НОВОСТИ ЭЛЕКТРОНИКИ

№5 (85), 2010 г.

Информационно-технический журнал

Учредитель – ЗАО «КОМПЭЛ»

Издается с 2005 г.

Свидетельство о регистрации:
ПИ № ФС77-19835

Редактор:
Геннадий Каневский
vesti@compel.ru
Выпускающий редактор:
Анна Заславская

Редакционная коллегия:
Андрей Агеноров
Евгений Звонарев
Сергей Кривандин
Николай Паничкин
Александр Райхман
Борис Рудяк
Илья Фурман

Дизайн, графика, верстка:
Елена Георгадзе
Владимир Писанко
Евгений Торочков

Распространение:
Анна Заславская

Электронная подписка:
www.compeljournal.ru

Отпечатано:
«Гран При»
г. Рыбинск

Тираж – 1500 экз.
© «Новости электроники»
Подписано в печать:
15 апреля 2010 г.

СОДЕРЖАНИЕ

БРЕНД НОМЕРА: *MAXIM INTEGRATED PRODUCTS, INC.*

Россия занимает приоритетную позицию в нашей региональной стратегии
Уолтер Сангалли 3

Микроэлектроника от Maxim для сигнальных каскадов
Наталья Кривандина 5

Приемопередатчики Maxim для индустриальных интерфейсов – обзор новинок
Михаил Новиков 8

Интерфейсы токовой петли
Михаил Чигарев 15

Операционные усилители компании Maxim
Андрей Никитин 19

Аналогово-цифровые преобразователи: новинки от Maxim
Константин Староверов 26

Новые цифро-аналоговые преобразователи компании Maxim
Андрей Никитин 30

МАХИМ
INNOVATION DELIVERED™

В СЛЕДУЮЩИХ НОМЕРАХ

- Микроконтроллеры от STMicroelectronics
- Высоковольтные ИС управления от IR
- Современные приемопередатчики интерфейсов

Если вы хотите предложить интересную тему для статьи в следующий номер журнала – пишите на адрес *vesti@compel.ru* с пометкой «Тема в номер».

ОТ РЕДАКТОРА



Уважаемые читатели!

Бизнесмены знают, что судьбу коммерческого предприятия не в последнюю очередь определяет правильно выбранное название. «Как вы яхту назовете — так она и поплывет». В этом смысле придуманное в 1983 году основателем **Maxim Integrated Products, Inc.** Джеком Гиффордом (*Jack Gifford*) название очень показательно. Парижский ресторан Maxim — это класс, шик, особый подход к высокой кухне. Полупроводниковый Maxim изначально пошел по сходному пути, развивая особость и непохожесть на других. Сюда входят перфекционизм разработок (прецизионность, минимальное энергопотребление и миниатюрные корпуса), инновационность (каждый день — новое изделие или новый корпус, максимальное инвестирование в новые разработки, минимальное — в имиджевую рекламу), ставка на прямые отношения с разработчиками и производителями, особый тип капитализации — так называемое «народное акционирование» при сохранении четкого управления со стороны совета директоров. Результат всего перечисленного — «звездные часы» компании в критические для остальной полупроводниковой отрасли моменты. Во-первых, ставка на минимизацию размеров и энергопотребления позволила компании в начале девяностых «поймать волну» мобильной революции — лавинного роста производства персональных вычислительных устройств и устройств мобильной связи, и эта волна продолжается до сего дня. Во-вторых, грамотная бизнес-стратегия Дж. Гиффорда позволила компании наилучшим образом пережить отраслевой кризис 2000 года, когда единственной крупной аналоговой компанией, у которой на складе поддерживался широкий ассортимент продукции, какое-то время была компания Maxim, а конкуренты указывали огромные сроки поставок. В-третьих, та же стратегия в настоящее время помогает Maxim успешно справляться уже с последствиями глобального экономического кризиса.

Maxim находится на переднем крае получения, преобразования, передачи и отработки аналогового сигнала. На продукцию компании должны обратить самое пристальное внимание разработчики лабораторного оборудования (особенно — с автономным питанием), индустриальной электроники, систем безопасности, медицинской электроники, импульсных источников питания малой и средней мощности. А помощь в разработке на базе ИС Maxim и поставке этой продукции для серийного производства всегда готов оказать крупнейший в России дистрибьютор продукции Maxim — компания КОМПЭЛ.



С уважением,
Геннадий Каневский

Уолтер Сангалли

РОССИЯ ЗАНИМАЕТ ПРИОРИТЕТНУЮ ПОЗИЦИЮ В НАШЕЙ РЕГИОНАЛЬНОЙ СТРАТЕГИИ



Когда 10 лет назад только завязывались деловые отношения между компанией КОМПЭЛ и одним из ведущих мировых производителей аналоговых и аналого-цифровых микросхем ***Maxim Integrated Products, Inc.,*** *одним из тех, кто в значительной мере способствовал установлению и развитию контактов был тогдашний* ***исполнительный директор по применению в странах Европы Уолтер Сангалли.*** *Сейчас господин Сангалли, уже в новой должности* ***управляющего директора по продажам и применению в Европе*** *дал интервью редактору журнала «Новости электроники» Геннадию Каневскому.*

Геннадий Каневский: Принципы, выработанные Джеком Гиффордом (Jack Gifford) (1941 – 2009), основателем компании Maxim, помогли ей выстоять во время кризиса электронной отрасли в 2000 году. Что помогло компании на этот раз, во время глобального кризиса? Какие группы товаров пользовались наибольшим спросом?

Уолтер Сангалли: Недавно, во время моей командировки в новую европейскую штаб-квартиру Maxim, которая располагается в Дублине, в Ирландии, я услышал интересную фразу (или пословицу). Она гласит: «Форма времена, класс постоянен». Я думаю, что сказанное имеет глубокий смысл и суть по отношению к тому, каким образом работает Maxim, как компания, и к тому, как мы справились с некоторыми наиболее сложными бизнес-задачами за последние несколько лет. Правда, я бы слегка изменил эту фразу. Она бы звучала так: «Реакция временна, принципы постоянны».

Подумайте об этом следующим образом. Когда Джек Гиффорд более 25 лет назад основал компанию Maxim, его четкое представление о будущем основывалось на постоянно развивающихся технологиях для удовлетворения потребностей самых требовательных заказчиков на постоянно изменяющемся рынке. Именно поэтому он выработал знаменитые «Принципы Maxim» – совокупность тринадцати основных правил, которые, как он был уверен, гарантируют его компании стабильность на долгие годы и обеспечат финансовое благополучие на всех этапах полупроводникового бизнеса, известного своим циклическим характером. Существуют три основных направления в правилах Гиффорда, которые условно можно изложить так: не бояться перемен; отстаивать свое мнение; следовать намеченному курсу, как сплоченная и увлеченная своим делом команда. Эти истины, способствующие росту в хорошие времена и обеспечивающие прочный фундамент, помогли нам пройти через штормовые воды последних лет так же, как и в 2000 году, упомянутом в вашем вопросе. Работают ли принципы? Мы – компания, у которой нет долгов, с очень хорошими финансовыми показателями, выпускающая новое изделие каждый день и увеличивающая долю рынка. Судите сами.

Как недавно заметил наш генеральный директор (CEO) Тунч Долука (*Tunc Doluca*), во время последнего кризиса мы смогли достичь оптимального баланса между высоким размером прибыли и ростом. Этого удалось добиться распределением наших усилий между бизнесами, приносящими высокую прибыль, такими как рынки промышленной электроники и связи, и быстрорастущими сегментами, такими как потребительская электроника и вычислительная техника. Для создания инновационных дифференцированных продуктов мы инвестируем в исследования и разработку значительно больше средств, чем наши конкуренты. Мы довели до совершенства наши возможности интегрировать множество базовых аналоговых функций на одном чипе, что позволило предложить нашим клиентам дифференцированные решения, максимально сокращающие сроки вывода их продукции на рынок.

Инновационные и интеграционные возможности Maxim не имеют себе равных в отрасли. Вспомните: у нас более чем 40000 заказчиков, покупающих более 6000 продуктов! Это уникальное предложение дает нам устойчивое конкурентное преимущество и помогло нам быстро вернуться к тем уровням доходов, которые были у компании до начала глобальных экономических проблем. Реальная прочность компании часто определяется скоростью и степенью возврата к прежним показателям при возникновении сложностей, и на сегодняшний день мы качественно и быстро возвращаемся к докризисному уровню.

На Ваш вопрос относительно группы товаров ответить однозначно сложно. У нас обширный ассортимент продукции и диверсифицированный доход. Однако не секрет, что управление электропитанием – это тот сегмент рынка, в котором надо сейчас работать, и здесь мы являемся лидерами рынка.

Г.К.: В продолжение темы кризиса: энергосбережение и миниатюризация – одни из ключевых привлекательных сторон Maxim для OEM-заказчиков (особенно тех, кто производит портативную электронику). Во время кризиса большинство конкурентов Maxim нацелены именно на это. Сохраняет ли Maxim лидирующие позиции?

У.С.: Да, в очень большой степени. Энергосбережение и миниатюризация – показатели, которые высоко ценятся нашими OEM и всеми другими заказчиками, и мы интенсивно вкладываем деньги в эти области. Результат этих инвестиций отчетливо виден. Мы предлагаем свыше 1800 ИС управления электропитанием и зарядом аккумуляторов, а также являемся мировыми лидерами в области разработки и производства дискретных решений для источников питания. Наша продукция находит применение как в автономных, так и преобразователях энергии с подключением к электросети, во всех видах портативных устройств управления питанием и во многих других устройствах для жестких условий эксплуатации, включая автомобильную электронику. Я действительно верю, что наши достижения в области миниатюризации и снижения энергопотребле-

ния будут работать на благо нашей компании на любом этапе существования полупроводниковой промышленности, а не только во времена кризиса. Например, в 2008 мы были номинированы на премию 'Ultimate Product' журнала EE Times за такие продукты, как **MAX5092** (LDO со входным напряжением 4…72 В с предварительным повышающим регулятором) и **MAX15020** (2 А, 40 В понижающий DC/DC-преобразователь с динамическим программированием выходного напряжения). Эти микросхемы получили признание благодаря своим энергосберегающим характеристикам и миниатюризации задолго до банковского кризиса, вызвавшего текущие экономические сложности.

Г.К.: Maxim известен своими точными ИС, позволяющими получать, передавать и преобразовывать сигналы внешнего мира. Могут ли инженеры ожидать в ближайшем будущем каких-то новинок от Maxim в этой сфере?

У.С.: Да, сейчас ведется очень много новых разработок. Часть из этих новых решений уже доступны, другие будут доступны в будущем. Как уже было сказано, мы являемся лидерами в области управления электропитанием, и с учетом существующего ассортимента и тех разработок, которые ведутся, мы рассчитываем укрепить свои позиции в этом секторе. Например, у нас есть уникальный процесс SAT, который сочетает две важные особенности: обеспечивает необходимое высокое напряжение и возможность цифровой обработки сложных алгоритмов. Помимо этого, у нас имеется множество «систем на кристалле», которые идеально подходят для применения на рынках медицинского оборудования и систем защиты транзакций. Большинство наших продуктов являются лидерами по энергоэффективности: например, у нас есть уникальная технология, основанная на 65 нм кремниевой структуре, которая к 2015 году позволит сэкономить до трех мегаватт энергии в ряде крупнейших проектов. Я бы мог говорить о наших текущих разработках часами, поскольку этот вопрос никогда не оставлял меня равнодушным, но позвольте привести один последний пример. Наша технология передачи информации по электрическим сетям (PLC) стала промышленным стандартом в сфере считывания информации со счетчиков электроэнергии, и французская энергетическая корпорация EDF вводит ее в действие для 35 миллионов пользователей.

Г.К.: Прошло уже 8 лет с тех пор, как компания Maxim приобрела Dallas Semiconductor. Одной из целей этого поглощения, как заявлялось тогда, была интеграция новых цифровых технологий в структуру исследований и производства Maxim. Не секрет, что контроллеры *MAXQ* не имели большого успеха на рынке. Пожалуйста, прокомментируйте перспективы производства MCU для Maxim.

У.С.: Боюсь, я не совсем согласен с постановкой вопроса, так как это не отражает реального положения вещей. Контроллеры MAXQ интенсивно разрабатывались и сейчас они выигрывают в проектах, в частности в интеллектуальных метрологических системах. Так что, **MAXQ3180 –** победитель. Взяв это за основу, мы укрепляем свое положение – недавно мы приобрели компании **INNOVACard** и **Zilog,** и рассчитываем с интеграцией этих продуктовых линеек мирового уровня получить отличную платформу для продолжения наших разработок. Это поможет сохранить лидирующие позиции Maxim в таких сферах, как обработка защищенных транзакций.

Г.К.: Давайте обсудим тему Maxim и России. Что значит российский рынок для Maxim, и что, по Вашему мнению, Maxim значит для российского рынка?

У.С.: Российский рынок представляет для Maxim огромные возможности, как в ближайшем будущем, так и на долгосрочную перспективу. Мы знаем и ценим те усилия, которые правительство и частные предприниматели прилагают для того, чтобы развивать местные коммерческие технологии, а мы, в свою очередь, вносим свой положительный вклад в эти преобразования. Но конечно, помимо возможностей также есть и сложности. Ваш рынок слишком фрагментирован, как с точки зрения технологии, так и географии, и нам необходимо много трудиться, чтобы преуспевать. Конечно, мы еще недостаточно освоили возможности, представляемые российским рынком. Тем не менее, мы начинаем видеть успешные результаты: недавно мы выиграли много различных проектов для потребительского сегмента, таких как приставки set-top box, например, и мы продолжаем видеть заметный рост в сфере вычислительной техники. Таким образом, Россия важна для Maxim и занимает приоритетную позицию в нашей региональной стратегии.

Г.К.: Что Вы хотели бы пожелать читателям журнала «Новости Электроники»?

У.С.: Как я уже отметил в ответе на предыдущий вопрос, Россия продолжает быть стратегически важной для Maxim, благодаря тому, что она является местом новых разработок и производства для местных предпринимателей, а также в силу постоянно увеличивающегося уровня прямых иностранных капиталовложений, привлекаемых в этот регион. Нам кажется, что доходы от реализации российских природных ресурсов все еще используются для создания сложной и разноплановой экономики, и сектор электроники становится все более заметным. Это, в конечном счете, даст российским разработчикам отличные возможности воспользоваться и насладится преимуществами технологии, предлагаемой такими мировыми лидерами, как Maxim.

Однако, мои непосредственные пожелания для моих друзей-разработчиков в России заключаются в том, чтобы они продолжали читать журнал «Новости Электроники», получая информацию о быстрых изменениях в выбранной ими специальности, и, конечно, чтобы они выбирали для своих разработок продукцию Maxim. Я уверен, что оба эти шага помогут их профессиональному развитию!



Наталья Кривандина (КОМПЭЛ)

МИКРОЭЛЕКТРОНИКА ОТ MAXIM ДЛЯ СИГНАЛЬНЫХ КАСКАДОВ



В статье приведен обзор интегральных схем, выпускаемых одним из лидеров рынка аналоговых ИС – компанией ***Maxim Integrated Product*** *и предназначенных для применения в сигнальных каскадах:* ***ОУ*** *и* ***ИУ, активных фильтров, преобразователей данных, цифровых потенциометров*** *и* ***прецизионных ИОН.***

Сигнальные каскады необходимы любой электронной системе для взаимодействия с реальным миром. Они в обязательном порядке присутствуют в измерительной технике, системах сбора данных, системах мониторинга и сигнализации, устройствах автоматики, модулях аналогового ввода/вывода, контроллерах автоматизации и в интерфейсах датчиков. От рабочих характеристик сигнальных каскадов напрямую зависят точность, быстродействие и надежность конечного решения. Однако непрерывный рост требований к миниатюрности, экономичности и функциональности оставляет все меньше возможностей на детальную разработку схемотехнического решения и выделение достаточного пространства на печатной плате под сигнальные каскады. Разумным вариантом решения данной проблемы является использование высокоинтегрированных ИС, которые сочетают в себе приемлемую стоимость и высокие рабочие характеристики, простоту интеграции в систему, а также гибкость, миниатюрность и экономичность. Примером таких ИС может служить продукция известного новатора в области аналоговой микроэлектроники – компании Maxim Integrated Products. Рис.1 иллюстрирует спектр выпускаемых Maxim микросхем для сигнальных каскадов и их место в укрупненной структуре цифровой системы [1].

Операционные усилители

Компания Maxim обладает широчайшим ассортиментом ОУ и инструментальных усилителей (ИУ), который насчитывает порядка 170 ИС, обладающих превосходным соотношением «быстродействие/потребление». Возможности усилителей по удовлетворению разнообразных прикладных требований демонстрирует таблица 1, где представлена классификация ОУ и области их применения. В качестве дополнительных инструментов для оптимизации себестоимости и размеров конечного решения помимо применения многоканальных ОУ пользователю доступны усилители в ультраминиатюрных SMT-корпусах (например, UCSP в типоразмерах 1x1; 1x1,5; 1,5x1,5; 1,5x2 мм, а также µDFN и SC70 с размерами 2x2 мм) и ИУ, которые интегрируют не только прецизионные ОУ, но также и высокоточные согласованные резисторы. В ряде продукции учтена специфика некоторых типичных применений, в т.ч. повышенное напряжение питания (например, до 40 В у одиночного/сдвоенного ОУ **MAX9943/44**) и усилители, оптимизированные под задачу измерения тока или мощности.

Помимо ИУ и токоизмерительных усилителей, в ассортименте Maxim представлены аналоговые компараторы, среди которых пользователь может выбрать наиболее подходящий по быстродействию, числу каналов, передаточной функции, схемотехнике логического выхода и степени.

Активные фильтры

Активные фильтры находят применение во входных каскадах АЦП для корректировки спектра сигнала (например, для подавления помех или выделения требуемой частотной составляющей), а также в выходных каскадах ЦАП для исключения лестничного эффекта. Эффективное решение этих задач достигается применением фильтров высоких порядков, однако их реализация на ОУ влечет за собой неизбежное увеличение габаритов, электропотребления, себестоимости и сроков проектирования. Именно для устранения данных трудностей компанией Maxim была разработана отдельная группа продукции – активные фильтры для частот до 300 кГц, подавляющая

Таблица 1. **Классификация ОУ Maxim и области их применения**

Классификация ОУ Maxim	Область применения
ОУ общего назначения	Недорогие, непрецизионные каскады обработки аналоговых сигналов и компараторы напряжения
Малошумящие ОУ (с уровнем шума менее 15 нВ/√Гц): – С малым входным током смещения (менее 150 пА); – С малым напряжением смещения (менее 200 мкВ).	Прецизионные измерительные каскады и аналоговые интерфейсы
Высокобыстродействующие ОУ (>100 МГц)	Аналоговые интерфейсы высокоскоростного телекоммуникационного оборудования, диагностическое оборудование, контрольно-измерительные приборы, испытательные системы, высокоскоростной сбор данных
Маломощные ОУ (с потребляемым током менее 20 мкА) с входом включения/отключения	Электроника с батарейным питанием и прочая техника, к которой предъявляются жесткие требования к энергоэффективности
ОУ, относящиеся к типу rail-to-rail (означает, что напряжение на входе и/или выходе может изменяться в пределах уровней питания)	Низковольтные аналогово-цифровые системы с однополярным питанием, в т.ч. батарейным
Одиночные, сдвоенные, строенные или счетверенные ОУ	Оптимизация занимаемой на печатной плате площади и себестоимости конечного решения

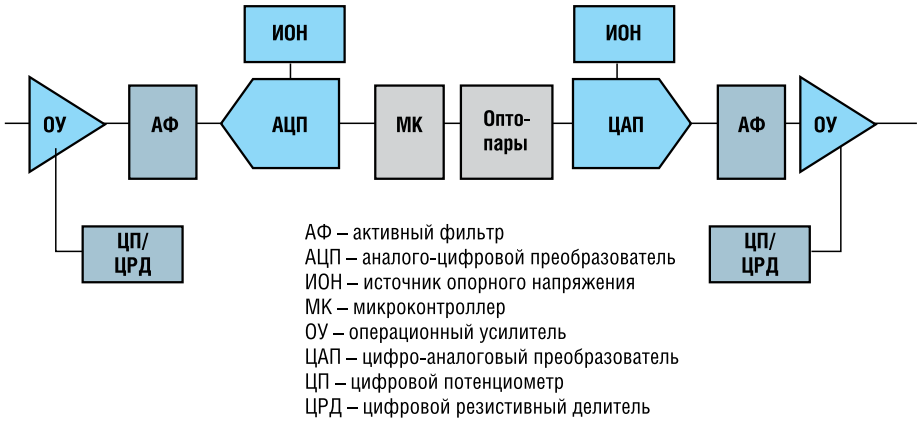


Рис. 1. **Компоненты Maxim для сигнальных каскадов**

часть которых выполнена по архитектуре переключающихся конденсаторов. Всего выпускается порядка 50 ИС с различными предустановленными передаточными функциями, порядком фильтра (от двух до восьми), преимущественно в восьмивыводных корпусах и с различными методами программирования (через выводы ИС, внешним резистором или программно под управлением внешним МК).

Преобразователи данных (АЦП, ЦАП)

Компания Maxim обладает самым обширным ассортиментом преобразователей данных, который насчитывает более 400 АЦП и порядка 250 ЦАП.

Подавляющую часть ассортимента АЦП составляют прецизионные приборы на частоту дискретизации менее 5 МГц, большинство которых полностью соответствуют условиям применения в промышленной электронике. Для построения прецизионных АЦП компания Maxim использует архитектуру последовательных (8, 10, 12, 14, 16 бит) и сигма-дельта приближений (до 24 бит). Кроме выбора по разрешающей способности и быстродействию преобразования, пользователю доступен выбор АЦП по ряду других важных признаков, в т.ч.:

- Симметричный/дифференциальный, одно-/двуполярный вход;
- Программная конфигурация входа;
- Количество каналов: 1, 2, 4, 8, 12 или 16;
- Интерфейсы считывания данных: последовательные (I^2C, SPI) или параллельные;
- Со встроенным или внешним ИОН и др.

Кроме того, в ассортименте Maxim имеются высококачественные АЦП одновременного преобразования, применение которых актуально в устройствах защиты и мониторинга электротехнического оборудования, устройствах измерения активной мощности и др.

В группе ЦАП подавляющую часть также занимают прецизионные приборы с разрешающей способностью 6…16 бит и со временем установления выходного сигнала менее 1 мкс. Количество выходных каналов варьируется от одного до 32, а для ввода данных используются параллельные или последовательные (SPI, I^2C) интерфейсы.

У новых ЦАП Maxim предусмотрен ряд инструментов для оптимизации себестоимости конечного решения, в т.ч. высокая степень интеграции, размещение в ультракомпактных корпусах и доступность совместимых по расположению выводов, посадочному месту и программированию аналогов с иной разрешающей способностью и/или с разным числом каналов. Последняя возможность позволяет на базе одной и той же печатной платы создавать различные модификации продукции.

Цифровые потенциометры

Ассортимент цифровых потенциометров Maxim насчитывает более 120 прецизионных микросхем, оптимизированных под решение задач программирования параметров аналоговых схем, в т.ч. выходное напряжение ИОН или стабилизаторов напряжения, коэффициент передачи усилительных каскадов, настройки фильтров и пр. Они являются более надежной и совершенной альтернативной обычным механическим потенциометрам и различаются по ряду признаков:

- количество ступеней регулировки (32…1024);
- тип передаточной характеристики (линейная или логарифмическая);
- одно- или многоканальные (2, 3, 4, 6 каналов);
- с энергонезависимым хранением настроек и без;
- с однократным или многократным программированием энергонезависимой памяти.

Современные типы цифровых потенциометров отличаются рядом особенностей, которые направлены на упрощение и повышение гибкости применения, улучшение эксплуатационных характеристик, миниатюризацию и удешевление конечного изделия. Для управления потенциометрами Maxim используются три типа интерфейсов: SPI, I^2C и интерфейс по типу реверсивного счетчика (счетный вход и вход задания направления счета).

Кроме цифровых потенциометров компания Maxim выпускает программируемые резистивные делители напряжения, которые отличаются очень малым допуском на сопротивление (0,025…0.1% против 20% лучшего для цифровых потенциометров значения).

Прецизионные ИОН

Источники опорного напряжения (ИОН) играют очень важную роль в любой измерительной системе. Именно от их характеристик напрямую зависят точность измерения и формирования сигналов, а также измерительный диапазон и диапазон изменения сигналов. Компания Maxim является известным новатором в области разработки высококачественных ИОН. Ее ассортимент в настоящее время насчитывает больше 160 микросхем, разделенных на четыре группы:

- Параллельные (или шунтовые, двухвыводные) на выходные напряжения 1,25; 2,048; 2,5; 3,04; 3,3; 4,096 и 5 В;
- Последовательные (трехвыводные) на выходные напряжения 1,25; 1,6; 1,8; 2,048; 2,5; 3; 3,3; 4,096; 4,5; 5 и 10 В;
- Регулируемые (**MAX6037, MAX6160**);
- Программируемые (**DS4303, DS4305**).

Пользователь может рассчитывать на выбор ИОН с характеристиками, приближающимся к следующим: начальный разброс ±0,02%, размах напряжения шума 1,3 мкВ, температурный коэффициент 1ppm/°C, потребляемый ток 5 мкА и занимаемая площадь 1,5 мм^2.

Заключение

Компания Maxim выпускает обширный ассортимент компонентов для сигнальных каскадов, в т.ч. микросхемы ОУ и ИУ, активных фильтров, АЦП и ЦАП, цифровых потенциометров и ИОН. Весомую их часть составляют прецизионные приборы, отвечающие промышленным условиям применения. В новой продукции Maxim помимо улучшения рабочих характеристик учтены постоянно ужесточающиеся требования по минимизации занимаемого пространства и электропотребления. Неизменной чертой продукции Maxim является поддержка набора особенностей, способствующих простоте и гибкости применения микросхем.

Литература

1. Signal Chain//Selector Guide, 2nd Edition, Maxim Integrated Products, October 2009 – 28 p.

Получение технической информации, заказ образцов, поставка – *e-mail: analog.vesti@compel.ru*

MAXIM INNOVATION DELIVERED

ПРОДУКЦИЯ MAXIM

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ГРУППА / ПРИМЕНЕНИЕ	Операционные и инструментальные усилители	АЦП	ЦАП, цифровые потенциометры	Аналоговые коммутаторы и мультиплексоры	Источники опорного напряжения	Аналоговые фильтры	Датчики температуры	Микроконтроллеры	Интерфейсы	PLC	Энергонезависимая память	Часы реального времени	Генераторы частоты	Радиочастотные компоненты	Телеком (E1, E3, LIU)	Микросхемы для оптической и высокоскоростной передачи данных	GPS, GLONASS, GALLILEO	Супервизоры питания	Управление батарейным питанием	Регуляторы напряжения, ШИМ-контроллеры	Драйверы дисплеев, питание подсветки дисплеев	iButton
Автомобильная электроника	●	●	●	●	●		●	●	●			●	●	●		●	●	●		●	●	
Цифровая телефония	●	●	●	●					●			●	●		●	●		●		●		
Устройства проводной передачи данных				●				●	●									●		●		
Сотовая связь		●	●	●	●			●	●			●	●	●			●	●	●	●	●	
Компьютеры и периферия	●	●	●	●	●		●	●	●	●	●	●	●	●		●	●	●	●	●	●	
Потребительская электроника	●	●	●	●	●		●	●	●	●	●	●	●	●			●	●	●	●	●	
Промышленные системы контроля	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●					●		●	●	
Счетчики расхода газа, жидкостей, электроэнергии	●	●	●	●	●			●	●	●	●	●		●				●	●	●	●	
Интеллектуальное управление электроприводом	●	●	●	●	●	●		●	●	●								●		●		
Источники питания					●			●	●									●		●		
Измерительное и диагностическое оборудование	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●		●					●	●	●	●	
Волоконно-оптическая передача данных	●		●	●					●				●			●		●		●		
Портативные мультимедийные аудио-, видеоустройства	●	●	●	●	●	●		●	●			●						●	●	●	●	
Медицинское оборудование	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●	●	●				●	●	●		
Системы безопасности (сигнализация, идентификация, наблюдение)	●	●	●	●	●			●	●	●		●		●		●	●	●	●	●	●	●
Системы контроля доступа	●							●	●			●		●			●	●	●	●		●
Беспроводные системы передачи данных	●							●	●			●	●	●				●	●	●		
Системы спутниковой навигации	●	●						●	●		●	●	●	●			●	●	●	●	●	

Михаил Новиков

ПРИЕМОПЕРЕДАТЧИКИ MAXIM ДЛЯ ИНДУСТРИАЛЬНЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ – ОБЗОР НОВИНОК



Проектирование промышленных установок — сложный процесс. Ошибки, возникающие на начальных стадиях, могут привести к большим проблемам в процессе дальнейшей разработки. Построение сети — необходимая часть этого процесса, а выбор протокола связи и элементной базы является самым важным ее этапом.

В статье дан краткий обзор ***интерфейсов RS-485, RS-232*** *и* ***HART,*** *а также описание новых приемопередатчиков данных интерфейсов от компании* ***Maxim.***

Компания Maxim является мировым лидером в производстве интерфейсных микросхем разнообразной функциональной организации.

Все микросхемы обладают особенностями, позволяющими уменьшить стоимость, увеличить плотность компоновки элементов на плате за счет уменьшения количества дополнительных элементов, а также обеспечить разнообразную защиту устройств в линии связи.

В линейке интерфейсных микросхем MAXIM можно найти:

- Приемопередатчики самых распространенных промышленных интерфейсов: **RS-232, RS-485/RS-422,** IrDA, CAN, LIN, LVDS, USB, HART;
- Двухпротокольные устройства, позволяющие с помощью одной микросхемы соединить устройства с различными интерфейсами, например RS-232 и RS-485;
- Многопротокольные устройства, поддерживающие следующие интерфейсы: RS-232, **RS-449,** RS-485, **RS-530, RS-530A,** V.10, V.11, V.28, V.35, V.36, и X.21;
- Микросхемы защиты линий связи от электростатического перенапряжения, позволяющие обеспечить защиту микросхем и устройств по току;
- Микросхемы контроля интерфейсных шин, позволяющие отреагировать на короткие замыкания в схеме и в случае необходимости подключить резервное питание к разрабатываемому устройству;
- Микросхемы, упрощающие работу со smart-картами, а также контроллеры интерфейсов, ускоряющие создание USB- и SCSI-устройств;
- Расширители портов ввода/вывода;
- Двусторонние высокоскоростные преобразователи уровня логического сигнала для сопряжения микросхем с различным питанием в пределах одной платы.

В основном для связи промышленных устройств используются интерфейсы RS-485 и RS-232. Линейка приемопередатчиков этих интерфейсов от компании Maxim содержит более 300 различных устройств.

Протокол RS-485

Протокол RS-485 совместно разработан двумя ассоциациями: Ассоциацией электронной промышленности (EIA — Electronics Industries Association) и Ассоциацией промышленности средств связи (TIA — Telecommunications Industry Association). Ранее EIA маркировала все свои стандарты префиксом «RS» (*Recommended Standard* — Рекомендованный стандарт). Многие инженеры продолжают использовать это обозначение, однако EIA/TIA официально заменил «RS» на «EIA/TIA» с целью облегчить идентификацию происхождения своих стандартов.

Этот стандарт стал основой для создания целого семейства промышленных сетей, широко используемых в промышленной автоматизации. Главное отличие RS-485 от RS-232 — возможность объединения нескольких устройств.

Перечислим основные свойства физического уровня интерфейса RS-485:

1. Двунаправленная полудуплексная передача данных. Поток последовательных данных передается одновременно только в одну сторону, передача в другую сторону требует переключения приемопередатчика. Приемопередатчики принято называть «драйверами» (driver).
2. Симметричный канал связи. Для приема/передачи данных используются два равнозначных сигнальных провода, которые обозначаются латинскими буквами «A» и «B». По этим проводам идет последовательный обмен данными в обоих направлениях (поочередно). При использовании витой пары симметричный канал существенно повышает устойчивость сигнала к синфазной помехе и хорошо подавляет электромагнитные излучения, создаваемые полезным сигналом.
3. Дифференциальный способ передачи данных. На выходе приемопередатчика изменяется разность потенциалов, при передаче «1» разность потенциалов между A и B положительная, при передаче «0» — отрицательная. То есть ток между контактами A и B при передаче «0» и «1» течет (балансирует) в противоположных направлениях.
4. Многоточечность. Допускает множественное подключение приемников и приемопередатчиков к одной линии связи. Но в каждый момент времени передавать данные должен только один передатчик, а принимать данные может большое количество устройств.
5. Низкоимпедансный выход передатчика. Буферный усилитель передатчика имеет низкоомный выход, что позволяет передавать сигнал ко многим приемникам. Стандартная нагрузочная способность передатчика равна 32 приемника на один передатчик. Кроме этого токовый сигнал используется для работы «витой пары» (чем больше рабо-

MAX13223E – это первый на рынке приемопередатчик RS-232 с защитой от перенапряжения, совместимый по выводам с MAX3223E, являющимся в настоящее время промышленным стандартом.

чий ток «витой пары», тем сильнее она подавляет синфазные помехи на линии связи).

6. Зона нечувствительности. Если дифференциальный уровень сигнала между контактами AB не превышает ±200 мВ, то считается, что сигнал в линии отсутствует. Это увеличивает помехоустойчивость передачи данных.

Дифференциальная передача сигнала в системах на основе RS-485 обеспечивает надежную передачу данных в присутствии шумов, а дифференциальные входы их приемников могут подавлять значительные синфазные напряжения. Однако для защиты от больших уровней напряжений, которые обычно ассоциируются с электростатическим разрядом (ESD), необходимо принимать дополнительные меры.

Заряженная емкость человеческого тела позволяет человеку уничтожать интегральную схему простым касанием. Такой контакт запросто может произойти при прокладке и подключении интерфейсного кабеля.

Некоторые микросхемы на рынке не имеют встроенной защиты от электростатического разряда, что вынуждает устанавливать дополнительные защитные устройства на плату. Интерфейсные микросхемы Maxim включают «ESD-структуры», которые защищают выходы передатчиков и входы приемников в приемопередатчиках RS-485 от уровней ESD до ±15 кВ, а в некоторых моделях до уровня ±30 кВ.

Чтобы гарантировать заявленную защиту от ESD, специалисты компании Maxim осуществляют многократные тестирования положительных и отрицательных выводов питания с шагом 200 В для проверки последовательности заявленных уровней. Устройства этого класса (отвечающие спецификациям модели человеческого тела) маркируются в обозначении изделия дополнительным суффиксом «E».

Также для выходных драйверов интерфейсных микросхем опасен режим короткого замыкания, однако специалисты компании Maxim разработали уникальную систему защиты, отключающую выходные драйверы микросхемы не только при обнаружении короткого замыкания, но и при перегреве микросхемы, что обеспечивает продолжительный безотказный период работы.

Поскольку у микросхем компании MAXIM все системы защиты и преобразователи уровней находятся на одном кристалле, то схема подключения сильно упрощается (рис. 1). Минимальное количество навесных элементов позволяет максимально уплотнить размещение интегральных компонентов на плате, а минимальные размеры микросхем связи (вплоть до 2x2 мм) упрощают проектирование переносных устройств или устройств, работающих в ограниченном пространстве.

Сети, построенные на базе интерфейса RS-485, могут быть как дуплексные, так и полудуплексные. Полудуплексный режим — это режим, при котором передача ведется в обоих направлениях, но с разделением по времени. В каждый момент времени передача ведется только в одном направлении. Дуплексный режим — это режим, при котором передача данных может производиться одновременно с приемом данных. Иногда его также называют «полнодуплексным» режимом для того, чтобы яснее показать разницу с полудуплексным.

Как известно, стандарт RS-485 оговаривает только электрические характеристики интерфейса связи и физический уровень (среду), но не программную платформу. Однако существует множество стандартизированных промышленных протоколов, работающих «поверх» стандарта RS-485. Среди этих протоколов, самым распространенным является PROFIBUS. Он объединяет технологические и функциональные особенности последовательной связи, что позволяет соединить разрозненные устройства автоматизации в единую систему на уровне датчиков и приводов. PROFIBUS использует обмен данными между ведущим и ведомыми устройствами (протоколы DP и PA) или между несколькими ведущими устройствами (протоколы FDL и FMS).

PROFIBUS DP (*Decentralized Peripheral* — Распределенная периферия) — протокол, ориентированный на обеспечение скоростного обмена данными между системами автоматизации (ведущими DP-устройствами) и устройствами распределенного ввода/вывода (ведомыми DP-устройствами).

Он характеризуется минимальным временем реакции, высокой стойкостью к воздействию внешних электромагнитных полей и оптимизирован для высокоскоростных и недорогих систем. Эта версия сети была спроектирована специально для связи между автоматизированными системами управления и распределенной периферией. Электрически протокол близок к RS-485, именно поэтому микросхемы, позволяющие работать по протоколу PROFIBUS, при желании пользователя можно перенастроить на работу по интерфейсу RS-485.

MAX14840E и MAX14841E

MAX14840E и **MAX14841E** — защищенные от электростатического разряда трансиверы, предназначенные для полудуплексных сетей RS-485 со скоростью передачи данных до 40 Мбит/с. Эти приемопередатчики оптимизированы для высокоскоростной связи устройств на большом расстоянии. Специальные системы защиты от несимметричности сигнала, а также увеличенный гистерезис входного сигнала позволяют значительно увеличить устойчивость к помехам.

Обычный ток потребления микросхем в режиме ожидания или в режиме работы (с отключенными выходными драйверами) составляет всего 1,5 мА. Устройства, построенные на этой микросхеме, могут включаться в уже работающую сеть «на лету», не вызывая переходные процессы, ухудшающие форму передающегося в данный момент сигнала.

Микросхемы MAX14840E и MAX14841E от компании Maxim доступны в восьмивыводном корпусе формата SO и малых восьмиконтактных (3x3 мм) корпусах формата TDFN-EP, но, независимо от форм-фактора, микросхемы работают в температурном диапазоне -40…125°C, что позволяет использовать их в автомобильных сетях.

Данная микросхема разрабатывалась для работы в высокоскоростной многоточечной сети RS-485 (рис. 2) .

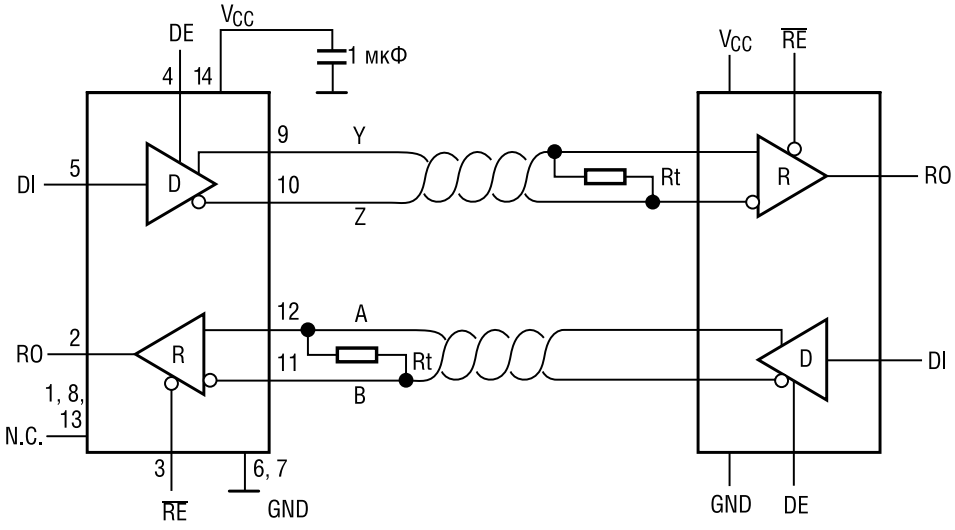


Рис. 1. **Подключение дуплексных микросхем по протоколу RS-485**

Минимальное количество выводов микросхемы, а также высокая степень внутренней интеграции позволяет использовать ее практически без внешних элементов, что повышает плотность компоновки платы и упрощает использование микросхемы в малогабаритных переносных устройствах.

Микросхемы серии MAX14840E и MAX14841E содержат блок защиты выходных драйверов, который ограничивает выходной ток в случае короткого замыкания линии, что позволяет сохранить выходные драйверы в рабочем состоянии, а также избежать больших потерь энергии. В данной микросхеме присутствует блок защиты от перегрева, который отключает выходные драйверы микросхемы при превышении температуры в 160°C.

Основные применения:

- Системы управления двигателями;
- Управление микроклиматом;
- Промышленные системы управления;
- Различные сети RS-485.

MAX14770E

В линейке микросхем от компании Maxim присутствует модель **MAX14770E** – приемопередатчик интерфейсов PROFIBUS-DP/RS-485. Новое поколение технологического процесса BiCMOS позволяет добиться высокой пропускной способности (20 Мбит/с) и при этом интегрировать в структуру надежную схему защиты от электростатического разряда (±35 кВ, HBM). Компактный корпус TDFN позволяет использовать эту микросхему в переносных устройствах. Микросхема работает в расширенном температурном диапазоне -40…125°C, что гарантирует надежность в сложных условиях.

MAX14770E повыводно совместима с **MAX3469,** что позволяет использовать ее для модернизации систем управления двигателями, сетей PROFIBUS-DP/RS-485 и промышленных шин.

MAX14770E имеет широкий диапазон напряжения питания, совместимый с промышленным стандартом (5 В ±10%). Микросхема выпускаются в компактном восьмивыводном корпусе TDFN (3x3 мм), а также восьмивыводном корпусе SO, для которого рабочий температурный диапазон -40…85°C.

Основные характеристики:

- Отвечает требованиям Profibus-DP напряжение питания 4,5…5,5 В;
- Скорость передачи достигает 20 Мбит/с;
- Имеет защиту от короткого замыкания;
- Имеет отказоустойчивый приемник;
- Отключается при перегреве;

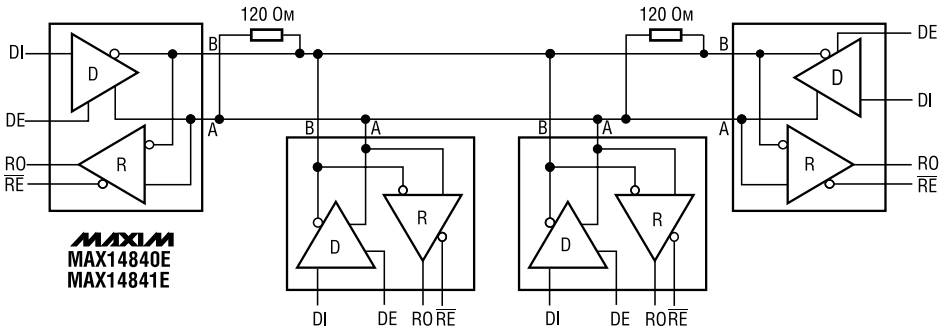


Рис. 2. **Многоточечная сеть RS-485**

- Имеет возможность горячей замены;
- Имеет расширенную защиту от электростатического разряда: ±35 кВ (модель человеческого тела); ±20 кВ (модель разряда через воздушный зазор); ±10 кВ (модель разряда при касании);
- Имеет расширенный температурный диапазон -40…125°C для восьмивыводного корпуса TDFN (3x3 мм).

Благодаря этим особенностям микросхемы имеют очень широкие области применения. Помимо устройств в промышленных сетях и системах кодирования промышленного оборудования эти микросхемы активно используются в системах управления двигателями, а также в сетях PROFIBUS-DP.

MAX13181E, MAX13182E, MAX13183E, MAX13184E

Микросхемы серии **MAX13181E, MAX13182E, MAX13183E, MAX13184E** от компании Maxim – приемопередатчики интерфейса RS-485, работающие в полнодуплексном режиме и в режиме по выбору: полу- и полнодуплексном (рис. 3).

Особенностью этих микросхем является то, что они выпускаются в компактных корпусах µDFN с габаритами 2x2 мм и предназначены для применения в разработках, критичных к габаритам. Несмотря на размеры, они имеют улучшенную защиту от электростатического разряда ±15 кВ, а также подтягивающие и заземляющие нагрузочные резисторы на входах DE, RE и F для уменьшения количества внешних компонентов.

Особенностью микросхем MAX13182E, MAX13184E также является очень низкий ток в отключенном режиме, что необходимо в приложениях, критичных к энергопотреблению. Входы приемника микросхемы создают импеданс величиной в 1/8 единичной нагрузки, что дает возможность подключать к шине до 256 приемопередатчиков.

Микросхемы MAX13181E, MAX13182E включают драйверы с ограничением скорости нарастания напряжения выходного сигнала, что уменьшает электромагнитные помехи и отражения сигналов, возникающие при неправильной разводке кабелей. Однако примене-

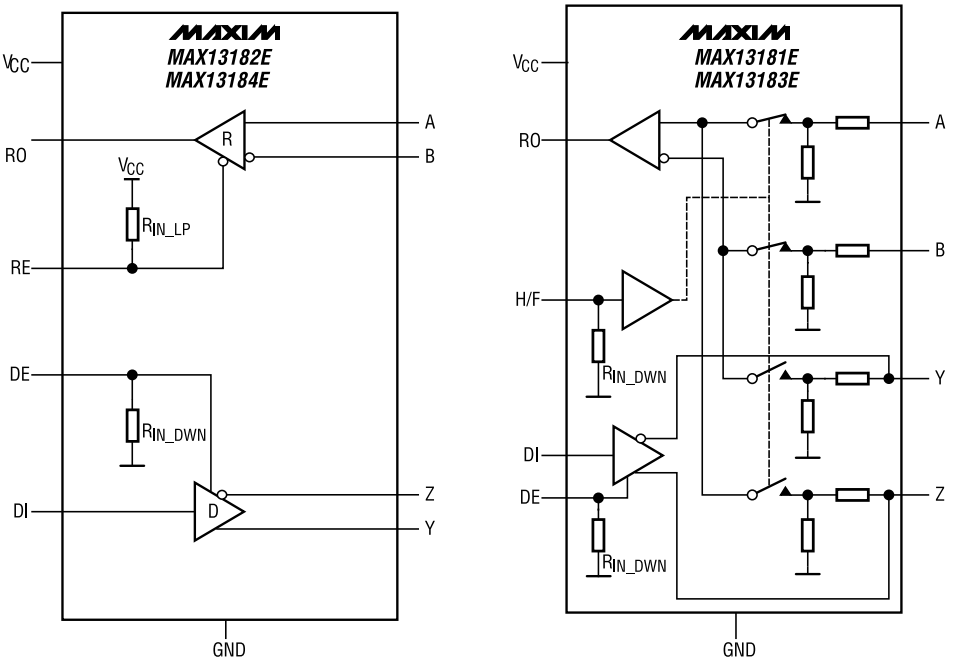


Рис. 3. **Внутренняя структура микросхем семейства MAX13181E-MAX13184E**

ние драйверов с ограничением скорости нарастания напряжения выходного сигнала позволяет осуществлять передачу данных со скоростью до 250 кбит/с, хоть и значительно уменьшает количество ошибок.

MAX13183E, MAX13184E, в отличие от предыдущих ИС, имеют драйверы, работающие на полной скорости, что позволяет добиться скорости передачи данных до 16 Мбит/с. Особенностью этих микросхем является возможность выбора полу- или полнодуплексного режима работы, а MAX13182E и MAX13184E работают только в полнодуплексном режиме. Все выходы передатчиков и входы приемника имеют улучшенную защиту от электростатического разряда.

Все микросхемы MAX13181E... MAX13184E выпускаются в 10-выводном корпусе µDFN с габаритами 2x2 мм и в 14-выводном корпусе SO. Все они работают в расширенном температурном диапазоне -40…85°C.

Среди особенностей описываемых микросхем можно выделить следующие:

- 10-выводной корпус µDFN с габаритами 2x2 мм и 14-выводной корпус SO;
- Напряжение питания 5 В;
- Расширенная защита от электростатического разряда;
- ±15 кВ (Спецификация HBM – модель человеческого тела);
- ±12 кВ (Спецификация IEC 61000-4-2 – модель разряда через воздушный зазор);
- ±6 кВ (Спецификация IEC 61000-4-2 – модель разряда при касании);
- Режим работы с ограничением скорости нарастания напряжения выходного сигнала для передачи данных без ошибок (MAX13181E, MAX13182E);
- Низкий ток потребления 2,5 мкА в режиме отключения;
- Импеданс величиной в 1/8 единичной нагрузки, который дает возможность подключать к шине до 256 приемопередатчиков.

Благодаря малым размерам и низкому потреблению тока данные микросхемы отлично подходят для применения в переносных устройствах с автономным питанием, которые могут использоваться как при управлении производственными процессами, так и в измерительной аппаратуре, в системах безопасности и в телекоммуникационном оборудовании.

MAX13448E

MAX13448E – дуплексные приемопередатчики интерфейса RS-485 с защитой входов и выходов от перепадов напряжения ±80 В (относительно земли). MAX13448E работает от источника питания номиналом 3…5,5 В. Особенностью ИС является схема защиты, которая гарантирует наличие логического состояния высокого уровня на выходе приемника в случае отключения или замыкания входов. Это позволяет все выходы приемника, подключенные к шине, перевести в состояние высокого логического уровня при отключении всех приемопередатчиков.

Возможность работы ИС при наличии перепадов напряжения ±80 В на выводах интерфейса RS-485 позволяет устранить необходимость применения внешней схемы защиты, которая обычно содержит самовосстанавливающиеся предохранители и стабилитроны.

Встроенная схема защиты успешно используется в таких архитектурах как USB и CAN, в которых питание и передача данных осуществляет по одному кабелю. MAX13448E хорошо подходит для применения в промышленных системах вентиляции и кондиционирования воздуха, а также системах управления электродвигателями.

Основной особенностью микросхемы MAX13448E является модуль ограничения скорости нарастания выходного напряжения, использование которого снижает уровень электромагнитных помех и эффект наводок на кабель, что позволяет осуществлять безошибочную передачу данных на скорости до 500 Кбит/с при питании 5 В и 250 Кбит/с при питании 3,3 В.

В MAX13448E предусмотрена функция горячей замены, которая устраняет возможность передачи неправильных данных в моменты включения питания или при включении ИС в работу без отключения источника питания. Драйвер и приемник микросхемы имеют, соответственно, активный высокий и активный низкий логический уровень включения, что дает возможность при совместном включении извне управлять направлением передачи.

Полное входное сопротивление приемника ИС представляет собой только 1/8 стандартной нагрузки, что дает возможность к одной шине подключить до 256 передатчиков. Выходы всех драйверов имеют защиту от электростатического разряда до ±8 кВ (касание человека – Human Body Model). MAX13448E работает в температурном диапазоне -40…85°C и выпускается в 14-контактных корпусах SO.

MAX13410E, MAX13411E, MAX13412E, MAX13413E

MAX13410E, MAX13411E, MAX13412E, MAX13413E – полудуплексные приемопередатчики для интерфейсов RS-485/RS-422, оптимизированные для применения в схемах с изолированными контурами. Эти ИС включают встроенный стабилизатор напряжения с низким падением напряжения, драйвер и приемник. Встроенный стабилизатор позволяет работать от нерегулируемого источника питания номиналом до 28 В. Функция автоматического перенаправления пересылаемых данных (архитектура AutoDirection фирмы Maxim) дает возможность уменьшить количество оптических элементов для развязки. Среди других особенностей можно отметить защиту от электростатического разряда, схему ограничения скорости нарастания напряжения, схему повышения отказоустойчивости, способность пересылки данных на максимальной скорости.

Встроенный стабилизатор напряжения с низким падением напряжения вырабатывает напряжение номиналом 5 В ±10%, которое используется для питания внутренних цепей приемопередатчика. Выход встроенного регулятора напряжения выведен на VREG, что позволяет пользователю подключить внешние компоненты к источнику стабильного напряжения при условии, что потребляемый ток будет меньше 20 мА. В MAX13410E/MAX13411E нет выхода напряжения 5 В, но его выводы соответствуют промышленному стандарту, что позволяет легко встраивать ИС в промышленные системы.

В MAX13410E, MAX13411E, MAX13412E и MAX13413E полное входное сопротивление приемника ИС представляет собой только 1/8 стандартной нагрузки, что дает возможность к одной шине подключить до 256 передатчиков. Выходы драйвера имеют защиту от электростатического напряжения.

Особенностью ИС MAX13412E/MAX13413E является функция автоматического перенаправления потока данных. Подобная архитектура устраняет необходимость использования сигналов управления DE и RE.

В MAX13410E/MAX13412E применяется схема ограничения скорости нарастания напряжения, что снижает создаваемые электромагнитные помехи и обеспечивает устойчивую работу в условиях высоких внешних электромагнитных помех при скорости передачи данных до 500 Кбит/с. В MAX13411E/MAX13413E схема ограничения не применяется, но эти микросхемы могут передавать данные на скорости до 16 Мбит/с.

Микросхемы работают в температурном диапазоне -40…85°C и выпускаются в 8-контактных корпусах SO.

Интерфейс RS-232

Несмотря на все положительные качества интерфейса RS-485, интерфейс RS-232 до сих пор часто используется в промышленных системах. Он был разработан для простого применения, определяемого из его названия: «Интерфейс между терминальным оборудованием и связным оборудованием с обменом по последовательному двоичному коду».

Интерфейс RS-232 создан для передачи информации между двумя устройствами на расстояние до 20 м. Он основан на передаче дифференциального сигнала, однако отличается уровнями и полярностью.

Информация передается по проводам с уровнями сигналов, отличающимися от стандартных 5 В, что обеспечивает большую устойчивость к помехам. Асинхронная передача данных осуществляется с установленной скоростью при синхронизации уровнем сигнала стартового импульса.

Сигналы после прохождения по кабелю ослабляются и искажаются. Ослабление растет с увеличением длины кабеля. Этот эффект вызван электрической емкостью кабеля. По стандарту максимальная нагрузочная емкость составляет 2500 пФ. Типичная погонная емкость кабеля составляет 130 пФ, поэтому максимальная длина кабеля ограничена примерно 17 м.

Логические уровни передатчика: «0» – 5…15 В, «1» – -5…-15 В.

Логические уровни приемника: «0» – выше 3 В, «1» – ниже -3 В.

Несмотря на то, что протокол RS-232 создавался давно, специалисты компании Maxim до сих пор улучшают аппаратную часть сети, которая позволяет обеспечить большую надежность промышленных систем.

MAX13223E

Новый двухканальный приемопередатчик **MAX13223E** для интерфейса RS-232 имеет встроенную защиту входов/выходов до напряжения ±70 В. MAX13223E – это первый на рынке приемопередатчик с защитой от перенапряжения, совместимый по выводам с MAX3223E, являющимся в настоящее время промышленным стандартом.

В новую микросхему интегрированы цепи защиты входов/выходов от короткого замыкания на шины питания, ошибок подключения и перенапряжения до ±70 В, что устраняет необходимость использования внешних защитных цепей. Такая защита особенно критична для приложений, в которых питание и данные передаются по одному и тому же проводу, т.к. предотвращает выход схемы из строя из-за ошибок подключения и коротких замыканий на выводы интерфейса при повреждении кабеля.

Запатентованная Maxim схема AutoShutdown позволяет довести потребляемый ток в отключенном режиме до 1 мкА. Микросхема MAX13223E автоматически переходит в режим низкого потребления энергии при отключении связующего кабеля RS-232 или при отсутствии данных на входе приемника. Запатентованная эффективная схема подкачки напряжения питания и низкий уровень падения напряжения в тракте передачи обеспечивает работу микросхемы от однополярного источника напряжения номиналом 3…5 В.

MAX13223E, выполненный в корпусе TSSOP-20, работает в диапазоне напряжений питания 3…5,5 В, обеспечивая интерфейс EIA/TIA-232 и V.28/V.24 с автоматическим отключением и улучшенной защитой от разрядов статического электричества. Температурный диапазон микросхемы -40…85°C.

MAX13223E создана для использования в автомобильных приложениях, средствах связи, базовых станциях, системах учета коммунальных услуг, промышленном оборудовании, торговых терминалах и телекоммуникационном оборудовании.

Типовая схема подключения (рис. 4) содержит минимум навесных элементов, что позволяет максимально упростить разводку платы, а также максимально уплотнить расположение элементов на плате.

MAX13234E, MAX13235E, MAX13236E, MAX13237E

Приемопередатчики интерфейса RS-232 **MAX13234E, MAX13235E, MAX13236E, MAX13237E** разработаны для замены существующих приемопередатчиков семейства MAX3224E… MAX3227E и обеспечивают высокую скорость передачи данных (до 3 Мбит/с). Встроенные регуляторы напряжения позволяют работать с логическими уровнями при низком напряжении питания, а за счет использования схемы AutoShutdown Plus ток потребления уменьшился до уровня менее 1 мкА. Схема ESD обеспечивает высокий уровень защиты от статического разряда.

Микросхемы MAX13234E… MAX13237E обеспечивают возможность работы при высокой скорости передачи данных за счет отсутствия необходимости использования внешнего преобразования логических уровней. Микросхемы MAX13234E и MAX13235E включают два приемника и два передатчика. MAX13236E и MAX13237E включают один приемник и один передатчик, выпускаются в компактном корпусе TQFN. MAX13235E и MAX13237E обеспечивают скорость передачи данных до 3 Мбит/с, а MAX13234E и MAX13236E поддерживают работу на скорости 250 кбит/с. Все устройства работают в расширенном температурном диапазоне -40…85°C от источника питания номиналом 3…5,5 В.

Данные микросхемы были созданы для применения в основном в области коммуникационных систем, но они также идеально подойдут для портативных электронных устройств и промышленного оборудования.

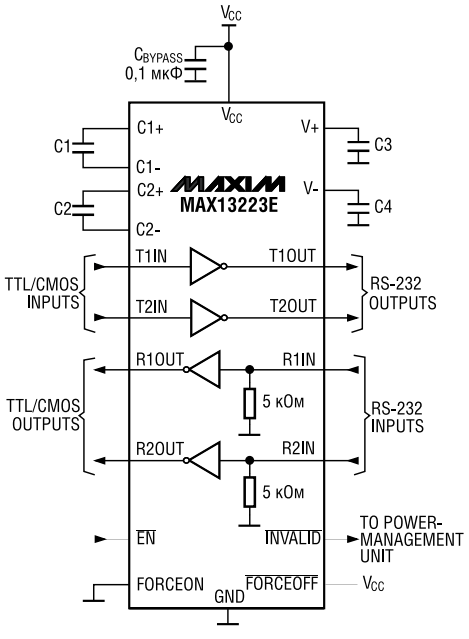


Рис. 4. **Типовая схема включения**

HART-протокол

Если в описанных выше интерфейсах для передачи данных использовалось напряжение, т.е. сигнал определялся разницей напряжения между двумя выводами схемы, то в протоколе HART (*Highway Addressable Remote Transducer*) электрическим сигналом является ток. Сети HART построены по принципу аналоговой токовой петли с частотной модуляцией сигнала.

Протокол HART способен обеспечить обмен данными на скорости до 1200 Бод. Диаграмма, поясняющая работу приборов по HART-протоколу, представлена на рис. 5.

Для передачи логической «1» HART использует один полный период частоты 1200 Гц, а для передачи логического «0» – два неполных периода 2200 Гц.

Как видно на рисунке 5, HART-составляющая накладывается на токовую петлю 4…20 мА. Поскольку среднее значение синусоиды за период равно «0», то HART-сигнал никак не влияет на аналоговый сигнал 4…20 мА.

HART-протокол построен по принципу «главный-подчиненный», то есть полевое устройство отвечает по запросу

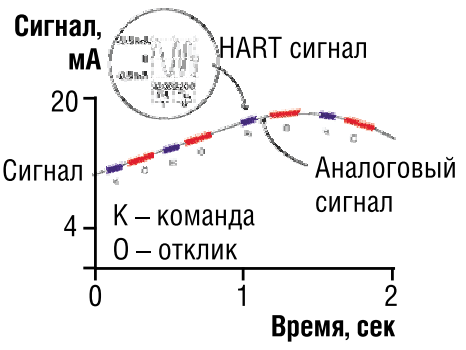


Рис. 5. **Принцип обмена данными по HART-протоколу**

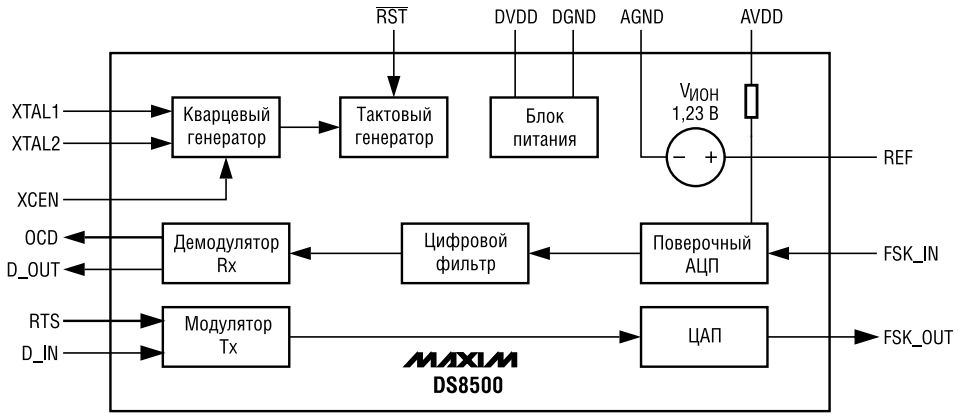


Рис. 6. **Внутренняя структура микросхемы DS8500**

системы. Протокол допускает наличие двух управляющих устройств (управляющая система и коммуникатор).

Существует два режима работы датчиков, поддерживающих обмен данными по HART-протоколу.

В режиме передачи цифровой информации одновременно с аналоговым сигналом датчик работает в аналоговых АСУ ТП, а обмен по HART-протоколу осуществляется посредством HART-коммуникатора или компьютера. При этом можно удаленно (расстояние до 3000 м) осуществлять полную настройку и конфигурирование датчика.

В многоточечном режиме датчик передает и получает информацию только в цифровом виде. Аналоговый выход автоматически фиксируется на минимальном значении (только питание устройства – 4 мА) и не содержит информации об измеряемой величине. Информация о переменных процесса считывается по HART-протоколу.

К одной паре проводов может быть подключено до 15 датчиков. Их количество определяется длиной и качеством линии, а также мощностью блока питания датчиков. Все датчики в многоточечном режиме имеют свой уникальный адрес от 1 до 15, и обращение к каждому идет по соответствующему адресу. Коммуникатор или система управления определяет все датчики, подключенные к линии, и может работать с любым из них.

DS8500

Компания Maxim Integrated Products, Inc представила **DS8500** – однокристальный HART-модем, отвечающий на физическом уровне требованиям спецификации HART.

Как видно на рис. 6, на кристалле интегрированы модулятор и демодулятор 1200/2200 Гц частотно-модулированного сигнала. Микросхема имеет очень малое энергопотребление и благодаря реализованной цифровой сигнальной обработке требует лишь несколько внешних компонентов. Входной сигнал оцифровывается АЦП и поступает на цифровой фильтр/демодулятор. Архитектура модема позволяет уверенно обнаруживать сигнал даже в зашумленной среде. Выходной ЦАП генерирует синусоидальное напряжение и сохраняет сдвиг фаз при переключении частот 1200 и 2200 Гц. Низкое потребление достигается запрещением работы приемника во время передачи сигнала, передатчик не работает во время приема. DS8500 идеальны для создания малопотребляющих передатчиков систем управления технологическими процессами.

Как видно на рис. 7, всего несколько внешних компонентов и 20-выводной миниатюрный корпус TQFN уменьшают стоимость и габариты изделия.

Основные особенности модема:

- Однокристальное решение для полудуплексной передачи, 1200 бод, FSK-модуляция и демодуляция;
- Цифровая сигнальная обработка, обеспечивающая надежное детектирование входного сигнала в зашумленной среде;
- Синусоидальный выходной сигнал с минимальными гармоническими искажениями;
- Стандартная тактовая частота 3,6864 МГц;
- Соответствие требованиям спецификации HART на физическом уровне;
- Напряжение питания в диапазоне 2,7…3,6 В;
- Максимальный ток потребления 285 мкА;
- Миниатюрный 20-выводной корпус TQFN с размерами 5x5x0,8 мм.

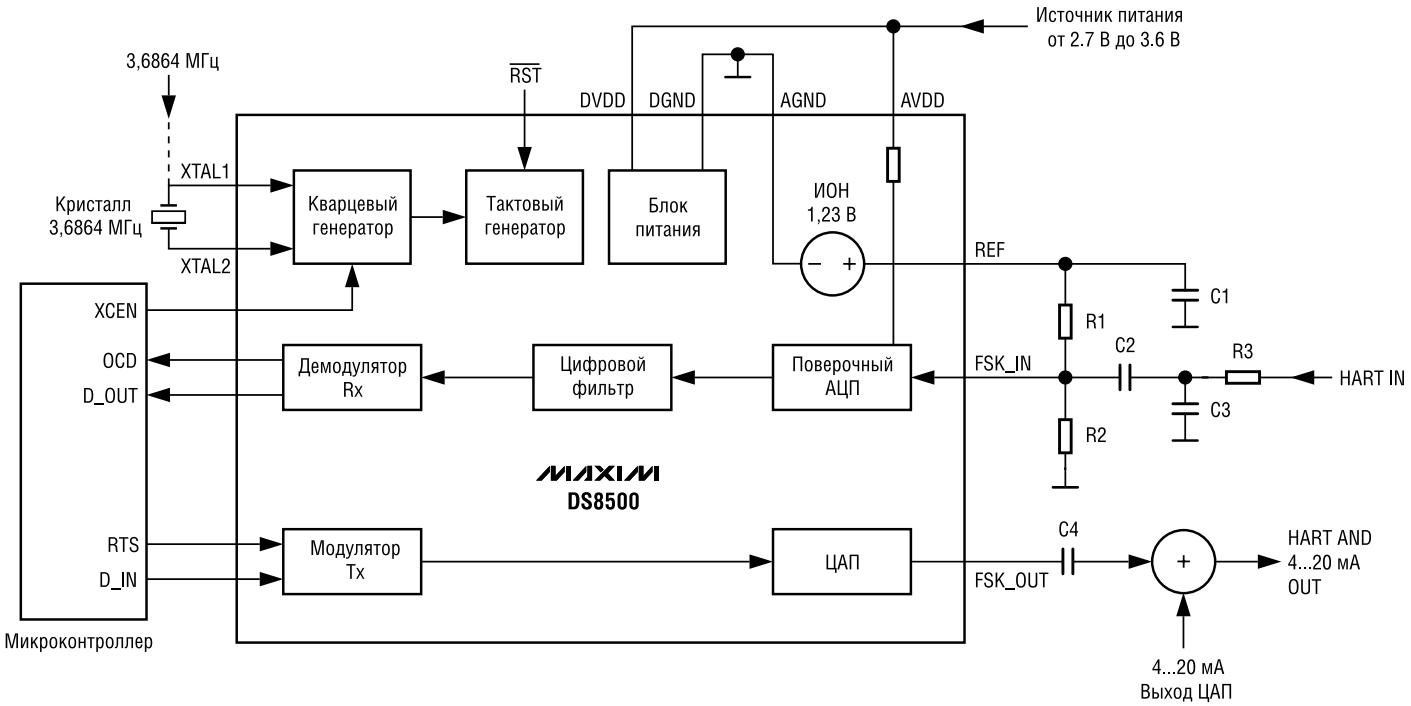


Рис. 7. **Схема подключения микросхемы DS8500**

Благодаря активному использованию протокола HART, микросхема DS8500 незаменима при разработке передатчиков для устройств сбора информации (температуры, давления и т.д.), HART-модемов или HART-мультиплексоров.

Заключение

Хотя стандарты RS-232 и RS-485 были созданы более 30 лет назад, они активно используются до сих пор. Ранее ни один персональный компьютер не мог обойтись без COM-порта, передача данных по которому основывается на протоколе RS-232. Даже несмотря на то, что в современных компьютерах COM-порт давно заменен более современными, это еще не означает, что протоколы RS-232 и RS-485 забыты.

В промышленных сетях им нет равных из-за высокой стабильности и больших расстояний, на которых обеспечивается передача данных. Однако эта надежность определяется не только первоначальной удачной разработкой протокола, но и постоянным совершенствованием аппаратной части.

Интерфейсная продукция компании MAXIM идеально удовлетворяет потребностям российского рынка промышленной электроники, а интерфейсы еще долго будут жить. Maxim активно совершенствует надежностные характеристики микросхем связи и расширяет их дополнительный функционал.

Литература

1. RS-485 — стандарт передачи данных по последовательному симметричному каналу. Яшкардин Владимир, 2009 г. ***http://www.softelectro.ru/rs485.html***
2. "About HART -- Prolog & Table of Contents" by Analog Services, Inc. 1999 г. ***http://www.analogservices.com/about_part0***
3. ***http://www.Maxim-ic.com/products/interface/***
4. ***http://datasheets.Maxim-ic.com/en/ds/MAX14840E-MAX14841E.pdf***
5. ***http://datasheets.Maxim-ic.com/en/ds/DS8500.pdf***
6. ***http://datasheets.Maxim-ic.com/en/ds/MAX13223E.pdf***
7. ***http://datasheets.Maxim-ic.com/en/ds/MAX13448E.pdf***
8. ***http://datasheets.Maxim-ic.com/en/ds/MAX13234E-MAX13237E.pdf***
9. ***http://datasheets.Maxim-ic.com/en/ds/MAX13181E-MAX13184E.pdf***
10. ***http://datasheets.Maxim-ic.com/en/ds/MAX14770E.pdf***

Получение технической информации, заказ образцов, поставка – *e-mail: analog.vesti@compel.ru*



Maxim приобрел компанию Teridian

Компания **Maxim** объявила о приобретении компании Teridian Semiconductor Corporation. Teridian Semiconductor является fabless-компанией (разработчиком без собственных производственных мощностей), штаб-квартира которой располагается в Ирвайне, штат Калифорнии. Компания является крупным поставщиком полупроводниковых компонентов, при этом основное внимание сосредоточено на датчиках счетчиков энергопотребления и средств измерения энергии для интеллектуальных энергетических систем. Она находиться на третьем месте в четверке основных производителей счетчиков энергопотребления в США и на пятидесятом в мире. Основная отличительная характеристика интеллектуальных датчиков Teridian — новая архитектура, которая позволяет проводить более точные измерения мощности в более широком динамическом диапазоне. Для того, чтобы оптимизировать время выхода продукта на рынок и уменьшить затраты, производители счетчиков электропотребления нуждаются в микросхемах с высокой степенью интеграции компонентов на чипе и готовых многоуровневых решениях. Продемонстрированная Maxim возможность объединять множественные сигнальные функции будет крайне полезна в производстве высокоинтегрированных «систем-на-кристалле» (SoC) и готовых решений, удовлетворяющих этим требованиям. Было заявлено, что количество интеллектуальных датчиков, использующих как «системы-на-кристалле», так и готовые решения, должно ежегодно увеличиваться на 10% до 2014 года.

Как недавно отметил генеральный директор (CEO) Maxim Тунк Долука (*Tunc Doluca*): «Инвестиции в глобальные интеллектуальные энергетические системы должны быть существенны, для того чтобы использовать электростанции и сети энергоснабжения более эффективно. Средства измерения энергии и сетевые средства связи являются ключевыми компонентами интеллектуальной энергетической системы, а, следовательно, неизбежно ведет за собой разработку новых счетчиков энергопотребления на замену устаревших. Приобретение продуктовой линейки и команды компании Teridian в значительной степени ускорит наше внедрение на этот быстроразвивающийся рынок и поможет нам укрепить наши позиции».

Михаил Чигарев (КОМПЭЛ)

ИНТЕРФЕЙСЫ ТОКОВОЙ ПЕТЛИ



Токовая петля — распространенный способ передачи сигналов во многих промышленных приложениях. Несмотря на то, что данный интерфейс применяется уже почти полвека, он не утратил свою актуальность, а решения для организации токовой петли присутствуют в линейке многих мировых производителей полупроводниковых компонентов. В предлагаемой статье рассматриваются решения для ***передачи данных с использованием токовой петли*** *от компании* ***Maxim Integrated Products*** *– одного из лидеров в производстве аналоговых микросхем.*

Токовая петля — способ передачи информации с помощью измеряемых значений силы электрического тока. Как правило, система с использованием токовой петли включает в себя датчик (давления, температуры, газов и т.п.), передатчик, приемник и аналого-цифровой преобразователь (АЦП) или микроконтроллер (рисунок 1). На выходе датчика формируется напряжение, пропорциональное измеряемому параметру. Передатчик (усилитель тока, управляемый напряжением) преобразует напряжение от датчика в соответствующий ток от 4 до 20 мА. На другом конце линии приемник (усилитель напряжения, управляемый током) преобразует ток 4…20 мА обратно в напряжение. Аналого-цифровой преобразователь оцифровывает выходное напряжение приемника для последующей обработки процессором или микроконтроллером.

В системах с интерфейсом токовой петли информация передается с помощью модулированного сигналом тока. В токовой петле 4…20 мА, наименьшее значение сигнала соответствует току 4 мА, а наибольшее — 20 мА. Таким образом, весь диапазон допустимых значений составляет 16 мА. В петле постоянно поддерживается ток 4 мА, поэтому при более низкой величине тока обнаруживается обрыв линии и позволяет легко диагностировать такую ситуацию.

Как правило, в системах промышленной автоматики датчики удалены на большие расстояния от центрального управляющего узла, поэтому токовая петля до сих пор не утратила свою актуальность, поскольку является наиболее помехоустойчивым аналоговым интерфейсом, особенно — по сравнению с методами передачи данных напряжением. Более полноценная система, включающая в себя вторую токовую петлю (например, для управления приводом), продемонстрирована на рисунке 2. Опираясь на эту схему, рассмотрим решения, которые предлагает компания Maxim для ее реализации.

Операционный усилитель в качестве преобразователя напряжение-ток

На рисунке 3 представлена простая реализация преобразователя «напряжение-ток» с использованием операционного усилителя (ОУ) **MAX9943.** Данный ОУ при напряжении питания ±15 В обеспечивает выходной ток более ±20 мА, а также стабилен при емкостной нагрузке до 1 нФ, что делает его весьма подходящим для использования в длинной линии передачи. Для работы в диапазоне выходного тока 0…20 мА возможно однополярное питание усилителя, поскольку MAX9943 обеспечивает размах выходного напряжения, равный напряжению питания (*rail-to-rail output*).

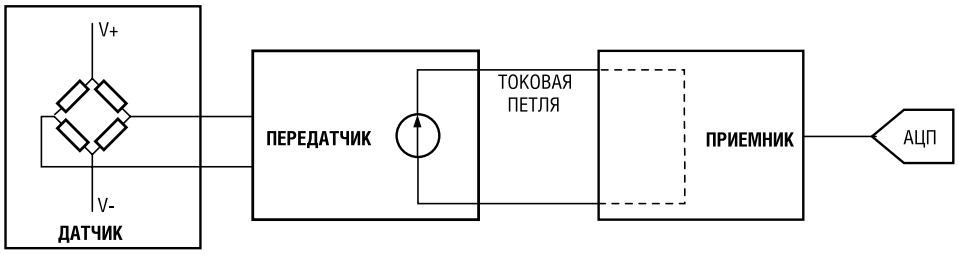


Рис. 1. **Типовая схема применения токовой петли**

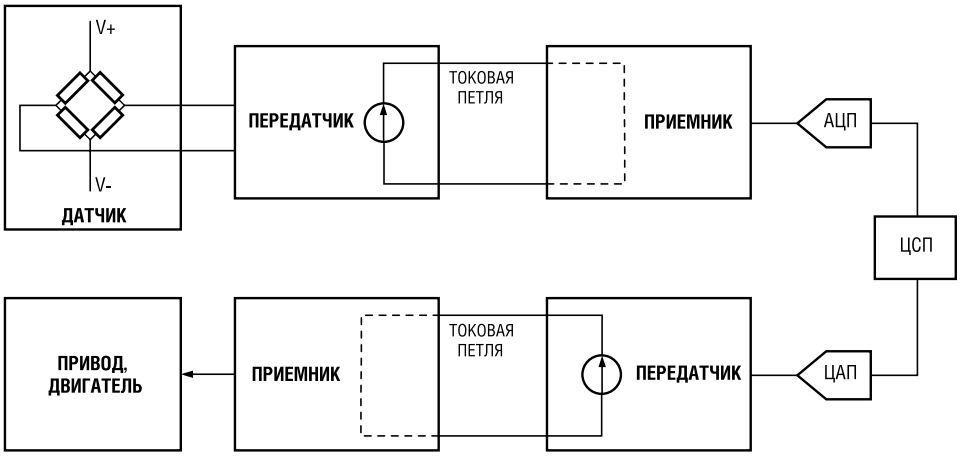


Рис. 2. **Комплексная система с обратной связью для управления приводом**

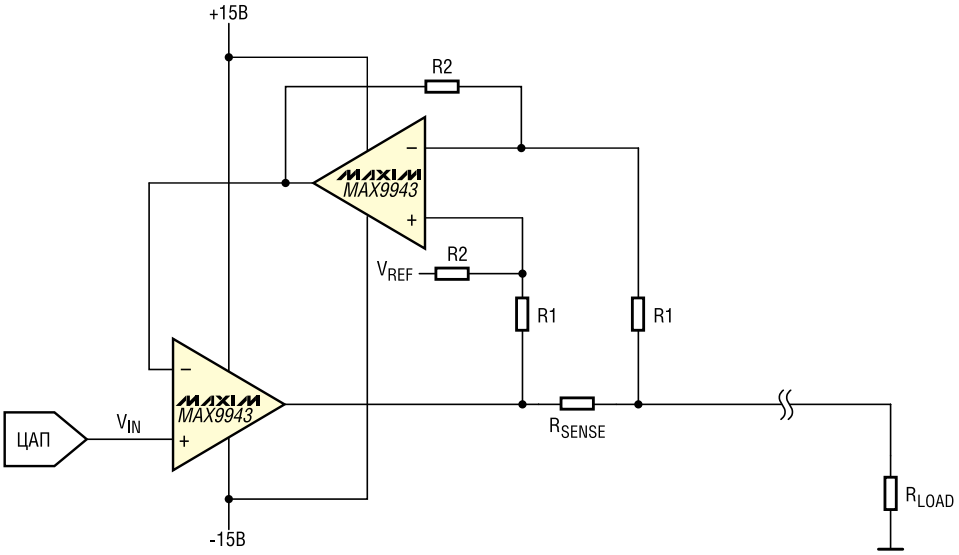


Рис. 3. **Преобразователь напряжение-ток на MAX9943**

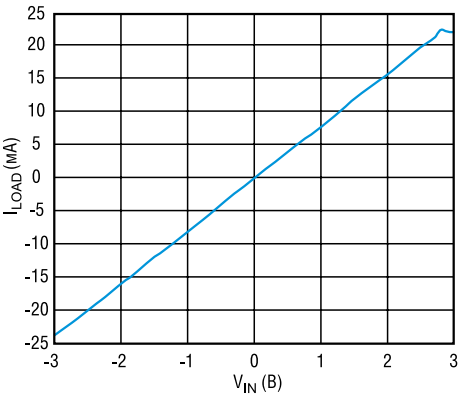


Рис. 4. **Зависимость I_{LOAD} от V_{IN} для выхода ±20 мА**

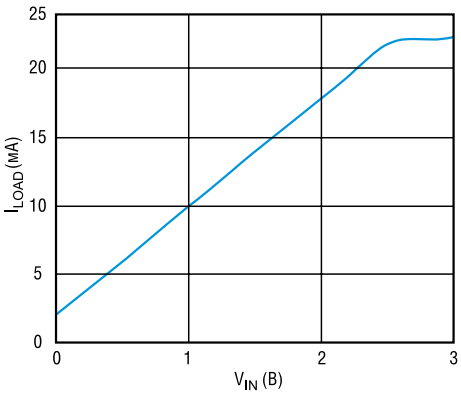


Рис. 5. **Зависимость I_{LOAD} от V_{IN} для выхода 4-20мА**

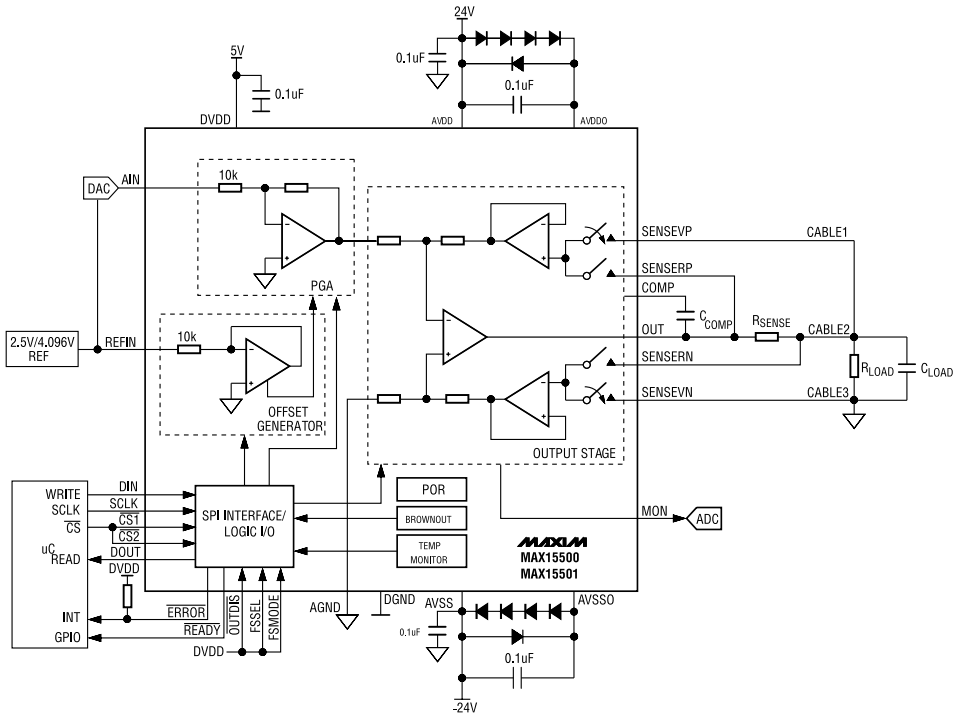


Рис. 6. **Схема применения MAX15500/15501**

В данной схеме зависимость между входным напряжением и током на нагрузке описывается выражением: $V_{IN} = (R2/R1) \times R_{SENSE} \times I_{LOAD} + V_{REF}$. Типовое значение нагрузочного сопротивления может составлять несколько кОм, В этом примере: R1 = 1 кОм; R2 = 10 кОм; R_{SENSE} = 12,5 Ом; R_{LOAD} = 600 Ом.

Для преобразования входного напряжения ±2,5 В в ток ±20 мА опорное напряжение V_{REF} должно быть равно 0 В. Чтобы получить токовый выход 4…20 мА из входного напряжения 0…2,5 В, необходимо задать смещение для постоянного присутствия в линии тока 4 мА. При V_{REF} = -0,25 В входное напряжение 0…2,5 В преобразуется в выходной ток 2…22 мА. Обычно разработчики выбирают немного расширенный динамический диапазон для возможности последующей программной калибровки. Зависимости входного напряжения и выходного тока показаны на рисунках 4 и 5.

MAX15500 и MAX15501 – формирователи сигнала токовой петли

Схема на рисунке 3 с использованием операционных усилителей – это простая реализация токовой петли, которая вызывает сложности при калибровке, а также большую погрешность при передаче сигналов в реальных условиях эксплуатации. На практике, для реализации преобразователя «напряжение-ток» целесообразно использовать однокристальные решения, технические параметры которых жестко описаны в документации.

Пример подобного решения – **MAX15500/15501,** программируемые по интерфейсу SPI формирователи аналогового токового выхода или выхода напряжения. Входное напряжение для этих преобразователей, как правило, берется с выхода внешнего ЦАП. Для MAX15500 диапазон входного напряжения 0…4,096 В, а для MAX15501 – 0…2,5 В. Программно доступны шесть режимов работы выходного каскада: ±10 В; 0…5 В; 0…10 В; ±20 мА; 0…20 мА; 4…20 мА. Микросхемы обеспечивают защиту от короткого замыкания; определение обрыва в линии передачи; защиту от перегрева и опреде-

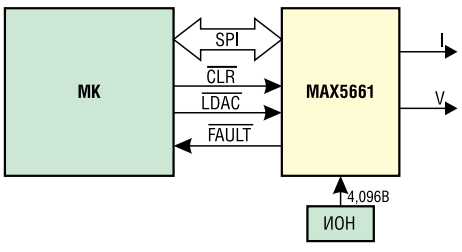


Рис. 7. **Схема применения ЦАП MAX5661 с поддержкой токового выхода**

ление падения питающего напряжения ниже порогового.

MAX5661 – ЦАП с токовым выходом

Наиболее интегрированный вариант преобразователя с токовым выходом – **MAX5661.** Это одноканальный 16-битный ЦАП с прецизионным высоковольтным усилителем, который организует законченное решение для преобразования цифрового сигнала от процессора в программируемый токовый выход (0…20 мА или 4…20 мА) или в напряжение промышленного стандарта ±10 В.

Управление и передача данных в ЦАП осуществляется по четырехпроводному SPI-интерфейсу. В микросхеме предусмотрен выход #FAULT, с помощью которого можно диагностировать обрыв в токовой петле или короткое замыкание на выходе напряжения. Следует отметить, что MAX5661 требует использования внешнего источника опорного напряжения 4,096 В. В документации приводится список рекомендуемых ультрапрецизионных ИОН, например, **MAX6341, MAX6133** или **MAX6033.** Для быстрого освоения всего функционала MAX5661 предлагается отладочный набор **MAX5661EVCMAXQU+** с интерфейсом к ПК для управления ЦАП с помощью графического интерфейса (GUI).

MAX1452 – преобразователь сигнала датчика в токовую петлю

До сих пор мы рассматривали решения, подходящие для преобразования сигнала от микроконтроллера или ЦАП, т.е. для передачи управляющих сигналов. Для получения токового сигнала со стороны датчика Maxim предлагает микросхему **MAX1452,** сочетающую в себе аналоговую часть с ОУ для формирования информационного сигнала и цифровую схему, обеспечивающую компенсацию температурного дрейфа, подстройку сдвига нуля, а также программируемый с помощью PGA коэффициент передачи. Все коэффициенты подстройки хранятся во встроенной EEPROM-памяти объемом 768 байт.

На рисунке 8 представлена схема включения MAX1452 с токовым выходом 4…20 мА и питанием от токовой петли. Для формирования тока в петле используется транзистор **2N2222A.**

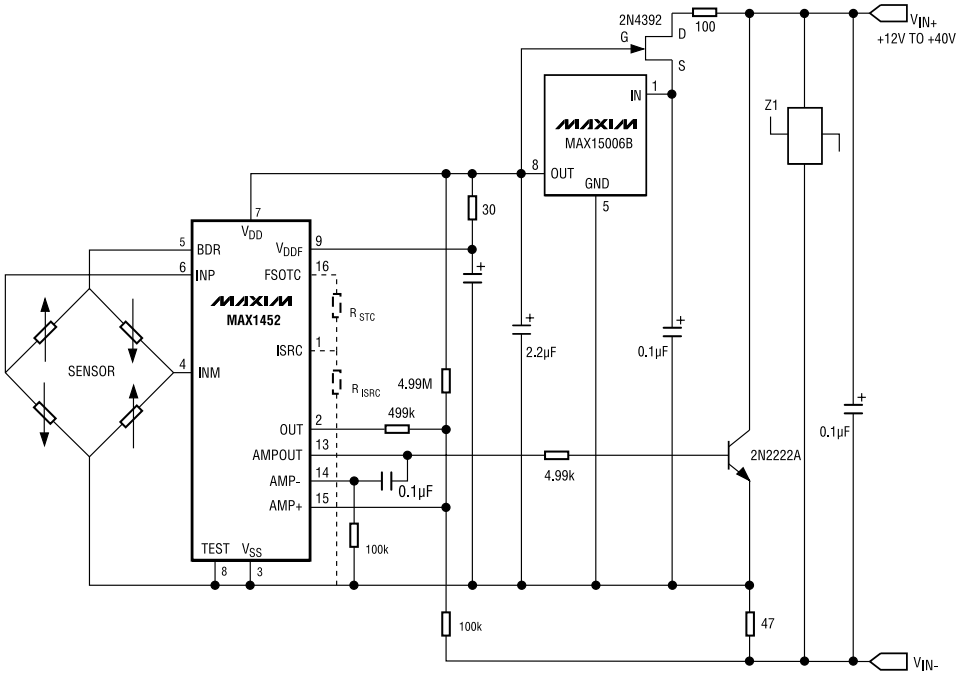


Рис. 8. **Схема включения MAX1452 в качестве преобразователя с токовым выходом**

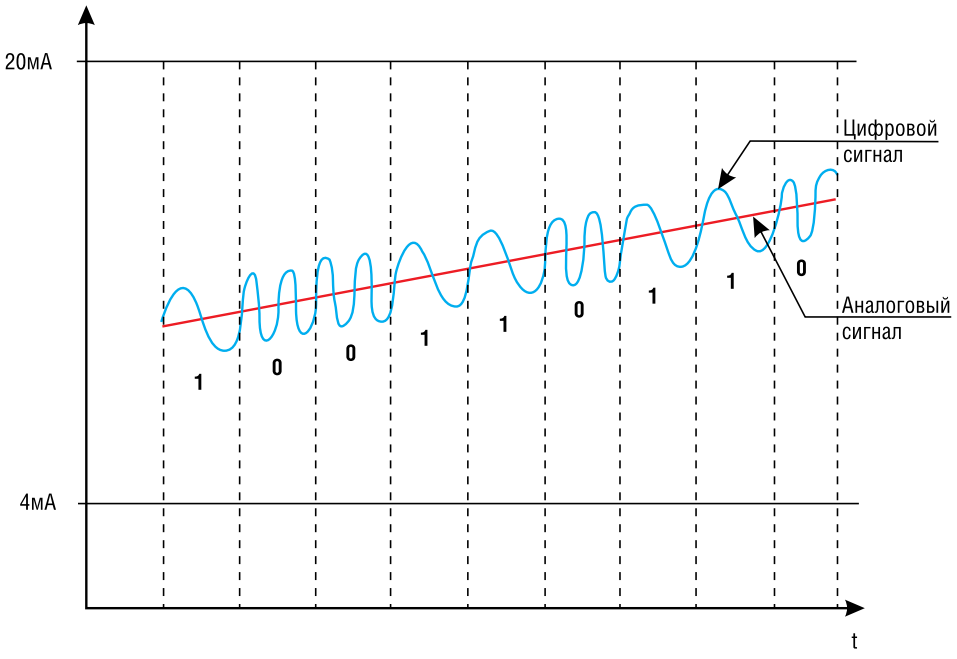


Рис. 9. **FSK-модулированный сигнал поверх аналоговой токовой петли**

HART-модем DS8500

HART (*Highway Addressable Remote Transducer Protocol*) – цифровой промышленный протокол передачи данных, позволяющий, как правило, осуществить настройку датчика или получить информацию о его состоянии с использованием линии, на которой организована аналоговая токовая петля. Для передачи цифровых данных используется FSK-модулированный сигнал (модуляция переключением частоты) поверх токовой петли 4…20 мА (рисунок 9). Такой способ реализации позволяет использовать протокол HART в уже существующих системах с аналоговой токовой петлей.

Для организации физического уровня HART (модуляции и демодуляции) компания Maxim предлагает микросхему HART-модема **DS8500,** которая позволяет осуществлять полудуплексный режим приема-передачи, при этом «1» модули-

Для получения токового сигнала со стороны датчика Maxim предлагает микросхему MAX1452, сочетающую в себе аналоговую часть с ОУ для формирования информационного сигнала и цифровую схему, обеспечивающую компенсацию температурного дрейфа, подстройку сдвига нуля, а также программируемый с помощью PGA коэффициент передачи.

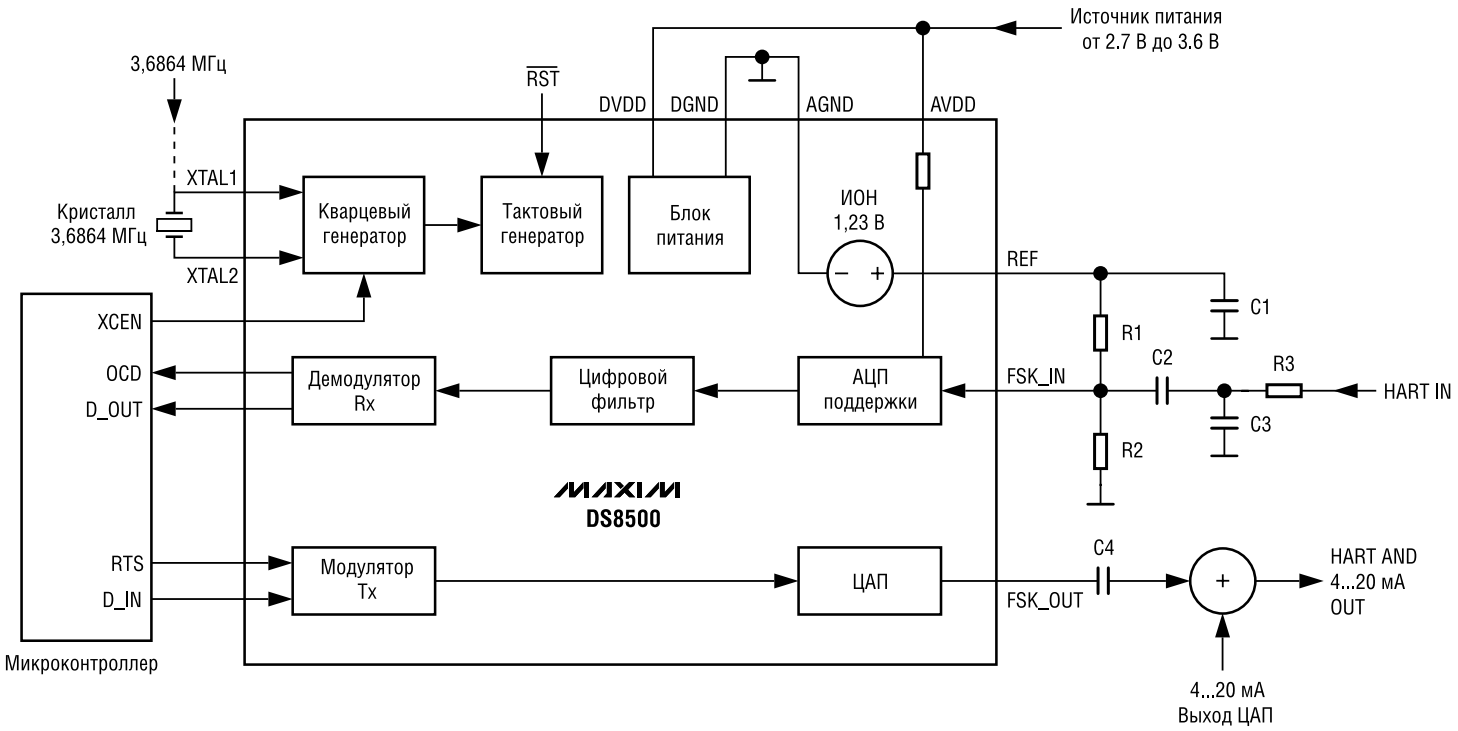


Рис. 10. **Функциональная схема DS8500**

руется частотой 1,2 кГц, «0» – 2,2 кГц. Функционально DS8500 состоит из демодулятора, цифрового фильтра, АЦП, модулятора и ЦАП (рисунок 10). Подобная архитектура (с наличием цифровой фильтрации и ЦАП, который генерирует чистый синусоидальный сигнал с непрерывным по фазе переключением между частотами) обеспечивает надежный прием сигнала в условиях помех.

MAXIM INNOVATION DELIVERED
MAX15500/MAX15501
Уникальные формирователи аналоговых сигналов с программируемым аналоговым выходом по току до ±24 мА и по напряжению до ±12 В, предназначенные для широкого спектра систем промышленной автоматики, измерительной техники и ПЛК.
MAXIM
MAX15500/MAX15501
SPI™ INTERFACE
BIDIRECTIONAL CURRENT DRIVER
ERROR HANDLING
OVERCURRENT PROTECTION
BIDIRECTIONAL VOLTAGE DRIVER
ERROR HANDLING
MAX15500/MAX15501 программируются через интерфейс SPI, который поддерживает гирляндную схему соединения. Приборы обеспечивают полный отчет об ошибках через SPI, имеют дополнительный выход прерывания с открытым стоком, а специальный аналоговый выход позволяет вести мониторинг состояния нагрузки. MAX15500/MAX15501 выполнены в миниатюрном корпусе TQFN-32 5x5 мм и работают в диапазоне температур -40...105°C.
Москва
Тел.: (495) 995-0901
Факс: (495) 995-0902
Санкт-Петербург
Тел.: (812) 327-9404
Факс: (812) 327-9403
Компэл
www.compel.ru

Заключение

Компания Maxim предлагает полный спектр решений для организации передачи данных с использованием токовой петли как от датчиков до центрального управляющего блока, так и от этого блока до исполнительных узлов. Помимо этого, для расширения функционала подобной промышленной системы в линейке Maxim присутствуют более 300 различных микросхем интерфейсов **RS-485/RS-232,** CAN, LIN.

Литература

1. "How to use highvoltage and highcurrent-drive opamps in 4-20 mA current-loop systems", Maurizio Gavardoni, **Maxim Engineering Journal №68**
2. «Аналоговая токовая петля – решения от компании Maxim», Анатолий Андрусевич, **«Компоненты и технологии» №8 2009**
3. ***http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/MAX15500-MAX15501.pdf***
4. ***http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/MAX5661.pdf***
5. ***http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/MAX1452.pdf***
6. ***http://www.hartcomm.org/protocol/about/aboutprotocol_how.html***
7. ***http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/DS8500.pdf.***

Получение технической информации, заказ образцов, поставка –
e-mail: analog.vesti@compel.ru

Андрей Никитин

ОПЕРАЦИОННЫЕ УСИЛИТЕЛИ КОМПАНИИ MAXIM



*Компания **Maxim Integrated Products** – один из ведущих мировых производителей аналоговых интегральных схем. В данной статье предлагается обзор **операционных усилителей** (ОУ), выпускаемых Maxim, их классификация по основным параметрам, а также ряд соображений, позволяющих сделать оптимальный выбор для конкретного приложения из более чем широкой номенклатуры изделий, предлагаемых компанией.*

В настоящее время каждый из ведущих производителей полупроводников выпускает более сотни (а иногда и несколько сотен) типов операционных усилителей. Линейка ОУ компании Maxim Integrated Products содержит около 150 типов микросхем (не учитывая исполнения в разных корпусах). На фоне этого изобилия разработчику сложно сделать оптимальный выбор микросхемы для конкретного приложения. Решение проблемы выбора предполагает определение нескольких ключевых параметров, критичных для разрабатываемого изделия и, тем самым, ограничение списка возможных вариантов до разумных пределов.

Основные параметры и классификация операционных усилителей

Параметры, которые определяют качество операционных усилителей, принято разделять на три группы: эксплуатационные, точностные и динамические.

К основным эксплуатационным параметрам относят:

- Минимальное и максимальное напряжения питания;
- Потребляемый ток;
- Наличие свойств Rail-to-Rail по входу и выходу;
- Наличие входа Shutdown (отключение от нагрузки).

К основным точностным параметрам относят:

- Напряжение смещения нуля VOS;
- Коэффициент ослабления синфазного сигнала (КОСС);
- Коэффициент подавления пульсаций напряжения питания (КППНП) (другое наименование – коэффициент ослабления влияния нестабильности источников питания (КОНИП));
- Входной ток IBIAS;
- Спектральная плотность шума по напряжению en.

К основным динамическим параметрам относят:

- Частоту единичного усиления (GBW);
- Скорость нарастания выходного напряжения r.

Ограниченный объем статьи не позволяет пояснить физический смысл данных параметров. Однако они достаточно подробно разобраны во всех монографиях, посвященных принципам работы операционных усилителей, например в [1].

В теории ОУ [1] используется термин «идеальный операционный усилитель». В реальности приходится учитывать: высокий, но все-таки конечный коэффициент усиления; ненулевой входной ток; ненулевое выходное сопротивление; ограниченную полосу пропускания и т.д.

Выпускаемые промышленностью операционные усилители постоянно совершенствуются, их параметры «приближаются к идеальным». Однако улучшить все параметры одновременно технически невозможно (не говоря уже о нецелесообразности подобных мероприятий из-за стоимости полученного решения). Для того, чтобы расширить область применения ОУ, выпускаются различные их типы, в каждом из которых один или несколько параметров являются доминирующими, а остальные на обычном уровне (или даже чуть хуже). Это оправдано, так как в различных сферах применения от ОУ требуется высокое значение того или иного параметра, но не всех сразу. Отсюда вытекает классификация ОУ по назначению. В рамках данной статьи мы рассмотрим:

- ОУ с малым энергопотреблением;
- Низковольтные ОУ;
- Малошумящие ОУ;
- Прецизионные ОУ;
- Высокоскоростные ОУ;
- Высоковольтные ОУ;
- ОУ общего назначения.

Операционные усилители с малым энергопотреблением

Усилители данного класса используются в приборах, получающих питание от гальванических или аккумуляторных батарей. Ключевым параметром, по которому конкретный усилитель может быть отнесен к данной группе, является значение тока, потребляемого от источника питания. Компания Maxim в своей классификации определяет эту величину, как «менее 20 мкА». Линейка ОУ с малым энергопотреблением и их параметры приведены в таблице 1.

Объем статьи не позволяет привести полные таблицы для всех ОУ рассматриваемого класса. Поэтому в данной и последующих таблицах приведены параметры не всех ОУ, входящих в семейство, а только одинарных (то есть, содержащих один усилитель в корпусе). Значения большинства параметров сдвоенных и счетверенных усилителей, как правило, аналогичны параметрам одинарных ОУ. Полная информация доступна на сайте компании Maxim – ***www.maxim-ic.com.***

Как видим, значения точностных параметров (коэффициент ослабления синфазного сигнала, коэффициент подавления пульсаций напряжения питания, спектральная плотность шума) находятся на уровне устройств общего назначения. Значения динамических параметров (частота единичного усиления, скорость нарастания выходного напряжения) не могут быть высокими, поскольку малое энергопотребление и высокая динамика в определенном смысле – понятия противоположные. Однако в тех приложениях, где малое

Таблица 1. **Номенклатура и параметры ОУ с малым энергопотреблением компании Maxim**

Наименование	Усилителей в корпусе	Rail-To-Rail		Напряжение питания, В		Потребляемый ток, мкА		Напряжение смещения нуля, мкВ	Коэффициент ослабления синфазной составляющей, дБ
		Входы	Выходы	Мин.	Макс.	Тип.	Макс.	Макс.	
MAX4036	1		есть	1,4	3,6	0,8	1,2	2000	70
MAX4037	1		есть	1,4	3,6	1,9	2,4	2000	70
MAX4040	1	есть	есть	2,4	5,5	12	20	1500	94
MAX4041	1	есть	есть	2,4	5,5	12	20	1500	94
MAX406	1		есть	2,5	10	1	1,2	500	80
MAX409	1		есть	2,5	10	1	1,2	500	80
MAX4240	1	есть	есть	1,8	5,5	14	18	1400	94
MAX4241	1	есть	есть	1,8	5,5	14	18	750	94
MAX4289	1		есть	1	5,5	9	14	2000	85
MAX4464	1		есть	1,8	5,5	0,75	1,2	7000	95
MAX4470	1		есть	1,8	5,5	0,75	1,2	7000	95
MAX9910	1	есть	есть	1,8	5,5	4	5	1000	80
MAX9911	1	есть	есть	1,8	5,5	4	5	1000	80
MAX9914	1	есть	есть	1,8	5,5	20	25	1000	80
MAX9915	1	есть	есть	1,8	5,5	20	25	1000	80

Таблица 2. **Номенклатура и параметры низковольтных ОУ компании Maxim**

Наименование	Усилителей в корпусе	Rail-To-Rail		Напряжение питания, В		Потребляемый ток, мкА		Напряжение смещения нуля, мкВ	Коэффициент ослабления синфазной составляющей, дБ
		Входы	Выходы	Мин.	Макс.	Тип.	Макс.	Макс.	
MAX4036	1		есть	1,4	3,6	0,8	1,2	2000	70
MAX4037	1		есть	1,4	3,6	1,9	2,4	2000	70
MAX4240	1	есть	есть	1,8	5,5	14	18	1400	94
MAX4241	1	есть	есть	1,8	5,5	14	18	750	94
MAX4289	1		есть	1	5,5	9	14	2000	85
MAX4291	1	есть	есть	1,8	5,5	100	225	2500	90
MAX4464	1		есть	1,8	5,5	0,75	1,2	7000	95
MAX4470	1		есть	1,8	5,5	0,75	1,2	7000	95
MAX9617	1	есть	есть	1,8	5,5	59	78	10	135
MAX9619	1	есть	есть	1,8	5,5	59	78	10	135
MAX9620	1	есть	есть	1,8	5,5	59	78	10	135
MAX9910	1	есть	есть	1,8	5,5	4	5	1000	80
MAX9911	1	есть	есть	1,8	5,5	4	5	1000	80
MAX9914	1	есть	есть	1,8	5,5	20	25	1000	80
MAX9915	1	есть	есть	1,8	5,5	20	25	1000	80

Таблица 3. **Номенклатура и параметры малошумящих ОУ компании Maxim**

Наименование	Усилителей в корпусе	Rail-To-Rail		Напряжение питания, В		Потребляемый ток, мкА		Напряжение смещения нуля, мкВ	Коэффициент ослабления синфазной составляющей, дБ
		Входы	Выходы	Мин.	Макс.	Тип.	Макс.	Макс.	
MAX4231	1	Есть	Есть	2,7	5,5	1100	2000	6000	70
MAX4236	1		Есть	2,4	5,5	350	440	50	103
MAX4237	1		Есть	2,4	5,5	350	440	50	103
MAX4250	1		Есть	2,4	5,5	420	575	750	115
MAX4251	1		Есть	2,4	5,5	420	575	750	115
MAX4255	1		Есть	2,4	5,5	420	575	750	115
MAX4256	1		Есть	2,4	5,5	420	575	750	115
MAX4475	1		Есть	2,7	5,5	2500	4400	750	115
MAX4476	1		Есть	2,7	5,5	2500	4400	750	115
MAX4488	1		Есть	2,7	5,5	2500	4400	750	115
MAX4490	1	Есть	Есть	2,7	5,5	800	2000	10000	75
MAX4493	1		Есть	4,5	11	770	1100	5000	90
MAX9945	1		Есть	4,75	38	400	700	5000	94

Коэффициент подавления пульсаций напряжения питания, дБ	Входной ток, нА	Частота единичного усиления, мГц	Скорость нарастания выходного напряжения, В/мкс	Спектральная плотность шума, нВ/√Гц	Вход Shutdown	Исполнение Automotive	Low Cost	Миниатюрные корпуса	
								UCSP	SC70
82	0,01	0,004	0,0004	500		есть			есть
84	0,01	0,004	0,0004	500					
85	10	0,09	0,04	70					
85	10	0,09	0,04	70	есть				
86	0,01	0,004	0,005	150					
86	0,01	0,15	0,08	150					
85	6	0,09	0,04	70					
85	6	0,09	0,04	70	есть				
75	15	0,017							
90	1,5	0,04	0,02	120					есть
90	1,5	0,009	0,002	120					есть
95	0,01	0,2	0,1	400			есть		есть
95	0,01	0,2	0,1	400	есть		есть		есть
85	0,01	1	0,5	160			есть		есть
85	0,01	1	0,5	160	есть		есть		есть

Коэффициент подавления пульсаций напряжения питания, дБ	Входной ток, нА	Частота единичного усиления, мГц	Скорость нарастания выходного напряжения, В/мкс	Спектральная плотность шума, нВ/√Гц	Вход Shutdown	Исполнение Automotive	Low Cost	Миниатюрные корпуса	
								UCSP	SC70
82	0,01	0,004	0,0004	500		есть			есть
84	0,01	0,004	0,0004	500					
85	6	0,09	0,04	70					
85	6	0,09	0,04	70	есть				
75	15	0,017	–	–					
100	55	0,5	0,2	70			есть		есть
90	1,5	0,04	0,02	120					есть
90	1,5	0,009	0,002	120					есть
135	0,14	1,5	0,7	42					есть
135	0,14	1,5	0,7	42	есть				есть
135	0,14	1,5	0,7	42					есть
95	0,01	0,2	0,1	400			есть		есть
95	0,01	0,2	0,1	400	есть		есть		есть
85	0,01	1	0,5	160			есть		есть
85	0,01	1	0,5	160	есть		есть		есть

Коэффициент подавления пульсаций напряжения питания, дБ	Входной ток, нА	Частота единичного усиления, мГц	Скорость нарастания выходного напряжения, В/мкс	Спектральная плотность шума, нВ/√Гц	Вход Shutdown	Исполнение Automotive	Low Cost	Миниатюрные корпуса	
								UCSP	SC70
85	0,05	10	10	12	Есть	Есть	Есть		Есть
120	0,5	1,7	0,3	14	Есть				
120	0,5	7,5	1,3	14	Есть				
100	0,1	3	0,3	8,9					
100	0,1	3	0,3	8,9	Есть				
100	0,1	22	2,1	8,9					
100	0,1	22	2,1	8,9					
120	0,15	10	3	4,5	Есть	Есть			
120	0,15	10	3	4,5		Есть			
120	0,15	42	10	4,5	Есть	Есть			
100	2,5	10	10	12		Есть	Есть		Есть
80	1000	5	3	8		Есть	Есть		Есть
100	–	3	2,2	15					

Таблица 4. **Номенклатура и параметры прецизионных ОУ компании Maxim**

Наименование	Усилителей в корпусе	Rail-To-Rail		Напряжение питания, В		Потребляемый ток, мкА		Напряжение смещения нуля, мкВ	Коэффициент ослабления синфазной составляющей, дБ
		Входы	Выходы	Мин.	Макс.	Тип.	Макс.	Макс.	
MAX4236	1		Есть	2,4	5,5	350	440	50	103
MAX4237	1		Есть	2,4	5,5	350	440	50	103
MAX4238	1		Есть	2,7	5,5	600	850	2	140
MAX4239	1		Есть	2,7	5,5	600	850	2	140
MAX9617	1	Есть	Есть	1,8	5,5	59	78	10	135
MAX9619	1	Есть	Есть	1,8	5,5	59	78	10	135
MAX9620	1	Есть	Есть	1,8	5,5	59	78	10	135
MAX9943	1		Есть	6	38	550	950	100	125

Таблица 5. **Номенклатура и параметры высокоскоростных ОУ компании Maxim**

Наименование	Усилителей в корпусе	Rail-To-Rail		Напряжение питания, В		Потребляемый ток, мкА		Напряжение смещения нуля, мкВ	Коэффициент ослабления синфазной составляющей, дБ
		Входы	Выходы	Мин.	Макс.	Тип.	Макс.	Макс.	
MAX4124	1	Есть	Есть	2,7	6,5	725	825	1500	90
MAX4125	1	Есть	Есть	2,7	6,5	725	825	600	98
MAX4230	1	Есть	Есть	2,7	5,5	1100	2000	6000	70
MAX4231	1	Есть	Есть	2,7	5,5	1100	2000	6000	70
MAX4484	1		Есть	2,7	5,5	1900	3500	5000	83
MAX4488	1		Есть	2,7	5,5	2500	4400	750	115
MAX4490	1	Есть	Есть	2,7	5,5	800	2000	10000	75
MAX9650	1	Есть	Есть	6	20	3700	8000	14000	80

Таблица 6. **Номенклатура и параметры высоковольтных ОУ компании Maxim**

Наименование	Усилителей в корпусе	Rail-To-Rail		Напряжение питания, В		Потребляемый ток, мкА		Напряжение смещения нуля, мкВ	Коэффициент ослабления синфазной составляющей, дБ
		Входы	Выходы	Мин.	Макс.	Тип.	Макс.	Макс.	
MAX9650	1	Есть	Есть	6	20	3700	8000	14000	80
MAX9651	2	Есть	Есть	6	20	3700	8000	14000	80
MAX9943	1		Есть	6	38	550	950	100	125
MAX9945	1		Есть	4,75	38	400	700	5000	94

Таблица 7. **Номенклатура и параметры недорогих ОУ компании Maxim**

Наименование	Усилителей в корпусе	Rail-To-Rail		Напряжение питания, В		Потребляемый ток, мкА		Напряжение смещения нуля, мкВ	Коэффициент ослабления синфазной составляющей, дБ
		Входы	Выходы	Мин.	Макс.	Тип.	Макс.	Макс.	
MAX4231	1	Есть	Есть	2,7	5,5	1100	2000	6000	70
MAX4245	1	Есть	Есть	2,5	5,5	375	700	1500	60
MAX4291	1	Есть	Есть	1,8	5,5	100	225	2500	90
MAX4400	1		Есть	2,5	5,5	320	700	4500	84
MAX4401	1		Есть	2,5	5,5	320	700	4500	84
MAX4480	1		Есть	2,5	5,5	45	100	5500	86
MAX4481	1		Есть	2,5	5,5	45	100	5500	86
MAX4484	1		Есть	2,7	5,5	1900	3500	5000	83
MAX4490	1	Есть	Есть	2,7	5,5	800	2000	10000	75
MAX4493	1		Есть	4,5	11	770	1100	5000	90
MAX9910	1	Есть	Есть	1,8	5,5	4	5	1000	80
MAX9911	1	Есть	Есть	1,8	5,5	4	5	1000	80
MAX9914	1	Есть	Есть	1,8	5,5	20	25	1000	80
MAX9915	1	Есть	Есть	1,8	5,5	20	25	1000	80

Коэффициент подавления пульсаций напряжения питания, дБ	Входной ток, нА	Частота единичного усиления, мГц	Скорость нарастания выходного напряжения, В/мкс	Спектральная плотность шума, нВ/√Гц	Вход Shutdown	Исполнение Automotive	Low Cost	Миниатюрные корпуса	
								UCSP	SC70
120	0,5	1,7	0,3	14	Есть				
120	0,5	7,5	1,3	14	Есть				
140	0,01	1	–	25	Есть	Есть			
140	0,01	6,5	–	25	Есть	Есть			
135	0,14	1,5	0,7	42					Есть
135	0,14	1,5	0,7	42	Есть				Есть
135	0,14	1,5	0,7	42					Есть
130	90	2,4	0,35	17,6					

Коэффициент подавления пульсаций напряжения питания, дБ	Входной ток, нА	Частота единичного усиления, мГц	Скорость нарастания выходного напряжения, В/мкс	Спектральная плотность шума, нВ/√Гц	Вход Shutdown	Исполнение Automotive	Low Cost	Миниатюрные корпуса	
								UCSP	SC70
100	150	25	10	22					
100	150	25	10	22					
85	0,05	10	10	12		Есть			Есть
85	0,05	10	10	12	Есть	Есть			Есть
85	0,1	7	20	29		Есть	Есть		Есть
120	0,15	42	10	4,5	Есть	Есть			
100	2,5	10	10	12		Есть			Есть
95	1000	35	40	-					

Коэффициент подавления пульсаций напряжения питания, дБ	Входной ток, нА	Частота единичного усиления, мГц	Скорость нарастания выходного напряжения, В/мкс	Спектральная плотность шума, нВ/√Гц	Вход Shutdown	Исполнение Automotive	Low Cost	Миниатюрные корпуса	
								UCSP	SC70
95	1000	35	40	–					
90	1000	35	40	–					
130	90	2,4	0,35	17,6					
100	–	3	2,2	15					

Коэффициент подавления пульсаций напряжения питания, дБ	Входной ток, нА	Частота единичного усиления, мГц	Скорость нарастания выходного напряжения, В/мкс	Спектральная плотность шума, нВ/√Гц	Вход Shutdown	Исполнение Automotive	Группа в классификации	Миниатюрные корпуса	
								UCSP	SC70
85	0,05	10	10	12	Есть	Есть	Low Noise		Есть
70	50	1	0,4	52	Есть	Есть			Есть
100	55	0,5	0,2	70			Low Voltage		Есть
100	0,1	0,8	1	36		Есть			Есть
100	0,1	0,8	1	36	Есть	Есть			Есть
92	0,1	0,14	0,08	100		Есть			Есть
92	0,1	0,14	0,08	100	Есть	Есть			Есть
85	0,1	7	20	29		Есть	High Speed		Есть
100	2,5	10	10	12		Есть	Low Noise		Есть
80	1000	5	3	8		Есть	Low Noise		Есть
95	0,01	0,2	0,1	400			Low Power, Low Voltage		Есть
95	0,01	0,2	0,1	400	Есть		Low Power, Low Voltage		Есть
85	0,01	1	0,5	160			Low Power, Low Voltage		Есть
85	0,01	1	0,5	160	Есть		Low Power, Low Voltage		Есть

энергопотребление выходит на первый план (мобильные устройства с батарейным питанием), динамические параметры не являются приоритетными.

Следует отметить микросхемы **MAX4464/70/71/72/74** – операционные усилители с потребляемым током 0,75 мкА. Это значение, на данный момент, является одним из лучших в отрасли. Кроме того, данные микросхемы обеспечивают достаточно высокие для своего класса значения КОСС и КППНП. Хорошие динамические характеристики (опять же для своего класса) обеспечивают семейства **MAX9910/11/12/13** и **MAX9914/15/16/17.** Кроме того, эти микросхемы входят в категорию «Low Cost», т.е. микросхем с очень недорогой ценой, которые могут быть востребованы в экономичных приложениях. Достаточно сбалансированные параметры семейства **MAX406/07/09/17/18/19** позволяют рассматривать их в качестве усилителей общего назначения.

Необходимо отметить, что по сравнению с другими ведущими производителями операционных усилителей (Texas Instruments, Analog Devices, National Semiconductor, Intersil) компания Maxim в данном классе приборов выгодно выделяется широкой номенклатурой предлагаемых изделий. Компания Maxim предлагает 15 типов микросхем одинарных усилителей (один усилитель в корпусе) с током потребления менее 20 мкА. Компания Texas Instruments предлагает девять моделей, Intersil – шесть, Analog Devices и National Semiconductor – по две.

Низковольтные операционные усилители

Под низковольтными, как правило, понимают операционные усилители, у которых минимальное напряжение питания не превышает 1,8 В. Целевая область применения – устройства с батарейным питанием. Линейка низковольтных ОУ и их параметры приведены в таблице 2.

Как видим, большая часть номенклатуры низковольтных ОУ и ОУ с малым энергопотреблением пересекается – новыми являются только два семейства: **MAX9617/18/19/20** и **MAX4291/92/94.** В первом случае упор сделан на улучшение точностных и динамических характеристик. Во втором – основное внимание уделено низкой стоимости, свойственных устройствам общего назначения. Из уникальных изделий следует обратить внимание на усилитель **MAX4289,** который является, по утверждению компании Maxim, первым в отрасли ОУ с напряжением питания от 1 В в корпусе SOT-23 [2].

Что касается широты номенклатуры в данном классе, то предложения Maxim, Texas Instruments и National Semiconductor примерно одинаковы (15, 13 и 13 одинарных ОУ, соответственно), а позиции Analog Devices и Intersil скромнее (шесть и пять наименований).

Малошумящие операционные усилители

Шумы в операционных усилителях, накладываясь на полезный сигнал, обуславливают аддитивную погрешность в измерительных приложениях и помехи в аудиоаппаратуре. Различают внешние и внутренние шумы. Внешние шумы приходят в усилитель с входными сигналами, борьба с ними осуществляется различными схемотехническими и конструктивными решениями. Внутренние (тепловые, дробовые, фликер-шумы) являются собственными шумами усилителя – их уровень пытаются минимизировать на этапе разработки микросхемы усилителя. Для малошумящих усилителей ключевым параметром является спектральная плотность шума. Компания Maxim относит к этому классу ОУ, в которых это значение не превышает 15 нВ/√Гц. Линейка малошумящих ОУ и их параметры приведены в таблице 3.

Лучшее по значению спектральной плотности шума семейство **MAX410/12/14** имеет показатель 1,5 нВ/√Гц, что соответствует наиболее высоким достижениям в отрасли. Кроме того, отметим семейство **MAX4091/92/94** с точки зрения энергопотребления, хорошие показатели у **MAX4488/89** по динамике. Операционные усилители семейства **MAX4230/31/32/33/34** являются достаточно привлекательными для тех приложений, где существенным фактором является цена.

Прецизионные операционные усилители

Для прецизионных (высокоточных) усилителей ключевым параметром является напряжение смещения нуля. Смещение нуля в операционных усилителях проявляется в наличии постоянного напряжения (смещения) на выходе ОУ при отсутствии входного сигнала (то есть, прямой и инверсный входы подключены к «земле»). Как правило, смещение нуля приводят ко входу, т.е. делят на коэффициент усиления. Очевидно, что минимальное смещение нуля – весьма существенный фактор для усилителей, работающих в измерительных приложениях. Компания Maxim относит к прецизионным усилителям те, у которых значение этого параметра не превышает 100 мкВ. Кроме того, важными параметрами для данного класса усилителей являются коэффициенты КОСС и КППНП, значения которых должны быть не хуже 100 дБ. Линейка прецизионных ОУ и их параметры приведены в таблице 4.

Несмотря на то, что номенклатура прецизионных ОУ, предлагаемых компанией Maxim, не очень широка, предлагаемые семейства явно дифференцированы по ключевому параметру. Таким образом, компания Maxim покрывает достаточно широкий спектр возможных приложений. Операционные усилители **MAX4238/39** показывают высокие показатели в этом классе – на уровне лучших показателей в отрасли. Отличительные особенности семейства **MAX9617/18/19/20:** низковольтное питание; небольшой ток потребления и хорошие для своего класса динамические параметры. Микросхемы **MAX4236/37** классифицируются также как малошумящие. Усилители **MAX9943/44** позиционируются как прецизионные и высоковольтные.

Высокоскоростные операционные усилители

Договоримся, что в данном разделе мы не рассматриваем высокоскоростные усилители (с полосой частот шире 100 МГц), предназначенные для различного рода видеоаппаратуры, поскольку они выполнены по иным схемотехническим решениям и не являются операционными усилителями в классическом понимании этого термина. Под высокоскоростными ОУ будем понимать те усилители, скорость нарастания выходного напряжения которых превышает 10 В/мкс. Частота единичного усиления у таких ОУ в подавляющем большинстве случаев не менее 5 МГц. Для сравнения, скорость нарастания для видеоусилителей лежит в диапазоне 500…2000 В/мкс, а ширина полосы пропускания на уровне 3 дБ не менее 300 МГц. Линейка высокоскоростных ОУ и их параметры приведены в таблице 5.

Наиболее высокие показатели по скорости нарастания выходного напряжения (на уровне лучших в отрасли среди данного класса) при достаточно широкой полосе пропускания обеспечивают микросхемы **MAX9650/51.** Однако они имеют более чем высокий потребляемый ток, большое смещение нуля и существенный недостаток – высокое напряжение питания (от 6 В).

Оптимальный выбор в данном классе по точностным характеристикам (КОСС, КППНП, спектральная плотность шума, смещение нуля) – микросхемы **MAX4488/89.** С точки зрения энергопотребления – **MAX4124/25/28.** Семейство **MAX4484/86/87** ориентировано на применение в экономичных приложениях «Low Cost».

Операционные усилители с широким диапазоном напряжения питания (высоковольтные ОУ)

Строго говоря, термин «высоковольтные ОУ» не совсем корректен. «Высоковольтными» были ОУ 1980-х годов, которые использовали напряжения питания ±15 В, но с достаточно жестким допуском. Современные «высоковольтные» ОУ являются именно операционными усилителями с широким диапазоном напряжения питания. Возможность работы на повышенном (от 10 В) питании мы наблюдали в ряде микросхем рассмотренных выше классов. С этой точки зрения «высоковольтность» сама по себе является не столько критерием принадлежности к отдельному классу, сколько опцией, которая может быть присуща ОУ различного назначения.

С другой стороны, если рассматривать только усилители с максимальным напряжением питания 20 В и выше, то значение минимального напряжения питания (6 В) однозначно выделяет их в отдельный класс. Линейка таких ОУ и их параметры приведены в таблице 6.

Специфичность данных микросхем обуславливает их ограниченную номенклатуру в продукции компании Maxim: усилители **MAX9650/51** – высокоскоростные, а **MAX9943/44/45** – малошумящие.

Операционные усилители общего назначения и недорогие операционные усилители

Некоторая нестандартность подзаголовка требует пояснений.

Усилители общего назначения. Здесь хотелось бы определиться с классификационным критерием. Если в рассмотренных выше группах критерий имел вполне определенный физический смысл (ток, напряжение и т.д.), то понятие «общее назначение» явно носит нематериальный характер. Договоримся, что в рамках данной статьи речь идет об изделиях, при проектировании которых ни один из параметров не считался доминирующим. С другой стороны, предполагалось, что ни один из параметров не будет завален «ниже нижнего». Поэтому изделие может быть востребовано в самых разнообразных приложениях, в тех фрагментах схемы, в которых к параметрам усилителя не предъявляются какие-то повышенные требования.

Если в качестве критерия использовать цену, то существуют «недорогие ОУ» (или «Low Cost» в терминах компании Maxim). Остается определиться с понятием «недорого». Предлагается следующий механизм: рассматриваем всю линейку одинарных (один усилитель в корпусе) усилителей*, независимо от значения параметров и предполагаемого назначения, и ранжируем ее по цене**. Самая дешевая четверть изделий и составит группу «Low Cost». Понятно, что сюда попадут и те специализированные микросхемы, в которых один или несколько параметров будут хуже среднего. Ничего страшного: это говорит только о том, что данная микросхема – «Low Cost» в своем классе, но не имеет отношения к «общему назначению». «Общее назначение» должно быть «Low Cost» по определению, и если усилитель со средними параметрами сюда не попал, то это, скорее всего, маркетинговая ошибка (или, все же, есть какая-то специализация, незаметная с первого взгляда). Линейка недорогих ОУ и их параметры приведены в таблице 7.

И действительно, значительная часть усилителей из данной таблицы относится к какому-либо из классов: маломощных, малошумящих, высокоскоростных ОУ (именно они отмечены в столбце «Low Cost» соответствующих таблиц). К «чистым» операционным усилителям общего назначения можно отнести **LMX321, MAX4245, MAX4400/01, MAX4480/01** и, соответственно, сдвоенные и счетверенные модификации этих семейств.

Отметим также, что компания Maxim выделяет семейства **MAX9910/11/12/13** и **MAX9915/16/17/18,** как операционные усилители с наилучшим соотношением «быстродействие – потребляемая мощность».

«Автомобильные» (Automotive) операционные усилители

Отметим, что под «автомобильными» ОУ понимается не отдельный класс устройств, а опция, позволяющая использовать конкретную микросхему в автомобильных приложениях (а именно, соответствие требованиям сертификата TS 16949). Поскольку среди них есть ОУ общего назначения, прецизионные, высокоскоростные и т.д., то номенклатура и параметры «автомобильных» ОУ не сведены в отдельную таблицу, а отмечены в столбце «Исполнение Automotive» в таблицах соответствующих групп.

Операционные усилители в миниатюрных корпусах

Характерная для современной электроники тенденция к минимизации габаритов электронных устройств (в особенности мобильного сегмента) определяет необходимость минимизации и отдельных электронных компонентов. Компания Maxim, в применении к ОУ, к миниатюрным относит корпуса размером 2x2 мм и менее. К ним относятся корпуса UCSP (с размерами 1x1; 1x1,5; 1,5x1,5 и 1,5x2 мм), CS-70 (размер 2x2 мм) и µDFN (размер 2x2 мм). Поскольку «миниатюрные» являются не отдельным классом, а только вариантом исполнения, то они не сведены в отдельную таблицу, а отмечены в столбцах «Миниатюрные корпуса» соответствующих таблиц (в корпусе µDFN в настоящий момент выпускается только микросхема **MAX4166**).

Вернувшись к таблице 7, можно сделать вывод: исполнение в корпусе CS70 – хорошее решение для снижения стоимости микросхемы (по крайней мере, в тех критериях Low Cost, которые были оговорены выше).

Заключение

Подводя итоги обзора операционных усилителей компании Maxim, можно сделать выводы, что компания Maxim производит операционные усилители для всех востребованных потребителем групп и различных областей применения. Номенклатура каждой из групп достаточно широка для того, чтобы найти изделие с заданным значением ключевого параметра. Характеристики операционных усилителей Maxim в наиболее востребованных группах не уступают аналогичным параметрам в продуктах других ведущих производителей, а часто и превосходят их.

Литература

1. Волович Г.И. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых устройств. – М.: Додека-XXI, 2005.

2. Страница ***http://www.maxim-ic.com/quick_view2.cfm/qv_pk/3254***.

** Причины, по которым сравнивались только одинарные усилители, очевидны, во-первых, сдвоенная микросхема всегда дороже аналогичной одинарной, но совсем не обязательно дороже одинарной другого типа. Во-вторых, сравниваться должны сопоставимые вещи – ничто не мешает аналогичным образом определить категорию «Low Cost» для сдвоенных и счетверенных микросхем.*

*** При анализе цен использованы данные, которые на момент подготовки статьи были открытым образом размещены на официальном сайте компании производителя* ***www.maxim-ic.com.***

Получение технической информации, заказ образцов, поставка – *e-mail: analog.vesti@compel.ru*

Константин Староверов

АНАЛОГОВО-ЦИФРОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ: НОВИНКИ ОТ MAXIM



В статье приводится обзор новинок из группы ***аналогово-цифровых преобразователей*** *одного из ведущих специалистов в области разработки и производства интегральных схем для сигнальных цепей — компании* ***Maxim Integrated Products.*** *Эти изделия находят широкое применение* ***в промышленной электронике, медицинском диагностическом оборудовании, приборах учета потребления электрической энергии, системах сбора данных и сенсорных интерфейсах.***

Аналогово-цифровые преобразователи (АЦП) — неотъемлемый элемент любой цифровой системы, взаимодействующей с реальным миром. Несмотря на многообразие программируемых цифровых ИС (микроконтроллеры, ПЛИС) со встроенным модулем АЦП, интегральные схемы АЦП (как самостоятельная категория продукции) по прежнему остаются востребованными по ряду причин, в т.ч.:

- Некоторые ИС АЦП обладают рабочими характеристиками, которые просто недоступны во встроенном исполнении;
- Отдельная ИС АЦП может быть установлена максимально близко к точке подачи на плату аналогового сигнала, что упрощает трассировку печатной платы и минимизирует влияние помех;
- За заявленные рабочие характеристики встроенного АЦП, ввиду непосредственного соседства с «шумящими» цифровыми блоками, как правило, приходится изрядно бороться применением алгоритмов цифровой фильтрации и калибровки, отключением некоторых цифровых блоков на время преобразования, что затягивает процесс разработки и отладки микропрограммного обеспечения и усложняет процедуру настройки в процессе производства.

Один из самых обширных ассортиментов ИС АЦП предлагает компания Maxim Integrated Products. Выпускаемая ею линейка АЦП насчитывает более 400 наименований, причем основная ее часть — прецизионные АЦП на частоту дискретизации до 5 МГц. В рамках данной группы АЦП пользователь имеет возможность выбора микросхемы с наиболее подходящим цифровым интерфейсом, в т.ч. последовательным (1-Wire, I²C, SPI/QSPI/MICROWAVE) или параллельным (8/12/14/16 бит). Кроме того, прецизионные АЦП Maxim классифицируются по разрешающей способности и числу каналов, в т.ч. 8/14/16 бит 1/2/4/8 каналов; 10 бит 1/2/4/5/8/10/12/16 каналов; 12 бит 1/2/4/6/8/10/12/16 каналов и 18 бит 5 каналов. В ассортимент Maxim также входят высокобыстродействующие 6/8/10/12/14/16-битные АЦП на частоту дискретизации свыше 5 МГц, АЦП двойного интегрирования и с интерфейсом светодиодных и жидкокристаллических дисплеев, а также АЦП специального назначения, в т.ч. для сенсорных интерфейсов и аналоговых интерфейсов коммуникационного оборудования. Пользователю предоставляется возможность найти АЦП по подходящему типу входного интерфейса (дифференциальный/несимметричный, однополярный/двухполярный) с возможностью одновременного преобразования нескольких каналов и автоматизацией управления преобразованиями. Граничные возможности по разрешающей способности и быстродействию демонстрируют четырехканальный дифференциальный сигма-дельта АЦП **MAX11040** на разрешающую способность 24 бит и 8-битный АЦП **MAX109** на частоту дискретизации 2,2 ГГц для прямой оцифровки РЧ-сигналов.

Поскольку технологии встраиваемых модулей АЦП не стоят на месте, компания Maxim стремится к непрерывному совершенствованию своей продукции, добавляя к ней особенности, оправдывающие применение отдельного и, как правило, недешевого АЦП. Рассмотрим совершенствование АЦП на примере новинок предшествующих двух лет.

АЦП одновременного преобразования

Компания Maxim существенно обновила линейку АЦП одновременного преобразования, которые находят широкое применение в промышленной электронике для оцифровки сигналов токов и напряжений трехфазной сети, в медицинском диагностическом оборудовании, а также в набирающих популярность интеллектуальных приборах учета потребления электрической энергии. В частности, 8-канальный 16-битный АЦП **MAX11046** (рис. 1) обладает такими характеристиками, которые превосходят требования ГОСТ Р 52323-2005 к счетчикам активной энергии класса точности 0.2. Помимо отличных рабочих характеристик, микросхема поддерживает ряд возможностей, направленных на снижение себестоимости конечного решения, в т.ч.:

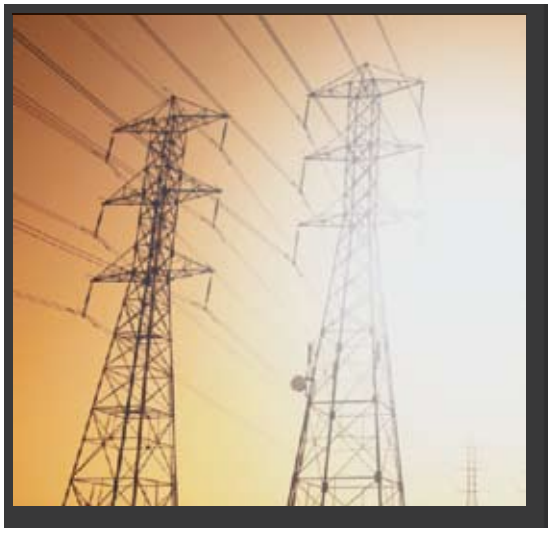
- Отсутствие необходимости в отрицательном напряжении питания при работе с двухполярным входным сигналом;
- Отсутствие потребности во внешних буферных усилителях благодаря высокому входному сопротивлению;
- Одновременная оцифровка восьми каналов одной микросхемой, а не двумя (как в случае использования продукции конкурирующих компаний);
- Минимизация схемы защиты от перенапряжений до уровня одного включенного последовательно резистора с помощью ограничителя на каждом входе;
- Встроенный ИОН (4,096 В);
- Миниатюрный 56-выводной корпус TQFN (6x6 мм), обеспечивающий рекордную плотность каналов на печатной плате.

Инновационная архитектура АЦП MAX11046 доступна в составе других АЦП, различающихся числом каналов и входным диапазоном. Сведения по ним представлены в таблице 1. Представленные АЦП рассчитаны на работу при температурах -40…85°C.

Еще одна новинка в рассматриваемой группе АЦП — **MAX11043.** Данный АЦП в 40-выводном корпусе TQFN (6x6 мм) содержит четыре канала одно-

Таблица 1. **Сравнение возможностей по управлению модулем посредством AT-команд и из ОС Open AT**

Количество каналов			Частота дискретизации, кГц	Входной диапазон, В	SNR (ном.), дБ	SINAD (ном.), дБ	SFDR (ном.), дБ	THD (ном.), дБ	INL (ном.), мзр	DNL (ном.), мзр
8	6	4								
MAX11046	MAX11045	MAX11044	250	±5	92,3	92	106	-105	±0,8	±0,5
MAX11049	MAX11048	MAX11047		0…5						



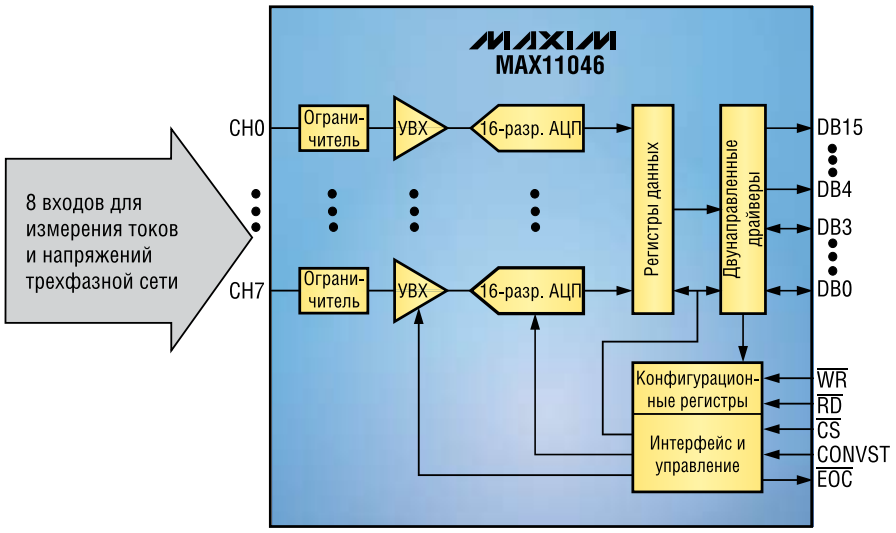


Рис. 1. **Структурная схема MAX11046**

временного преобразования и отличается более высокой степенью интеграции:

- Аналоговый фильтр, программируемый усилитель (Ку = 1…64) и функция EQ для автоматического усиления слабых высокочастотных сигналов на каждом входе;
- Двухкаскадный ЦАП: два 8-битных ЦАП для грубой регулировки и один 12-битный ЦАП для плавной регулировки (типичное назначение: управление регулируемым генератором (ГУН));
- Встроенный ИОН (2,5 В).

Помимо программируемых усилителей и фильтров, MAX11043 поддерживает еще ряд возможностей, повышающих гибкость его применения, в т.ч. возможность подключения внешнего ИОН (2…2,8 В), экономичный режим работы, детальную конфигурацию каждого канала с возможностью хранения настроек во встроенной flash-памяти, а также возможность оцифровки несимметричных и дифференциальных сигналов.

Так же, как и предыдущие АЦП, MAX11046 обладает отличными рабочими характеристиками (SFDR 90 дБ, отсутствие пропущенных кодов, частота дискретизации четырех каналов 400 кГц), однополярным питанием (3…3,6 В) и малой занимаемой площадью. Уникальной особенностью MAX11046 является сохранение его рабочих характеристик в температурном диапазоне -40…125°C.

Перечисленный набор особенностей АЦП MAX11046, в дополнение к указанным выше типичным областям применения АЦП одновременного преобразования, делает актуальным его использование в датчиках уровня и расхода.

MAX11040 – еще одна четырехканальная новинка в рассматриваемой группе АЦП. Уникальность этого АЦП заключается в 24-битной разрешающей способности и чрезвычайной простоте применения. АЦП оснащен каскадируемым SPI/QSPI/MICROWIRE-совместимым последовательным интерфейсом, который, не требуя раздельного управления выводом CS (chip select – выбор микросхемы), позволяет подключить к одной последовательной шине до восьми микросхем (общее число каналов 32). Это означает, что шина подключения к МК всегда состоит из равного числа линий, независимо от числа каскадируемых АЦП. Как минимум это четыре линии. Дополнительно можно задействовать еще до трех линий для опроса флагов готовности данных, сигнализации выхода за пределы диапазона и аварийного состояния на входе.

MAX11040 поддерживает возможность компенсации фазовых сдвигов, созданных источниками сигналов (резистивные делители, трансформаторы или фильтры), путем введения задержки программируемой длительности (0…333 мкс). Данная особенность, совместно с такими характеристиками MAX11040, как SINAD 90 дБ и SFDR 91 дБ, ориентирует его на применение в релейной защите электротехнического и энергетического оборудования, меди-

Таблица 2. **Основные характеристики контроллеров сенсорных экранов**

Наименование	Разрешающая способность	Тактильный эффект	Контроль приближения	Режим автономного преобразования	Интерфейс	Напряжение питания, В	Корпус
MAX11800	12/8			Есть	SPI	1,7…3,6	12-TQFN, 12-WLP
MAX11801	12/8			Есть	I²C	1,7…3,6	12-TQFN, 12-WLP
MAX11802	12/8				SPI	1,7…3,6	12-TQFN, 12-WLP
MAX11803	12/8				I²C	1,7…3,6	12-TQFN, 12-WLP
MAX11810	12/8	Есть	Есть	Есть	SPI	1,7…3,6	12-TQFN, 12-WLP
MAX11811	12/8	Есть	Есть	Есть	I²C	1,7…3,6	12-TQFN, 12-WLP

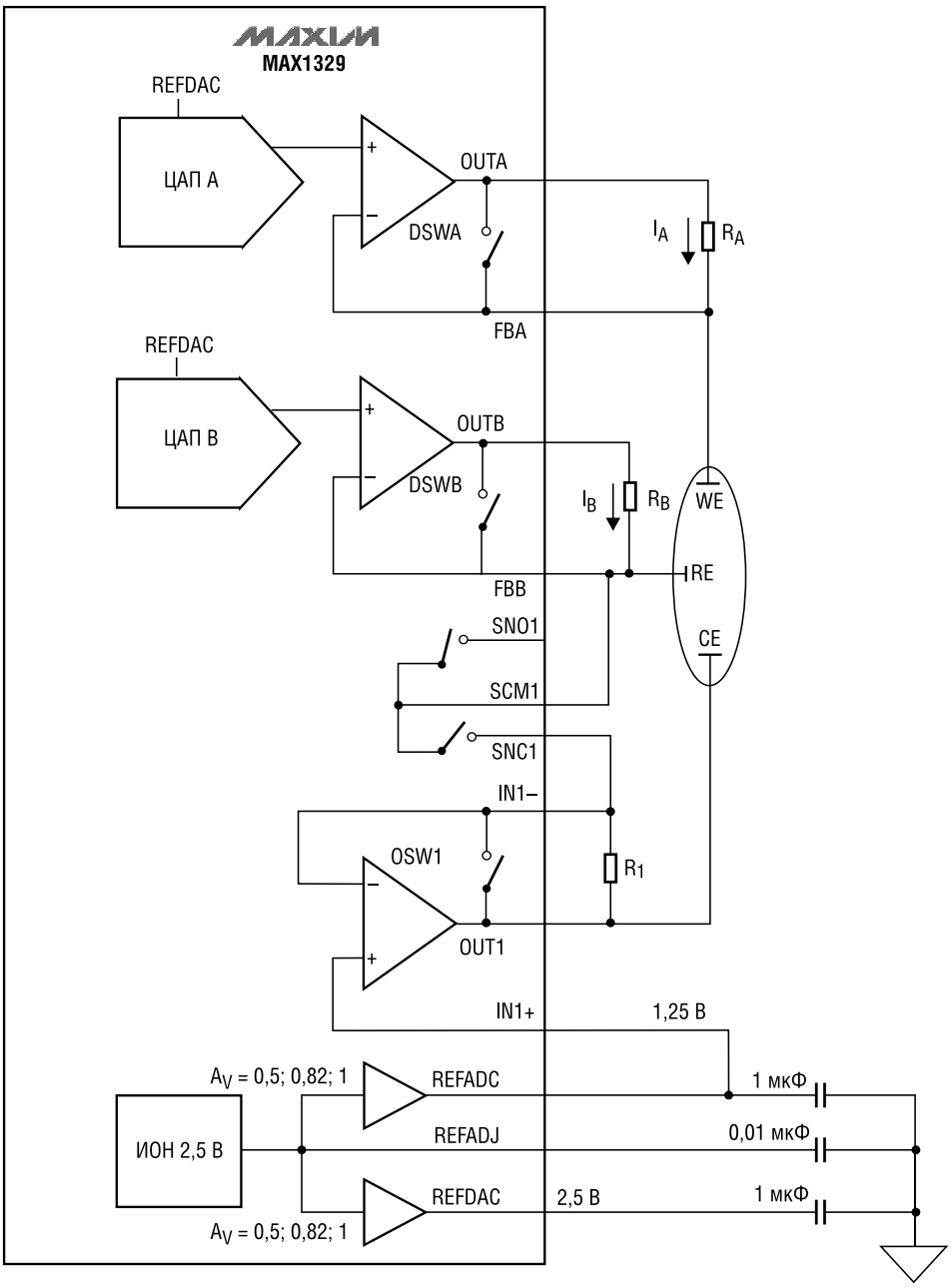


Рис. 2. **Пример использования MAX1329 в трехпроводном потенциостате**

цинских электрокардиографах и электроэнцефалографах, а также в другом оборудовании, где требуется одновременная оцифровка до четырех каналов с частотой 0,25…64 кГц.

Дополнительными факторами снижения себестоимости являются встроенная защита входов от перенапряжений до ±6 В, встроенные ИОН (2,5 В, 50 ppm/°C) и кварцевый генератор, а также малая занимаемая площадь 38-выводного корпуса TSSOP (9,7x6,4 мм). АЦП рассчитан на работу при температуре -40…105°C и напряжении питания 3…3,6 В (полный входной диапазон ±2,2 В).

АЦП для систем сбора данных

Специально для систем сбора данных, которые работают с разнообразными источниками сигналов (датчиками), компания Maxim разработала микросхему **MAX1329.** MAX1329 выполнена на основе 12-битного АЦП (поддерживается возможность увеличения разрешения до 16 бит) и дополнена разнообразными аналоговыми и цифровыми блоками, которые превращают ее в однокристальную систему сбора данных, отвечающей требованиям портативных батарейных применений (миниатюрный 40-выводной корпус TQFN, 6x6 мм, питание 1,8…3,6 В, экономичные режимы работы, в т.ч. режим отключения с номинальным потреблением 0,5 мкА). К числу таких блоков относятся: два 12-битных ЦАП; раздельные ИОН АЦП и ЦАП; программируемый усилитель (Ку = 1,2,4,8); буфер FIFO (16 слов); 20-битный накопитель; 16-входовый дифференциальный мультиплексор на входе АЦП; твердотельные коммутаторы для конфигурации схемы; SPI/QSPI/MICROWIRE совместимый интерфейс для подключения к МК; генератор частоты 3,6864 МГц для синхронизации ИС; датчик температуры; емкостной преобразователь для питания аналогового тракта ИС; операционный усилитель и др. По сравнению с решением на основе МК со встроенным блоком АЦП, применение MAX1329 позволит избавиться от множества внешних компонентов, добиться большей гибкости конечного решения и полностью оправдать затраты на включение в проект отдельной ИС системы сбора данных. Микросхема рассчитана на работу в температурном диапазоне -40…85°C и является рекомендованной заменой для MAX1330 (последняя переведена в статус «не рекомендовано для новых разработок»). Пример использования MAX1329 иллюстрирует рис. 2. Здесь показана упрощенная схема трехэлектродного потенциостата (находит применение в лабораториях электрохимических производств). ЦАП A используется для программируемого смещения рабочего электрода WE, а ЦАП B – для смещения опорного электрода RE. Оба смещения выполняются по отношению к счетному электроду CE и, таким образом, измерению подлежат два тока: I_A и I_B. С помощью резисторов R_A и R_B эти токи преобразуются в напряжения, которые в дальнейшем поступают на вход АЦП через внутренний мультиплексор (на схеме не показаны).

АЦП для сенсорных интерфейсов

Широкое распространение сенсорных отображающих панелей на основе четырехпроводных резистивных сенсорных экранов открыли новую перспективную область применения АЦП – контроллеры сенсорных интерфейсов. Компания Maxim плодотворно поработала в этом направлении и представила в 2009 году целое семейство контроллеров сенсорных экранов. **MAX11810** и **MAX11811** стали первыми контроллерами в линейке Maxim, которые интегрируют в одном кристалле возможности контроллера четырехпроводного сенсорного экрана, логики обеспечения тактильного эффекта (совместно с внешним звуковым излучателем или вибрационным мотором) и инфракрасного датчика приближения (совместно с внешним ИК датчиком). Основой этих микросхем является 12-битный АЦП последовательных приближений. Кроме того, микросхемы интегрируют токовый ЦАП общего назначения, вход общего назначения и последовательный интерфейс для связи с управляющим процессором. По сравнению с решениями, в которых функция тактильного эффекта реализовывалась управляющим процессором, применение новых контролле-

Таблица 3. **Основные характеристики АЦП MAX116xx**

Наименование	Разрешающая способность, бит	Количество входных каналов	Напряжение питания, В	INL (макс.), мзр	Внутр. ИОН, В	Адрес I²C	Корпус
MAX11600 MAX11606 MAX11612	8 10 12	4	4,5…5,5	±1	4,096	1100100 0110100 0110100	8-SOT23
MAX11601 MAX11607 MAX11613	8 10 12	4	2,7…3,6	±1	2,048	1100100 0110100 0110100	8-SOT23
MAX11602 MAX11608 MAX11614	8 10 12	8	4,5…5,5	±1	4,096	1101101 0110011 0110011	16-QSOP
MAX11603 MAX11609 MAX11615	8 10 12	8	2,7…3,6	±1	2,048	1101101 0110011 0110011	16-QSOP
MAX11604 MAX11610 MAX11616	8 10 12	12	4,5…5,5	±1	4,096	1100101 0110101 0110101	16-QSOP
MAX11605 MAX11611 MAX11617	8 10 12	12	2,7…3,6	±1	2,048	1100101 0110101 0110101	16-QSOP

ров высвобождает процессорное время от задач генерации звуковых сигналов (поддерживается генерация свыше 50 тыс. образцовых сигналов) и исключает из схемы усилительные элементы, предназначенные для подключения к звуковому излучателю или вибродвигателю.

В отличие от многих существующих контроллеров MAX11810/11 выполняют дополнительную цифровую обработку. Она направлена на достоверное определение параметров прикосновения к экрану и снижение за счет этого частоты генерации прерываний процессора, инициированных ложным распознаванием прикосновений, а также потребляемой мощностью. Кроме того, в целях дальнейшего снижения частоты прерываний процессора предусмотрены апертурный режим (пространственная фильтрация) и буфер FIFO. MAX11810/11 отличаются между собой типом последовательного интерфейса и доступны в упрощенных исполнениях, совместимых по назначению регистров (сравнение см. в таблице 2).

Типичные области применения данных микросхем: сотовые телефоны, MP3/медиа-плееры, цифровые фоторамки, многофункциональные принтеры, торговые терминалы и другое промышленное оборудование.

АЦП общего назначения

Компания Maxim не обошла вниманием и группу АЦП общего назначения. Представленное ею семейство АЦП **MAX116xx** с последовательным интерфейсом I²C уникально с точки зрения широты выбора исполнений АЦП: разрешающая способность 8 бит (частота дискретизации 188 кГц), 10 бит или 12 бит (94,4 кГц); число входных каналов 4, 8 или 12; напряжение питания 2,7…3,6 В или 4,5…5,5 В и встроенный ИОН 2,048 В или 4,096 В (см. табл. 3). Кроме того, все исполнения АЦП поддерживают возможность заданий одно-/двуполярной и несимметричной/дифференциальной конфигурации входов. Исполнения в одинаковых корпусах дают дополнительное преимущество совместимости по расположению и назначению выводов. Это означает, что в рамках одной и той же печатной платы простой заменой микросхемы без корректировки программного обеспечения можно добиться изменения разрешающей способности и количества каналов. Данные АЦП также демонстрируют выдающиеся характеристики электропотребления. При выполнении преобразований с частотой 188 кГц потребляемый ток составляет всего лишь 350 мкА, а при уменьшении частоты дискретизации до 10 кГц потребление снижается еще больше – до 10 мкА. Микросхемы автоматически переходят в режим отключения по окончании преобразования. Таким образом, потребляемый ток при очень малых частотах дискретизации будет стремиться к потреблению в режиме отключения (1 мкА). Микросхемы рассчитаны на работу в температурном диапазоне -40…85°C и идеальны для использования в портативном оборудовании с батарейным питанием для выполнения функций мониторинга системы.

Заключение

Новые АЦП Maxim разработаны с учетом всех современных тенденций совершенствования электронных компонентов: они выпускаются в миниатюрных корпусах, совместимы с низковольтными системами и отвечают условиям применения в оборудовании с батарейным питанием (малый потребляемый ток, поддержка экономичных режимов работы). Кроме того, компания Maxim позаботилась об интеграции в новую продукцию ряда возможностей, которые заменяют несколько элементов из известных альтернативных решений и, таким образом, делают экономически-обоснованным отказ от их использования.

Получение технической информации, заказ образцов, поставка –
e-mail: analog.vesti@compel.ru



Андрей Никитин

НОВЫЕ ЦИФРО-АНАЛОГОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ КОМПАНИИ MAXIM



Одна из важных частей сигнального тракта — цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП). Большую номенклатуру этих изделий выпускает компания ***Maxim Integrated Products.*** *В статье основное внимание уделяется* ***новым цифро-аналоговым*** *преобразователям, выпущенным компанией Maxim, применяемым в индустриальной и экспериментальной электронике, промышленной автоматике, управлении приводом, управлении DC/DC-преобразованием, телекоммуникациях…*

Компания Maxim Integrated Products — ведущий мировой производитель широкого спектра аналоговых интегральных схем, от простейших регуляторов напряжения до высокоинтеллектуальных систем сбора и обработки информации. Maxim ежегодно разрабатывает и внедряет в производство значительное количество новых ИС. В среднем, компанией выводится на рынок по одной новой ИС в день.

Рассмотрим цифро-аналоговые преобразователи, выпущенные компанией Maxim за последнее время. При выборе микросхемы ЦАП для конкретных приложений играют существенную роль следующие характеристики:

- Напряжение питания USUP;
- Потребляемый ток ICC;
- Рассеиваемая мощность PDISS;
- Разрядность N в битах. (Линейка ЦАП компании Maxim включает преобразователи с разрядностью от 4 до 16 бит. Наиболее широкое распространение получили 8- и 12-разрядные модели);
- Тип выхода: потенциальный или токовый;
- Тип (встроенный или внешний) и номинал источника опорного напряжения (ИОН);
- Количество каналов. (Линейка ЦАП компании Maxim включает преобразователи с числом каналов от 1 до 32. Большая часть линейки — одинарные, сдвоенные и счетверенные ЦАП);
- Тип входного интерфейса. Применяются интерфейсы с последовательной и параллельной передачей данных. Из последовательных в номенклатуре компании Maxim используются (за редкими исключениями) интерфейсы SPI и I²C. Параллельные принято разделять на каналы с побайтовым доступом (при разрядности более восьми загрузка входного кода D происходит последовательно, один байт за другим) и каналы с пословным доступом (входной код загружается целиком за одну операцию).

Характеристики, определяющие разрешение:

- Интегральная нелинейность INL — характеризует, насколько передаточная характеристика ЦАП отличается от идеальной (строго линейной) характеристики. Выражается в количестве младших значащих разрядов (LSB).
- Дифференциальная нелинейность DNL определяет, насколько приращение аналогового сигнала, полученное при увеличении кода на 1 LSB, отличается от идеального значения. Выражается в LSB.

Динамические характеристики:

- Время установления выходного напряжения TSET;
- Максимальная частота дискретизации F — частота, на которой ЦАП способен выдавать на выходе корректный результат. Частота дискретизации должна быть не меньше удвоенной максимальной частоты в спектре сигнала;
- Динамический диапазон, свободный от искажений SFDR. Отношение мощности полезного узкополосного сигнала к мощности наиболее существенной паразитной частотной составляющей. Обычно выражается в децибелах;
- Суммарные гармонические искажения THD. Выражаются в децибелах.

Более подробный перечень параметров приведен в большинстве монографий, посвященных рассматриваемой теме, например в [1].

Классификация ЦАП

Классификацию ЦАП производят по одному из основных признаков. Наиболее популярными являются следующие:

- По роду выходного сигнала: с токовым выходом или с выходом по напряжению;
- С последовательным или параллельным интерфейсом;
- По числу ЦАП на кристалле: одноканальные и многоканальные;
- По быстродействию;
- По разрядности.

Компания Maxim использует классификацию, в которой в качестве ключевого критерия используется быстродействие:

- Высокоскоростные ЦАП с частотой дискретизации свыше 1 МГц;
- Низкоскоростные (или прецизионные) ЦАП с частотой дискретизации до 1 МГц.

В свою очередь прецизионные подразделяют на две группы в зависимости от разрядности:

- С малым разрешением — 4…10 бит;
- С высоким разрешением — 12…16 бит.

Исходя из данной классификации, рассмотрим эти три группы подробнее.

Прецизионные ЦАП с разрядностью не более 10 бит

Номенклатура ЦАП данного типа, выпускаемых компанией Maxim, в настоящее время превышает 130 наименований интегральных схем. Поэтому в таблице 1 приведены параметры не всей линейки, а лишь наиболее современной ее части.

Современные прецизионные ЦАП с малым разрешением компании Maxim

Анализ представленной таблицы позволяет сформулировать современные тенденции развития данного направления ЦАП:

1. Значительные усилия компании Maxim были направлены на создание принципиально нового типа ЦАП — ЦАП с токовым выходом для управления DC/DC-преобразователями (семей-

Таблица 1. **Параметры прецизионных ЦАП с малым разрешением**

Наименование	Разрядность	Число каналов	Тип выхода	ИОН	INL (max) (±LSB)	Интерфейс	Напряжение питания (В)		Число источников питания	Потребляемый ток (мА)	Время установления (мкс)
							Мин.	Макс.			
DS4432	7	2	Ток	Внутр.	1	Послед. I²C	2,7	5,5	1	0,15	–
DS4422	7	2	Ток	Внутр.	1	Послед. I²C	2,7	5,5	1	0,25	–
DS4424	7	4	Ток	Внутр.	1	Послед. I²C	2,7	5,5	1	0,25	–
DS4426	7	4	Ток	Внутр.	1	Послед. I²C	2,7	5,5	1	0,25	–
DS4412	4	2	Ток	Внутр.	1	Послед. ²C	2,7	5,5	1	0,5	–
DS4402	5	2	Ток	Внутр.	1	Послед. I²C	2,7	5,5	1	0,5	–
DS4404	5	4	Ток	Внутр.	1	Послед. I²C	2,7	5,5	1	0,5	–
MAX5547	10	2	Ток	Внешн.	–	Послед. SPI	2,7	5,25	1	2	10
MAX5548	8	2	Ток	Внутр.	–	Послед. I²C, Послед. SPI	2,7	5,25	1	6	30
MAX5550	10	2	Ток	Внешн.	1	Послед. I²C, Послед. SPI	2,7	5,25	1	6	30
MAX5109	8	2	Напряжение	Внутр.	–	Послед. I²C	2,7	5,25	1	0,7	8
MAX5115	8	4	Напряжение	Внутр.	1	Послед. I²C	2,7	5,25	1	1,3	8
MAX5116	8	4	Напряжение	Внутр.	1	Послед. I²C	2,7	5,25	1	1,3	8
MAX5820	8	2	Напряжение	Внутр.	1	Послед. I²C	2,7	5,5	1	0,215	4
MAX5522	10	2	Напряжение	Внутр.	4	Послед. SPI	1,8	5,5	1	0,006	660
MAX5523	10	2	Напряжение	Внешн.	4	Послед. SPI	1,8	5,5	1	0,008	660
MAX5524	10	2	Напряжение	Внутр.	4	Послед. SPI	1,8	5,5	1	0,006	660
MAX5525	10	2	Напряжение	Внешн.	4	Послед. SPI	1,8	5,5	1	0,008	660
MAX5582	10	4	Напряжение	Внутр.	1	Послед. SPI	2,7	5,25	1	1,6	2,5
MAX5583	10	4	Напряжение	Внутр.	1	Послед. SPI	2,7	5,25	1	2,4	2,5
MAX5584	8	4	Напряжение	Внутр.	0,5	Послед. SPI	2,7	5,25	1	1,6	2
MAX5585	8	4	Напряжение	Внутр.	0,5	Послед. SPI	2,7	5,25	1	2,4	2

ство **DS44xx,** которое будет рассмотрено ниже).

2. Оптимальным решением для низкоскоростных ЦАП является применение последовательного входного интерфейса. В новых микросхемах параллельный интерфейс не применяется, хотя такие ИС остаются в номенклатуре компании Maxim (на момент написания статьи Maxim предлагал 25 типов интегральных схем – чуть менее одной пятой всей номенклатуры в этом классе).

3. Современные микросхемы данного типа используют единственный низковольтный источник питания – минимальное значение напряжения питания составляет 2,7 В (а у семейства **MAX552x –** 1,8 В).

4. Среди новых изделий отсутствуют одноканальные ЦАП. Новые ЦАП – это микросхемы с двумя или четырьмя каналами. Но при этом одноканальные микросхемы (36 типов) остаются в номенклатуре компании Maxim.

5. Источник опорного напряжения, в большинстве случаев – встроенный.

Отметим также, что среди новых ЦАП с потенциальным выходом присутствуют как микросхемы с малым потреблением энергии (MAX552x), так и достаточно быстродействующие (для своего класса) ЦАП – семейство **MAX558x.**

Прецизионные ЦАП с разрядностью свыше 10 бит

Номенклатура ЦАП этого класса в настоящее время включает 235 микросхем. В таблице 2 приведены параметры наиболее современных изделий данного класса.

Современные прецизионные ЦАП с высоким разрешением компании Maxim

Основные тенденции развития этого направления:

1. Как и в случае ЦАП с малым разрешением, в новых микросхемах используется только последовательный

Таблица 2. **Параметры прецизионных ЦАП с высоким разрешением**

Наименование	Разрядность	Число каналов	Тип выхода	ИОН	INL (max) (±LSB)	Интерфейс	Напряжение питания (В)		Число источников питания	Потребляемый ток (мА)	Время установления (мкс)
							Мин.	Макс.			
MAX5139	12	1	Напряжение	Внутр./ Внешн.	1	Послед. SPI	2,7	5,25	1	1,6	5
MAX5138	16	1	Напряжение	Внутр./ Внешн.	11	Послед. SPI	2,7	5,25	1	1,6	5
MAX5135	12	4	Напряжение	Внутр./ Внешн.	1	Послед. SPI	2,7	5,5	1	2,3	5
MAX5136	16	2	Напряжение	Внутр./ Внешн.	8	Послед. SPI	2,7	5,5	1	3,6	5
MAX5137	12	2	Напряжение	Внутр./ Внешн.	1	Послед. SPI	2,7	5,5	1	2,3	5
MAX5661	16	1	Ток, Напряжение	Внутр.	10	Послед. SPI	–	–	–	–	–
MAX5134	16	4	Напряжение	Внутр./ Внешн.	10	Послед. SPI	2,7	5,5	1	3,6	5
MAX5762	16	32	Напряжение	Внутр.	16	Послед. SPI	2,7	5,25	1	15	20
MAX5764	16	32	Напряжение	Внутр.	16	Послед. SPI	2,7	5,25	1	15	20
MAX5773	14	32	Напряжение	Внутр.	4	Послед. SPI	2,7	11	3	41,5	20
MAX5774	14	32	Напряжение	Внутр.	4	Послед. SPI	3,25	8,25	4	39	20
MAX5775	14	32	Напряжение	Внутр.	4	Послед. SPI	5,5	5,25	4	41,5	20
MAX5322	12	2	Напряжение	Внутр.	1	Послед. SPI	–	15,75	3	16,2	10
MAX5580A	12	4	Напряжение	Внутр.	1	Послед. SPI	2,7	5,25	1	1,6	3
MAX5580B	12	4	Напряжение	Внутр.	4	Послед. SPI	2,7	5,25	1	1,6	3
MAX5581A	12	4	Напряжение	Внутр.	1	Послед. SPI	2,7	5,25	1	2,4	3
MAX5581B	12	4	Напряжение	Внутр.	4	Послед. SPI	2,7	5,25	1	2,4	3
MAX5732A	16	32	Напряжение	Внутр.	8	Послед. SPI	2,7	5,25	1	15	20
MAX5732B	16	32	Напряжение	Внутр.	16	Послед. SPI	2,7	5,25	1	15	20
MAX5733A	16	32	Напряжение	Внутр.	8	Послед. SPI	2,7	5,25	1	15	20
MAX5733B	16	32	Напряжение	Внутр.	16	Послед. SPI	2,7	5,25	1	15	20
MAX5734A	16	32	Напряжение	Внутр.	8	Послед. SPI	2,7	5,25	1	15	20
MAX5734B	16	32	Напряжение	Внутр.	16	Послед. SPI	2,7	5,25	1	15	20
MAX5735A	16	32	Напряжение	Внутр.	8	Послед. SPI	2,7	5,25	1	15	20
MAX5735B	16	32	Напряжение	Внутр.	16	Послед. SPI	2,7	5,25	1	15	20
MAX5312	12	1	Напряжение	Внутр.	1	Послед. SPI	–	15,75	3	6,2	10
MAX5530	12	1	Напряжение	Внутр.	8	Послед. SPI	1,8	5,5	1	0,005	660
MAX5531	12	1	Напряжение	Внешн.	8	Послед. SPI	1,8	5,5	1	0,007	660
MAX5532	12	2	Напряжение	Внутр.	8	Послед. SPI	1,8	5,5	1	0,006	660
MAX5533	12	2	Напряжение	Внешн.	8	Послед. SPI	1,8	5,5	1	0,008	660
MAX5534	12	2	Напряжение	Внутр.	8	Послед. SPI	1,8	5,5	1	0,006	660
MAX5535	12	2	Напряжение	Внешн.	8	Послед. SPI	1,8	5,5	1	0,008	660

Таблица 3. **Параметры высокоскоростных ЦАП**

Наименование	Разрядность	Частота дискретизации (МГц)	Число каналов	SFDR (@ F) (дБ)	THD (@ F) (дБ)	INL (±LSB)	DNL (±LSB)	Выходной ток (мА)	Рассеиваемая мощность (мВт)	Интерфейс	Напряжение питания (В)
MAX19693	12	4000	1	70 @ 800MHz	–	1,2	0,8	20	1180	Перемеж. LVDS	3,3 & 1,8
MAX19692	12	2300	1	68 @ 1200MHz	–	1,3	0,9	20	760	Перемеж. LVDS	3,3 & 1,8
MAX5881	12	4300	1	–	–	–	–	28	1160	Перемеж. LVDS	3,3 & 1,8
MAX5898	16	500	2	89 @ 10MHz	–	3	1	20	340	Перемеж. LVDS	3,3 & 1,8
MAX5889	12	600	1	83 @ 16MHz	–	0,25	0,15	20	263	Параллельн., LVDS	3,3 & 1,8
MAX5894	14	500	2	90 @ 10MHz	–	1	0,5	20	896	Параллельн.	3,3 & 1,8
MAX5876	12	250	2	75 @ 16MHz	–	0,2	0,1	20	289	Параллельн., LVDS	3,3 & 1,8
MAX5877	14	250	2	75 @ 16MHz	–	0,5	0,2	20	287	Параллельн., LVDS	3,3 & 1,8
MAX5890	14	600	1	84 @ 16MHz	–	3,8	1,6	–	255	Параллельн., LVDS	3,3 & 1,8
MAX5874	14	200	2	78 @ 16MHz	–	1	0,7	–	260	Параллельн.	3,3 & 1,8
MAX5895	16	500	2	90 @ 10MHz	–	3	1	–	511	Параллельн.	3,3 & 1,8
MAX5878	16	250	2	76 @ 16MHz	–	3	2	–	294	Параллельн., LVDS	3,3 & 1,8
MAX5893	12	500	2	88 @ 10MHz	–	1	0,5	–	511	Параллельн.	3,3 & 1,8
MAX5875	16	200	2	78 @ 16MHz	–	3	2	–	260	Параллельн.	3,3 & 1,8
MAX5891	16	600	1	84 @ 16MHz	–	3,8	1,6	–	255	Параллельн., LVDS	3,3 & 1,8
MAX5873	12	200	2	78 @ 16MHz	–	0,2	0,13	–	255	Параллельн.	3,3 & 1,8
MAX5852	8	165	2	67 @ 10MHz	-71 @ 10MHz	0,05	0,05	–	190	Параллельн.	3 & 3,3
MAX5851	8	80	2	66.5 @ 10MHz	-72 @ 10MHz	0,05	0,05	–	172	Параллельн.	3 & 3,3
MAX5853	10	80	2	78 @ 10MHz	-76 @ 10MHz	0,25	0,2	–	173	Параллельн.	3 & 3,3
MAX5854	10	165	2	78 @ 10MHz	-76 @ 10MHz	0,25	0,2	–	190	Параллельн.	3 & 3,3
MAX5858	10	300	2	75 @ 20MHz	-72 @ 5MHz	0,5	0,25	–	504	Параллельн.	3

интерфейс. Тем не менее в номенклатуре компании Maxim остается около 50 типов цифро-аналоговых преобразователей с параллельным интерфейсом (как с побайтовой, так и с пословной загрузкой данных).

2. Для управления несколькими микросхемами по одному каналу SPI используется последовательное включение по принципу дейзи-цепочки (как например, в семействе **MAX5134…39,** которое рассматривается ниже).

3. Значительные усилия направлены на создание многоканальных ЦАП. Основная часть 32-канальных ЦАП выпущена на протяжении последних пяти лет.

Отметим также принципиально новый ЦАП **MAX5661** с токовым и потенциальным выходами, который предназначен для индустриальных приложений.

Высокоскоростные ЦАП

Номенклатура изделий компании Maxim в этом классе включает 43 микросхемы. Параметры наиболее современных из них представлены в таблице 3.

Современные высокоскоростные ЦАП компании Maxim

Отметим, что значительные усилия в последнее время были направлены на разработку и выпуск ЦАП гигагерцового диапазона. Все подобные микросхемы (**MAX19692/93** и **MAX5881**) были проанонсированы в последние два года.

Микросхемы ЦАП с токовым выходом для управления DC/DC-преобразователями

Микросхемы **DS44xx** компании Maxim – это недорогие, двух- или четырехканальные ЦАП с токовым выходом. Они представляют собой управляемые через I²C-шину 4-, 5- или 7-разрядные ЦАП, которые специально разработаны для задания установок и регулировки DC/DC-преобразователей. Регулировка осуществляется за счет использования свойств протекания тока в схеме ЦАП, которая выполнена таким образом, что ток в зависимости от заданного режима (сток или исток) может течь в канале ЦАП в обоих направлениях. Каждый выходной канал микросхемы обеспечивает управление преобразователем путем подачи тока непосредственно в цепь обратной связи преобразователя (или, наоборот, отбора тока прямо из цепи обратной связи). Такой способ управления позволяет оперативно перенастроить параметры существующих блоков питания при минимальном изменении их конструкции, делая тем самым микросхемы семейства DS44xx оптимальным решением для серверов, сетевых переключателей, плат обработки видеосигналов и других приложений с DC/DC-преобразователями.

При включении питания выходной ток в микросхемах DS44xx нулевой, это сделано с целью снижения требований к схеме запуска и для обеспечения возможности использования типовых резисторов в обратной связи. Программирование диапазона выходного тока каждого канала осуществляется при помощи внешнего резистора, что позволяет повысить функциональность конечного решения.

Семейство DS44xx включает в себя следующие микросхемы:

- **DS4402** и **DS4404** – соответственно два и четыре канала пятиразрядного ЦАП (то есть по 31 градации втекающего и вытекающего тока), выходной ток в пределах от ±0,5 до ±2,0 мА при точности не хуже ±5%. Два адресных входа шины I²C позволяют управлять через один канал несколькими (до четырех) микросхемами.
- **DS4412** – два канала четырехразрядного ЦАП, выходной ток в пределах от ±0,5 до ±2,0 мА при точности не хуже ±6%. Адресные входы шины I²C отсутствуют. Наиболее дешевый вариант для самых экономичных решений.
- **DS4422** и **DS4424** – соответственно два и четыре канала семиразрядного ЦАП, выходной ток в пределах от ±0,05 до ±0,2 мА при точности не хуже ±6%. Два адресных входа шины I²C.
- **DS4426** – четыре канала семиразрядного ЦАП, выходной ток в пределах от ±0,05 до ±0,2 мА при точности не хуже ±5%. Два адресных входа шины I²C. Дополнительно реализована функция слежения (*Tracking*), позволяющая повторять форму нарастания выходного напряжения ведущего источника питания (канал 0) на ведомых (каналы 1, 2 и 3).
- **DS4432** – два канала семиразрядного ЦАП, выходной ток в пределах от ±0,05 до ±0,2 мА при точности не хуже

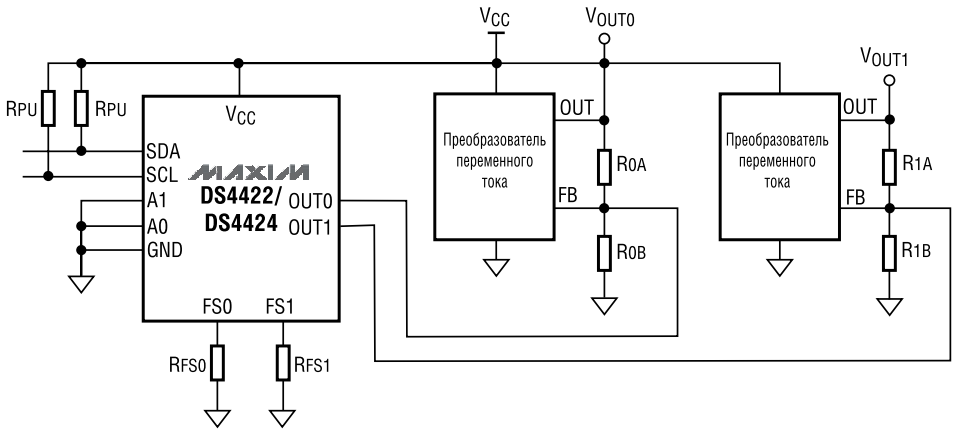


Рис. 1. **Типовая схема включения ЦАП DS4422/24**

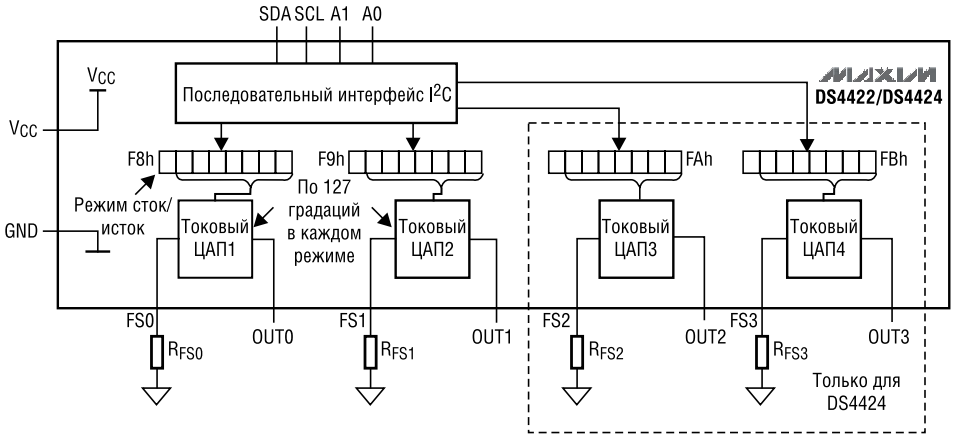


Рис. 2. **Упрощенная структура ЦАП DS4422/24**

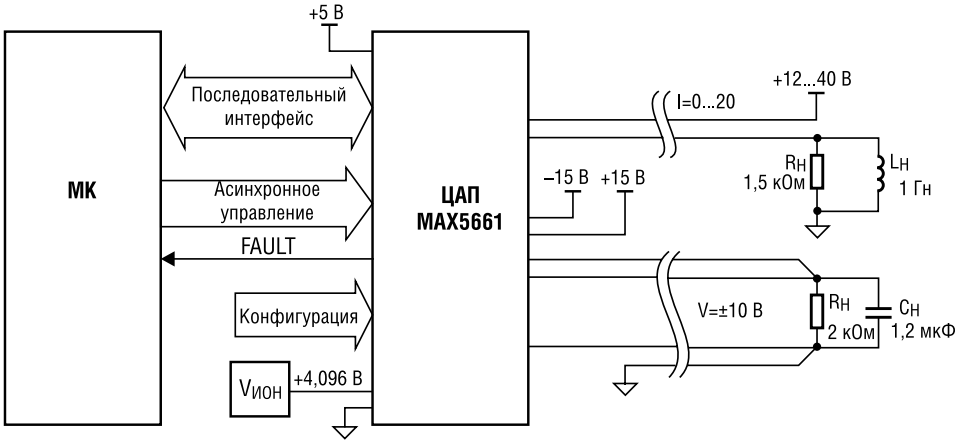


Рис. 3. **Типовое применение ЦАП MAX5661**

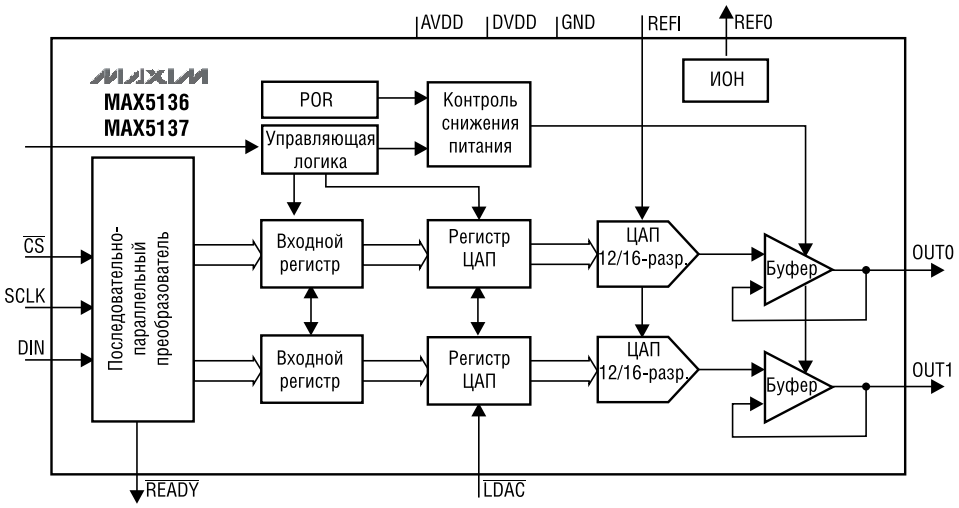


Рис. 4. **Структурная схема ЦАП MAX5136/37**

±5%. Адресные входы шины I²C отсутствуют. Вариант для экономичных решений.

Напряжение питания для всех микросхем семейства: 2,7…5,5 В.

На рис. 1 показана типовая схема включения, а на рис. 2 – упрощенная структура микросхем данного семейства (на примере DS4422/24).

ЦАП MAX5661 с токовым и потенциальным выходами

В системах промышленной автоматики существует большое количество устройств, использующих аналоговые каналы передачи данных. Учитывая, что в различных случаях могут использоваться как токовые, так и потенциальные интерфейсы, для упрощения схемы желательно иметь микросхему ЦАП, способную без дополнительных элементов обеспечивать оба типа выходных сигналов.

Именно такие возможности предоставляет микросхема 16-разрядного специализированного ЦАП **MAX5661.** Она способна формировать как токовые сигналы в диапазоне 0…20/4…20 мА, так и потенциальные (в том числе по четырехпроводной схеме с компенсацией сопротивления соединительных проводов) с амплитудой до ±10 В. Причем начальное смещение нуля не превышает 0,1%, а полная погрешность – не более 0,3% от полной шкалы. Передаточная характеристика ЦАП имеет гарантированную монотонность, что крайне важно для замкнутых регуляторов.

Микросхема использует внешний источник опорного напряжения 4,096 В. Это обусловлено тем, что при работе ЦАП температура кристалла может значительно изменяться. Это могло бы оказать существенное влияние на параметры встроенного источника опорного напряжения и, как следствие, значительно снизить точность системы в целом. При малой разрядности ЦАП это не имело бы большого значения, однако для 16-разрядных систем перенос источника опорного напряжения за пределы основного кристалла может значительно улучшить точностные характеристики.

Для связи с управляющим микроконтроллером используется высокоскоростной (до 10 МГц) последовательный интерфейс SPI (а также QSPI и Microwire) с возможностью последовательного включения нескольких микросхем с использованием схемы последовательного опроса (или дейзи-цепочки – Daisy Chaining). Микросхема имеет выход «Fault», который активизируется при коротком замыкании потенциального выхода или обрыве токовой петли. Информация об аварийном состоянии выходов доступна и по последовательному интерфейсу. Конфигурировать выходные каскады микросхемы можно программно или с помощью внешних выводов микросхемы, соединяя их с «землей» или с напряжением питания.

На рис. 3 показан пример типового применения ЦАП MAX5661.

ЦАП MAX5134…39 с малым энергопотреблением для устройств индустриального назначения

Недавно компания Maxim представила новое семейство счетверенных **(MAX5134/35)**, сдвоенных **(MAX5136/37)** и одинарных **(MAX5138/39)** 16- и 12-разрядных ЦАП, совместимых между собой как по выводам, так и по алгоритму управления. Данные ЦАП обладают сочетанием более высокой точности, интеграции и меньших габаритов по сравнению с ранее выпущенными изделиями. Управление микросхемой осуществляется через высокоскоростной (до 30 МГц) последовательный интерфейс, совместимый с SPI, QSPI и Microwire с возможностью последовательного подключения нескольких микросхем по дейзи-цепочке.

Энергосбережение становится в настоящее время актуальным требованием не только для устройств с батарейным питанием, но и для систем промышленного назначения. Четырехканальные 12- или 16-разрядные ЦАП в среднем потребляют ток 2,5 мкА, а в дежурном режиме – 0,3 мкА. Микросхемы MAX5134…39 обеспечивают высокую линейность преобразования – не хуже ±8 LSB INL для 16-разрядных и ±1 LSB INL для 12-разрядных ЦАП. Микросхемы MAX5134…37 реализованы в сверхкомпактных 24-выводных корпусах TQFN размером 4x4 мм, а также в 16-выводных корпусах TSSOP. Одноканальные ЦАП MAX5138/39 реализованы в миниатюрных, 16-выводных корпусах TQFN размером 3x3 мм.

Данные ЦАП являются оптимальным решением для систем управления производственным оборудованием, например, программируемыми логическими контроллерами, системами управления приводами и автоматизированные системы контроля. Другие применения этих ЦАП: портативные измерительные приборы, контрольно-измерительная и тестовая аппаратура, системы сбора и обработки данных, программируемые источники напряжения и тока.

На рис.4 представлена структурная схема двухканальных ЦАП MAX5136/37.

Быстродействующие широкополосные ЦАП с низким энергопотреблением MAX19692/93

Микросхема **MAX19692 –** 12-разрядный ЦАП с быстродействием 2,3 Гбит/с, который предназначен главным образом для реализации прямого синтеза высокочастотных и широкополосных сигналов в различных зонах Найквиста. MAX19692 обеспечивает возможность синтезировать сигналы с шириной спектра до 1 ГГц в частотном диапазоне от постоянного тока и до 2 ГГц. Микросхема имеет динамические характеристики на уровне лучших в отрасли: динамический диапазон без искажений (SFDR = 68 дБ при выходной частоте 1200 МГц и работе на третьей зоне Найквиста). В ней предусмотрены низковольтные источники питания, четырехкратно мультиплексированный цифровой LVDS-вход и 12-разрядное ядро преобразования. Частотная характеристика микросхемы может быть сконфигурирована для оптимизации синтеза сигнала на любой из трех первых зон Найквиста. Во второй и третьей зонах Найквиста микросхема ЦАП имеет более высокое отношение сигнал-шум и лучшую равномерность усиления по сравнению

с обычными ЦАП, предназначенными для работы в первой зоне. При частоте преобразования 1,5 ГГц микросхема потребляет всего 950 мВт.

Выпущенный несколько позже 12-разрядный **MAX19693** имеет быстродействие 4,0 Гбит/с и является оптимальным решением для прямой цифровой генерации высокочастотных широкополосных сигналов в первой зоне Найквиста. ЦАП обеспечивает значение SFDR более чем 70 дБ при частотах до 800 МГц и 62 дБ при 1500 МГц.

Микросхемы могут быть успешно применены в следующих приложениях: высококачественное широкополосное коммуникационное оборудование, радары, цифровые генераторы сигналов, высокочастотное тестовое оборудование.

Заключение

Цифро-аналоговые преобразователи, выпущенные компанией Maxim в течение последних лет, подтверждают правомерность ее нахождения в лидирующей группе производителей на данном сегменте рынка.

Потребителю предложен ряд принципиально новых изделий (семейство DS44xx, микросхемы MAX5661 и MAX19692/92), которые не имеют прототипов в линейке компании.

Чрезвычайно широкая номенклатура изделий включает как самые современные изделия, так и традиционные модели, подтвердившие свою жизнеспособность на протяжении длительного времени. Широкий диапазон различных параметров (разрядность, число каналов, тип выхода, используемые интерфейсы, быстродействие) делают продукцию компании Maxim востребованной во многих приложениях самого различного назначения.

Литература

1. Волович Г.И. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых устройств. — М.: Додека-XXI, 2005.

Получение технической информации, заказ образцов, поставка – *e-mail: analog.vesti@compel.ru*



Решения компании MAXIM для передачи данных по электросети

MAX2990 – PLC-модем, позволяющий организовать полудуплексную асинхронную передачу данных на скорости до 100 kbps в диапазоне несущих частот 10...490 кГц с использованием существующей электросети. Применение цифровой OFDM-модуляции обеспечивает надежное соединение в сетях невысокого качества в условиях импульсного шума и групповых задержек сигнала. Также это позволяет избежать применения эквалайзеров для компенсации частотно избирательного затухания сигнала. Благодаря помехозащищенному кодированию данных MAX2990 является одним из наиболее надежных PLC-модемов для промышленных приложений.

MAX2990 сочетает в себе как PHY-уровень, так и MAC-уровень, реализованный на 16-битном RISC-микроконтроллере с ядром MAXQ®. Объем встроенной флэш-памяти для хранения MAC-кода и пользовательской программы составляет 32 кБ, объем ОЗУ для хранения данных — 8 кБ. Микросхема содержит часы реального времени, а также таймеры с поддержкой режима ШИМ. Для связи с прикладным микроконтроллером предусмотрены интерфейсы: UART, SPI, I²C. Отладка программного кода осуществляется через JTAG.

MAX2991 – аналоговый front-end для использования совместно с PLC-модемом MAX2990. Передающая часть микросхемы осуществляет ввод OFDM сигнала в линию и включает в себя БИХ-фильтр, 10-битный ЦАП, конфигурируемый ФНЧ и предварительный драйвер линии. Приемная часть осуществляет усиление и фильтрацию сигнала и состоит из ФНЧ, 2-каскадного АРУ с динамическим диапазоном 60 дБ и 10-битного АЦП. Соединение с MAX2990 осуществляется через последовательный интерфейс.

Сочетание MAX2990 и MAX2991 является высокоэффективным решением для организации низкоскоростной передачи данных по электросети с точки зрения цена/качество. Такой модем может применяться в системах автоматизированного учета электроэнергии, системах удаленного управления (например, системами освещения), системах контроля доступа.

Для быстрого освоения данного решения компания Maxim предлагает отладочный набор **MAX2990EVKIT.**