

# Интеллектуальный датчик с малым энергопотреблением

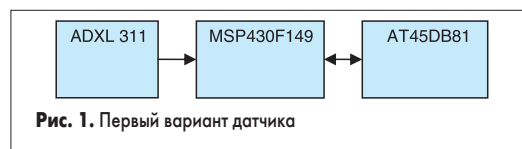
**Темой для этой статьи послужило одно техническое задание. Автору было предложено спроектировать датчик со встроенной электроникой для фиксации редких событий — импульсных ускорений (ударов). Причем датчик должен был работать в мониторинговом режиме, осуществляя слежение за уровнем ускорения, и при превышении его зафиксировать временной профиль процесса в энергонезависимой памяти в течение 1 секунды. Немаловажно то, что фиксацию процесса необходимо было начинать со времени, несколько ранее момента превышения порога (на 100 мс).**

**Сергей Синютин**

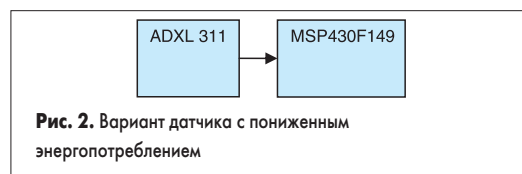
siniutin@tppark.ru

Задача достаточно тривиальная для современного уровня элементной базы, если бы не ограничения по габаритам и энергопотреблению. Задание ограничивало толщину изделия 5 мм (корпус из металла) и площадь 3 кв. см. Максимальный потребляемый ток не должен превышать 1 мА при питании от 3,3 В. Полоса частот 40 Гц — 2 кГц. Максимальная амплитуда ускорения — 2g. Динамический диапазон для регистрируемых сигналов должен быть не менее 85 дБ.

Как всегда, разработчик пытается использовать ранее применяющиеся и хорошо зарекомендовавшие себя решения. Было решено использовать в качестве датчика самый малогабаритный акселерометр фирмы Analog Devices — ADXL 311, микроконтроллер из серии MSP430 фирмы Texas Instruments и флэш-память с последовательным доступом фирмы Atmel AT45DB81.



Идея применить AT45DB81 отпала сразу же после анализа потребляемого тока при записи — до 15 мА. Правда, для полосы 2 кГц при частоте дискретизации 4 кГц и 2 байт на отсчет достаточно 8 кбайт энергонезависимой памяти, то есть запоминаемую информацию можно разместить и во флэш-памяти программ MSP430F149. Появился второй вариант:

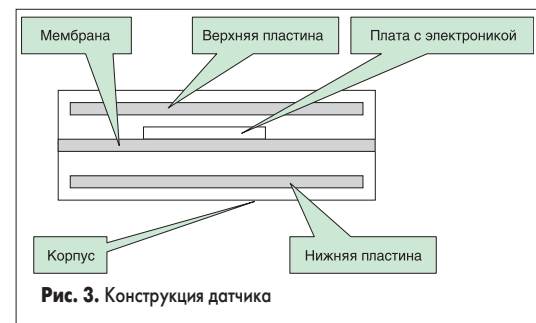


Его энергопотребление (5 мА) ближе к заданным параметрам, но все еще в 5 раз больше технического задания. Кроме того, ADXL 311 имеет разрешение

порядка 2 mg при апертуре 2g, что не дает заданных 85 дБ динамического диапазона. И, наконец, размер корпуса вдоль чувствительных осей ADXL 311 уже 5 мм и на корпус устройства места не остается!

Необходимо было искать другое решение. Поиски в литературе привели к изделиям двух фирм — Xemics и Ramtron.

В состав изделий фирмы Xemics входит микросхема XE2004IO11 — программируемый преобразователь сигналов емкостных датчиков в напряжение. Появилась идея реализовать датчик как дифференциальный конденсатор с центральной пластиной в виде упругой мембраны с инерциальной массой. Роль инерциальной массы играет плата с электроникой датчика:



Технические характеристики преобразователя легко позволили получить требуемый динамический диапазон в заданной полосе частот. Для такой конструкции необходимо было тщательно рассчитать возможные перемещения инерциальной массы, определить начальную емкость каждой половины дифференциального трансформатора и оценить возможную нелинейность во всем амплитудном диапазоне ускорений.

Для преобразования напряжения датчика в цифровой код, мониторинга ускорения и записи временного профиля сигнала в энергонезависимую память было решено применить микроконтроллер фирмы Xemics XE88LC01AMIO27.

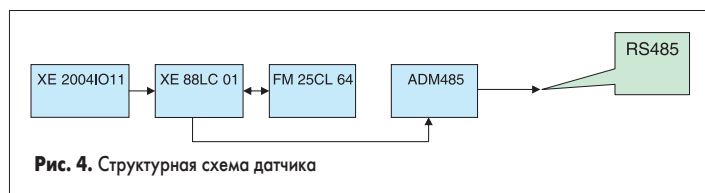


Рис. 4. Структурная схема датчика

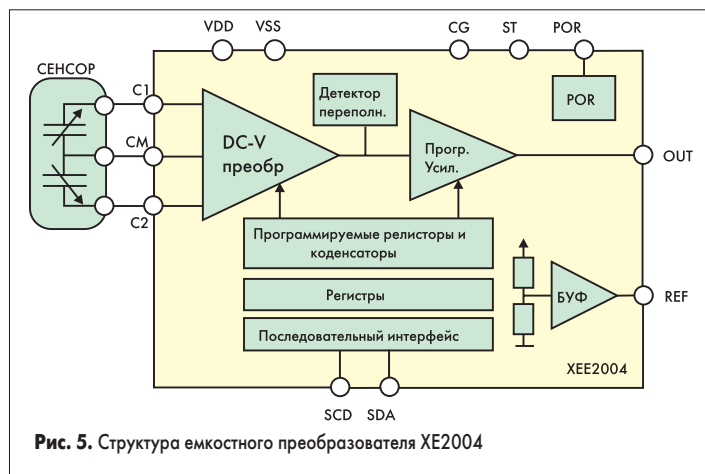


Рис. 5. Структура емкостного преобразователя XE2004

Уникальное устройство данного микроконтроллера — масштабирующий АЦП разрядностью 16 бит. За счет гибкого управления коэффициентом усиления можно повысить реальное разрешение еще на 10 бит. Кроме того, имеется возможность компенсировать сдвиг уровня. Плюс визитная карточка фирмы Xemics — рекордно низкое энергопотребление: 0,3 мА на частоте 1 МГц.

Для записи сигнала применена микросхема фирмы RAMTRON FM25CL64-S емкостью 8 кбайт с интерфейсом SPI. На частоте 1 МГц ее потребление 0,2 мА. Поскольку в XE88LC01AMIO27 отсутствует аппаратный SPI, его эмулируем программно (для частоты дискретизации 4000 Гц и такте процессора 1 МГц это не составляет труда). Отличительная особенность микросхем RAMTRON — одинаковая скорость при записи и считывании, низкое энергопотребление, огромный ресурс циклов записи и возможность последовательной записи с автоматическим инкрементом адреса. Если учесть, что микросхема выполнена в корпусе SOP-8, то можно понять, как хорошо она вписалась в конструкцию датчика. Структурная схема датчика показана на рис. 4.

Для получения требуемых характеристик датчика ключевыми являются особенности изделий XE2004IO11 и XE88LC01.

Допустим, вам задали вопрос: возможно ли с помощью одной и той же микросхемы создать датчик температуры, давления, уровня, влажности, виброускорения, усилия, микроперемещения, потока? Не торопитесь с отрицательным ответом — с помощью микросхемы XE2004IO11 сегодня это возможно. Изменяя конструкцию датчика (конфигурацию емкостных пластин, тип диэлектрика, упругость и свободу перемещения пластин) можно реализовать все указанные типы датчиков.

XE2004 — высокоточный преобразователь «емкость-напряжение» в котором от процессора по цифровым каналам изменяется усиление, смещение и корректируется нелинейность.

Полоса частот преобразователя — 10 кГц, спектральная плотность мощности шума менее

$$7 \frac{\mu\text{A}}{\sqrt{\text{Гц}}}$$

Преобразователь работает от источника питания 3 В, потребляя при этом менее 180 мкА. Выпускается преобразователь для двух температурных диапазонов:

- -40–85 °С (I-тип);
- -55–125 °С (E-тип).

Расчитан преобразователь для работы на резистивную нагрузку 10 кОм или емкостную 10 нФ.

Оригинальной особенностью преобразователя XE2004 является программная установка 3 порогов, позволяющих надежно зафиксировать факт выхода измеряемой величины за установленные пределы.

Суммарная емкость конденсаторов датчика (C1+C2) не должна превышать 220 пФ, а относительное изменение емкости дифференциального конденсатора датчика (C1-C2)/(C1+C2) должно быть в пределах ±50%.

Преобразователь XE2004 позволяет программно изменять следующие параметры:

- усиление с разрешением 10 бит;
- смещение (грубо) с разрешением 5 бит;
- смещение (точно) с разрешением 8 бит;
- линейность с разрешением 8 бит;
- полосу частот с разрешением 5 бит.

Пять изменяемых аналоговых параметров плюс три программируемых порога превращают преобразователь XE2004 в инструмент для построения широкого круга приборов, работающих в достаточно сложных климатических условиях.

Но гибкость разрабатываемого датчика повышается еще и с помощью уникальных возможностей АЦП микроконтроллера XE88LC01. Основные его особенности:

- 16-битный сигма-дельта АЦП с возможностью программного изменения разрядности с 6 до 16 бит при соответствующем изменении частоты обновления выходных данных;

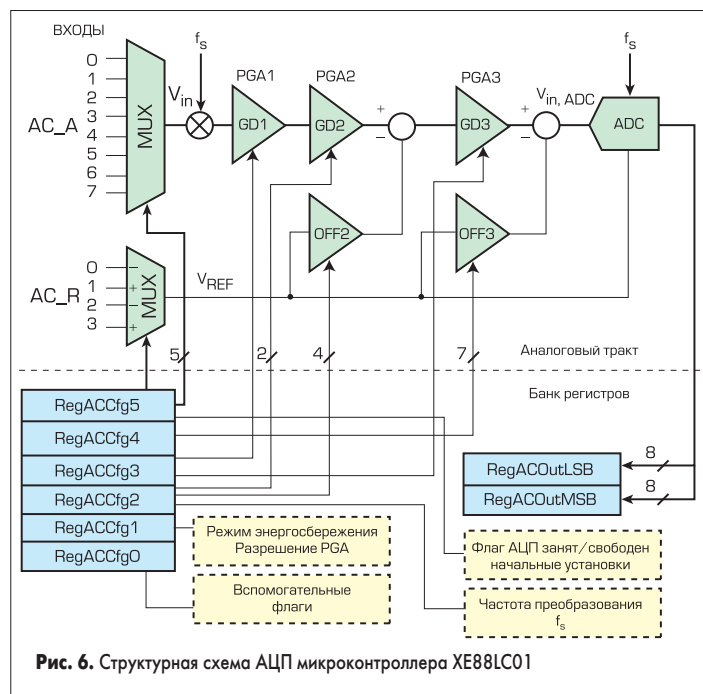


Рис. 6. Структурная схема АЦП микроконтроллера XE88LC01

- 4 дифференциальных канала ввода сигнала или 8 униполярных;
- 2 дифференциальных канала ввода референтного напряжения;
- плавное изменение коэффициента усиления предусилителя в диапазоне от 0,5 до 1000;
- плавная компенсация постоянных смещений уровня в широком диапазоне смещений;
- последовательный интерфейс;
- режим энергосбережения.

Структурная схема АЦП приведена на рис. 6. Основу его составляет 16-битный АЦП, перед которым включены 3 усилителя с программируемым коэффициентом усиления (GD1–GD3), причем два из них (GD2 и GD3) снабжены индивидуальными схемами компенсации смещения (OFF2 и OFF3). В итоге, этот аналоговый процессор (язык не поворачивается называть его просто АЦП) имеет пять цифровых регулировок аналоговых параметров, цифровое управление частотой дискретизации и коммутацией каналов. Все это позволяет реализовывать весьма прихотливые схемы измерения как постоянных, так и переменных напряжений с компенсацией возможных смещений. Хотелось бы отметить, что реконфигурация аналоговой схемы обработки сигнала происходит во время работы под управлением микроконтроллера. Ничего не нужно перепайвать и подстраивать!

Для настройки первый усилитель используется для грубой установки усиления, второй усилитель осуществляет более точную настройку коэффициента усиления и грубую коррекцию смещения, а третий усилитель нужен для прецизионной подстройки коэффициента усиления и точной компенсации смещения. Очень важно настройку коэффициента усиления и компенсацию сдвига производить именно в этом порядке.

В разрабатываемом датчике при площади пластин 3 см<sup>2</sup> и зазоре 0,5 мм емкость каждого конденсатора порядка 10 пФ. Микросхема

преобразователя на выходе выдает напряжение, пропорциональное отношению емкостей, поэтому неизбежна постоянная составляющая из-за разбаланса емкостей конденсатора. При таких малых емкостях этот разбаланс может достигать 20–30%. Казалось бы, прецизионные измерения при таких различиях в емкостях конденсаторов выполнять невозможно. Но вот здесь и сказываются преимущества описанных выше микросхем.

Настройкой микросхемы преобразователя компенсируем сдвиг уровня в начальной точке (при отсутствии сигнала). Затем, кор-

ректируя параметр настройки «линейность», добиваемся максимальной линейности амплитудной характеристики датчика. И после всего этого последовательными настройками управляемых усилителей АЦП микроконтроллера «вгоняем» сигнал датчика в апертуру 16 бит без сдвига. Процесс этот итерационный, но результаты говорят сами за себя: можно получить «чистых» 14 бит при полосе частот сигнала до 1 кГц.

Рамки одной статьи не позволяют рассказать о многих нюансах работы с весьма перспективными микросхемами фирмы Xemics.

Есть определенные особенности в их программировании и отладке программ, и особенно в организации комплексного аппаратно-программного стенда, на котором производится окончательная отладка сложных приложений для обработки низкоуровневых аналоговых сигналов. Автор надеется этим вопросам посвятить отдельную публикацию.

Использована информация:

1. [www.xemics.com](http://www.xemics.com)
2. [www.analog.com](http://www.analog.com)
3. [www.ramtron.com](http://www.ramtron.com)

