

А.О. Беляев

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ ДАТЧИК ВИБРОСКОРОСТИ С АНАЛОГОВЫМ ИНТЕГРАТОРОМ И ЦИФРОВОЙ КОРРЕКЦИЕЙ

В настоящее время на рынке цифровой микроэлектроники присутствует огромное количество микроконтроллеров и сигнальных процессоров с различными характеристиками, разным набором периферии и быстродействием. Однако выбор наиболее подходящего контроллера (процессора) не всегда так прост, как хотелось бы. Большую роль при выборе играет цена контроллера, также существуют «узкие места», такие как разрядность АЦП и ЦАП.

Одним из компромиссов в этом вопросе является серия аналоговых микроконтроллеров или микроконвертеров ADuC70x фирмы Analog Devices, выполненных на основе ядра ARM7TDMI. Основным их преимуществом является наличие на кристалле до 16 каналов быстродействующего 12-битного АЦП и до 4-х каналов 12-битного ЦАП, что в совокупности с 32-битным ARM7 ядром и максимальной тактовой частотой до 41,78 МГц даёт возможность решать широкий спектр задач по цифровой обработке сигналов в режиме реального времени [1].

В настоящей статье рассматривается задача разработки интеллектуального датчика виброскорости (ИДВ) на основе пьезоэлектрического датчика виброускорения. Классическая схема интеллектуального пьезоэлектрического преобразователя (ИПП) представлена на рис. 1.

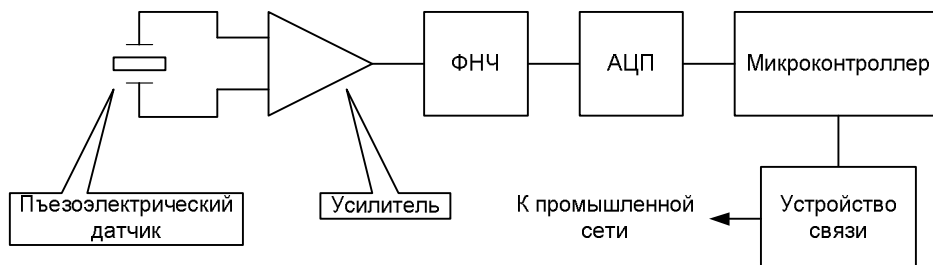


Рис. 1. Структурная схема ИПП

Требования к разрабатываемому ИПП:

- полоса частот 10 – 1000 Гц;
- крутизна спада АЧХ в полосах задерживания 18 дБ/октаву;
- неравномерность в полосе пропускания не более 1%;
- диапазон измеряемых величин виброскорости 0,5-50 мм/с;
- относительная погрешность измерения виброскорости на нижнем пределе не хуже 5% во всем частотном диапазоне.

При таких параметрах динамический диапазон ИПП составит:

$$U = 20 \operatorname{Log} \left(\frac{50}{0,05 \cdot 0,5} \right) = 66 \text{ дБ.}$$

Для работы с таким динамическим диапазоном достаточно АЦП с разрядностью 12 бит, при такой разрядности динамический диапазон АЦП с учётом шума квантования составит:

$$SNR = 6.02 \cdot N + 1.76 = 6.02 \cdot 12 + 1.76 = 74 \text{ дБ},$$

где N – разрядность АЦП. Однако приведенные расчеты относятся к вибророскорости, а пьезопреобразователь измеряет виброускорение. Если перейти к требованиям по динамическому диапазону для сигнала виброускорения во всём диапазоне частот (2 декады), то это приведет к его расширению на 40 дБ

$$U = 20 \text{ Log} \left(\frac{50}{0,05 \cdot 0,5} \right) + 40 = 106 \text{ дБ}.$$

Такой динамический диапазон требует уже 18-битного АЦП. Учитывая, что сигнальный процессор применять в данной ситуации нецелесообразно, а 8-битные контроллеры (например, микроконвертеры Analog Devices серии ADuC8x с 24-х битным АЦП [2]) не подходят из-за низкого быстродействия и малой разрядности, остановимся на одном из аналоговых микроконтроллеров серии ADuC70x. Но тогда появляется необходимость искусственно увеличить разрядность АЦП. Методы с помощью которых это можно сделать описаны ниже.

Использование нескольких каналов АЦП с разным коэффициентом предварительного усиления

Принцип данного метода состоит в том, чтобы разделить весь диапазон измеряемой аналоговой величины (напряжения) на два или более диапазонов, каждому из которых сопоставлен свой канал АЦП с усилителем на входе (представляющий собой неинвертирующий усилитель на ОУ с известным коэффициентом усиления [3]), что даст возможность уже в программе МК вычислить действительное значение напряжения (возможный вариант схемотехнического решения представлен на рис. 2).

Вариантов осуществления такого подхода может быть несколько. Например, мы можем последовательно оцифровать напряжение на входах нескольких каналов АЦП, а затем выбрать то значение, которое не переполнено (рис. 3). Или же в каждом цикле преобразования сравнивать полученное оцифрованное значение с некоторыми минимальной и максимальной уставками, при достижении минимальной уставки переключаться на канал с большим коэффициентом усиления, а при достижении максимальной переключаться на канал с меньшим усилением (рис. 4).

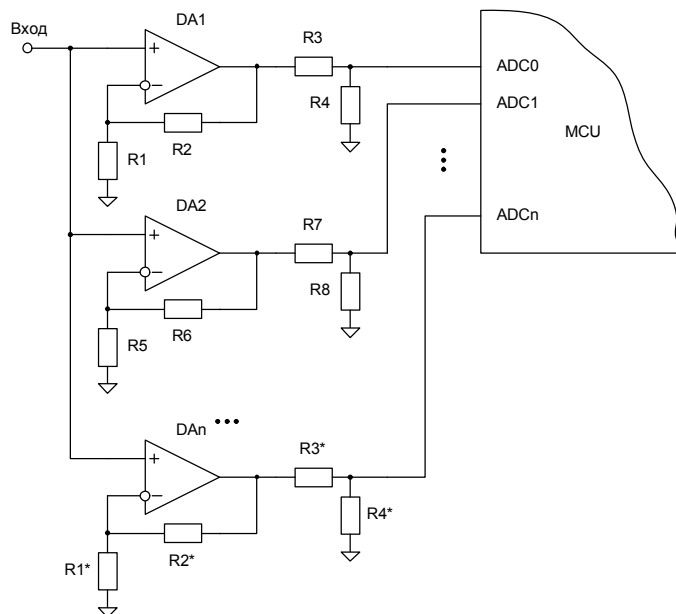


Рис. 2. Фрагмент принципиальной схемы, с использованием нескольких каналов АЦП с различными коэффициентами усиления.

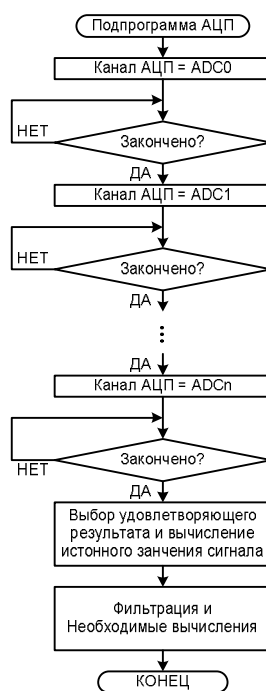


Рис. 3. Примерный алгоритм последовательного опроса всех каналов АЦП

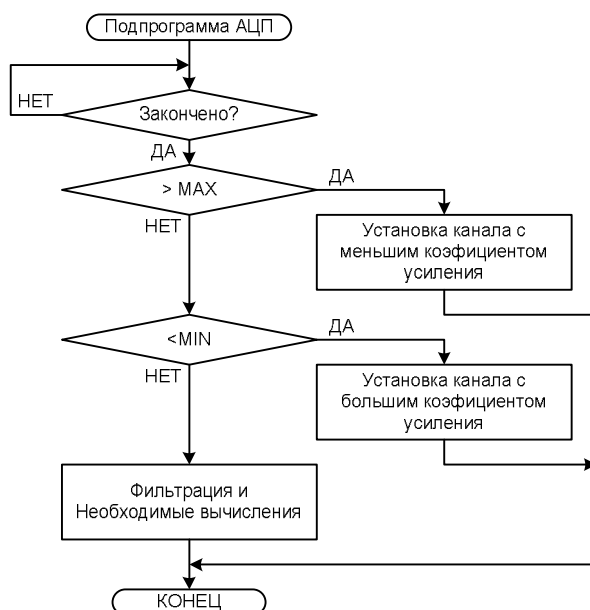


Рис. 4. Примерный алгоритм переключения между каналами с различными коэффициентами усиления

Если учитывать то, что измеряемая величина изменяется периодически, то переключаться с канала на канал придётся довольно часто, притом, что полученное до переключения значение АЦП будет неточным.

Однако основным недостатком этих подходов является то, что они принципиально не решают проблему малой разрядности АЦП, так как если даже разделить весь динамический диапазон на 10 участков, то ширина каждого из них составит 86 дБ:

$$U = 20 \operatorname{Log} \left(\frac{5}{0,05 \cdot 0,5} \right) + 40 = 86 \text{ дБ.}$$

Что все равно превышает динамический диапазон АЦП. Таким образом, для того чтобы согласовать динамический диапазон АЦП с динамическим диапазоном ИПП необходимо разбить его на 50 участков, каждый по 72 дБ. Мало того, что такой подход является нерациональным, он ещё и трудно реализуем практически.

Однако представленный выше метод удобен для сигналов с узким динамическим диапазоном и медленно меняющихся во времени, так как позволяет измерять входную величину в широких пределах.

Выходом из сложившейся ситуации служит следующий подход.

Использование аналогового интегратора

Так как резкое расширение динамического диапазона вызвано необходимостью преобразования поступающего с пьезоэлектрического датчика виброускорения в виброскорость, то вполне логично было бы произвести

это преобразование до АЦП, а именно проинтегрировать сигнал с датчика. В таком случае динамический диапазон сузится до 66 дБ, для которого вполне достаточно АЦП с разрядностью 12 бит. Фрагмент принципиальной схемы с интегратором [3] представлен на рис. 5.

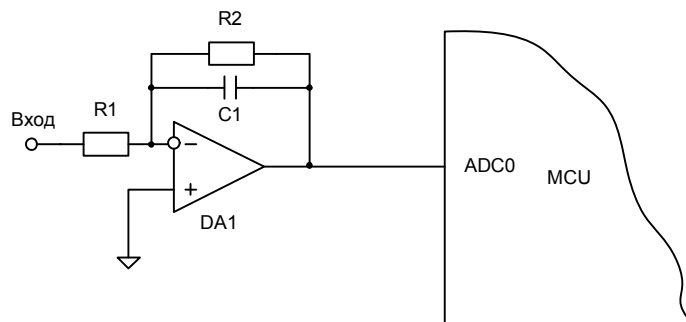


Рис. 5. Фрагмент принципиальной схемы с интегратором

Однако этот подход тоже не лишен недостатков, одним из них является наличие в составе интегратора емкости, значение которой сильно зависит от температуры. В этом случае необходимо предусмотреть возможность автокалибровки, например, в начале работы подавать сгенерированное микроконвертером эталонное воздействие (синусоидальное) и на основе значения на выходе интегратора вычислять необходимую поправку. Структурная схема ИПП с аналоговым интегратором представлена на рис. 6. Аналоговый ключ предназначен для переключения между измеряемым сигналом и эталонным значением от генератора, используемым для калибровки.

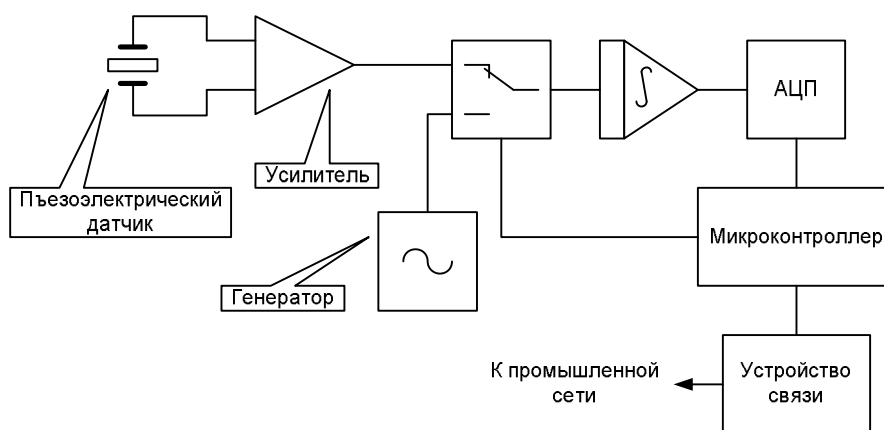


Рис. 6. Структурная схема ИПП с аналоговым интегратором и возможностью цифровой коррекции

В качестве заключения можно сказать, что применение гибридных аналого-цифровых вычислителей в некоторых случаях может существенно расширить возможности разрабатываемого изделия. Описанный выше метод применим не только для конкретного, описанного в настоящей статье случая, но и для других задач связанных с обработкой аналоговых сигналов: цифровая фильтрация, вычисление СКЗ и др.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Precision Analog Microcontroller 12-bit Analog I/O, ARM7TDMI MCU Data Sheet.
2. MicroConverter Multi-Channel 24/16-Bit ADCs with Embedded 62 kB FLASH and Single Cycle MCU Data Sheet
3. *Хоровиц П., Хилл У.* Искусство схемотехники: В 3-х томах. Т.1/ Пер. с англ. – 4-е изд. перераб. и доп. – М.: Мир, 1993.

С.И. Клевцов, Д.Ч. Лыу, Н.Н. Нгуен, Т.А. Нгуен

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПРОСТРАНСТВЕННОЙ МОДЕЛИ ГРАДУИРОВОЧНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДАТЧИКА ДАВЛЕНИЯ

Одной из важных проблем, возникающих при разработке математического и алгоритмического обеспечения цифрового датчика давления, является задача достижения высокой точности измерения давления с учетом влияния температуры при относительной простоте вычислений. Алгоритм вычислений высокой точности базируется на использовании пространственных моделей градуировочных характеристик датчиков [1,2].

В рамках данной работы представлена модель градуировочной характеристики датчика давления, обеспечивающая достаточно низкую погрешность вычислений с приемлемым по сложности алгоритмом, который можно реализовать на базе микроконтроллера низкой или средней производительности.

На основе модели разработано программное обеспечение (ПО) для анализа результатов испытаний чувствительного элемента, расчета коэффициентов аппроксимации градуировочной характеристики датчика давления и оценки погрешностей вычисления давления с использованием разработанной модели.

Разработка модели градуировочной характеристики датчика давления

В процессе построения пространственной модели градуировочной характеристики (ПГХ) датчика давления учитывались следующие основные условия:

- достижение низкой результирующей погрешности вычислений;
- несложный алгоритм реализации (небольшой разрядности формат представления данных, малое количество и простота операций, составляющих алгоритм);
- учет компенсации влияния температуры на показания чувстви-