Семейство ИС LX33xx компании Microsemi — мост между датчиками и контроллером системы

Константин ВЕРХУЛЕВСКИЙ
info@icquest.ru

Требования проектировщиков современной измерительной аппаратуры к уровню интеграции способствуют широкому внедрению систем на кристалле (SoC), работающих как с аналоговыми, так и с цифровыми сигналами. Особую популярность имеют компоненты, успешно применяемые в системах сбора данных (ССД) и реализующие весь спектр необходимых преобразований на пути от датчика до контроллера системы, а также первичную обработку полученной информации. Компания Microsemi начинает выпуск нового семейства микросхем этого типа, адаптированных для получения данных с различных датчиков.

Введение

Измерение аналоговых величин — задача нетривиальная, требующая особого внимания на всех этапах преобразования физических параметров. Для многих приложений, использующих датчики, важным требованием является абсолютная точность и линейность, очень низкий уровень шума, неизменность начального смещения и ошибок коэффициента усиления во времени и в заданном температурном диапазоне. Система сбора данных — это основной элемент многоканальных прецизионных средств измерений, определяющий его технические характеристики. Она представляет собой набор аппаратных средств, осуществляющий выборку, преобразование, хранение и предварительную обработку различных входных аналоговых параметров.

Традиционно в состав ССД входят фильтры, операционные и инструментальные усилители (в том числе программируемые), цифровые и аналоговые мультиплексоры, устройства выборки и хранения, источники опорного напряжения, аналого-цифровые преобразователи, микроконтроллеры и другие узлы. Наиболее распространенная структура системы представлена на рис. 1. Типовая схема может отличаться небольшими вариациями, включающими, например, использование нескольких устройств выборки/хранения (УВХ) при необходимости выборки значений двух или большего числа сигналов точно в один и тот же момент времени или параллельно работающих АЦП, когда преобразование всех сигналов должно проходить максимально быстро [1].

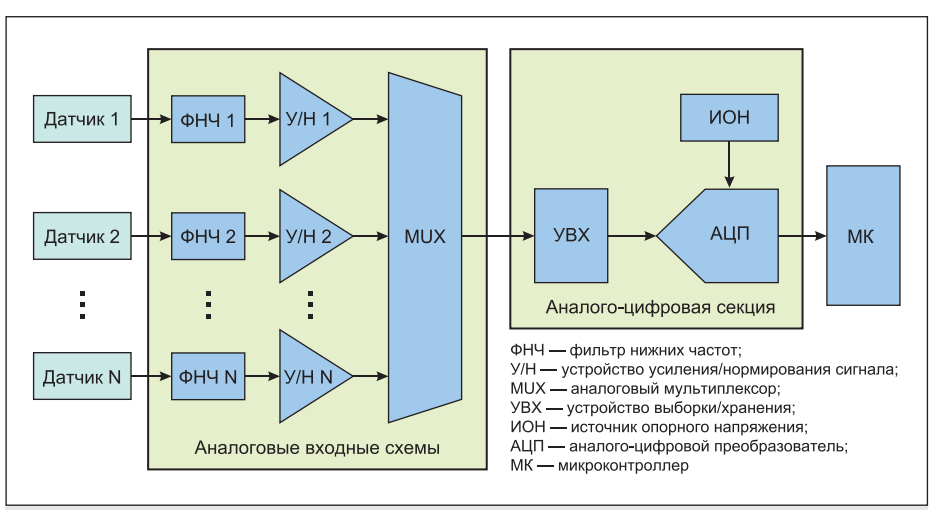

Рис. 1. Типовая структурная схема ССД

Общим подходом при проектировании ССД считается построение тракта обработки аналогового сигнала при помощи отдельных микросхем с обвязкой из активных и пассивных дискретных элементов, выполняющих заданные функции (защиты, масштабирования, преобразования в вид, необходимый для АЦП, и т. д.). Такой подход, требующий обоснованного выбора элементной базы, схемотехнических решений и конструкции печатной платы, предполагает создание макетного образца и проведение испытаний, что увеличивает стоимость и сложность разработки. Кроме того, помимо достаточно больших временных и экономических затрат, для всего перечисленного необходима высокая квалификация разработчиков. Поэтому построение ССД на дискретных компонентах целесообразно лишь в случае решения узкоспециализированных задач или при отсутствии подходящих систем на кристалле.

Более перспективным способом является использование технологий систем на кристалле. Высокоинтегрированные монолитные микросхемы представляют собой готовые решения для большинства современных задач. Применение такого подхода упрощает построение всей ССД и обеспечивает ряд преимуществ, среди которых наибольшее значение имеют возможность получения улучшенных технических показателей (производительность, энергопотребление, надежность, массо-габаритные характеристики) и уменьшение стоимости при крупносерийном выпуске. При этом работа по коррекции ошибок в сигнальном тракте ложится

на разработчика интегральных схем (ИС), а не на разработчика прикладного решения.

В своих линейках продукции многие производители ИС имеют подобные устройства. Среди наиболее известных можно назвать компании TI, Analog Devices и т. д. Они предлагают в основном многоканальные устройства, чье назначение — опрос множества датчиков, территориально сосредоточенных в одном месте. Компания Microsemi придерживается иной концепции: новое семейство ИС спроектировано для применения в распределенных системах сбора данных, где требуется удаленное измерение одного или двух аналоговых параметров. Главное преимущество заключается в отсутствии излишней аппаратной избыточности и, соответственно, высокой стоимости по сравнению с многоканальными устройствами. Выпускаемые компанией микросхемы адаптированы под конкретные типы датчиков и содержат только необходимые периферийные узлы, размеры памяти и производительность встроенного МК оптимизированы для решения определенного круга задач.

Обзор основных характеристик первых микросхем семейства LX33xx

Подразделение AMSG (Analog Mixed Signal Group) компании Microsemi, занимающееся разработкой специализированных ИС для подсветки дисплеев, управления питанием, беспроводной связи и т. д., предлагает новую серию микросхем LX33xx, относящихся к классу изделий с условным названием Sensor Interface [2]. Они выступают в качестве связующего звена между первичными преобразователями и контроллером системы, реализуя законченный сигнальный тракт. Использование технологии «систем на кристалле» позволяет минимизировать перечень дополнительных внешних компонентов и занимаемую площадь печатной платы, а также значительно уменьшить зависимость от нагрузки и температуры эксплуатации. С целью упрощения задачи проектирования и максимального ускорения вывода готового изделия на рынок, ИС поставляются предварительно запрограммированными. У разработчиков нет необходимости создавать код, поскольку метрологические алгоритмы и механизмы компенсации нелинейности датчиков прошиваются в ПЗУ на этапе производства. Модернизация и тестирование продукции происходит в тесном контакте с потребителями, программно-аппаратные средства также могут быть изготовлены по техническим условиям заказчика.

Блок памяти состоит из флэш-памяти программ объемом 12 кбайт, оперативной памяти объемом 128 байт и 32 байт энергонезависимой памяти для конфигурирования и калибровки, улучшающей качество функционирования. Микросхемы изготавливаются с применением 0,35-мкм техпроцесса BCD (биполярный/КМОП/ДМОП), для их питания нужен источник с выходным напряжением от 4,5 до 18 В постоянного тока, встроенный преобразователь генерирует необходимые для отдельных блоков напряжения [3]. В 2014 году был осуществлен выпуск двух первых представителей нового семейства, рассмотрим основные параметры и ключевые особенности доступных в настоящее время моделей (таблица).

Таблица. Сравнительные характеристики микросхем серии LX33xx

	LX3300	LX3301	LX3310**
Тип датчиков	Большинство неиндуктивных	Только индуктивные	Любые
Характеристики АЦП	Два канала 12-бит; 2 квыб/с	Два канала 12-бит; 2 квыб/с	Два канала 12-бит; 200 квыб/с
Входные усилители	Дифференциальные, с программируемыми Ку	С фиксированным Ку	Дифференциальные, с программируемыми Ку
Компараторы	Два, 500 нс	Нет	Два, 500 нс
Наличие интерфейса I²C	Да	Нет	Да
Разрядность МК, бит	32	32	32
Размер EEPROM	16×16 бит	16×16 бит	128×16 бит
Размер ROM	3 к × 32 бит	3 к × 32 бит	4 к × 32 бит
PSI5*	Да (только для чтения)	Да (только для чтения)	Да
SENT*	Да	Да	Да
Встроенные источники тока	Два	Нет	Два
Диапазон рабочих температур, °С	−40...+125	−40...+125	−40...+150
Потребляемая мощность (активный режим), мВт	30	30	10

Примечания. *Последовательные интерфейсы, разработанные для автомобильных применений.
**ИС в разработке, параметры могут измениться.

ИС LX3300

Микросхема LX3300 представляет собой надежную, прецизионную высокоинтегрированную схему сбора данных, выпускаемую в корпусах TQFN-20 и работающую в промышленном температурном диапазоне –40…+125 °С. Основу ее составляют два независимых канала измерения аналоговых величин, обеспечивающих усиление, нормирование, калибровку и температурную компенсацию входного сигнала, а также блоки цифровой фильтрации и предварительной обработки информации [4]. Структурная схема с обозначением основных узлов приведена на рис. 2.

Два измерительных канала идентичны по своим характеристикам, сверхмалый дрейф их параметров увеличивает достоверность и воспроизводимость результатов критически важных измерений. Тип и уровень сигналов с применяемых первичных преобразователей определяются их физическими особенностями. Как правило, измеряемые аналоговые сигналы отличаются малой амплитудой, в них присутствуют нежелательные шумы и помехи. Поэтому через входные цепи, снабженные фильтрами защиты от электромагнитных помех, измеряемые напряжения поступают на дифференциальные усилители с регулируемым коэффициентом. Нормирующий усилитель согласует по амплитуде сигнал датчиков с входным диапазоном АЦП. Далее при помощи 12-битных сигма-дельта АЦП с максимальной частотой дискретизации 2 кГц осуществляется преобразование отфильтрованных в ФНЧ сигналов в цифровой вид. Код, пропорциональный входному сигналу, через блок цифровой фильтрации поступает в 32-разрядный RISC-микроконтроллер (напряжение питания ядра 3,3 В), где происходит его первоначальная обработка и вычисление метрологических параметров в соответствии с программой во флэш-памяти. Два дополнительных высокоскоростных компаратора с коммутируемыми при помощи мультиплексора входами и программируемыми порогами срабатывания имеют возможность генерирования прерываний для хост-контроллера и способны оперативно предупредить о пропадании или резком изменении уровня входных напряжений. Выбор источника опорного напряжения осуществляется пользователем, для приложений, критичных к точности измерения, рекомендуется использовать внешний. Из других функциональных особенностей можно отметить наличие программируемого выхода ШИМ/ЦАП, сторожевого таймера, следящего за отсутствием «зависания» МК, высокоточного таймера/счетчика и портов ввода/вывода общего назначения. Внешнее управление и чтение состояний всех периферийных модулей осуществляется через последовательный интерфейс I²C, также доступен обмен информацией по специализированным автомобильным интерфейсам PSI5/SENT.

Разработка ССД с помощью ИС данного типа не составляет особых сложностей. Перед проектировщиком стоит только задача подключения обвязки (датчиков, кварцевого резонатора, развязывающих конденсаторов и т. д.) и соединения с основным процессором системы по встроенному интерфейсу для передачи измеренных параметров (рис. 3).

Типовые применения включают:

- измерение положения, линейного и углового смещения, расстояния, скорости и ускорения в автомобильных и промышленных приложениях;
- определение условий окружающей среды (влажности, температуры и т. п.);

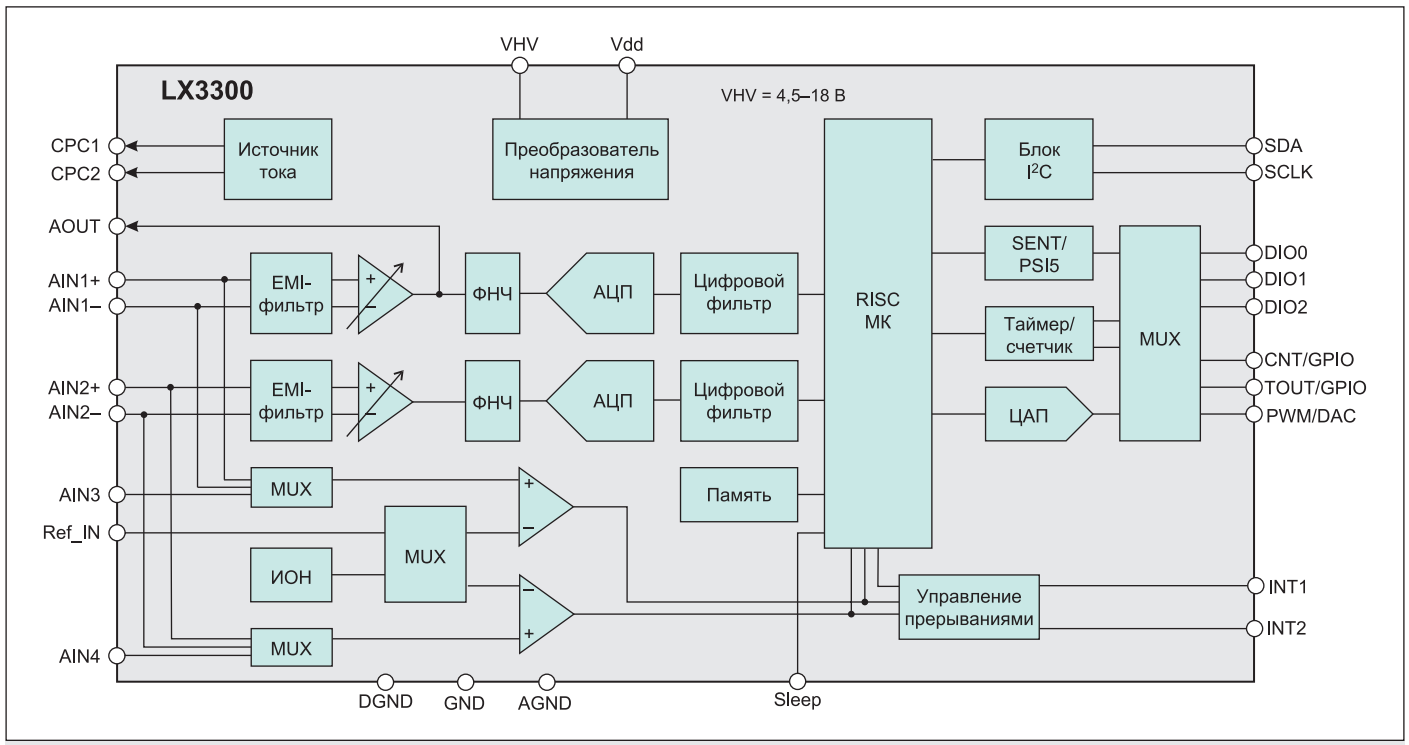

Рис. 2. Основные функциональные узлы ИС LX3300

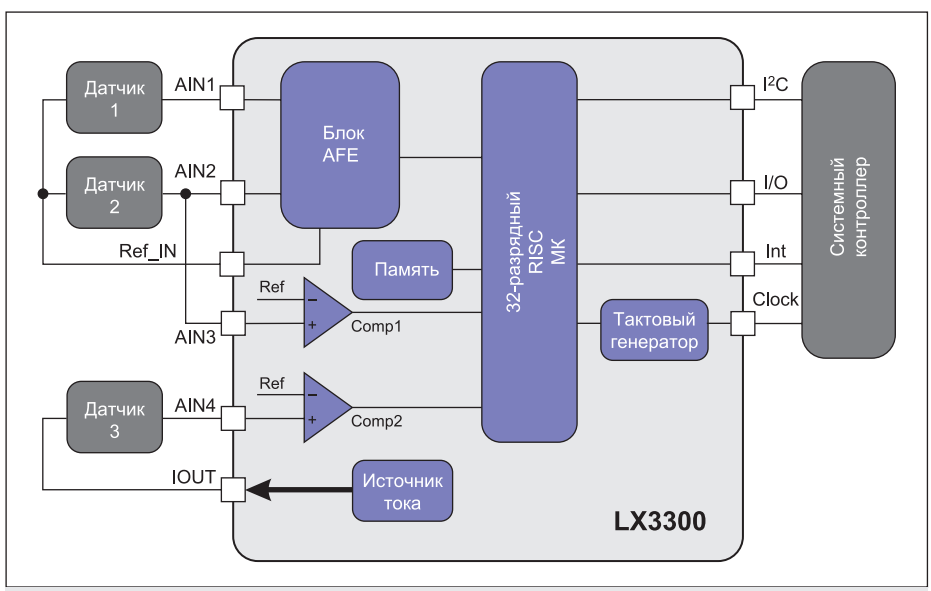

Рис. 3. Типовая схема применения ИС LX3300

- измерение скорости потока жидкости;
- контроль микрозазоров;
- температурные измерения;
- определение усилия, плотности, уровня и давления.

ИС LX3301

Программируемая ИС LX3301 предназначена для сбора данных с датчиков индуктивного типа. Представляет собой преобразователь значения индуктивности в цифровую форму, предлагающий разработчикам все преимущества индуктивной технологии измерения наряду с низким собственным энергопотреблением [5]. Бесконтактная технология измерения, использующая катушку индуктивности в качестве чувствительного элемента, позволяет реализовывать недорогие датчики высокого разрешения для отслеживания токопроводящих предметов и обладает высокой точностью в неблагоприятных условиях эксплуатации при наличии загрязнений. Основу устройства составляют генератор для управления первичной обмоткой индуктивного сенсора с рабочей частотой от 1 до 5 МГц и два канала измерения и преобразования аналоговых сигналов, снимаемых с вторичной обмотки чувствительного элемента (рис. 4). Каждый измерительный тракт, содержащий EMI-фильтр, демодулятор, фильтр защиты от наложения спектров, программируемый усилитель и 13-битный сигма-дельта АЦП, обладает возможностью калибровки своих параметров путем чтения уставок из внутренней EEPROM-памяти.

Интегрированный 32-разрядный RISC-микроконтроллер осуществляет функции цифровой фильтрации и обработки полученных сигналов. Для разработчиков доступно 12 кбайт памяти программ, программируемой фотошаблонами, 128 байт SRAM и 32 байт программируемой пользователем EEPROM для хранения поправочных коэффициентов и конфигурационных параметров. EEPROM с организацией памяти 16×16 бит обеспечивает настройку частоты дискретизации АЦП (4 доступных значения: 250 и 500 Гц, 1 и 2 кГц), опорного напряжения с шагом 39 мВ, коэффициента усиления (по умолчанию 3,125), внутренней тактовой частоты с шагом 42 Гц, максимального размаха сигнала генератора, конфигурации выхода, осуществляет коррекцию рассогласования Ку двух каналов, выбор параметров и типа цифрового фильтра и т. д. Выходные цепи помимо интерфейса связи SENR/PSI5 содержат блоки программируемого 16-битного ШИМ и 12-битного цифро-аналогового преобразователя с буферизированным выходом. Из дополнительных особенностей можно отметить наличие сторожевого таймера и других встроенных цепей защиты и обнаружения неисправностей (пониженного напряжения питания, пониженного/повышеного напряжений на анало-

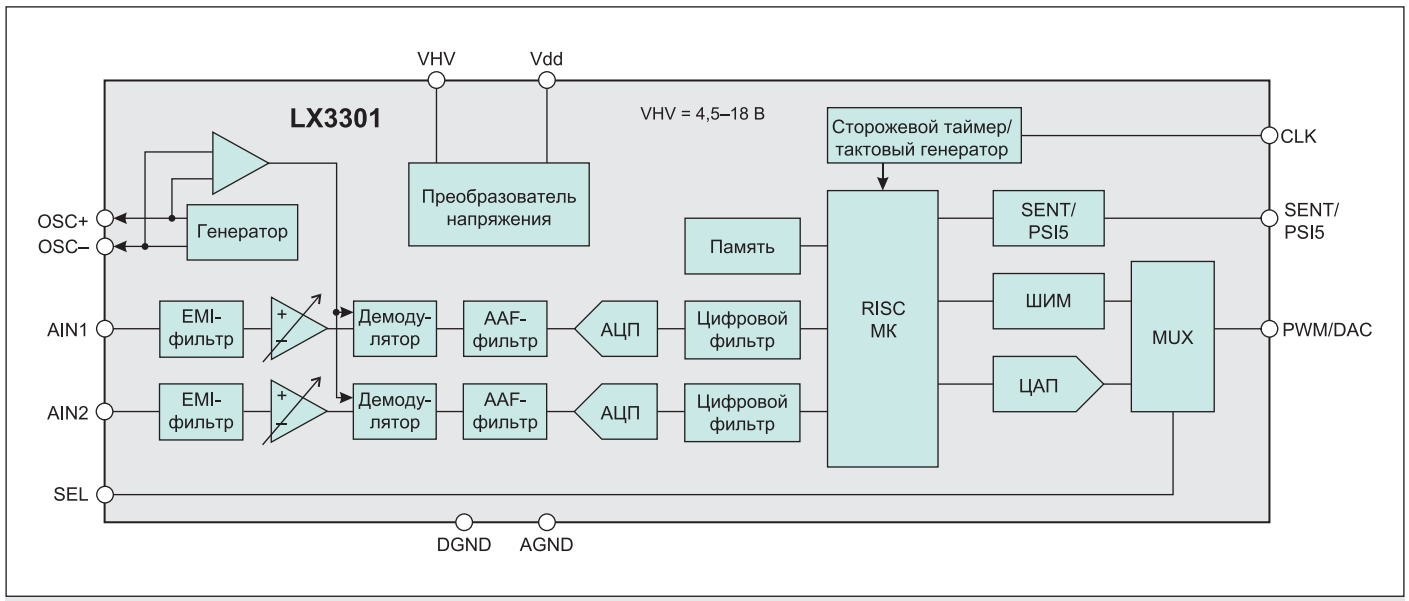

Рис. 4. Основные функциональные узлы ИС LX3301

говых входах и выходах генератора, обрыв подключения датчика и т. д.), позволяющих увеличить безопасность работы. Для питания внутренних цепей предусмотрен встроенный прецизионный LDO-стабилизатор с низким температурным дрейфом выходного напряжения. Микросхема, выпускаемая в малогабаритном корпусе TSSOP-14, обладает превосходной долговременной температурной стабильностью характеристик в диапазоне рабочих температур от –40 до +125 °C, ток собственного энергопотребления не превышает 8 мА. ИС LX3301 сертифицирована на соответствие требованиям автомобильных стандартов AEC-Q100 и ISO26262. Использование индуктивной технологии позволяет выполнять измерения линейного/углового положения, перемещения, сжатия, вибрации, приближения, определять состав металла и многое другое. Основные рынки применения:

- автомобильная электроника;
- медицинская техника;
- промышленная автоматизация (робототехника, АСУ ТП);
- системы передачи данных;
- автоматическое испытательное оборудование;
- энергосберегающие устройства.

В качестве ближайшего аналога LX3301 можно рассмотреть ИС LDC1000, выпускаемую компанией TI. Она обладает более высоким разрешением (16 бит), но при этом не содержит встроенного МК и отличается более высокой стоимостью.

Применяемый способ измерения индуктивности основан на определении изменений резонансной частоты LC-контура. Чувствительным элементом датчика является катушка, которая вместе с конденсаторами формирует параллельный резонансный контур, представляющий собой часть генератора. Встроенный генератор переменного тока, подключаемый к первичной обмотке датчика через выводы OSC1 и OSC2, возбуждает в ней колебания на несущей частоте в соответствии с выражением:

$$f = 1/2f\pi\sqrt{LC},$$

где L — индуктивность катушки, а C — емкость образуемого колебательного контура.

Наиболее критичным элементом схемы является индуктивный чувствительный элемент, он должен соответствовать определенным требованиям, в частности обладать минимальным паразитным сопротивлением и высокой добротностью. Во многих применениях в качестве измерительной катушки используют «плоские» индуктивности — трассы в виде многовитковой спирали, нанесенные на печатную плату. В этом случае необходимо уделять особое внимание допустимой погрешности формы проводников, так как в зависимости от процесса изготовления плат у разных производителей высота и ширина дорожек может варьироваться, влияя на величину индуктивности и сопротивление катушки. Генератор настраивается на частоту резонанса, при которой напряжение на входе сигнального тракта максимальное (в отсутствие объекта измерения вблизи чувствительного элемента). После сближения активного чувствительного элемента и, например, металлического предмета в нем будут наводиться вихревые токи, которые начинают взаимодействовать с индуктивным датчиком. Вследствие этого нарушается резонанс и амплитуда напряжения на LC-контуре уменьшается. Типовая схема применения с подключением основных внешних компонентов приведена на рис. 5.

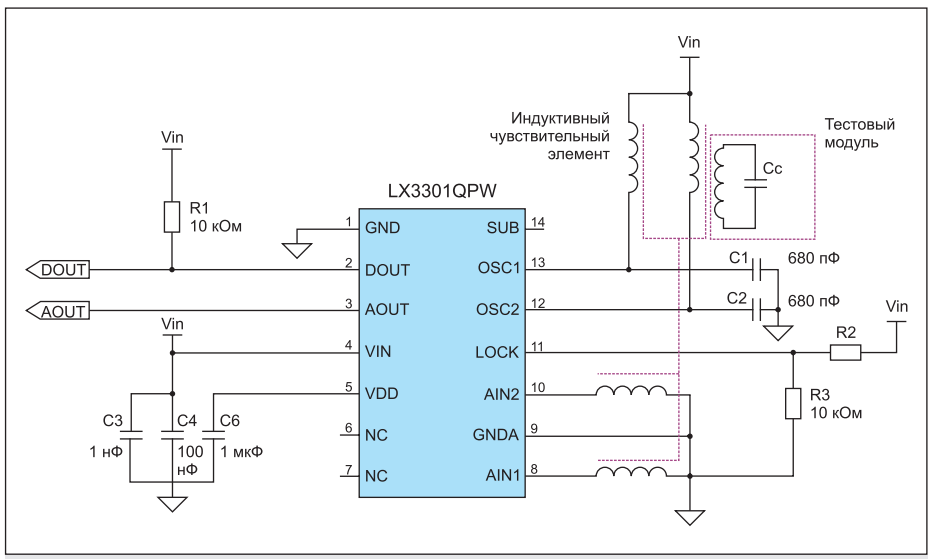

Рис. 5. Типовая схема применения ИС LX3301

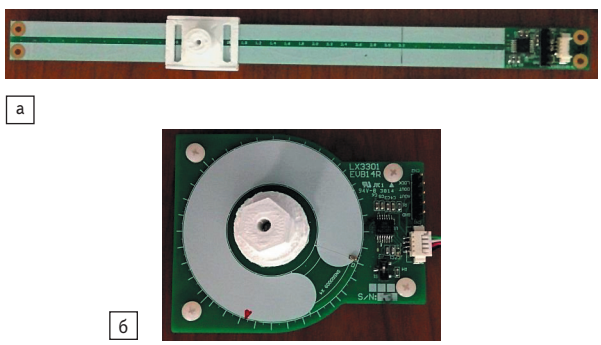

Рис. 6. Внешний вид отладочных плат: а) LX3301EVB14LK; б) LX3301EVB14RK

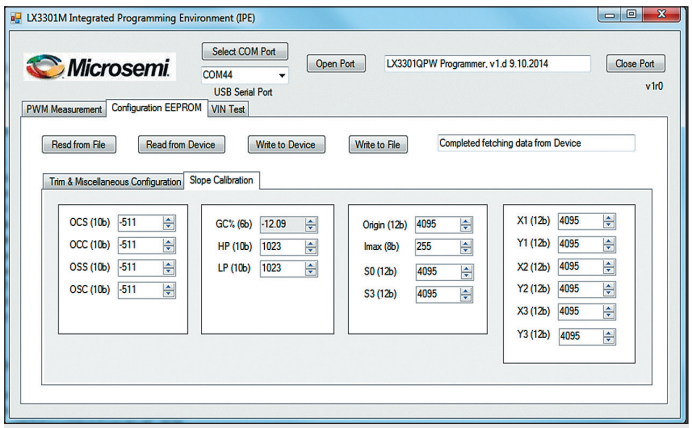

Рис. 7. Внешний вид основного окна программы LX3301M IPE

Аналоговые сигналы с входов AIN1 и AIN2 попадают на EMI-фильтры первого порядка с частотой среза 13,5 МГц. Схемы демодуляторов устраняют несущие частоты и выделяют амплитуды полученных сигналов. Кроме того, здесь же при помощи фазового детектора определяется сдвиг фаз между входным сигналом и опорным с генератора, который необходим для формирования знакового бита при угловых измерениях. Через программируемый усилитель с минимальным шагом регулировки коэффициента усиления 3% и далее через сглаживающий фильтр информация поступает на сигма-дельта АЦП, работающие в связке с прецизионным источником опорного напряжения. Децимация (прореживание) данных с АЦП осуществляется в блоке конфигурируемых (SINC или SINC+FIR) цифровых фильтров. Встроенный микроконтроллер выполняет математические преобразования над цифровыми данными согласно алгоритмам, хранящимся в памяти. Тип используемой функции можно выбрать установкой соответствующих битов, хранящихся в EEPROM. Интегрированный 16-битный ШИМ-контроллер имеет возможность настройки периода и коэффициента заполнения генерируемого сигнала. Его выход может соединяться с выводом DOUT с открытым стоком, требуя при этом подключения подтягивающего к питанию резистора номиналом 10 кОм, либо с выводом AOUT при использовании двухтактного режима. По умолчанию на AOUT доступен аналоговый сигнал с 12-битного ЦАП.

ИС LX3310

Необходимо упомянуть еще об одном представителе нового семейства. На текущий момент ИС LX3310 еще не доступна для массового применения, производитель только анонсировал ее появление на рынке в ближайшее время. Данная микросхема представляет собой комбинацию уже выпускаемых LX3300 и LX3301, отличающуюся улучшенными техническими характеристиками. Два измерительных канала имеют повышенную до 200 кГц частоту дискретизации аналого-цифрового преобразователя, увеличены размеры EEPROM и ROM, расширен температурный диапазон эксплуатации (–40…+150 °С) и одновременно снижено собственное энергопотребление. Выбор типа корпусного исполнения оставлен на усмотрение разработчика, микросхема изготавливается с применением популярных корпусов, включая малогабаритные SOIC-14 и QFN-32.

Демонстрационные платы

На базе индуктивного преобразователя LX3301 для оценки его возможностей предлагается отладочный модуль, позволяющий продемонстрировать использование технологий индуктивного зондирования для обнаружения и определения положения проводящего целевого объекта. Применение двух дополнительных катушек индуктивности, выполненных на печатных платах и представляющих собой примеры датчиков, разрешает в максимально короткие сроки протестировать и реализовать недорогие компактные схемы сбора данных с сенсоров линейного (LX3301EVB14LK) и углового (LX3301EVB14RK) перемещения [6]. Датчики обоих типов изготавливаются в виде четырехслойных печатных плат из стеклотекстолита FR-4. Возможные погрешности производства сенсоров легко устранимы калибровкой преобразователя при помощи поправочных коэффициентов из энергонезависимой памяти. В стандартный комплект поставки, помимо объединенной конструкции из тестовых датчиков и схемы сбора данных, входит CD-ROM с технической документацией и ПО, реализующим графический интерфейс пользователя, а также модуль USB-преобразователя LXM9516, необходимый для конфигурирования встроенной EEPROM. Питание всех полученных сборок, внешний вид которых показан на рис. 6, осуществляется от USB-порта персонального компьютера.

Возможность конфигурирования повышает гибкость использования тестовой системы и позволяет увеличить число возможных применений. Для наглядного отображения и изменения хранящихся в EEPROM основных характеристик предлагается графический интерфейс пользователя LX3301M IPE, работающий с операционными системами Windows 7 и XP. Процесс задания параметров калибровки интуитивно понятен, настройки определенных блоков выполняются на соответствующих закладках, внешний вид основного окна программы калибровки представлен на рис. 7.

Заключение

Рассмотренные в статье микросхемы для сбора и предварительной обработки аналоговых сигналов компании Microsemi являются высокоинтегрированными устройствами, позволяющими значительно сократить как стоимость разработки, так и общую стоимость изготовления ССД для датчиков различных типов. Новое семейство ИС с превосходными эксплуатационными характеристиками идеально подходит для организации сбора данных в распределенных системах измерения. Наличие демонстрационных комплектов помогает оперативно оценить возможность применения предлагаемых устройств при решении имеющихся задач.

Литература

1. Черемисов П. Решения для промышленных систем сбора данных // Новости электроники. 2012. № 8.
2. Материалы сайта www.microsemi.com
3. Product Portfolio. Sensor IC product update. — October 2013. www.microsemi.com
4. Product brief. LX3300: Smart sensor interface. 2014. www.microsemi.com
5. Technical Datasheet. LX3301: Inductive sensor interface IC with embedded MCU. — December 2014. www.microsemi.com
6. Evaluation board user guide. EVB user guide for LX3301EVB14LK и LX3301EVB14RK inductive sensor evaluation system kit, 2014. www.microsemi.com