

№7 (71), 2009 г.

Информационно-технический  
журнал

Учредитель — ЗАО «КОМПЭЛ»

Издается с 2005 г.

Свидетельство о регистрации:  
ПИ № ФС77-19835

**Редактор:**

Геннадий Каневский  
[vesti@compel.ru](mailto:vesti@compel.ru)

**Выпускающий редактор:**

Анна Кузьмина

**Редакционная коллегия:**

Андрей Агеноров  
Евгений Звонарев  
Сергей Кривандин  
Валерий Куликов  
Николай Паничкин  
Александр Райхман  
Борис Рудяк  
Илья Фурман

**Дизайн, графика, верстка:**

Елена Георгадзе  
Владимир Писанко  
Евгений Торочков

**Распространение:**

Анна Кузьмина

**Электронная подписка:**

[www.compeljournal.ru](http://www.compeljournal.ru)

**Отпечатано:**

«Гран При»  
г. Рыбинск

Тираж — 1500 экз.

© «Новости электроники»

**Подписано в печать:**

28 мая 2009 г.

# СОДЕРЖАНИЕ

## БРЕНД НОМЕРА: *TEXAS INSTRUMENTS INC.*

• Спрос на продукцию Texas Instruments стабилизируется <i>Жан-Жак Каан</i> .....	3
• Интернет – первый контакт заказчика с Texas Instruments <i>Керстин Уль</i> .....	5
• Операционные усилители с программируемым коэффициентом усиления и их применение <i>Евгений Звонарев, Павел Ильин</i> .....	8
• Усилители класса D компании Texas Instruments <i>Евгений Звонарев</i> .....	11
• Аналого-цифровые преобразователи для промышленных применений <i>Константин Староверов</i> .....	17
• Контроллеры для DC/DC-преобразователей <i>Дмитрий Цветков</i> .....	22
• Интегральные формирователи сигналов промышленного назначения <i>Павел Ильин, Константин Староверов</i> .....	26
• Новое поколение микроконтроллеров Delfino <i>Алексей Пантелейчук</i> .....	31
• «Hello World»: оживление приемопередатчика CC1100 <i>Александр Гаврилов</i> .....	33

## ■ ВОПРОСЫ ЧИТАТЕЛЕЙ..... 36



## В СЛЕДУЮЩИХ НОМЕРАХ

- Продукция компании Cree: сверхъяркие светодиоды и светодиодные сборки, оптические элементы для светодиодов Cree и др.
- Беспроводная продукция: приемопередатчики различных диапазонов и стандартов, беспроводные процессоры, GPS- и GPRS-модули и др.

Если вы хотите предложить интересную тему для статьи в следующий номер журнала – пишите на адрес [vesti@compel.ru](mailto:vesti@compel.ru) с пометкой «Тема в номер».

## ОТ РЕДАКТОРА



### Уважаемые читатели!

Мы уже неоднократно говорили с вами о широчайшей линейке инженерных решений на компонентах **Texas Instruments**, о ведущих позициях этой компании среди мировых производителей аналоговых микросхем и процессоров обработки сигнала. Но в период мировых экономических проблем хотелось бы поговорить о другом: о том, что называют добавленной стоимостью. Именно за счет дополнительных услуг — послепродажного обслуживания, инженерных консультаций, информационно-поисковых сервисов — можно получить дополнительное преимущество на рынке в периоды, когда предложение превышает спрос.

Некоторое время назад мне потребовалось уточнить график технических семинаров, проводимых поставщиками полупроводниковой продукции в России. Просмотрев сайты нескольких компаний, я наконец дошел до Texas Instruments. Зайдя в соответствующий раздел сайта и выбрав регион «Европа», я с приятным удивлением обнаружил, что вся информация о московском семинаре по процессору **TMS320F2808**, включая и название семинара в общем списке европейских мероприятий, выложена на русском языке. Напомню, что речь идет о цен-

тральном информационном ресурсе Texas Instruments.

Идя «выше» по региональной ссылке, мы обнаруживаем ресурс [www.ti.com/ru](http://www.ti.com/ru), с основными разделами и сервисами англоязычного сайта, но — на русском языке. С 2009 года заработало русскоязычное инженерное сообщество <http://community.ti.com/ru/> с видеоматериалами, тематическими форумами и чатом. Ссылка «Центр разработки Analog eLab» ведет с русскоязычного сайта на уникальный программный ресурс TI — дизайн-центр со средствами параметрического поиска и комплексом программных средств под названием **TI Pro™** для разработки электронных схем на элементной базе Texas Instruments.

В этом номере мы, в числе прочих материалов, публикуем интервью менеджера по интернет-маркетингу компании Texas Instruments Керстин Уль (стр. 5), где она подробно рассказывает о веб-услугах TI.

Ну а я хотел бы упомянуть еще об одном сетевом ресурсе. Это новый объединенный сетевой каталог компании КОМПЭЛ — крупнейшего в России дистрибьютора Texas Instruments — с возможностями параметрического поиска. По адресу <http://catalog.compel.ru/> можно провести поиск по микроконтролле-

рам, аналоговым микросхемам, беспроводным и проводным интерфейсам TI, посмотреть онлайн их наличие на складе, купить или сделать заказ на поставку. Помимо этого, КОМПЭЛ поддерживает московский склад образцов продукции и отладочных средств TI.

Все перечисленные сетевые ресурсы, включая программное обеспечение, бесплатны и доступны для пользования.

Кстати, чуть было не забыл упомянуть еще одну важную вещь: не так давно компания Texas Instruments объявила о **снижении цен** практически на весь спектр своих изделий. (Не подверглись снижению только цены на стандартную логику). Подробнее об этом, а также о сокращении сроков поставок продукции Texas Instruments — в ответе руководителя бизнес-подразделения КОМПЭЛ Марии Рудяк на вопрос читателя (стр. 36).

Как всегда, ждем ваших вопросов и предложений.

С уважением,  
Геннадий Каневский

Жан-Жак Каан (Texas Instruments)

## СПРОС НА ПРОДУКЦИЮ TEXAS INSTRUMENTS СТАБИЛИЗИРУЕТСЯ

*Региональная политика Texas Instruments, падение продаж и перспективы роста, последние поглощения TI и новые семейства микроконтроллеров Delfino и Piccolo. Обо всем этом – в интервью, которое Жан-Жак Каан (Jean-Jacques Cahan), директор по продажам в регионе Восточной Европы, Среднего и Ближнего Востока компании Texas Instruments, дал редактору журнала Геннадию Каневскому.*

**Геннадий Каневский:** Как, по Вашим ощущениям, перераспределяются в кризисных экономических условиях зоны ответственности между центральным офисом Texas Instruments и региональными представительствами компании? Усиливается ли централизация, или наоборот, региональным офисам предоставляется большая самостоятельность?

**Жан-Жак Каан:** Независимо от того, где работают сотрудники Texas Instruments – в центральном офисе или в региональных, они обязаны выполнять самую главную задачу – обслуживать клиентов. Эта задача никогда не меняется, вне зависимости от того, где территориально работают наши сотрудники, каких клиентов они обслуживают, и в каких экономических условиях это делается.

TI вкладывает средства в поддержку заказчиков на местном уровне, внедряя сотрудников в региональные офисы и осуществляя эту поддержку на языке заказчика. Сейчас мы имеем как региональные представительства, так и инженеров по применению по всей Восточной Европе, включая Российскую Федерацию (Москва и Санкт-Петербург), Чехию (Прага), Венгрию (Будапешт) и Польшу (Варшава и Вроцлав). В некоторых городах Восточной Европы у нас также есть локальные партнеры, что позволяет быстрее выйти на контакт с заказчиком.

Хорошим примером локальной политики TI можно назвать Европейский центр по поддержке заказчиков. Офис находится в Праге, персонал в общей сложности владеет 15 языками и может давать ответы клиентам из любой страны Европы, Среднего Востока и Африки. У нас также есть веб-сайты на русском, чешском, польском и венгерском языках.

Специально для России у нас есть русскоговорящие инженеры, агенты по поддержке клиентов и представители, которые ежедневно общаются с российскими клиентами, помогая им найти решения согласно целям их разработки. Поскольку Россия – очень важный рынок для TI, мы повысили уровень поддержки для российских заказчиков, создав онлайн-чат на ti.com/ru, а также онлайн-сообщество российских инженеров, позволяющее им общаться друг с другом по вопросам разработки.

**Г.К.:** Информация о не самых радужных экономических показателях TI в первом квартале 2009 года широко распространилась по сети, в том числе – впечатляющая цифра падения уровня продаж по сравнению с тем же периодом прошлого, докризисного, года – 94%. Где Вы видите точки, с которых с наибольшей вероятностью может начаться исправление ситуации?

**Ж.Ж.К.:** TI внимательно отслеживает глобальную экономическую ситуацию, но при этом стоит отметить, что объем продаж и чистая прибыль компании в первом квартале 2009 года пре-

улучшения ситуации на рынке полупроводников и предпочитаем действовать гибко.

Опять же, вне зависимости от экономической ситуации, TI полностью фокусируется на обслуживании наших клиентов и нашей способности быстро ответить на любые вопросы о продукции. Кроме того, согласно стандартной деловой практике, помимо гибкой операционной политики TI, как правило, остается очень внимательным к вопросам наличия на складе и цены.

**Г.К.:** Texas Instruments – один из крупнейших поставщиков электронных компонентов аналогового и смешанного сигнала, а также микроконтроллеров и процессоров цифровой обработки сигнала на индустриальный рынок. Какие товарные группы в нынешней экономической ситуации пользуются наибольшим спросом? И связанный с предыдущим вопросом: какие сектора индустриального рынка, по Вашим ощущениям, выглядят сейчас наиболее жизнеспособными?

**Ж.Ж.К.:** Texas Instruments считает, что наибольшие возможности лежат в области аналога и встроенной обработки сигнала. Мы резко усилили нашу стратегию, чтобы расти именно в этих двух сегментах в нескольких направлениях, фокусируя на них наш персонал и ресурсы. Недавний пример – приобретение компании **CICLON Semiconductor**, специализированного поставщика аналоговых микросхем для

Объем продаж и чистая прибыль компании в первом квартале 2009 года превзошли наши ожидания. Мы опубликовали данные о валовом доходе 2,09 миллиарда долларов – ожидалась значительно меньшая цифра.

взошли наши ожидания. Мы опубликовали данные о валовом доходе 2,09 миллиарда долларов – ожидалась значительно меньшая цифра. Спрос на продукцию стабилизируется, и многие клиенты увеличивают заказы на продукцию TI, чтобы пополнить склад. Мы пока не видим признаков повсеместного

управления питанием. Это приобретение расширяет возможности TI по повышению энергетической эффективности конечных разработок, включая высокопроизводительные компьютерные и серверные системы. Другой пример – приобретение **Luminary Micro** с выпускаемым этой компанией семейством Stellaris® (микро-



Штаб-квартира Texas Instruments в городе Даллас, штат Техас, США

процессорные устройства управления на ядре Cortex™-M3). Это — дальнейшее развитие основ, заложенных нами на рынке микропроцессорных устройств управления благодаря нашим адаптированным процессорам MSP430 и C2000.

Важными областями применения являются получение энергии и обновляемые энергетические приложения, личная и общественная безопасность (видеонаблюдение), освещение, управ-

**Texas Instruments** считает, что наибольшие возможности лежат в области аналога и встроенной обработки сигнала.

ление питанием, беспроводные приложения малой мощности и сфера медицины (бионика, дистанционная диагностика). Эти применения интересуют людей во всем мире и предлагают хороший рост возможностей в области полупроводниковых инноваций. Более того, это приложения, где новые полупроводниковые технологии очень важны для человеческой жизни — снижение цены дает людям доступ друг к другу и к лучшему качеству жизни, включая безопасность, охрану здоровья и комфорт.

**Г.К.: Какие новинки TI готовит разработчикам в ближайшее время? В частности, чего можно ожидать от нового контроллера Delfino?**

**Ж.Ж.К.:** Представленный в марте 2009 года микроконтроллер с двойной

плавающей точкой Delfino™ нацелен на повышение точности в области интеллектуальных высококачественных энергосберегающих приложений управления в реальном времени. Примеры таких приложений: контроль сети питания, солнечные батареи, сервоприводы, AC- и DC-драйверы. Если разработчик — новичок в области микроконтроллеров и ему нужна немедленная помощь, он может получить ее, воспользовавшись средствами онлайн-поиска TI, доступными на сайте ti.com, и выбрав устройство, отвечающее требованиям к разрабатываемому изделию.

Помимо этого, TI недавно анонсировал Piccolo™ — новейшее семейство микроконтроллеров, нацеленных на создание недорогих встроенных приложений управления, более надежных и интеллектуальных. К ним относятся, например, LED-освещение, управление электромоторами в бытовом оборудовании и цифровые источники питания. TI помогает разработчикам экспериментировать с Piccolo с помощью средства разработки Piccolo MCU controlSTICK со встроенным JTAG-эмулятором и доступом ко всей периферии управления. Моделируемые примеры применения включают весь спектр функциональности Piccolo, от простого мигания светодиода до конфигурирования усовершенствованных ШИМ-преобразователей (ePWM) высокого разрешения. Разработчики также могут воспользоваться Piccolo MCU Experimenter's Kit, который позволит инженеру разрабатывать устройство без внешнего эмулятора и воспользоваться такими преимуществами этого набора, как встроенная эмуляция и доступ ко всем выводам устройства Piccolo MCU. 

## Монитор тока/мощности шины питания



Компания **Texas Instruments** представила микросхему монитора тока/мощности шины питания с интерфейсом I<sup>2</sup>C и нулевым дрейфом сигнала.

Микросхема **INA219** следит за падением напряжения на шунтовом резисторе и определяет напряжение питания шунта, при этом вычисляя мощность. Микросхема выпускается в корпусе SOT23, образуя компактное средство для цифрового измерения тока в серверах, ноутбуках, источниках питания, схемах заряда, а так же автомобильном и телекоммуникационном оборудовании. INA219 обеспечивает максимальную точность 1% в температурном диапазоне от -40°C до 85°C, с максимальной величиной смещения 100 мкВ. Такая точность, в сочетании с 12-битным разрешением, обеспечивает пользователям возможность работы с минимальным падением напряжения на шунтовом резисторе, тем самым минимизируя потери, снижая рассеивание тепла и занимаемое место на печатной плате.

Микросхема работает при напряжении шины от 0 до +26 В. Среди других функций INA219 имеется: программируемый регистр калибровки для прямого считывания тока прибора в амперах и мощности в Ваттах; программируемое усреднение по выборке, содержащей до 128 значений для выполнения фильтрации в шумных условиях работы; таймаут интерфейса I<sup>2</sup>C для предотвращения блокирования шины; режим высокой скорости для обмена информацией на частоте до 3,4 МГц. Все функции INA219 задаются программно. Микросхема работает от одного источника питания напряжением от +3,0 до +5,5 и оптимизирована для работы со сверх экономичными микроконтроллерами MSP430 компании TI, различными контроллерами горячей замены, регуляторами и микросхемами управления питанием компании TI.

Керстин Уль (Texas Instruments)

## ИНТЕРНЕТ – ПЕРВЫЙ КОНТАКТ ЗАКАЗЧИКА С TEXAS INSTRUMENTS



Сайт компании **Texas Instruments (TI)** даже на взгляд неискушенного человека отличается весьма развитой структурой, обилием инструментов для параметрического поиска, большой библиотекой типовых инженерных решений и рекомендаций. **Керстин Уль, менеджер по интернет-маркетингу региона Европа и центральная Азия, в своем интервью редактору «Новостей электроники» Геннадию Каневскому рассказывает об информационных ресурсах компании Texas Instruments и их дальнейшем развитии.**

**Геннадий Каневский: Какова роль информационных технологий в стратегии Texas Instruments? Как они влияют на глобальные продажи?**

**Керстин Уль:** Интернет-ресурсы и другие информационные источники, которые предлагает TI инженерам, играют важную роль в главной задаче компании по обеспечению заказчиков необходимой информацией в любом месте, в любое время и наилучшим образом. Конечно, сеть не может заменить и никогда не заменит непосредственное общение заказчиков с любым из наших опытных инженеров. Но плюс Интернет-ресурсов — в получении новейшей информации о продукции компании TI, в том, что они помогают инженерам-разработчикам найти ответы на возникающие технические вопросы всего с помощью нескольких кликов мышкой, что зачастую быстрее, чем ответ инженеров TI.

В Texas Instruments Интернет-поддержка приравнивается к работе наших сейлз-менеджеров в то время, когда они не могут лично пообщаться с заказчиком или незамедлительно ответить на вопрос. Фактически Интернет — первый контакт заказчика с компанией TI, будь то поиск по сети или посещение нашего сайта. Наша цель — сделать поиск информации как можно более простым и дать возможность инженерам получать техническую поддержку, необходимую в целях разработки, и лично, и онлайн.

**Г.К.: Какова структура новых сетевых сервисов TI? Пожалуйста, расскажите об их использовании и характеристиках, которые превращают их в ценные средства для разработчиков.**

**К.У.:** Мы нацелены на превращение [www.ti.com](http://www.ti.com) в простой информативный ресурс для инженеров. Вебсайт Texas Instruments демонстрирует наше широкое портфолио аналоговой продукции,

микроконтроллеров и процессоров. Но помимо этого, он помогает инженерам найти техническую информацию, необходимую для создания решений и целей разработки. Например, сегодня у нас размещено более 135 блок-схем, призванных облегчить нашим заказчикам проектные разработки. Рекомендуемые устройства можно рассматривать по блоку и указывать требуемые параметры. Мы также предлагаем инструкции по применению, официальную техническую документацию, руководства по готовым решениям, инструментальное и программное обеспечение и референс-дизайн TI. Стартовой точкой для поиска всех ресурсов по готовым решениям является [www.ti.com/applications](http://www.ti.com/applications).

Хорошим примером использования Интернета для помощи инженерам в разработке нового продукта является аналоговая электронная лаборатория TI. Зайдите на [www.ti.com/analogelab](http://www.ti.com/analogelab). Этот сайт позволяет инженерам обучаться посредством онлайн или «живых» тренингов; выбрать правильный продукт с помощью быстрого поиска; получить помощь в разработке с помощью типовых проектов TI и онлайн-средств; осуществить виртуальную разработку и даже заказать образец продукции. Инженеры могут заказать и получить образцы компонентов в течение 4...5 рабочих дней, будь то Москва, Новосибирск или любой другой город между ними.

**Г.К.: Мы в России очень ценим появившуюся год назад русскоязычную версию сайта Texas Instruments. Мы полагаем, что это единственная русскоязычная версия из всех существующих сайтов компаний-участников рынка полупроводников с возможностью онлайн-общения разработчиков. Ощутима ли положительная динамика TI в России после запуска этого ресурса?**

**К.У.:** Наша главная цель — предложить нашим российским потребителям локальную поддержку. Мы делаем это через нашу команду сейлз-менеджеров, российских агентов по поддержке заказчиков и посредством русскоязычной версии нашего сайта ([www.ti.com/ru](http://www.ti.com/ru)). Этот вебсайт был запущен в октябре 2007 и с тех пор значительно вырос. В сентябре 2008 TI начала оказывать живую поддержку в России посредством онлайн-чата. Функция этого чата — помощь русскоговорящим инженерам, которым нужно быстро найти нужную информацию. Наша российская команда поддержки общается с инженерами в реальном времени, чтобы помочь им заказать образцы и отыскать информацию. Это зачастую самый быстрый способ общения для российских заказчиков. Если же на вопрос нельзя ответить онлайн, наши агенты, работающие рука об руку с региональными представителями, напрямую свяжутся с заказчиками.

Положительная динамика TI в России после запуска этого ресурса в самом деле ощутима! Количество онлайн-обращений в России постоянно растет (76% роста в первом квартале 2009 года по сравнению с четвертым кварталом 2008 года) — это знак очень хорошего расположения российских инженеров. Ответная реакция заказчиков — верный знак того, что они ценят нашу поддержку. Для того, чтобы сделать ее еще более простой, Texas Instruments сейчас работает над взаимосвязью чата и недавно открытого российского онлайн-сообщества инженеров, применяющих продукцию TI.

**Г.К.: Вы только что запустили российское сообщество TI — сервис, связанный с международным инженерным сообществом Texas Instruments. Расскажите о нем более детально.**


**К.У.:** Следом за успешным запуском всемирного англоязычного сообщества более года назад, компания Texas Instruments запустила русское инженерное сообщество (E2E) в апреле 2009 года. Его первейшая обязанность — обеспечить правильной информацией наших заказчиков в нужное им время, в нужном месте и нужным им образом. Сообщество дает такую возможность благо-

даря онлайн-общению инженеров, при котором они делятся информацией друг с другом. Когда инженеры принимают решение использовать в разработке ИС от TI, у них зачастую появляется множество специфических вопросов по использованию нашей продукции. Они всегда могут положиться на помощь своих региональных представителей или позвонить в службу поддержки заказчиков TI. Но в последнее время они все больше доверяют мнению инженерных сообществ, которые распространились повсеместно в сети. В прошлом такие сообщества не обеспечивали доступ к инженерам компании TI. Однако с появлением **TI E2E Community** мы устанавливаем контакт наших инженеров с инженерами-заказчиками. Они могут, в частности, посмотреть видеоматериалы, объясняющие, как работает тот или иной продукт. Число зарегистрированных участников англоязычного сообщества приближается к 10 000, и более чем 80% этих людей – клиенты TI. Русское сообщество в первый месяц работы уже имеет 120 зарегистрированных, и мы уверены, что это число будет неуклонно расти.

**Г.К.:** Какие другие web-программы и сервисы вы собираетесь использовать, чтобы помочь разработчикам работать с продукцией TI?

**К.У.:** TI фокусируется на двух способах помощи разработчикам – обеспечить онлайн-инструментарий и

развить наше онлайн-сообщество. Например, через сеть заказчики имеют доступ к инструменту **TI's SwitcherPro design tool**, который позволяет ускорить разработку источника питания. Он генерирует схемы и вычисляет эффективность, фазовые характеристики и нагрузку для всех ключевых компонентов. Мы также работаем над программой **SystemPro**, которая помогает инженеру разработать собственную блок-схему и на ее основе виртуально спроектировать принципиальную схему устройства. У нас готов первый прототип параметрического поиска для выбора АЦП. Созданный на базе программного инструментария для выбора DSP, SystemPro покажет лучший АЦП для конкретного решения в графическом интерфейсе. Зайдите на наш первый прототип [http://focus.ti.com/en/multimedia/flash/selection\\_tools/adc/adc.html](http://focus.ti.com/en/multimedia/flash/selection_tools/adc/adc.html).

Что касается нашего E2E-сообщества, мы сейчас думаем о его расширении, не желая ограничиваться только поддержкой по продукции и обменом технической информацией. Мы хотим, чтобы коллективы разработчиков делились идеями относительно новых проектов. Мы также работаем над прямым привлечением самых активных клиентов в наши сообщества. Например, они будут первыми на рынке получать новое программное обеспечение и образцы продукции. 

## Новые 24-разрядные АЦП

АЦП для измерения температуры имеют лучший в отрасли уровень энергопотребления и интеграции. Устройства **ADS1248** и **ADS1247** оснащены двояными цифро-аналоговыми преобразователями (ЦАП) с согласованными параметрами, внутренним источником опорного напряжения с малым дрейфом параметров, генератором частоты, датчиком температуры, детектором выгорания и восемью выводами общего назначения. Производительность устройств составляет 2 kSPS, рассеяние мощности – всего 2,56 мВт, при этом преобразователи просты в применении и демонстрируют низкое энергопотребление при измерении температуры (в составе резистивных датчиков температуры, термопар и термисторов), измерении расхода и давления, а также в управлении промышленными технологическими процессами.

### Основные характеристики:

- Разрешение 24 разряда, скорость обработки данных 2 kSPS, рассеяние мощности 2,56 мВт;
- 4 дифференциальных и 7 несимметричных входов (ADS1248); 2 дифференциальных и 3 несимметричных входа (ADS1247);
- Режим одновременного ослабления сигнала на частотах 50/60 Гц;
- Малощумящий усилитель с программируемым коэффициентом усиления (40 нВ при G = 128).

### Основные преимущества:

- Комплексное решение для прецизионного измерения температуры на базе АЦП сокращает число необходимых устройств и упрощает разработку без ухудшения эксплуатационных характеристик;
- Гибкий внешний интерфейс подходит для широкого ряда промышленных датчиков, требующих высокого разрешения и низкого уровня шума;
- Превосходная воспроизводимость результатов измерений в диапазоне рабочих температур от -40 до 125°C;
- Цепь обработки сигнала комплектуется из совместимых устройств, включая прецизионные операционные усилители ОРА277 и ОРА333 и прецизионные источники опорного напряжения REF5025.

## БИЗНЕС-ГРУППА КОМПЗЛ ПО ПРОДУКЦИИ TI

## ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВО TI В РОССИИ



Мария Рудяк  
бренд-менеджер TI



Андрей Соколов  
менеджер по проектам



Павел Ильин  
инженер по применению аналоговых компонентов TI



Бертрам Йокушес  
руководитель представительства

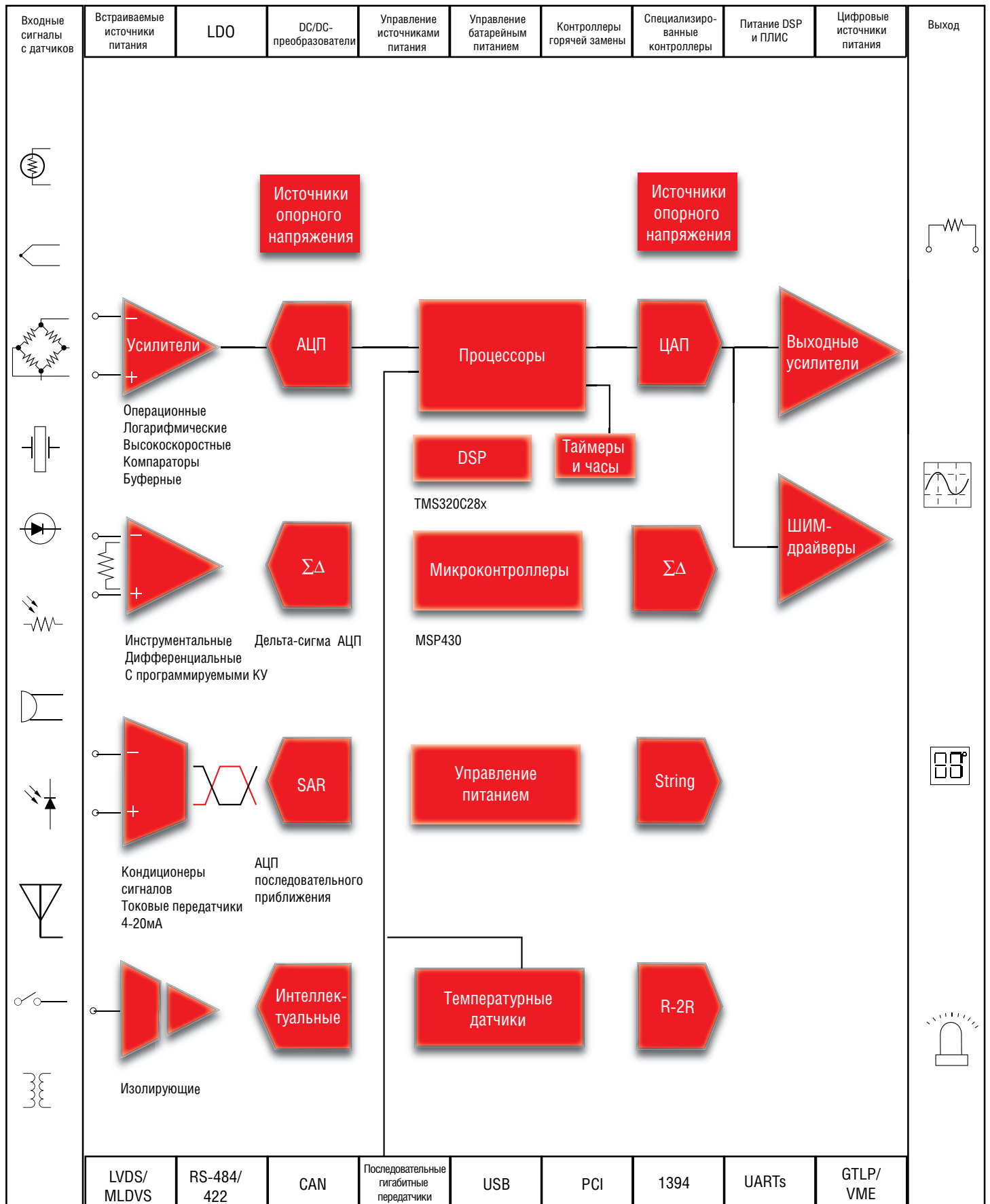


Василий Басов  
координация бизнеса



Александр Казакевич  
инженер по применению аналоговых компонентов

# Полный спектр современных компонентов для промышленных решений от Texas Instruments



Евгений Звонарев, Павел Ильин (КОМПЭЛ)

## ОПЕРАЦИОННЫЕ УСИЛИТЕЛИ С ПРОГРАММИРУЕМЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ УСИЛЕНИЯ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

*Компания Texas Instruments выпускает широкую номенклатуру измерительных операционных усилителей с программируемым коэффициентом усиления. Области применения микросхем серии PGA: дистанционное измерение электрических сигналов, портативные устройства сбора данных, системы сбора данных, тестовое оборудование, программируемые логические контроллеры, оборудование для медицинских и физических измерений, платы аналоговых интерфейсов, устройства с автоматическим управлением усилением, устройства с батарейным питанием.*

Измерительные операционные усилители с цифровым программированием коэффициента усиления (PGA) являются универсальными входными операционными усилителями, которые за счет цифрового управления коэффициентом усиления позволяют улучшить точностные характеристики и расширить динамический диапазон. В таблице 1 приведены операционные усилители серии PGA от Texas Instruments.

PGA представляет собой операционный усилитель с однополярным питанием и rail-to-rail входом и выходом (RRIO). Для обеспечения диапазона из-

между n-канальными и p-канальными транзисторами. В результате этого переключения появляется небольшое изменение входного напряжения смещения, передающееся на выход с установленным усилением. Это изменение для разных экземпляров может быть разным: и положительным и отрицательным. Поскольку граница переключения разная для разных образцов микросхем, входное напряжение смещения нормируется для входного напряжения выше и ниже границы переключения.

Ключи мультиплексора сконструированы так, что они выключаются быстрее, чем включаются, и таким образом

**Измерительные операционные усилители с цифровым программированием коэффициента усиления (PGA) за счет цифрового управления коэффициентом усиления позволяют улучшить точностные характеристики и расширить динамический диапазон.**

менения входного напряжения от нуля и до напряжения питания на входе используются два параллельно включенных входных каскада. На каждом входе есть p-канальные МОП-транзисторы для работы вблизи потенциала земли и параллельно подключенные n-канальные МОП-транзисторы для работы вблизи напряжения питания. Когда синфазное входное напряжение (точнее, напряжение на единственном входе, поскольку этот усилитель с программируемым усилением (PGA) внутренне сконфигурирован для неинвертирующего включения) пересекает уровень, обычно находящийся на 1,5 В ниже напряжения питания, происходит переключение

устраняют любые проблемы с замыканием двух источников входных сигналов между собой. В состав аналогового мультиплексора включены четыре внутренних калибровочных канала мультиплексора для упрощения калибровки системы. Эти калибровочные каналы позволяют скорректировать погрешности усиления и смещения нуля АЦП. Эта калибровка не устраняет погрешностей смещения и усиления PGA при усилении, большем 1, но для большинства систем должно быть заметным существенное увеличение точности АЦП. Кроме того, эти калибровочные каналы могут использоваться АЦП, чтобы контролировать минимальное и максималь-

ные возможные напряжения от PGA. В архитектуре системы может быть предусмотрена индикация превышения входными аналоговыми сигналами установленных значений.

Усилители серии PGA имеют защиту от перенапряжения по входам  $\pm 40$  В, которая срабатывает, даже если питание PGA отсутствует. Единичный вход PGA может быть подключен ко множеству различных датчиков или источников сигнала. Динамический входной диапазон системы определяется процессором — с помощью переключения коэффициента усиления.

Все программируемые операционные усилители серии PGA совместимы с TTL- и CMOS-логикой для упрощения взаимодействия с микропроцессором. Входы усилителей имеют лазерную калибровку для уменьшения смещения напряжения и дрейфа нуля, что позволяет значительно сократить количество дополнительных внешних компонентов.

Для цифрового управления коэффициентом усиления требуются два вывода, позволяющих выбрать до 4 различных состояний усиления. **PGA202** и **PGA203** могут быть использованы, в случаях, когда требуется быстрый и удобный выбор коэффициента усиления.

Отклонение коэффициента усиления и дрейф — наиболее важные параметры для применений с большим требуемым усилением и высокой точностью. Входной ток смещения — наиболее важен для применений с высоким внутренним сопротивлением источника, которые зачастую требуют входного полевого транзистора для минимизации ошибки.

**PGA206** позволяет через CMOS- и TTL-совместимые входы выбрать коэффициент усиления с шагом 1, 2, 4 и 8.

**PGA207** имеет коэффициенты усиления 1, 2, 5 и 10. Низкий входной ток смещения и входной полевой транзистор гарантируют, что сопротивление мультиплексора не вносит ошибки. Малое время установки выходного напряжения (3,5 мкс с точностью 0,01%) позволяет быстро опрашивать множество каналов.



Таблица 1. Операционные усилители с цифровым программированием коэффициента усиления

Наименование	Описание	Коэффициент усиления, К	Нелинейность при К=100 (max), %	Напряжение смещения нуля (max), $\mu V$	Дрейф нуля (max), $\mu V/^\circ C$	Коэффициент подавления сигнала для К=100 (dB) (min)	Полоса пропускания при К=100, kHz	Спектральная плотность шума 1kHz ( $nV/\sqrt{Hz}$ )	Напряжение питания, В	$I_Q$ (mA) (max)	Корпус
PGA103	Прецизионный с заземленным входом	1, 10, 100	0,01	500	2	—	250	11	от $\pm 4,5$ до $\pm 18$	3,5	SOIC-8
PGA202	Высокоскоростной, входной полевой транзистор, 50пА IB	1, 10, 100, 1000	0,012	1000	12	92	1000	12	от $\pm 6$ до $\pm 18$	6,5	DIP-14
PGA203	Высокоскоростной, входной полевой транзистор, 50пА IB	1, 2, 4, 8	0,012	1000	12	92	1000	12	от $\pm 6$ до $\pm 18$	6,5	DIP-14
PGA204	Прецизионный, Отклонение коэффициента усиления: 0.25%	1, 10, 100, 1000	0,002	50	0,25	110	10	13	от $\pm 4,5$ до $\pm 18$	6,5	SOIC-16, PDIP-16
PGA205	Изменение коэффициента усиления: 0.024ppm/ $^\circ C$	1, 2, 4, 8	0,002	50	0,25	95	100	15	от $\pm 4,5$ до $\pm 18$	6,5	SOIC-16, PDIP-16
PGA206	Высокоскоростной, входной полевой транзистор, 100пА IB	1, 2, 4, 8	0,002	1500	2	95	600	18	от $\pm 4,5$ до $\pm 18$	13,5	DIP-16, SOIC-16
PGA207	Высокоскоростной, входной полевой транзистор, 100пА IB	1, 2, 5, 10	0,002	1500	2	95	600	18	от $\pm 4,5$ до $\pm 18$	13,5	DIP-16, SOIC-16
PGA112/3	Отсутствие дрейфа, прецизионный, 2-х канальный мультиплексор	от 1 до 200	—	100	0,9	—	380	12	от +2,2 до +5,5	0,45	MSOP-10
PGA116/7	Отсутствие дрейфа, прецизионный, 10-ти канальный мультиплексор	от 1 до 200	—	100	1,2	—	380	12	от +2,2 до +5,5	0,45	TSSOP-20
PGA309	0,1% формирователь выходного сигнала мостового датчика с цифровой калибровкой, выходное напряжение пропорционально напряжению питания	от 8 до 1152	0,002	50	0,2	20	60	210	от +2,7 до +5,5	1,6	TSSOP-16
PGA308	Одностороннее питание, автоматическая установка нуля, усилитель сигнала, программируемые коэффициент усиления и напряжение смещения	от 4 до 1600	—	40	0,2	95	100	50	от +2,7 до +5,5	2	MSOP-10, DFN-10

**PGA204** и **PGA205** имеют прецизионные биполярные входы, которые хорошо приспособлены для сигналов низкого уровня. PGA205 имеет коэффициенты усиления шагом 1, 2, 4 и 8.

**PGA112**, **PGA113**, **PGA116** и **PGA117** представляют собой комбинацию одноходового усилителя с однополярным питанием и программируемым усилением (PGA) и входного мультиплексора. PGA112 и PGA113 имеют двухканальный мультиплексор и программное выключение для экономии электроэнергии, в PGA116 и PGA117 – десятиканальный мультиплексор, отключение как программное, так и аппара-

татное. В PGA112 и PGA116 усиление выбирается из ряда (1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128), а в PGA113 и PGA117 – из ряда (1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200).

Выбор канала мультиплексора и установка усиления выполняются через стандартный SPI-интерфейс. PGA112, PGA113 имеют трехпроводный цифровой интерфейс SPI, а PGA116, PGA117 – четырехпроводный цифровой SPI-интерфейс с возможностью последовательного соединения по шине данных.

**PGA308** – программируемый формирователь аналоговых сигналов сенсоров. Сигнал датчика усиливается в

аналоговом тракте и с помощью цифровой калибровки устанавливаются напряжение смещения и усиление. Параметры калибровки сохраняются в семь банков однократно-программируемой памяти.

На рис. 1 показана базовая конфигурация использования PGA в качестве усилительного блока.

Выходное напряжение определяется выражением:

$$V_{OUT} = G \times V_{IN} \quad (1)$$

где G – коэффициент усиления;  $V_{IN}$  – входное напряжение.

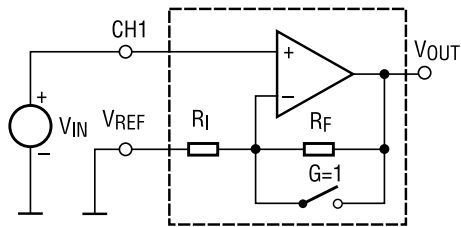


Рис. 1. Использование PGA в качестве усилительного блока

На рис. 2 изображена конфигурация PGA с  $V_{REF} = AV_{DD}/2$ , а выражения (2, 3) определяют выходное напряжение для нее.  $V_{OUT0}$  – это выходное напряжение  $V_{OUT}$  при выборе канала CH0, а  $V_{OUT1}$  – это  $V_{OUT}$  при выборе канала CH1. Эта конфигурация обеспечивает положительное и отрицательное изменение напряжения относительно виртуальной земли – средней точки питания. Вывод  $V_{REF}$  не оказывает никакого воздействия при  $G=1$ , потому что внутренний резистор обратной связи,  $R_F$ , замкнут накоротко.

$$V_{OUT0} = G \times V_{IN0} - AV_{DD}/2(G-1) \quad (2)$$

Если  $G=1$ ,

то  $V_{OUT0} = G \times V_{IN0}$ .

$$V_{OUT1} = G(V_{IN1} + AV_{DD}/2) - AV_{DD}/2(G-1);$$

$$V_{OUT1} = G \times V_{IN1} + AV_{DD}/2,$$

$$\text{где } -AV_{DD}/2 < G \times V_{IN1} < +AV_{DD}/2. \quad (3)$$

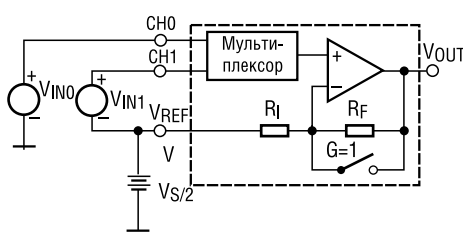


Рис. 2. Конфигурирование PGA для усиления сигнала относительно виртуальной земли

Типовое значение сопротивления обратной связи  $R_I = 3,25$  кОм. Соответствующее усилению значение сопротивления резистора обратной связи  $R_F$  можно рассчитать по выражению (4).

$$G = 1 + R_F/R_I \quad (4)$$

Малосигнальная полоса пропускания и быстродействие усилителя (скорости нарастания и спада выходного сигнала) связаны с выбранным усилением. Полоса пропускания на полной мощности (то есть самая высокая частота, на которой синусоидальный сигнал может пройти через PGA без заметных искажений), связана с быстродействием уравнением (5):

$$SR [B/\mu\text{с}] = 2\pi f \times V_{OP} (1 \times 10^6), \quad (5)$$

где  $SR$  – скорость изменения сигнала, В/мкс;

$f$  – частота, Гц;  
 $V_{OP}$  – амплитуда выходного напряжения, В.

При проектировании устройств на основе PGA следует соблюдать приведенные ниже рекомендации по проектированию печатной платы и системы в целом.

Каждый вывод питания отдельно шунтируется на землю керамическим конденсатором, подключаемым непосредственно к выводам питания и земли микросхемы в том же слое печатной платы. Переходные отверстия могут использоваться для подключения к слоям земли и питания. В такой конфигурации сохраняются паразитные индуктивные цепи, локально шунтирующие PGA. Хорошим решением в практике аналогового конструирования считается применение танталовых конденсаторов большого номинала для шунтирования каждого вывода питания.

Следует размещать  $V_{OUT}$  и проводники других цепей с низким выходным сопротивлением подальше от входных каналов мультиплексора с их высоким входным сопротивлением. Плохая разводка сигнальных цепей может вызвать положительную обратную связь, нежелательную генерацию или чрезмерные выбросы и колебания при ступенчатом изменении сигналов. Если входные сигналы сильно зашумлены, входные каналы мультиплексора следует разделить охранными проводниками с любой стороны сигнальных проводников. Охранные проводники соединяются с землей около PGA и в точке входа сигнала в печатную плату. В многослойных платах нужно обеспечить отсутствие проводников, параллельных входным цепям мультиплексора, в смежных слоях; емкостная связь с другими слоями может вызвать проблемы. Для изоляции входных сигнальных проводников от сигнальных проводников используются слои земли в других слоях.

Входные каналы мультиплексора являются высокоомными, в комбинации с большим усилением может появиться нежелательный шум. Рекомендуется использовать низкоомные источники сигналов ( $<10$  кОм), а также шунтировать входные каналы мультиплексора керамическими конденсаторами емкостью более 100 пФ непосредственно на входах мультиплексора. Низкое сопротивление источника и шунтирующий конденсатор, установленный непосредственно на входе канала мультиплексора, минимизируют взаимоперекрестное влияние между каналами, вызванное паразитной емкостной связью между смежными проводниками печатной платы и межвыводными емкостями.

**TEXAS INSTRUMENTS** УСИЛИТЕЛИ С ПРОГРАММИРУЕМЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ УСИЛЕНИЯ

Однополярное питание Один вход	Двуполярное питание Дифференциальный вход	Специального применения
<p><b>PGA112/3</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Многоканальный</li> <li>• Отсутствие дрейфа</li> <li>• Прецизионный</li> </ul>	<p><b>PGA202/3</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Низкий входной ток смещений</li> </ul> <p><b>PGA204/5</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Низкое отклонение коэффициента усиления</li> </ul> <p><b>PGA206/7</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Высокоскоростные</li> </ul>	<p><b>PGA309</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Цифровая калибровка сигнала сенсора с температурной компенсацией</li> </ul> <p><b>PGA308</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Цифровая калибровка сигнала сенсора</li> <li>• 7 банков однократно-программируемой памяти</li> </ul>

Москва  
Тел.: (495) 995-0901  
Факс: (495) 995-0902  
E-mail: msk@compel.ru

Санкт-Петербург  
Тел.: (812) 327-9404  
Факс: (812) 327-9403  
E-mail: spb@compel.ru

**Компэл**  
www.compel.ru

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

Евгений Звонарев (КОМПЭЛ)

# УСИЛИТЕЛИ КЛАССА D КОМПАНИИ TEXAS INSTRUMENTS



Разработчики портативной аудиотехники, бытовых аудиосистем, систем охраны и звукового оповещения широко используют **интегральные усилители звуковой частоты класса D**. Компания **Texas Instruments** является одним из признанных мировых лидеров в производстве микросхем этого типа.

Традиционные аудиоусилители классов А, В и АВ для мобильных устройств с автономным питанием уже давно перестали устраивать разработчиков из-за их низкого КПД и, как следствие, высокого расхода энергии батареи или аккумулятора. Усилители класса D имеют гораздо более высокий КПД, поэтому именно они наилучшим образом удовлетворяют предъявленным требованиям к современной портативной технике. Эти усилители применяются и в стационарной технике (телевизоры, персональные компьютеры, домашние или автомобильные стереосистемы и даже мощная усилительная техника для театров и концертных залов) благодаря уменьшению габаритов, веса и цены при сопоставимых параметрах качества с приборами предыдущих поколений классов А, В и АВ. Достижения полупроводниковой технологии последних лет позволили компании Texas Instruments разработать микросхемы для создания высококачественных усилителей звуковой частоты класса D с максимальной выходной мощностью от единиц до нескольких сотен Вт.

Рассеиваемая мощность усилителя, работающего в классе D, существенно меньше, чем у аналогичных приборов класса АВ, работающих в тех же режимах. Это проиллюстрировано на рис. 1 (в качестве примера взята микросхема Texas Instruments ТРА2012D2, предназначенная для усилителей портативной техники).

Из рисунка 1 хорошо видно, что при одинаковой выходной мощности усилитель класса D имеет потери мощности в несколько раз меньше по сравнению с аналогичными усилителями класса АВ во всем диапазоне выходных мощностей. Наибольший выигрыш получается при средней выходной мощности. Именно в этом режиме чаще всего и используется

аппаратура для воспроизведения звука. Отмеченные свойства дополняет рис. 2, иллюстрирующий зависимости КПД от выходной мощности этих же усилителей при режимах измерения, аналогичных рис. 1. При малой и средней мощностях КПД усилителя класса D в два-три раза выше, чем у усилителя класса АВ.

Сравнение эффективности и рассеиваемой мощности для усилителей с очень низкой выходной мощностью может оказаться не в пользу усилителей

этой причине линейные усилители класса АВ при очень низких выходных мощностях иногда оказываются предпочтительнее класса D. Принцип работы простейшего усилителя класса D без обратной связи поясняет рисунок 3.

Входной сигнал предварительного усилителя модулируется треугольными колебаниями для преобразования в широтно-модулированные импульсы, которые усиливаются выходным каскадом, работающим в ключевом режиме. Далее LC-фильтр низких частот интегрирует импульсы разной длительности и срезает высокочастотные составляющие спектра, оставляя только выделенный сигнал звуковой частоты. Осциллограммы процесса ШИМ для усилителя класса D, выполненного по

**Усилители класса D** позволяют, повышая эффективность, в несколько раз снизить габариты за счет исключения или значительного уменьшения размеров радиаторов в мощных схемах.

класса D из-за относительно высокой мощности высокочастотного модулятора, преобразующего аналоговый сигнал в прямоугольные импульсы с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ). По

мостовой схеме, приведены на рис. 4. Модуляция в усилителях класса D может осуществляться разными способами, но наиболее распространена именно ШИМ.

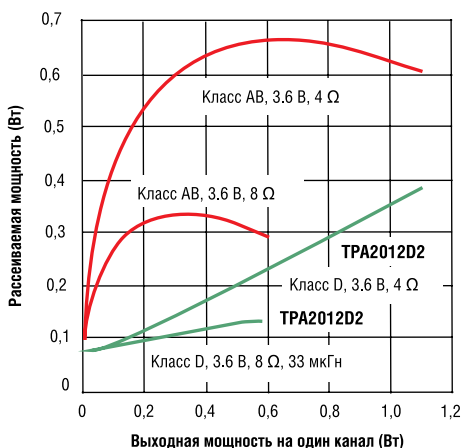


Рис. 1. Мощности, рассеиваемые усилителями классов АВ и D при одинаковых режимах измерения

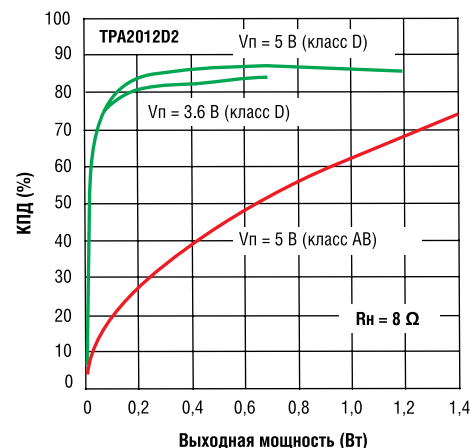


Рис. 2. Зависимости КПД от выходной мощности для усилителей класса D и класса АВ при одинаковых режимах измерения

Таблица 1. Микросхемы Texas Instruments для усилителей класса D с низкой и средней выходной мощностью (аналоговый вход)

Наименование	Описание	Сtereo/ моно	Р <sub>вых</sub> , Вт	R <sub>нагр.</sub> (min), Ом	Напряжение питания, В		Half Power THD+N* (%), F = 1 кГц	PSSR** дБ	Корпус(а)
					(min)	(max)			
ТРА2017D2	SmartGain, AGC/DRC, GPIO интерфейс	Сtereo	2,8	4	2,5	5,5	0,2	80	QFN-20
ТРА2000D2	усилитель средней мощ- ности	Сtereo	2,5	3	4,5	5,5	0,05	77	TSSOP-24
ТРА2000D4	усилитель для стереоте- лефонов	Сtereo	2,5	4	3,7	5,5	0,1	70	TSSOP-32
ТРА2012D2	усилитель в корпусе WCSP 2 x 2 мм	Сtereo	2,1	4	2,5	5,5	0,2	75	WCSP-16, QFN-20
ТРА2016D2	SmartGain, AGC/DRC, I2C интерфейс	Сtereo	1,7	8	2,5	5,5	0,2	80	WCSP-16
ТРА2001D2	усилитель низкой мощ- ности	Сtereo	1,25	8	4,5	5,5	0,08	77	TSSOP-24
ТРА2100P1	для пьезокерамического излучателя	Моно	19 V <sub>pp</sub>	1,5 мкФ (пьезо)	2,5	5,5	0,2	90	WCSP-16
ТРА2035D1	дифференциальный вход, 1,5 x 1,5 мм	Моно	2,75	4	2,5	5,5	0,2	75	WCSP-9
ТРА2032/3/4D1	дифференциальный вход, фикс. усиление	Моно	2,75	4	2,5	5,5	0,2	75	WCSP-9
ТРА2013D1	встроенный повышаю- щий DC/DC-преобр.	Моно	2,7	4	1,8	5,5	0,2	95	WCSP-16, QFN-20
ТРА2036D1	защита от КЗ с автовос- становлением	Моно	2,5	4	2,5	5,5	0,2	75	WCSP-9
ТРА2031D1	аналог ТРА2010D1, но с плавным стартом	Моно	2,5	4	2,5	5,5	0,2	75	WCSP-9
ТРА2010D1	дифференциальный вход; 1,45 x 1,45 мм	Моно	2,5	4	2,5	5,5	0,2	75	WCSP-9
ТРА2018D1	SmartGain AGC/DRC, I2C интерфейс	Моно	1,7	8	2,5	5,55	0,2	80	WCSP
ТРА2014D1	встроенный повышаю- щий DC/DC-преобр.	Моно	1,5	8	2,5	5,5	0,1	91	WCSP-16, QFN-20
ТРА2006D1	дифференциальный вход	Моно	1,45	8	2,5	5,5	0,2	75	QFN-8
ТРА2005D1	дифференциальный вход	Моно	1,4	8	2,5	5,5	0,2	75	MSOP-8, QFN-8, BGA-15

\*Half Power THD+N – (нелинейные искажения + шум) при половине мощности от макс. значения (измерено для частоты 1 кГц).

\*\*PSSR – Power Supply Rejection Ratio – коэффициент подавления помех по цепям питания

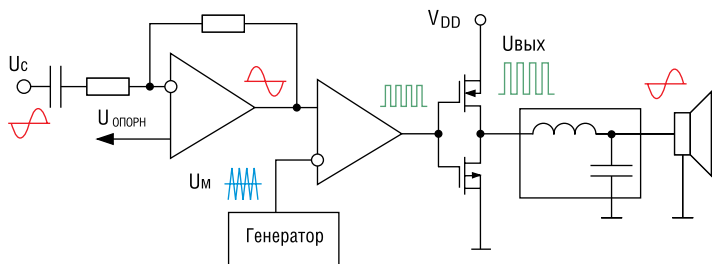


Рис. 3. Структурная схема усилителя класса D без обратной связи

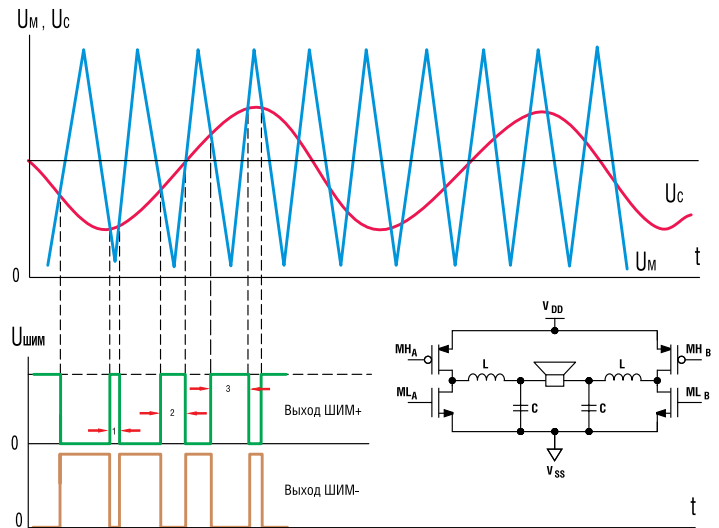


Рис. 4. Осциллограммы ШИМ в мостовом усилителе класса D

Таблица 2. Микросхемы Texas Instruments для усилителей класса D с высокой выходной мощностью (аналоговый вход)

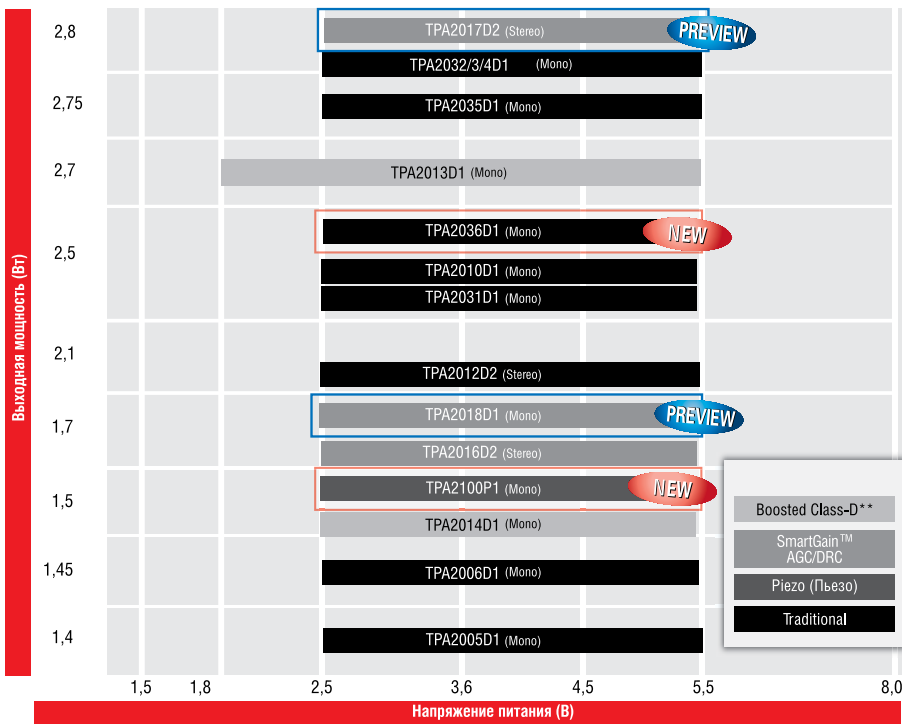
Наименование	Описание	Р <sub>вых</sub> Вт	R <sub>нагр.</sub> (min), Ом	Напряжение питания, В		Half Power THD+N* (%), F = 1 кГц	PSSR**, дБ	Корпус(а)
				(min)	(max)			
TAS5630	300 Вт усилитель (стерео) с ОС	300	TBD***	TBD	50	TBD	80	QFP-64
TAS5615	150 Вт усилитель (стерео) с ОС	150	TBD	TBD	50	TBD	80	QFP-64
TAS5412	усилитель (стерео) с несимметричным входом	100	2	6	24	0,04	75	HTQFP-64
TAS5422	усилитель (стерео) с симметричным входом	100	2	6	24	0,04	75	HTQFP-64
TAS5414A	усилитель (квадро) с несимметричным входом	45	2	8	22	0,04	75	SSOP-36, HTQFP-64
TAS5424A	усилитель (квадро) с симметричным входом	45	2	8	22	0,04	75	SSOP-44
TPA3106D1	усилитель (моно) со входом синхронизации	40	4	10	26	0,2	70	HLQFP-32
TPA3123D2	усилитель (стерео) с несимметричным входом	25	4	10	30	0,08	60	HTSSOP-24
TPA3100D2	усилитель (стерео) 20 Вт	20	4	10	26	0,1	80	HTQFP-48, QFN-48
TPA3001D1	усилитель (моно) 20 Вт	20	4	8	18	0,06	73	HTSSOP-24
TPA3110D2	усилитель (стерео) с ограничением мощности	15	4	8	26	<0,1	70	TSSOP-28
TPA3122D2	усилитель (стерео) в корпусе DIP-20	15	4	10	30	<0,15	60	PDIP-20
TPA3107D2	усилитель (стерео) 15 Вт	15	6	10	26	0,08	70	HTQFP-64
TPA3124D2	усилитель (стерео) 15 Вт с функцией Mute****	15	4	10	26	0,04	60	TSSOP-24
TPA3121D2	усилитель (стерео) с несимметричным входом	15	4	10	26	0,04	60	TSSOP-24
TPA3004D2	усилитель (стерео) с регулировкой громкости	12	4	8,5	18	0,1	80	HTQFP-48
TPA3125D2	усилитель (стерео) в корпусе DIP-20	10	4	10	26	0,15	60	PDIP-20
TPA3101D2	усилитель (стерео) 10 Вт	10	4	10	26	0,1	80	HTQFP-48, QFN-48
TPA3111D1	усилитель (моно) с ограничением мощности	10	4	8	26	<0,1	70	TSSOP-28
TPA3002D2	усилитель (стерео) с регулировкой громкости	9	8	8,5	14	0,06	80	HTQFP-48
TPA3007D2	усилитель (стерео) 6,5 Вт	6,5	8	8	18	0,2	73	TSSOP-24
TPA3009D2	усилитель (стерео) с регулировкой громкости	6	8	8,5	14	0,045	80	HTQFP-48
TPA3005D2	усилитель (стерео) 6 Вт	6	8	8	18	0,1	80	HTQFP-48
TPA3003D2	усилитель (стерео) с регулировкой громкости	3	8	8,5	14	0,2	80	TQFP-48
TPA2008D2	усилитель (стерео) с регулировкой громкости	3	3	4,5	5,5	0,05	70	HTSSOP-24

\*Half Power THD+N – (нелинейные искажения + шум) при половине мощности от макс. значения (измерено для частоты 1 кГц)

\*\*PSSR – Power Supply Rejection Ratio – коэффициент подавления помех по цепям питания

\*\*\*TBD – To Be Documented – данные будут указаны производителем позднее

\*\*\*\*Mute – приглушение звука



\*PREVIEW - предварительно анонсированная продукция  
 \*\*Boosted Class-D - усилитель класса D со встроенным повышающим DC/DC-преобразователем

Рис. 5. Микросхемы для усилителей класса D с низкой и средней выходной мощностью

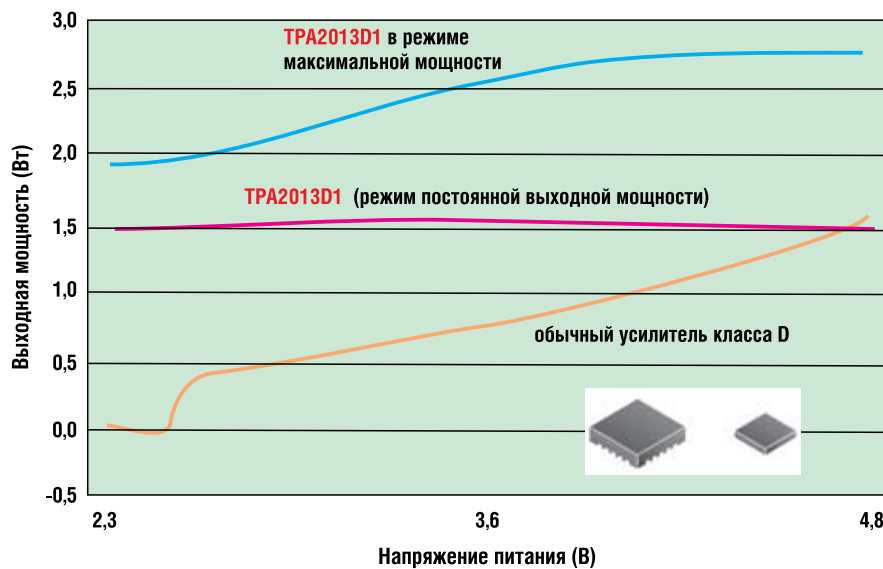


Рис. 6. Зависимости выходной мощности для TPA2013D1 и для обычных усилителей класса D

Звуковой сигнал сравнивается с сигналом пилообразной или треугольной формы фиксированной частоты. Первый усилитель на рисунке 3 необходим для предварительного усиления и смещения сигнала до нужного уровня. Вторым усилителем и генератором треугольного напряжения образуют модулятор ШИМ. На рисунке 4 длительность широтно-модулированных импульсов пропорциональна уровню входного аналогового сигнала. Мостовой схеме необходимы импульсы ШИМ противоположной полярности для управления другим пле-

чом моста. На рисунках 3 и 4 показаны упрощенные варианты схем. В реальных схемах усилителей класса D обязательно вводятся формирователи времени паузы между импульсами для исключения одновременного включения двух выходных транзисторов и устранения сквозных токов. Частота модуляции и среза низкочастотного фильтра обычно выбирается в несколько раз больше верхней граничной частоты пропускания усилителя. К выбору элементов LC-фильтра необходимо относиться очень внимательно. Этому вопросу уделяется особое

внимание в документации производителя и руководствах по применению.

Texas Instruments выпускает микросхемы для создания усилителей класса D низкой, средней и высокой мощности. Параметры для усилителей класса D низкой мощности приведены на рис. 5 и в табл. 1. В первую очередь эти микросхемы предназначены для встраивания в мобильные устройства. Подавляющее большинство таких усилителей рассчитано на напряжение питания от 2,5 до 5,5 В, но микросхема одноканального усилителя TPA2013D1 имеет расширенный диапазон напряжений питания от 1,8 до 5,5 В благодаря встроенному повышающему DC/DC-преобразователю (*Boosted DC/DC*). Это позволило обеспечить постоянство выходной мощности при всем диапазоне рабочих напряжений питания по сравнению с обычными усилителями класса D, что наглядно проиллюстрировано на рис. 6. При выходной мощности около 1,5 Вт в диапазоне напряжений питания от 2,3 до 4,8 В характеристика находится в пределах  $\pm 0,1$  Вт. Большинство обычных усилителей этого класса имеют практически линейную зависимость максимальной выходной мощности от напряжения питания. Преимущество усилителей со встроенным повышающим DC/DC-преобразователем — возможность работы при гораздо более низком напряжении питания батареи (или при ее более глубоком разряде), что повышает степень использования автономного источника питания.

Структурная схема микросхем TPA2013D1 и TPA2014D1 со встроенным повышающим DC/DC-конвертером показана на рис. 7. В микросхемах предусмотрена защита от нежелательных переключений при коммутации повышающего DC/DC-преобразователя. Встроенный стабилизатор обеспечивает стабильность характеристик в широком диапазоне напряжений питания. При необходимости выход повышающего DC/DC-преобразователя можно использовать для питания маломощных исполнительных схем портативного устройства. Если внимательно посмотреть на параметр PSSR (коэффициент подавления помех по цепям питания) в табл. 1, то бросается в глаза, что именно усилители со встроенными повышающими DC/DC имеют существенно лучшие значения этого параметра (91...95 дБ) по сравнению с остальными усилителями этого класса.

Среди усилителей с низкой и средней выходной мощностью есть и специализированный для работы на пьезокерамический излучатель с допустимой емкостью до 1,5 мкФ. При этом размах выходного напряжения на емкостной нагрузке достигает 19 В (от пика до пика) при минимально допустимом напряжении питания всего 2,5 В. Необходимо обратить

внимание, что параметр (THD + N), характеризующий суммарные гармонические искажения вместе с шумовыми составляющими, измеряется на частоте 1 кГц при половине мощности от допустимого максимального значения.

На рис. 8 приведен навигатор для выбора микросхем усилителей класса D высокой мощности (отсчет высокой мощности для этого класса усилителей Texas Instruments начинается с 3 Вт). Основные параметры этих микросхем сведены в табл. 2. Некоторые из микросхем, приведенных на рис. 8 и в табл. 2, относятся только к анонсированной продукции, поэтому возможность поставки образцов необходимо проверять на сайте производителя. На основе микросхем Texas Instruments можно спроектировать усилитель класса D с выходной мощностью до 300 Вт при максимальном напряжении питания до 50 В.

Большой интерес для разработчиков могут представлять новые двухканальные микросхемы для усилителей этого класса TPA3122D2 и TPA3125D2 в корпусе DIP20. Этот корпус удобен для монтажа и макетирования по сравнению с миниатюрными корпусами BGA с шариковыми выводами. Схема включения этих стереоусилителей отличается простотой и приведена на рис. 11. Синим цветом выделены параметры, соответствующие TPA3125D2 (мощность до 10 Вт), красным цветом – TPA3122D2 (мощность до 15 Вт). Микросхемы имеют два входа регулировки усиления (четыре уровня), а также возможность отключения (Shutdown) и приглушения звука (Mute). На рис. 11 показан самый распространенный вариант включения двухканального усилителя в режиме SE (Single Ended Output – нагрузка подключается к каждому каналу – режим «стерео»). Для существенного увеличения выходной мощности рассматриваемых микросхем можно из двух каналов одной микросхемы создать одноканальный мостовой усилитель (схема BTL – Bridge Tied Load – подключение нагрузки к мостовой схеме). Принципиальные схемы включения микросхем TPA3125D и TPA3122D для мостового варианта усилителя класса D приведены в документации производителя для этих усилителей. На рис. 9 и 10 показаны зависимости выходной мощности от напряжения питания при одинаковых условиях измерения для схем в режиме «стерео» (SE) и для варианта мостового включения (схема BTL).

Измерение максимальной выходной мощности оценивается при конкретном значении суммы всех гармонических искажений и шумовых составляющих (THD + N). При переходе к мостовой схеме включения на одинаковых напряжениях питания, сопротивлении нагрузки и суммарных искажениях сигнала, выходная мощность возрастает в

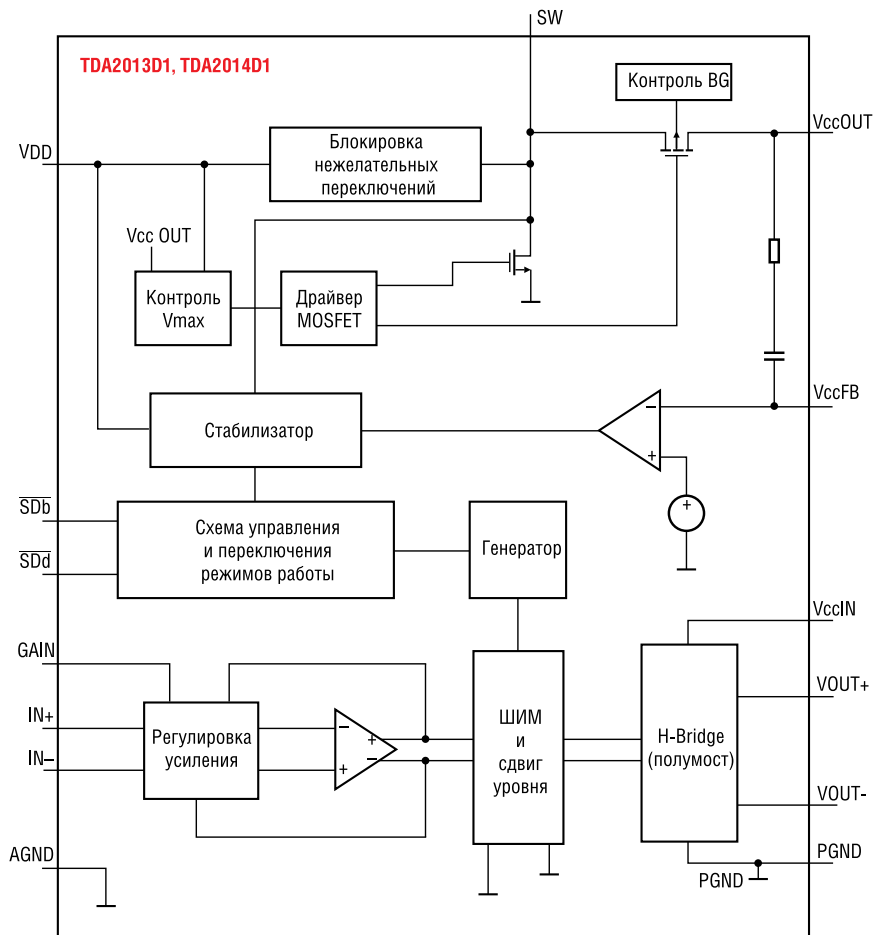
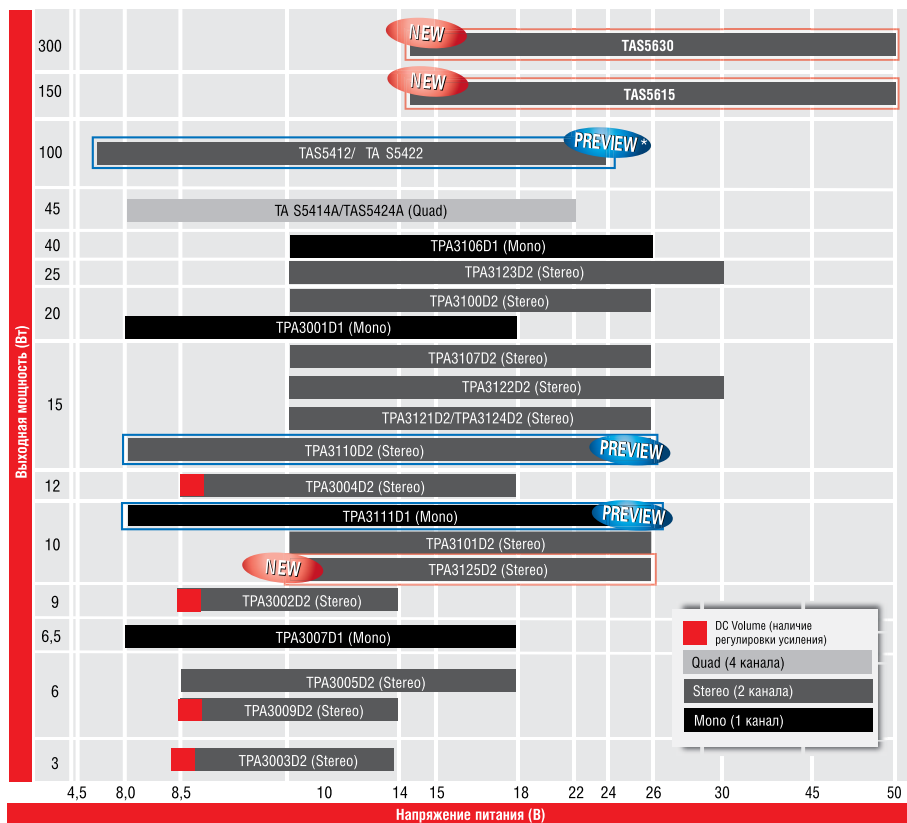


Рис. 7. Структурная схема TPA2013D1 и TPA2014D1 со встроенным повышающим DC/DC-преобразователем



\*PREVIEW - предварительно анонсированная продукция

Рис. 8. Микросхемы для усилителей класса D высокой мощности

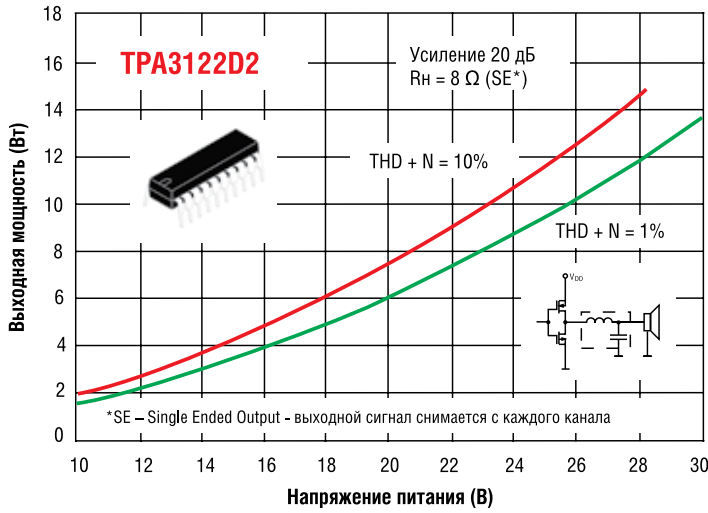


Рис. 10. Зависимости выходной мощности от напряжения питания для TPA3122D при включении каждого канала в режиме SE

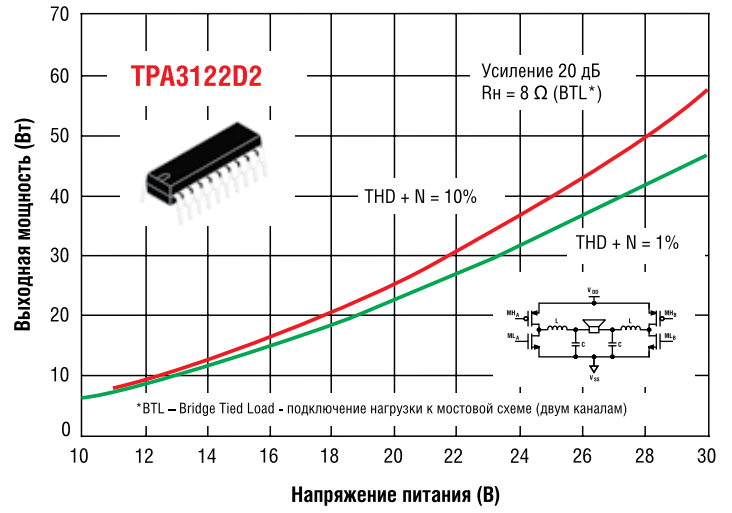


Рис. 11. Зависимости выходной мощности от напряжения питания для TPA3122D при включении двух каналов по мостовой схеме

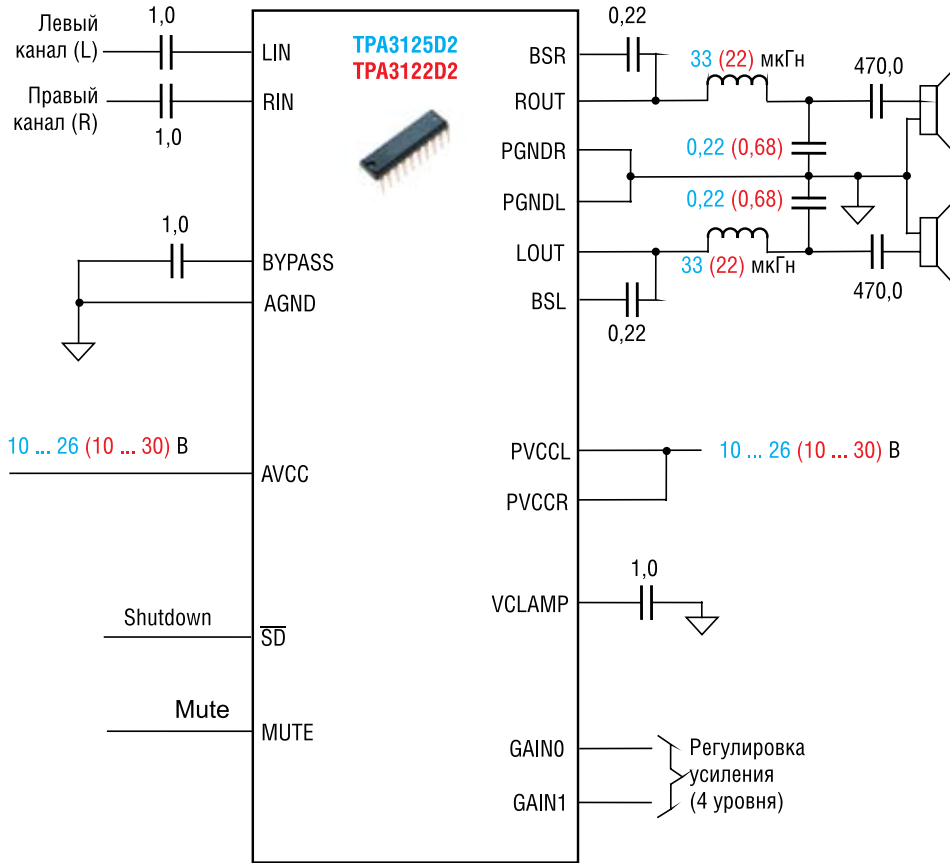


Рис. 9. Схема включения микросхем TPA3125D2 и TPA3122D2 для 10 и 15 Вт соответственно

несколько раз. Поэтому в мощных усилителях обычно используют именно мостовую схему включения. Всего одна микросхема в корпусе DIP20 при таком подключении позволяет создать усилитель с максимальной выходной мощностью около 50 Вт при напряжении питания 30 В.

**Шумы и нелинейные искажения**

Основная информация о звуковом сигнале кодируется шириной импуль-

сов на выходе модулятора. Необходимость введения задержки на величину паузы становится причиной нелинейных искажений, пропорциональных отклонению от точной длительности импульса модуляции. Сильное влияние на шумы оказывает коэффициент ослабления помех от источника питания PSSR. Из-за малого сопротивления шумы источника питания могут напрямую передаваться в громкоговоритель. ФНЧ срезает высокочастотные составляющие, но пропускает

низкочастотные шумы. Для качественного звучания следует выбирать микросхемы с высоким значением коэффициента ослабления помех от источника питания. Эффективное решение перечисленных проблем – введение глубокой обратной связи, как это делается во многих линейных усилителях. Обратная связь с входа ФНЧ сильно повышает PSSR и ослабляет суммарные искажения и шумы, появляющиеся до LC-фильтра. Искажения в самом фильтре можно уменьшить включением громкоговорителя в цепь ОС. В грамотно спроектированных усилителях класса D с замкнутой ОС реально достижим суммарный коэффициент нелинейных искажений менее 0,01%.

**Основные выводы**

Все больше новых аудиоустройств создается на основе экономичных и эффективных усилителей класса D. Многолетний опыт и новые технологии компании Texas Instruments позволяют ей уверенно чувствовать себя на этом рынке с высокой конкуренцией. Усилители класса D позволяют, повышая эффективность, в несколько раз снизить габариты за счет исключения или значительного уменьшения размеров радиаторов в мощных схемах. Требуется менее мощный источник питания, что дополнительно снижает цену усилительного прибора. Для многих рассмотренных в статье микросхем Texas Instruments выпускает демонстрационные платы. Ознакомиться с решениями для построения аудиосистем можно на сайте производителя в разделе [www.ti.com/audio](http://www.ti.com/audio), а по системам управления питанием – в разделе [www.power.ti.com](http://www.power.ti.com).

Получение технической информации, заказ образцов, поставка – e-mail: [analog.vesti@compel.ru](mailto:analog.vesti@compel.ru)



Константин Староверов

# АНАЛОГОВО-ЦИФРОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРИМЕНЕНИЙ



Компания **Texas Instruments (TI)** выпускает широкий ассортимент аналогово-цифровых преобразователей (АЦП), удовлетворяющих требованиям различных промышленных применений. Значительная часть этих АЦП входит в производственную линейку *Burr-Brown*. Этот бренд давно стал гарантом качества и точности аналоговых и аналогово-цифровых решений.

Под компактным наименованием «промышленные применения» скрывается множество отраслей промышленности, каждая из которых имеет собственные специфику и особенности. Однако, несмотря на присущие им порой даже контрастные отличия, у них есть и общие особенности. Одна из них заключается в том, что для эффективного управления производственными процессами необходимо применять специальные электронные системы контроля и управления. Такие системы собирают информацию о процессах с помощью датчиков, а для ввода информации с тех датчиков, у которых предусмотрен аналоговый выход, предназначены специальные микросхемы — аналогово-цифровые преобразователи (АЦП). АЦП может быть основан на различных архитектурах, однако в промышленных применениях широкое распространение получили следующие типы преобразователей: сигма-дельта АЦП, АЦП последовательного приближения и конвейерные АЦП. Компания TI предлагает широкий ассортимент таких преобразователей, из которого разработчик сможет выбрать оптимальный по цене и качеству.

## Сигма-дельта АЦП

Данные АЦП являются современной альтернативой АЦП интегрирующего типа, от которых они изначально унаследовали отличную стойкость к низкочастотному электрическому шуму, что очень важно для многих промышленных применений. Однако свойственное многим сигма-дельта АЦП невысокое быстродействие, которое в принципе допустимо во многих промышленных измерительных устройствах, с запасом компенсируется высокой разрешающей способностью и высокой линейностью

передаточной характеристики. Компания TI предлагает сигма-дельта АЦП с разрешением от 12 до 31 бит. Общие технические характеристики некоторых сигма-дельта АЦП TI представлены в таблице 1. Типичными областями их применения являются контрольно-измерительное оборудование низкого и среднего быстродействия, цифровые аудиосистемы, модули аналогового ввода промышленных контроллеров, системы сбора данных.

Помимо разрешающей способности АЦП различаются быстродействием преобразования, количеством входных каналов и их электрическими характеристиками, интерфейсами управления и вывода результата преобразования, логикой управления преобразованиями, типом корпуса и прочими особенностями. Большинство многоканальных мультиплексированных АЦП могут

работать в несимметричном или дифференциальном режиме входов, что повышает гибкость их применения. Например, 24-битный АЦП **ADS1258** оснащен мультиплексором, который позволяет подключить ко входу АЦП либо 8 дифференциальных, либо 16 несимметричных сигналов. В состав некоторых АЦП, как, например, **ADS1282**, входит программируемый усилитель (PGA). Наличие PGA позволяет существенно расширить динамический диапазон АЦП, делая возможной прямую оцифровку слабых сигналов, например, температуры термпар, часто применяемых в промышленных системах контроля. Максимальную гибкость по конфигурации входов представляют оснащенные PGA многоканальные АЦП. Такие АЦП позволяют программно настроить входной диапазон для каждого канала и, за счет этого, напрямую подключиться к различного рода источникам сигналов. Среди представленных в таблице 1 АЦП есть два преобразователя, которые поддерживают одновременное преобразование каналов. Речь идет о **ADS1274** и **ADS1278**. У них вместо мультиплексирования каналов предусмотрены отдельные дельта-сигма модуляторы и филь-

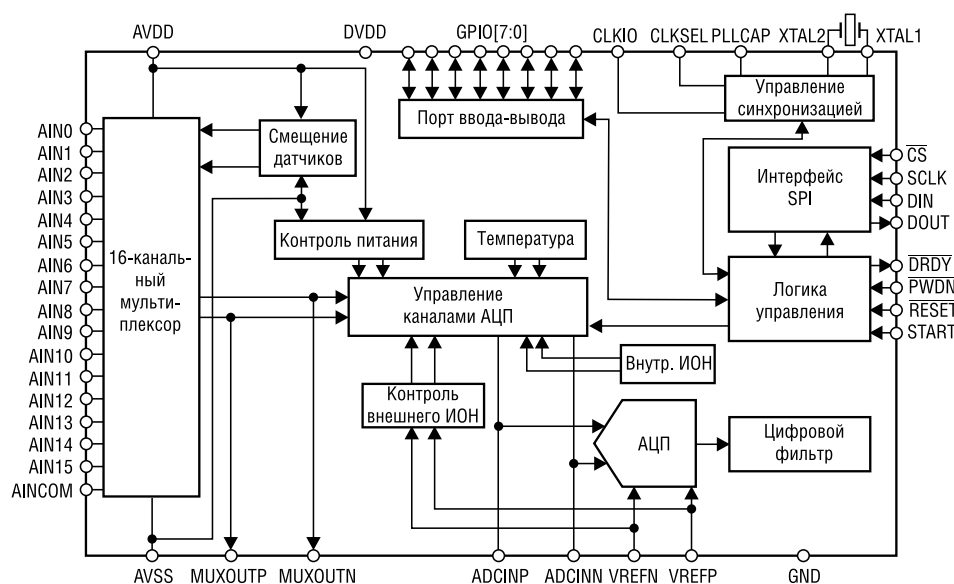


Рис. 1. Функциональная схема АЦП ADS1258

Таблица 1. Сигма-дельта АЦП Texas Instruments

Наименование <sup>1)</sup>	Разрешающая способность, бит	Частота дискретизации, кГц	Количество входных каналов <sup>2)</sup>	Интерфейс	Входное напряжение, В <sup>3)</sup>	ИОН	Нелинейность, %	Потребляемая мощность, мВт	Корпус
<b>ADS1281</b>	31	4	1	Послед., SPI	5	Внеш.	0,00006	12	TSSOP-24
<b>ADS1282</b>	31	4	1	Послед., SPI	5, PGA (1...64)	Внеш.	0,00006	27	TSSOP-28
<b>ADS1672</b>	24	625	1	Послед.	+5	Внеш.	0,0003	350	TQFP-64
ADS1258	24	125	16Н/8Д	Послед., SPI	5; ±2,5	Внеш.	0,0015	40	QFN-48
<b>ADS1278</b>	24	128	8Д (ОП)	Послед., SPI или FSYNC	2,5	Внеш.	0,001	60...600	TQFP-64
<b>ADS1274</b>	24	128	4Д (ОП)	Послед., SPI или FSYNC	2,5	Внеш.	0,001	30...300	TQFP-64
ADS1271	24	105	1Д	Послед., SPI или FSYNC	2,5	Внеш.	0,0015	35...100	TSSOP-16
ADS1252	24	41	1Н/1Д	Послед.	5	Внеш.	0,0015	40	SOIC-8
ADS1256	24	30	8Н/4Д	Послед., SPI	5, PGA (1...64)	Внеш.	0,001	35	SSOP-28
ADS1255	24	30	2Н/1Д	Послед., SPI	5, PGA (1...64)	Внеш.	0,001	35	SSOP-20
ADS1253	24	20	4Н/4Д	Послед.	5	Внеш.	0,0015	7,5	SSOP-16
ADS1254	24	20	4Н/4Д	Послед.	5	Внеш.	0,0015	4	SSOP-20
ADS1251	24	20	1Н/1Д	Послед.	5	Внеш.	0,0015	7,5	SOIC-8
<b>ADS1246</b>	24	2	1Д	Послед., SPI	5; ±2,5	Внеш.	0,0003	2,56	TSSOP-16
<b>ADS1247</b>	24	2	3Н/2Д	Послед., SPI	5; ±2,5	Внеш.	0,0003	2,56	TSSOP-20
<b>ADS1248</b>	24	2	7Н/4Д	Послед., SPI	5; ±2,5	Внеш.	0,0003	2,56	TSSOP-28
<b>ADS1158</b>	16	125	16Н/8Д	Послед., SPI	5; ±2,5	Внеш.	0,0045	42	QFN-40
<b>ADS1174</b>	16	52	4	Послед., SPI или FSYNC	2,5	Внеш.	0,0045	135	HTQFP-64
<b>ADS1178</b>	16	52	8	Послед., SPI или FSYNC	2,5	Внеш.	0,0045	245	HTQFP-64
ADS1112	16	0,24	3Н/2Д	Послед., I <sup>2</sup> C	2,048, PGA (1...8)	Внут.	0,01	0,7	MSOP-10, SON-10
ADS1110	16	0,24	1Н/1Д	Послед., I <sup>2</sup> C	2,048, PGA (1...8)	Внут.	0,01	0,7	SOT23-6
ADS1100	16	0,128	1Н/1Д	Послед., I <sup>2</sup> C	VDD, PGA (1...8)	Внеш.	0,0125	0,3	SOT23-6
ADS1000	12	0,128	1Н/1Д	Послед., I <sup>2</sup> C	VDD, PGA (1...8)	Внеш.	0,0125	0,3	SOT23-6

**Примечания:**

1. Красным цветом выделены новинки, синим – находящиеся в разработке ИС
2. «Н» указывает на то, что приведенное число каналов являются несимметричными, а «Д» – что дифференциальными. «ОП» отмечает поддержку функции одновременного преобразования нескольких каналов.
3. «PGA» указывает на наличие во входном каскаде АЦП программируемого усилителя. В скобках указан диапазон программирования коэффициента усиления.

тры в каждом канале, т.е., по сути, они интегрируют в одном корпусе несколько АЦП с общим интерфейсом управления и вывода данных.

Что касается интерфейса вывода данных, то здесь пользователю доступны все наиболее популярные последовательные интерфейсы: от самого простого, по типу сдвигового регистра, до более продвинутых интерфейсов SPI и I<sup>2</sup>C. Некоторые АЦП, в том числе ориентированные на цифровые аудио-применения (например, **ADS1274/8**), в дополнение к SPI поддерживают опциональный протокол FRAME SYNC (FSYNC).

При совместной работе АЦП с микроконтроллером (МК) наличие последовательного интерфейса позволяет по минимуму расходовать линии ввода-вывода МК. Однако бывают ситуации, когда бюджет свободных линий ввода-

вывода жестко ограничен. В таких случаях может помочь наличие у некоторых АЦП порта расширения ввода-вывода. К числу таких АЦП относятся **ADS1255/56/58**.

Рассмотрим возможности одного из представленных в таблице АЦП – **ADS1258** [1] в качестве примера. Дан-

как однополярными, так и двухполярными. Функциональная схема АЦП представлена на рисунке 1. Преобразователь интегрирует множество узлов, делающих его применение особенно гибким. Например, на вход АЦП могут быть поданы не только коммутируемые мультиплексором несимметричные и дифференциальные

**Texas Instruments** предлагает бесплатную программу **ADCPro** ([www.ti.com/adcp](http://www.ti.com/adcp)), которая позволяет оценить работу АЦП при поступлении на его вход виртуального сигнала.

ный АЦП предназначен для 24-битного преобразования 16 несимметричных или 8 дифференциальных сигналов с быстродействием до 23,7 кГц/канал (т.е. время оцифровки всех 16 каналов составляет менее 700 мкс). Сигналы могут быть

сигналы, но и ряд внутренних сигналов, в том числе напряжение питания, напряжение встроенного датчика температуры и внешнее опорное напряжение. Внутренняя схема коммутации также предусматривает соединение входов АЦП и

Таблица 2. АЦП последовательного приближения компании Texas Instruments

Наименование <sup>1)</sup>	Разрешающая способность, бит	Частота дискретизации, кГц	Количество входных каналов <sup>2)</sup>	Интерфейс	Входное напряжение, В	ИОН	Нелинейность %	SINAD, дБ	Потребляемая мощность, мВт	Корпус
ADS8320	16	100	1Н, 1ПД	Послед., SPI	VREF	Внеш.	0,012	84	1,95	VSSOP-8
ADS8325	16	100	1Н, 1ПД	Послед., SPI	VREF	Внеш.	0,006	91	2,25	VSSOP-8, QFN-8
ADS8321	16	100	1Д	Послед., SPI	±VREF	Внеш.	0,012	84	5,5	VSSOP-8
<b>ADS8317</b>	16	250	1Д	Послед., SPI	±VREF	Внеш.	0,0022	89,5	6	VSSOP-8, QFN-8
<b>ADS8326</b>	16	250	1Н, 1ПД	Послед., SPI	VREF	Внеш.	0,0022	91	6	VSSOP-8, QFN-8
<b>ADS8515</b>	16	250	1Н	Парал., 16 бит	±10	Внут./Внеш.	0,0022	92	100	SSOP-28
<b>ADS8519</b>	16	250	1Н	Послед., SPI	+4; 10 ±3,3; 5; 10	Внут./Внеш.	0,0022	91	100	SSOP-28
<b>ADS7280</b>	14	1000	2Н	Послед., SPI	VREF	Внеш.	0,0061	85,7	13,7	TSSOP-16, QFN-16
<b>ADS7279</b>	14	1000	1Н	Послед., SPI	VREF	Внеш.	0,0061	85,7	15,5	TSSOP-16
<b>ADS7883</b>	12	3000	1Н	Послед., SPI	VDD	Внеш. (VDD)	0,03	72	15	SOT23-6
<b>ADS7863</b>	12	2000	2x2Д	Послед., SPI	±2,5	Внут./Внеш.	0,003	71	13,5	SSOP-24, QFN-24
<b>ADS7230</b>	12	1000	2Н	Послед., SPI	VREF	Внеш.	0,0122	73,7	13,7	TSSOP-16, QFN-16
<b>ADS7229</b>	12	1000	1Н	Послед., SPI	VREF	Внеш.	0,0122	73,7	15,5	TSSOP-16
<b>ADS7953</b>	12	1000	16Н	Послед., SPI	VREF (2,5)	Внеш.	0,024	71,3	12,5	TSSOP-38
<b>ADS7952</b>	12	1000	12Н	Послед., SPI	VREF (2,5)	Внеш.	0,024	71,3	12,5	TSSOP-38
<b>ADS7951</b>	12	1000	8Н	Послед., SPI	VREF (2,5)	Внеш.	0,024	71,3	12,5	TSSOP-30
<b>ADS7950</b>	12	1000	4Н	Послед., SPI	VREF (2,5)	Внеш.	0,024	71,3	12,5	TSSOP-30
<b>ADS7884</b>	10	3000	1Н	Послед., SPI	VDD	Внеш. (VDD)	0,781	61,7	15	SOT23-6
<b>ADS7957</b>	10	1000	16Н	Послед., SPI	VREF (2,5)	Внеш.	0,078	60	12,5	TSSOP-38
<b>ADS7956</b>	10	1000	12Н	Послед., SPI	VREF (2,5)	Внеш.	0,078	60	12,5	TSSOP-38
<b>ADS7955</b>	10	1000	8Н	Послед., SPI	VREF (2,5)	Внеш.	0,078	60	12,5	TSSOP-30
<b>ADS7954</b>	10	1000	4Н	Послед., SPI	VREF (2,5)	Внеш.	0,078	60	12,5	TSSOP-30
<b>ADS7885</b>	8	3000	1Н	Послед., SPI	VDD	Внеш. (VDD)	0,156	49,8	15	SOT23-6
<b>ADS7961</b>	8	1000	16Н	Послед., SPI	VREF (2,5)	Внеш.	0,112	49	12,5	TSSOP-38
<b>ADS7960</b>	8	1000	12Н	Послед., SPI	VREF (2,5)	Внеш.	0,112	49	12,5	TSSOP-38
<b>ADS7959</b>	8	1000	8Н	Послед., SPI	VREF (2,5)	Внеш.	0,112	49	12,5	TSSOP-30
<b>ADS7958</b>	8	1000	4Н	Послед., SPI	VREF (2,5)	Внеш.	0,112	49	12,5	TSSOP-30

**Примечания:**

1. Красным цветом выделены новинки.
2. «Н» указывает на то, что приведенное число каналов являются несимметричными, «Д» – дифференциальными, а «ПД» – псевдодифференциальными.

подключение их к фиксированному уровню. Это позволяет в реальном времени выполнять измерение смещения входа АЦП и в дальнейшем программно компенсировать это смещение. При необходимости входы АЦП и выходы мультиплексора могут быть соединены внешней схемой аналоговой обработки. Интересной особенностью АЦП является наличие

у него опциональных источников тока на каждом входе мультиплексора. Величина тока задается программно (1,5 или 24 мкА). Данная возможность позволяет существенно снизить количество внешних компонентов и себестоимость конечного решения в применениях, где реализуются такие функции как, например, опрос резистивных датчиков, аналоговая кон-

фигурация схемы с помощью резисторов и диагностика подключения источников сигнала. ADS1258 содержит собственный ИОН, однако он не служит полноценной заменой внешнему ИОН, так как достижение истинной 24-битной разрешающей способности – это вызов не только схеме АЦП, но и его источнику опорного напряжения. Назначение встроенного ИОН

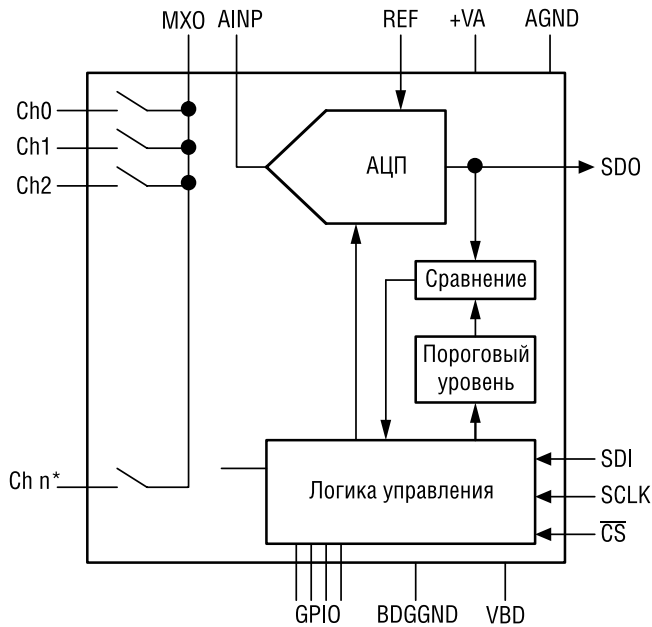


Рис. 2. Функциональная схема АЦП ADS79xx

в данном случае — диагностика внешнего опорного напряжения. С его помощью система может судить о качестве работы внешнего ИОН и в случае его ухудшения (исчезновение напряжения или выход за пределы диапазона) — принять соответствующие меры, например, заблокировать выполнение каких-либо функций, влияющих на безопасность применения системы.

#### АЦП последовательного приближения

АЦП данного типа можно назвать «рабочей лошадкой» в критичных к стоимости системах с разрешающей способностью дискретизации от 8 до 16 бит и частотой дискретизации до 1...5 МГц. Типичные области применения: встраиваемые системы управления, устройства управления электродвигателями, устройства автоматики, робототехника, обработка сигналов в реальном времени, устройства с батарейным питанием. Среди рассматриваемых здесь архитектур АЦП последовательного приближения при прочих равных условиях обеспечивают лучшие значения времени преобразования и энергопотребления. Сведения по некоторым, рекомендованным для использования в промышленных применениях, АЦП последовательного приближения TI представлены в таблице 2. Весомая часть этой таблицы занята семейством многоканальных 8...12-битных микромощных АЦП ADS79xx [2]. Данные АЦП характеризуются частотой дискретизации до 1 МГц, частотой синхронизации последовательного интерфейса до 20 МГц, напряжением питания 2,7...5,5 В и типичным потреблением 14,5 мкВт. На рисунке 2 представлена функциональная схема преобразователей ADS79xx. На рисунке видно, что выход мультиплек-

сора и вход АЦП внутренне не соединены, а выведены на отдельные выводы. Это позволяет включить между этими выводами дополнительную схему аналоговой обработки, например, программируемый усилитель. В таком случае, для программирования усиления могут быть задействованы имеющиеся у ADS79xx линии ввода-вывода общего назначения. Логикой управления микросхем поддерживаются три режима задания очередности преобразования каналов. В ручном режиме подлежащий очередному преобразованию канал задается программно. В первом автоматическом режиме соблюдается запрограммированная заранее очередность преобразования каналов, а во втором — преобразования выполняются в очередности от канала 0 до заданного предварительно последнего канала. Еще одной полезной особенностью рассматриваемых АЦП является интеграция в них блока сравнения результата преобразования каждого канала с двумя программируемыми порогами (нижний и верхний пороги). Результат сравнения можно опросить не только программно, но и аппаратно. Для этого нужно задействовать альтернативные функции линий ввода-вывода как выходов блока сравнения. Если такой выход соединить со входом внешнего прерывания МК, можно добиться быстродействующего реагирования на события, способные повлиять на надежность или безопасность работы системы, например, на перегрев, перегрузку, перенапряжение, недопустимое снижение напряжения, физическое вмешательство и т.п. К числу других альтернативных функций линий ввода-вывода относятся: вход управления включением/отключением, позволяющий снизить потребление ИС до 1 мкА, и вход зада-

ния диапазона преобразования (2,5 или 5,0 В). Для программирования ИС используется популярный интерфейс SPI.

#### Конвейерные АЦП

У таких АЦП процесс преобразования разбит на стадии. За выполнение каждой стадии отвечают независимые друг от друга, но синхронизированные между собой ступени конвейера. Благодаря этому новое преобразование можно начать сразу после освобождения первой ступени конвейера, не дожидаясь завершения всего преобразования. В результате конвейерные АЦП достигают высокой производительности преобразований (от единиц мегагерц до единиц гигагерц), но время преобразования при этом ограничивается, так как любой конвейер приносит запаздывание. Конвейерные АЦП используются в применениях, где требуется высокое быстродействие оцифровки данных, в том числе, в лабораторном контрольно-измерительном оборудовании (осциллографы, анализаторы спектра), диагностическом оборудовании, оцифровке видеосигналов, средствах связи, телекоммуникационных системах. Компания TI выпускает множество конвейерных АЦП с производительностью оцифровки от 1 до 550 МГц и разрешающей способностью от 8 до 16 бит. Полный перечень выпускаемых TI конвейерных АЦП, а также других типов АЦП, можно получить по ссылке <http://dataconverter.ti.com/>.

#### Заключение

Ассортимент АЦП TI, выполненных по различным архитектурам, с различной конфигурацией, с заложеными в них идеями и подходами по достижению различного соотношения рабочих характеристик и функциональных возможностей, дает возможность подобрать идеальное изделие для использования в электронных системах промышленного назначения с учетом соответствия каждому конкретному набору требований. Подбор такого изделия можно упростить, если воспользоваться параметрическим поиском, доступным по ссылке [dataconverter.ti.com](http://dataconverter.ti.com). Кроме того, TI предлагает бесплатную программу ADCPro ([www.ti.com/adcp](http://www.ti.com/adcp)), которая позволяет оценить работу АЦП при поступлении на его вход виртуального сигнала. Источником такого сигнала может служить либо виртуальный функциональный генератор, либо файл с данными. Данная программа также может взаимодействовать с выпускающимися TI оценочными наборами АЦП.

#### Литература

1. 16-Channel, 24-Bit Analog-to-Digital Converter ADS1258//Datasheet, lit. num. SBAS297E, Texas Instruments, June 2005 (revised October 2007). — 51 p.

# PLUG&PLAY

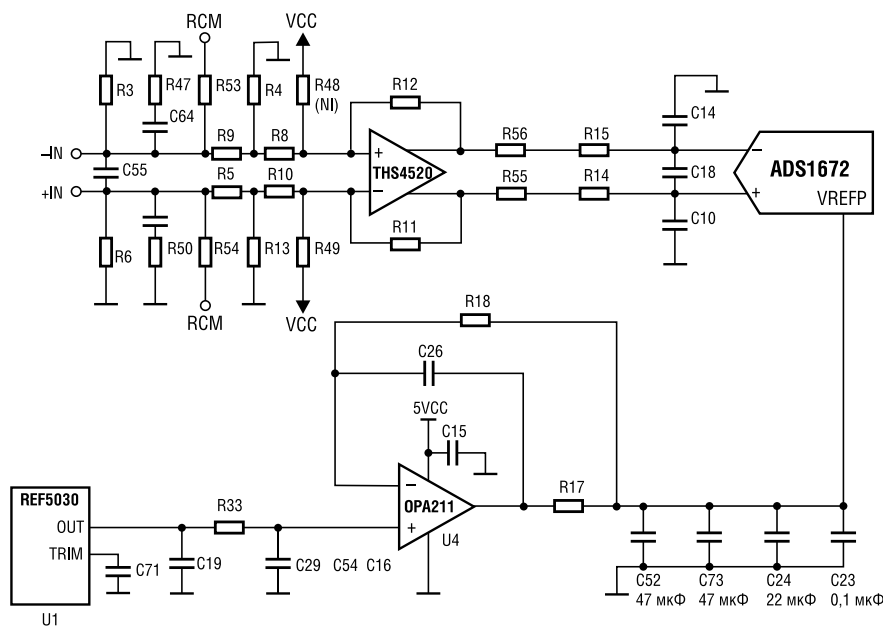


Рис. 3. Аналоговый тракт схемы включения ADS1672

**Пример применения:**

В качестве примера рассмотрим применение сигма-дельта АЦП **ADS1672**. Данный преобразователь примечателен тем, что при 24-битной разрешающей способности он обладает несвойственным для традиционной сигма-дельта архитектуры быстродействием – частота дискретизации может достигать 625 кГц. Типичными областями применения такого АЦП являются автоматическое испытательное оборудование, контрольно-измерительные системы, средства вибродиагностики, гидролокационное оборудование и др. Представленная на рисунке 3 схема включения этого АЦП является частью оценочного набора **ADS1672EVM** [3].

В этой схеме входной каскад АЦП дополнен широкополосным полно-

стью дифференциальным усилителем **THS4520**. Выбор этого усилителя обусловлен его скоростью нарастания напряжения (570 В/мкс), временем установления (7 нс до уровня напряжения с отклонением 0,1%), низким шумом (2 нВ/Гц) и малым гармоническим искажениям (HD3 [100 кГц] = 123 dBc). Непосредственно на входах подключения внешнего дифференциального сигнала  $-IN/+IN$  предусмотрены согласовывающие резисторы ( $R3 = R6 = 49,9 \text{ Ом}$ ). Помимо этих компонентов, обязательными на входе усилителя являются резисторы R8, R10 (383 Ом) и конденсатор C55 (750 пФ). Остальные элементы являются опциональными. В частности, резисторы R53, R54 могут использоваться при необходимости смещения дифференциальных входов ус-

лителя фиксированным напряжением. Между выходом усилителя и входом АЦП установлена RC-цепь (R56, R15, C18, R55 и R14), которая функционирует в качестве сглаживающего фильтра первого порядка (частота излома АЧХ 10,6 МГц). Конденсаторы C10, C14 – опциональные. Входы опорного напряжения ADS1672 содержат динамически изменяющуюся емкостную нагрузку, поэтому прямое подключение к внешнему ИОН приведет к существенному ухудшению результирующих характеристик преобразования. Данная особенность обуславливает наличие в схеме буферного усилителя внешнего опорного напряжения. Здесь, напряжение 3-вольтового ИОН **REF5030** поступает сначала на вход схемы, выполненной на ОУ **OPA211** (U4), а с её выхода – на вход опорного напряжения АЦП. Данная схема, помимо буферизации, выполняет функцию фильтрации опорного напряжения. Это необходимо для того, чтобы шумовая составляющая в опорном напряжении была намного меньше собственного шума АЦП и, как следствие, не влияла на результат преобразования. Конденсаторы C23, C24 устанавливаются как можно ближе ко входу опорного напряжения АЦП, а благодаря их совместной работе с ОУ OPA211 достигается установление опорного напряжения с точностью  $\pm 1/2$  м.з.р. за 50 нс, что вполне приемлемо, если учесть, что частота коммутации конденсатора на входе опорного напряжения составляет 20 МГц. Также необходимо обратить внимание, что для наглядности на схеме не показаны элементы обработки питания, цифровой тракт и прочие вспомогательные элементы. Подробную схему включения АЦП ADS1672 можно найти в [3].

2. 12/10/8-Bit, 1 MSPS, 16/ 12/ 8/ 4-Channel, Single-Ended, MicroPower, Serial Interface ADCs ADS7950, ADS7951, ADS7952, ADS7953, ADS7954, ADS7955, ADS7956, ADS7957, ADS7958, ADS7959, ADS7960, ADS7961//Datasheet, lit. num. SLAS605, Texas Instruments, June 2008. – 44 p.

3. ADS1672EVM and ADS1672EVM-PDK//User's Guide, lit. num. SBAU147, Texas Instruments, March 2009. – 34 p.

Получение технической информации, заказ образцов, поставка – e-mail: [analog.vesti@compel.ru](mailto:analog.vesti@compel.ru)

ADS795x: 12-битный, 1MSPS, SAR АЦП с 4-/8-/12-/16-канальным настраиваемым мультиплексорным входом

**ПРИМЕНЕНИЕ:**

- портативное медицинское оборудование
- контроль производственных процессов
- контроль блоков питания

Дмитрий Цветков

# КОНТРОЛЛЕРЫ ДЛЯ DC/DC-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ



Более 300 наименований насчитывает перечень контроллеров Texas Instruments для импульсных источников питания. На сегодняшний день это самый обширный перечень компонентов данной группы. Для разработчика доступны устройства практически с любым сочетанием параметров, характеристик и возможностей. В статье приведен обзор наиболее распространенных контроллеров TI для гальванически неизолированных импульсных источников питания.

Компания Texas Instruments непрерывно разрабатывает и реализует новые идеи и решения для источников питания. Эти решения впоследствии воплощаются в виде малогабаритных микросхем. Высоким спросом пользуются контроллеры для гальванически не развязанных DC/DC-преобразователей (табл. 1, 2, 3). В последнее время преобразователи с синхронным управлением приобретают все большую популярность по сравнению с «классическими». Это объясняется, прежде всего, повышенной экономичностью, меньшим уровнем шума и большей надежностью. Перспективное направление — многофазные контроллеры, в основном предназначенные для мощных низковольтных DC/DC-преобразователей (табл. 2), которым TI уделяет основное внимание. Однако морально устаревшие, но все еще пользующиеся высоким спросом контроллеры с несинхронным управлением (силовой транзистор + диод) по-прежнему производятся компанией TI (табл. 4). В различной литературе не раз приводились описания этих микросхем, поэтому в

статье основное внимание уделено перспективным новинкам в области контроллеров для DC/DC-источников.

**TPS40042** — синхронный понижающий ШИМ-контроллер, предназначенный для построения DC/DC-преобразователей с низким выходным напряжением (от 0,7 до 4,95 В), высоким выходным током (зависит от характеристик внешних силовых транзисторов, обычно до 20...25 А) и высокой

Наиболее характерными применениями контроллеров для импульсных источников питания являются бытовая электроника (компьютеры, ноутбуки, DVD-проигрыватели, ЖК-телевизоры и мониторы и т.п.), промышленная и медицинская аппаратура.

частотой преобразования (до 1 МГц). Основные области применения: питание модулей динамической памяти (DDR, DDR-II и т.д.), гибридные DC/DC-модули питания, телекоммуникации. Основное отличие от других контроллеров — внешний источник опорного напряжения, который позволяет реа-

лизовать более гибкое управление микросхемой и расширяет область ее применения.

**TPS40192** и **TPS40193** — синхронные понижающие ШИМ-контроллеры с выходом POWER GOOD (рис. 1, вывод PDG) и внутренним опорным источником повышенной точности (0,5%). Широкий диапазон входного напряжения (от 4,5 до 18 В) позволяет применять эти контроллеры в составе DC/DC-преобразователей компьютерных видео/аудиокарт, телевизоров, мониторов и прочей бытовой электроники. Как все синхронные контроллеры Texas Instruments, TPS40192/ TPS40193 имеют в своем составе адаптивный узел, предотвращающий протекание сквозного тока через оба внешних силовых транзистора.

**TPS40131** и **TPS40132** — синхронные понижающие двухфазные ШИМ-контроллеры (табл. 2). Основная область применения: низковольтные DC/DC-источники питания с высоким выходным током (до 50 А). Отличительные особенности: встроенные драйверы для двух пар внешних силовых транзисторов, работающих в противофазе, что позволяет увеличить КПД и надежность источника. Встроенный дифференциальный усилитель может использоваться для помехозащищенного контроля выходного напряжения на нагрузке, что в значительной степени упрощает требования к топологии печатной платы. При использовании 6-битного цифрового делителя выходного напряжения **TPS40120** появляется возможность программного управления выходным напряжением источника на базе TPS40131 и TPS40132 (рис. 2).

Отдельно стоит упомянуть синхронные понижающие контроллеры, опти-

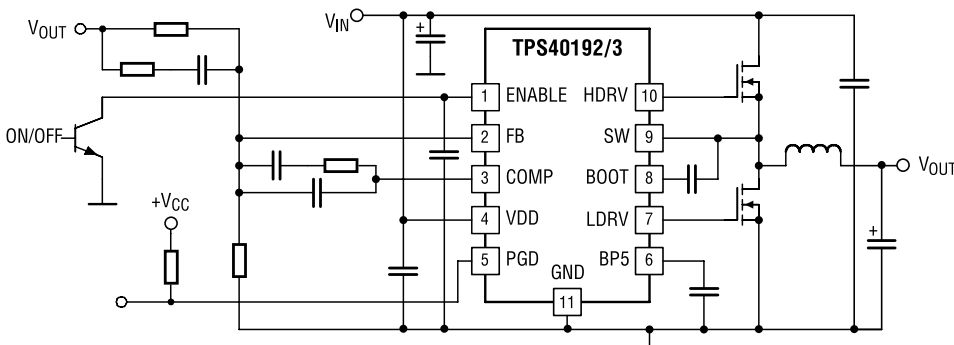


Рис. 1. Типовая схема включения контроллеров TPS40192/ TPS40193

Таблица 1. Контроллеры TI для понижающих синхронных DC/DC-источников

Наименование	Режим управления (обратная связь)	Входное напряжение, В	Выходное напряжение, В	Максимальный выходной ток драйвера, А	Частота, кГц	Точность внутреннего опорного источника, %	Встроенная цепь вольтодобавки	Вывод POWER GOOD	Плавный запуск	Вход внешней синхронизации	Корпус
TPS40000	Напряжение	2,25...5,50	0,70...4,00	1,0	300/600	1,0	Есть	Нет	Есть	Нет	MSOP-10
TPS40002	Напряжение	2,25...5,50	0,70...4,00	1,0	300/600	1,0	Есть	Нет	Есть	Нет	MSOP-10
TPS40007	Напряжение	2,25...5,50	0,70...4,00	1,0	300/600	1,0	Есть	Нет	Есть	Нет	MSOP-10
TPS40009	Напряжение	2,25...5,50	0,70...4,00	1,0	300/600	1,0	Есть	Нет	Есть	Нет	MSOP-10
TPS40020	Напряжение	2,25...5,50	0,70...4,00	2,0	100...1000	1,0	Есть	Есть	Есть	Есть	HTSSOP-16
TPS40021	Напряжение	2,25...5,50	0,70...4,00	2,0	100...1000	1,0	Есть	Есть	Нет	Есть	HTSSOP-16
TPS40040	Напряжение	2,25...5,50	0,60...4,95	1,0	300	1,0	Есть	Нет	Есть	Нет	SON-8
TPS40041	Напряжение	2,25...5,50	0,60...4,88	1,0	600	1,0	Есть	Нет	Есть	Нет	SON-8
<b>TPS40042</b>	<b>Напряжение</b>	<b>3,00...5,50</b>	<b>0,70...4,95</b>	<b>1,2</b>	<b>600</b>	<b>внешний</b>	<b>Есть</b>	<b>Нет</b>	<b>Есть</b>	<b>Нет</b>	<b>SON-10</b>
TPS40054	Напряжение	8,00...40,0	0,70...35,0	1,0	до 1000	1,0	Есть	Нет	Нет	Есть	PwrPAD-16
TPS40055	Напряжение	8,00...40,0	0,70...35,0	1,0	до 1000	1,0	Есть	Нет	Нет	Есть	PwrPAD-16
TPS40056	Напряжение	10,0...40,0	0,70...35,0	1,0	до 1000	внешний	Есть	Нет	Нет	Есть	PwrPAD-16
TPS40057	Напряжение	8,00...40,0	0,70...35,0	1,0	до 1000	1,0	Есть	Нет	Есть	Есть	PwrPAD-16
TPS40060	Напряжение	10,0...55,0	0,70...45,0	1,0	до 1000	1,0	Нет	Нет	Нет	Есть	PwrPAD-16
TPS40061	Напряжение	10,0...55,0	0,70...45,0	1,0	до 1000	1,0	Нет	Нет	Нет	Есть	PwrPAD-16
TPS40075	Напряжение	4,50...28,0	0,70...23,0	1,0	до 1000	1,0	Есть	Есть	Есть	Есть	QFN-20
TPS40077	Напряжение	4,50...28,0	0,70...23,0	1,0	до 1000	1,0	Есть	Есть	Есть	Нет	PwrPAD-16
TPS40100	Ток	4,50...18,0	0,70...5,50	1,3	600	1,0	Нет	Есть	Есть	Есть	QFN-24
TPS40101	Напряжение	4,50...18,0	0,70...5,50	1,3	1000	1,0	Нет	Есть	Есть	Есть	QFN-24
TPS40190	Напряжение	4,50...15,0	0,59...12,7	1,2	300	1,0	Есть	Нет	Есть	Нет	SON-10
<b>TPS40192</b>	<b>Напряжение</b>	<b>4,50...18,0</b>	<b>0,59...14,4</b>	<b>1,2</b>	<b>300/600</b>	<b>0,5</b>	<b>Есть</b>	<b>Есть</b>	<b>Есть</b>	<b>Нет</b>	<b>SON-10</b>
<b>TPS40193</b>	<b>Напряжение</b>	<b>4,50...18,0</b>	<b>0,59...14,4</b>	<b>1,2</b>	<b>300/600</b>	<b>0,5</b>	<b>Есть</b>	<b>Есть</b>	<b>Есть</b>	<b>Нет</b>	<b>SON-10</b>
TPS40195	Напряжение	4,50...20,0	0,59...17,0	1,2	до 600	0,5	Есть	Есть	Есть	Есть	TSSOP-16, QFN-16
TPS5124	Напряжение	4,50...15,0	0,90...12,0	2,0	до 500	1,0	Есть	Нет	Нет	Нет	TSSOP-30

Таблица 2. Контроллеры TI для понижающих многофазных синхронных DC/DC-источников

Наименование	Число каналов	Число фаз	Входное напряжение, В	Выходное напряжение, В	Максимальный выходной ток драйвера, А	Частота, кГц	Точность внутреннего опорного источника, %	Вывод POWER GOOD	Плавный запуск	Защита от перенапряжения	Корпус
TPS40090	1	2, 3, 4	4,50...15,0	0,70...3,30	регуляр.	до 1000	1,00	Есть	Нет	Есть	TSSOP-24, QFN-28
TPS40091	1	2, 3, 4	4,50...15,0	0,70...3,30	регуляр.	до 1000	1,00	Есть	Нет	Есть	TSSOP-24, QFN-28
<b>TPS40131</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1,00...40,0</b>	<b>0,70...5,80</b>	<b>1,0</b>	<b>до 1000</b>	<b>1,00</b>	<b>Есть</b>	<b>Есть</b>	<b>Есть</b>	<b>QFN-32</b>
<b>TPS40132</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1,00...40,0</b>	<b>0,60...5,80</b>	<b>1,0</b>	<b>до 1000</b>	<b>0,80</b>	<b>Есть</b>	<b>Есть</b>	<b>Есть</b>	<b>QFN-32</b>
TPS40140	1, 2	1, 2	2,00...40,0	0,70...5,80	1,2	до 1000	0,50	Есть	Есть	Есть	QFN-36
TPS40180	1	1	2,00...40,0	0,70...5,80	1,2	до 1000	0,75	Есть	Есть	Есть	QFN-24
<b>TPS51727</b>	<b>1</b>	<b>1, 2</b>	<b>4,50...28,0</b>	<b>0,40...1,25</b>	<b>2,7</b>	<b>до 500</b>	<b>1,50</b>	<b>Есть</b>	<b>Нет</b>	<b>Есть</b>	<b>QFN-40</b>

Таблица 3. Контроллеры TI для понижающих синхронных DC/DC-источников с высоким КПД при малых нагрузках

Наименование	Число каналов	Число выходов LDO	Число фаз	Входное напряжение, В	Выходное напряжение, В	Максимальный выходной ток драйвера, А	Частота, кГц	Точность внутреннего опорного источника, %	Вывод POWER GOOD	Встроенный диод вольтодобавки	Защита от перенапряжения	Корпус
TPS51020	2	1	2	4,50...28,0	0,80...5,50	2,0	270, 360, 450	1,0	Есть	Есть	Есть	TSSOP-30
TPS5110	1	1	1	4,50...28,0	0,90...3,50	1,5	до 500	1,0	Есть	Нет	Есть	TSSOP-24
TPS51116	1	1	1	3,00...28,0	1,50...3,00	0,8	до 400	1,0	Есть	Нет	Есть	PwrPAD-20, QFN-24
TPS51117	1	0	1	1,80...28,0	0,75...5,50	3,0	до 550	1,0	Есть	Есть	Есть	TSSOP-14, QFN-14
TPS51120	2	2	2	1,50...28,0	2,00...5,50	3,0	270, 330, 430, 580	1,0	Есть	Нет	Есть	QFN-32
TPS51124	2	0	2	3,00...28,0	0,76...5,50	3,0	300, 360, 420	1,0	Есть	Нет	Есть	QFN-24
<b>TPS51125</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>5,50...28,0</b>	<b>2,00...5,50</b>	<b>1,0</b>	<b>325</b>	<b>1,0</b>	<b>Есть</b>	<b>Нет</b>	<b>Есть</b>	<b>QFN-24</b>
<b>TPS51220</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>4,50...28,0</b>	<b>1,00...12,0</b>	<b>1,5</b>	<b>до 1000</b>	<b>1,0</b>	<b>Есть</b>	<b>Есть</b>	<b>Есть</b>	<b>QFN-32</b>
TPS5130	3	1	2	4,50...28,0	0,90...5,50	1,5	до 500	1,5	Есть	Нет	Есть	QFP-48
TPS51511	1	1	1	3,00...28,0	0,75...3,30	0,8	до 550	1,0	Есть	Есть	Есть	QFN-20

Таблица 4. Контроллеры TI для DC/DC-источников (разное)

Наименование	Топология	Синхронное управление	Входное напряжение, В	Выходное напряжение, В	Максимальный выходной ток драйвера, А	Частота, кГц	Точность внутреннего опорного источника, %	Встроенный диод вольтодобавки	Вывод POWER GOOD	Корпус
TPS40210	—	Нет	4,50...52,0	5,00...250	0,8	до 1000	2,0	Нет	Нет	PwrPAD-10, SON-10
TPS40211	—	Есть	4,50...52,0	5,00...250	0,8	до 1000	2,0	Нет	Нет	PwrPAD-10, SON-10
TPS43000	—	Нет	1,80...9,00	0,80...8,00	1,2	до 2000	2,0	Нет	Нет	TSSOP-16
TPS51100	—	Нет	4,75...5,25	0,60...1,70	—	—	внешний	Нет	Нет	PwrPAD-10
TPS51200	—	Нет	0,30...3,60	0,30...3,60	—	—	внешний	Нет	Есть	SON-10
TPS64200	—	Нет	1,80...6,50	1,20...6,50	—	—	2,0	Нет	Нет	SOT-23
TPS64201	—	Нет	1,80...6,50	1,20...6,50	—	—	2,0	Нет	Нет	SOT-23
TPS64202	—	Нет	1,80...6,50	1,20...6,50	—	—	2,0	Нет	Нет	SOT-23
TPS64203	—	Нет	1,80...6,50	1,20...6,50	—	—	2,0	Нет	Нет	SOT-23
UC3572	инвертирующий, обратнo-ходовый	—	4,75...30,0	-48,0...0,00	0,5	300	2,0	Нет	Нет	SOIC-8, DIL-8
TL1451A	повышающий, понижающий, обратнo-ходовый	—	3,60...50,0	2,50...50,0	0,02	до 500	4,0	Нет	Нет	PDIP-16, SOIC-16, SSOP-16, TSSOP-16
TL5001	повышающий, понижающий, обратнo-ходовый	—	3,60...40,0	1,00...50,0	0,02	до 500	3,0	Нет	Нет	PDIP-8, SOIC-8, SO-8

мизированные для работы на широкий диапазон нагрузки (табл. 3). Их основное назначение — преобразователи напряжения аккумуляторных батарей в ноутбуках, источниках питания ЖК-мониторов/телевизоров.

**TPS51120** — синхронный понижающий двухфазный ШИМ-контроллер. Основные особенности: при отсутствии

нагрузки собственный ток потребления микросхемы в активном режиме не превышает 0,5 мА (в выключенном состоянии — 7 мкА, в режиме ожидания — 100 мкА) во всем диапазоне входного напряжения (от 4,5 до 28 В), наличие регулируемой частоты преобразования (200 кГц...1 МГц). Для целей управления помимо данных о напряжении на

нагрузке контролируется ток в катушке, то есть реализована обратная связь по току. Фактически при наличии нагрузки контроллер работает в режиме непрерывного тока, а при малой или отключенной нагрузке — в режиме прерывистых токов. Такая схема построения позволяет увеличить КПД преобразователя во всем диапазоне нагрузок.



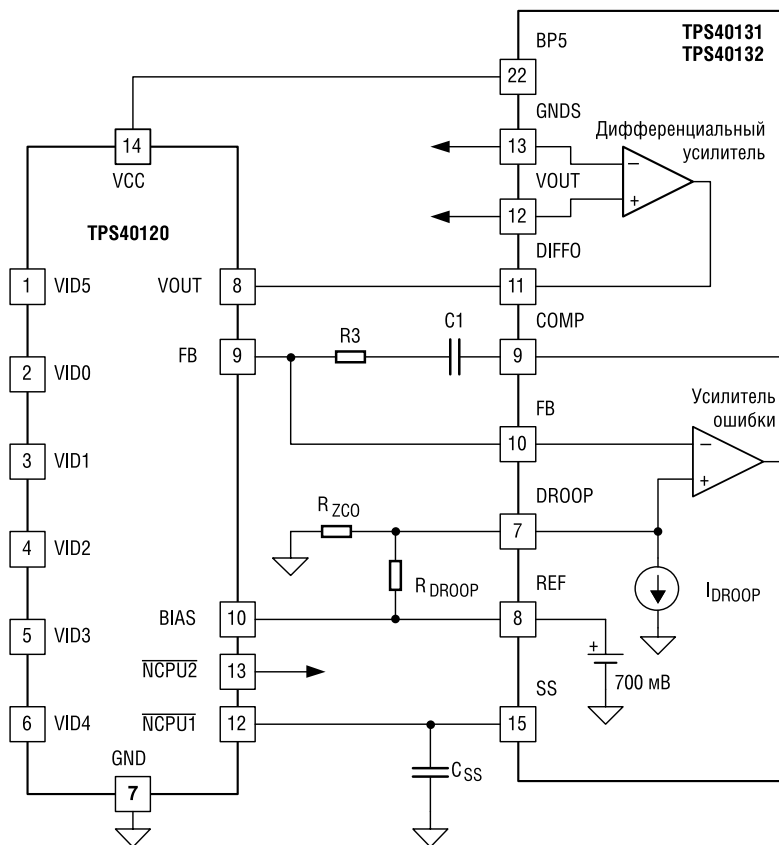


Рис. 2. Типовая схема подключения цифрового делителя TPS40120 с контроллерами TPS40131/TPS40132

**Заключение**

На сегодняшний день контроллеры для импульсных источников питания от компании Texas Instruments уверенно и прочно заняли нишу среди недорогих, надежных, многофункциональных и в то же время простых в эксплуатации импульсных источников питания малой, средней и большой мощности. Наиболее характерными применениями для них являются как бытовая электроника (компьютеры, ноутбуки, DVD-проигрыватели, ЖК-телевизоры и мониторы и т.п.), так и промышленная и медицинская аппаратура.

**Литература**

1. Дмитрий Цветков, «ШИМ-контроллеры STMicroelectronics», журнал «Новости электроники», 2008/3.
2. Дмитрий Еськин, «TPS40210 и TPS40211 – новые повышающие DC/DC-контроллеры Texas Instruments», журнал «Новости электроники», 2008/15.

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

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ Понижающий  
КОНТРОЛЛЕР ИМПУЛЬСНОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ  
**TPS40140** с повышенным КПД

НАРАЩИВАЕМЫЙ. МАСШТАБИРУЕМЫЙ. УНИВЕРСАЛЬНЫЙ.

- Применяется в наращиваемых источниках систем сбора и обработки данных и телекоммуникационном оборудовании
- Обеспечивает лучшую нагрузочную способность и эффективность
- Может работать либо в режиме независимых входов, либо в двухфазном режиме с чередованием выходов
- Возможно каскадирование контроллеров для построения источников большой мощности
- Наибольшая эффективность достигается при 16-фазном выходе
- Диапазон выходных токов от 10 до 320 мА.

Москва  
Тел.: (495) 995-0901  
Факс: (495) 995-0902

Санкт-Петербург  
Тел.: (812) 327-9404  
Факс: (812) 327-9403

Компэл  
www.compel.ru

Павел Ильин (КОМПЭЛ), Константин Староверов

# ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ФОРМИРОВАТЕЛИ СИГНАЛОВ ПРОМЫШЛЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

*Интегральные формирователи сигнала предназначены для применения в датчиках, измерительных преобразователях и других средствах автоматизации промышленного назначения, где используется унифицированный аналоговый выход и, в частности, интерфейс токовой петли. Компания Texas Instruments производит широкую номенклатуру таких изделий.*

Исполнительные механизмы и датчики систем промышленной автоматизации соединяются между собой с помощью различного рода интерфейсов. Несмотря на широкое распространение цифровых интерфейсов CAN, RS-485, Ethernet, аналоговые интерфейсы, в том числе интерфейс токовой петли, все еще сохраняют популярность. Задача согласования аналогового сигнала с интерфейсом его передачи включает несколько составляющих (некоторые из которых являются опциональными):

- Формирование напряжения питания или питающего тока для смещения источника сигнала;
- Предварительная аналоговая обработка (линеаризация, фильтрация и др.);
- Согласование с интерфейсом передачи.

Выполнение указанных задач при условии, что проектируемое устройство относится к высокому классу точности, связано с преодолением множества трудностей, в частности связанных с обеспечением высокой температурной

стабильности, малого начального разброса параметров и высокой помехоустойчивости. А самостоятельное их преодоление связано с рисками неудачного проектирования и увеличения сроков продвижения продукции на рынок. Минимизировать эти риски можно за счет применения специализированных формирователей сигнала. Компания Texas Instruments (TI) выпускает несколько ИС, позволяющих создать прецизионные решения для согласования аналогового сигнала с аналоговым интерфейсом на одной, максимум двух микросхемах. При этом стоимость таких ИС будет сопоставима со стоимостью прецизионных ИОН и операционных/инструментальных усилителей — «кирпичиков» альтернативных дискретных решений.

Общие сведения об интегральных формирователях сигналов TI представ-

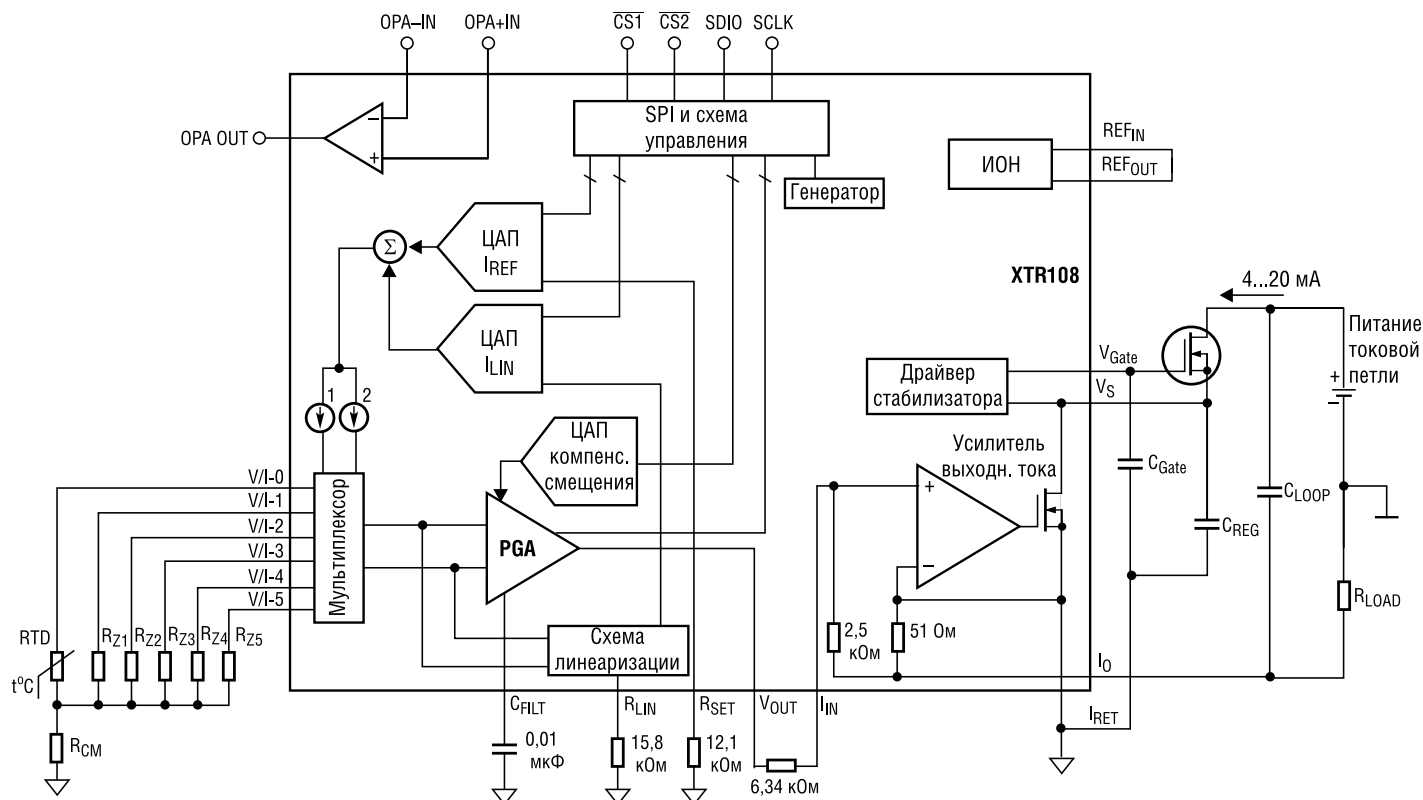


Рис. 1. Функциональная схема и схема включения ИС XTR108

Таблица 1. Интегральные формирователи сигналов промышленного назначения Texas Instruments

Наименование <sup>1)</sup>	Особенности	Питание датчика	Напряжение токовой петли, В	Полный входной диапазон	Выходной диапазон	Встроенный стабилизатор напряжения $V_{REG}/I_{OUT}$ , В/мА	Корпус
<b>1. Формирователи сигналов с 2-проводным подключением к токовой петле 4...20 мА</b>							
XTR105	Подключение RTD 100 Ом с линейризацией	$2xI_{REF}=800$ мкА	7,5...36	5...1000 мВ	4...20 мА	5,1/0,5	DIP-14, SOIC-14
XTR106	Подключение мостового датчика с линейризацией	$V_{REF1}=2,5$ В, $V_{REF2}=5$ В	7,5...36	5...1000 мВ	4...20 мА	5,1/1	DIP-14, SOIC-14
XTR108	Подключение RTD 10 Ом...10 кОм, 6-канальный мультиплексор, отдельный ОУ, интерфейс калибровочного EEPROM	$2xI_{REF}=500$ мкА	7,5...24	5...320 мВ	4...20 мА	5,1/2,1	SSOP-24
XTR112	Подключение RTD 1 кОм с линейризацией	$2xI_{REF}=250$ мкА	7,5...36	5...1000 мВ	4...20 мА	5,05/1	SOIC-14
XTR114	Подключение RTD 10 кОм с линейризацией	$2xI_{REF}=100$ мкА	7,5...36	5...1000 мВ	4...20 мА	5,05/1	SOIC-14
XTR115	Преобразователь тока	$V_{REF}=2,5$ В	7,5...36	40...250 мкА	4...20 мА	4,9/1	SOIC-8
XTR116	Преобразователь тока	$V_{REF}=4,096$ В	7,5...36	40...250 мкА	4...20 мА	4,9/1	SOIC-9
XTR117	Преобразователь тока	$V_{REG}=5$ В	7,5...40	40...250 мкА	4...20 мА	4,9/1	MSOP-8, DFN-8
<b>2. Формирователи сигналов мостовых датчиков с выходом по напряжению</b>							
PGA309	Встроенная цифровая калибровочная система с хранением калибровочных данных во внешнем EEPROM	$V_S, V_{REF1}=2,5$ В, $V_{REF2}=4,096$ В	2,7...5,5	1...245 мВ/В	0,05...4,9 В ( $V_S=+5$ В)	—	TSSOP-16
<b>PGA308</b>	Встроенная цифровая калибровочная система с внутренним хранением калибровочных данных в OTP-памяти	—	2,7...5,5	0,08...296 мВ/В	0,03...5,44 В ( $V_S=+5$ В)	—	MSOP-10, DFN-10
<b>3. Драйверы с выходом по току или напряжению</b>							
XTR100	Прецизионный преобразователь напряжение-ток	$V_{REF}=10$ В	13,5...40	0...5 В или 0...10 В	0...20 мА, 4...20 мА, 5...25 мА	—	DIP-16, SOL-16
XTR111	Прецизионный преобразователь напряжение-ток	$V_{REG}$	8...40	0...12 В		3...15	DFN/MSOP-10
XTR300	Промышленный драйвер с выходом по току или напряжению	—	<34	$V(-)+3...$ $V(+)-3$	$\pm 17$ В, $\pm 24$ мА	—	QFN/TSSOP-20
<b>4. Приемник токовой петли 4...20 мА</b>							
RCV420	Вход 4...20 мА, выход 0...5 В, перепад напряжения 1,5 В	$V_{REF}=10$ В	+11,5/ -5...±18	4...20 мА	0...5 В	—	DIP-16

**Примечание:**

1. Красным цветом выделены новинки.

лены в таблице 1 [1]. Из нее следует, что ИС разделяются на четыре группы.

ИС первой группы предназначены для применения в измерительных преобразователях в качестве согласующего звена между датчиком и токовой петлей 4...20 мА. Все эти ИС рассчитаны на двухпроводное подключение к токовой петле и автономно обеспечивают себя электропитанием. Более того, в них предусмотрен внутренний стабилизатор напряжения, который можно задействовать для питания внешней маломощной

схемы. Часть ИС рассматриваемой группы имеют узкую специализацию. Например, ИС **XTR105**, **XTR112**, **XTR114** специально рассчитаны на работу с терморезисторами (RTD). Для этого в них предусмотрены источники тока для питания резистивного датчика и схема линейризации его передаточной характеристики. В свою очередь, ИС **XTR106** предназначена для работы совместно с резистивными датчиками мостового типа. Она также содержит схему линейризации, но, в отличие от предыдущих

ИС, вместо источников тока оснащена двумя источниками опорного напряжения (ИОН) с аналогичным назначением. Передаточная характеристика выполненного на основе любой из указанных выше ИС преобразователя имеет вид:  $I_{OUT} = 4 \text{ мА} + \Delta e_{IN} (40/R_G)$ , где  $I_{OUT}$  — выходной ток [мА],  $\Delta e_{IN}$  — входное дифференциальное напряжение [мВ],  $R_G$  — сопротивление внешнего резистора, задающего коэффициент передачи внутреннего инструментального усилителя [Ом]. Наиболее простой ар-

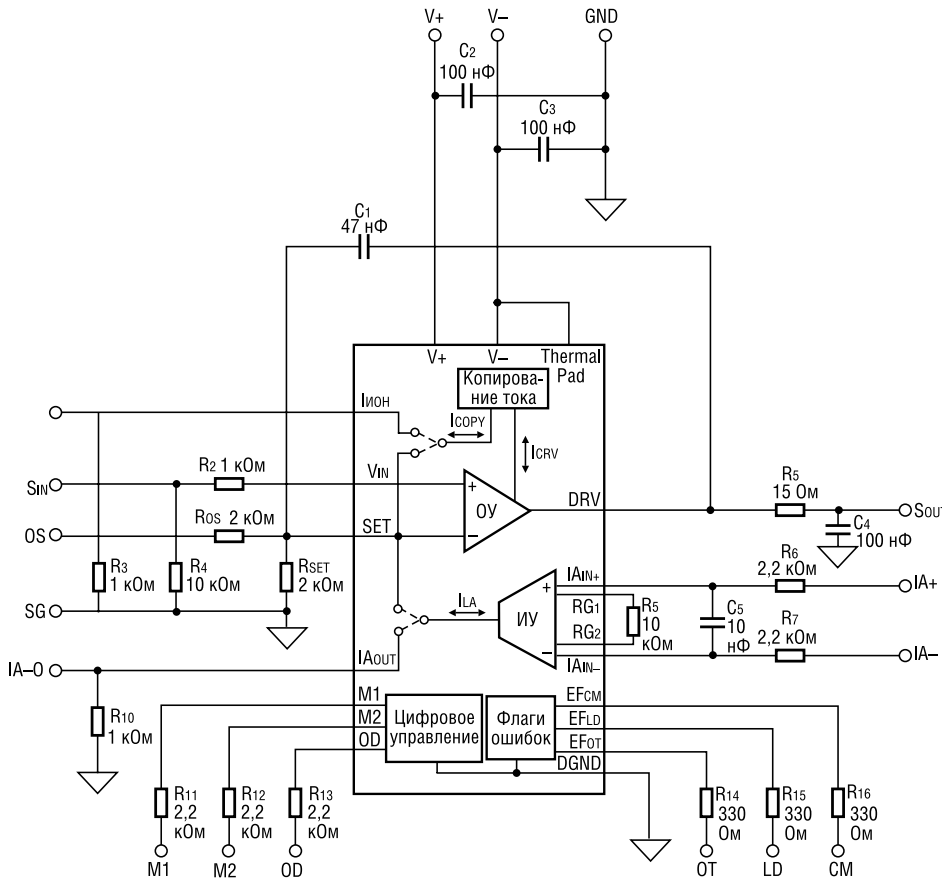


Рис. 2. Функциональная схема и схема включения ИС XTR300

хитектурой в рассматриваемой группе обладают ИС **XTR115...117**. В них встроен преобразователь постоянного тока, стабилизатор напряжения для питания внешней схемы и ИОН (только у XTR115/6). Несмотря на то, что вход данных ИС является токовым, его легко можно преобразовать во вход по напряжению добавлением внешнего прецизионного резистора. Данные ИС идеальны для построения интеллектуальных измерительных преобразователей, в котором большинство задач обработки сигнала возложены на микроконтроллер (МК), а результирующий сигнал передается по токовой петле в аналоговом и/или цифровом (протокол HART) виде. При таком применении в качестве источника сигнала для ИС формирователей может служить выход встроенного в МК ЦАП или широтно-импульсного модулятора (при условии установки внешнего ФНЧ). Передаточная характеристика ИС имеет вид:  $I_{OUT} = 100 \times I_{IN}$ . Наконец, последний представитель рассматриваемой группы, ИС **XTR108**, благодаря своей оригинальной архитектуре (см. рисунок 1), предоставляет разработчику наибольшую гибкость. Входящие в состав ИС программируемый усилитель (PGA) и два источника опорного тока связаны с шестью входами посредством мультиплексора, который дает возможность независимо управлять подключением каждого источника тока и входа

PGA к любому из входов, в том числе — к одному и тому же. В сочетании с доступностью внутри ИС отдельного ОУ, который можно задействовать для преобразования опорного тока в опорное напряжение, это дает разработчику широкие возможности по организации питания датчиков (прецизионное напряжение; два отдельных источника или один с удвоенным током, с подключением их ко входу PGA или с возмож-

Компания **Texas Instruments** выпускает несколько ИС формирователей сигнала, позволяющих создать прецизионное решение согласования аналогового сигнала с аналоговым интерфейсом на одной, максимум двух микросхемах. При этом стоимость таких ИС будет сопоставима со стоимостью прецизионных ИОН и операционных/инструментальных усилителей – «кирпичиков» альтернативных дискретных решений.

ностью использовать их на отдельных выводах ИС). В конечном счете, данная ИС делает возможной совместную работу как с терморезистором от 10 Ом до 10 кОм по двух- и трех-проводным схемам подключения, так и с мостовым резистивным датчиком, не требуя при этом установки внешних активных компонентов. Так же как и ряд предыдущих ИС, XTR108 оснащена схемой линейаризации, но в отличие от них, в

данную микросхему встроена схема цифровой калибровки, которая позволяет скомпенсировать разброс опорных токов, смещения PGA и погрешности схемы линейаризации. Калибровочные данные должны храниться во внешней ИС EEPROM, для подключения к которой предусмотрен SPI-совместимый интерфейс. Через этот же интерфейс можно управлять коэффициентом усиления PGA (семь значений в диапазоне от 6,25 до 400). Пожалуй, к единственному недостатку ИС можно отнести тот факт, что она требует установки в выходном каскаде внешнего, работающего в режиме обеднения, n-канального MOSFET-транзистора (например, **BSP149** производства Infineon). Остальные ИС данной группы для той же цели требуют использования более легкодоступного биполярного p-p-n транзистора, а некоторые из них (например, X105/6) могут работать даже без каких-либо внешних активных элементов в выходном каскаде. Все ИС данной группы рассчитаны на работу в промышленном температурном диапазоне -40...85°C, а XTR117 — в расширенном диапазоне -40...125°C.

Ко второй группе отнесено всего две ИС специализированных программируемых усилителей. Они предназначены для подключения к мостовому резистивному датчику и для формирования выходного сигнала напряжения. Таким образом, для получения завершеного решения датчика с подключением к токовой петле 4...20 мА данные ИС необходимо дополнить формирователем токового сигнала, например, XTR117 из предыдущей группы. ИС **PGA309** оснащена системой калибровки, подобной той, что применена в XTR108, но дополненной возможностями автоматической температурной компенсации. При этом для измерения температуры доступно три способа: по

изменению сопротивления в мосте, с помощью встроенного датчика температуры и с помощью подключенного внешне диода, термистора или RTD. Так же как и XTR108, PGA309 предусматривает хранение калибровочных данных и настроек во внешней двухпроводной EEPROM, но у PGA309 предусмотрен еще один дополнительный UART-совместимый однопроводной интерфейс, который предоставляет доступ как к внутренним

# PLUG&PLAY

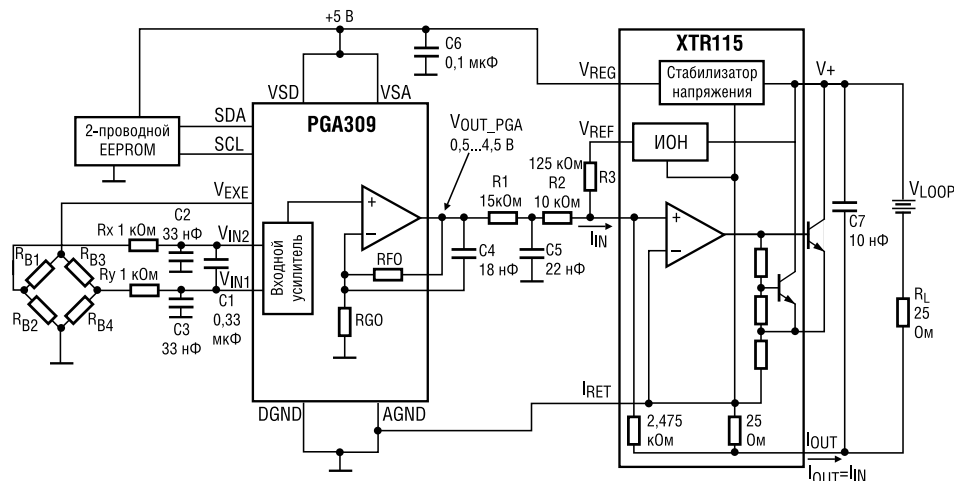


Рис. 3. Пример реализации тензометрического датчика с токовым выходом 4...20 мА

### Пример применения:

На рисунке 3 приведен пример реализации датчика давления с подключением к токовой петле 4...20 мА. Схема выполнена на основе двух ИС. **PGA309** отвечает за преобразование нелинейного напряжения мостового тензорезистивного датчика в линейное напряжение, а **XTR115** выполняет преобразование этого напряжения в токовый сигнал 4...20 мА и обеспечивает схему напряжением питания. Поскольку вход ИС **XTR115** является

сы токовым, то для его согласования с выходом по напряжению **PGA309** в схеме применены резисторы **R1** и **R2** ( $I_{IN} = V_{OUT\_PGA} / (R1 + R2)$ ). С точки зрения статических характеристик, резисторы **R1** и **R2** можно было бы заменить одним резистором, однако здесь, чтобы появилась возможность организации простого ФНЧ первого порядка, применены именно два. Резистор **R3** предназначен для задания смещения выходного тока (4 мА при использовании указанного на схеме номинала

**R3**). Добиться работы выхода в диапазоне 4...20 мА можно и без использования резистора **R3**. Для этого необходимо добиться изменения начальной границы выходного диапазона **PGA309** и изменить номиналы резисторов **R1**, **R2** (например, 0,9...4,5 В и  $R1 + R2 = 22,5$  кОм). Всего в приведенной схеме установлено три каскада фильтрации. Первый каскад образован конденсаторами **C1**, **C2**, **C3**. Конденсатор **C1** предназначен для фильтрации входного синфазного шума, а **C2**, **C3** — для фильтрации дифференциального шума на входе **PGA309**. Поскольку сопротивление плеч моста может оказаться достаточно низким и, как следствие, вероятно ситуация, когда расчетные значения емкостей данных конденсаторов будут существенно превышать 1 мкФ, то во избежание такой ситуации в схему введены резисторы **RX**, **RY**. Второй каскад фильтрации образован выходом **PGA309** и конденсатором **C4**. Наконец, третий каскад фильтрации образован упомянутыми ранее резисторами **R1**, **R2** и конденсатором **C5**. Приведенные значения номиналов конденсаторов и резисторов всех каскадов фильтрации соответствует частоте  $f(3 \text{ дБ}) = 500$  Гц. Более детально о методике расчета параметров и выборе компонентов данной схемы см. в [2].

регистрам, так и к внешней EEPROM. Кроме того, **PGA309** поддерживает широкие возможности по обнаружению неисправностей в мостовом датчике, в том числе обнаружение обрыва и короткого замыкания в каждом плече моста и на каждом входе его подключения к ИС. Другой представитель данной группы, ИС **PGA308**, отличается от **PGA309** отсутствием функции цифровой температурной компенсации и заменой интерфейса внешней EEPROM на встроенную однократно-программируемую память. Таким образом, применение **PGA308** позволяет сократить количество внешних элементов в применениях, не требующих обеспечения высокой температурной стабильности. Обе ИС рассчитаны на работу в температурном диапазоне -40...125°C.

Третью группу ИС составляют драйверы с выходом по току или напряжению. Важным их отличием от формирователей из первой группы является соотношение уровней общей сигнальной цепи и общей цепи питания токовой петли. Если у ИС первой группы, ввиду двухпроводного подключения к токовой

петле, уровень общей сигнальной цепи является «плавающим», то в этой группе он совпадает с уровнем общей цепи питания токовой петли. Из этого вытекает основное предназначение ИС — они необходимы для построения активных, то есть оснащенных собственным источником питания, формирователей сигнала тока/напряжения. Примерами применения таких формирователей могут служить модули аналогового вывода промышленных контроллеров, датчики генераторного типа (например, трансформаторные датчики тока), диагностируемые аккумуляторные источники питания и др. Данные ИС могут также использоваться в качестве программируемых источников тока общего назначения. ИС **XTR110/1** представляет собой преобразователи «напряжение-ток». Во входном каскаде ИС **XTR110**, выполненной по архитектуре преобразователя тока, предусмотрены задающие диапазон входного напряжения прецизионные резисторы. Таким образом исключается потребность в их установке снаружи, но в то же время сужается гибкость по выбору

входного диапазона. Всего пользователю доступны два входных диапазона: 0...5 В или 0...10 В. ИС **XTR111** выполнена по архитектуре токового зеркала, имеет фиксированный входной диапазон 0...12 В и оснащена регулируемым стабилизатором напряжения. Наибольшей функциональностью в данной группе обладает ИС **XTR300** (см. рисунок 2). Основной ее архитектуры являются операционный усилитель (ОУ) — драйвер и измерительный усилитель (ИУ). Благодаря этому, разработчик получает возможность конструирования как формирователей сигнала напряжения, так и формирователей сигнала тока, причем, в отличие от всего, что рассматривалось выше, — знаменитые формирователи ( $\pm 20$  мА или  $\pm 10$  В). Когда ИС работает в режиме формирования напряжения, есть возможность контролировать ток нагрузки (через вывод **I-MON**), при этом для реализации данной функции не требуется установка внешнего токового шунта. В режиме формирования тока внутренний ИУ не задействован, и поэтому его можно использовать как высоковольт-

ный высокоимпедансный канал изменения общего назначения. Возможным вариантом применения этого канала является удаленный контроль напряжения на нагрузке. Режим работы ИС задается через внешние входы. Через вход OD выход ИС можно перевести в отключенное высокоимпедансное состояние. Также ИС имеет функции сигнализации об аварийных режимах:

- перегрев (выход OT);
- выход за пределы синфазного напряжения на входах ИУ (выход CM);
- токовая перегрузка или короткое замыкание в режиме формирования напряжения или обрыв нагрузки или ее большое сопротивление в режиме формирования тока (выход LD).

При необходимости автоматического отключения выхода XTR300 при перегреве достаточно замкнуть выводы OT и OD.

В последнюю, четвертую, группу входит одна ИС, **RCV420**, предназначенная для прецизионного обратного преобразования токового сигнала, в том числе 4...20 мА, в сигнал напряжения 0...5 В. Основные области применения ИС: модули аналогового ввода данных промышленных контроллеров, системы сбора данных, мониторинга и т.п. Благодаря широкому диапазону входных синфазных напряжений ( $\pm 40$  В) ИС может использоваться и для контроля потре-

бляемого от промышленных источников питания и зарядных устройств тока.

#### Заключение

Компания Texas Instruments выпускает широкий набор интегральных формирователей сигналов, часть из которых оптимизирована под определенные применения, а часть обладает избыточностью архитектуры, повышающей гибкость применения ИС. Поскольку в данной статье затронуты в основном лишь функциональные особенности ИС, то окончательное решение по их выбору необходимо принять с учетом соответствия приведенных в документации характеристик требованиям к прецизионности разрабатываемого устройства.

#### Литература

1. Amplifier and Data Converter Guide//Selection & Solution Guide, Texas Instruments, lit. num. SLYB115C, 1Q 2009. – 140 p.
2. Using the XTR115 with the PGA309 to Generate 4mA to 20mA Output//Application Report, Texas Instruments, lit. num. SBOA107B, June 2005, Revised April 2006. – 6 p.

Получение технической информации,  
заказ образцов, поставка –  
e-mail: [analog.vesti@compel.ru](mailto:analog.vesti@compel.ru)

### Новый контроллер высокой мощности от Texas Instruments с КПД более 90%

Компания **Texas Instruments** объявила о выпуске высокоэффективного контроллера для устройств с питанием через Ethernet (PoE), потребляющих электроэнергию мощностью 13 или 26 Вт. Например, контроллер подходит для IP-телефонов, точек беспроводного доступа и камер видеонаблюдения. Новый интегрированный контроллер **TPS23754** отвечает всем требованиям стандарта IEEE 802.3ат (предварительная версия 4.0), поддерживает топологии DC/DC-преобразователей, позволяющие достичь КПД преобразования энергии более 90%. Благодаря применению этих топологий уменьшается теплоотдача и повышается надежность системы. Новое однокристальное PoE-решение производится по технологическим процессам, допускающим броски напряжения до 100 В, что позволяет разрабатывать надежные в эксплуатации устройства мощностью 13 или 26 Вт. Получить подробную информацию об изделии и заказать образцы можно на сайте TI.

TI предоставляет образцы контроллера TPS23754, а также **TPS23756**, который поддерживает входные напряжения, не превышающие 12 В. При его применении разработчики PoE-устройств могут использовать широко распространенные недорогие 12 В сетевые адаптеры. Также будет выпускаться контроллер **TPS23757**, который будет поддерживать устройства мощности 13 Вт и меньше, требующие топологий DC/DC-преобразования с более высоким коэффициентом полезного действия. Устройства TPS23756 и TPS23757 будут доступны в третьем квартале этого года.

#### Основные характеристики:

- Дополняющий внешний драйвер имеет программируемое время запаздывания;
- Контроллер поддерживает непрерывный ток до 825 мА;
- Поддерживается приоритет выбора источника питания;
- Ограничиваются броски рабочего и пускового тока;
- В производстве используется 100 В монокристалльный SOI-процесс.

**Промышленный аналоговый выходной драйвер тока/напряжения XTR300**

Ключевые характеристики

- Настраиваемый выходной ток или напряжение
- Отдельные каналы для приема и передачи
- Выбор цифрового выхода, признаки ошибки, наличие выводов контроля
- Не требуется внешний резистивный шунт
- Защита от превышения тока и перегрева
- Миниатюрный 5 мм x 5 мм корпус QFN-20

Москва  
Тел.: (495) 995-0901  
Факс: (495) 995-0902

Санкт-Петербург  
Тел.: (812) 327-9404  
Факс: (812) 327-9403

**Компэл**  
[www.compel.ru](http://www.compel.ru)

# Алексей Пантелейчук

## НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ DELFINO



Семейство **TMS320C2834x Delfino** – это следующий шаг компании **Texas Instruments** в развитии высокопроизводительных микроконтроллеров с плавающей точкой.

Микроконтроллеры TMS320C2834x Delfino созданы по той же архитектуре (рисунок 1), что и появившееся ранее семейство TMS320F2833x. Однако в отличие от предшественников, C2834x обладают удвоенной производительностью, содержат до 516 КБ ОЗУ и модуль ШИМ с разрешающей способностью 65 пс (см. таблица 1). Основанные на ядре **C28x**, микроконтроллеры Delfino программно совместимы с предыдущими семействами на базе этого же ядра.

Ядро C28x микроконтроллеров Delfino является 32-битным с фиксированной точкой, но в состав устройства входит также 32-битный модуль вычисления с плавающей точкой с одинарной точностью IEEE 754 (FPU). Благодаря этому модулю пользователь может писать программный код, а также реали-

зовывать математические алгоритмы на языке высокого уровня C/C++. Использование связки ядра C28x и модуля FPU очень эффективно при решении как DSP-задач, так и задач управления. При этом во многих случаях отпадает необходимость во втором процессоре. Способность выполнять операцию умножения с накоплением 32x32 бит с 64-битным результатом позволяет микроконтроллеру легко справляться с трудоемкими вычислениями, в то время как быстрая реакция на прерывания с автоматическим сохранением контекста набора важных регистров дает возможность обрабатывать множество асинхронных событий с минимальными задержками. Микроконтроллер имеет Гарвардскую архитектуру памяти с отдельными шинами для чтения команд, чтения данных и записи данных, то есть

ядро C28x может одновременно извлекать команду, считывать и записывать операнд за один цикл тактового сигнала. В ПЗУ микроконтроллера на этапе изготовления записан загрузчик и стандартные таблицы тригонометрических функций. Загрузчик позволяет обновлять ПО во Flash-памяти, а также загружаться через последовательные интерфейсы устройства. Доступ к памяти защищен 128-битным паролем от несанкционированного доступа. Кроме того, в ПЗУ зашит AES-дешифратор, что дает возможность хранить зашифрованный программный код во внешней памяти.

Благодаря увеличению скорости вычисления, поддержке арифметики с плавающей точкой и наличию большого объема встроенной SRAM-памяти, используя микроконтроллеры семейства Delfino, можно значительно снизить объем программного кода приложения и время выполнения сложных алгоритмов управления (рисунок 2).

Семейство TMS320C2834x разработано для таких приложений управления в реальном времени, как системы

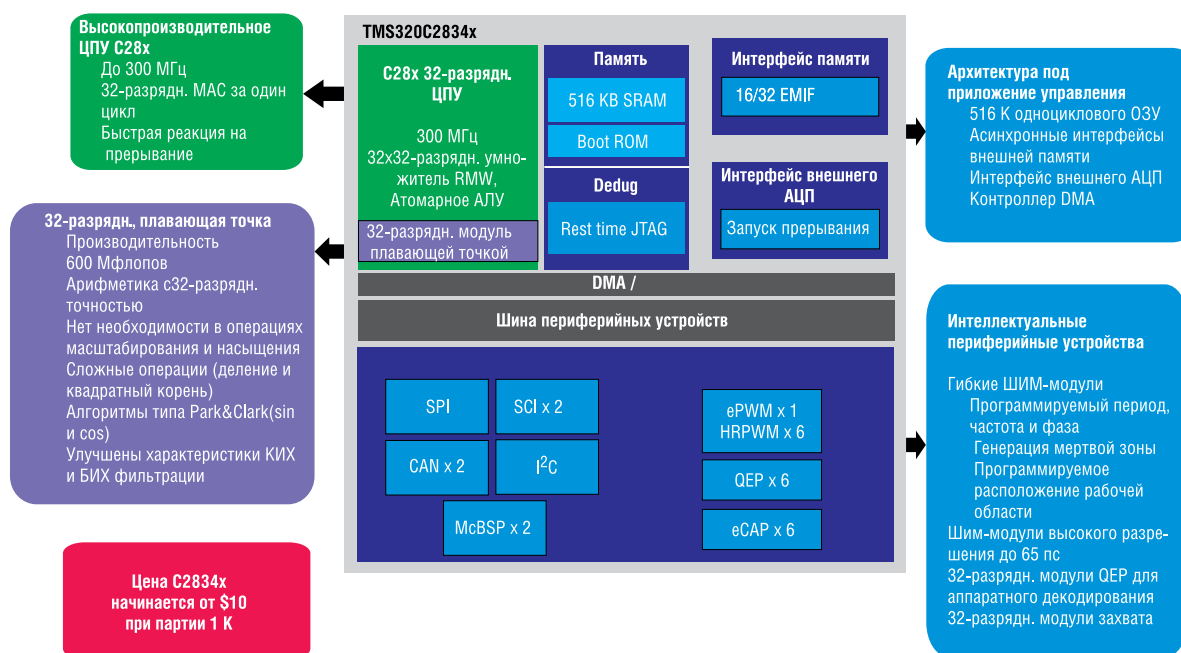


Рис. 1. Блок-схема архитектуры микроконтроллеров Delfino

Таблица 1. Основные отличия C2834x Delfino от предыдущего семейства C2833x

Наименование	Частота, МГц	Flash, КБ	ОЗУ, КБ	FPU	12-бит АЦП, каналов	Выход ШИМ (HRPWM)	Кодер QEP	Интерфейсы
C2834x	до 300	—	до 516	есть	—	до 18+1*(9)	до 3	до 2xSPI, 3xSCI, I <sup>2</sup> C, 2xCAN, 2xMcBSP
C2833x	до 150	до 512	до 68	есть	до 16	до 18+1*(6)	2	до 1xSPI, 3xSCI, I <sup>2</sup> C, 2xCAN, 2xMcBSP

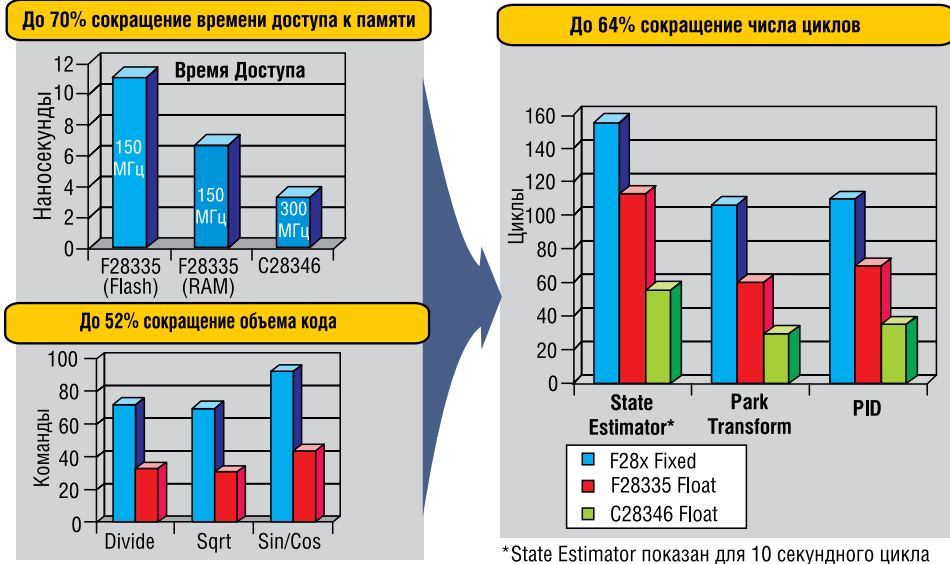


Рис. 2. Сравнение характеристик микроконтроллеров при выполнении простых функций и сложных алгоритмов управления

управления приводами, альтернативные источники питания, системы контроля передачи электроэнергии, автомобильная автоматика.

тех, кто использует C28x в своем приложении и хочет воспользоваться преимуществами семейства Delfino, на сайте компании TI доступны специальные ру-

В отличие от предшественников, микроконтроллеры **TMS320C2834x Delfino** обладают удвоенной производительностью, содержат до 516 КБ ОЗУ и модуль ШИМ с разрешающей способностью 65 пс

Благодаря тому, что новое семейство построено на базе ядра C28x, для отладки приложения можно использовать тот же набор программных и аппаратных средств, что и для предыдущих семейств микроконтроллеров TMS320C28x. Для

ководства по быстрому переходу на новое семейство.

Непосредственно для микроконтроллера TMS320C28343 доступна плата controlCARD в формфакторе DIM100 (рисунок 3), которая совместима с суще-



Рис. 3. Delfino C28343 controlCARD



Рис. 4. C2000 DIM168 Experimenter's Kit

ствующими отладочными наборами такого формата. Кроме того, Delfino C28343 controlCARD (TMDXCNC28343) можно использовать как готовое устройство. На плате установлены два АЦП ADS7865, EEPROM на 64 КБ. Большая часть выводов микроконтроллера (кроме интерфейса внешней памяти и интерфейса АЦП) доступна через разъем платы, что исключает трудности распайки многовыводных корпусов. Все, что требуется для включения этой платы – источник питания на 5 В.

Те, кому необходим доступ к выводам интерфейса внешней памяти и интерфейса АЦП, могут воспользоваться платой C28346 DIM168 controlCARD (TMDXCNC28346-168), но она не совместима с материнскими отладочными платами для предыдущих C2000. Для нее нужно использовать материнскую плату из набора C2000 DIM168 Experimenter's Kit (TMDXDOCK28346-168) (рисунок 4).

В настоящее время для заказа доступны инженерные образцы TMX320C28346ZER в корпусе BGA с 256 выводами и TMX320C28343ZHH в корпусе BGA с 179 выводами. Все микроконтроллеры семейства Delfino работают в температурном диапазоне от -40 до 105°C.

TEXAS INSTRUMENTS

**TMS320C2834x Delfino**

Новое поколение микроконтроллеров с плавающей точкой

Delfino C2834x, Delfino C28343, Delfino C28346

Получение технической информации, заказ образцов, поставка – e-mail: [mcu.vesti@compel.ru](mailto:mcu.vesti@compel.ru)



# Александр Гаврилов “HELLO WORLD”: ОЖИВЛЕНИЕ ПРИЕМОПЕРЕДАТЧИКА CC1100



Микросхема **CC1100** компании **Texas Instruments** из линейки **Chipcon** представляет собой недорогой однокристалльный радиоприемопередатчик, управляемый по интерфейсу SPI. В статье описано, как **быстро запустить приемник и передатчик**, не прибегая к: покупке и изучению макетных плат типа SmartFR04EB (изучению микроконтроллера MSP430), изучению громоздких и избыточных исходных кодов, предоставляемых фирмой TI, утомительному поиску ответов на многие простые вопросы.

Относящаяся к применению документация микросхемы CC1100, находится в достаточно большом количестве файлов (более 15). Это основной Datasheet, Errata Notes, различные Application и Design Notes. Все упоминаемые в статье файлы можно скачать с сайта *www.ti.com*, набрав в поиске их название. Самая важная причина, по которой была написана эта статья – отсутствие в документации понятного и простого алгоритма действий (FlowChart) и конкретных настроек (числовых значений) чипа к этому алгоритму. Ведь чип содержит более 40 различных регистров и много режимов работы, и правильно запрограммировать работу микросхемы достаточно трудно.

В статье приведен псевдокод, написанный на C++ для операционной системы FreeRTOS, который легко можно перенести в любую среду (и без операционной системы в том числе) и на любой микроконтроллер – достаточно лишь знать работу интерфейса SPI у выбранного микроконтроллера.

За основу взят покупной набор приемопередатчиков CC1100EM1.0. Его



Рис. 1. Платы CC1100EM1

схема и описание в файле swrr038.zip (<http://focus.ti.com.cn/cn/lit/ug/swru040c/swru040c.pdf>).

Плата CC1100EM1 (рис. 1) подсоединяется к host-микроконтроллеру следующими сигналами:

- питание +3,3 В;
- сигналы SPI: CSn, SCLK, SI, SO(GDO1);
- сигнал GDO2 – к выводу прерывания микроконтроллера (прерывание должно срабатывать по положительному фронту);
- сигнал GDO0 опционально – для отладки с осциллографом.

Для простоты сигналы GDO2 можно не заводит на микроконтроллер – этот вариант подключения для передатчика и приемника описан ниже.

### Генерирование конфигурации

В ПО SmartFR Studio на вкладке Normal View необходимо автоматически сгенерировать конфигурацию. Вручную (на вкладке Register View) инициализировать регистры бесполезно – эти настройки не экспортируются.

Из меню File запускается генератор исходников, и по шаблону на скриншоте рис. 2 и рис. 3

“CC1100\_Write (CC1100\_@RN@, @<<@0x@vN@); @<<@//0x@AN@ @<<@ = 0x@vN@” все сохраняется в файл.

Сгенерированный файл показывает, в какие регистры какие значения нужно записывать, чтобы инициализировать CC1100 в выбранном частотном диапазоне. Приемник и передатчик инициализируются одинаковыми значениями регистров, поэтому их настройки со-

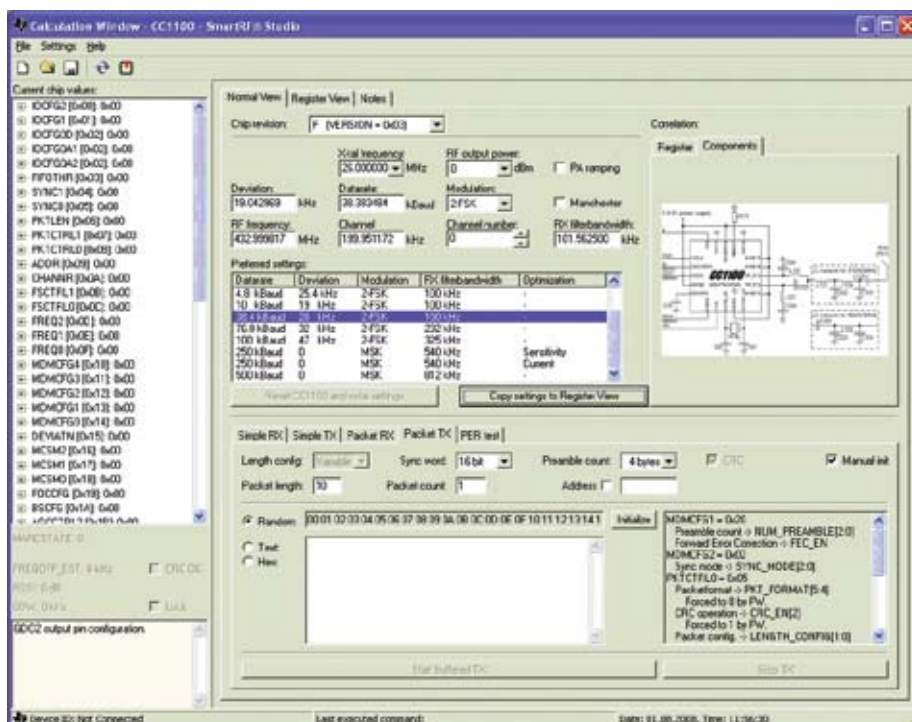


Рис. 2. Генерирование конфигурации – шаг1

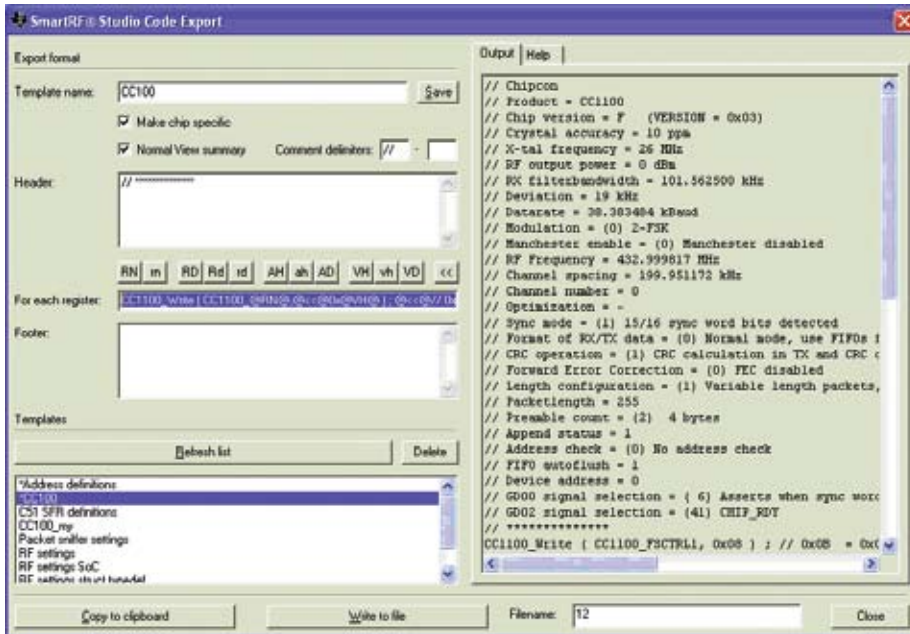


Рис. 3. Генерирование конфигурации – шаг 2

впадают, и это упрощает поставленную задачу. Исключение составляет лишь регистр конфигурации вывода GDO2 – это связано с тем, что событие успешной передачи и приема в принципе трактуется по-разному.

В качестве header-файла взят пример из swra141.zip – файл под названием cc1100.h. Этот файл содержит дефайны регистров, например:

```
#define CC1100_IOCFG2 0x00//
GDO2 output pin configuration
```

и т.п. Дефайны улучшают читаемость кода и являются правилом хорошего тона. Этот файл был немного изменен, чтобы он был платформенно независим. Также в файл были добавлены дефайны некоторых битов, для улучшения читаемости.

В итоге получился некоторый реально работающий псевдокод, который и хочу предложить на обсуждение. Этот псевдокод содержится в:

1. модифицированном header-файле CC1100\_Registers.h (см. выше)
2. исходнике CC1100\_Task\_Fixed.cpp.

Некоторые комментарии приведены в самом исходнике. Некоторые платформенно зависимые функции требуют пояснения:

- функция TRACE служит для вывода отладочной информации в окне отладки;
- CC1100\_Write, CC1100\_Read, CC1100\_Write\_Burst, CC1100\_Read\_Burst. Эти функции записывают и считывают информацию по SPI-интерфейсу;
- vTaskDelay – задержка на заданное количество миллисекунд;
- INIT\_INTERRUPT\_ON\_PIN\_GDO2 – процедура инициализации прерывания

по положительному фронту на выводе GDO2;

- xSemaphoreHandle xSemaphore\_CC1100 – это семафор, который срабатывает, когда на выводе GDO2 возникает положительный перепад;
- xSemaphoreTake (xSemaphore\_CC1100, 15000) – эта функция возвращает «1» при срабатывании семафора, или возвращает «0», когда он не срабатывает и истекает время таймаута в миллисекундах.

Псевдокод написан для одного из самых простых режимов – режима фиксированного пакета. Файл исходника

**Причина, по которой была написана статья – отсутствие в документации на приемопередатчик CC1100 понятного и простого алгоритма действий (FlowChart) и конкретных настроек (числовых значений) чипа к этому алгоритму.**

для приемника и передатчика универсальный – необходимо лишь комментировать строку #define CC110\_USE\_AS\_RX в начале файла.

### Наладка передатчика

С помощью осциллографа на выводе GDO2 каждые 6 сек можно наблюдать отрицательный импульс (ниспадающий фронт – начало передачи пакета, положительный фронт – конец пакета) длительностью примерно 2,5 мс. (38,4 кбод = 208 мкс/байт, 10 байт = 2,1 мс). Расхождение между теоретическим и практическим временем Chipcon объясняет задержкой в чипе (swra121.pdf). Можно контролировать передачу по потребляемому току питания. Для этого TI рекомендует резистор 5 Ом

включить в разрыв питания. На экране отладки передатчика можно наблюдать следующие сообщения:

```
##### CC1100 AS TX
#####
CC1100 PART_Number = 0x0
CC1100 VERSION_Number = 0x3
1 Write at 0xE counter=0x1
CC1100 Tx finish
1 Write at 0xE counter=0x2
CC1100 Tx finish
1 Write at 0xE counter=0x3
CC1100 Tx finish
```

Если для передатчика сигнал GDO2 не заводить в микроконтроллер, то код можно даже не поправлять – все равно все будет работать. Просто в этом случае мы не будем знать об успешной передаче пакета, но он, тем не менее, будет передаваться.

### Наладка приемника

Необходимо включить передатчик, расположив его в 50 см от приемника, и двухлучевым осциллографом контролировать сигналы на выводах GDO2 передатчика и GDO0 приемника. Они должны совпадать с точностью 50 мкс. Осциллограф подсоединяется к выводу GDO2 приемника. С приходом положительного фронта (конец пакета) возникает положительный импульс на GDO2 приемника. Положительный фронт импульса на GDO2 означает, что пакет с правильным CRC записан в FIFO, отрицательный фронт – что считан первый байт из FIFO. Ширина этого импульса зависит от скорости host-микроконтроллера. На экране отладки приемника можно наблюдать следующие сообщения:

```
##### CC1100 AS RX
#####
CC1100 PART_Number = 0x0
CC1100 VERSION_Number = 0x3
RX=12 Counter=0x1: 0xE 0x1
0x33 0x4C 0x8B
FREQEST=-2 FSCTRL0=0x0
RSSI=0x4C (-37 dBm) LQI=0x8B
RX=12 Counter=0x2: 0xE 0x2
0x33 0x4C 0x8C
RSSI=0x4C (-37 dBm) LQI=0x8C
RX=12 Counter=0x3: 0xE 0x3
0x33 0x4B 0x8D
RSSI=0x4B (-38 dBm) LQI=0x8D
RX=12 Counter=0x4: 0xF 0x4
0x33 0x4C 0x8D
RSSI=0x4C (-37 dBm) LQI=0x8D
```

Если для приемника сигнал GDO2 не заводить в микроконтроллер, то код

следует немного переписать — иначе мы не сможем узнать об успешном приеме пакета по прерыванию. Для этой цели следует периодически считывать статус пакета по SPI (если передатчик передает раз в шесть секунд, то считывать следует чаще, например, раз в пять секунд). Статус принятого сообщения можно узнать из регистра CC1100\_PKTSTATUS (бит 8 = CRC будет установлен) или CC1100\_RXBYTES (количество принятых байт в FIFO будет не нулевым). Еще одна тонкость — значение RSSI и LQI придется узнавать не из регистров CC1100\_RSSI и CC1100\_LQI, а из последних двух байт принятого сообщения в FIFO.

При приеме первого пакета происходит калибровка синтезатора приемника по отношению к частоте передатчика; видно, что этого потом не происходит в следующих пакетах.

По сообщениям отладчика передатчика и приемника можно наблюдать соответствие переданного и принятого сообщения.

Можно изменить значение регистра мощности передатчика CC1100\_PATABLE — на стороне приемника это вызовет изменение показаний индикатора мощности сигнала RSSI. Можно разнести передатчик на большее расстояние — RSSI уменьшится (например, с -37 dBm до -68 dBm).

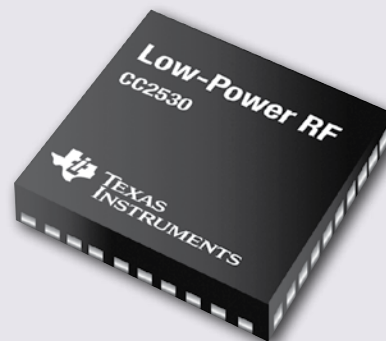
Чтобы приемник не принимал ненужную информацию, пришлось изменить значение некоторых регистров относительно SmartRF Studio:

1. синхрослово CC1100\_SYNC1, CC1100\_SYNC0 со значения по умолчанию;
2. CC1100\_MDMCFG1, количество байт преамбулы = 4 байт;
3. CC1100\_PKTCTRL0, проверка CRC включена;
4. CC1100\_PKTCTRL1, автоматическое стирание пакетов из FIFO, у которых CRC неправильна. Это повлекло за собой соответствующую инициализацию регистра CC1100\_IOCFG2 для приемника. Теперь вывод приемника GDO2 активен, только когда записался пакет с хорошей CRC.

Режим передачи с обработкой адреса тоже работает — необходимо лишь поправить регистр CC1100\_PKTCTRL1. Адрес пишется в самое начало пакета передатчика (кстати, упоминания об этом в документации Chipson найдено не было) и периодически изменяется, чтобы видеть фильтрацию пакетов. **5**

Получение технической информации, заказ образцов, поставка – e-mail: [wireless.vesti@compel.ru](mailto:wireless.vesti@compel.ru)

Texas Instruments выпускает новую систему-на-кристалле CC2530



Texas Instruments планирует к выпуску новую систему-на-кристалле (SoC) **CC2530**, представляющую собой существенно улучшенную версию микросхемы CC2430, которая выпускается уже несколько лет. Новая система-на-кристалле предназначена для приложений IEEE 802.15.4/ZigBee и отличается малой потребляемой мощностью и отличными радиочастотными параметрами. Размер FLASH-памяти нового кристалла увеличен до 256 кБ. Потребление в режиме приема снижено до 22 мА при работе процессора на 32 МГц, ток в режиме Sleep не превышает 0,8 мкА при работающем таймере. Чувствительность приемника составляет -97 дБм; выходная мощность передатчика +4 дБм. Данные параметры позволили на практике получить дальность связи в 400 метров без использования дополнительных усилителей (эксперимент проводился с помощью отладочных наборов CC2530 DK). Большой набор периферийных модулей включает 2 USART, 21 порт ввода-вывода, 12-разрядный АЦП. Микросхема CC2531 дополнительно имеет полноскоростной интерфейс USB 2.0, поддерживает пять конечных точек, размер пакетов до 512 байт и двойной аппаратный буфер FIFO размером 1 кБ. Для работы с новым кристаллом CC2530DK предусмотрены следующие отладочные средства — комплект разработчика CC2530 DK (на базе 2 плат SartRF05 EB и модулей CC2530 EMK), REMO TI DK (для знакомства с протоколом RF4CE), CC2530 ZDK (8 беспроводных узлов). В качестве sniffера пакетов выступает USB-донгл, собранный на базе CC2431.

## CC1101 Универсальный трансивер для диапазонов 433/868 МГц

### Применения

- Системы беспроводной сигнализации
- Промышленный мониторинг и управление
- Сети беспроводных датчиков
- Домашняя и строительная автоматизация

### Отличительные особенности:

- Высокая чувствительность
- Малый потребляемый ток
- Повышенная выходная мощность
- Превосходные характеристики избирательности

Москва  
Тел.: (495) 995-0901  
Факс: (495) 995-0902

Санкт-Петербург  
Тел.: (812) 327-9404  
Факс: (812) 327-9403

**Компэл**  
[www.compel.ru](http://www.compel.ru)

# ВОПРОСЫ ЧИТАТЕЛЕЙ



Сейчас я использую в своем ZigBee-устройстве CC2430. Если я буду переходить на CC2530 — насколько это будет сложно?

Отвечает руководитель бизнес-подразделения беспроводных технологий КОМПЭЛ  
**Олег Пушкарев:**

С точки зрения технических параметров и функциональных возможностей микросхема CC2530 существенно превосходит CC2430, и никаких проблем здесь быть не должно. Однако из-за повышенной выходной мощности (+4,5 дБм) незначительно (с 27 до 34 мА) вырос ток потребления при передаче. С точки зрения конструктивного исполнения эти микросхемы имеют разные корпуса и число выводов, что потребует переработки печатной платы изделия. Имеющиеся образцы дизайна для CC2430 не применимы к CC2530. В связи с изменившейся радиочастотой изменился и набор регистров для управления передатчиком. Антенны для CC2430

не являются напрямую совместимыми с CC2530. CC2530 не содержит специализированного выхода TXRX\_SWITCH для управления внешним PA/LNA, для этих целей могут использоваться линии порта P1. В процессорной части произошли незначительные изменения, связанные с большим объемом памяти, по другому работает Watchdog-таймер в некоторых энергосберегающих режимах. В принципе, незначительно изменена работа многих внутренних блоков микросхемы (Sleep Timer, Timer 1, GPIO, Debug Interface, DMA, USART и др.), но эти изменения направлены на улучшение характеристик и расширение возможностей встроенного процессора.



В последнее время возросли цены на полевые транзисторы JFET (Junction Field Effect Transistor) с очень малыми входными токами. Кроме того, часто возникают проблемы с поставкой такого типа транзисторов. Какие решения позволяют устранить эти проблемы?

Отвечает технический консультант КОМПЭЛ  
**Евгений Звонарев:**

Операционные усилители Texas Instruments с полевыми транзисторами JFET на входе

Наименование	Напряжение питания, В	Полоса пропускания, МГц	Скорость нарастания, В/мкс	Входной шум, нВ/√Гц	Напряжение смещения, макс., мкВ	Ток смещения, макс., пА	Дрейф, макс. мкВ/°С
OPA627	±15	16	40	4,5	100	5	0,8
OPA637	±15	80 (Ку-сил.=10)	100	4,5	100	5	0,8
OPA656	±5	500	290	7,0	250	2	±2
OPA657	±5	1600	700	4,8	250	2	±2
OPA827, OPA2827	±4...±18	18	22	4,5	250	3	±1

Транзисторы JFET используются обычно во входных каскадах усилителей измерительных схем, в которых источник сигнала обычно имеет высокое выходное сопротивление (классический пример — фотодиод). Texas Instruments выпускает семейство операционных усилителей с транзисторами JFET на входе. Это позволяет упростить схему

усилителя и добиться более высоких характеристик точности и быстродействия измерительного прибора. Параметры некоторых ОУ с JFET приведены в таблице. Необходимо обращать внимание на условия измерения параметров (скорость нарастания, входной шум), руководствуясь технической документацией производителя (datasheets).



Среди российских разработчиков электроники сложилось мнение, что компоненты Analog Devices в целом дешевле и доступнее (в части поставки промышленных партий) аналогичных компонентов Texas Instruments. Так ли это на самом деле?

Отвечает руководитель бизнес-направления Texas Instruments компании КОМПЭЛ  
**Мария Рудяк:**

Мнение о большей дешевизне и доступности компонентов Analog Devices во многом связано с более давним присутствием этой компании на российском рынке. Компания Texas Instruments открыла офис в Москве три года назад, и сразу решила предоставить максимальное количество своих ресурсов российским разработчикам: открыла русскоязычный сайт, представительство в Санкт-Петербурге, центр технической поддержки на русском языке и многое другое. При схожих рыночных позициях с AD по цене и доступности, в настоящее время TI снижает цены на большин-

ство своих изделий - на операционные усилители, DC/DC-преобразователи, супервизоры питания, цифровые изоляторы, АЦП/ЦАП, некоторые семейства DSP, RF-компоненты и т.д. По поводу сроков поставки продукции TI сейчас можно с уверенностью говорить, что стандартный срок составляет 4...12 недель. Был период, когда аналоговые компоненты (из линейки Burr Brown) были труднодоступны, и сроки могли доходить до полугода, но сейчас эта проблема полностью решена, и многие компоненты можно получить уже через четыре недели.