

ОТЛАДКА ВСТРОЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ В АВТОМОБИЛЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОСЦИЛЛОГРАФА СМЕШАННЫХ СИГНАЛОВ

DEBUGGING EMBEDDED AUTOMOTIVE DESIGNS WITH A MIXED SIGNAL OSCILLOSCOPE

Джонни Хенкок (Johnnie Hancock), Agilent Technologies

Для повышения эффективности коммуникаций внутри системы и снижения стоимости вся современная автомобильная электроника задействует ряд протоколов последовательной передачи данных. Чаще всего для связи на уровне микросхем в рамках блоков контроля электроники (ECU) используются протоколы PC и SPI. Для связи на большие расстояния, например, между различными электронными подсистемами, такими как АБС, система выбрасывания подушек безопасности, система контроля двигателя и GPS-навигатор, в настоящее время в большинстве автомобилей используются протоколы последовательной передачи данных CAN, LIN и MOST, как показано на рис. 1. К сожалению, связь на большие расстояния уязвима в плане проблем с качеством сигналов, вызванными достаточно неблагоприятными условиями эксплуатации в автомобилях, включая интерференцию сигналов, возникающую из-за системы зажигания и случайный системный шум, который иногда вызывает ошибки в передаче важных циклов данных.

Системы автомобильной электроники по определению являются встроенными системами со смешанными сигналами, т. е. содержат многочисленные аналоговые сенсоры и аналоговые управляющие элементы, управляемые цифровыми данными. В течение многих лет основным прибором, используемым разработчиками автомобильной электроники для определения качества аналоговых и цифровых сигналов, был обычный осциллограф. Но обычные аналоговые и цифровые осциллографы обладают рядом недостатков, таких как, например, слабая поддержка функции сложного запуска по шинам последовательной передачи данных или малое количество входных каналов для сбора данных. Однако, новый класс измерительных приборов, называемый осциллографами смешанных сигналов (MSO), обеспечивает ряд преимуществ для отладки и проверки корректности работы современных разработок в области автомобильной электроники.

Для демонстрации уникальных преимуществ приборов MSO эта статья описывает типичную методику отладки, разработанную для обнаружения проблем с качеством сигналов в системе автомобильной электроники на базе шины CAN. Помимо синхронизации и захвата дифференциального сигнала шины CAN, которая в цифровом виде передает данные, снятые аналоговым сенсором, в блок контроля электроники (ECU), MSO был также настроен для захвата и измерения амплитуды выходного сигнала удаленного аналогового сенсора. В то же время MSO захватывал множество контрольных сигналов, передаваемых по протоколу SPI внутри самого блока контроля. Но перед тем как описать, как именно использовался MSO для отладки и обнаружения проблем с качеством сигналов, сначала объясним, что означает сам термин «MSO».

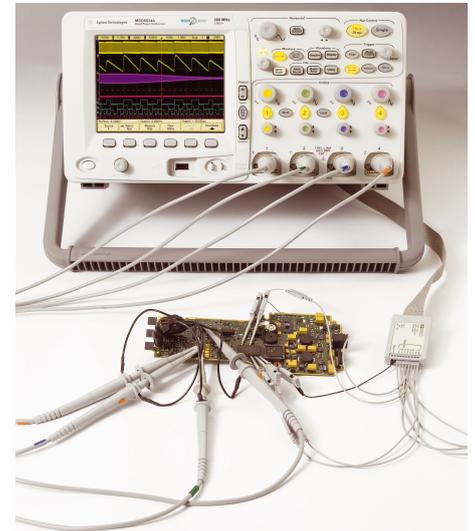


Рис. 2. Осциллограф серии MSO 6000 от Agilent Technologies

ные ко времени аналоговые сигналы, цифровые сигналы шин параллельной передачи данных и последовательно декодируемые сигналы на одном и том же экране (см. рис. 2, 3). Многие современные осциллографы традиционного типа обладают некоторыми расширенными возможностями запуска, но некоторые из новейших MSO оснащены функцией сложного запуска по данным, передаваемым по последовательным шинам, а также имеют возможность анализа декодированных данных протоколов, которые оптимизированы именно для отладки систем автомобильной электроники.

Конечно, обычно у MSO нет такого количества каналов для сбора данных, как у полнофункционального логического анализатора, и уровней анализа высокой степени абстракции, обеспечиваемых анализаторами протоколов последовательной передачи данных. Но относительная простота MSO позволяет легко его использовать, не сталкиваясь со сложностями управления логическим анализатором или анализатором протоколов. Одним из главных достоинств осциллографа MSO является способ его использования. MSO используется точно так же, как и обычный осциллограф. И в силу того, что все вышеописанные функции интегрированы в один прибор, их гораздо легче использовать, избегая трудностей, связанных с применением соединенных между собой осциллографа и логического анализатора или осциллографа и анализатора протоколов. Хороший осциллограф MSO обладает легким в освоении интерфейсом, высокой ско-

ЧТО ТАКОЕ MSO?

Осциллограф смешанных сигналов MSO — это цифровой прибор, совмещающий все способности по измерению, заложенные в осциллограф с хранением цифровых данных — DSO, с некоторыми измерительными возможностями логического анализатора, равно как и некоторыми возможностями по анализу протоколов последовательной передачи данных — и все это в одном комбинированном приборе.

С помощью MSO существует возможность просматривать многочисленные, привязан-

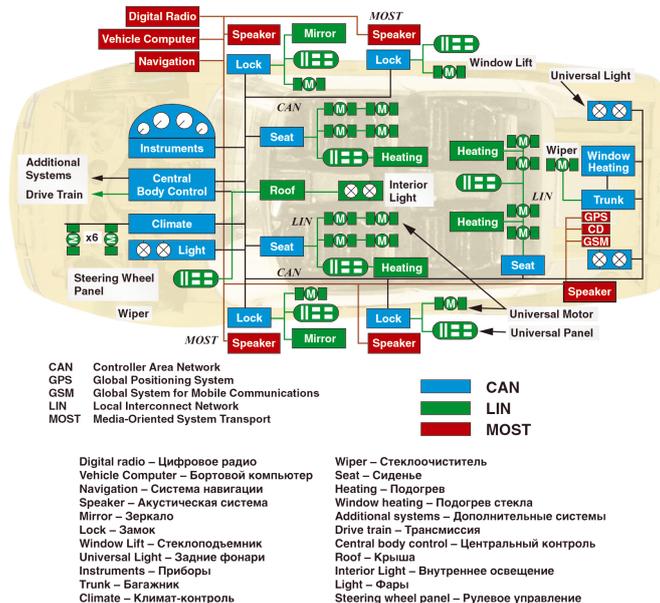


Рис. 1. Типичная распределенная система автомобильной электроники с передачей данных по последовательной шине

ростью обновления сигналов, включает функции запуска по последовательным шинам и анализа декодированных данных и при этом управляется как осциллограф — а не как логический анализатор или анализатор протоколов.

ПРОВЕРКА КОРРЕКТНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКИХ СТЕКЛООЧИСТИТЕЛЕЙ

Перед встраиванием новой системы в автомобиль, MSO необходимо использовать на стадии разработки в лаборатории, чтобы убедиться в корректной работе системы автоматических стеклоочистителей на уровне цепей и протоколов. На рис. 3 показаны коррелированные по времени аналоговые и цифровые сигналы прототипа системы, захваченные с помощью MSO. Сигнал на канале 1 (верхняя кривая желтого цвета) — это дифференциальный сигнал шины CAN, который передается многим удаленным подсистемам, включая систему автоматической очистки стекол. Сигнал на канале 2 (зеленая кривая посередине) — это уровень выходного сигнала аналогового сенсора дождя, который оптическим методом определяет количество дождя и снега, попадающего на лобовое стекло. На экране также показаны многочисленные контрольные сигналы протокола SPI (голубые кривые внизу экрана осциллографа) внутри блока контроля, включая сигналы CLOCK, DATA, CS и INTERRUPT — они были захвачены с использованием части из имеющихся шестнадцати логических каналов осциллографа. Разноцветные данные в нижней

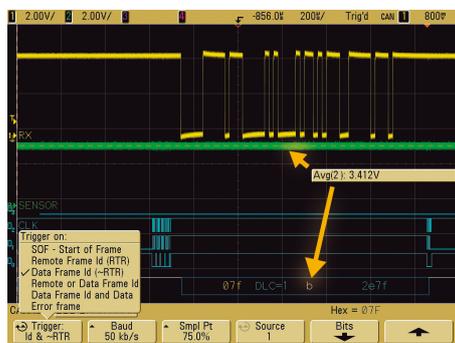


Рис. 3. Захват сигналов шин SPI и CAN при помощи MSO с функциями запуска по шине CAN и декодирования

части экрана осциллографа показывает коррелированную во времени информацию о пакетах шины CAN по выбранному пользователем каналу сбора данных, в данном случае, по каналу 1.

В данной конкретной разработке выходная амплитуда удаленного аналогового сенсора оцифровывается с использованием АЦП, а затем передается последовательно в блок контроля электроники (ECU) в качестве одиночного байта данных в конкретном кадре данных (07F_{HEX}). Для захвата повторяющихся передаваемых данных от этого сенсора и проверки корректности работы разработки первоначально MSO был на-

строен на запуск по кадру данных 07F_{HEX} шины CAN, как показано на рис. 3. Выходное значение с аналогового сенсора всегда передается именно в этом кадре данных. С использованием MSO, настроенного на этот кадр, инженер-разработчик смог легко измерить аналоговую амплитуду выходного сигнала сенсора (3,41 В), одновременно отслеживая и проверяя значения в кадре (V_{HEX}), который фактически и передается в составе пакета данных по шине CAN. В процессе тестирования рассматриваемой системы стеклоочистителей в лабораторных условиях не было выявлено никаких проблем, и дифференциальный сигнал шины CAN, согласно измерениям, был почти свободен от шума.

Но, к сожалению, когда подсистема электроники была установлена в автомобиль, система управления стеклоочистителями стала работать ненадежно, и было выявлено, что данные, получаемые блоком контроля электроники, не всегда совпадали с физическими условиями реального мира, замеренными аналоговым датчиком влажности. Когда проблемы с цепью предсказуемы и часто повторяются, выявление причины неполадок представляет собой достаточно легкий процесс. Но в данном конкретном случае после установки системы электроники на автомобиль, пакеты некорректных данных от сенсора поступали редко и случайным образом, делая обнаружение причины их возникновения сложной задачей.

ДЕКОДИРОВАНИЕ ДАННЫХ ШИНЫ CAN НА АППАРАТНОМ УРОВНЕ ВЫЯВЛЯЕТ РЕДКО ПРОИСХОДЯЩИЕ ОШИБКИ

На рисунке 4 показаны те же сигналы, первоначально измеренные в лабораторных условиях, но на этот раз они были захвачены с уже установленной в автомобиле системой автоматических стеклоочистителей. Теперь становятся видны влияние шумов и помехи, вызванные сложной средой, существующей в автомобиле. Инженер по разработке автомобильной электроники постоянно следил за информацией на экране осциллографа при настроенном запуске по кадру данных 07F_{HEX}. Он увидел периодически возникающую «вспышку» красного шрифта в строке декодирования CAN (нижний график), как показано на рис. 4. Функция декодирования данных шины CAN данного MSO пометила ошибочную CRC в строке ошибки цветом, а другие условия ошибки кадра показаны в виде красного графика шины данных. Очень высокая скорость обновления сигнала этого осциллографа (до 100 000 в секунду в реальном времени) и аппаратное декодирование данных шины CAN были критичны для обнаружения редко возникающих некорректных кадров данных. Аппаратное декодирование последовательных данных отображает строки декодированного кода со скоростью до 60 обновлений в секунду — быстрее, чем может уловить челове-

ческий глаз, но при этом достаточно медленно, чтобы увидеть ошибки, если они происходят нечасто.

У большинства осциллографов с глубокой памятью и функцией декодирования последовательных данных очень низкая скорость обновления. Это происходит потому, что данные в глубокой памяти декодируются с использованием программных методов в режиме пост-обработки. И обновление сигналов и декодированных

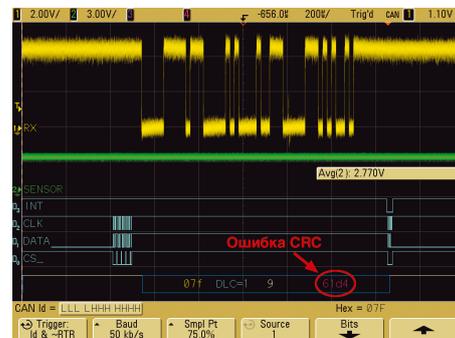


Рис. 4. Случайно возникающие ошибки, наблюдаемые в декодированных данных шины CAN при запуске по кадру ID: 07F_{HEX}

данных иногда занимает даже несколько секунд. Это значит, что если ошибка происходит нечасто, большинство ошибок произойдет во время нечувствительности осциллографа, а не во время захвата данных. То есть практически невозможно захватить событие, вызвавшее ошибку, с помощью обычного осциллографа, даже обладающего возможностью запуска по шине CAN и декодирования последовательных данных. Но декодирование данных шины CAN на аппаратном уровне, использованное в MSO, повысило вероятность захвата случайных и редко возникающих ошибок, т. к. скорость обновления и сигнала, и декодированных данных превышает частоту повторения передачи кадра данных 07F_{HEX}.

Чтобы остановить обновление сигнала осциллографа на некорректном кадре данных, инженер-разработчик сначала пытался быстро нажать кнопку STOP на передней панели осциллографа, когда видел строку декодированных данных, помеченную красным цветом. К сожалению, скорость обновления сигналов и данных осциллографа были такими высокими, что к моменту нажатия на кнопку уже происходил захват нескольких следующих точек и сбор данных каждый раз останавливался уже на корректных кадрах.

УСТАНОВКА ЗАПУСКА MSO ПО КАДРАМ, СОДЕРЖАЩИМ ОШИБКУ, ВЫЯВЛЯЕТ ПРОБЛЕМЫ С КАЧЕСТВОМ СИГНАЛА

Следующим шагом была настройка запуска осциллографа для синхронизации только по кадрам, содержащим ошибку, как показано на рис. 5. С такими установками системы запуска (запуск по кадру с ошибкой), осциллограф захватил и отображал только некорректные участки передачи по шине CAN и проигнори-

ровал корректные участки передачи. Теперь инженер имеет возможность либо нажать клавишу STOP и проанализировать качество сигнала последнего некорректного кадра, переданного по CAN, или использовать осциллограф в режиме одиночного захвата данных, чтобы на экране отобразился следующий некорректный кадр. Из картины, показанной на рис. 5, вытекает первое подозрение — возможно, случайно возникающие проблемы с передачей данных образуются из-за чрезмерного случайного шума, который связан с сигналом, передаваемым по шине CAN (верхний желтый график). Благодаря технологии MegaZoom, обеспечивающей 256 уровней интенсивности цвета и качество отображения информации на экране, как у аналоговых осциллографов, можно увидеть, что шум, влияющий на данные шины CAN, имеет распределение Гаусса. Но после оценки уровня шума с помощью встроенной в MSO функции измерения стандартного отклонения инженер увидел, что уровень шума лежит в допустимых пределах и не несет ошибок.

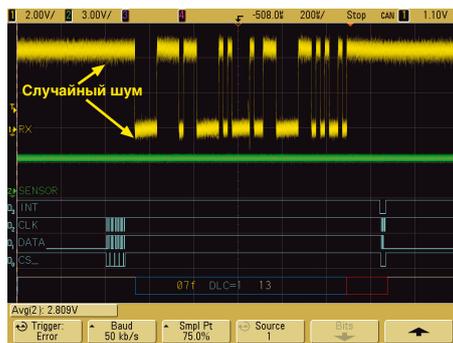


Рис. 5. Запуск по некорректным кадрам данных шины CAN выделяет ошибочные данные

После дальнейшего исследования дифференциального сигнала CAN на канале 1 был обнаружен короткий глитч, возникающий при передаче данных перед пятым фронтом дифференциального сигнала шины CAN. При просмотре этого сохраненного кадра данных в нормальном «сжатом» режиме сбора данных в глубокой памяти (до 8 М точек), показанного на экране с установкой времени 200 мкс/дел., этого короткого глитча практически не видно и его очень легко пропустить, что показано на рис. 5. Но когда инженер изменил установку времени на 5 мкс/дел (рис. 6), глитч стал хорошо виден в силу высокого разрешения частоты дискретизации (до 4 Гвыб./с)

После обнаружения этого глитча и измерения его амплитуды с использованием курсоров на экране MSO, инженер нажал на кнопку RUN на передней панели осциллографа, чтобы тот начал захватывать данные с запуском только по ошибочным кадрам. При наблюдении за постоянным обновлением сигнала на экране инженер смог увидеть, что короткие глитчи происходят не только редко, но и также в случайных местах без привязки к фазе дифференциального сигнала шины CAN.

Получилось, что эти глитчи вызывались какой-то связью с сигналом из источника, не имеющего отношения к фазе. Если бы была возможность обнаружить причину возникновения глитчей, то можно было бы гораздо легче выявить и исправить основную проблему.

ЗАПУСК MSO ПО СЛУЧАЙНО ВОЗНИКАЮЩЕМУ ГЛИТЧУ ВЫЯВЛЯЕТ ИСТОЧНИК ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПРОБЛЕМ

Чтобы синхронизировать экран осциллографа с глитчем, а не с кадрами, содержащими ошибки, разработчику автомобильной электроники необходимо было настроить осциллограф для запуска только по глитчу. Это было достигнуто с использованием функции запуска по длительности импульса, которую можно настроить на запуск по положительным и отрицательным импульсам на основании заданного пользователем промежутка времени (по длительности импульса). Принимая это во внимание, инженер настроил осциллограф на запуск только по положительным импульсам с канала 1 (дифференциальный сигнал шины CAN) с длительностью менее 500 нс. С такими настройками осциллограф синхронизировал свой экран со случайно появившимся глитчем, постоянно захватывая и показывая глитч по центру экрана (настройка по умолчанию). Теперь кадры данных шины CAN появлялись без корреляции с фазовой составляющей по отношению к источнику глитча.

Чтобы выявить источник глитча, инженер подключил другой пробник к до этого не задействованному каналу осциллографа MSO (обладающего 4+16 каналами) и начал снимать «подозрительные» сигналы в автомобиле, чтобы выявить, какой из них может быть синхронизирован или имеет фазовое отношение к глитчу.

Через несколько минут инженер нашел источник возникновения глитча, что показано на рис. 7. Сигнал на канале 4 (нижний фиолетовый график) показывает электронный импульс, который контролирует реле, запускающее источник высокого напряжения в регуляторе напряжения автомобиля. Если этот регулятор запускался в период передачи кадра данных ID: 07F_{HEX}, возникала случайная ошибка в системе управления стеклоочистителями. После того, как стал понятен источник проблемы, было достаточно

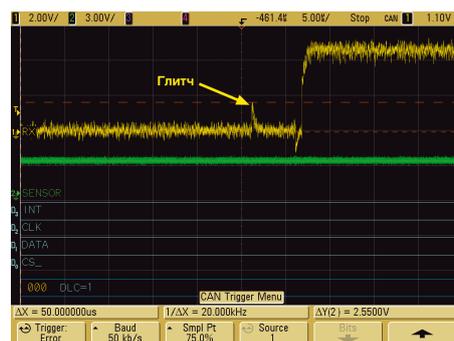


Рис. 6. При увеличении участка дифференциального сигнала шины CAN выявился глитч

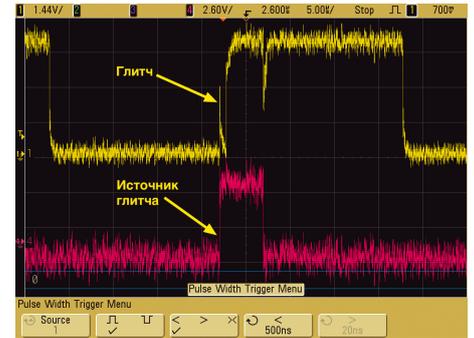


Рис. 7. Запуск по длительности импульса выявляет источник случайного редкого глитча

легко изолировать место подключения системы стеклоочистителей к шине CAN от сигнала с высоким напряжением с помощью лучшего экранирования, что также значительно улучшило устойчивость данной системы CAN к шумам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эта статья показала, как можно использовать осциллографы смешанных сигналов (MSO) для более эффективной настройки и отладки встроенных систем со смешанными сигналами в автомобилях, использующих как шину передачи данных последовательную шину CAN. Самыми главными характеристиками MSO, позволяющими инженеру в области автомобильной электроники легко выявить источник возникновения проблемы — это несколько каналов, коррелированных во времени для аналогового и логического захвата данных, высокий параметр скорости обновления сигналов, декодирование данных шины CAN на аппаратном уровне, а также широкие возможности запуска, включая запуск по ID кадров, кадрам, содержащим ошибку и глитчу/длительности импульса. Хотя в данной конкретной статье рассматривалась отладка системы управления стеклоочистителями, данную методику отладки можно использовать и в других приложениях, связанных с автомобильной электроникой. В следующий раз, когда потребуются установить и отладить вашу разработку в области встроенной электроники со смешанными сигналами, подумайте о целесообразности использования осциллографа MSO вместо DSO, анализатора протоколов и/или решения на базе логического анализатора. ☑

This paper shows how a mixed signal oscilloscope (MSO) can be used to more effectively turn-on and debug an embedded mixed-signal design in an automobile that utilizes serial bus CAN data transmission. Critical characteristics of the MSO that enabled to quickly discover the cause of the intermittent problem include multiple channels of time-correlated analog and logic acquisition, fast waveform update rates, hardware-accelerated CAN bus decode, and various triggering capabilities including frame ID, error frame, and glitch/pulse-width triggering.