

УДК 621.3.049.77+534.08+681.787

МОДИФИКАЦИЯ СХЕМЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ФАЗОВОГО ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКОГО АКУСТИЧЕСКОГО ДАТЧИКА

М.Ю. Плотников, И.Г. Дейнека, И.А. Шарков

Представлены результаты разработки цифровой схемы высокоскоростной записи данных на microSD-карту памяти с блока электронной обработки сигналов волоконно-оптического акустического датчика интерферометрического типа на базе программируемой логической интегральной схемы с использованием программной среды разработки Xilinx ISE. Приводятся результаты эксперимента, подтверждающие работоспособность предложенной схемы при скорости записи данных 141000 бит/с.

Ключевые слова: фазовый интерферометрический датчик, цифровая обработка, запись данных, карта памяти.

Введение

Одним из активно развиваемых направлений современного оптико-электронного приборостроения является создание волоконно-оптических датчиков [1, 2]. Они обладают существенными преимуществами по сравнению с традиционными пьезоэлектрическими датчиками – высокой чувствительностью, большим динамическим диапазоном, устойчивостью к электромагнитным помехам, а также пригодны к эксплуатации в условиях повышенной температуры, влажности и радиации.

В большинстве современных волоконно-оптических датчиков используются цифровые методы приема и обработки сигналов, позволяющие значительно расширить их функциональные возможности и увеличить производительность операций приема и обработки данных по сравнению с традиционными аналоговыми схемами обработки. В качестве основного элемента схемы обработки все чаще используются программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС) [3, 4]. Эта тенденция обусловлена тем, что изменения в функциональности и производительности схемы обработки могут быть обеспечены за счет изменений в конфигурации ПЛИС, что гораздо проще, быстрее и дешевле, чем замена компонент в электрической схеме или разработка новой платы. Таким образом, на основе ПЛИС могут быть реализованы сложные методы цифровой обработки сигналов, модификация которых может осуществляться путем перепрограммирования.

Поскольку современные ПЛИС обладают высоким быстродействием и выполнение операций на их основе может вестись на частотах в сотни МГц, могут возникнуть проблемы с передачей информации с платы обработки конечному пользователю ввиду ограниченной скорости работы традиционных интерфейсов передачи данных. Для решения этих проблем требуется подключение к плате обработки дополнительных высокоскоростных интерфейсов передачи данных, взаимодействие которых со схемой обработки может быть реализовано за счет изменений в конфигурации ПЛИС.

В настоящей работе представлены результаты разработки цифровой схемы высокоскоростной записи данных со схемы обработки сигналов волоконно-оптического акустического датчика интерферометрического типа на microSD-карту памяти с использованием ПЛИС и программной среды разработки Xilinx ISE, а также приводятся результаты апробации предложенной схемы записи.

Принцип работы волоконно-оптического акустического датчика

Структурная схема фазового волоконно-оптического акустического датчика интерферометрического типа представлена на рис. 1 [5]. Электронный блок обработки является функциональной частью макета волоконно-оптического фазового акустического датчика интерферометрического типа и осущест-

вляет функции приема, обработки и передачи информации на персональном компьютере (ПК) для ее последующего анализа и отображения. Чувствительным элементом датчика служит двулучепреломляющее оптическое волокно с записанными в него брэгговскими решетками.

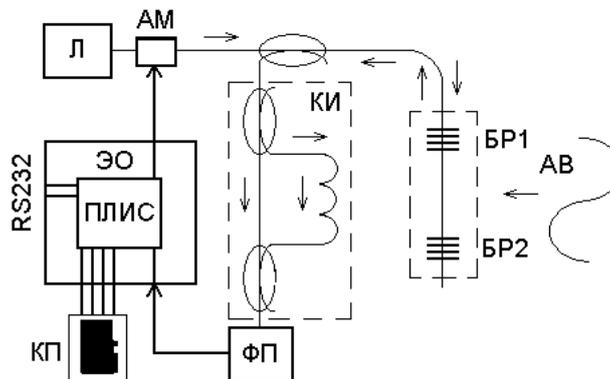


Рис. 1. Структурная схема волоконно-оптического акустического датчика интерферометрического типа:
 ФП – фотоприемник; КИ – компенсирующий интерферометр; БР – брэгговская решетка;
 ЭО – блок электронной обработки; КП – карта памяти; Л – лазер; АВ – акустическая волна;
 АМ – амплитудный модулятор

Принцип работы волоконно-оптического акустического датчика заключается в следующем. Световое излучение лазера проходит через амплитудный модулятор (АМ), формирующий световые импульсы, которые, последовательно отражаясь от брэгговских решеток БР1 и БР2, попадают в компенсирующий интерферометр (КИ). В КИ разность фаз между отраженными импульсами компенсируется за счет разной длины плеч интерферометра, тем самым формируя интерференционную картину на фотоприемнике (ФП). Под действием акустического давления чувствительный элемент датчика деформируется, что вызывает изменение разности фаз интерферирующих импульсов. Эта разность фаз преобразуется ФП в изменение величины тока. Таким образом, обрабатывая сигнал с ФП, можно судить о характере акустического воздействия.

Функцию обработки сигнала с фотоприемника выполняет ПЛИС. Отличием ПЛИС от специализированных микросхем различных типов является ее внутренняя архитектура – она задается не в процессе изготовления, а посредством программирования. Поскольку программирование ПЛИС может производиться многократно, электронные схемы обработки на их основе имеют очень гибкую архитектуру, что позволяет существенным образом изменять и расширять функциональные возможности схемы без ее повторного проектирования.

Взаимодействие электронного блока обработки датчика и ПК осуществляется по асинхронному последовательному интерфейсу RS-232 [6]. Однако использование этого интерфейса имеет существенное ограничение по скорости передачи информации между блоком обработки и ПК, так как максимальная скорость передачи данных при использовании стандартного СОМ-порта ПК составляет 115200 бит/с. Но при увеличении частоты дискретизации звуковых сигналов, необходимости передачи дополнительной информации с платы обработки или при увеличении количества чувствительных волоконно-оптических элементов может потребоваться существенно большая пропускная способность информационного канала.

Ввиду того, что созданный макет волоконно-оптического акустического датчика был изначально рассчитан на акустические частоты до 500 Гц, согласно теореме Котельникова, достаточной для восстановления формы акустического сигнала является частота дискретизации сигнала 1 кГц. В связи с этим, с учетом возможного увеличения количества чувствительных волоконно-оптических элементов в ходе дальнейшей разработки макета, а также для возможности вывода дополнительной отладочной информации с платы обработки сигналов была выбрана частота дискретизации сигналов 3 кГц.

С учетом того, что размер одного пакета данных с блока обработки сигналов вместе с заголовком, окончанием пакета, стартовыми и стоповыми битами составляет 47 бит, для передачи данных с частотой дискретизации 3 кГц требуется пропускная способность канала передачи данных не менее 141000 бит/с. Это более чем на 22% превышает максимальную пропускную способность интерфейса RS-232 – 115200 бит/с. Следовательно, в случае передачи информации с частотой дискретизации 3 кГц по интерфейсу RS-232 часть данных будет теряться.

Таким образом, возникает необходимость высокоскоростной записи информации с фазовых интерферометрических датчиков непосредственно с платы обработки сигналов. В работе представлен один из способов такой записи информации с фазового волоконно-оптического акустического датчика интерферометрического типа.

Реализация записи на карту памяти

В ходе разработки макета волоконно-оптического акустического датчика было проанализировано несколько возможных вариантов реализации высокоскоростной записи со схемы цифровой обработки сигналов. Выбор оптимального интерфейса для высокоскоростной записи производился из существующих интерфейсов последовательной передачи данных.

Основными критериями для выбора интерфейса высокоскоростной записи данных являлись максимально возможная скорость передачи информации, гибкость и простота реализуемой цифровой схемы на базе ПЛИС, а также доступность соответствующей технической документации.

Анализ современных технических решений в этой области показал, что для последовательной передачи данных между микросхемами различного назначения чаще всего используются последовательные интерфейсы SPI (Serial Peripheral Interface) [7] и I²C (Inter Integrated Circuit) [8]. В результате анализа в качестве высокоскоростного интерфейса передачи данных был выбран последовательный периферийный интерфейс SPI. Данный выбор был обусловлен следующими преимуществами SPI-интерфейса над I²C:

- в случае осуществления передачи данных по SPI-интерфейсу максимальная скорость передачи может достигать десятков Мбит/с, в то время как максимальная скорость передачи данных для I²C составляет 3,4 Мбит/с [8];
- все линии шины SPI являются симплексными (однонаправленными), что существенно упрощает реализацию цифровой схемы интерфейса на базе ПЛИС;

Для записи данных с платы обработки по SPI-интерфейсу была выбрана micro SD-карта памяти, поскольку современные карты памяти имеют большую емкость при небольших размерах, а скорость записи информации на них может достигать 90 Мбит/с. Это делает карту памяти очень удобным и компактным средством для хранения информации.

В настоящей работе для реализации цифровой схемы SPI-интерфейса на базе ПЛИС использовалась среда разработки Xilinx ISE 13.4. Данная среда позволяет осуществлять весь цикл разработки проекта – от описания логической архитектуры и его моделирования до конфигурирования любой из существующих ПЛИС фирмы Xilinx.

В работе использовалась ПЛИС Spartan 3 XC3S 1000 5FPG256C. Основные характеристики ПЛИС, как правило, отражены в ее наименовании и определяют рабочие характеристики систем на их основе. В данном случае XC3S 1000 обозначает тип ПЛИС, 5 (Speed Grade) – производительность, 256 – общее число вводов-выводов, C (Commercial) – рабочий температурный диапазон 0–85°C [9].

В процессе разработки на базе ПЛИС была реализована схема SPI-интерфейса, представленная на рис. 2. Схема включает в себя набор функциональных блоков и логических примитивов, причем логика работы блоков описывается на языке VHDL (Very high speed integrated circuits Hardware Description Language), в то время как логические примитивы являются стандартными элементами среды разработки ISE Xilinx. В данной схеме ведущим SPI-интерфейса является блок SPI_Master, а ведомым – карта памяти, общение с которой осуществляется посредством четырех портов (SCLK, MOSI, MISO, SS):

1. MOSI – выход ведущего, вход ведомого (Master Out Slave In). Служит для передачи данных от ведущего устройства ведомому;
2. MISO – вход ведущего, выход ведомого (Master In Slave Out). Служит для передачи данных от ведомого устройства ведущему;
3. SCLK – последовательный тактовый сигнал (Serial Clock). Служит для передачи тактового сигнала для ведомых устройств;
4. SS – выбор микросхемы (Slave Select) или выбор ведомого. Необходим в случае работы по SPI-интерфейсу с несколькими ведомыми устройствами.

Блок SPI_Master выполняет следующие функции: анализ и выполнение команд пользователя, прием информации со схемы обработки для ее последующей записи, передача данных для записи на карту памяти, передача тактирующего сигнала на карту памяти и прием ответов с карты памяти. Блок uart_control реализует интерфейс RS-232 между ПК и платой обработки, принимает команды пользователя и передает их блоку SPI_Master, принимает ответы карты памяти от блока SPI_Master и передает их пользователю. Блок ctrl осуществляет контроль процесса записи данных на карту памяти, формирует управляющие сигналы для блоков SPI_Master и uart_control, а также проверяет окончание передачи данных пользователю.

Приведенная схема работает следующим образом. На ПЛИС подается внешний сигнал от высокоточного кварцевого генератора с тактовой частотой 250 МГц, далее этот сигнал делится делителями частоты на сигналы в 100 кГц и 8 МГц, представляющие собой тактовые частоты инициализации карты памяти и записи информации на карту памяти соответственно. Эти сигналы подаются на блок SPI_Master, который осуществляет обмен командами и данными непосредственно с картой памяти. Блок uart_control поддерживает связь между ПЛИС и ПК – это необходимо для передачи стартовых команд записи от пользователя к плате обработки. На входной порт DATA блока SPI_Master подается информация для записи на карту памяти, причем, благодаря гибкости реализованной схемы, формат передаваемой ин-

формации может быть изменен путем модификации блока SPI_Master, а скорость записи может варьироваться в широких пределах за счет реконфигурации делителей частоты.

Общение с картой памяти производится с помощью специализированных команд, каждая из которых представляет собой последовательность из шести информационных байт и отвечает за определенную операцию, выполняемую микроконтроллером карты памяти [10]. Последовательность команд для записи информации на карту памяти представлена в таблице.

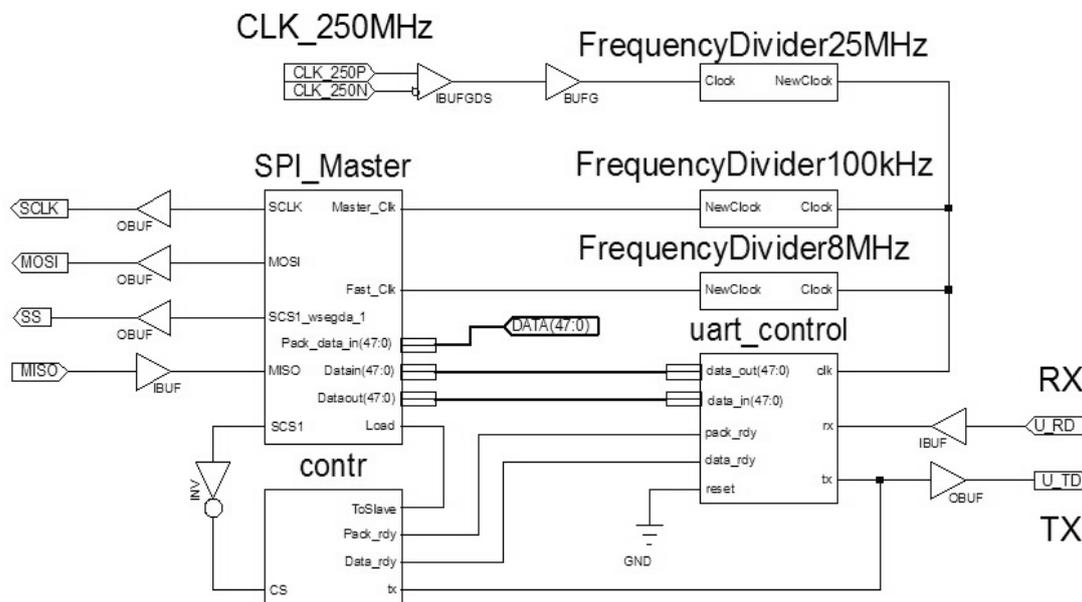


Рис. 2. Реализованная схема SPI-интерфейса

Команда	Информационное содержание команды	Описание команды
CMD0	#40#00#00#00#00#95	Сброс программного обеспечения микроконтроллера карты памяти для возврата в исходное состояние
CMD1	#41#00#00#00#00#00	Запуск процесса инициализации
CMD25	#59#00#24#68#00#00	Непрерывная запись блоков данных, начиная с блока, номер которого определяется содержанием команды
Stop Tran Token	#FD#FF#FF#FF#FF#FF	Остановка записи

Таблица. Последовательность команд для записи информации на карту памяти (в шестнадцатеричном формате)

Успешность выполнения команды картой памяти оценивается при считывании ответов, которые передаются по интерфейсу RS-232 пользователю ПК. Таким образом, пользователь осуществляет полный контроль над процессом записи информации.

Апробация результатов работы производилась в ходе эксперимента по проверке работоспособности макета волоконно-оптического акустического датчика, который заключался в подаче звукового сигнала известной частоты на волоконно-оптический акустический датчик и записи данных на карту памяти. При этом частота акустического сигнала составляла 150 Гц. Для сохранения выбранной ранее частоты дискретизации и более точного воспроизведения формы сигнала частота взятия отсчетов данных блоком SPI_Master была выбрана равной 3 кГц. В этом случае на один период звукового колебания должно приходиться 20 отсчетов данных.

Результаты эксперимента, приведенные на рис. 3, показывают, что число отсчетов, приходящихся на один период звукового колебания, соответствует ожидаемому и равно 20. Это свидетельствует о выполнении поставленной задачи для выбранных частот звукового колебания и дискретизации. Поскольку представляемый макет волоконно-оптического акустического датчика на данный момент еще находится в стадии разработки, в дальнейшем может потребоваться как увеличение частоты дискретизации звуковых сигналов, так и запись дополнительной информации с цифровой схемы обработки сигналов. В этом случае для записи информации будет необходимо использование карт памяти более высокого класса быстродействия и расширение пропускной способности канала передачи данных. В связи с этим в схему

записи были заложены возможности увеличения скорости записи до 8 Мбит/с. Апробация функционирования макета датчика на этой скорости записи является задачей будущих экспериментов.

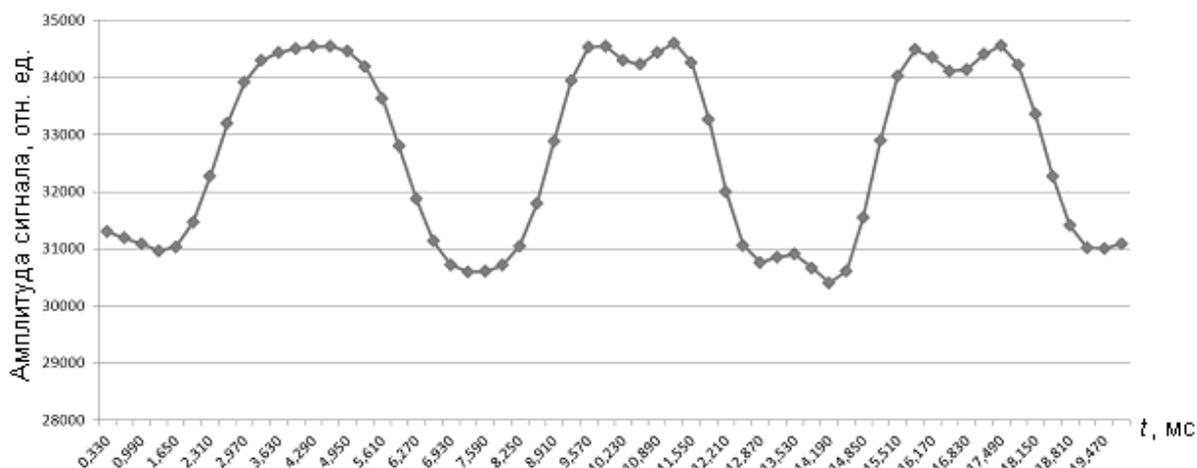


Рис. 3. Данные после обработки, записанные на карту памяти (частота акустического сигнала 150 Гц)

Заключение

В результате выполнения была разработана и программно реализована высокоскоростная запись данных со схемы обработки фазового акустического интерферометрического датчика на microSD-карту памяти с использованием SPI-интерфейса.

В ходе экспериментальной проверки предложенной схемы была продемонстрирована ее работоспособность на примере записи данных на карту памяти воздействием на датчик акустического сигнала с известной частотой в 150 Гц. При этом расчетное количество цифровых отсчетов, приходящихся на один период звукового колебания, полностью соответствовало количеству записываемых с частотой 3 кГц отсчетов сигнала. Построенный по записанным данным график (рис. 3) повторял форму акустического сигнала. Однако в ходе работы был выявлен существенный недостаток карты памяти – максимальная скорость записи информации ограничивается ее классом быстродействия. По этой причине в предложенную схему были заложены возможности по увеличению скорости записи до 8 Мбит/с.

В настоящее время разработанная схема используется в плате обработки сигналов фазового интерферометрического акустического датчика. В дальнейшем планируется ее тестирование на картах памяти с более высоким классом быстродействия и модификация с целью повышения скорости записи.

Литература

1. Shizhuo Yin, Paul B.Ruffin, Francis T.S.Yu. Fiber Optic Sensors. – 2d ed. – Pennsylvania State University: CRC Press Taylor & Francis Group, 2008. – 477 p.
2. Волоконно-оптические датчики. Вводный курс для инженеров и научных работников / Под ред. Э. Удда – М.: Техносфера, 2008. – 520 с.
3. Максфилд К. Проектирование на ПЛИС. Курс молодого бойца. – М.: Додэка-XXI, 2007. – 408 с.
4. Китаев Ю.В. Использование ПО MAX+PLUS II и E-LAB для сквозного проектирования в лабораторных работах [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://books.ifmo.ru/book/vip/162.pdf>, свободный. Яз. рус. (дата обращения 20.08.2012).
5. Куликов А.В. Волоконно-оптические акустические сенсоры на брэгговских решетках. Автореф. дис. ... к.т.н. – СПбГУ ИТМО, 2012. – 18 с.
6. Тарасов И.Е. Разработка цифровых устройств на основе ПЛИС Xilinx с применением языка VHDL. – М.: Горячая линия – Телеком, 2005. – 252 с.
7. Communication with MMC_SD card via SPI protocol [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.docstoc.com/docs/26093436/Communication-with-MMC_SD-card-via-SPI-protocol, свободный. Яз. англ. (дата обращения 11.05.2012).
8. I²C bus by Philips Semiconductors [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://tmd.havit.cz/Papers/I2C.pdf>, свободный. Яз. англ. (дата обращения 21.07.2012).
9. Spartan 3 FPGA Family Data Sheet [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.xilinx.com/support/documentation/data_sheets/ds099.pdf, свободный. Яз. англ. (дата обращения 11.05.2012).

10. SD-Memory Card Specifications [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.elec freaks.com/store/download/datasheet/breakout/SD/SPI_Mode.pdf, свободный. Яз. англ. (дата обращения 11.05.2012).

- Плотников Михаил Юрьевич*** – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, аспирант, plotnikov-michael@yandex.ru
- Дейнека Иван Геннадьевич*** – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, аспирант, vanoDNK@yandex.ru
- Шарков Илья Александрович*** – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, аспирант, ilya.sharkov@gmail.com