

Усовершенствование системы сбора данных при помощи нового двухканального АЦП AD7719

Альберт О'Грэди

Разработчики измерительных систем, таких как температурно-компенсированные весы или устройства контроля температуры, могут воплощать свои идеи с большей эффективностью при помощи новой ИС AD7719, объединяющей в себе аналого-цифровые преобразователи, схему управления и цифровой интерфейс (так называемый analog front-end или AFE). Эта микросхема обладает высоким разрешением, что характерно для сигма-дельта преобразователей; кроме того, для увеличения производительности она содержит два АЦП (24-разрядный и 16-разрядный), позволяющих осуществлять одновременное преобразование двух входных сигналов без задержки, свойственной тем схемам, где используется мультиплексирование аналоговых сигналов. В данной микросхеме используются усилители со стабилизацией прерыванием (chopping), что обеспечивает усиление сигнала со стабильным коэффициентом усиления и минимальным смещением; кроме того имеется встроенная система калибровки, позволяющая избавиться от необходимости дополнительных средств. Для удобства применения ИС в ней имеется пара точно настроенных источников тока возбуждения датчиков, что повышает точность измерений при использовании резистивных датчиков. Среди других полезных особенностей микросхемы – возможность уменьшения потребляемого системой тока за счет отключения схемы и наличие электронных ключей для обесточивания датчиков на время, когда преобразователь и датчики не используются. Имеется цифровой порт ввода/вывода для мониторинга и управления внешними устройствами. ИС AD7719 представляет собой интегрированную систему преобразования аналогового сигнала в цифровой (analog front-end) для низкочастотных измерений и является новым представителем семейства низкочастотных сигма-дельта преобразователей с высоким разрешением фирмы Analog Devices. Эта ИС разработана с учетом опыта применения сигма-дельта преобразователей предыдущих поколений в самых различных устройствах: от электронных весов до портативных измерительных приборов, в измерителях с датчиками давления, температуры и других величин, в интеллектуальных измерительных системах с радиоканалом, в жидкостной и газовой хроматографии

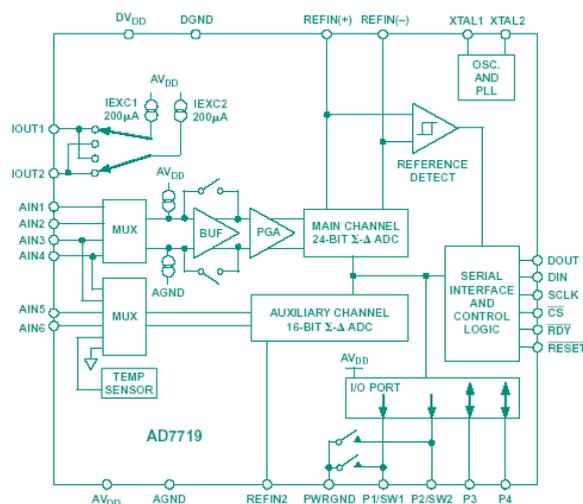


Рис. 1. Структурная схема ИС AD7719

и в системах управления промышленными процессами. Упомянутые выше дополнительные возможности (см. рис. 1) предназначены для решения задач, с которыми обычно сталкиваются при разработке такого рода высококачественных систем сбора данных.

ИС AD7719 содержит два независимых сигма-дельта АЦП с высоким разрешением. Каждое аналого-цифровое преобразование выполняется сигма-дельта модулятором второго порядка с программируемым фильтром типа sinc³. Кроме того, имеется пара переключаемых источников тока величиной 200 мкА для возбуждения датчиков, электронные ключи с замыканием на "землю", цифровой порт ввода/вывода и датчик температуры. 24-разрядный основной канал с усилителем с программируемым коэффициентом усиления (PGA) в пределах от 1 до 128 работает с дифференциальным, однополярным и двухполярным входными сигналами величиной до 1.024*REFIN1. Вход источника опорного напряжения является дифференциальным и с его помощью можно производить измерение отношения двух сигналов. Аналоговый вход основного канала может быть буферизован для получения очень высокого входного импеданса; это позволяет подключаться непосредственно к датчику без дополнительных внешних цепей формирования сигнала. 16-разрядный дополнительный канал не буферизован и работает при величине входного сигнала до REFIN2 или 1/2 REFIN2.

Микросхема AD7719 работает с кварцем на 32768 Гц (32К) и при помощи имеющейся в ней схемы ФАПЧ генерирует все необходимые внутренние частоты. Скорость обновления данных на выходе устанавливается программно. Это позволяет проектировщику настроить полосу задержки цифрового фильтра на нужную ему частоту. Например, если установить скорость обновления данных равной 19.8 Гц, то можно обеспечить одновременное подавление сигналов с частотами 50 и 60 Гц.

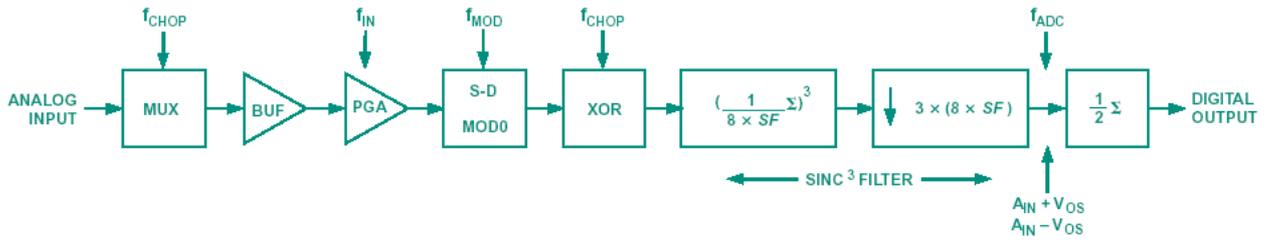


Рис. 2. Цепочка прохождения сигнала основного АЦП.

Разрешающая способность АЦП зависит от установленного коэффициента усиления и от установленной скорости обновления данных на выходе. Устройство работает от однополярного источника питания с напряжением 3 или 5 В. При работе от источника с напряжением 3 В потребляемая мощность составляет 4.5 мВт при непрерывной работе обоих АЦП. Потребление может быть уменьшено, если включать один или оба АЦП только на необходимое время. ИС AD7719 доступна в компактных корпусах типа SOIC с 28 выводами или TSSOP.

Цепочка обработки сигналов

В АЦП применяется метод сигма-дельта преобразования, позволяющий получить 24-разрядное разрешение без пропущенных кодов. Сигма-дельта модулятор преобразует отсчет входного сигнала в цепочку цифровых импульсов, содержащих цифровую информацию о сигнале. Затем низкочастотный цифровой фильтр вида sinc^3 прореживает поток выходных данных для получения окончательного результата преобразования с частотой обновления данных на выходе от 5.35 Гц (период 186.77 мс) до 105.03 Гц (9.52 мс). Схема стабилизации прерыванием обеспечивает минимизацию сдвига на аналоговом входе АЦП, минимизацию погрешности усиления и дрейфа. Структурная схема основного канала АЦП показана на рис. 2. Цепь прохождения сигнала дополнительного канала подобна изображенной на рис. 2, но в ней отсутствуют буфер и усилитель с программируемым коэффициентом усиления (PGA).

Частота отсчетов модулятора во много раз выше, чем ширина полосы входного сигнала (т.е. имеется избыточная дискретизация). Спектр шума квантования определяется интегратором модулятора, и этот шум сосредоточен вблизи частоты, соответствующей $1/2$ частоты модулятора. Выходной сигнал сигма-дельта модулятора поступает непосредственно на цифровой фильтр, который пропускает сигналы с частотой значительно меньшей, чем половина частоты модулятора. Таким образом, 1-разрядный выходной сигнал компаратора преобразуется в выходной сигнал АЦП, имеющий низкий уровень шума и ограниченный по частоте. Частота среза цифрового фильтра и частота обновления данных на выходе программируется при установке

параметров sinc-фильтра (SF) путем загрузки данных в регистр фильтра.

Чередующиеся цифровые значения на выходе, возникающие за счет действия прерывания (chopping) на входе усилителя суммируются на заключительном этапе преобразования для того, чтобы усреднить значение постоянного смещения и сигнал низкочастотного шума. Каждое слово данных на выходе фильтра усредняется с предыдущим для получения достоверного результата, который и записывается в регистр данных АЦП. Полученные в результате очень низкие значения постоянного смещения, дрейфа смещения и дрейфа усиления делают данную ИС превосходной для тех приборов, где величины дрейфа, а также величины подавления шума и электромагнитных помех являются критическими.

Помимо подавления шума квантования цифровой фильтр также обеспечивает подавление на 100 dB сигналов с частотой 50 Гц или 60 Гц (± 1 Гц) при значении управляющего слова установленном равным 82 или 68 соответственно. В устройствах, где требуется подавление помех с частотами как 50, так и 60 Гц, амплитудно-частотная характеристика фильтра определяется константой 69 (устанавливается по умолчанию, при этом частота обновления данных на выходе равна 19.8 Гц) и эта АЧХ имеет минимумы вблизи частот 50 и 60 Гц, обеспечивая подавление сигнала частотой 60 Гц более чем на 100 dB и частотой 50 Гц более чем на 60 dB, как показано на рис. 3.

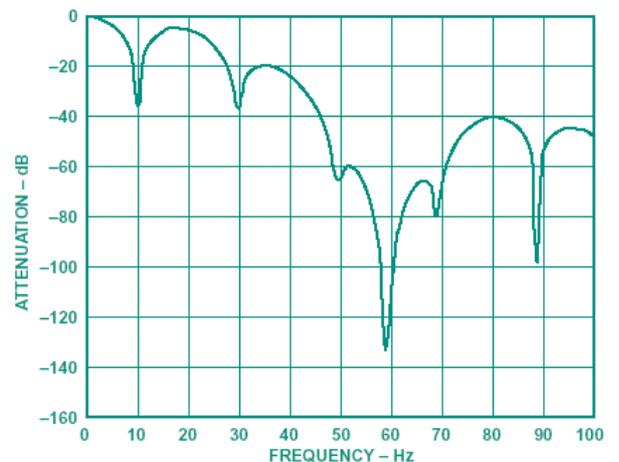


Рис. 3. АЧХ фильтра, при которой обеспечивается подавление сигналов с частотами 50 Гц и 60 Гц

Типичные применения ИС

Микросхема AD7719 обеспечивает все средства преобразования аналогового сигнала в цифровой, а также средства управления и интерфейс (analog front-end) для осуществления низкочастотных измерений с использованием датчиков температуры, давления и других. В электронных весах, например, помимо величины основного сигнала от моста резистивных тензодатчиков, могут также отслеживаться изменения температуры для того, чтобы обеспечить компенсацию возможных погрешностей, связанных с изменением температуры.

Обычно для измерения нескольких входных сигналов используется единственный сигма-дельта АЦП с интегрированным в ИС мультиплексором на входе АЦП. Это значит, что для измерения дополнительных сигналов пользователь должен выбрать канал с помощью мультиплексора; как следствие, скорость измерений уменьшается, так как при переключении источника сигнала требуется некоторое время для окончания переходного процесса в цифровом фильтре и на конвейерную задержку. В системе, где имеется сигма-дельта АЦП с модулятором второго порядка и цифровым фильтром третьего порядка, время установления выходного сигнала в ответ на ступенчатое входное воздействие будет равно трем периодам обновления данных на выходе – за это время цифровой фильтр полностью переключится на текущий канал. Это может значительно уменьшить производительность системы.

В ИС AD7719 эта проблема решена путем интегрирования в ИС двух независимых каналов аналого-цифрового преобразования, работающих параллельно. Сигналы с основного и дополнительного датчика преобразуются одновременно, и выходные результаты обоих измерений доступны одновременно, таким образом удастся избежать задержки, имеющейся в системах с мультиплексированием входного сигнала. Кроме того, при мониторинге температуры с помощью термисторов или резистивных датчиков температуры (RTD) для возбуждения датчиков можно использовать встроенные в ИС источники тока.

Другая область, где часто применяются подобные АЦП – это весы, работающие от батарей, где желательно избежать расхода электроэнергии, когда устройство находится в режиме ожидания. Имеющиеся в ИС AD7719 электронные ключи с замыканием на "землю" могут отключать ток через датчик, таким образом существенно экономя энергию элементов питания.

Еще один аспект применения АЦП в электронных весах касается калибровки: на какой стадии и как часто она необходима? Так как ИС AD7719 калибрована на этапе производства и так как в схеме усиления сигнала применена стабилизация прерыванием (chopper), то погрешности дрейфа

коэффициента усиления и смещения сведены к минимуму и поэтому калибровка при работе прибора не требуется. Это основная причина, которая обеспечивает преимущество ИС AD7719 при использовании ее в электронных весах (рис. 4).

На схеме, изображенной на рис. 4, основной канал оцифровывает сигнал с мостового датчика, в то время как второй канал отслеживает температуру с помощью термистора. Дифференциальные выходы мостового датчика (OUT+ и OUT-) подключена к дифференциальному входу (AIN1 и AIN2). Типичный мост с чувствительностью 3 мВ/В будет выдавать сигнал на выходе величиной до 15 мВ (соответствует полной шкале) при возбуждении от источника с напряжением 5 В. Напряжение возбуждения моста можно использовать для получения опорного напряжения с соответствующим резистивным делителем, что позволит использовать весь доступный динамический диапазон. Так как при этом будет измеряться соотношение напряжений, то изменения напряжения возбуждения моста не будут приводить к погрешности. Показанные на схеме величины резисторов в 20 кОм и 12 кОм дадут величину опорного напряжения в 1.875 В при возбуждении датчика напряжением 5 В. Если коэффициент усиления основного канала установлен равным 128, то рабочий диапазон входного сигнала в 15 мВ будет соответствовать полному размаху сигнала мостового датчика. Одно из ключевых требований к преобразователю в электронных весах – это насколько возможно глубокое подавление помех от сети переменного тока (с частотой 50 Гц или 60 Гц). Одновременного подавления сигналов с частотами 50 и 60 Гц можно добиться, если запрограммировать ИС AD7719 на частоту обновления данных на выходе 19.8 Гц. При данных параметрах (коэффициент усиления равен 128, частота обновления данных на выходе составляет 19.8 Гц) можно получить разрешающую способность в 13 разрядов (от пика до пика). Разрешающая способность может быть увеличена путем уменьшения скорости обновления данных на выходе или путем цифровой фильтрации полученных данных при помощи контроллера.

Температура измеряется при помощи термистора, подключенного ко вспомогательному каналу ИС AD7719. Термистор – электронный компонент с большим температурным коэффициентом сопротивления (ТКС) – представляет собой полупроводниковый прибор и может иметь отрицательный или положительный ТКС. Термистор с отрицательным ТКС действует как резистор с ТКС равным от $-3\%/^{\circ}\text{C}$ до $-5\%/^{\circ}\text{C}$. Термисторы обладают высокой стабильностью, точностью, небольшими размерами и по причине низкой стоимости применяются весьма широко. Они имеют малое время отклика на изменение температуры и относятся к одним из наиболее чувствительных датчиков температуры. Рабочий диапазон температуры для схемы, изображенной на рис. 4, определяется выбором термистора. При

использовании термистора типа 1K7A1 фирмы Vbetatherm с номинальным сопротивлением 1 кОм при температуре 25°C и при величине тока возбуждения 200 мкА рабочий температурный диапазон составит от -26°C до +70°C.

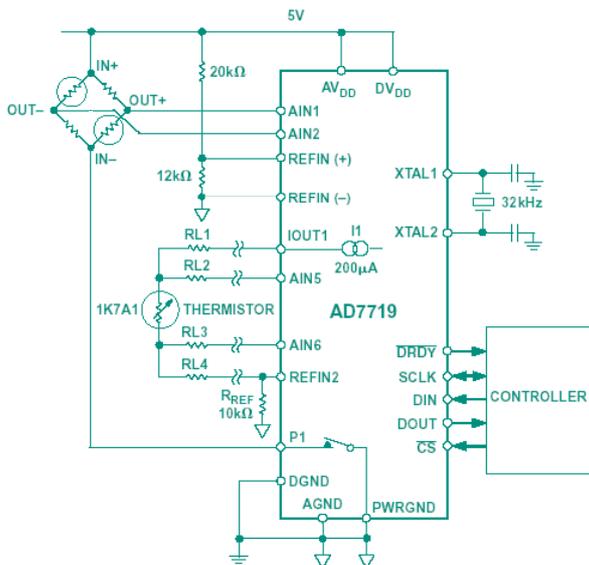


Рис. 4. Схема электронных весов, в которой используются преимущества ИС AD7719

В этой конструкции источник тока возбуждения термистора (200 мкА) одновременно используется для получения опорного напряжения для ИС AD7719. В результате изменения тока возбуждения термистора не влияют на точность и такая конфигурация представляет собой схему измерения отношения сигналов. Обычно в такой схеме используется четырехпроводная схема подключения датчика (через два провода подается ток и два провода – измерительные) для того, чтобы уменьшить влияние сопротивления проводов на точность устройства. Хотя сопротивление проводов, подающих ток к датчику, приводит к появлению синфазного напряжения на входе, это напряжение не влияет на характеристики системы. Сопротивление измерительных проводов не играет никакой роли – по этим проводам ток практически не идет, так как входной импеданс микросхемы AD7719 очень большой. Однако резистор, на котором падает опорное напряжение должен обладать низким температурным коэффициентом для того, чтобы минимизировать погрешность, связанную с изменениями температуры. При конфигурировании дополнительного канала ИС AD7719 на частоту обновления данных 19.8 Гц можно получить 16-битное разрешение.

В следующей схеме (рис. 5*) показано, как использовать пару источников тока, имеющуюся в

* См. также статью на сайте www.analog.spb.ru "Возбуждение датчиков в измерительных системах и применение ИС AD7730" (Альберт О'Грэди "Возбуждение датчиков/преобразователей и методы измерений")

ИС AD7719, при высокоточных измерениях с трехпроводным резистивным датчиком температуры (RTD). При трехпроводной конфигурации сопротивление выводов может внести погрешность, если используется только один источник тока: ток возбуждения величиной 200 мкА, протекая через паразитные сопротивления RL1 и RL3 вызовет падение напряжения на RL1, которое будет прибавляться к напряжению на RTD и внесет ошибку в сигнал на входе между AIN1 и AIN2.

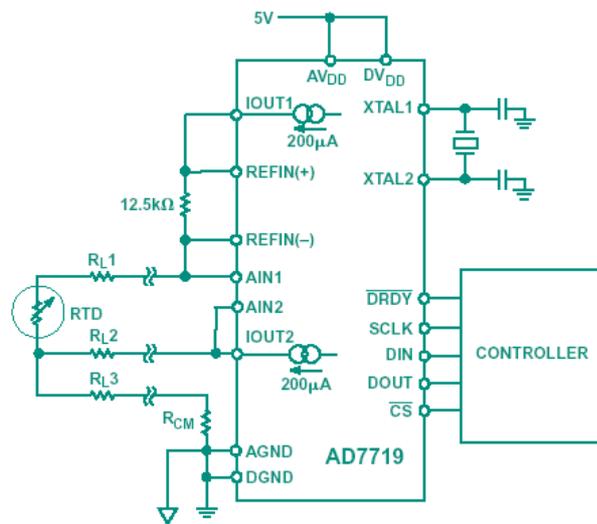


Рис. 5. Измерение температуры при помощи ИС AD7719 и трехпроводного RTD

Однако в схеме, показанной на рис. 5, второй источник тока используется для того, чтобы свести на ноль данную погрешность путем подачи тока IOUT2 такой же величины через провод RL2, что вызовет такое же падение напряжения. Этот ток складывается с током IOUT1 и, не приводя к каким-либо осложнениям, стекает на "землю" через RL3 и некоторое паразитное сопротивление RCM, наводя при этом синфазное напряжение, которое подавляется дифференциальным входом.

При этом предполагается, что сопротивления RL1 и RL2 равны, так как выводы RTD сделаны из одинакового провода и имеют одинаковую длину, и кроме того, синфазное напряжение, наведенное суммой токов на RL3 и RCM, не выходит за пределы допустимого синфазного напряжения. Ток источника IOUT1 также используется для получения опорного напряжения для ИС AD7719 на резисторе сопротивлением 12.5 кОм, как показано на схеме, и это опорное напряжение подается на дифференциальный вход опорного сигнала ИС AD7719. Эта схема подразумевает, что измерятся соотношение напряжений на аналоговых входах. Любая ошибка на аналоговом входе, вызванная температурным дрейфом тока через RTD (дрейфом источника IOUT1), компенсируется за счет изменения опорного напряжения. Два источника тока обычно имеют разброс тока не более 1%. Для нормальной работы источника тока напряжение на его выходе не должно превышать $AV_{DD} - 0.6$ В.