

СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО МИКРОКОНТРОЛЛЕРА

Введение

Большинство современного оборудования управляется различными микроконтроллерами. Основная задача микроконтроллера – выполнение ресурсоемких операций за достаточно короткое время. Уменьшение времени отклика микроконтроллера в большинстве случаев сводится к повышению его тактовой частоты, что, в свою очередь, приводит к усложнению схемотехнических решений при проектировании МК и различных устройств. Уменьшение времени отклика МК можно достичь путем использования программно-аппаратных средств, не повышая тактовой частоты.

Целью исследования является создание устройств цифровой обработки сигналов с уменьшением времени отклика микроконтроллера (МК) относительно прототипа. В качестве прототипа выбран МК dsPIC30F6014A с вычислительной способностью 30 MIPS. Для анализа максимальных возможностей МК на его основе был построен полосовой фильтр. В данной статье предлагается использование целочисленных констант фильтра и скоростных интерфейсов передачи данных, что позволяет реализовать уменьшение времени отклика МК. На микроконтроллерах семейства dsPIC30 построено множество современных и эффективных устройств, выполняющих функции управления, мониторинга и PID управления с интенсивным использованием умножения 16-разрядных чисел. Основная причина выбора данного МК – дешевизна и доступность семейства микроконтроллеров dsPIC, наличие бесплатного программного обеспечения, а также наличие универсального отладочного оборудования.

Специализированный микроконтроллер

Особенностью МК dsPIC30F6014A является наличие специализированного ядра для цифровой обработки, которое работает отдельно от АЛУ и дает возможность повысить производительность. Ядро содержит аппаратный умножитель 16-разрядных чисел, две шины данных, что позволяет за один такт производить большинство команд, а главное – умножение 16-разрядных переменных, в том числе и с накоплением. По сравнению с другими, МК имеет достаточный объем ПЗУ и ОЗУ, что позволяет создавать программное обеспечение большого и хранить множество переменных, не подключая дополнительной внешней памяти.

На основе МК был построен полосно-пропускающий фильтр (цифровой фильтр с полосой пропускания от 100 Гц до 40 кГц с неравномерностью менее 3 дБ и уровнем затухания вне полосы пропускания не менее 60 дБ). Порядок фильтра равен 58. Фильтр реализован каскадно, количество каскадов – 29, порядок звена – 2. Это дало возможность оценить параметры вычислительных способностей МК, а также характеристики работы с периферийными устройствами. Для обработки сигнала с частотой 40 кГц, необходимо выбрать достаточную частоту выборки АЦП. В исследуемом МК частота выборки АЦП составляет 200 кГц. При использовании внешнего АЦП, подключаемого через различные интерфейсы, можно достичь частоты выборки до 10 МГц. Для анализа сигнала выбрана частота дискретизации АЦП равная 200 кГц [1]. МК имеет 68 программируемых портов ввода/вывода, что позволяет реализовать подключение множества устройств как по параллельному интерфейсу, так и последовательному. Среди распространенных интерфейсов архитектура МК включает: I2C, 2xSPI, 2xUART, 2xCAN.

В данном МК ЦАП отсутствует, но в некоторых целях можно использовать встроенный ШИМ. Использование ЦАП дает возможность более качественно воспроизводить обработанный сигнал по сравнению с ШИМ, а также позволяет построить более гибкую систему обработки данных и уменьшить вычислительную нагрузку на МК. Поэтому принято решение

использовать внешний ЦАП. ЦАП MCP4921 подключен по интерфейсу SPI, что дало возможность скоростной передачи и преобразования данных со скоростью до 10 Мбит/с. Выбор шины подключения ЦАП обусловлен скоростью передачи данных и количеством линий связи с МК, а также использованием простого протокола передачи.

Чтобы произвести ЦОС, необходимо определенное количество информации о входном сигнале [2]. Выборки сигнала, не прошедшие обработку, принято называть временным окном и считать, что данный сигнал является периодичным [1]. Для вычисления отклика фильтра 58-го порядка и временного окна с шириной 6 точек, при максимальной вычислительной способности 30 MIPS необходимо более 4 мс. Это достаточно долго, так как время выборки АЦП – 50 мкс, что не позволяет производить вычисление в реальном режиме времени. Данные последующего временного окна входного сигнала при вычислении теряются. Для предотвращения потери данных необходимо реализовать отклик МК за время, меньшее времени длительности окна выборки входного сигнала.

Работа в среде MATLAB

Расчет и моделирование фильтра производится в среде MATLAB, которая позволила рассчитать порядок, число каскадов и коэффициенты фильтра. Наличие средств моделирования дало возможность убедиться в соответствии полученного результата с требуемыми параметрами.

Для проверки работоспособности фильтра был построен проект в среде Simulink MATLAB. На вход фильтра было подано три сигнала, два из которых ниже или выше полосы пропускания. Сигнал 1 – 50 Гц, сигнал 2 – 8 кГц, сигнал 3 – 48 кГц. На рис. 1 представлены графики входного, входного дискретного и выходного сигналов. На рис. 2 представлены аналогичные графики, но в другом временном масштабе для более детального анализа высокочастотных составляющих.

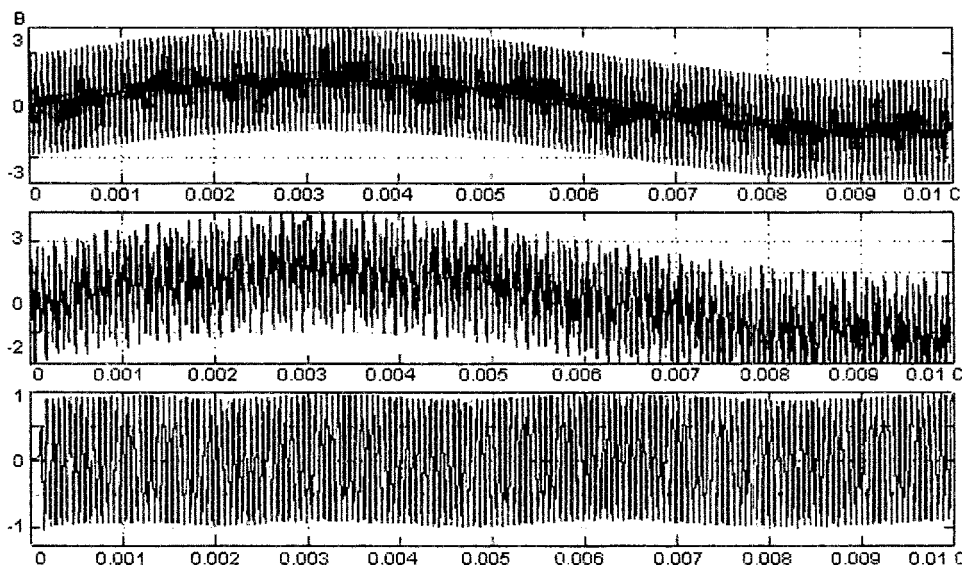


Рис. 1. Графики моделируемых сигналов (вид низкочастотных составляющих), (вверху – входной сигнал, центр – входной дискретный сигнал, внизу – выходной сигнал)

На рис. 1 на графиках входных сигналов видно низкочастотную составляющую входного сигнала, а на графике выходного сигнала она отсутствует, аналогично на рис. 2 высокочастотная составляющая. По данным рисунком можно сделать вывод, что частотные составляющие сигналов, лежащие за пределами полосы пропускания фильтра, были отфильтрованы. Это свидетельствует о правильности расчета коэффициентов цифрового фильтра. На рис. 2, на выходном графике просматривается переходной процесс фильтра.

Для анализа исследуемого фильтра было произведено построение входного сигнала и его спектра в расчетной среде MATLAB. Графики сигнала и его спектра приведены на рис. 3 и 4 соответственно.

В среде Simulink также были построены спектры входного и выходного сигнала. Графики спектров представлены на рис. 5 и 6. По форме входного и выходного спектра сигнала можно судить, что фильтр отфильтровал более высокую и низкую составляющую входного сигнала.

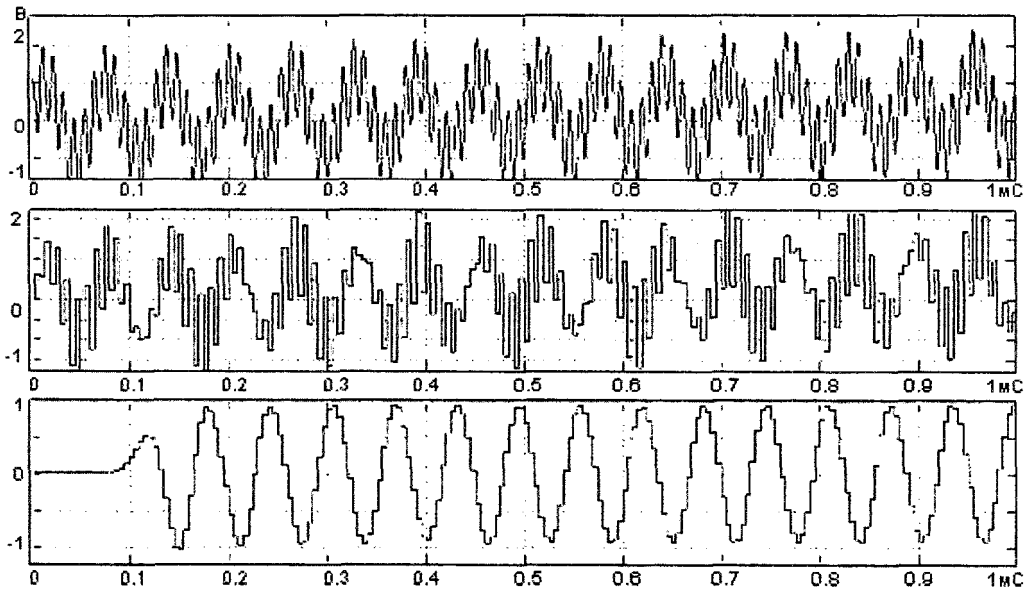


Рис. 2. Графики моделируемых сигналов (вид высокочастотных составляющих), (сверху – входной сигнал, центр – входной дискретный сигнал, внизу – выходной сигнал)

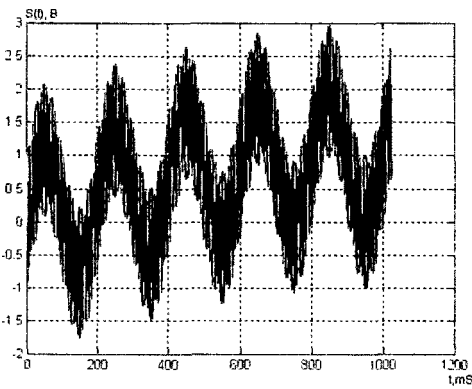


Рис. 3. График рассчитанного входного сигнала

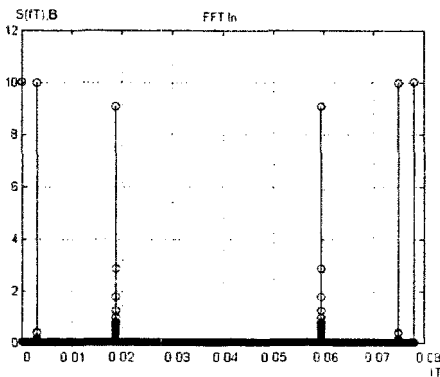


Рис. 4. График рассчитанного спектра входного сигнала

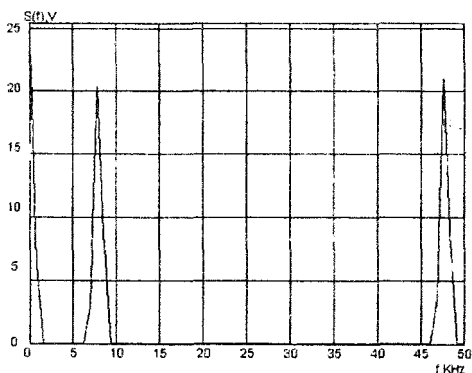


Рис. 5. Спектр анализируемого входного сигнала

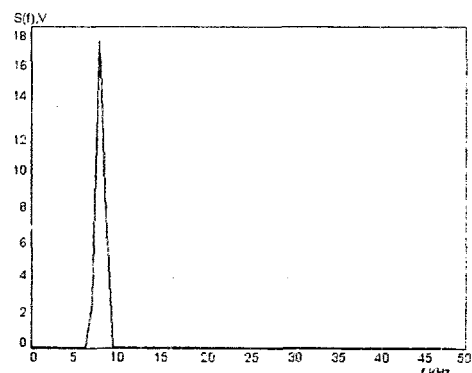


Рис. 6. Спектр анализируемого выходного сигнала

Написание программы и работа с МК

Написание программы микроконтроллера осуществлялось в бесплатной среде MPLAB IDE v8.60 на языке C++. Отладка написанной программы выполнялась в среде Proteus, где производились основные временные измерения. Отладка выполнялась при работе с макетом. Макет управлялся непосредственно при помощи ICD 2 отладчика.

Среда разработки MPLAB IDE является универсальной для разработки программного обеспечения микроконтроллеров Microchip. Данная среда обеспечивает поддержку разнообразных отладочных средств фирмы Microchip (PICSTART Plus, PRO MATE II, ICD2 и т.д.), а также позволяет: ассемблировать, компилировать исходный текст; отлаживать логику работы, наблюдая с помощью симулятора или, в реальном времени, с использованием эмуляторов и внутрисхемных отладчиков; просматривать переменные и выполнять различные настройки отлаживаемого устройства.

Отладка осуществлялась в пакете ISIS Proteus. Данное программное обеспечение позволяет создавать виртуальный аналог реального устройства, что дает возможность проверки работоспособности создаваемого устройства и внесение различных решений в процессе разработки без особых затрат времени и финансов.

Макетом является 16-битный микроконтроллер dsPIC30F6014A, установленный на плату и подключенный к внутрисхемному отладчику ICD-2 (In-Circuit Debugger). Макет подключается к ПК с помощью USB интерфейса. ICD-2 универсален, это связано с возможностью осуществлять внутрисхемную отладку и программирование большинства FLASH контроллеров Microchip. К МК подключен ЦАП MCP4921. Все программируемые выводы МК имеют универсальные разъемы для подключения внешних устройств и измерительной аппаратуры.

Результаты исследования времени отклика фильтра:

- при использовании коэффициентов с фиксированной запятой разрядностью 32 бита для ЦОС с длительностью временного окна – шести точек время составило 4 мс;
- при использовании целочисленных коэффициентов и длительностью временного окна – шести точек время составило 2,7 мс;
- при снижении длительности временного окна до двух выборок время отклика снизилось до 550 мкс.

Заключение

Построен фильтр 58-го порядка, каскадный, 29 звеньев второго порядка. В созданной установке он способен обрабатывать сигнал с частотой 1,8 кГц в реальном масштабе времени. Для реализации обработки сигнала в реальном масштабе времени, большей частоты, необходимо изменить параметры цифрового фильтра. Если не требуется обработка сигнала в реальном масштабе времени, то информацию о входном сигнале можно записать в память МК, а далее произвести вычисление. В данном случае необходимо следить за объемом использованной памяти, чтоб не допустить перезаписи данных, иначе информация о входном сигнале приобретает случайный характер.

На основе проведенного анализа достигнуто уменьшение времени отклика исследуемого МК программно-аппаратным методом. Время отклика фильтра составило 2,7 мс. Основным приемом, позволившим достичь максимального снижения времени отклика МК, является использование целочисленных констант. Применение скоростных интерфейсов передачи данных позволяет уменьшить время загрузки МК и время задержки вывода результатов.

Список литературы: 1. Солонина А.И., Улахович Д.А. Алгоритмы и процессоры цифровой обработки сигналов. – С.-Петербург : «БХВ-Петербург», 2002. 2. Солонина А.И., Улахович Д.А. Основы цифровой обработки сигналов. – С.-Петербург : «БХВ-Петербург», 2005. 3. Оппенгейм А.В., Шаффер Р.В. Цифровая обработка сигналов : Пер. с англ. под ред. С.Я. Шаца. – М. : Связь, 1979.

Харьковский национальный
университет радиотехники

Поступила в редколлегию 15.03.2011