

Способы дифференциального измерения с дельта-сигма АЦП Linear Technologies

Часть 1

Артем Козлов, инженер НТО БИС-Электроник

E-mail: artem_kozlov@bis-el.kiev.ua

Георгий Королев, FAE, Arrow Central Europe

E-mail: GKorolev@arrowce.com

Датчики давления, нагрузки, температуры, ускорения и других физических величин часто работают по дифференциальной схеме Уитстона. Такие приборы могут быть чрезвычайно линейными и стабильными по времени и по температуре. Данная статья рассказывает о рациональном подходе при применении высокоразрядных АЦП компании Linear Technologies во время проектирования измерительных устройств.

Большинство вещей в природе (до определенного предела) имеют линейный характер. Например, согласно закону Гука, напряжение деформации, возникающее в упругом материале, при прикладывании к нему нагрузки, будет расти пропорционально росту давления на него до тех пор, пока эта деформация не достигнет критического уровня («точки невозврата»). Таким образом, измерять давление можно просто с помощью измерения сопротивления материала, которое также изменяется пропорционально приложенной нагрузке. В итоге на выходе мостовой схемы измерения мы получим

очень небольшое изменение напряжения на уровне нескольких милливольт. Несмотря на эту трудность, сейчас доступны технические решения с разрешением до 100 тыс. единиц и более. Компания Linear Technology представила семейство сигма-дельта АЦП с высоким разрешением 24-бит/20-бит без пропуска кодов. Особенности этого семейства, начиная с LTC2400, являются высокая точность (общая ошибка 10ppm), более удобное использование (8 выводов, внутренний генератор, отсутствие задержек) и малое значение дрейфа. Данное семейство включает в себя устройства с одно-

двух, четырех и восьмиканальным несимметричным входом с конфигурируемой частотой 50 или 60 Гц: LTC2400, LTC2401, LTC2402, LTC2408, LTC2420, LTC2424, LTC2428.

Также, было представлено новое семейство сигма-дельта АЦП с дифференциальными входами. АЦП этого семейства обладают функциями, подобными предыдущему семейству, также дополнительно имеют дифференциальный вход и работают с дифференциальным источником опорного напряжения. Все устройства совместимы с оригинальным АЦП LTC2400 по таким параметрам, как сквозная калибровка, отсутствие задержек, внутренний генератор, диапазон питающих напряжений (2.7–5.5 В), диапазон входных напряжений и напряжений ИОН. К этому семейству относятся изделия LTC2410, LTC2411, LTC2413, LTC2415.

Наибольшей трудностью при внедрении 20-ти или 24-битной дифференциальной схемы измерения является переход от стандартной схемы на 12/16-битных АЦП. Применение 24-бит АЦП в схеме, разработанной для 12-бит АЦП не гарантирует увеличения разрешения в 4096 раз. В этом случае превосходство 24-битного АЦП может быть нивелировано при встрече с ограничениями амплитуды аналогового сигнала на его входе.

В типичной 12-битной измерительной системе (см. рис.1), усилителю измеряемого сигнала требуется очень большой коэффициент усиления для возможности использования всего вход-

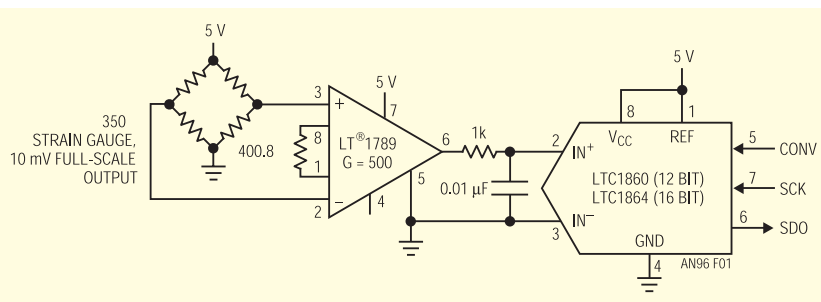


Рисунок 1 Типичная измерительная схема 12...16 бит

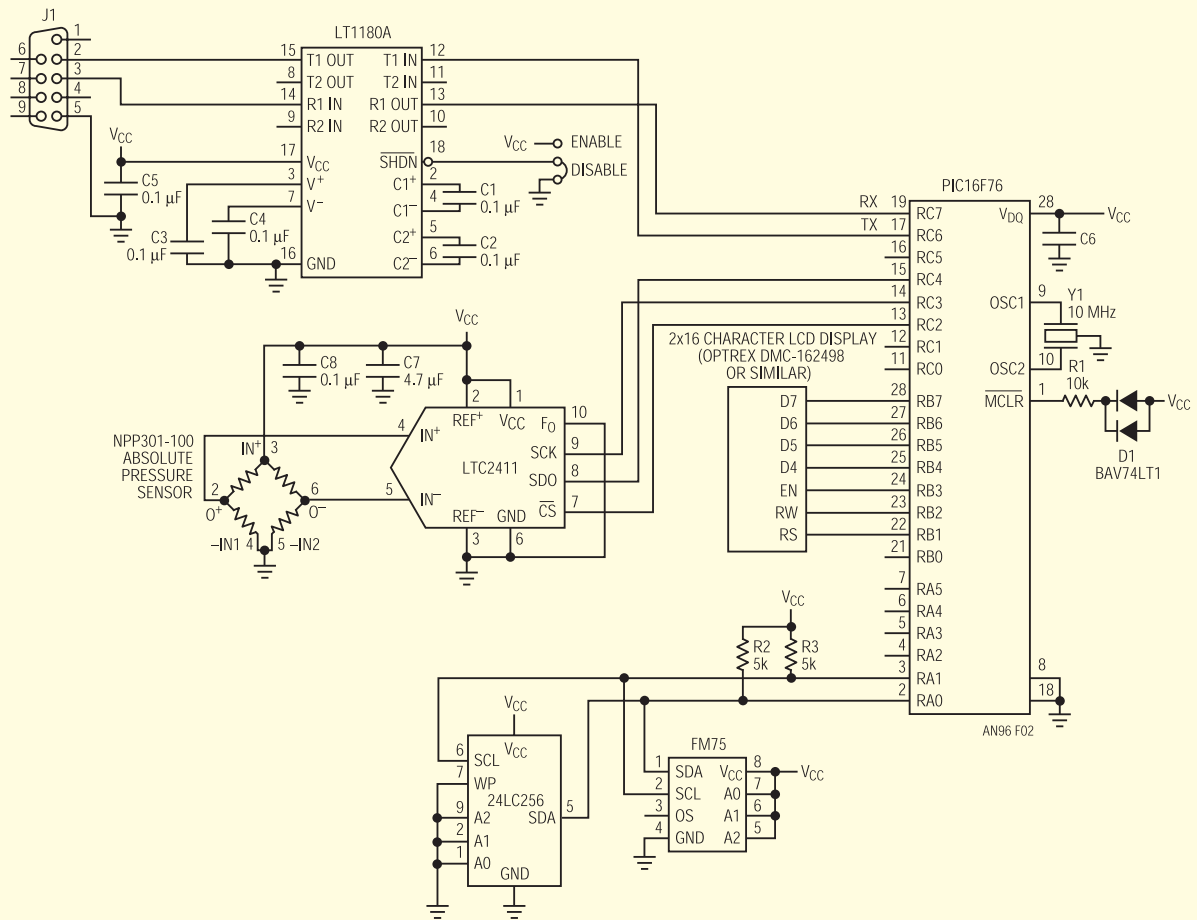


Рисунок 2 Пример принципиальной схемы регистрирующего высотомера

ного диапазона АЦП. Для полноценной работы АЦП со входом 5 В и датчика с макс. выходом 10 мВ нужен усилитель с $K_u = 500$. Также здесь требуется фильтр для уменьшения шумов при переходных процессах. Дополнительные трудности возникают при работе с высоким синфазным напряжением характерным для сенсорного моста. Большинство измерительных усилителей имеют большое несоответствие между номинальным CMRR (коэф. ослабления синфазного сигнала) и гарантированным минимумом, что может требовать дополнительной регулировки.

Дифференциальный вход дельта-сигма АЦП Linear Technology позволяет работать с максимальным разрешением от различных измерительных устройств дифференциального типа. Разрешение этих АЦП устраняет потребность в усилении во многих приложениях. Даже в крайних случаях, где усиление все же потребовалось, высокая разрешающая способность этих АЦП (например, LTC2440) позволяет применить усилитель с небольшим K_u .

Встроенный цифровой фильтр SINC FIR характеризуется очень небольшой полосой частот шума (6 Hz при 7.5 выборках/с) без длительного периода установки, характерного для аналогового фильтра с такой же полосой. Таким образом, не требуется дополнительного фильтра для защиты от шумов со стороны усилителя или подавления наводки 50–60 Гц.

Уровень минимального коэффициента ослабления синфазного сигнала АЦП Linear Technology (120 дБ) позволяет не беспокоиться о нормальном функционировании системы на стандартном дифференциальном датчике. Также этот АЦП, при добавлении дополнительной цепочки, может подстраиваться под изменяющиеся измерения (см. Design Note 341).

Использование всех возможностей датчика является основным аспектом проектирования измерительной схемы. Часто за основное требование берется только «разрядность разрешения» датчика, без учета его технических ограничений или даже уровня его выходного

напряжения. Неправильное определение возможностей датчика приводит к несовершенному схемному проекту (плохая производительность устройства) или к слишком насыщенной схеме (дорогое исполнение).

Следующий пример проекта реализации датчика разработан с первоначальным учетом всех основных возможностей датчика, выраженных в физических величинах, то есть в кг, PSI и др.; с игнорированием числа битов, как основного критерия.

НЕДОРОГОЙ, ПРЕЦИЗИОННЫЙ АЛЬТИМЕТР С ПРЯМОЙ ОЦИФРОВКОЙ ДАННЫХ

Альтиметр — пилотажно-навигационный прибор, указывающий высоту. По принципу устройства альтиметры делятся на барометрические и радиотехнические. Принцип действия барометрического альтиметра основан на измерении давления ат-

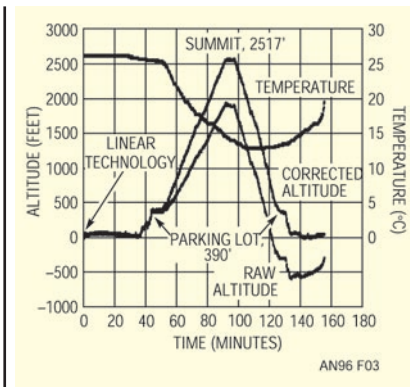


Рисунок 3 Пример измерения данных высоты и температуры

мосферы, а радиотехнического — на измерении времени между посылкой и приемом электромагнитных волн. В статье представлен пример барометрического высотомера.

Доступность миниатюрных недорогих, пьезорезистивных датчиков атмосферного давления привела к насыщению рынка портативными устройствами с функцией барометра и высотомера. Микросхема LTC2411 является отличным партнером для этих датчиков, т.к. она имеет прекрасную разрешающую способность без какой-либо аналоговой подготовки входного сигнала. LTC2411 — это 24-разрядный сигма-дельта АЦП, работающий от питающего напряжения от 2.7 до 5.5 В. Данный АЦП, как и предшествующие модели, имеет встроенный генератор, цифровой фильтр с установкой за один цикл. Данный АЦП обладает интегральной нелинейностью 4 ppm, уровнем шумов 0.29 ppm и обеспечивает фильтрацию 110 дБ при 50 Гц или 60 Гц. Полный диапазон входных напряжений может изменяться от -0.5 напряжения ИОН до 0.5 напряжения ИОН. LTC2411 имеет встроенный генератор, не требующий внешних компонентов установки рабочей частоты. LTC2411 выпускается в миниатюрном корпусе MSOP-10, что позволяет сэкономить место на печатной плате.

Датчик давления NPP301-100 фирмы Lucas Novasensor является пьезорезистивным устройством в корпусе SO-8. Его full-scale выход — 20 мВ на вольт напряжения возбуждения (full-scale вход) при одной атмосфере. Номинальный температурный коэффициент чувствительности -0.2%/°C (типичный для всех пьезосенсоров), а температурный коэффициент смещения ±0.04%/°C.

Формула высоты/атм. давления (согласно стандарту США, 1976 г.):

$$\text{Altitude (Ft)} = \frac{10^{\left(\frac{\log_{10}\left(\frac{P}{P_0}\right)}{5.2558797} \right)}}{-6.8755856 \cdot 10^{-6}}$$

где P — давление на данной высоте и P₀ — давление на высоте уровня моря.

Входное разрешение LTC2411 — 1.45 μVRMS (независимо от исходного напряжения) позволяет получить разрешение давления на выходе системы:

$$1000\text{mB} \cdot \frac{1.45\mu\text{V}}{100\text{mV}} = 0.0145\text{mB}$$

(0.00043 дюйма высоты ртутного столба) при подаче на измерительный мост 5 В.

0.0145 мВ соотносится со стандартным пятидюймовым разрешением высоты над уровнем моря, больше которого все значения разрешения являются очень хорошим показателем.

Схема на рис. 2 записывает в 32кБ EEPROM данные давления и температуры каждые 15 секунд. Температуру здесь измеряет предварительно откалиброванный температурный датчик FM75. Каждое полное измерение — это целое 32-битное слово с выхода LTC2411 плюс измерения температуры через каждые 1/16 °C. Три батарейки формата AA обеспечивают и питание, и исходное напряжение для измерений. Постоянный дрейф напряжения батарейки не повлияет на работу дифференциальной схемы измерения. Общая точность измерения не пострадает от понижения напряжения питания, но возможно пропорциональное увеличение уровня шумов.

Рис. 3 представляет пример графика с данными изменения высоты и температуры при переходе горы Mission Peak возле г. Фримонт, Калифорния в прохладное вечернее время. Высота горы — 767 м (2517 футов). Необработанные данные наглядно показывают температурную чувствительность атмосферного датчика. Наибольшее несоответствие, >152 м (>500 футов), зафиксировано на максимальной высоте, где наблюдалась самая большая разница температур (от исходной). Коррекция температурных эффектов, которая основана на коэффициенте измерительного моста — 1900 ppm/°C, намного лучше приближает измеренную высоту горы 780 м (2560 футов) к реальной 767 м (2517 футов). Более точные результаты измерений возможны с дальнейшей калибровкой.

КАКАЯ РАЗРЕШАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ?

Эффективная разрешающая способность АЦП (кол-во бит) при напряжении 100 мВ на выходе датчика:

$$\text{LOG}_2\left(\frac{100\text{mV}}{1.45\mu\text{V}}\right) = 16.1\text{Bits}$$

Конечно, маркетинговый отдел может составить рекламную кампанию вокруг дополнительных 0.1 бит при пятидюймовом разрешении. Но альпинисты или парашютисты, все же, более заинтересованы в реальной абсолютной точности измерений при самых различных условиях, чем в красивом озвучивании количества бит.

Пример программного обеспечения для микроконтроллера в данной схеме устройства приведен в документе Application Note 96 (AN96-1) [1]. При подаче питания происходит поиск первого незаписанного слова в EEPROM. Далее производится измерение текущей температуры и абсолютного давления с сохранением в энергонезависимой памяти. Измерения повторяются каждые 15 секунд. Существует возможность передать данные на PC через интерфейс RS232.

ВЫВОД

Приведенный пример построения альтиметра демонстрирует рациональный подход в проектировании измерительной системы, когда в качестве отправной точки используются физические параметры, а не «голые цифры» разрядности.

Для получения более детальной информации, а также заказа электронных компонентов Linear Technologies, Вы можете обратиться в компанию БИС-Электроник:

**03680, Киев,
ул. Радищева, 10/14,
тел.: 044 4903599,
факс.: 044 4048992
www.bis-el.kiev.ua**

Продолжение следует

Литература:

1. Mark Thoren Linear Technology Application Note 96
2. www.linear.com
3. www.ru.wikipedia.org