

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОСЦИЛЛОГРАФА СМЕШАННЫХ СИГНАЛОВ ДЛЯ ОТЛАДКИ УСТРОЙСТВ СО СМЕШАННЫМИ СИГНАЛАМИ НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА

USING AN MSO TO DEBUG AN MCU-BASED MIXED-SIGNAL DESIGN

Джонни Хэнкок (Johnnie Hancock), Agilent Technologies, Дэйвид Бробст (David Brobst), Solutions Cubed

ВСТУПЛЕНИЕ

Обычно для тестирования и отладки систем смешанных сигналов на базе микроконтроллеров (microprocessor control unit — MCU) или цифровых процессоров сигналов (digital signal processors — DSP) инженеры используют осциллограф в связке с логическим анализатором. Но существует еще один класс приборов, так называемые осциллографы смешанных сигналов (mixed signal oscilloscope — MSO), которые по сравнению с таким подходом обеспечивают ряд преимуществ.

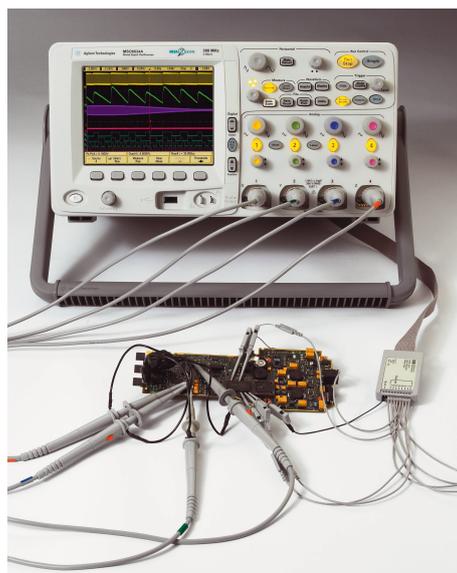


Рис. 1. Осциллограф смешанных сигналов серии MSO 6000 компании Agilent Technologies

Чтобы проиллюстрировать эти уникальные преимущества MSO, в данной статье будет рассмотрена типичная методология конфигурирования и отладки встроенных электронных устройств со смешанными сигналами на базе микроконтроллера. В этом случае осциллограф смешанных сигналов используется для контроля качества выходного аналогового импульсного сигнала с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ), генерируемого микроконтроллером и связанным с ним периферийным оборудованием на основе различных входных воздействий: аналогового, цифрового или последовательного ввода/вывода (PC).

Но прежде чем рассмотреть пример такого устройства и то, как можно осуществлять его конфигурирование и от-



Agilent Technologies

ладку с помощью осциллографа смешанных сигналов, сначала дадим определение, что же имеется в виду под термином «осциллограф смешанных сигналов».

ЧТО ТАКОЕ MSO?

Осциллограф смешанных сигналов — MSO — это гибридный прибор, совмещающий все функции цифрового запоминающего осциллографа (digital storage oscilloscope — DSO) с некоторыми возможностями логического анализатора. Используя MSO, вы получаете возможность одновременно наблюдать на одном дисплее различные аналоговые и цифровые сигналы, коррелированные во времени (рис. 1).

Обычно MSO не обладает развитыми возможностями по цифровым измерениям и большим числом логических каналов, присущими полноценному логическому анализатору; однако относительная простота MSO позволяет избежать и сложностей использования таких полнофункциональных приборов. В целом, одним из основных преимуществ MSO является простота их использования. По сути, управлять им не намного сложнее, чем обычным осциллографом. А в силу того, что это интегрированный прибор, можно избежать громоздкого опутанного проводами решения на базе двух приборов. Хороший MSO должен быть интуитивно понятным, обеспечивать высокую скорость обновления осциллограмм, а также функционировать, в первую очередь, как осциллограф, а не как логический анализатор.

ВСТРОЕННАЯ СИСТЕМА С ЛЧМ

В качестве примера в данной статье рассматривается встроенное ЛЧМ устройство, разработанное компанией Solutions Cubed (США) для встроенной промышленной системы. Ядром этой системы является микроконтроллер Microchip PIC18F452-I/PT, который работает на внутрисистемном наборе 16-битных инструкций. Блок-схема устройства приведена на рис. 2.

В силу того, что этот конкретный микроконтроллер имеет собственную

внутреннюю систему шин и встроенный аналого-цифровой преобразователь (АЦП), это устройство, вместе с внешними схемами, представляет собой прекрасный пример системы, которую можно сконфигурировать и отладить с помощью MSO. Несмотря на то, что данное конкретное устройство может не в полной мере соответствовать разрабатываемым вами приложениям, мы постараемся дать общее представление о принципе действия системы и общий подход к использованию MSO для проведения измерений в устройствах со смешанными сигналами.

Основное назначение рассматриваемого устройства состоит в генерации выходных аналоговых ЛЧМ сигналов различной длительности, формы и амплитуды, которые зависят от параметров различных входных воздействий: аналоговых, цифровых и передаваемых по шине последовательной передачи данных. Сигнал с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ сигнал) — это высокочастотный аналоговый импульсный сигнал, состоящий из заданного количества циклов. Такие сигналы часто используются в аэрокосмической и оборонной отраслях, а также в автомобильной электронике. Для определения характеристик генерируемого выходного аналогового ЛЧМ сигнала, микроконтроллер одновременно отслеживает параметры следующих трех входных каналов.

1. Состояние пользовательской панели управления (панели управления сис-

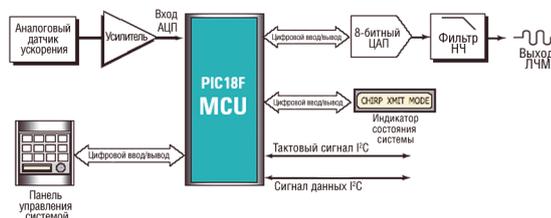


Рис. 2. Блок-схема встроенной системы для генерирования выходных аналоговых ЛЧМ сигналов

темой) отслеживается с помощью одного из доступных параллельных цифровых портов ввода/вывода контроллера. Полученные данные используются для определения формы генерируемого выходного ЛЧМ сигнала (синусоидальная, треугольная или прямоугольная).

2. Уровень выходного сигнала анало-

гового датчика ускорения отслеживается с помощью одного из доступных входов АЦП микроконтроллера для определения амплитуды выходного ЛЧМ сигнала.

3. Состояние канала связи по шине I²C отслеживается с помощью заданного последовательного порта I²C микроконтроллера для определения числа импульсов в выходном ЛЧМ сигнале (т. е. его длительности). Этот входной сигнал, передаваемый по шине I²C, генерируется другой интеллектуальной подсистемой, входящей в состав рассматриваемого устройства.

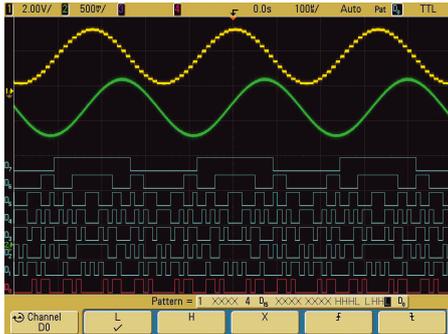


Рис. 3. Дисплей MSO с осциллограммами входных цифровых и выходных аналоговых сигналов ЦАП

В зависимости от состояния этих трех входов — аналогового, цифрового и последовательного — микроконтроллер генерирует последовательность параллельных выходных сигналов и подает их на внешний 8-битный цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) для создания аналоговых ЛЧМ сигналов различной длительности, формы и амплитуды. Затем нефильтрованный ступенчатый выходной сигнал с ЦАП пропускается через аналоговый фильтр низких частот (ФНЧ) для сглаживания выходного сигнала и снижения уровня шумов. Этот аналоговый фильтр также вносит в сигнал заданный сдвиг по фазе. И, наконец, по другому цифровому порту ввода/вывода микроконтроллер подает параллельный цифровой выходной сигнал на жидкокристаллический дисплей, отображающий информацию о состоянии системы.

**КОНФИГУРИРОВАНИЕ И ОТЛАДКА
ВСТРОЕННОЙ СИСТЕМЫ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ MSO**

Первым шагом в разработке/программировании микроконтроллера в рассматриваемом устройстве является конфигурирование его входов/выходов для получения требуемого количества портов аналогового и цифрового ввода/вывода. Заметим, что данный микроконтроллер от MicroChip позволяет назначить любое количество аналоговых портов в качестве цифровых и наоборот, в зависимости от потребностей.

Перед программированием микроконтроллера для оценки различных входных сигналов и генерирования заданных выходных, мы решили сначала разработать тестовый код для конфигурирования одновременно только од-

ной секции (функции) этого устройства с последующей проверкой корректности ее работы и качества выходного сигнала перед тем, как наращивать сложность всей системы в целом.

Первой отлаживаемой секцией стали внешний выходной ЦАП и аналоговый фильтр. Для проверки корректности работы этих схем и микропрограммного обеспечения микроконтроллер был запрограммирован на генерацию непрерывный повторяющийся сигнал синусоидальной формы с фиксированной амплитудой, которые не зависят от состояния входных управляющих воздействий.

На рис. 3 показано изображение дисплея MSO, который захватил непрерывные выходные цифровые сигналы с цифрового порта ввода/вывода микроконтроллера (осциллограммы голубого цвета в нижней части экрана). Эти сигналы управляют цифровыми входами внешнего ЦАП. Кроме того, на экране отображен соответствующий им по времени ступенчатый аналоговый сигнал с преобразователя (верхняя осциллограмма желтого цвета), а также выходной сигнал ЦАП после прохождения через аналоговый фильтр (осциллограмма зеленого цвета посередине). Так как данный конкретный сигнал представляет собой сигнал относительно низкого уровня, использующий всего 16 уровней 8-битного ЦАП (максимально возможно 256 уровней), на дисплее можно легко видеть характеристики не отфильтрованного ступенчатого выходного сигнала.

В данном случае система запуска осциллографа настроена таким образом, чтобы сбор данных начинался в момент времени, когда выходной сигнал с ЦАП достигнет максимального уровня (точка запуска находится в центре экрана). Запуск по такому условию с использованием системы запуска обычного осциллографа невозможен, т. к. она реагирует на фронты сигнала (переходные состояния) — следовательно, невозможно запустить осциллограф по «вершине» (максимальному уровню) сигнала. Подобная задача запуска по точке выходного сигнала достаточно просто решается, если создать простой одноуровневый шаблон запуска по последо-

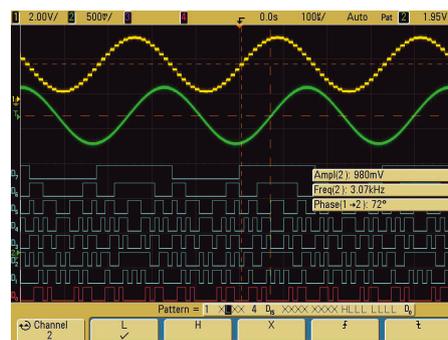


Рис. 4. Запуск по уровню 50% с использованием комбинации запуска по цифровому шаблону и по аналоговому сигналу

вательности логических состояний во входных цифровых сигналах ЦАП (выходные сигналы с порта ввода/вывода микроконтроллера), которая точно совпадает с максимальным уровнем выходного аналогового сигнала на внешнем преобразователе. Чтобы запустить осциллограф в этой конкретной точке сигнала система запуска была настроена на бинарную последовательность «НННН LНННL» (где L — логический ноль, Н — логическая единица). Осциллограф смешанных сигналов обладает функцией «квалифицированного» запуска по последовательности. Это означает, что осциллограф всегда запускается только в начале заданной последовательности, и никогда при нестабильных/переходных состояниях, что достигается тем, что для запуска требуется, чтобы логические уровни были стабильны в течение, как минимум, 2 нс. В этой связи, система запуска прибора срабатывает только при получении шаблона в стабильном состоянии. Заметим, что некоторые другие средства, предназначенные для измерений в системах со



Рис. 5. Стандартный запуск по фронту не позволяет осуществить синхронизацию по ЛЧМ сигналам определенной длительности

смешанными сигналами, запускаются, когда бы они ни получили заданный шаблон. Это означает, что запуск может произойти и в середине последовательности, и, вполне вероятно, при нестабильном/переходном состоянии. Если у прибора, в отличие от MSO, нет функции «квалифицированного» запуска, результатом может оказаться нестабильность синхронизации.

На рис. 4 показана настройка системы запуска MSO, которая срабатывает точно при достижении 50% уровня выходного сигнала с ЦАП. Это стало возможным благодаря использованию запуска по цифровой последовательности на параллельных входах ЦАП одновременно с запуском по аналоговому сигналу. Следует иметь в виду, что не все измерительные решения для смешанных сигналов на рынке позволяют настраивать одновременный запуск по аналоговому и цифровым сигналам.

В силу того, что имеется два аналоговых условия с одинаковыми уровнями (50% уровень на возрастающем фронте и 50% уровень на спадающем фронте), для запуска, совпадающего

только с одним из этих событий, требуется не просто запуск по 8-битной цифровой последовательности.

Но с двумя одновременно действующими условиями запуска по аналоговому сигналу (нарастание до уровня 50% и спад до уровня 50%), настройка запуска по цифровому сигналу — это уже не просто запуск по 8-битной цифровой последовательности. С добавлением «квалифицирующего» условия запуска по достижению «низкого» уровня сигналом на аналоговом канале 2, осциллограф удалось настроить на запуск в нужной точке с использованием комбинации запуска по аналоговому сигналу и цифровой последовательности (отметим, что состояние аналогового сигнала считается «высоким», когда его уровень превышает тот, на который настроена система запуска осциллографа, а «низким» — когда этот уровень ниже).

На рис. 4 также показано автоматическое измерение параметров, включающих частоту, амплитуду, а также сдвиг по фазе отфильтрованного выходного сигнала по отношению к ступенчатому выходному сигналу с ЦАП.

Следующий шаг после конфигурации и проверки корректности работы схем внешнего ЦАП и аналогового фильтра — это генерация заданного количества неповторяющихся синусоидальных импульсов (ЛЧМ сигналов), в зависимости от входного сигнала с шины последовательной передачи данных ИС. На рис. 5 в режиме бесконечного послесвечения по-

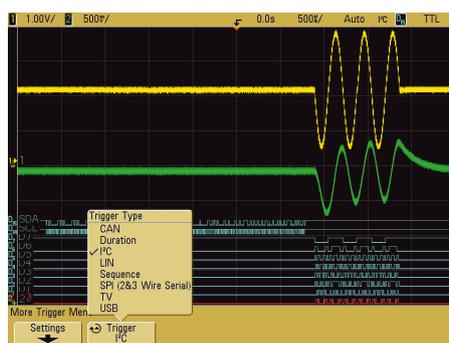


Рис. 6. Синхронизация по ЛЧМ сигналу длительностью 3 цикла с запуском по шине ИС

казаны ЛЧМ сигналы различной длительности с использованием стандартного запуска осциллографа по фронту. С использованием системы запуска обычных осциллографов настроиться на запуск по ЛЧМ сигналам определенной длительности невозможно.

Вместе с тем, использование функции запуска MSO по сигналам с шины ИС, позволяет синхронизировать осциллограф на начало захвата данных по заданным входным условиям в шине последовательной передачи данных, по которым микроконтроллер настроен на генерирование выходных ЛЧМ сигналов заданной длины (заданного количества импульсов).

На рис. 6 показана возможность синхронизации MSO по ЛЧМ сигналу длительностью три цикла с запуском по заданным значениям адресов и данных последовательной шины ИС.

На рис. 7 показана аналогичная возможность синхронизации MSO по ЛЧМ сигналу, но длительностью 1 цикл с запуском по заданным значениям данных в последовательной шине ИС.

На цифровые каналы D14 и D15 (две верхних цифровых осциллограммы голубого цвета) подаются соответственно тактовый сигнал шины ИС и сигнал передаваемых по шине данных. В принципе, можно было настроить любой из 16 логических или двух (или четырех) аналоговых каналов осциллографа на последовательный запуск по этим двум последовательным входным сигналам. С целью контроля последовательных входных и аналоговых выходных сигналов, каналы с D0 по

D7 были настроены на наблюдение за входными сигналами ЦАП, которые одновременно являются и выходными сигналами с микроконтроллера (нижние 8 цифровых осциллограмм голубого и красного цвета на рис. 6 и 7).

Хотя этот вариант и не был рассмотрен, но еще один из аналоговых каналов осциллографа мог быть настроен на одновременное исследование сигнала, захват данных и запуск MSO по дополнительному входному аналоговому сигналу с аналогового датчика ускорения, который определяет амплитуду выходного сигнала. Кроме того, можно было

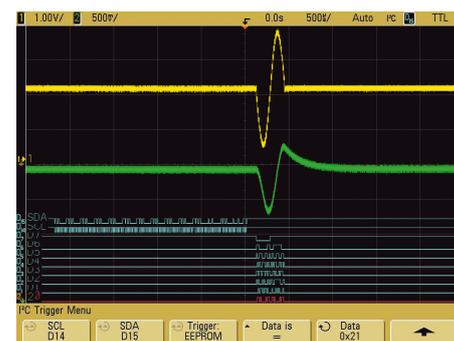


Рис. 7. Синхронизация по ЛЧМ сигналу длительностью 1 цикл с запуском по шине ИС

использовать незадействованные логические каналы осциллографа для наблюдения и/или дополнительной квалификации запуска по входным цифровым сигналам панели управления или по управляющим выходным сигналам LCD-индикатора.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье показано, как осциллограф смешанных сигналов (MSO) можно использовать для эффективного конфигурирования и отладки встроенных систем со смешанными сигналами на базе микроконтроллера (MCU) или цифрового процессора сигналов (DSP). Когда перед вами в следующий раз встанет подобная задача, подумайте о том, что есть смысл использовать именно MSO вместо традиционного решения на базе DSO (ЦЗО) и логического анализатора.

Для получения более подробной информации по отладке встроенных систем можно ознакомиться со статьей Agilent Application Note 1562 «Debugging Embedded Mixed-Signal Designs Using Mixed Signal Oscilloscopes» (<http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5989-3702EN.pdf>).

Design engineers have traditionally used both oscilloscopes and logic analyzers to test and debug mixed-signal embedded designs based on either microcontrollers (MCUs) and/or digital signal processors (DSPs). This article showed how a mixed signal oscilloscope (MSO) can be used to more effectively and efficiently turn on and debug embedded mixed-signal designs.

Ведущий производитель измерительной техники

в России Завод «ИЗМЕРОН» предлагает:

- индуктивные преобразователи линейных перемещений с упругими и шариковыми направляющими;
- фотоэлектрические растровые преобразователи линейных перемещений;
- электронные микрокатоды-полностью заменяющие ранее выпускаемые механические измерительные микрокатоды;
- измерительные системы для линейных измерений с индуктивными и фотоэлектрическими растровыми преобразователями;
- одноканальные и многоканальные цифровые фотоэлектрические преобразователи угла, работающие в жестких условиях эксплуатации;
- механические высокоточные средства измерений линейных размеров;

Все предлагаемые измерительные приборы и системы имеют оригинальную конструкцию, обеспечивающую высокое качество измерений.
191114, Санкт-Петербург, ул.Новгородская, 13
Тел.:(812) 271-8598,271-8514; факс: (812)710-7661
www.izmeron.inc.ru; market@izmeron.inc.ru;
sales@izmeron.inc.ru