

Миниатюрные 16-битные АЦП успешно заменяют конвертеры, встроенные в микроконтроллеры

Стив ЛОГАН (Steve LOGAN)
Перевод: Дмитрий ВАСИЛЕНКО
DVasilenko@arrowce.com

Введение

Разработки с требованием уменьшения размера могут включать в себя источники питания, микроконтроллеры, силовые элементы, усилители, АЦП, ЦАП. Инженеры постоянно пытаются решить все или большую часть задач при помощи заказных прикладных интегральных схем (ASIC). Одна из функций, «первая жертва» компромисса между ценой, размером решения и производительностью, — это аналогово-цифровое преобразование. Разработчики зачастую применяют встроенный в микроконтроллер АЦП или АЦП с низким разрешением совместно с усилителем.

АЦП играют ключевую роль при измерении различных величин: температуры, напряжения, тока и других сигналов в реальном времени. Одной из важнейших проблем встроенных в контроллеры АЦП является то, что многие их характеристики (линейность, шумовая характеристика и др.) зачастую не гарантированы. Это приводит к тому, что, хотя в блок-диаграмму микроконтроллера внесен 16-битный сигма-дельта АЦП, разработчик не знает, какое именно у него разрешение.

С другой стороны, современные микроконтроллеры в первую очередь включают в себя большое количество цифровых функциональных блоков: таймеры, регистры памяти и т. д. Собрать воедино все цифровые и аналоговые возможности такого элемента, и даже просто прочитать длинную спецификацию, бывает очень трудно.

Определить точность встроенного АЦП в лаборатории — такая же непростая задача. В различных условиях работы могут теряться биты преобразования, и «16-битный» АЦП превращается на деле в 10-битный. Конечно, цифровая и аналоговые шины питания вну-

три микроконтроллера разнесены, но они расположены на одной и той же шумной полупроводниковой подложке. Как правило, микроконтроллер оптимизирован для цифровых задач, а аналоговые преобразования — это лишь дополнение к первым. Поэтому при разработке контроллеров крайне сложно произвести оптимальную разводку вместе для аналоговых и цифровых блоков.

16-битный АЦП в миниатюрном корпусе

Новое семейство 16-битных АЦП LTC245x от Linear Technology предоставляет дополнительные возможности для решения проблем современного дизайнера с наименьшими затратами, так как это устройство практически не

занимает дополнительного места. Например, LTC2450 производится в корпусе DFN 2×2 мм и разработан для проведения точных аналоговых измерений. Для этой микросхемы точно специфицированы во всем рабочем диапазоне температур такие параметры, как линейность, ошибки сдвига и усиления, шумовые характеристики.

На рис. 1 представлена типичная печатная плата с ПЛИС, источниками питания, микроконтроллерами и дискретными компонентами. Сфера применения таких устройств — оптические телекоммуникационные устройства, системы сбора данных и др. LTC2450 занимает всего 4 мм² и позволяет точно измерять температуру, ток, напряжение или воздушные потоки без смещения на плате других элементов.

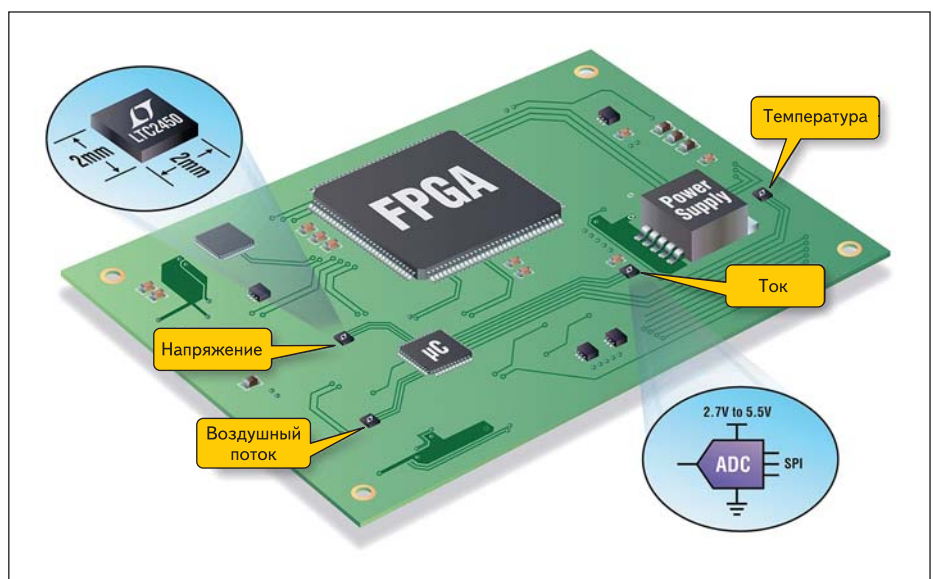


Рис. 1. LTC2450 занимает минимум места на плате: всего 4 мм², но позволяет измерять различные величины

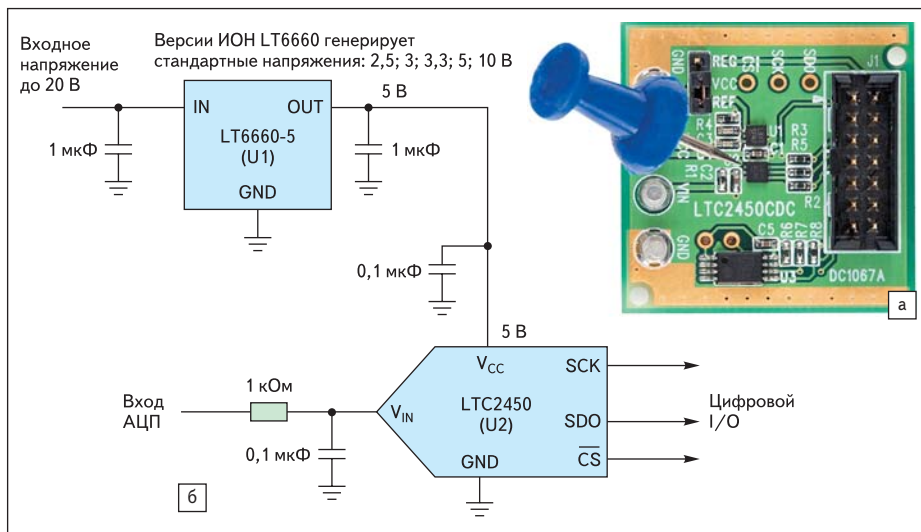


Рис. 2. а) LTC2450 на демоплате DC1067 размером 2,8×2,8 см; б) ИОН LT6660 формирует незашумленное питание 5 В для АЦП LTC2450

Таблица. Характеристики линейки микросхем АЦП серии LTC245х

Наименование	Скорость преобразования, выб/с	Входной сигнал	Цифровой интерфейс	Суммарный шум, мкВ	Потребляемая мощность, мВт	Корпус
LTC2450	30	однополярный	SPI	1,4	1,05	DFN-6
LTC2450-1	60	однополярный	SPI	1,4	1,05	DFN-6
LTC2451	60	однополярный	I ² C	1,4	1,2	DFN-8
LTC2452	60	дифференциальный	SPI	1,4	2,4	DFN-8
LTC2453	60	дифференциальный	I ² C	1,4	4	DFN-8

Несмотря на малый размер, эти дельта-сигма АЦП имеют 16-битное разрешение без потери кодов. Типичная интегральная нелинейность (INL) составляет 2 НЗР (максимально 10 НЗР); максимальное значение ошибки усиления — 0,02%. Оба параметра специфицированы в промышленном температурном диапазоне –40...+85 °С.

Данный АЦП измеряет однополярный сигнал в диапазоне напряжений от 0 до V_{CC} с точностью 16 бит. АЦП можно применить при измерениях с помощью различных сенсоров: давления, температуры (термисторов), термопар и многих других. Размер LTC2450 таков, что он может с успехом заменить встроенный АЦП в микроконтроллер. А стоимость LTC2450 сформирована так, чтобы заменить встроенный АЦП было выгодно.

Миниатюрный корпус LTC2450 имеет 6 выводов:

1. V_{CC} — используется для питания внутренних блоков АЦП, а также для положительной опоры устройства.
2. Напряжение входного сигнала (V_{IN}).
3. Подключение к «земле» (GND), используемое для формирования «земли» для аналоговых и цифровых блоков, а также для отрицательной опоры микросхемы.
4. Три цифровых вывода: вход тактового сигнала (SCK), последовательный порт измеренных данных (SDO), вывод выбора микросхемы chip select/data framing (CS).

На рис. 2а обычная кнопка указывает на аналоговую часть LTC2450 (V_{CC}, V_{IN}, GND). С другой стороны микросхемы расположены цифровые выводы SCK, SDO, CS. Такая

компоновка позволяет упростить разводку печатной платы, а если требуется дополнительно уменьшить занимаемый размер решения, АЦП позволяет работать с 2-проводным цифровым интерфейсом, необходимо просто подсоединять вывод CS к «земле». Схема подключения АЦП в демонстрационной плате представлена на рис. 26. Для формирования чистого питания используется ИОН LT6660, который преобразует 20 В системного питания в незашумленное напряжение 5 В. Данный ИОН также предлагается в корпусе DFN 2×2 мм, его 3 вывода — IN, OUT и GND — подключены к терминалам корпуса с одной стороны. LT6660 обеспечивает высокую точность: 0,2% (максимум) с температурным дрейфом 10 ppm/°С при выходном токе 20 мА, что вполне достаточно для АЦП.

Другие микросхемы серии LTC245х имеют дополнительные функции: более высокую скорость преобразования, интерфейс I²C, дифференциальный вход. В таблице представлены основные параметры этой серии микросхем.

Рассмотрим подробнее 2 прикладные задачи применения 16-битного АЦП серии LTC2450:

- замена менее точного (с разрешением до 12 бит) дешевого АЦП вместе с усилителем на 16-битный;
- интерфейс с сенсорами в зависимости от их импеданса.

Замена менее точного АЦП с усилителем

Один из способов снижения себестоимости измерительной системы — использование АЦП с меньшим разрешением (например, 12 бит с последовательным приближением) вместе с усилителем сигнала. Усилитель позволяет уменьшить разрешение, требуемое от АЦП, и увеличивает входной импеданс схемы. Типичная схема такого решения представлена на рис. 3а.

Основная проблема решения заключается в том, что многие сенсоры имеют очень маленький уровень рабочих напряжений, и зачастую требуется работать в диапазоне от 10 до 100 мВ. При этом необходимо про-

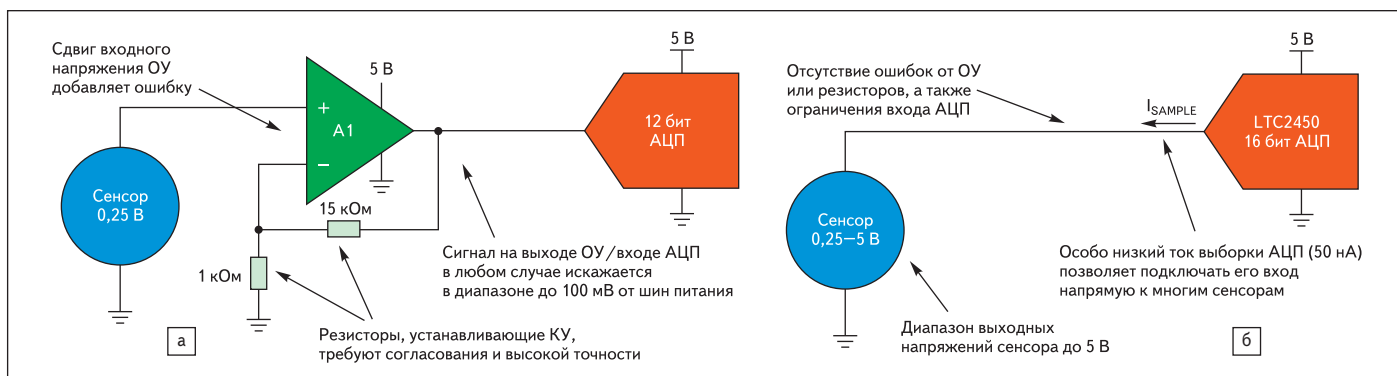


Рис. 3. а) Типичное включение 12-битного АЦП для измерений, требующий большего разрешения; б) прямое подключение сенсора к LTC2450

водить измерения с точностью от единиц мВ до сотен мкВ в диапазоне 0–100 мВ. Напряжения возбуждения сенсора могут быть вблизи 0 В или вокруг среднего синфазного напряжения. Одним из решений задачи могут стать микросхемы, снижающие напряжение «земли» на несколько десятков мВ (например, LM7705), которые позволяют в таких условиях использовать линейность операционного усилителя на грани рабочих характеристик. Но обычно инженеры настраивают усиление ОУ: каждое следующее умножение КУ на 2 позволяет уменьшить разрешение АЦП на 1 бит.

Например, при КУ = 16 у усилителя А1 (рис. 3а) оказывается возможным применить 12-битный АЦП вместо 16-битного. Точность измерений в схемах на рис. 3 в первом приближении оказывается одинаковой. Предполагая, что максимальное значение выходного сигнала сенсора 0,25 В, усилитель преобразует их в 4 В. При питании АЦП 5 В оказывается, что АЦП теперь может использовать 80% диапазона входных напряжений вместо 5%.

С другой стороны, использование ОУ при таком включении имеет множество недостатков. Во-первых, сдвиг входного напряжения усилителя (V_{os}) сразу добавляет значительную ошибку измерения непосредственно на сенсоре. Во-вторых, навесные элементы (например, резисторы в обратной связи ОУ) сами имеют определенную точность, что является еще одним источником ошибки измерений. Такие источники ошибок могут негативно повлиять на точность системы.

В-третьих, усилитель и навесные элементы добавляют занимаемый на плате размер решения. В-четвертых, инженер всегда должен учитывать ограничения усилителя при обработке входного и выходного синфазного сигналов: даже если усилитель обозначен с выходом rail-to-rail, выходной сигнал практически никогда не сможет достичь точных значений V_{ss} и GND , всегда будет зазор от единиц до десятков мВ.

LTC2450 был специально разработан так, чтобы его можно было подключить непосредственно к сенсору (рис. 3б). Данный АЦП с 16-битным разрешением без пропуска битов может с успехом заменить систему из 12-битного АЦП с усилителем для измерений показаний с сенсора с выходом до 250 мВ.

В дополнение к этому, АЦП, естественно, позволяет производить измерения во всем динамическом диапазоне до 5 В. ОУ не входит теперь в состав схемы, поэтому нет необходимости заботиться о сдвиге его напряжения и точности навесных резисторов или их шумах, о согласовании их дрейфов. А также можно сэкономить занимаемое место на плате.

Снятие показаний с сенсоров с различным импедансом

Вторая проблема при согласовании сенсора и АЦП: значение импеданса различных сенсоров может варьироваться от единиц Ом до единиц МОм. Архитектура входных каскадов большинства АЦП не оптимизирована для непосредственного подключения высокоимпедансных датчиков. Это обстоятельство требует использования буферов между сенсором и АЦП, что в свою очередь заставляет учитывать ошибки сдвига входного напряжения, а также увеличение места на плате и себестоимости.

Структура входного каскада LTC2450 позволяет подключать данный АЦП непосредственно к выходу датчика с импедансом до десятков кОм. Например, при питании 5 В величина LSB 16-битного АЦП будет составлять 5 В/ 65536, что примерно равно 76 мкВ. С другой стороны, значение входного тока LTC2450 составляет 50 нА, таким образом, выходное сопротивление датчика должно составлять 1,5 кОм для получения ошибки в 1 LSB.

Для сенсоров с импедансом более 1,5 кОм необходимо применить буфер с малым входным током, например LTC6078. Данный буфер имеет входной ток 1 пА при комнатной

температуре. Один из примеров таких применений — измерение показаний с датчика кислотности (рН-сенсора). Типичное значение импеданса таких датчиков составляет несколько МОм, и при входных токах буфера 1 пА, предполагая, например, у рН-сенсора импеданс в 5 МОм, имеем ошибку не более 5 мкВ, что все еще значительно ниже 1 LSB в 76 мкВ. Таким образом, обеспечивается точное и стабильное измерение кислотности.

После добавления буфера (рис. 4) разрабочник может использовать перед входом LTC2450 фильтр нижних частот. RC-цепочка, включенная как ФНЧ, значительно улучшает качество работы АЦП, обеспечивая как фильтрацию нижних частот, так и уменьшение эффектов наложения спектров. Конденсатор представляет собой резервуар для бесперебойного входного тока АЦП, а резистор изолирует выход усилителя от емкостной нагрузки.

Большинство современных АЦП имеет намного более высокий ток на входе при выборке, чем у LTC2450, что добавляет ошибку измерения в связи с падением напряжения на резисторе 1 кОм.

Заключение

Задача современной схемотехники — получить все более высокие характеристики систем при меньшем размере приборов и снижении их себестоимости, что порождает много проблем. Микроконтроллеры со встроенными АЦП могут подойти для задач мониторинга напряжения, тока или температуры. Но при более пристальном рассмотрении вопроса оказывается, что такая измерительная система имеет множество источников ошибок.

Технологии изготовления цифровых микросхем развиваются в сторону уменьшения размеров транзисторов на кристалле, что усложняет встраивание АЦП в современные микроконтроллеры. Инженеры все чаще сталкиваются с проблемами проектирования измерительных систем при переходе на новые серии процессоров.

АЦП серии LTC245х оптимальны по себестоимости, занимаемому месту на плате и качеству преобразования. 16-битный АЦП LTC2450 занимает не более 4 мм² при цене 12-битного и идеально подойдет для решения задач измерения медленно меняющихся величин.

Литература

1. Документация на АЦП LTC2450: <http://www.linear.com/pc/downloadDocument.do?name=2450fb.pdf>
2. Документация на демо-плату с АЦП LTC2450 (DC1067): <http://www.linear.com/pc/productDetail.jsp?navId=H0,C1,C1155,C1283,P86235>
3. Ратхор Т. С. Цифровые измерения. ЦП/ЦАП. М.: Технофера, 2006.

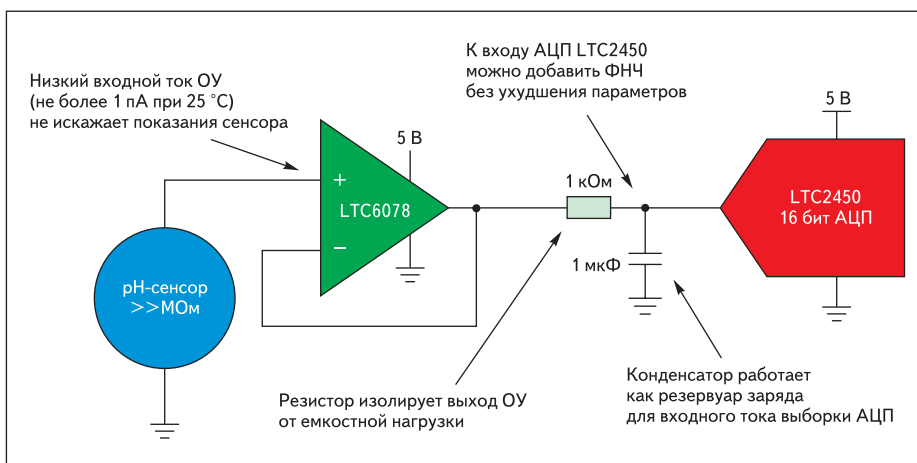


Рис. 4. Измерение показаний LTC2450 с сенсоров с импедансом свыше 1,5 кОм при добавлении буфера и ФНЧ