

## **ОБЗОР НОМЕРА**

### **Быстрые универсальные процессоры BLACKFIN управляют современными системами радиочастотной идентификации объектов**

David Katz [david.katz@analog.com]

Glen Ouellette [glen.ouellette@analog.com]

Rick Gentile [richard.gentile@analog.com]

Giuseppe Olivadoti [giuseppe.olivadoti@analog.com]

В настоящее время системы радиочастотной идентификации объектов (РИО) (RFID) получили повсеместное распространение, благодаря высокой степени автоматизации процесса. Эти системы охватывают широкий спектр приложений от складской инвентаризации изделий и продуктов до мониторинга за состоянием живых объектов. Как и любая система измерения, РИО начинается с датчика, располагаемого на идентифицируемом объекте, и выполненного в виде компактной интеллектуальной этикетки (ИЭ) (tag) с радиочастотным каналом связи с устройством считывания (УС). При нахождении объекта с этикеткой в заданной точке пространства УС считывает данные, записанные в памяти этикетки и передает их на сервер. Сервер осуществляет обновление баз данных наблюдаемых объектов, вырабатывает сигналы управления и представляет информацию пользователю в удобном для него виде. Так система определяет не только местоположение объекта, но и некоторые (достаточные для конкретного приложения) характеристики объекта.

Часто РИОС содержит в своем составе более одного процессора. Обычно в топологии системы имеется процессор обработки входных сигналов и связной процессор. Однако, несмотря на столь разительное отличие этих двух типов процессоров, в настоящее время вся задача может решаться одним процессором. В данной работе рассматриваются способы реализации РИО на одном процессоре семейства BLACKFIN от ANALOG DEVICES INC (ADI).

Сначала рассматривается технология РИО и обсуждаются современные и перспективные направления применения. Далее детально рассматривается устройство считывания и определяется полный комплект программного обеспечения для всей системы РИО, включая сервер. И, наконец, приводится несколько блок-схем конкретной реализации систем РИО.

#### **Современные приложения**

Технология РИО позволяет одновременно следить за несколькими объектами не вступая с ними в непосредственный физический контакт. Этот факт позволяет использовать системы РИО во многих областях, например, в инвентаризационном контроле, в контроле и управлении складскими запасами, в здравоохранении, во взимании платы за использование платных ресурсов (дороги, стоянки, мосты и т.д.).

Если заменить УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ШТРИХ-КОД (УШК), широко используемый в торговле для описания изделий на ЭЛЕКТРОННЫЙ КОД ИЗДЕЛИЯ, заносимый в память этикетки, то весь процесс движения товара может быть автоматизирован. При этом, понятно, что в память этикетки можно занести данных гораздо больше, чем существует в УШК.

Кроме указанного выше, существует целый ряд современных приложений, где используется РИО:

- управление потоками на складах;
- учет выдачи и возврата книг и документов в библиотеках;
- в системах аутентификации и авторизации изделий;
- контроль фальсификации в фармацевтике;
- контроль правильности движения спортсмена по трассе в спорте.

### Общая структура системы РИО

Для идентификации, классификации и слежения за объектом система РИО использует радиочастотный канал связи. Каждый мониторируемый объект снабжается уникальной этикеткой, называемой иногда ретранслятором. Информация с этикетки считывается УС, имеющим в своем составе микропроцессор(ы) с программным обеспечением, позволяющим вести опрос объектов, декодировать и обрабатывать получаемую с этикеток информацию и обеспечивать связь с сервером, как показано на Рис. 1.

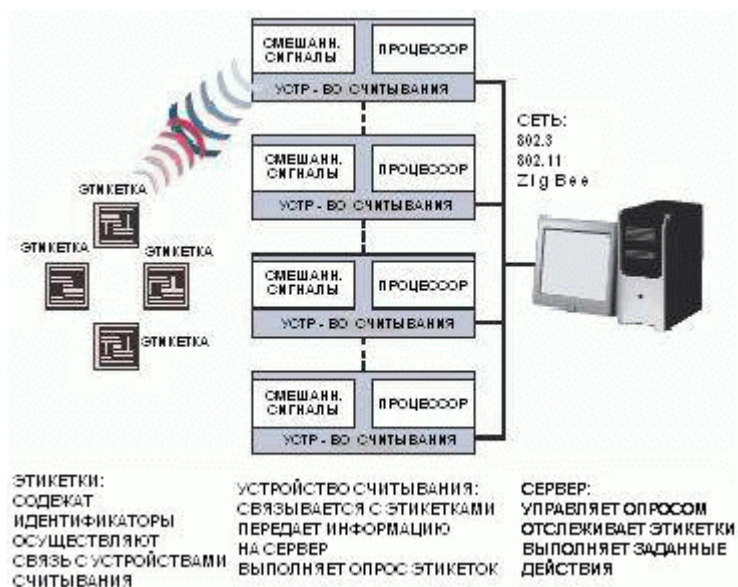


Рис. 1. Упрощенная блок-схема системы РИО

### Устройства считывания РИО

УС обеспечивает связь между отдельными этикетками и собственно системой мониторинга. УС должно обеспечивать три основных функции: двунаправленную связь с уникальными этикетками; предварительную обработку полученной информации; связь с сервером. В зависимости от задачи количество УС меняется от одного до нескольких штук.

УС должно обслуживать большое число этикеток внутри некоторого заданного ограниченного пространства (например, изделия с этикетками в контейнерах на предприятии или на складе). С тем, чтобы в максимальной степени избавиться от «столкновений», при опросе этикеток следует использовать режим «разделения времени». Суть этого режима состоит в том, что УС подает запрос на индивидуальные этикетки последовательно во времени, а этикетка отвечает на данный запрос спустя некоторый, случайный интервал времени.

### Этикетки или ретрансляторы

Этикетка системы РИО содержит ИС с записанным электронным кодом объекта, на котором закреплена данная этикетка. В составе так же имеется антенна (обычно в виде печатного проводника). Все элементы этикетки располагаются в одном корпусе. Под объектом с этикеткой подразумевается весь спектр

возможных объектов, начиная от товаров и изделий и кончая живыми субъектами (в этом контексте все объекты одинаковы, меняется только набор функций мониторинга). Важным показателем системы является расстояние этикетка – УС. Этот показатель непосредственно определяет тип применяемой этикетки. В настоящее время известно три типа этикеток: пассивные, полуактивные и активные.

### **Пассивные этикетки**

Это простейшие этикетки, питание которых осуществляется энергией радиочастотного поля УС. Других источников питания пассивные этикетки не содержат. Эти этикетки дешевы в изготовлении, механически прочны и имеют небольшой размер. Однако, они могут работать только в непосредственной близости от УС. Конкретное расстояние до УС определяется частотой несущей радиочастотного поля. Исходя из этого параметра, известны три типа этикеток:

- Низкочастотные (125 кГц – 135 кГц), действующие только в непосредственной близости от УС. Такие этикетки применяются, в основном, в системах контроля доступа;
- Высокочастотные (13,56 МГц), действующие на расстоянии до нескольких футов. Такие этикетки могут применяться в автоматических кассовых аппаратах, в приложениях слежения за компактными объектами, в библиотечных приложениях;
- Ультра-высокочастотные (850 МГц- 950 МГц), действующие на расстоянии 10 и более футов. Такие этикетки очень популярны в промышленных приложениях.

По оценкам, цена производителя пассивных УВЧ этикеток в 2003г составила 57 центов за штуку а в 2008г будет составлять около 16 центов.

### **Полуактивные этикетки**

Полуактивные этикетки, как и пассивные, питают свои ретрансляторы энергией радиочастотного поля УС, но в отличие от последних имеют встроенные батареи. Это позволяет интегрировать этикетки с сенсорами, например, температуры, влажности и т.д., что, в свою очередь, позволяет контролировать в режиме реального времени эти параметры объектов.

### **Активные этикетки**

Активные этикетки содержат в своем составе встроенную батарею, питающую как внутренние цепи, так и собственный передатчик этикетки. По этой причине расстояние, на которое можно удалять этикетку от УС составляет 100 и более метров. При этом существенно возрастает возможный объем передаваемой информации об объекте.

Основные недостатки активных этикеток – сокращенный срок службы (из-за конечного ресурса батарей) и высокая стоимость.

Активные этикетки работают в стандартных диапазонах частот 433 МГц и 2,4 ГГц.

### **Архитектура программного обеспечения УС системы РИО**

Ниже рассматривается способ использования процессора семейства BLACKFIN для реализации устройства считывания системы РИО. Существует три алгоритма, которые обязательно должны присутствовать в данной реализации: алгоритм интерфейса сервера заднего плана; алгоритм среднего плана (middleware); алгоритм переднего плана считывания этикетки. Несмотря на существенные различия данных алгоритмов, они все могут быть реализованы в одном процессоре семейства BLACKFIN.

## Сервер заднего плана и Соединение

Часто УС содержит в своем составе сетевой элемент: либо проводной ETHERNET (IEEE 802.3); либо беспроводной ETHERNET (IEEE 802.11 a/b/g); либо ZigBee™ (IEEE 802.15.4) для подключения одного УС к серверу. При этом центральный сервер должен выполнять программное обеспечение базы данных, в функцию которого входит модификация и накопление информации, слежение за объектами и выработка сигналов предупреждения по предустановленным событиям.

В этой связи, предпочтение отдается УС, реализованному на высокопроизводительном процессоре, работающем под управлением операционной системы (ОС)  $\mu$ Clinux (или uClinux), имеющей связной интерфейс с сервером заднего плана. При этом, наличие устойчивого TCP/IP стека и механизма обработки запросов SQL ставят эту ОС в еще более предпочтительное положение.

## Обеспечение среднего плана (ОСП)

ОСП должно преобразовывать уровень передачи данных, исходя из многоуровневой модели сетевого взаимодействия.

## Обеспечение переднего плана (ОПП)

ОПП должно обеспечивать прием и фильтрацию данных с этикеток, полностью изолируя некачественные события (повторы и сбои), используя все возможности цифровой обработки сигналов процессора семейства BLACKFIN.

## А-Ц и Ц-А конвертеры

Для организации связи с этикетками используются ИС обработки смешанных входных сигналов (ИС ОСВС).

В состав ИС ОСВС входят: ЦАП и АЦП, низкошумящие усилители, смесители, ИС АРУ, программируемые фильтры.

Образец ИС ОСВС, реализованной на ИС AD9861 от ADI показан на Рис. 2.

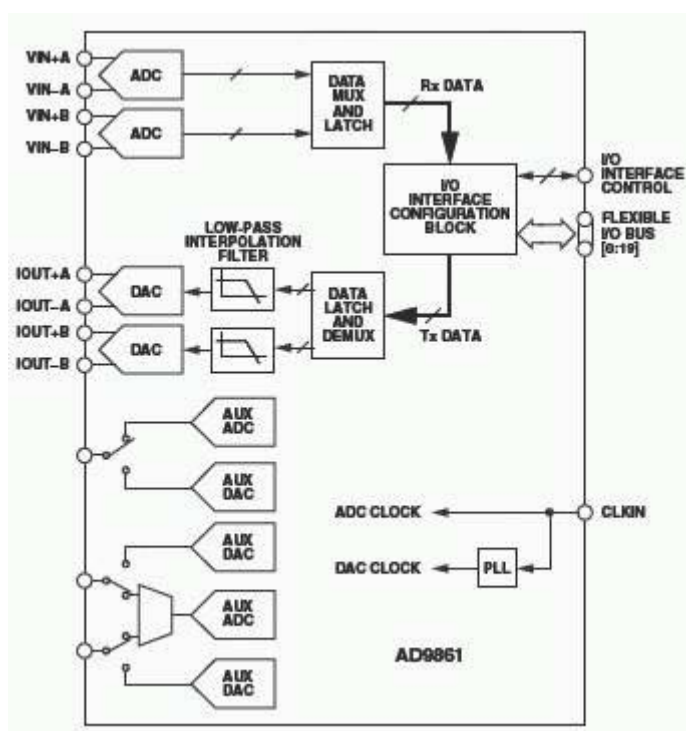


Рис. 2. Блок-схема ИС AD9861, реализующей ОСВС

## Процессоры семейства BLACKFIN для УС

Процессоры семейства BLACKFIN ADSP-BF536 и ADSP-BF537 имеют контроллер для подключения к локальной проводной сети ETHERNET со скоростью обмена 10 МБод и 100 МБод. Беспроводная сеть может обслуживаться через порты последовательного обмена SPI и SPORT микропроцессора путем их непосредственного подключения к ИС набора 802.15 ZidBee и IEEE802.11.

Параллельный интерфейс микропроцессора можно подключать напрямую к ИС ЦАП и АЦП. Некоторые процессоры семейства BLACKFIN имеют по два параллельных интерфейса, что позволяет подключать к УС дополнительную аппаратуру, например, цифровую камеру.

Опрос этикеток УС происходит следующим образом. Процессор подает на ЦАП некоторый код, который преобразуется в аналоговый сигнал, подаваемый, в свою очередь на этикетку. Далее процессор переводится в режим приема сигналов с устройства ввода – АЦП. Этикетка отвечает, и с помощью АЦП сигнал ответа вводится в УС.

В некоторых простейших приложениях процессор семейства BLACKFIN может выполнять функцию сервера. Например, мониторинг за престарелыми членами семьи, заключающийся в контроле за их двигательной активностью в пределах дома.

Компоненты программного обеспечения УС на основе процессора BLACKFIN даются на WEB-сайте.

## ПРИМЕРЫ СИСТЕМ РИО

### Проводные системы

Приложением, получившим наибольшее распространение являются системы мониторинга объектов (инвентаризационный учет, складская деятельность, логистика).

С целью уменьшения количества проводных соединений и подключений часто используют передачу питающего напряжения на питаемое устройство по линии локальной сети, как показано на Рис. 4. Стандарт IEEE 802.3 a/f допускает подачу питания на экономичные системы по линии локальной связи.



Рис. 4. Пример системы радиочастотной идентификации объектов с питанием по линии локальной связи; здесь ПОВ – питающее оборудование

Такому приложению в полной мере удовлетворяет процессор BLACKFIN ADSP-BF537, имеющий низкое потребление и содержащий в своем составе контроллер доступа к сети ETHERNET 10-Base-T/100-Base-T.

### Беспроводные системы низкой стоимости

В приложениях, где использование проводных УС невозможно, например, ручные сканеры или устройства считывания на электрокарах, используется протокол беспроводной связи, такой как IEEE 802.11b/g. Система этого типа изображена на Рис. 5.



Рис. 5. Пример беспроводной системы идентификации объектов

Такому приложению в полной мере удовлетворяет процессор BLACKFIN ADSP-BF531. Процессор может связываться с ИС набора 802.11 по последовательному SPI или SPORT интерфейсу. При этом, нижняя часть протокола доступа к сети будет располагаться в ИС набора, верхняя – эмулируется процессором. Данный процессор управляет собственным потреблением в зависимости от загрузки.

### Высококачественные системы

В высококачественных системах авторизации персонала к устройству считывания часто добавляется дополнительный датчик изображения. При этом, система не только опознает количество людей в помещении, но и персонифицирует каждого человека в отдельности. Пример такой системы приведен на Рис. 6.



Рис. 6. Пример беспроводной системы безопасности

Требуемая вычислительная мощность диктует использование для реализации такого приложения двухядерного процессора ADSP-BF561. Обычно одно ядро выполняет задачи съема, обработки, накопления информации, слежения за объектами и поддержки связи в локальной сети. Другое ядро специально предназначается для выполнения громозких вычислительных задач, например, для выполнения обработки изображения.

## uClinux

Рекомендуемой ОС для систем РИО на основе процессоров семейства BLACKFIN следует считать ОС uClinux, обеспечивающей как выполнение собственно сетевого соединения, так и поддержание надежного и точного соответствия требованиям стандартов при установлении соединения. При выполнении опроса этикеток требуется соблюдение режима РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ. Поскольку монитор ОС uClinux не обеспечивает заданной точности, то в качестве монитора реального времени УС следует использовать монитор от ОС ADEOS. В то же время программное обеспечение среднего и заднего плана будет выполняться под контролем монитора ОС uClinux.

На Рис.7 приводится оценочная плата УС, соединенная с платформой разработки процессора BLACKFIN ADSP-BF537.

## Заключение

Как показано в настоящей работе, система идентификации объектов может быть реализована на одном процессоре семейства BLACKFIN. Данный процессор может обслуживать сетевое соединение и выполнять все остальные задачи, связанные с собственно идентификацией. Такой подход позволяет существенно сузить номенклатуру применяемых в системе компонентов и, в конечном итоге, уменьшить стоимость и сократить время разработки системы.

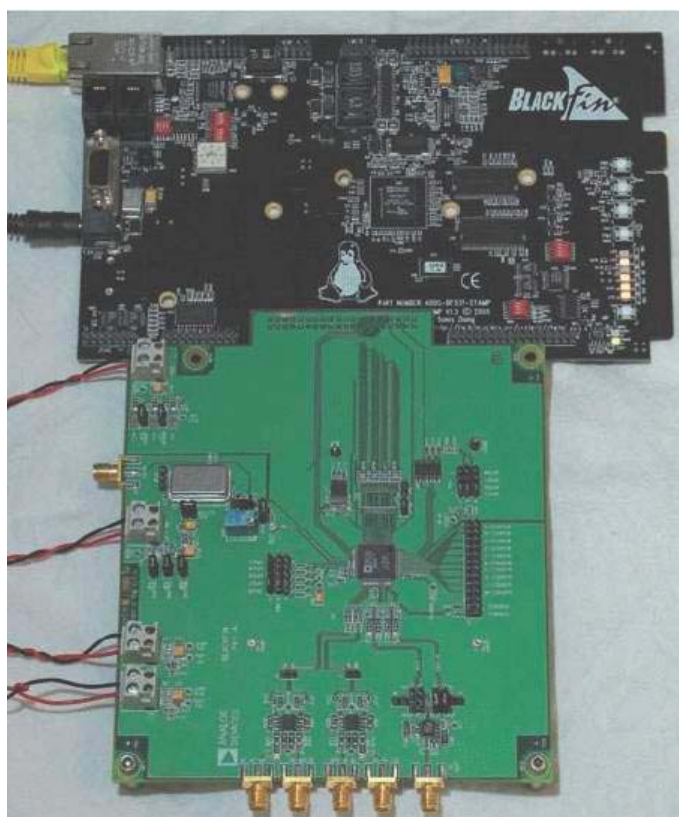


Рис. 7. Оценочная система на базе процессора BLACKFIN, реализующая радиочастотное устройство считывания

**Современные ИС прецизионной обработки и преобразования сигналов программируемых логических контроллеров имеют большую эффективность при меньшей потребляемой мощности, размерах и стоимости**

Albert O'Grady [albert.ograde@analog.com]

Программируемый логический контроллер (ПЛК) представляет собой компактную компьютерную электронную систему с цифровыми или аналоговыми (или с теми и другими) портами ввода/вывода для управления механизмами, процессами и другими модулями. Часто ПЛК классифицируют по числу портов ввода/вывода. Например, ПЛК с числом портов меньше 32 называют нано-ПЛК, при числе портов от 32 до 128 – микро-ПЛК, а при числе портов от 128 до 256 – малым ПЛК и т.д. Типовой ПЛК показан на Рис. 1.

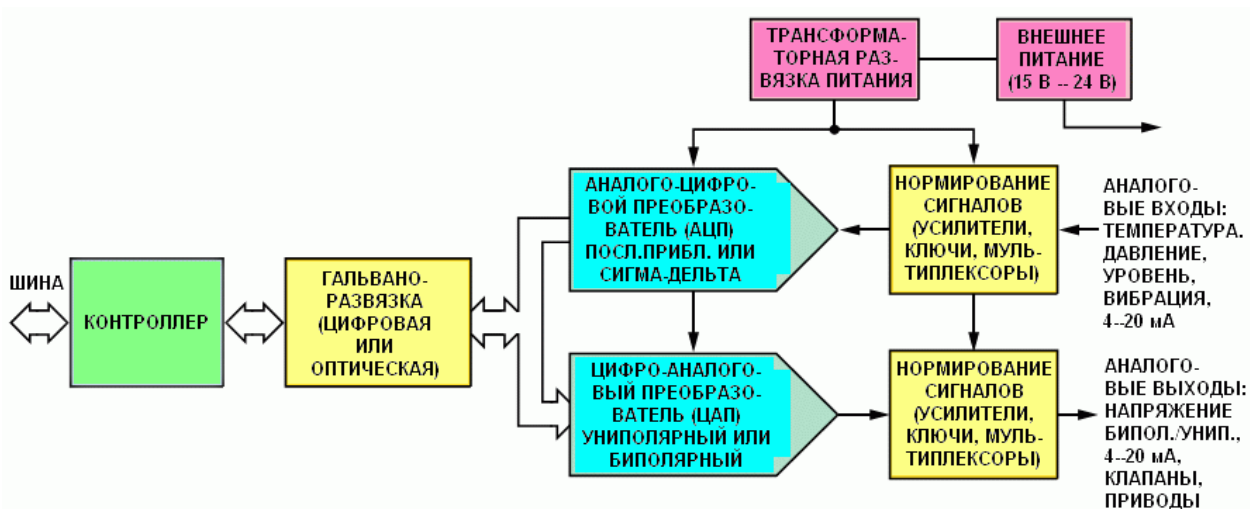


Рис. 1. Архитектура системы ПЛК с различными функциями модулей ввода/вывода

Разрешение устройств аналогового ввода/вывода обычно заключено в интервале разрядности 12 – 16 бит, при этом, в промышленном диапазоне температур погрешность составит 0,1%. Диапазон входного напряжения и тока составляют, соответственно,  $\pm 5$  В,  $\pm 10$  В, 0 – 5 В, 0 – 10 В; либо 4 мА – 20 мА, 0 – 20 мА. Время установления выходного напряжения ЦАПа обычно лежит в области от 10 мкс до 100 мс, что определяется, в основном, приложением. Диапазон входных аналоговых напряжений промышленных систем находится в области от  $\pm 10$  мВ (для первичных преобразователей мостового типа) до  $\pm 10$  В (для контроллеров приводов), а токов 4 мА – 20 мА, 0 – 20 мА. Диапазон времени преобразования определяется требованиями точности и лежит в области от 10 выборок в секунду до нескольких сотен тысяч выборок.

Устройства гальванической развязки используются для того, чтобы отделить аналоговые блоки с сигналами низкого уровня от цифровой части ПЛК, являющейся источником помех. Иногда требуется выполнить гальваническую развязку на отдельных аналоговых каналах, тогда каждый канал требует отдельного преобразователя (АЦП или ЦАП) и отдельного питания через разделительные трансформаторы, либо использования технологии *isoPower* от ANALOG DEVICES INC. (ADI).



## Процесс iCMOS®

iCMOS® - процесс, объединяющий технологию высоковольтного кремния с субмикронной КМОП технологией и технологией биполярных комплементарных транзисторов. Применение этого процесса позволяет согласовать низковольтное 5В питание КМОП ИС с более высокими уровнями питания (16 В – 30 В) без дополнительных трансляторов напряжения. Наличие биполярных транзисторов позволяет получать с помощью iCMOS® прецизионные АЦП, ЦАП и усилители. В целом, применение iCMOS® процесса позволяет получать более компактные прецизионные аналоговые компоненты с большей степенью интеграции, с меньшим потреблением и меньшей стоимости.

Применение в рамках этой технологии взамен поликремниевых резисторов тонкопленочных с 12-ти разрядным начальным допуском и 16-ти разрядным после подгонки позволяет производить высоко-прецизионные АЦП и ЦАП-ы. Наличие на кристалле удаляемых перемычек позволяет использовать цифровые методы для корректировки интегральной нелинейности, смещения и коэффициента передачи высоко-прецизионных конвертеров.

## Выходные модули ПЛК

Аналоговые выходы систем ПЛК, предназначенные для управления приводами, клапанами и двигателями в промышленности, используют ряд стандартных сигналов:  $\pm 5$  В,  $\pm 10$  В, от 0 В до 5 В, от 0 В до 10 В и 4 – 20 мА, 0 – 20 мА. Аналоговые выходные цепи часто имеют схемы цифровой гальванической развязки, изолирующие их от помех со стороны контроллера. Для минимизации числа развязывающих элементов связь с контроллерами обычно осуществляется по трех или четырех проводной схеме.

В аналоговых модулях ПЛК обычно используются два типа архитектуры построения: *один ЦАП на канал* и *один УВХ на канал*. На Рис. 2 показана типовая конфигурация архитектуры *один ЦАП на канал*.

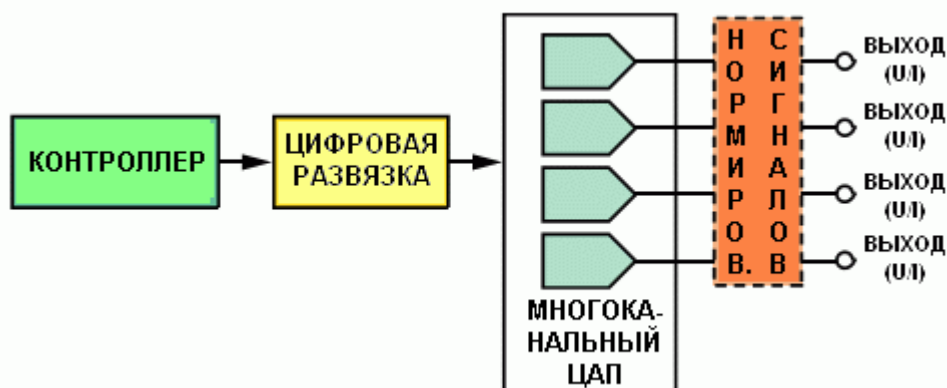


Рис. 2. Архитектура *один ЦАП на канал*

Выходы индивидуальных ЦАП-ов могут нормироваться различным образом на разные выходные напряжения и/или токи. В Таблице 1 Приложения дан перечень многоканальных 16-разрядных ЦАП-ов, годных для реализации приложений с архитектурой *один ЦАП на канал*.

На Рис. 3 показана реализация неизолированного 4-канального ЦАП-а с многофункциональными выходами. AD5654 работает с однополярным питанием 5 В и содержит встроенный ИОН 2,5 В с температурным дрейфом  $5\text{ppm}/^\circ\text{C}$ . Поставляется в компактном корпусе 3 мм × 3 мм LFCSP.

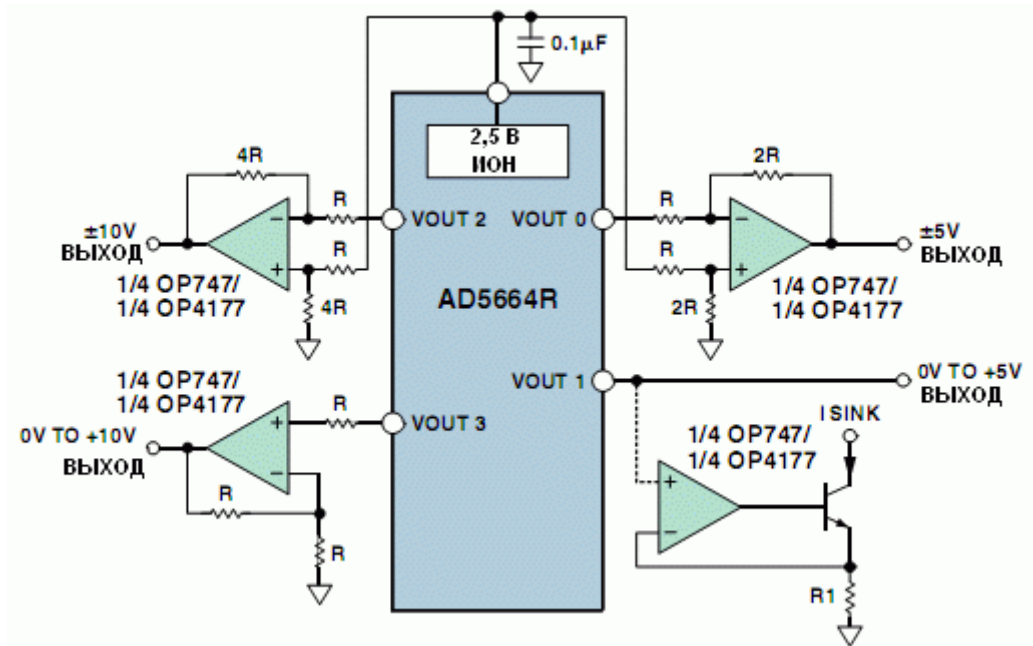


Рис. 3. Использование 4-канального ЦАП-а для получения выходных напряжений  $\pm 5$  В,  $\pm 10$  В, 0 В – 10 В, 0 В – 5 В и токового выхода

На Рис. 4 показан одноканальный изолированный конвертер код-ток.

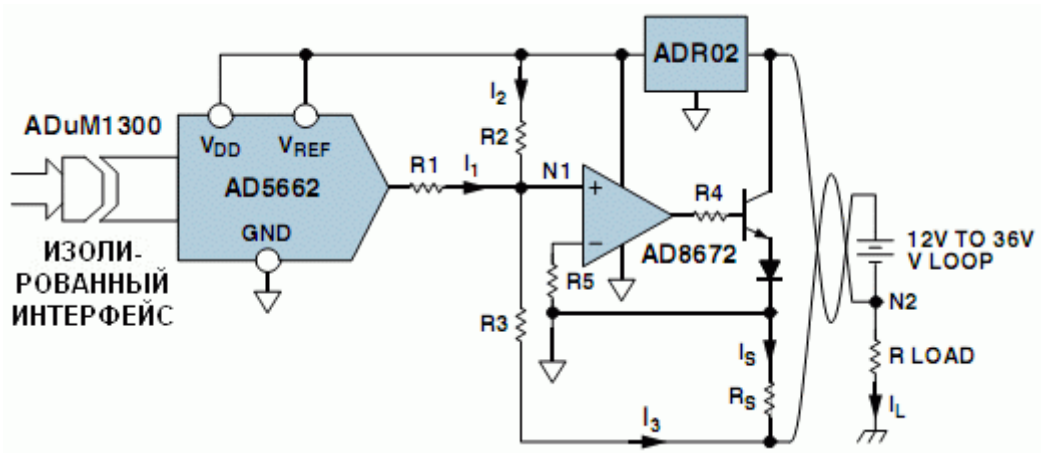


Рис. 4. Схема одноканального конвертера код-ток 4 – 20 мА

Величина выходного тока определяется по следующей формуле:

$$I_L = V_{DAC} \frac{R_3 + R_S}{R_1 R_S} + V_{REF} \frac{R_3 + R_S}{R_2 R_S}$$

### Архитектура один УВХ на канал

В этой архитектуре устройства *выборки – хранения* (УВХ) строятся обычно на основе многоканального демультиплексора с конденсаторами хранения на выходах, как показано на Рис. 5. Погрешность выходного напряжения зависит от скорости спада напряжения на конденсаторе хранения, что, в свою очередь, определяется частотой сканирования конденсаторов: чем выше частота, тем меньше спад напряжения. Усилители в архитектуре необходимы, так как они

играют роль буферных элементов между конденсаторами и низкоимпедансными входами внешних нагрузок.

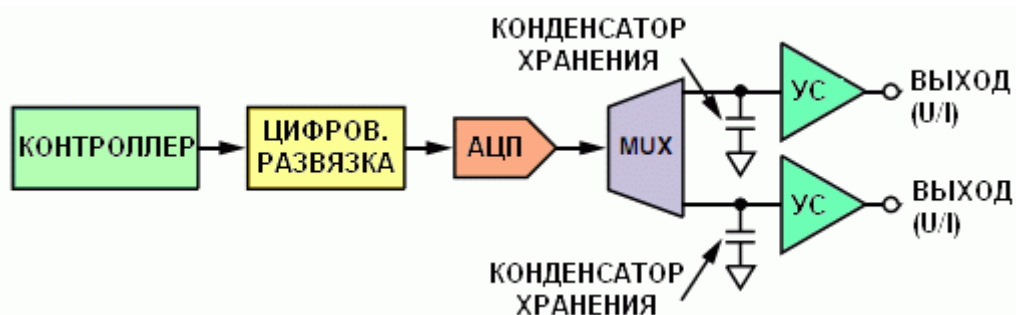


Рис. 5. Пример архитектуры *один УВХ на канал*

В таблице 2 дается перечень одноканальных 16-разрядных ЦАП-ов с временем установления от 4 мкс до 10 мс, годных для реализации приложений с архитектурой *один УВХ на канал*.

### Ключи и мультиплексоры

В таблице 3 приводится перечень ключей и мультиплексоров, выполненных по *iCMOS*<sup>®</sup> технологии. Данные ключи и мультиплексоры обладают малой емкостью, имеют малую инжекцию из канала управления обладают малым переходным сопротивлением в открытом состоянии и передают в аналоговый канал импульсную помеху низкого уровня. Для сравнения приводятся параметры популярных ранее мультиплексоров ADG508/ADG509.

### Гальваническая развязка цепей питания и цифровых сигналов

В распределенных системах для поддержания безопасного уровня напряжения на интерфейсе пользователя, а так же уменьшения влияния импульсных помех обычно используют гальваническую развязку, которая может быть оптической, трансформаторной или емкостной.

В широко используемых элементах опторазвязки входной электрический сигнал с помощью светодиодов преобразуется в световой поток, который, попадая на фотоприемник, снова преобразуется в электрический сигнал. Светодиоды имеют низкий коэффициент преобразования (входной ток – выходной световой поток), а фотоприемники имеют большое время отклика. При этом, оптопары имеют ограниченное «время жизни» и значительный разброс характеристик от температуры. Они имеют низкую скорость и значительное потребление.

Новый метод гальванической развязки на основе чип-трансформаторов и КМОП-технологии был предложен ADI. Устройства, реализующие этот метод получили название *iCouplers*. Они совместимы со стандартными уровнями КМОП, стабильны в зависимости от температуры, компактны, потребляют гораздо меньшую мощность и имеют низкую стоимость по сравнению с элементами опторазвязки. Типовая схема ИС четырех канальной гальванической развязки приведена на Рис. 6.

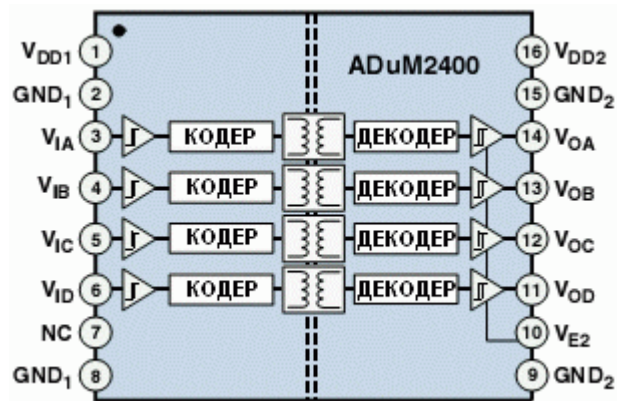


Рис. 6 Четырех-канальная ИС гальванической развязки ADuM2400

*iCouplers* от двух до четырех раз быстрее наиболее быстродействующих ИС опторазвязки, а потребляют в 50 раз меньше последних. Они более надежны и имеют низкую стоимость. В таблице 4 приводится перечень ИС *iCouplers*.

Другим очень важным вопросом, возникающим при разработке гальванически развязанных систем, является передача через барьер изоляции питания. Семейство *isoPower* ADuM524x обеспечивает передачу через барьер изоляции питания до 50 мВт и нескольких сигналов, как показано на Рис. 7. Электрическая прочность изоляции доходит до 5 кВ.



Рис. 7. Блок-схема ИС ADuM5242 двухканальной развязки с интегральным dc-dc конвертером. ИС имеет все сертификаты

### Входные модули ПЛК

Выбор архитектуры входных устройств ПЛК определяется уровнем входных сигналов, подлежащих обработке. Диапазон входных сигналов в зависимости от применяемых датчиков лежит в области от  $\pm 10$  мВ до  $\pm 10$  В. Приводимая ниже таблица дает некоторое представление о датчиках и их выходных сигналах.

Для приложений с ПЛК можно использовать различные типы АЦП – последовательного приближения (ПП), параллельного кодирования (ПК), интегрирующие (включая сигма-дельта), АЦП с зарядо-разрядным устройством. Применение конкретного типа АЦП определяется диапазоном входных сигналов, допустимой величиной погрешности, частотным составом сигналов. Наиболее широко в приложениях используются АЦП ПП и сигма-дельта АЦП. Современные АЦП ПП обеспечивают разрешение от 12 до 18-разрядов при высокой частоте опроса входного сигнала. Эти АЦП идеально подходят для многоканальных приложений с мультиплексированием.

## Диапазон входных сигналов

Уровень Вх. сигнала	±10мВ	±25мВ	±50мВ	±80мВ	±0.25В	±0.5В	±1В	±1.25В	±2.5В	±5мВ	±10В
Датчик Деформац.	+										
Термопары К Т J N E R S B U L		+	+	+							
Резистор 48 Ом 150 Ом 300 Ом 600 Ом 6 кОм Рез. Датч. Температ. Cu 10 Ni, Si/K1 Pt Конд. Возд.			+	+	+	+	+	+			+
					Pt100	Pt200	Ni100 Ni120/200 Pt100	Pt500	Ni500 Pt200 Pt1000	Ni1000 Pt500	Pt1000

Сигма-дельта АЦП обеспечивают разрешение от 16 до 24-разрядов. Однако, время преобразования их весьма велико. АЦП этой архитектуры обычно содержат в своем составе усилители с программируемым коэффициентом передачи на входе, что позволяет подключать к ним датчики без дополнительных нормирующих элементов.

Ключевым моментом при работе с сигналами низкого уровня является дифференциальный съём измерительных сигналов с датчиков, что позволяет эффективно бороться с синфазными наводками, являющимся следствием работы силовых элементов систем (двигателей, нагревателей, силовых приводов и линий).

Однофазный съём сигналов обычно выполняют для сигналов высокого уровня, где влиянием наводок можно пренебречь.

На Рис. 8 показана блок-схема типового изолированного входного модуля ПЛК. В составе блок-схемы имеются следующие элементы: устройства возбуждения датчиков, схемы нормирования входных сигналов, входной мультиплексор со схемами защиты, программируемый усилитель, АЦП и схема гальванической развязки. В настоящее время все элементы блок-схемы интегрированы в состав ИС АЦП и ИС входного аналогового устройства. Примером могут служить АЦП семейств AD761x (16-разрядные) и AD763x (18-разрядные) PulSAR<sup>®</sup>, выполненные по iCMOS технологии. Эти ИС имеют в своем составе управляемый источник опорного напряжения, что позволяет в реальном времени менять значение диапазона входного аналогового напряжения (0 В – 5 В; 0 В – 10 В; ±5 В; ±10 В). В таблице 5 приводится перечень 16-/18-разрядных АЦП PulSAR<sup>®</sup> идеально подходящих для построения входных модулей ПЛК.

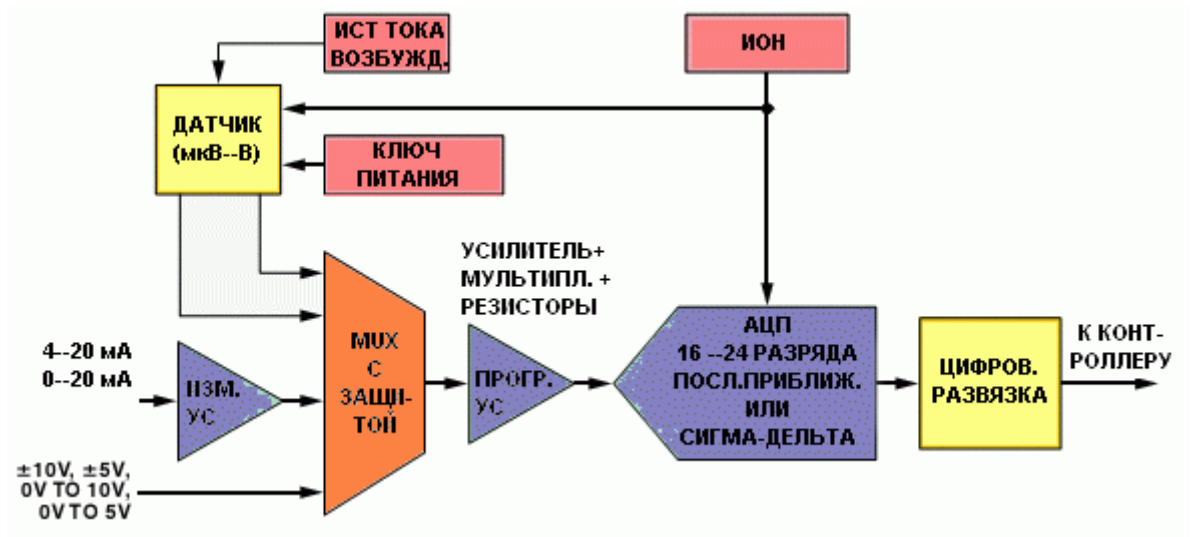


Рис. 8. Блок-схема типowego входного модуля ПЛК с цифровой развязкой

Другим семейством АЦП с еще более высокой степенью интеграции является семейство сигма-дельта АЦП AD7793/ AD7794/ AD7795/ AD7798/ AD7799. ИС семейства обладают сверхмалым шумом (40 нВ), имеют малое потребление (400 мкА), имеют следующие встроенные устройства: программно-управляемый усилитель (от 1 до 128), ИОН, генераторы тока возбуждения датчиков и тактовый генератор. ИС размещаются в компактном корпусе TSSOP. На Рис. 9 показана типовая схема построения устройства измерения сигналов с мостового датчика деформации и термопреобразователя сопротивления на основе ИС AD7794/AD7795. В таблице 6 приводятся характеристики АЦП семейства AD779х.

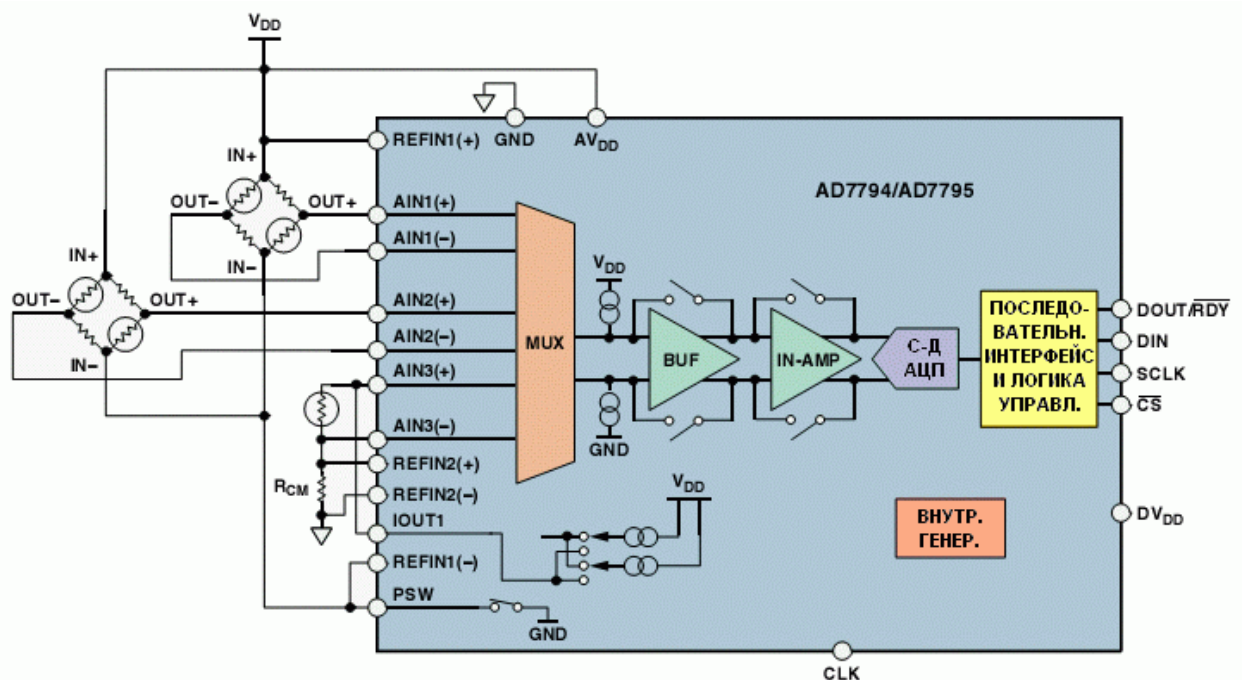


Рис. 9. Измерение сигналов низкого уровня с помощью ИС AD7794/AD7795

Сигма-дельта АЦП AD7732 (2 дифференциальных канала), AD7734 (4 однофазных канала) и AD7738 (4 дифференциальных или 8 однофазных

каналов), предназначены для создания прецизионных многоканальных приложений с высоким входным напряжением ( $\pm 10$  В), с малым периодом сканирования и возможностью защиты входов от перегрузки по напряжению. На Рис. 10 показана типовая схема применения ИС AD7734 для многоканального измерения сигналов высокого уровня: 4 однофазных входа с однополярными и биполярными регистрируемыми напряжениями и допустимой перегрузкой до  $\pm 16,5$  В.

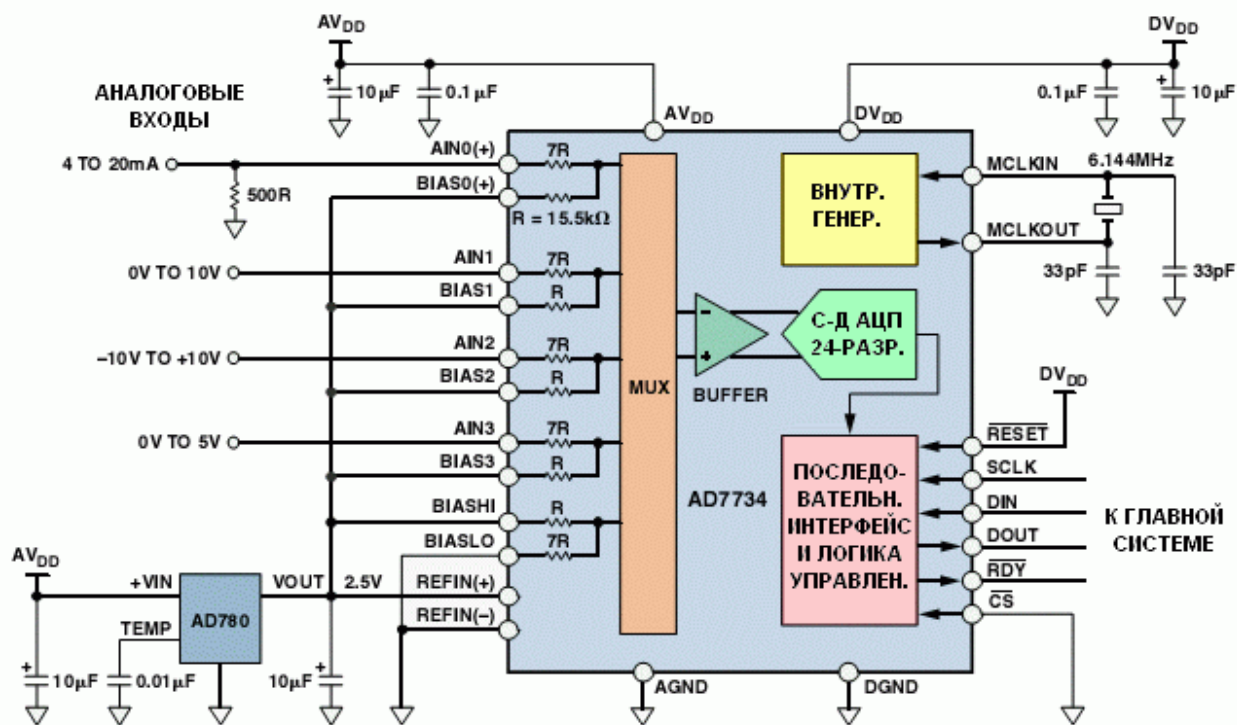


Рис. 10. Схема многоканального измерения сигналов высокого уровня на основе ИС AD7734

### Источники опорного напряжения (ИОН)

Для некоторых приложений требуются прецизионные внешние ИОН. В таблице 7 приводится широкая номенклатура прецизионных ИОН, ориентированных на различные приложения (компактные, переносные и батарейные устройства).

### Усилители (Инструментальные и операционные)

Инструментальные усилители (ИУ) усиливают разностную (дифференциальную) компоненту входного сигнала, приложенного к двум его входам, ослабляют синфазную компоненту и на выходе дают однофазный сигнал, который смещен на величину напряжения пропорционального напряжению, приложенному к входу управления смещением. Современные ИУ имеют высокие значения коэффициента ослабления синфазного сигнала на постоянном токе и на низкой частоте:  $80 \text{ дБ} < \text{КОСС} < 120 \text{ дБ}$ . Основная функция ИУ – съем и выделение малого сигнала датчика или иного источника измерительного сигнала. Как и все УПТ, ИУ должны иметь малое напряжение смещения по постоянному току и малую величину его дрейфа.

Примером прецизионного универсального ИУ широкого применения может быть ИС AD8220. ИУ имеет следующие характеристики:  $\text{КОСС} = 80 \text{ дБ}$ , смещение равно  $1 \text{ мВ}$ , дрейф смещения составляет  $10 \text{ мкВ}^\circ\text{C}$ , коэффициент передачи задается внешним резистором и может изменяться в пределах от 1 до 1000.

Операционные усилители получили мощный импульс в улучшении характеристик при внедрении технологий *iCMOS* и *iPolar*. Краткие характеристики одноканальных и многоканальных усилителей приведены в таблице 8 и таблице 9, соответственно. Усилители работают с повешенным питанием, имеют малое потребление, обладают малым смещением и выпускаются в компактных корпусах.

### Заключение

Основное направление в развитии ПЛК и их компонент – развитие их функций при уменьшении стоимости и объема, занимаемого на печатной плате. Удовлетворяя столь жестким требованиям, ADI разрабатывает все новые технологические цепочки такие, как, например, *iCMOS* (высоковольтный кремний – субмикронный КМОП – комплементарные биполярные структуры). На основе этой технологии достаточно просто получают сложные аналоговые ИС способные работать при напряжениях до 30 В без дополнительных ИС-трансляторов.

Технология гальванической развязки *iCoupler* на основе чип-трансформаторов позволяет получать миниатюрные, надежные, стабильные, малопотребляющие и недорогие ИС, являющиеся более качественной альтернативой ИС опторазвязки.

Технология глубоких изолирующих канавок *iPolar* позволяет получать аналоговые устройства с питанием до  $\pm 18$  В и существенно более высокими характеристиками по сравнению с биполярными при сокращении размеров на 75%, а потребляемой мощности в два раза.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

**Таблица 1. Многоканальные 16-разрядные ЦАП-ы для реализации архитектуры один ЦАП на канал**

компонент	число каналов	тип выхода	инт.нел. (МЗР)	вид ИОН	время установления (мкс)	тип корпуса
AD5668	8	Unipolar	8	Int/ext	6	TSSOP
AD5678	4 × 12-bit 4 × 16-bit	Unipolar	8	Int/ext	6	TSSOP
AD5544	4	Unipolar/bipolar	4	Ext	2	TSSOP
AD5664	4	Unipolar	6	Ext	4	LFCSP, MSOP
AD5664R	4	Unipolar	8	Int/ext	4	LFCSP, MSOP
AD5666	4	Unipolar	32	Int/ext	6	TSSOP
AD5764	4	Bipolar	—	Int/ext	8	TQFP
AD5663	2	Unipolar	6	Ext	4	LFCSP, MSOP
AD5663R	2	Unipolar	8	Int/ext	4	LFCSP, MSOP

**Таблица 2. Одноканальные 16-разрядные ЦАП-ы**

компонент	тип выхода	инт.нел. (МЗР)	тип ИОН	время установления (мкс)	тип корпуса
AD5570	Bipolar	0.4	Ext	12	SSOP
AD5660	Unipolar	16	Int	8	MSOP, SOT-23
AD5662	Unipolar	8	Ext	8	MSOP, SOT-23
AD5062	Unipolar	0.5	Ext	4	SOT-23
AD5063	Unipolar/bipolar	1	Ext	4	MSOP
AD5060	Unipolar	1	Ext	4	SOT-23
AD5061	Unipolar	0.5	Ext	4	SOT-23



Таблица 3. iCMOS ключи и мультиплексоры

компонент	функция	емкость/канал (пФ)	$Q_{INJ}$ (пКул.)	$R_{ON}$ (Ом)
ADG1211	Quad SPST switch	1.2	-0.3	260
ADG1212	Quad SPST switch	1.2	-0.3	260
ADG1213	Quad SPST switch	1.2	-0.3	260
ADG1236	Dual SPST switch	1.6	-1	260
ADG1204	4:1 mux	4.2	-0.7	260
ADG1208	8:1 mux	7	0.4	270
ADG1209	Dual 4:1 mux	4.5	0.4	270
ADG1308	8:1 mux	15	2	300
ADG1309	Dual 4:1 mux	10	2	300
ADG1408	8:1 mux	90	20	9
ADG1409	Dual 4:1 mux	45	20	9
ADG508F	8:1 mux	50	4	400
ADG509F	Dual 4:1 mux	25	4	400

Таблица 4. Цифровые изоляторы

компонент	число каналов	конфигурация каналов (прямых каналов/об- ратных)	макс. действующее напря- жение изоля- ции (кВ)
ADuM1100	1	1/0	2.5
ADuM1200	2	2/0	2.5
ADuM1201	2	1/1	2.5
ADuM1300	3	3/0	2.5
ADuM1301	3	2/1	2.5
ADuM1400	4	4/0	2.5
ADuM1401	4	3/1	2.5
ADuM1402	4	2/2	2.5
ADuM2400	4	4/0	5
ADuM2401	4	3/1	5
ADuM2402	4	2/2	5

Таблица 5. 16- и 18-разрядные АЦП PulSAR с программируемым диапазоном входных сигналов

компонент	разрешение (разрядов)	тип связанного интерфейса	число выборки в секунду	диапазон напряжения питания (В)	максим. мощность (мВт)	напряжение ИОН (В)	диапазон входных сигналов	тип корпуса
AD7610	16	Serial/ parallel	250	$\pm 16.5$	38	5	0V to +10 V, $\pm 5$ V, $\pm 10$ V	48-lead LQFP, LFCSP
AD7612	16	Serial/ parallel	750	$\pm 16.5$	100	5	0V to +10 V, $\pm 5$ V, $\pm 10$ V	48-lead LQFP, LFCSP
AD7631	18	Serial/ parallel	250	$\pm 16.5$	100	5	0V to +10 V, $\pm 5$ V, $\pm 10$ V	48-lead LQFP, LFCSP
AD7634	18	Serial/ parallel	670	$\pm 16.5$	100	5	$\pm 10$ V uni, $\pm 20$ V bi, diff	48-lead LQFP, LFCSP

**Таблица 6. Функции сигма-дельта АЦП семейства AD779х**

компонент	разрешение (разрядов)	число каналов	программ. УС	встроенный ИОН	ист.тока возб. датчика	датчик температуры	автоопред. внешнего ИОН	опред.обрыва датч.
AD7792	16	3	Yes	Yes	Yes	Yes	No	Yes
AD7793	24	3	Yes	Yes	Yes	Yes	No	Yes
AD7794	24	6	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
AD7795	16	6	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
AD7798	16	3	Yes	No	No	No	Yes	Yes
AD7799	24	3	Yes	No	No	No	Yes	Yes

**Таблица 7. ИОН**

семейство ИОН	характеристика	выходное напряжение (В)	Основные спецификации
ADR43х	XFET® series reference	2.048, 2.5, 3.0, 4.096, 4.5, 5	±0.04% accuracy 3.5 mV p-p (0.1 Hz to 10 Hz)
ADR0х	Ultracompact, high precision	2.5, 3.0, 5, 10	±0.1% accuracy low drift: SOIC: 3 ppm/°C TSOT-23 and SC70: 9 ppm/°C
ADR39х	High precision, micropower series reference	2.048, 2.5, 4.096, 5	±6 mV accuracy low power: 120 µA max 5 mV p-p (0.1 Hz to 10 Hz)
ADR5хх	High performance shunt references	1.0, 1.2, 2.048, 2.5, 3.0, 4.096, 5	±0.2% accuracy tempco: 40 ppm/°C
ADR36х	High precision, low power series reference	2.048, 2.5, 3.0, 3.3, 4.096, 5	±3 mV initial accuracy quiescent current: ≤ 190 µA 8.25 mV p-p (0.1 Hz to 10 Hz)
ADR44х	Ultralow noise, LDO XFET series reference	2.048, 2.5, 3.0, 4.096, 5	±0.04% accuracy 1.0 mV p-p (0.1 Hz to 10 Hz) tempco: B-Grade: 3 ppm/°C

**Таблица 8. Часто применяемые в ПЛК и устройствах нормирования сигналов одноканальные усилители**

компонент	напряжение питания (В)	смещение (мВ)	скорость нараст. (В/мкс)	ток потребления (мА/усилитель)	тип корпуса
AD8671	36	0.075	4	3	MSOP
AD8675	36	0.050	1	3	MSOP
AD8677	36	0.075	0.6	1.2	TSOT
OP1177	36	0.060	0.7	0.4	MSOP
OP07D	36	0.15	0.2	0.4	SOT-23
AD820	36	1	3	0.8	MSOP
AD8641	36	0.5	5	0.7	SC70
OP07	36	0.075	0.2	0.2	SOIC

**Таблица 9. Часто применяемые в ПЛК и устройствах нормирования сигналов многоканальные усилители**

компонент	напр.питания (В)	смещение (мВ)	скорость нараст. (В/мкс)	ток потребления (мА/усилитель)	тип корпуса
ADA4004-4	36	0.100	2.7	1.7	LFCSP
AD8674	36	0.060	0.7	0.4	TSSOP
AD8513	36	0.4	3	0.8	TSSOP
AD8625	26	0.5	5	0.7	TSSOP
OP482	36	3	8.5	0.25	SOIC
OP4177	36	0.06	0.7	0.4	TSSOP
AD824	36	0.4	3	0.8	SOIC
AD8643	26	0.5	5	0.7	TSSOP
OP747	36	0.1	0.2	0.3	TSSOP

## Рассмотрение конструкции входных устройств широкополосных АЦП

Rob Reeder [rob.reeder@analog.com]  
Ramya Ramachandran

В приложениях трансформаторы чаще всего применяются для двух целей: либо для получения гальванической развязки, либо для преобразования однофазного сигнала в парафазный. Последний случай характерен для широкополосных приложений. В работе рассматривается влияние амплитудных и фазовых рассогласований обмоток парафазного трансформатора на точность воспроизведения сигнала на его выходе. Схема, с помощью которой производились измерения, приведена на Рис.2.

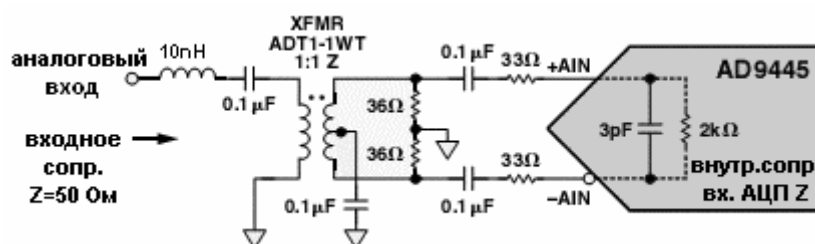


Рис. 2. Широкополосный АЦП AD9445 с исследуемым трансформатором на входе

В работе показано, что наибольшее влияние на ближайшую, вторую гармонику оказывает фазовое рассогласование обмоток трансформатора. В качестве меры по уменьшению степени рассогласования авторами предлагаются две схемы: с двумя симметрирующими трансформаторами и с двумя каскадно включенными трансформаторами Рис. 6 и Рис. 7, соответственно.

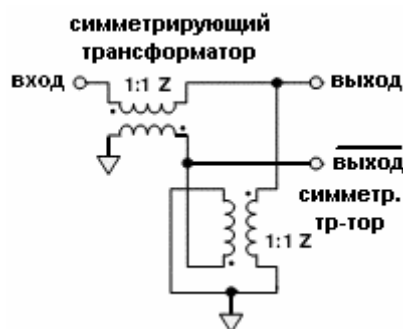


Рис. 6. Схема с двумя симметрирующими трансформаторами

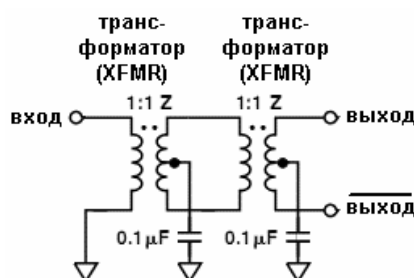


Рис. 7. Схема с двумя каскадно включенными трансформаторами

Основной недостаток двух трансформаторных схем заключается в увеличении стоимости и занимаемого места на плате. В то же время подчеркивается, что в узкополосных приложениях малые искажения по второй гармонике могут быть

достигнуты с использованием одного трансформатора при условии гарантирования поставщиком малого фазового рассогласования обмоток. Если же потребитель не может по каким-то причинам получить указанные цифры, то он самостоятельно может выполнить тестирование трансформаторов, используя схему Рис. 2 и код пакета Матлаб, приводимый ниже.

**MATLAB code used in this experiment:**

```

% Matlab code to study the effect of magnitude
and phase imbalance of input
% signals on the output
% Oct 19, 2005
clear all; close all;

% Error terms that can be set by the user
magnErrdB = 0; %in dB
phaseErr = 50; %in degrees
sd_noise = 100e-6; %std dev of noise

% Convert dB magnErr to voltage level
magnErr = 10^(magnErrdB/20);

% Coefficients
a0=0; %dc offset
a1=0.89; a2=0.00038; a3=0.0007; %coefficients
of 1st,2nd,3rd harmonics
%to match AD9445

typical FFT

fn = 100; %input freq - does not affect
calculations
t = 0:1:2047;
%Input signals
x1 = 0.5*sin((t/2048)*2*pi*fn);
x2 = 0.5*(magnErr)*sin(((t/2048)*2*pi*fn)-pi-
(phaseErr*pi/180));
%Each differential signal multiplied by the
transfer function
y1 = a0 + a1*x1 + a2*x1.^2 + a3*x1.^3;
y2 = a0 + a1*x2 + a2*x2.^2 + a3*x2.^3;
%Output
y = y1 - y2;
noise = sd_noise*randn(1,length(y));
y = y + noise;

% figure; plot(1000*t(1:80),x1(1:80),1000*t(1:8
0),x2(1:80),1000*t(1:80),y(1:80));

%Take the FFT
fft_y = fft(y/1024, 2048);
Pyy = 10*log10(fft_y.*conj(fft_y));
freq_axis = 0:1:1023;
% figure; plot(freq_axis, Pyy(1:1024), '-d');
% title('Frequency content of the output');
% xlabel('Frequency (Hz)');
% axis tight;

%Print fundamental and 2nd, 3rd harmonics
f = Pyy(101)
h2 = Pyy(201)
h3 = Pyy(301)

```

## Новые изделия

### July

ADC, Sigma-Delta, 6-channel, 16-bit, includes in-amp and reference	AD7795
ADC, Successive-Approximation, 16-bit, 2-MSPS, 1.5-LSB INL	AD7622
ADCs, Successive-Approximation, 6-channel, 14-/12-bit, 250-kSPS	AD7657/AD7658
Amplifiers, Operational, 4-MHz, dual- and quad	AD8666/AD8668
Codec, Audio, 24-bit, 192-kHz, includes PLL, 4 ADCs, 8 DACs	AD1938
Codec, Audio, 24-bit, 192-kHz, includes PLL, 2 ADCs, 8 DACs	ADAU1328
Controller, Synchronous Buck, 2-/3-/4-phase	ADP3191
Converter, Capacitance-to-Digital, compensates for environment	AD7142
DACs, Voltage-Output, quad, 12-/16-bit	AD5624/AD5664
Driver, MOSFET, dual, 12-V, high-side bootstrap, with output disable	ADP3110A
Monitor, Temperature, digital, 12-bit	ADT7408
Multiplexers, CMOS, 8-channel single-ended/4-channel differential	ADG1308/ADG1309
Switches, Analog, 8 10 cross-point array	ADG2108/ADG2188
Synthesizer, Direct Digital, 500-MSPS, 10-bit	AD9911

### August

ADC, Pipelined, quad, 14-bit, 50-MSPS, LVDS outputs	AD9259
ADC, Pipelined, quad, 8-bit, 100-MSPS, LVDS outputs	AD9287
Codec, Audio, 24-bit, 192-kHz includes PLL, 4 ADCs, 8 DACs	AD1939
DAC, Voltage-Output, 18-bit, SOT-23 package	AD5680
DACs, Voltage-Output, dual, 12-/14-/16-bit, 5-ppm/ C reference	AD5623R/AD5643R/AD5663R
Multiplier, Analog, symmetric, dc-to-2-GHz	ADL5391
References, Voltage, LDO, precision, micropower, TSOT-23 package	ADR121/ADR125/ADR127

### September

ADC, Half-Flash, 8-channel, 8-bit, 2-MSPS	AD7829-1
ADC, Pipelined, 16-bit, 80-/105-MSPS, IF-sampling	AD9460
ADC, Sigma-Delta, 16-/24-bit, low-power, bridge-sensor applications	AD7796/AD7797
ADC, Successive-Approximation, 18-bit, 250-kSPS, 1.5-LSB INL	AD7691
Amplifier, Audio, stereo, high-efficiency, Class-D	SSM2302
Amplifier, Current-Sense, high-side	ADM4073
Amplifier, Instrumentation, precision, dual	AD8222
Amplifier, Operational, quad, precision, low-noise, rail-to-rail outputs	AD8664
Amplifier, Video, dual, low-power, 100 nA shutdown current	ADA4853-2
Controller, Hot-Swap, 1.6-V to 16.5-V supply rails, soft-start	ADM1170
Controller, Hot-Swap, 6-lead TSOT package	ADM4210
Controllers, Hot-Swap, 2.7-V to 16.5-V supply rails	ADM1171/ADM1172
Controller, Synchronous Buck, multiphase, 8-bit VID code	ADP3192
Converter, DC-to-DC, step-up, lossless current sensing	ADP1621
Converters, DC-to-DC, step-down, 97% efficiency	ADP2105/ADP2106/ADP2107
DACs, Current-Output, 8-/10-/12-/14-bit, 175-MSPS, TxDAC	AD9704/AD9705/AD9706/AD9707
Driver, Power Amplifier, 700-MHz to 1000-MHz, 50- matching	ADL5322

Driver, Power Amplifier, 1700-MHz to 2400-MHz, 50- matching	ADL5323
Energy Meter, includes fault detection, missing-neutral detection	ADE7761A
Filter, Video, triple, high-definition video	ADA4417-3
Gain Block, IF, dc-to-1000-MHz	ADL5530
Gyroscope, 300 /s, low-noise	ADIS16120
Gyroscope, Yaw-Rate, 80 /s, SPI interface	ADIS16080
Inclinometer, 360 , digitally programmable	ADIS16203
Isolators, Digital, 2-channel, enhanced ESD protection	ADuM3200/ADuM3201
Monitor, System, temperature and voltage, one-wire data interface	ADT7485A
Multiplexers, iCMOS, low-capacitance	ADG1206/ADG1207
Sequencers, Power Supply, drive N-channel power FETs	ADM6819/ADM6820
Switch, HDMI/DVI, 2:1, provides equalization and pre-emphasis	AD8190
Switches/Multiplexers, CMOS, wideband, I2C® -compatible	ADG79xA/ADG79xG
Synthesizer, Frequency, fractional-N, 6 GHz	ADF4156
Translator, Logic-Level, low-voltage, bidirectional	ADG3308-1