного измерения временных характеристик и параметров состояния с использованием одного пробника. Такая одновременная регистрация временных характеристик и параметров состояния позволяет ускорить устранение неполадок и анализ целостности сигнала благодаря минимизации влияния пробников на тестируемую систему.

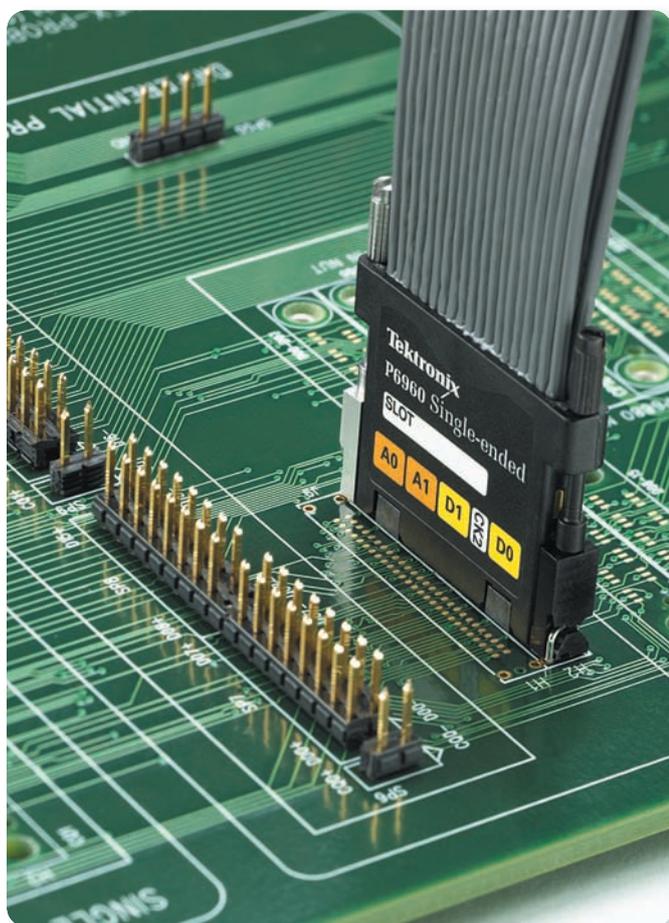
Новейшие научные и технические достижения подняли технологию подключения пробников на новый уровень. Пробники логических анализаторов нового поколения могут передавать цифровые данные (временные характеристики и параметры состояния) на логический анализатор, а также передавать эти же сигналы на осциллограф в аналоговом виде. Один пробник логического анализатора позволяет исследовать все особенности сигнала. Любой контакт пробника может использоваться для регистрации данных о цифровых и аналоговых сигналах. Аналоговый сигнал передается через логический анализатор на внешний осциллограф. Таким образом можно почти мгновенно определить, связана ли ошибка в цифровом сигнале с ошибкой в аналоговом сигнале.

В цифровых системах с высокими техническими характеристиками для измерения сигналов на практике обычно используются специальные точки подключения. Некоторые из этих точек подключения снабжены контактами, позволяющими упростить подсоединение зажимов пробников и комплектов проводов. Такие тестовые разъемы влияют на сигналы в исследуемом устройстве, даже когда оно не подключено к логическому анализатору.

Пробники логического анализатора можно подсоединять к специальным разъемам тестируемой системы. В таком качестве в пробнике логического анализатора используется компактный разъем Mictor с высокой плотностью контактов. Такие разъемы обеспечивают быстрое подключение, но увеличивают затраты на производство устройства и могут влиять на прохождение высокоскоростных сигналов.

Прижимные пробники с высокой плотностью контактов и технология D-Max™ были созданы в качестве альтернативы традиционным разъемам Mictor. Для этих новых пробников не требуются разъемы на тестируемом устройстве. Они прижимаются непосредственно к контактным площадкам на монтажной плате. На **Рис. 4** представлен безразъемный пробник D-Max™, установленный на монтажной плате. Эти пробники, закрепленные с помощью резьбовых вставок, сконструированы с учетом индуктивности контакта, а также обеспечивают малую емкостную нагрузку, – всего 0,5 пФ. Кроме того, они позволяют выполнять как обычные, так и дифференциальные измерения без сокращения количества каналов. Эти безразъемные пробники D-Max™ оказывают минимальное воздействие на сигнал в любой схеме расположения пробников логического анализатора.

Безразъемные пробники D-Max™ для логических анализаторов оказывают меньшее воздействие на монтажную плату, чем пробники с разъемами Mictor, но для них также требуются специальные контактные площадки на монтажной плате. Внешний вид сигналов зависит от места, в котором пробник подсоединяется к шине.



► **Рис. 4.** Конструкция нового безразъемного пробника логического анализатора D-Max™ обеспечивает удобное подключение, позволяющее с высокой точностью передавать сигналы с тестируемой системы на приборы.

Поэтому обычно желательно помещать тестовые точки поблизости от устройств, принимающих сигнал, – в них характеристики сигнала ближе к тем, которые проявляются на входе логических интегральных схем. Малая площадь, занимаемая безразъемными пробниками D-Max™, обеспечивает гибкость при размещении пробников.

Цифровые осциллографы позволяют обнаружить искажения аналоговых сигналов

Вторым компонентом системы анализа целостности сигнала является цифровой осциллограф. Этот прибор предназначен для обнаружения неполадок, связанных с аналоговыми сигналами, при их регистрации (в цифровом виде) логическим анализатором. Цифровые осциллографы выпускаются в нескольких

модификациях: цифровой запоминающий осциллограф (DSO), осциллограф с цифровым люминофором (DPO) и стробоскопический осциллограф.

Одной из наиболее важных особенностей цифровых запоминающих осциллографов и осциллографов с цифровым люминофором является возможность зарегистрировать однократное событие. Цифровой запоминающий осциллограф и осциллограф с цифровым люминофором регистрируют аналоговые характеристики исследуемых сигналов. Они могут с одинаковой простотой и точностью отображать прямоугольный сигнал, нестационарный выброс или синусоидальный сигнал. Запуск осциллографа может осуществляться по просматриваемому сигналу, по синхронизирующему сигналу от тестируемой системы или после получения команды от подсоединенного прибора, например от логического анализатора.

Еще одно преимущество заключается в возможности перемещения пробника. Тогда как логический анализатор обычно подсоединяется к тестируемой системе через фиксированный разъем (или через фиксированную безразъемную тестовую точку в приборах нового поколения), для подсоединения осциллографа обычно используются пробники с широкой полосой пропускания, подсоединяемые в произвольной точке – обычные (односторонние) или дифференциальные пробники и даже пробники тока.

Для многих цифровых осциллографов характерно обеспечение максимальной частоты дискретизации при использовании одного канала, половины от этой частоты – при использовании двух каналов и только $\frac{1}{4}$ от максимальной частоты дискретизации при использовании всех четырех каналов. Уменьшение частоты дискретизации может повлиять на качество регистрации. При сокращенной частоте дискретизации регистрируется меньше отсчетов для каждого цикла измеряемой осциллограммы, что усложняет точное восстановление зарегистрированного сигнала. Даже если полоса пропускания входного усилителя осциллографа остается неизменной, качество регистрации при использовании более низких частот дискретизации ухудшается. Очевидно, это сказывается и при выполнении анализа целостности сигнала с помощью осциллографа.

Основы целостности сигнала

► Начальное руководство

Функция осциллографа	Рекомендуемые параметры для анализа целостности сигнала
Полоса пропускания/время нарастания	Ширина полосы пропускания 6 ГГц, время нарастания 70 пс, режим реального времени, регистрация одиночного события
Частота дискретизации	20 Гвыб/с, полная частота дискретизации для нескольких каналов
Число каналов	4
Синхронизация	Синхронизация со стабильными фронтами по логическим условиям, синхронизация по нарушению времени установки и удержания и последовательная синхронизация
Длина памяти	240 000 точек (одновременно для нескольких каналов)
Компенсация фазового сдвига по каналам	Возможность надлежащим образом выравнивать входные сигналы всех каналов
Погрешность измерения интервалов времени	1,5 пс (среднеквадр.)
Подсоединение пробников	Пробник 6 ГГц для подсоединения в произвольном месте или прижимной фиксированный пробник с высокой плотностью контактов, подсоединяемый через логический анализатор
Экран	Цветной
Интеграция	Совмещенные по времени осциллограммы и временные диаграммы логического анализатора на одном экране
Автоматизация и анализ	Комплекты для выполнения автоматических измерений джиттера (нестабильности фронтов), стандартов шины и т. д.

► Таблица 3. Основные характеристики цифрового осциллографа для анализа целостности сигнала и устранения неполадок, связанных с целостностью сигнала.

В современных цифровых запоминающих осциллографах эти эффекты учитываются посредством использования частоты дискретизации, которая в три-пять раз превышает ширину полосы пропускания осциллографа, одновременно для нескольких каналов. Благодаря этому обеспечивается достаточное количество точек выборки даже при использовании всех каналов. В настоящее время максимальная частота дискретизации для записи одиночного сигнала составляет 20 Гвыб/с для каждого канала.

Почему это так важно? Представьте, что исследование сигнала в тестовой точке выполняется с помощью традиционного цифрового запоминающего осциллографа с высокой частотой дискретизации, но не обладающего способностью поддерживать эту частоту дискретизации для нескольких входных сигналов. При подсоединении к первой точке замера время нарастания фронта сигнала определяется четко и равно, например, 400 пс. Когда на второй вход подается сигнал из второй тестовой точки, для обоих сигналов наблюдается более длительное время нарастания и увеличенные искажения. Это является следствием недостаточного количества точек выборки, вызванного уменьшением частоты дискретизации в два раза. Из-за этого не удастся точно зарегистрировать время нарастания фронта 400 пс с помощью данного осциллографа.

Недостаточная частота дискретизации приводит к появлению дополнительных искажений и увеличению времени нарастания. Такое неточное (и вводящее в заблуждение) отображение сигнала называется «эффектом проскальзывания». Наилучший способ избежать его проявления – использовать прибор, обеспечивающий при использовании всех каналов полноценную регистрацию одиночного сигнала.

Осциллограф, как и логический анализатор, должен удовлетворять строгим требованиям к функциональным возможностям, если планируется использовать его для выполнения измерений целостности сигнала.

В **Таблице 3** приведены основные технические характеристики.

Функции синхронизации в цифровом запоминающем осциллографе играют такую же важную роль, как и в логическом анализаторе. Запуск осциллографа, как и в логическом анализаторе, является доказательством того, что произошло событие указанного вида. Функции синхронизации цифрового запоминающего осциллографа отличаются возможностью обнаруживать ряд событий, связанных с аналоговым сигналом и реагировать на них:

- условия, связанные с уровнями фронтов и скоростью нарастания;
- характеристики импульса, включая выбросы, события с низкой амплитудой и даже условия, связанные с длительностью импульса;
- нарушения времени установки и удержания;
- высокоскоростные последовательные цифровые модели.

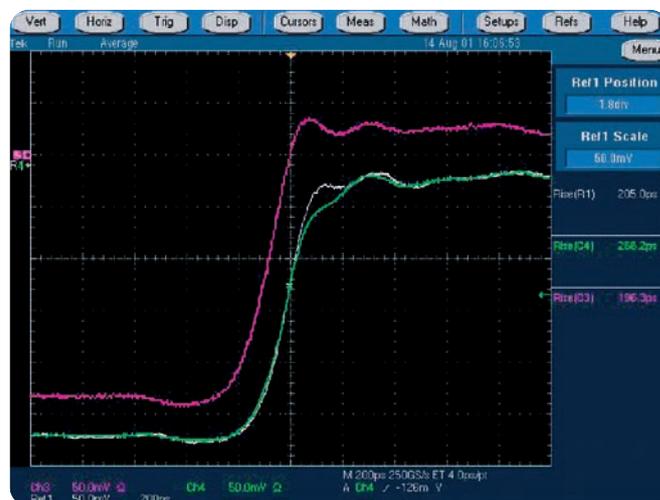
Все эти виды синхронизации помогают инженерам обнаруживать и отслеживать нарушения целостности сигнала. Кроме того, существуют различные сочетания функций синхронизации по напряжению, временным параметрам и логическим условиям, а также особые виды синхронизации, предназначенные, например, для тестирования устройства на соответствие спецификации USB 2.0.

Использование пробников в осциллографах

Пробник осциллографа является еще более важным элементом при выполнении измерений, необходимых для анализа целостности сигнала, чем пробник логического анализатора. Пробник осциллографа должен, в сущности, обеспечивать в тестовой точке полную полосу пропускания системы и переходную характеристику. В то же время он должен быть долговечным и достаточно компактным, чтобы его можно было использовать для исследования монтажных плат с плотным монтажом элементов. Во время устранения проблем, связанных с целостностью сигнала, обычно один пробник фиксируют в точке замера, в которой появляется ошибка (это может быть аналоговый пробник на логическом анализаторе, если таковой имеется), а другой пробник перемещают по пути прохождения сигнала, чтобы найти источник неполадки.

Две основные характеристики пробника для высокоскоростной работы – емкостное сопротивление и индуктивное сопротивление. Каждый пробник имеет активное сопротивление (R), индуктивность (L) и емкость (C). Однако влияние емкостного и индуктивного сопротивления возрастает с ростом частоты. В сочетании, их влияние может привести к искажению сигнала и изменению результатов измерений.

На **Рис. 5** показано воздействие нагрузки пробника на обычный высокоскоростной сигнал (скачок относительно основного уровня составляет 250 мВ, время нарастания ~200 пс). На этом экране представлен один и тот же сигнал на осциллографе 4 ГГц –



► Рис. 5. Влияние импеданса пробника на высокоскоростной сигнал

с нагрузкой и без. При добавлении пробника исходный сигнал (кривая белого цвета) искажается – зеленая кривая, передний фронт скачка сглажен некоторым образом. Простыми словами, при увеличении емкостного и индуктивного сопротивлений нагрузка на сигнал растет. Аналогичным образом индуктивность, обусловленная длиной контакта, может привести к существенным искажениям исследуемого сигнала.

Входные характеристики пробника и индуктивность контакта действительно могут привести к нарушению целостности сигнала. Кто-то может, например, сделать вывод, что сама шина является причиной ухудшения времени нарастания цифрового сигнала и логических ошибок. Если переключиться на пробник с низкой емкостью, становится ясно, что время нарастания не ухудшилось. Логическая ошибка вызвана другой причиной: влиянием пробника! На рис. 5 показано влияние пробника, выражающееся в затягивании фронта и приводящее к появлению ошибок, которых не было раньше.

Для решения проблем, связанных с измерениями целостности цифрового сигнала и параметров высокоскоростных сигналов, разработано новое поколение пробников со сверхнизким емкостным сопротивлением. Пробники с полосой пропускания 6 ГГц, очень маленькой длиной контакта и входным сопротивлением меньше 0,5 пФ более точно передают сигнал на вход осциллографа. Все особенности и искажения сигнала точно передаются в систему регистрации.

Основы целостности сигнала

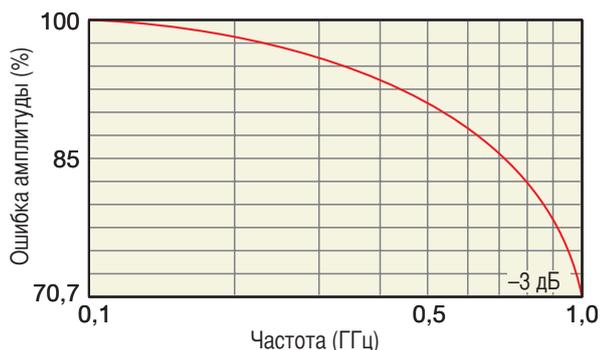
► Начальное руководство

Технические характеристики пробника играют важную роль, поскольку пробник является первым звеном в цепи измерительных подсистем, от которых требуется сохранить, зарегистрировать и вывести на экран сигнал с максимальной точностью. Пробники с низкой емкостью и очень короткими наконечником и контактом заземления обеспечивают полноценное использование полосы пропускания осциллографа.

Важная роль полосы пропускания осциллографа

Полоса пропускания осциллографа является важным компонентом в процессе устранения неполадок, связанных с целостностью сигнала. В этом кратком руководстве объясняется, почему следует использовать прибор с максимально возможной полосой пропускания.

Мы уже обсуждали характеристики сигнала, с которыми связаны проблемы целостности высокоскоростных сигналов. Многие из них возникают при передаче сигнала или проявляются как нежелательные нестационарные сигналы,



► Рис. 6. График частотной характеристики для обычного осциллографа с полосой пропускания 1 ГГц

обусловленные нарушением временных параметров. Крайне необходимо как можно точнее регистрировать такие фронты и нестационарные сигналы. Здесь на передний план выходит ширина полосы пропускания.

Ширина полосы пропускания обычно определяется по уровню частотной характеристики -3 дБ для синусоидального сигнала. См. Рис. 6. На нем показано, что при использовании осциллографа с полосой пропускания 1 ГГц погрешность

амплитуды растет при приближении частоты синусоидального сигнала к отметке 1 ГГц. При частоте синусоидального сигнала, равной номинальной ширине полосы пропускания, ошибка амплитуды составляет -3 дБ, это почти 30%. Осциллограф с шириной полосы пропускания, недостаточной для выполнения поставленной измерительной задачи, будет искажать результаты измерения времени нарастания и спада цифровых сигналов. На уровне развития современных цифровых технологий, когда время передачи существенно сократилось, это является критическим фактором при выборе подходящих измерительных средств.

Чтобы разобраться в этом вопросе, рассмотрим «однополюсную модель» для времени нарастания входного сигнала осциллографа при исследовании высокоскоростного скачкообразного сигнала:

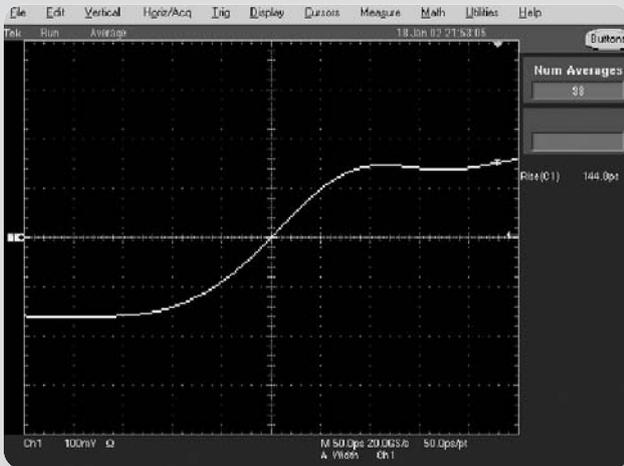
$$\text{Осциллограф: время нарастания} = \frac{0,35}{\text{Осциллограф: полоса пропускания}}$$

Для современного осциллографа, для которого ширина полосы пропускания, умноженная на время нарастания, составляет $\sim 0,42$, это значение приблизительно равно 210 пс для осциллографа с полосой пропускания 2 ГГц и 84 пс для прибора с полосой пропускания 5 ГГц. Общая формула измеренного времени нарастания дает характеристику реакции на скачок:

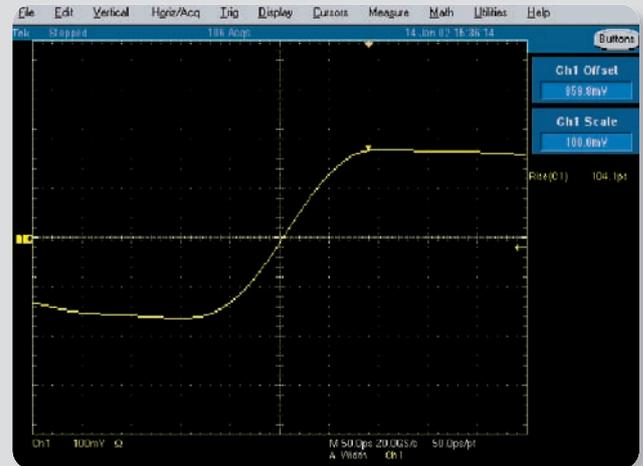
$$\text{Измеренное время нарастания} = \sqrt{\frac{(\text{Время нарастания для осциллографа})^2}{+ (\text{Время нарастания сигнала})^2}}$$

Используя эти формулы, можно показать на рис. 7а и 7б, что для сигнала с фактическим временем нарастания 85 пс будет определено время нарастания около 135 пс при измерении с помощью осциллографа с полосой пропускания 4 ГГц (используя $BW \times RT = 0,42$). При использовании осциллографа с полосой пропускания 6 ГГц измеренное время нарастания уменьшается до 110 пс, что говорит о существенном улучшении точности измерения.

*1 Значение постоянной в этой формуле может меняться от 0,35 для однополюсной модели до 0,45 для фильтра с крутым срезом. Типичное значение для современного осциллографа с широкой полосой пропускания составляет 0,42.



▶ **Рис. 7а.** Результаты измерений для фронта импульса с действительным временем нарастания 85 пс на цифровом запоминающем осциллографе TDS7404 с полосой пропускания 4 ГГц



▶ **Рис. 7б.** Результаты измерений для фронта импульса с действительным временем нарастания 85 пс на цифровом запоминающем осциллографе TDS6604 с полосой пропускания 6 ГГц

Подводя итог обсуждения полосы пропускания и переходной характеристики, можно сказать, что в обоих случаях рассчитанные значения и результаты измерений подтверждают, что полоса пропускания осциллографа влияет на результаты, отображаемые на экране. Поскольку множество неполадок на уровне системы являются прямым следствием краевых эффектов и искажений, осциллограф с полосой пропускания, в 3-5 раз превышающей частоту измеряемого сигнала, является подходящим инструментом для устранения неполадок, связанных с целостностью сигнала.

Объединенные логические анализаторы и осциллографы позволяют определить проблемы целостности сигнала

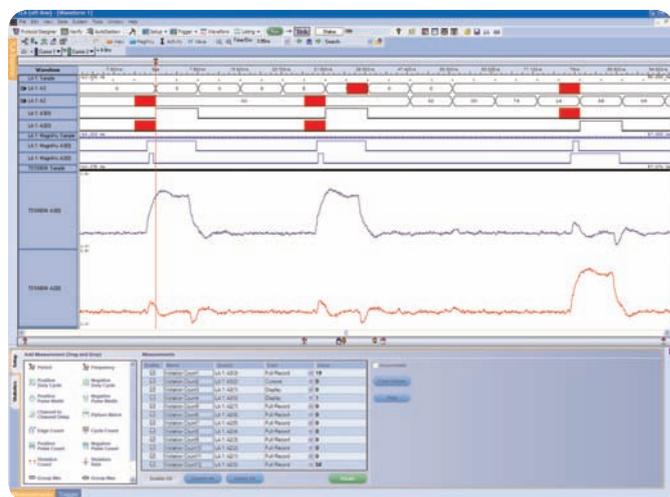
Логический анализатор и цифровой запоминающий осциллограф – два эффективных инструмента в наборе средств устранения неполадок, связанных с целостностью сигнала. Но прогресс, достигнутый в последнее время в области интеграции, позволил повысить эффективность этих двух самостоятельных инструментов.

Основы целостности сигнала

► Начальное руководство

Благодаря новым интегрированным средствам просмотра можно подключить цифровой запоминающий осциллограф (отвечающий требованиям к ширине полосы пропускания для исследования аналоговых сигналов тестируемого устройства) к логическому анализатору (с подходящим числом каналов, объемом памяти и частотой дискретизации) для выполнения необходимых цифровых и аналоговых измерений. После подключения два прибора непрерывно взаимодействуют друг с другом без проблем. При этом, на экране логического анализатора отображается как цифровой, так и аналоговый вид сигналов с осциллографа.

Две формы сигнала можно выровнять по времени, чтобы сопоставить цифровой и аналоговый вид сигнала. Например, на экране, представленном на **Рис. 8**, измерения совмещенных по времени цифровой и аналоговой осциллограмм обеспечивают четыре различных представления одних и тех же сигналов. Две верхние временные диаграммы – сигналы 4-разрядной и 8-разрядной шины, красные флажки показывают местоположения нескольких глитчей (выбросов). Следующие две временные диаграммы – линии отдельных сигналов, являющиеся частью двух верхних диаграмм отображения шины. Красные флажки на этих двух сигналах показывают местоположения глитчей (выбросов). Следующие две диаграммы представляют собой временные диаграммы с высоким разрешением, подробно показывающие, что выбросы связаны с передними фронтами другого сигнала. Последние две осциллограммы – аналоговые осциллограммы тех же линий двух сигналов, полученные на осциллографе. Все диаграммы и осциллограммы совмещены по времени и выведены на одном экране. После анализа сопоставленных по времени представлений цифровых и аналоговых сигналов сразу видны перекрестные помехи на линиях двух сигналов.



► **Рис. 8.** Ошибки, связанные с перекрестными помехами, быстро определяются с помощью согласованных по времени цифровых и аналоговых измерений на одном экране.

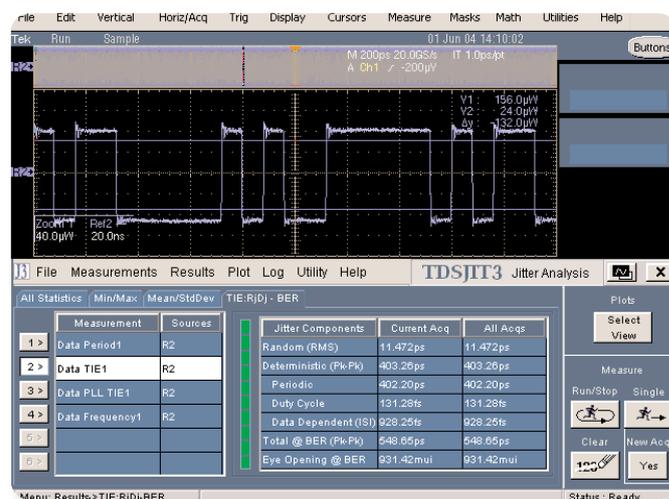
Интегрированные возможности просмотра сигналов играют важную роль, но следует помнить, что точность аналоговых данных на экране зависит от ширины полосы пропускания осциллографа и переходной характеристики. Поэтому важно выбирать средства, позволяющие использовать возможности цифрового осциллографа для выполнения измерений цифровых сигналов на должном уровне.

Средства анализа джиттера (нестабильности) фронтов упрощают выполнение сложных измерений

Анализ целостности сигнала не всегда заключается в поиске затянутого фронта или низкой амплитуды сигнала в какой-то точке системы. Как объяснялось выше, такие факторы, как нестабильность фронтов, могут играть важную роль в стабильной работе системы. Источником нестабильности обычно бывает схема тактового импульса, но причиной может быть и шум в источниках электропитания, перекрестные помехи, а также схемы ФАПЧ. Нестабильность фронтов может оказывать влияние на данные, адреса, строки и многое другое – практически на любой сигнал в системе.

С появлением новых высокоскоростных цифровых устройств измерения нестабильности фронтов стали более сложными. Современные требования к измерениям нестабильности фронтов включают измерения между циклами (вместо измерений с накоплением по нескольким записям), анализ временного тренда, статистический анализ с использованием гистограмм, измерения тактовых сигналов с распределенным спектром, анализ потока последовательных данных и многое другое. Для исследования высокоскоростных сигналов с быстрым нарастанием и небольшими временными допусками точность измерений нестабильности фронтов должна быть в диапазоне 1 пс (среднеквадр.).

Очевидно, что для выполнения этих условий требуется быстродействующий и стабильно работающий осциллограф. Не менее важен и набор программ, поддерживающих измерения нестабильности фронтов. Поскольку нестабильность фронтов проявляется по-разному, и ее измерения в большой степени зависят от статистических вычислений, для эффективной работы по исследованию целостности сигнала требуется особый комплект программного обеспечения для анализа нестабильности фронтов. Новейшие пакеты интегрированы в цифровые осциллографы с широкой полосой пропускания и позволяют выполнять измерения временных характеристик в каждом цикле полученного сигнала.



► Рис. 9. Экран измерения нестабильности фронтов.

Эти пакеты программ для анализа временных характеристик могут также использоваться для сбора данных статистического анализа по нескольким записям сигнала. На **Рис. 9** представлен обычный экран измерений параметров нестабильности фронтов. Строка меню и экранные кнопки помогают выполнять действия, необходимые для измерения параметров, а статистические результаты четко отображаются в виде таблицы в нижней половине окна.

Программное обеспечение для анализа временных характеристик сигнала должно использоваться в сочетании с осциллографом, который вносит в сигнал как можно меньше нестабильности фронтов. Для большинства стандартов передачи данных допустимая нестабильность синхронизации должна составлять порядка 7 пс (среднеквадр.). К другим важным характеристикам относятся точность измерения интервалов времени в диапазоне 1,5 пс (среднеквадр.) и, конечно, широкая полоса пропускания с пятикратной частотой дискретизации. Осциллограф с полосой пропускания 6 ГГц и частотой дискретизации для одиночного сигнала 20 Гвыб/с при использовании нескольких каналов удовлетворяет основным требованиям для выполнения измерений нестабильности фронтов высокоскоростного сигнала быстродействующих цифровых шин и устройств.

Основы целостности сигнала

► Начальное руководство

Устранение неполадок, связанных с целостностью сигнала

В этом руководстве рассмотрены причины нарушений целостности сигнала в цифровых системах и их последствия. В ходе обсуждения мы рассмотрели, как обеспечить наиболее точное воспроизведение сигнала с помощью тестового и измерительного оборудования для решения этих проблем.

Теперь рассмотрим три ситуации, чтобы проиллюстрировать средства и методы, необходимые для устранения неполадок, связанных с целостностью сигнала, которые возникают на практике в процессе разработки устройств.

Примеры применения

Ситуация I

В плате цифровой системы, только что переведенной в фазу производства, обнаружена проблема качества. Эта плата является ключевым элементом нового концептуального продукта компании, сложной системы управления, и должна появиться на рынке в соответствии с объявленным графиком, поскольку она была широко разрекламирована в средствах массовой информации.

В первых образцах продукта проявляются нерегулярные сбои. Сбои появляются на системной шине платы, но предполагается, что их источник находится вне шины. Системная шина является двунаправленной, через нее отправляют и получают данные множество устройств. Поскольку указанная плата является центральным компонентом, обеспечивающим работу системы в целом, нельзя продолжать производство, пока проблема не будет устранена.

Система работает при «средних» скоростях. Но поскольку логический сигнал характеризуется быстрыми нарастающим и спадающим фронтами, следует рассмотреть проблемы нарушения целостности сигнала. Другие возможности лежат в диапазоне от логических ошибок до проблем компоновки платы.

Группа разработчиков, понимая, что встроенные функции отладки помогают сэкономить много времени при устранении неполадок, предусмотрели

на плате встроенные точки замера для логического анализатора. Это предложение вызвало много возражений, поскольку элементы на плате расположены очень плотно и места для обычных контактов недостаточно. Поскольку разработчики использовали для устранения неполадок логический анализатор Tektronix TLA7012 с модулем регистрации TLA7AA3, они могли поместить соответствующую площадку для контактов на свободном месте.

Установка

- Основной блок логического анализатора TLA7012
- 102-канальный модуль регистрации логического анализатора TLA7AA3
- Односторонний пробник логического анализатора с высокой плотностью контактов P6860
- Цифровой запоминающий осциллограф TDS6604
- Интерфейс iView™

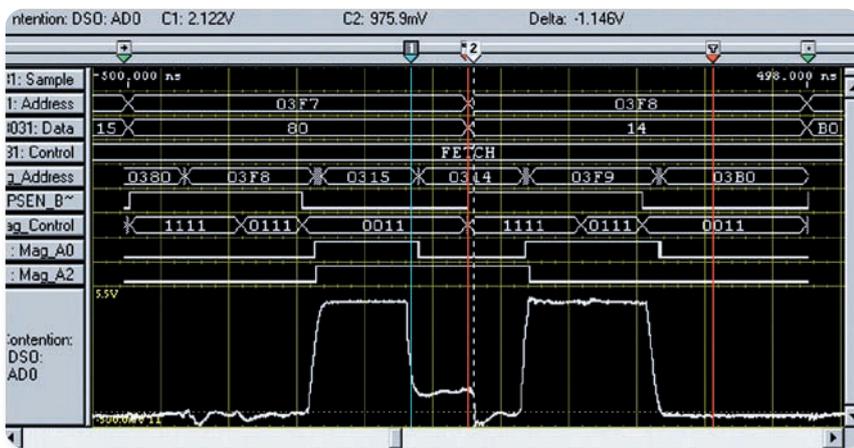
В этой установке для устранения неполадок используются преимущества логического анализатора TLA7012 с модулем регистрации TLA7AA3, позволяющего передавать аналоговые сигналы через пробник логического анализатора, регистрировать их на осциллографе и отображать на экране логического анализатора.

Логический анализатор настроен для запуска по инструкции READ, порождающей ошибку в данных.

Результат

На экране логического анализатора отображаются осциллограммы выбранных сигналов на шине, по которым можно определить проблему в сигнале, приводящую к ошибке. На диаграмме с высоким разрешением (8 ГГц, 125 пс) видно, что это не проблема синхронизации, связанная с читаемыми данными (кривая 031:DATA). Однако этот адрес кажется странным, по случайным «пропущенным» точкам можно предположить, что проблема связана с младшим разрядом – Address 0. Поэтому инженер решил выбрать аналоговое представление линии шины AD0.

По расположенной в нижней части экрана осциллограмме, которая выровнена по времени, можно определить действительную проблему нарушения целостности сигнала.



► Рис. 10. Осциллограмма аналогового сигнала свидетельствует о недопустимом логическом уровне (указатель 1 и 2), который является причиной цифровых неполадок в системе

Осциллограф TDS6604 получает сигнал через односторонний пробник с высокой плотностью контактов P6860 логического анализатора, а затем выводит его на экран логического анализатора с использованием интерфейса iView™.

В этом случае логический уровень сигнала AD0 (Address 0) является недопустимым в момент прихода синхроимпульса. Он не является ни высоким, ни низким. Предполагая существование конфликта на шине, инженер исследовал шину, пока не обнаружил ошибку проектирования – два устройства на адресной линии включаются одновременно.

Эта процедура иллюстрирует, насколько иногда проще обнаружить цифровые проблемы синхронизации, просмотрев сигнал в аналоговом виде. Она также свидетельствует о пользе заблаговременного размещения точек замера. Без соответствующих точек подключения логического анализатора было бы трудно зарегистрировать сигнал с точностью, достаточной для обнаружения конфликта на шине.

Ситуация II

Новая материнская плата для сервера нового поколения подвержена необъяснимым периодическим неполадкам. Ее первый и второй опытные образцы надежно работали при низкой тактовой частоте. При достижении заданной тактовой частоты возникают сбои, которые кажутся случайными.

Предположительно, проблемы связаны с размещением элементов на плате, но подтвердить это предположение с помощью традиционных средств затруднительно. В соответствии с графиком проекта предусмотрено всего два цикла разработки опытных образцов платы, но если не будет найдена неполадка, может потребоваться создание третьего опытного образца. Это связано с дополнительными затратами времени и средств и ставит под угрозу успешный выпуск нового продукта.

Как и в большинстве сложных цифровых устройств, на плате имеются точки замера для логического анализатора. Эти точки соответствуют контактам Mictor, которые совместимы с системой пробников логического анализатора серии TLA7000.

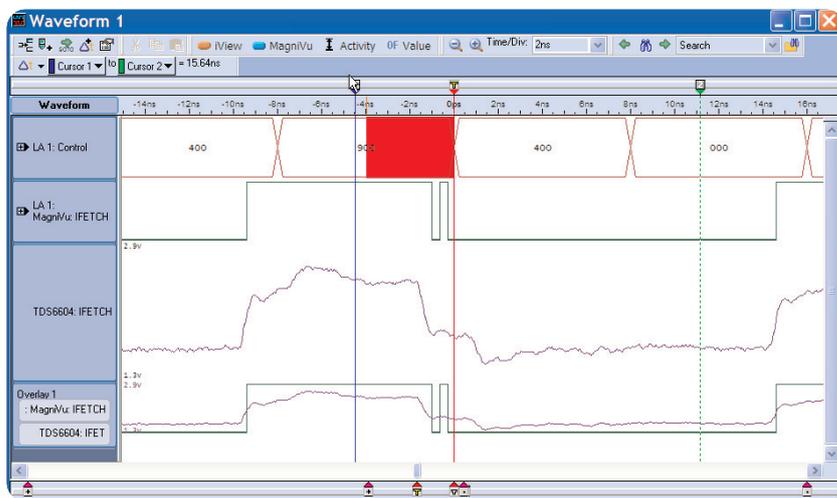
Установка

- Основной блок логического анализатора TLA7012
- 136-канальный модуль регистрации логического анализатора TLA7AA4
- Односторонний пробник логического анализатора с высокой плотностью контактов P6860
- Адаптер для использования прижимных пробников с высокой плотностью контактов P6860 с разъемами Mictor
- Интерфейс iView™
- Осциллограф с цифровым люминофором DPO7104

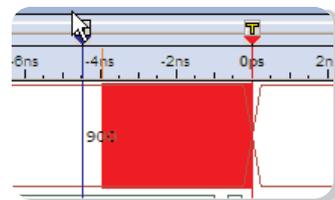
Основы целостности сигнала

► Начальное руководство

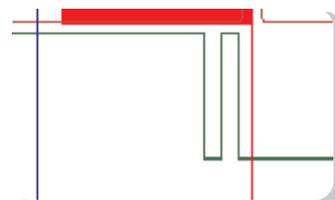
- Цифровая осциллограмма
- Аналоговая осциллограмма
- Наложение цифровой и аналоговой осциллограмм



► Рис. 11. На экране iView™ можно увидеть выброс на первой осциллограмме (вторая сверху), причиной которого является кратковременное пересечение порогового уровня в линии IFETCH (третья сверху) из-за отражений в конечной точке



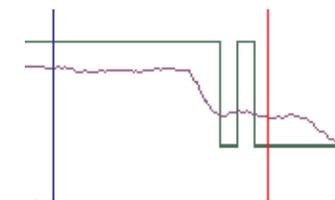
► Обнаруженный и отмеченный выброс в сигнале.



► Кривая MagniVu™ 125 пс, на которой выброс отображается более подробно.



► Аналоговый сигнал с частотой дискретизации до 20 Гвыб/с, зарегистрированный на осциллографе и переданный на экран логического анализатора; по нему можно определить причины выброса.



► Наложение нескольких осциллограмм для наглядного сравнения.

Результат

Зачастую причиной периодически возникающих неполадок служат сигналы, которых в данном месте быть не должно, их называют глитчи или выбросы. Предполагая это, инженер настроил логический анализатор TLA7012 с модулем TLA7AA4 для синхронизации по выбросам, используя одну из множества функций синхронизации этого прибора.

Логический анализатор обнаруживает выброс во время цикла перед считыванием данных на линии сигнала IFETCH. Выполняется запуск логического анализатора и отмечается временная точка, в которой произошел выброс. На кривой Mag_IFETCH явно виден узкий импульс. Временное разрешение в 125 пс в режиме MagniVu™ обеспечивает точную регистрацию времени и продолжительности импульса.

Синхронизация по выбросу также приводит к регистрации сигнала на осциллографе DPO7104, который интегрирован с логическим анализатором с помощью интерфейса iView™. Для измерения параметров того же сигнала в осциллографе используется система пробников iConnect™ логического анализатора.

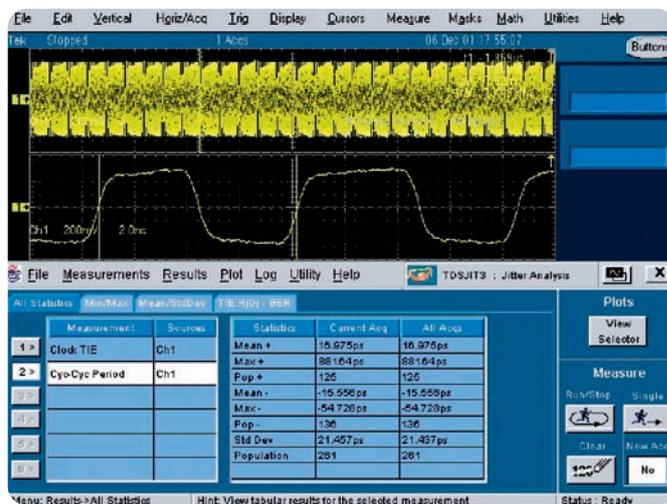
Полученный аналоговый сигнал отображается в центральной части экрана логического анализатора и показывает истинную природу выброса. Выброс представляет собой искажение аналогового сигнала, который на короткое время становится выше, а затем – ниже логического порога, создавая высокий логический уровень, существующий достаточно долго для того, чтобы возник выброс.

Вооруженный пониманием этой проблемы аналогового характера, инженер определяет, что расположение элементов платы в области этой линии сигнала допускает появление отражений от концов линии при увеличении скорости фронта. Изменение расположения элементов позволяет устранить эту неполадку.

Ситуация III

В опытном образце новой быстродействующей рабочей станции используется генератор с ФАПЧ, настроенный для работы в качестве источника синхросигналов «с нулевым запаздыванием» для системы памяти. Осциллятор ФАПЧ принимает внешний тактовый сигнал, захватывает частоту и передает сигнал через сеть передачи синхросигналов на элементы памяти. Таким образом учитываются все известные запаздывания на пути распространения.

Однако иногда оказывается, что в памяти хранятся неправильные данные. Предположительно причиной является ошибка синхронизации генератора тактовых импульсов, приводящая к тому, что данные передаются в память в неправильное время – до того, как все линии данных готовы. Какова природа ошибки синхронизации? Что является ее источником? От ответов на эти вопросы зависит решение проблемы, влияющей на работу системы в целом.



► Рис. 12. На экране измерений TDSJIT3 представлено несколько объединенных измерений нестабильности фронтов, выполненных при частоте дискретизации 20 Гвыб/с. Показан сигнал ФАПЧ с ошибкой, составляющей почти 1 нс за период 7,5 нс

Установка

- Логический анализатор TLA5204
- Пробник логического анализатора P6418
- Цифровой запоминающий осциллограф TDS6604
- Широкополосный пробник P7260 для осциллографа TDS6604
- Программное обеспечение для анализа временных характеристик и джиттера (нестабильности) фронтов TDSJIT3

Результат

После наблюдения цифровых ошибок с помощью логического анализатора TLA5204 инженер предполагает, что имеется нестабильность тактового сигнала, поступающего с генератора с ФАПЧ. Ошибка, хотя и нестабильная, не является полностью случайной.

Основы целостности сигнала

► Начальное руководство

Наиболее удачным решением в этом случае является измерение дрожания фронтов в реальном времени.

Подключив пробник P7260 к тактовому сигналу, инженер производит несколько измерений при частоте дискретизации 20 Гвыб/с и объединяет их в установленном приложении TDSJIT3. При сопоставлении записанных периодов с помощью измерения Cус-Cус Period и функции Cycle Trend приложения TDSJIT3 выясняется, что большую часть времени генератор с ФАПЧ работает в пределах допуска на частоту, но время от времени происходит скачок, как бы для коррекции дрейфа частоты. На рис. 12 ошибка составляет почти 1 нс в пределах цикла длительностью 7,5 нс.

Вторая функция приложения TDSJIT3 помогает выяснить причину такого поведения системы ФАПЧ. С помощью средств БПФ, имеющихся в приложении, обнаружен непредвиденный энергетический пик на частоте 120 кГц. Одного взгляда на схему системы достаточно, чтобы обнаружить, что это частота переключения источника питания системы. Теперь нетрудно отфильтровать помеховую частоту из линии питания системы ФАПЧ.

Выводы

Измерения целостности сигнала стали важнейшим этапом разработки цифровых систем. В современных быстродействующих системах малая ошибка на шине контроллера данных могут распространиться через всю систему и вызвать сбои на последовательной шине ввода-вывода. На разработчиках лежит ответственность за обнаружение и устранение подобных проблем во всей системе.

Для этого нужен комплект мощных измерительных приборов с полосой частот и функциями автоматизации, позволяющими устранять искажения высокоскоростных сигналов. В число этих средств входят цифровые осциллографы, логические анализаторы, высококачественные пробники и программное обеспечение для анализа.

Новейшие средства измерения, такие как прижимные пробники с высокой плотностью контактов, программное обеспечение для обнаружения джиттера (дрожания фронтов), объединенный просмотр данных логического анализатора и осциллографа, предназначены для того, чтобы помочь разработчику в выявлении неполадок, связанных с нарушением целостности сигнала. Располагая этими мощными средствами, специалисты могут быстро обнаруживать сбои и проследить их вплоть до их источника.

До недавних пор незамеченные нарушения целостности сигнала часто были причиной задержки графика выпуска новых цифровых устройств и источником нарушений их надежности. Теперь разработчики располагают средствами решения самых сложных проблем, связанных с целостностью сигнала.

Основы целостности сигнала

► Начальное руководство

Как связаться с корпорацией Tektronix:

АСЕАН, Океания (65) 6356 3900
Австрия +41 52 675 3777
Балканский полуостров, Израиль,
Южная Африка и юг Восточной Европы +41 52 675 3777
Бельгия 07 81 60166
Бразилия и Южная Америка 55 (11) 3741-8360
Канада 1 (800) 661-5625
Центр Восточной Европы, Украина, Прибалтика +41 52 675 3777
Центральная Европа и Греция +41 52 675 3777
Дания 80 88 1401
Финляндия +41 52 675 3777
Франция и Северная Африка 33 (0) 1 69 86 81 81
Германия +49 (221) 94 77 400
Гонконг (852) 2585-6688
Индия (91) 80-22275577
Италия +39 (02) 25086 1
Япония 81 (3) 6714-3010
Люксембург +44 (0) 1344 392400
Мексика, Центральная Америка,
страны Карибского бассейна 52 (55) 56666-333
Ближний Восток, Азия и Северная Африка +41 52 675 3777
Нидерланды 090 02 021797
Норвегия 800 16098
Китайская Народная Республика 86 (10) 6235 1230
Польша +41 52 675 3777
Португалия 80 08 12370
Корейская Республика 82 (2) 528-5299
Россия, СНГ, Прибалтика +7 (495) 7484900
Южная Африка +27 11 254 8360
Испания (+34) 901 988 054
Швеция 020 08 80371
Швейцария +41 52 675 3777
Тайвань 886 (2) 2722-9622
Великобритания и Ирландия +44 (0) 1344 392400
США 1 (800) 426-2200
Жителям других стран следует
обращаться в компанию Tektronix, Inc.: 1 (503) 627-7111
Последнее обновление: 23 февраль 2006 г.

Новейшую информацию о наших продуктах
можно найти по адресу: www.tektronix.com

Продукты производятся на предприятиях,
зарегистрированных в Международной
организации по стандартизации.



© Tektronix, 2005. Все права защищены. Изделия
корпорации Tektronix защищены патентами и патентными
заявками в США и других странах. Приведенные в данном
руководстве сведения заменяют любые ранее
опубликованные. Права на изменение технических
характеристик и цен сохранены. TEKTRONIX и ТЕК
являются зарегистрированными товарными знаками
Tektronix, Inc. Остальные упомянутые торговые названия
являются знаками обслуживания, товарными знаками или
зарегистрированными товарными знаками
соответствующих владельцев.

11/05 FLG/WOW

55U-15465-4

Tektronix
Enabling Innovation