

№1 (103), 2012 г.

Информационно-технический
журнал

Учредитель — ООО «КОМПЭЛ»

Издается с 2005 г.

Свидетельство о регистрации:
ПИ № ФС77-43993

Редактор:

Геннадий Каневский
vesti@compel.ru

Выпускающий редактор:
Анна Заславская

Редакционная коллегия:

Андрей Агеноров
Евгений Звонарев
Сергей Кривандин
Александр Маргелов
Николай Паничкин
Борис Рудяк

Дизайн, графика, верстка:

Елена Георгадзе
Екатерина Беляева
Евгений Торочков

Распространение:

Анна Заславская

Электронная подписка:
www.compeljournal.ru

Отпечатано:

«Гран При»
г. Рыбинск

Тираж — 1500 экз.
© «Новости электроники»

Подписано в печать:
22 февраля 2012 г.

СОДЕРЖАНИЕ

БРЕНД НОМЕРА: *TEXAS INSTRUMENTS*

- Приобретение National Semiconductor: инвестиция в будущее
Александр Григорьев 3
- Импульсные преобразователи Simple Switcher® – высокий КПД, низкий шум,
минимум внешних элементов
Александр Калачев 7
- Строим прецизионные аналоговые тракты на компонентах Texas Instruments
(включая NSC)
Андрей Самоделов 12
- Расширение линейки драйверов светодиодов от Texas Instruments:
теперь и LM3444/3445/3448
Роман Криночкин, Сергей Барабан 18
- Интегральные датчики температуры от TI (линейка NSC):
измеряем где и как угодно
Александр Калачев 23
- Сам себе исполнитель и дирижер: двухъядерные микроконтроллеры
семейства Concerto
Андрей Самоделов 27
- 6LoWPAN – взгляд на беспроводные IP-сети от Texas Instruments
Александр Калачев 35



TEXAS INSTRUMENTS



National Products from Texas Instruments

В СЛЕДУЮЩЕМ НОМЕРЕ:

- КОМПЭЛ рекомендует: компоненты для новых разработок

Если вы хотите предложить интересную тему для статьи в следующий номер журнала – пишите на адрес vesti@compel.ru с пометкой «Тема в номер» или в рубрику «Я – автор» раздела «Разработчикам» сайта www.compel.ru.

ОТ РЕДАКТОРА



Уважаемые читатели!

Хотя речь и пойдет об аналоговых компонентах, давайте поговорим о цифрах.

В конце сентября 2011 года крупнейший мировой производитель полупроводников, компания **Texas Instruments (TI)**, объявила о завершении сделки по приобретению крупного разработчика аналоговых компонентов — компании **National Semiconductor (NSC)**. Это стало крупнейшей покупкой в истории TI — 6,5 млрд. долларов.

До момента покупки TI уже являлся крупнейшим производителем аналоговых микросхем в мире — 13,5% мирового рынка. В абсолютных цифрах это примерно 5,8 млрд. долларов.

Согласно данным, которые приводит маркетинговая компания DataBeans, с приобретением National Semiconductor эта доля возрастает до 17%. То есть до 7,2 млрд. Как вы думаете, станет ли лидер рынка, проверяющий каждый свой малый шаг инструментами бизнес-стратегии, платить 6,5 млрд. за приобретение доли рынка в 1,4 млрд.? Видимо, дело не только в увеличении рыночной доли.

Теперь давайте подойдем к вопросу с другой стороны. Пожалуй, главная рыночная ниша электронного рынка, в которой потребность в аналоговых компонентах не только не снижается (несмотря ни на какие застойные и кризисные тенденции), но наоборот, постоянно растет — это производство **импульсных источ-**

ников питания. И именно в этой области National Semiconductor являлась одним из признанных лидеров со своей знаменитой технологией **Simple Switcher**, объединяющей максимум функций низковольтной и высоковольтной частей схемы на одном кристалле и позволяющей обойтись минимальным количеством дополнительных элементов. Производство этих изделий у NSC уже несколько лет как технологически отшлифовано до блеска, существуют отличные референс-дизайны и средства разработки/отладки. Вот вам первое ноу-хау, которое стоит гораздо больше тех денег, которые за него можно заплатить.

Говорить о лавинообразном росте производства **полупроводниковых источников света** уже становится общим местом. Процесс этот только недавно начался, емкость рынка огромна. А кто же, позвольте уточнить, являлся одним из крупнейших в мире разработчиков и производителей драйверов для осветительных светодиодов? — Да все та же уже знакомая нам компания National Semiconductor. Вот еще одно ноу-хау, по поводу которого можно повторить сказанное выше.

Остальные примеры, возможно, не столь ярки — TI получила серьезное дополнение ко многим своим аналоговым линейкам, включая температурные датчики, системы сбора данных, операционные и инструментальные усилители. По многим параметрам существенно расширены

диапазоны величин. Но не стоит забывать еще об одном. Образуясь в 1959 году (через год после создания — кстати, в лаборатории TI — первой микросхемы), National Semiconductor стала одной из первых электронных компаний нового типа, привлекая талантливую творческую молодежь, став одним из первых новоселов Силиконовой долины, числя в своих рядах таких культовых для полупроводниковой сферы инженеров-разработчиков, как Боб Видлар и Боб Пиз. И творческий и производственный потенциал компании до сегодняшних дней оставался настолько высоким, что TI, несомненно, только выиграет от его использования.

Напоследок скажу и о том, что компания КОМПЭЛ в качестве независимого поставщика предлагала со своего склада продукцию National Semiconductor начиная с 2000 года. Сейчас на нашем складе — более 1000 наименований (при общей номенклатуре National Semiconductor в 12000), и наши инженеры умеют работать с этой продукцией. А наш журнал неоднократно публиковал о ней статьи. Так что — смело обращайтесь к нам!

С уважением,
Геннадий Каневский

Александр Григорьев (КОМПЭЛ)

ПРИОБРЕТЕНИЕ NATIONAL SEMICONDUCTOR: ИНВЕСТИЦИЯ В БУДУЩЕЕ



В сентябре 2011 года **Texas Instruments** объявила о завершении процесса приобретения крупной полупроводниковой компании **National Semiconductor**. Обновление линейки аналоговой продукции TI должно особенно заинтересовать разработчиков систем **светодиодного освещения, импульсных источников питания и систем управления питанием, лабораторных систем и систем сбора данных; портативной техники, в которой важен контроль температурного режима, промышленных и потребительских аудиоприложений.**

Одной из важнейших черт развития бизнеса **Texas Instruments (TI)** всегда была покупка других компаний из полупроводниковой и смежных с ней областей. Из самых значимых приобретений можно выделить **Silicon Systems**

в 1996 году, **Unitrode** и **Power Trends** в 1999 году и **Burr-Brown** в 2000 году. За 10 лет нового века были приобретены компании **Graychip** (2001 год), **Chipcon** (2005 год), **PowerPrecision** (2007 год), **Luminary Micro** (2009 год). Довольно неожиданным стало приоб-

речение в 2009 году компании **Ciclon Semiconductor** — производителя МОП-транзисторов; после этого в номенклатуре Texas Instruments вновь появились дискретные полупроводники. Но самым крупным за всю историю компании стало приобретение в апреле 2011 давнего конкурента — компании **National Semiconductor (NSC)**. «Выложив» \$6,5 млрд., TI увеличила свою долю на рынке аналоговых интегральных схем с 14 до 17%. Тем не менее, сразу после объявления о сделке стали «раздаваться» осторожные комментарии, начиная от общих сомнений в целесообразности этого приобретения и заканчивая прямыми опасениями относительно будущего продукции National Semiconductor.

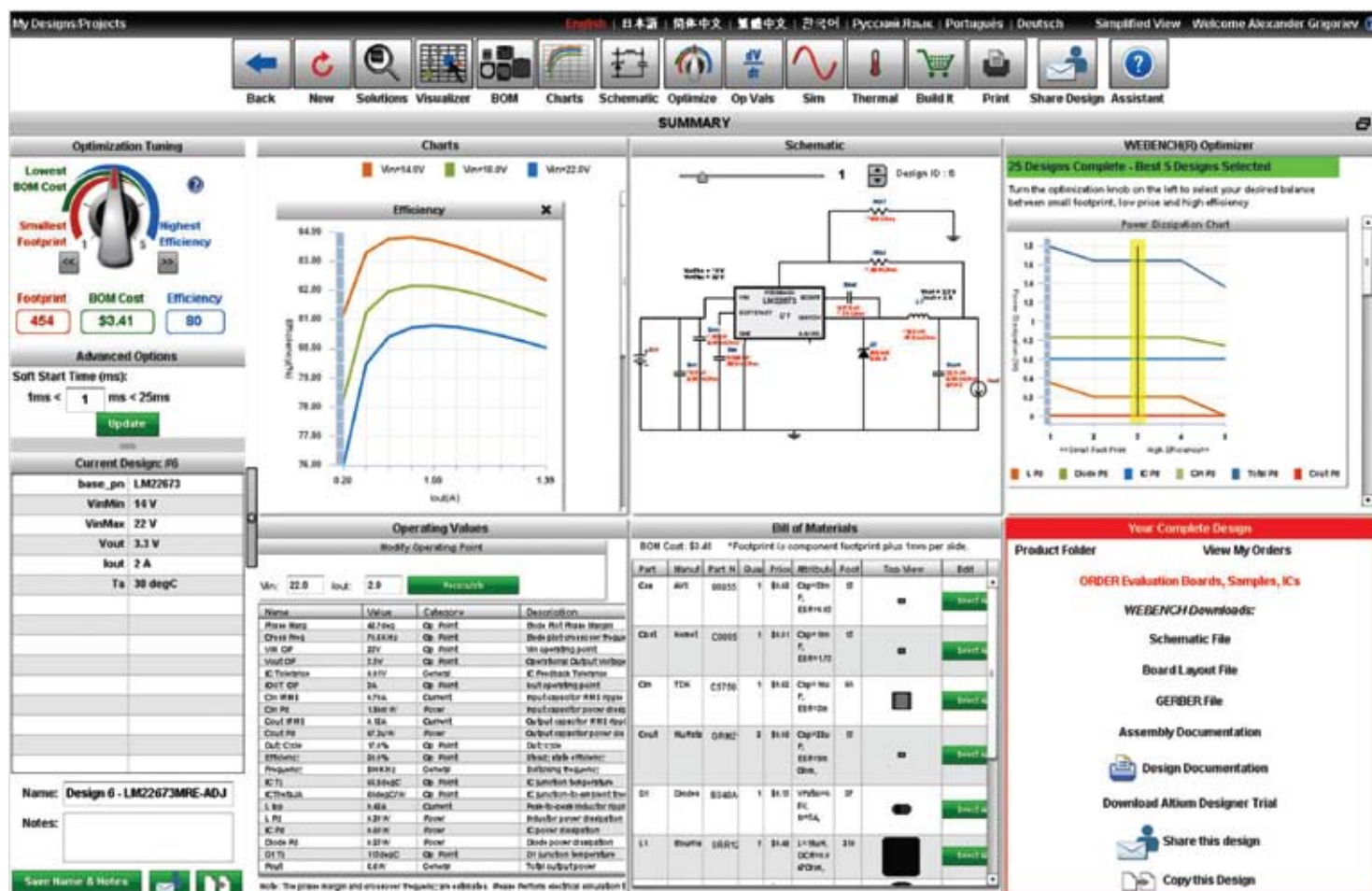


Рис. 1. Online-среда WEBENCH

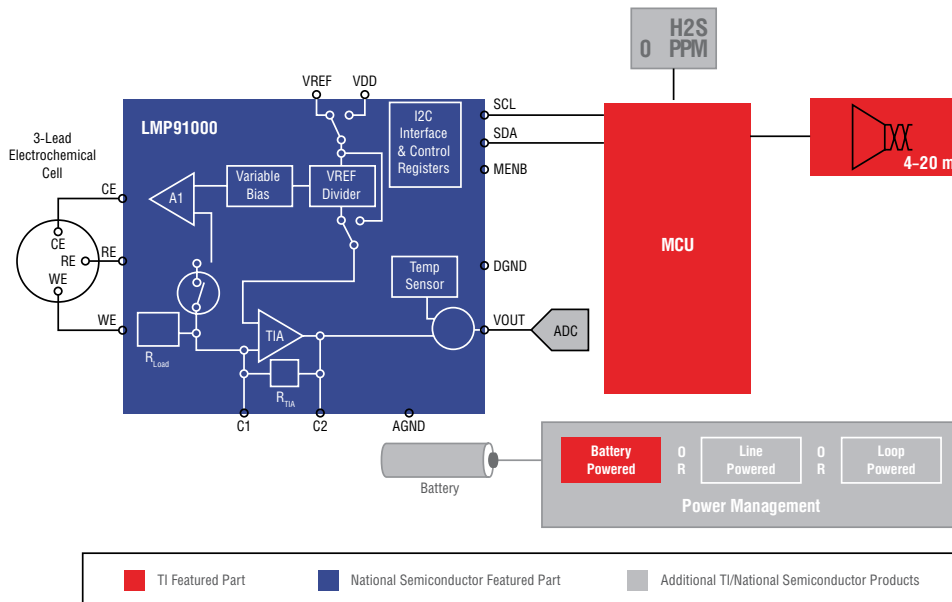


Рис. 2. Решение для химических и газовых датчиков

В этой статье мне хотелось бы внести некоторую ясность и рассказать о той выгоде и тех возможностях, которые приобретут российские разработчики благодаря этому событию. Компания Texas Instruments приобрела не только долю на рынке аналоговых компонентов или двенадцать тысяч наименований продукции (в дополнение к более чем 80 000 существующих), но и уникальную команду, способную разрабатывать и продвигать новые микросхемы. Специалисты National Semiconductor перешли в Texas Instruments и уже стали незаменимой частью штата компании. При этом вся поддержка будет осуществляться через уже знакомые вам каналы TI: локальное представительство, центр поддержки ASK TEXAS, форум Инженерного Сообщества TI E2E и, разумеется, компанию КОМПЭЛ, которая уже сейчас располагает, пожалуй, одним из крупнейших по количеству наименований складом продукции NSC.

Неоднократно приходилось слышать мнение, что продукция Texas Instruments и National Semiconductor, по сути, повторяет друг друга. Тем не менее, после детального изучения становится ясно, что это не совсем так. Портфолио DC/DC-преобразователей дополнилось номенклатурой со входным напряжением до 100 В, появились аналоговые интегральные датчики температуры. И еще одно очень важное приобретение — теперь номенклатура операционных усилителей и компараторов под маркой Texas Instruments включает в себя огромное количество продуктов самого TI, Burr-Brown и National Semiconductor.

Не осталась в стороне популярная сегодня тема управления светодиодным освещением. В линейке NSC особое место занимают DC/DC-драйверы

светодиодов со встроенным MOSFET. Что касается AC/DC-драйверов, то популярная на рынке серия TPS92xxx от Texas Instruments пополнилась изделиями **LM344x**, что позволяет охватить практически все потребности разработчиков. Более подробно о применении понижающих драйверов для осветительных светодиодов NSC в системах освещения вы можете прочитать в статье Романа Криночкина и Сергея Барабана на стр. 18.

Отдельного упоминания заслуживает семейство **Simple Switcher**, позволяющее создавать импульсные источники питания с прекрасными эксплуатационными характеристиками при небольшом количестве внешних дискретных элементов. Это по-настоящему инновационный продукт, удостоенный международных наград. Более подробно с семейством Simple Switcher вы можете ознакомиться в статье Александра Калачева на стр. 7.

Говоря о решениях National Semiconductor в области управления питанием, нельзя не отметить online-среду **WEBENCH** (рис. 1). Она представляет собой набор мощных программных алгоритмов и графических интерфейсов, обеспечивающих невероятную легкость проектирования источников питания и систем светодиодного освещения. Визуальный интерфейс **WEBENCH Visualizer** позволяет очень легко и просто сравнивать различные варианты исполнения готовой системы. Разработчик может менять конечные характеристики устройства, варьируя занимаемую компонентами площадь печатной платы, эффективность или стоимость системы, просто поворачивая виртуальный диск **WEBENCH Optimizer**. Экосистема **WEBENCH Designer** дает широкие возможности выбора и срав-

нения компонентов и решений на их основе. К вашим услугам в том числе и большая база данных, содержащая информацию о более чем 21000 полупроводниковых компонентах. Для начала работы с WEBENCH вам достаточно зайти на главную страницу сайта Texas Instruments www.ti.com и нажать на кнопку «Start Design». Приступив к работе в WEBENCH сегодня, уже завтра вы можете получить готовое решение.

Благодаря присоединению продукции National Semiconductor значительно расширилась и линейка датчиков температуры TI. Теперь есть возможность подобрать датчик практически под любое применение.

Доступны как цифровые, так и аналоговые датчики; работающие на разных физических эффектах; простые и с дополнительным функционалом; термостаты; микросхемы для работы с удаленными датчиками температуры и многое другое. Большой обзор датчиков температуры Texas Instruments вы можете найти в статье Александра Калачева на стр. 23.

Помимо этого, номенклатура Texas Instruments обогатилась новыми операционными и индустриальными усилителями, ЦАП и АЦП, разнообразными интерфейсами. Расширилась линейка генераторов тактовых импульсов для тактирования высокочастотных микросхем, DSP и ПЛИС. А богатейший ассортимент микросхем для аудиоприложений без сомнения известен всем специалистам в данной области.

Но команда Texas Instruments не останавливается на этом. В конце 2011 года свет увидели так называемые **Winning Combos** — примеры совместного использования продуктов TI и National Semiconductor, которые идеально подходят друг к другу. Библиотека подобных решений постоянно пополняется, и сейчас в ней насчитывается уже более 100 интересных вариантов. Есть решения для датчиков углекислого газа на базе комбинации **LMP91050** (специализированный AFE) и **MSP430F2003**. Пример реализации решения для химических и газовых датчиков показан на рис. 2. Или различные варианты для полупроводниковых светильников, реализованных, например, на **UCC28060** (контроллер корректора коэффициента мощности) и **LM3466** (LED-драйвер). Есть и более сложные примеры совместного использования продуктов Texas Instruments и National Semiconductors, например, в телевизионных приставках или приложениях по управлению бесколлекторным двигателем постоянного тока (рис. 3). Некоторые из этих решений предоставлены для заказа на сайте TI www.ti.com/more-ru. Более подробную информацию о возможности совместного использования продук-

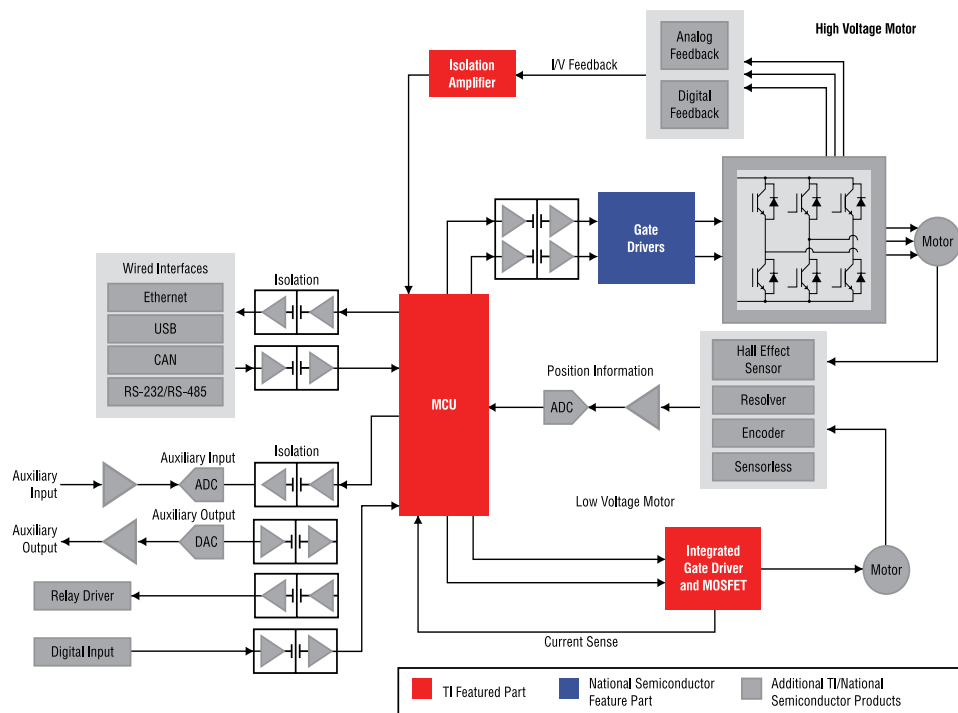


Рис. 3. Гибкое решение по управлению бесколлекторным двигателем постоянного тока

ции TI и National Semiconductor для ваших применений вы можете получить, обратившись в представительство TI в Москве или к сотрудникам компании КОМПЭЛ.

Можно привести еще много примеров, но уже сейчас становится ясно, что Texas Instruments, приобретая National Semiconductor, занимался не устранением конкурента или просто увеличением своей доли рынка, а скорее инвестировал в будущее, расширяя портфолио уникальных, высококачественных продуктов.

Несмотря на то, что National Semiconductors никогда не имел представительства в России и СНГ и российских дистрибьюторов, которые могли бы оказывать техническую поддержку, продукция NSC постепенно завоевала большую популярность. И ряд разработчиков, которые уже привыкли использовать продукцию NSC, стали высказывать беспокойство относительно будущего полюбившихся решений. Сразу хочется перечислить несколько ключевых моментов относительно настоящего и будущего развития продукции National Semiconductor:

1. Вся продукция NSC теперь доступна на сайте Texas Instruments под своими оригинальными именами. При этом сайт www.national.com пока продолжит свое существование.

2. TI не будет снимать с производства какую-либо продукцию NSC, даже в том случае, когда есть известные pin-to-pin аналоги у Texas Instruments.

3. TI не будет переименовывать продукцию. Единственным исключением станут микросхемы с абсолютно одина-

ковыми названиями. В этом случае, продукты NSC получат окончание «-N».

4. Все ключевые продукты NSC продолжат свое развитие.

5. Заказать образцы или отладочные платы National Semiconductor и Texas Instruments возможно через сайты www.ti.com и www.national.com или обратившись в КОМПЭЛ.

6. Техническая поддержка по продукции NSC осуществляется через локальное представительство Texas Instruments, центр поддержки ASK TEXAS, форум Инженерного Сообщества TI E2E и, разумеется, компанию КОМПЭЛ.

Наша компания работает с продукцией National Semiconductor с 2005 года, поддерживает номенклатуру на складе в Москве (более 1000 наименований), осуществляет техническую поддержку, поставку образцов, отладочных плат, а также технической литературы. За этот период выпущено более 30 статей, которые можно прочитать в архиве на сайте журнала «Новости Электроники» www.compeljournal.ru.

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

**БИЗНЕС-ГРУППА КОМПЭЛ
ПО ПРОДУКЦИИ TI**



Александр Григорьев
руководитель направления TI



Сергей Игнатов
технический руководитель
направления TI



Алексей Бойков
инженер по применению TI
(Санкт-Петербург)

**ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВО
TI В РОССИИ**



Анатолий Дудников
руководитель
представительства



Илья Чепурин
руководитель
инженерного отдела



Максим Камышикин
менеджер по работе
с дистрибьюторами



Расширение линейки поставок

TI: Импульсные DC/DC-регуляторы напряжения

TI+NSC: расширен диапазон $U_{вх}$ до 100 В

TI: Интегральные датчики температуры

TI+NSC: добавлены аналоговые датчики

TI: AC/DC- и DC/DC-светодиодные драйверы

TI+NSC: существенно расширена номенклатура драйверов

TI: ОУ общего назначения, прецизионные ОУ

TI+NSC: существенно расширена номенклатура ОУ

TI: АЦП/ЦАП

TI+NSC: добавлены front-ends для датчиков температуры и газа

TI: Интерфейсы

TI+NSC: добавлен Ethernet PHY

А также:

TI+NSC: добавлены компоненты радиочастотного тракта (детекторы мощности, синтезаторы частот и т.п.)

Александр Калачев (г. Барнаул)

ИМПУЛЬСНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ SIMPLE SWITCHER® – ВЫСОКИЙ КПД, НИЗКИЙ ШУМ, МИНИМУМ ВНЕШНИХ ЭЛЕМЕНТОВ



Импульсный источник питания на базе интегрального преобразователя без встроенной индуктивности и силовых ключей. Входные напряжения до 75 В и выходные токи до 12 А. КПД до 95%. И при этом – не более полутора десятков внешних дискретных элементов! Возможно ли это? Да, если это преобразователь из серии Simple Switcher® от Texas Instruments.

Если вспомнить историю, раньше для питания одного лишь процессора требовалось как минимум три различных напряжения питания, разного уровня и полярности; в ряде радиоэлектронных устройств для различных каскадов использовалось напряжение разного уровня; измерительные приборы в большинстве своем использовали двуполярное питание.

Современная электроника все больше практикует модульный подход, когда отдельное устройство состоит из ряда законченных, часто multifunctionальных, модулей или набора микросхем, иногда от различных компаний-производителей. Не всегда при этом удается обойтись одним источником питания – из-за большой разности диапазонов допустимых напряжений либо из-за требований к стабильности или уровню шумов. Многие интегральные схемы преобразователей интерфейсов, микроконтроллеров, ПЛИС также требуют нескольких источников напряжения.

В то же время от разработчика требуется обеспечить эффективную систему питания устройства с требуемым уровнем мощности при сохранении компактности.

Основными тенденциями в развитии микросхем для источников питания, особенно для встраиваемой техники, можно назвать уменьшение занимаемой площади, повышение эффективности преобразования, снижение уровня импульсных помех.

Интегральные DC/DC-преобразователи Simple Switcher

Преобразователи семейства Simple Switcher [1] от Texas Instruments позволяют строить импульсные источники питания, обладающие прекрасными экс-

плуатационными характеристиками при небольшом количестве внешних элементов. В 2011 году серия LMZ Simple Switcher удостоена первого места в списке EDN Hot 100 Award.

В рамках семейства возможен выбор преобразователей для входного напряжения в диапазоне от 3 до 75 вольт, при этом в пределах серии возможен переход на преобразователь с большим или меньшим максимальным входным напряжением (pin-to-pin-совместимость). Для каждого продукта представлены типовые схемы включения, вплоть до типовой конфигурации печатной платы. Он-лайн среда WEBENCH позволяет подобрать необходимую серию, конкретный продукт и оптимизировать параметры компонентов источников питания для ряда типовых областей применения: источники питания для микроконтроллеров, датчиков, ПЛИС.

В семейство Simple Switcher входят три линейки продуктов: интегральные

силовые модули, регуляторы и контроллеры питания (см. таблицу 1). Основные отличия линеек заключаются в степени интеграции, уровнях входных напряжений и выходных токов.

Интегральные преобразователи DC/DC Simple Switcher способны работать с входными напряжениями до 75 В при уровне выходных токов до 12 А (рисунок 1). Обладая высокой степенью интеграции, для своей работы они требуют минимума внешних элементов [1,2].

Для преобразователей со встроенными MOSFET-ключами, называемых регуляторами, это, как правило, входные/выходные конденсаторы, резисторы обратной связи, индуктивность и защитный диод. Серии, не имеющие встроенных силовых ключей, относят к контроллерам питания, и для их работы необходимы еще и внешние силовые MOSFET-ключи. Во многих случаях это никоим образом не является недостатком, так как при незначительном увеличении списка требуемых компонентов и площади печатной платы, занимаемой блоком питания, выходные токи ограничены лишь возможностями ключевых транзисторов.

Карта возможностей серий интегральных преобразователей представлена на рисунке 1.

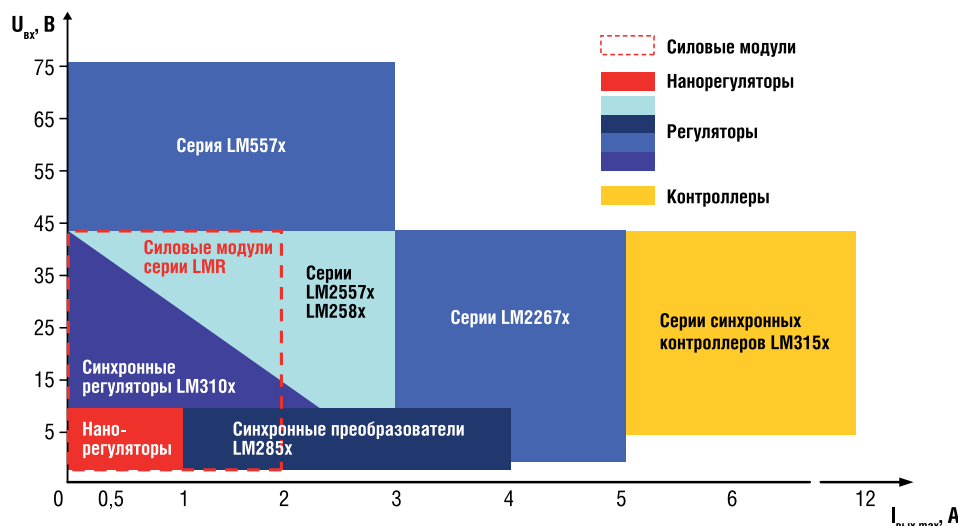


Рис. 1. Спектр интегральных DC/DC-преобразователей семейства Simple Switcher

Таблица 1. Семейство интегральных стабилизаторов постоянного тока Simple Switcher

Параметр	Серия							
	LMZ Nano Modules	LMZ Power Modules	LMR Nano Regulators	LM310x	LM2267x/ LM22680	LM285x	LM2557x LM557x	LM315x
Тип	Силовой модуль			Регулятор				Контроллер
Топология	Понижающий		Понижающий, повышающий	Понижающий				
Интегрированные силовые ключи	+	+	+	+	+	+	+	—
Встроенная индуктивность	+	+	—	—	—	—	—	—
Минимальное выходное регулируемое напряжение, В	0,6	0,8	0,6	0,6/0,8	1,285	0,8	1,225	0,6
Частота переключения, КГц	2000	≤1000	3000	≤1000	—	≤1500	≤1000/≤500	≤1000
Синхронные преобразователи	+	+	+	+	—	+	—	+
Вход разрешения работы	+	+	+	+	+	+	+	+
«Мягкий» запуск	+	+	+	+	+	—	+	+
Возможность синхронизации частоты	—	+	—	—	+	—	+	—
Тип корпуса	LLP-MOD8	TO-PMOD-7 TO-PMOD-11	micro SMD, LLP-6, SOT-23	eTSSOP-20	PSOP-8 TO263-7 THIN	eTSSOP-14 eTSSOP-16	eTSSOP-16 eTSSOP-20	eTSSOP-14

Регуляторы и контроллеры Simple Switcher

Серии регуляторов отличает их возможность работать с высокими входными напряжениями: серии **LM2557x**, **LM2267x**, **LM310x** — до 42 В, а серии **LM557x** — до 75 В [3].

Серии LM2267x, **LM22680** [4] выполняются в корпусах TO-263 и PSOP-8, монтируемый на плату теплоотвод обеспечивает дополнительное рассеивание тепла, а следовательно, обеспечивается некоторый запас мощности при работе с предельными токами или в условиях температур, близких к предельным. Регулируемая частота внутреннего генератора в пределах от 200 до 1000 кГц позволяет находить оптимальное сочетание эффективности работы регулятора и габаритных разме-

ров схемы преобразователя (работа на высоких частотах позволяет использовать меньшие индуктивности), а также гарантировать низкий уровень электромагнитных шумов. В сериях доступны микросхемы регуляторов с максимальными выходными токами от 0,5 до 5 А, как с фиксированным, так и с регулируемым выходным напряжением. Нижний порог регулируемого напряжения составляет 1,285 В, верхний 37 В при возможных входных напряжениях от 4,5 до 42 В.

Высоковольтные серии LM2557x, LM557x [5] способны работать с токами нагрузки от 0,5 до 3 В, диапазон регулируемого выходного напряжения от 1,23 до 70 В. Данные серии идеальны для применения в условиях высоковольтных импульсных помех по основному

питанию, устойчивы к его долговременным перепадам.

В группу синхронных регуляторов входят высокоэффективные преобразователи серий LM310x и **LM285x** [6,7]. Серия LM310x работает с входными напряжениями от 4,5 до 42 В с токами нагрузки до 2,5 А. ШИМ-управление по методу фиксированного времени включения (Constant On-Time) обеспечивает микросхемам данной серии малые переходные искажения.

Серии LM258x [8] работают с низкими входными напряжениями — всего до 5,5 В, но могут обеспечить токи нагрузки до 4 А при регулируемом выходном напряжении от 0,6 до 3,3 В. Работа на фиксированных частотах (500, 550, 1000 кГц) позволяет эффективно фильтровать помехи переключения и безболезненно заменять линейные стабилизаторы в широком спектре приложений. Исполнение в корпусах типа eTSSOP-14/16 обеспечивает эффективное отведение излишнего тепла.

Новые серии миниатюрных преобразователей, называемых нанорегуляторами (*Nano Regulators*), сочетают легкость применения (небольшое количество дополнительных внешних элементов) и высокую производительность (высокий КПД, большие токи нагрузки) [9]. Данные серии отличает компактное, но вместе с тем эффективное корпусное исполнение — micro SMD, LLP-6 или SOT-23. Импульсные преобразователи серий нанорегуляторов работают на частотах в районе единиц мегагерц, что позволяет применять внешние элементы (индуктивность и

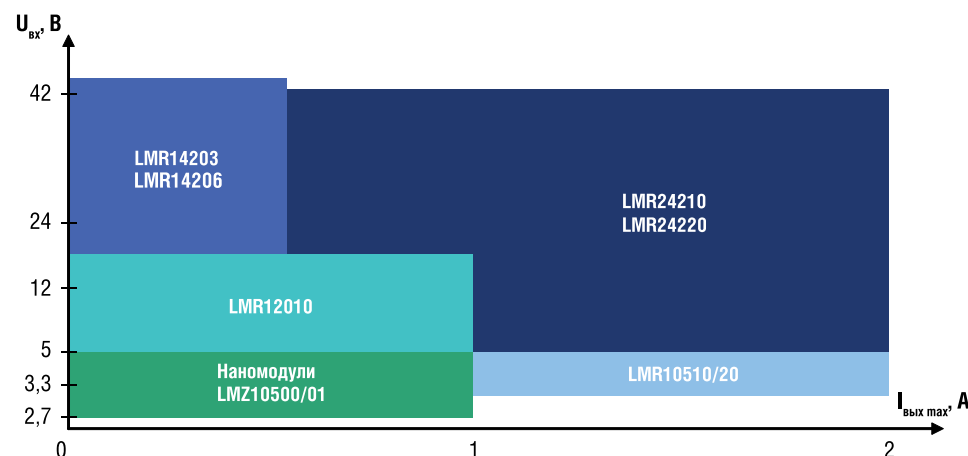


Рис. 2. Возможности компактных интегральных понижающих преобразователей Simple Switcher Nano Regulators

фильтрующие конденсаторы) поверхностного монтажа.

На данный момент среди семейства Simple Switcher только в сериях нанорегуляторов присутствуют повышающие преобразователи.

Компактность размеров не сказывается на функциональных возможностях преобразователей — нанорегуляторы поддерживают широкий диапазон входных напряжений и регулируемых выходных напряжений как для понижающих, так и для повышающих преобразователей, при выходных токах до 2 А (рисунки 2, 3).

Регулируемое выходное напряжение для понижающих преобразователей лежит в пределах от 0,6 до 34 В, для повышающих — от 3 до 40 В.

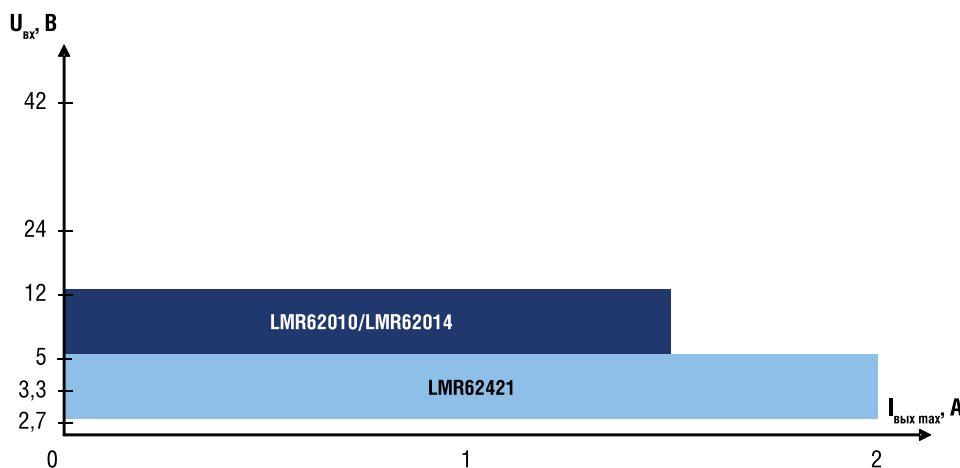
- а) максимальные выходные токи;
- б) выходные напряжения;

Одно из возможных применений нанорегуляторов — малогабаритные источники питания с несколькими выходными напряжениями. Компактный корпус и высокие рабочие частоты позволяют минимизировать занимаемую площадь на печатной плате, а возможность синхронизации рабочих частот преобразователей позволяет более эффективно бороться с импульсными помехами. На рисунке 4 представлена структурная схема и внешний вид демонстрационной платы — на площади менее трех квадратных сантиметров разместились три источника питания мощностью порядка 5 ватт с выходными напряжениями 1,2; 1,8 и 3,3 В — например, для питания процессорного ядра, аналого-цифрового преобразователя и портов ввода-вывода контроллера.

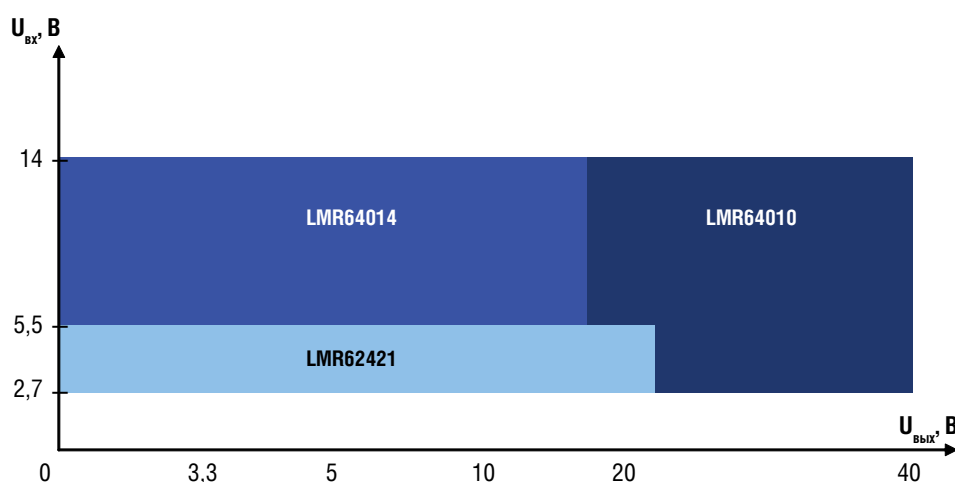
Для приложений, требующих высоких значений токов, TI предлагает в рамках семейства Simple Switcher серию контроллеров **LM315x**, позволяющих управлять внешними силовыми ключами. Несмотря на это, число требуемых внешних компонентов для построения источника питания на LM315x относительно не велико — всего 11. Режим работы с фиксированным временем включения упрощает схемотехнику преобразователя конечного устройства. Возможность синхронизации частоты позволяет достигать КПД преобразования в 93%, работая на частотах вплоть до 1 МГц, при токах нагрузки до 12 А с поддержкой широкого диапазона входного напряжения — от 6 до 42 В.

Интегральные силовые модули Simple Switcher

Новинкой семейства Simple Switcher является линейка интегральных силовых модулей LMZ с максимальными выходными токами до 10 А, синхронизацией частоты и возможностью параллельного подключения нескольких модулей для увеличения выходного тока [10].



а) максимальные выходные токи



б) выходные напряжения;

Рис. 3. Возможности компактных интегральных повышающих преобразователей Simple Switcher Nano Regulators

В линейку интегральных модулей входит три серии (рисунок 5):

- **LMZ1** — для приложений с типовым набором требований и опций;
- **LMZ2** — поддерживают выходные токи до 10 А с рядом дополнительных функций для работы в качестве промежуточных источников питания в приложениях, требующих большой мощности, в качестве источников питания для ПЛИС и систем, чувствительных к уровню шумов;
- **Наномодули** — представляют собой миниатюрные модули размерами всего 2,5х3х1,2 мм с выходными токами до 1 А.

Серии рассчитаны на три диапазона входных напряжений — низкое напряжение 5...6 В, среднее 5...20 В, и высокое до 42 В.

Все серии силовых модулей содержат встроенную индуктивность, вход разрешения работы, низкий уровень шума, отвечают классу В стандарта по уровню электромагнитных помех.

Серия LMZ1 предназначена для широкого спектра приложений, обеспечивает выходные напряжения до 24 вольт

при низком уровне шума. В серии представлены как микросхемы с фиксированным выходным напряжением, так и с регулируемым. Ряд микросхем, способных работать в расширенном температурном диапазоне от -55 до 125°C , маркируется аббревиатурой EXT (при этом остальные микросхемы сохраняют работоспособность в немногим более узком диапазоне — от -40 до 125°C). Серии EXT также отвечают требованиям стандарта MIL-STD-883 не только по температуре, но и по уровню устойчивости к ударам и вибрации. Кроме этого, есть микросхемы с рабочим входным напряжением до 42 В — маркируются дополнительно литерой Н.

Физически микросхемы LMZ1 выполнены в корпусах TO-PMOD-7 или TO-PMOD-11. Контактная площадка на нижней стороне корпуса соединена с общим проводом, что упрощает дизайн печатной платы и позволяет использовать покрытие платы в качестве дополнительного теплоотвода. Максимальные выходные токи до 10 А, для однотипных корпусов сохраняется совместимость.

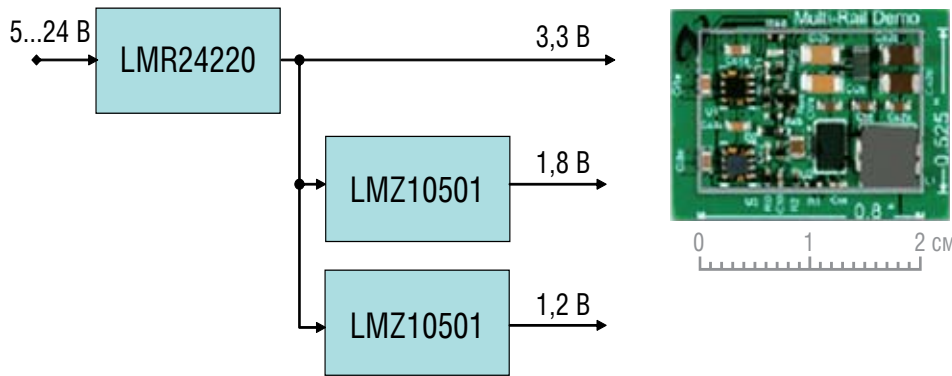


Рис. 4. Структурная схема и внешний вид демонстрационной платы многодиапазонного блока питания. (Выходная мощность 5 Вт, размеры 20 x 14 мм)

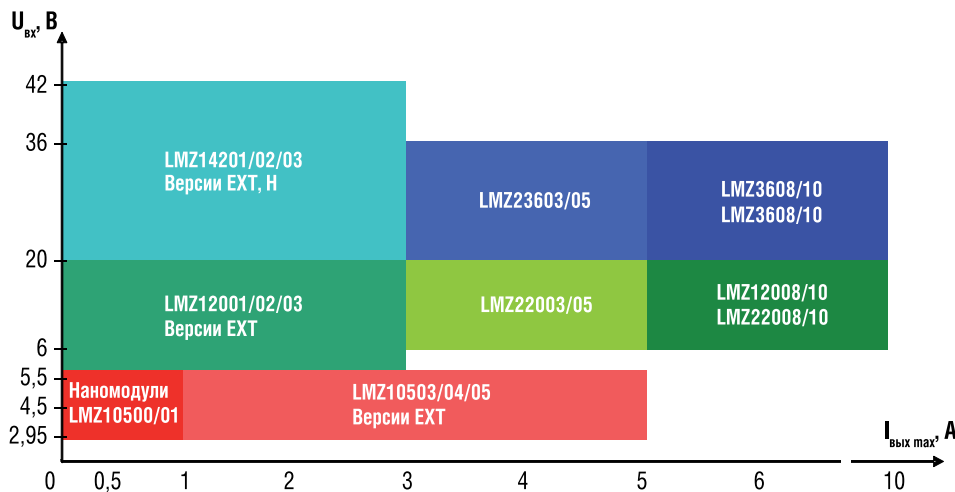


Рис. 5. Спектр интегральных силовых модулей семейства Simple Switcher

Новая серия LMZ2 предназначена для работы в приложениях, оперирующих с высокими мощностями и требованиями к низкому уровню шума. В качестве дополнительных возможностей имеют вывод синхронизации частоты внутреннего генератора с внешним источником. Синхронизация частоты позволяет управлять модулем для достижения большей эффективности преобразования и уменьшения шумов переключения в системах и приложениях, критичных к уровню шума. Для облегчения фильтрации шума переключения на данный вывод можно подавать сигнал фиксированной частоты. Также можно синхронизировать частоты переключения нескольких совместно работающих модулей.

Второй интересной особенностью является вывод распределения тока (*current sharing pin*), который позволяет объединять несколько микросхем LMZ2 для получения более высокого выходного тока (вплоть до токов порядка 60 А). Возможность распределения тока может быть использована при построении мощных промежуточных преобразователей или для источников питания FPGA.

LMZ2 работают с уровнями входных напряжений до 36 В, обеспечивая

регулируемое выходное напряжение от 0,8 до 6 В.

Еще одной новинкой линейки интегральных силовых модулей является серия т.н. наномодулей (**LMZ10500/01**) [9], которые, несмотря на малые размеры (пожалуй, на текущий момент — рекорд по отношению размер/ток), обеспечивают стабильное выходное напряжение при токах до 1 А. Типовая схема включения содержит только входные/выходные конденсаторы и резисторы обратной связи, и все это умещается на площади не более 35 мм². КПД преобразования, тем не менее, составляет в максимуме до 95% при уровне выходных пульсаций в пределах 10 мВ. Это позволяет во многих случаях заменить линейные преобразователи. Работа наномодулей на фиксированной частоте (2 МГц) позволяет эффективно бороться с шумами переключения, например, при помощи специализированных фильтров. Миниатюрный корпус LLP-MOD8 позволяет размещать фильтрующие конденсаторы в непосредственной близости от модуля, сокращая тем самым путь импульсных помех, что в ряде случаев позволяет обойтись без дополнительной фильтрации помех.

Из-за своих малых размеров и высокого КПД наномодули интересны для встраиваемых систем с автономным питанием, таких как узлы беспроводных сенсорных сетей, телефоны, коммуникаторы, медиаплееры.

Техническая поддержка

Доступная техническая информация и онлайн-инструментарий WEBENCH позволяют достаточно быстро освоить импульсные преобразователи Simple Switcher.

Руководство SIMPLE SWITCHER Design Guide [11] содержит типовые схемы включения и топологии печатных плат наиболее популярных интегральных преобразователей Simple Switcher, включая силовые модули, регуляторы и контроллеры. SIMPLE SWITCHER Design Guide позволяет оценить возможности представленных продуктов. Для каждого из них дана электрическая принципиальная схема включения, список требуемых компонентов и рекомендации по их выбору, назначение цепей. Указаны рекомендуемые типы компонентов и их номиналы для различных условий работы (входное/выходное напряжение, рабочий выходной ток).

Кратко описаны особенности работы схем источников питания. Для представленных схем приведены топологии печатных плат с рекомендациями по использованию и самостоятельной разработке. Помимо этого приводятся ссылки на более подробную техническую документацию, включая техническое описание рассматриваемого интегрального преобразователя, описание его оценочной платы, материалы по расчету тепловых режимов преобразователя в зависимости от конфигурации печатной платы.

Предлагаемые оценочные платы с интегральными преобразователями Simple Switcher оптимизированы для демонстрации высокой эффективности, выходной мощности, устойчивости к скачкам входного напряжения, а также низкого уровня электромагнитных помех и пульсаций выходного напряжения. Таким образом, есть возможность проверить на практике возможные режимы работы схем, вплоть до того, что конфигурация и расположение выводов оценочных плат позволяют легко интегрировать их в пользовательское оборудование или соединять их с другими оценочными/отладочными платами (рисунок 6).

Так, оценочная плата **LMZ22010 10A EVAL** позволяет достаточно просто опробовать режим работы Current Sharing, позволяющий при помощи нескольких преобразователей получить максимальный ток в нагрузке более 10 А — для этого платы достаточно соединить между собой.

Инструментарий WEBENCH

Процесс разработки источников питания на базе интегральных преобразователей Simple Switcher имеет мощную поддержку в виде онлайн-инструментария WEBENCH®, позволяющего производить подбор внешних электронных компонентов схемы источника питания, включая выбор индуктивностей и силовых MOSFET-ключей для регуляторов и контроллеров. Для рекомендованных схем включения интегральных преобразователей и типовых конфигураций печатных плат WEBENCH® позволяет проводить симуляцию работы схемы — напряжения и токи в ключевых точках, тепловой режим работы платы, расчеты предельных параметров и эффективности преобразования.

WEBENCH® позволяет предварительно оценить работу той или иной схемы, предоставить список и примерную стоимость необходимых внешних компонентов. Кроме этого, для каждого из поддерживаемых преобразователей есть возможность найти ссылку на соответствующую ему оценочную плату, вплоть до образов печатных плат в формате Gerber.

Для расчетов источников питания в WEBENCH предусмотрены два основных инструмента WEBENCH Power Architect и FPGA Power Architect.

WEBENCH Power Architect позволяет анализировать источники питания с одним или несколькими выходными напряжениями. Одной из интересных возможностей является оптимизация источника по нескольким параметрам, включая топологию платы, размеров, эффективности, числа элементов, стоимости, реакции на перепады напряжения.

Для разработки источников питания устройств, содержащих микроконтроллеры или FPGA в WEBENCH предлагается новый инструмент FPGA Power Architect. Буквально в несколько действий, потратив всего пару минут, можно получить требуемую систему питания с заданными токами нагрузки, уровнями выходных пульсаций и фильтров питания. Конфигурации питающих напряжений, требования по потребляемой мощности и допустимого уровня шума для большинства популярных серий FPGA и ряда серий микроконтроллеров различных фирм уже присутствуют в WEBENCH FPGA Power Architect. В частности, поддерживаются FPGA компаний **Actel**, **Altera**, **Lattice**, **Xilinx**, а также контроллеры компаний **Atmel**, **Freescale**, **Texas Instruments**.

Заключение

Семейство Simple Switcher охватывает широкий спектр приложений — от устройств с батарейным питанием до

мощных источников питания с токами до нескольких десятков ампер при низком уровне электромагнитных помех и пульсаций выходного напряжения. Благодаря высокой степени интеграции микросхем, даже для контроллеров (интегральных преобразователей без встроенной индуктивности и силовых ключей) в схеме источника питания необходимо не более полутора десятков дискретных элементов.

Литература

1. SIMPLE SWITCHER DC-DC Converters National Semiconductor Power Modules, Voltage Regulators and MOSFET Controllers//http://www.ti.com/ww/en/simple_switcher_dc_dc_converters/index.html

2. SIMPLE SWITCHER Family Brochure//http://www.national.com/assets/en/appnotes/national_simple_switcher_solutions_brochure.pdf

3. Regulators SIMPLE SWITCHER DC-DC Converters National Semiconductor Voltage Regulators//http://www.ti.com/ww/en/simple_switcher_dc_dc_converters/regulators.html

4. Regulators LM2267x-80 SIMPLE SWITCHER DC-DC Converters National Semiconductor Voltage Regulators//http://www.ti.com/ww/en/simple_switcher_dc_dc_converters/regulators_lm2267x_80.html

5. SIMPLE SWITCHER Family Brochure//http://www.national.com/assets/en/appnotes/national_simple_switcher_solutions_brochure.pdf

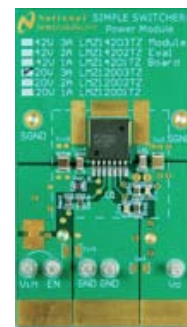
6. Regulators SIMPLE SWITCHER DC-DC Converters National Semiconductor Voltage Regulators//http://www.ti.com/ww/en/simple_switcher_dc_dc_converters/regulators.html

7. Regulators LM2267x-80 SIMPLE SWITCHER DC-DC Converters National Semiconductor Voltage Regulators//http://www.ti.com/ww/en/simple_switcher_dc_dc_converters/regulators_lm2267x_80.html

8. Regulators LM2557x SIMPLE SWITCHER DC-DC Converters National Semiconductor Voltage Regulators//http://www.ti.com/ww/en/simple_switcher_dc_dc_converters/regulators_lm2557x.html

9. Regulators LM310x SIMPLE SWITCHER DC-DC Converters National Semiconductor Voltage Regulators//http://www.ti.com/ww/en/simple_switcher_dc_dc_converters/regulators_lm310x.html

10. Regulators LM285x SIMPLE SWITCHER DC-DC Converters National Semiconductor Voltage Regulators//http://www.ti.com/ww/en/simple_switcher_dc_dc_converters/regulators_lm285x.html



а)



б)

Рис. 6. Оценочные платы преобразователей Simple Switcher. а) оценочные платы интегральных преобразователей Simple Switcher; б) объединение плат LM222010 10A EVAL в стек

11. Regulators LM258x SIMPLE SWITCHER DC-DC Converters National Semiconductor Voltage Regulators//http://www.ti.com/ww/en/simple_switcher_dc_dc_converters/regulators_lm258x.html

12. SIMPLE SWITCHER Nano Modules and Nano Regulators National Semiconductor//http://www.ti.com/ww/en/simple_switcher_dc_dc_converters/nano_modules_regulators.html

13. Power Modules SIMPLE SWITCHER DC-DC Converters National Semiconductor LMZ Series DC-DC Converter Power Modules//http://www.ti.com/ww/en/simple_switcher_dc_dc_converters/power_module.html

14. SIMPLE SWITCHER Design Guide//http://www.national.com/assets/en/appnotes/national_simple_switcher_design_guide.pdf

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

Андрей Самоделов (г. Москва)

СТРОИМ ПРЕЦИЗИОННЫЕ АНАЛОГОВЫЕ ТРАКТЫ НА КОМПОНЕНТАХ TEXAS INSTRUMENTS (ВКЛЮЧАЯ NSC)



После приобретения **National Semiconductor** компания **Texas Instruments** окончательно закрепила за собой статус крупнейшего мирового поставщика **аналоговых компонентов**. В номенклатуре появились новые **операционные и инструментальные усилители, ЦАП и АЦП, однокристалльные системы сбора данных** для лабораторных, измерительных и портативных приборов, промышленных источников питания, датчиков и детекторов, автомобильной и медицинской электроники.

Эра аналоговой электроники началась в 1906 году, когда американцем Ли де Форестом была изобретена и запатентована трехэлектродная лампа — триод, позволявший усиливать слабые электрические колебания.

Следующим этапом развития аналоговой электроники стала разработка лампового операционного усилителя (ОУ) K2W Л. Джулии (США) в 1942 году. Он включал в себя два двойных электровакуумных триода. Первые ОУ представляли собой громоздкие и дорогие устройства, потреблявшие большое количество электроэнергии и сильно нагревавшиеся.

Замена ламп транзисторами в 1959 году привела к тому, что операционные усилители стали меньше, дешевле, надежнее и экономичнее, и сфера их применения расширилась. Р. Малтер (США) разработал ОУ P2, содержащий семь германиевых транзисторов и варикапный мостик. Несмотря на значительное улучшение характеристик и снижение потребляемой мощности, ОУ все еще оставались достаточно дорогими устройствами, поскольку требовали подбора активных элементов и дополнительной ручной настройки.

Ситуация коренным образом изменилась, когда в 1958 г. в лаборатории фирмы Texas Instruments (США) были изобретены интегральные микросхемы.

В 1963 году Р. Видларом (США) был разработан первый интегральный ОУ $\mu A702$, имевший успех на рынке. С тех пор операционные усилители являются неотъемлемыми компонентами большинства аналоговых схем.

В номенклатуре практически всех компаний, занимающихся производством интегральных микросхем, присут-

ствуют ОУ. Это обусловлено их универсальностью и широким применением. На рынке операционных усилителей всегда была жесточайшая конкуренция, способствовавшая улучшению электрических и эксплуатационных характеристик микросхем, уменьшению энергопотребления и снижению стоимости.

В данной статье будет рассказано о современных аналоговых микросхемах компании Texas Instruments, а также о компонентах, производимых недавно приобретенной TI компанией National Semiconductors.

Операционные усилители (ОУ)

OPA140/OPA2140/OPA4140 — это прецизионные RRO маломощные (5,1 нВ/√Гц при 1 кГц; 1/f шум: 250 нВ в полосе 0,1...10 Гц) JFET ОУ со скоростью нарастания выходного напряжения 20 В/мкс и полосой пропускания 11 МГц. Усилители имеют очень малое напряжение смещения 120 мкВ с дрейфом 1 мкВ/°С, входной ток 10 пА. Диапазон напряжения питания составляет 4,5...36 или ±2,25...18 В при потребляемом токе до 2 мА/канал, что на 13% ниже по сравнению с ближайшими конкурентами (рис. 1).

ОУ имеют высокую точность и стабильность параметров в широком температурном диапазоне, обеспечивая высокую чувствительность и разрешающую способность. Широкая полоса пропускания и высокая скорость нарастания выходного сигнала позволяют использовать их в качестве драйверов 16-разрядных АЦП.

OPAx140 идеальны для усиления сигналов от высокоимпедансных источников (например, датчиков и фотодиодов), применяются в активных фильтрах и медицинской технике.

OPA170/OPA2170/OPA4170 —

это самые маленькие (одноканальные — в корпусе SOT-553; двухканальные — в VSSOP-8) экономичные (Iпот = 110 мкА/канал) RRO ОУ общего применения с полосой пропускания 1,2 МГц и напряжением питания 2,7...36 или ±1,35...18 В. Они имеют малый дрейф напряжения смещения 0,3 мкВ/°С, малый ток смещения 8 пА, низкий уровень шума 19 нВ/√Гц при 1 кГц и защиту входа от электромагнитных помех (EMI/RFI), наводимых беспроводными сетями.

Маленький корпус экономит до 50% места на плате по сравнению с SOT-23 и MSOP. Усилители обеспечивают точность и стабильность параметров в промышленном температурном диапазоне. Их шумовые характеристики на 48% лучше по сравнению с конкурентами. Применяются в следящих усилителях промышленных источников питания, трансимпедансных усилителях, интеграторах и батарейных приборах.

OPA188/OPA2188/OPA4188 —

это прецизионные RRO ОУ, выполненные по технологии Zero-Drift. Они имеют низкое напряжение смещения 25 мкВ и дрейф 0,085 мкВ/°С, малый ток смещения 850 пА, низкий уровень шума 8,8 нВ/√Гц и полосу пропускания 2 МГц. Напряжение питания ОУ 4,0...36 или ±2...18 В, ток покоя составляет 475 мкА. Пригодны для батарейных приборов с напряжением питания 5 В. OPAx188 имеют защиту входа от электромагнитных помех (EMI).

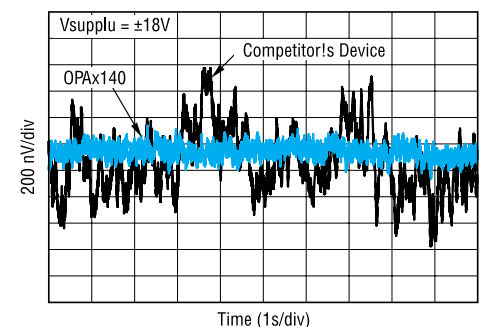


Рис. 1. Шумовые характеристики OPAx140 в полосе частот 0,1...10 Гц

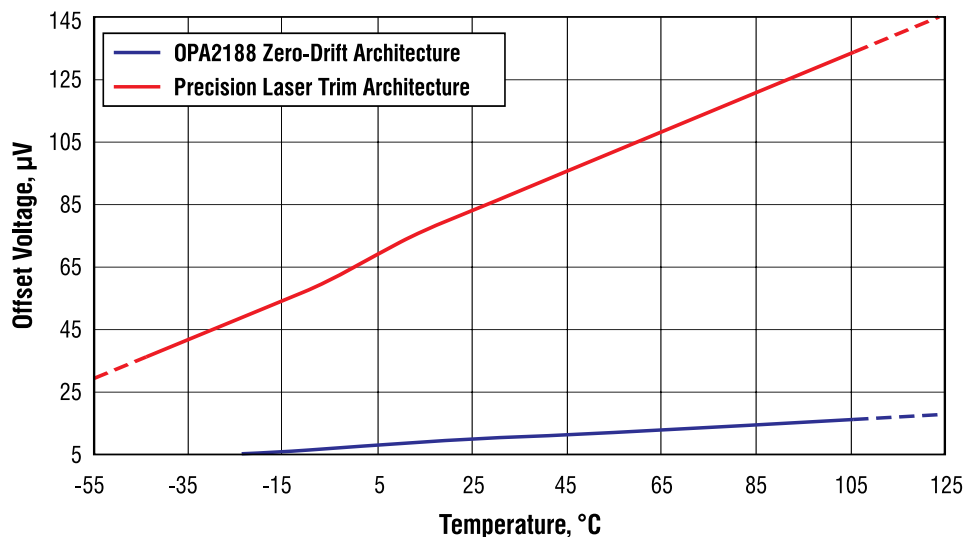


Рис. 2. Зависимость напряжения шума от температуры для обычного прецизионного ОУ (красная кривая) и OPA188 (синяя кривая)

ОРАх188 обеспечивают: лучшую точность и стабильность, чем ОРА277; на 75% меньший дрейф, чем ближайшие конкуренты; большую чувствительность и высокое разрешение в широком диапазоне частот; минимальный уровень ошибок из-за шумовых токов.

Зависимости напряжения шума от температуры для обычного прецизионного ОУ и ОРАх188 показаны на рис. 2

ОРАх188 применяются в электронных весах, мостовых датчиках, контрольно-измерительных и медицинских приборах, трансимпедансных усилителях.

Типы корпусов:

- ОРА188 – SO-8, MSOP-8, SOT-23;

ОРА314/ОРА2314/ОРА4314 – это RRIO CMOS ОУ общего применения. Они имеют малый ток смещения 0,2 пА, наилучшее соотношение потребляемой мощности и производительности, малое напряжение смещения 2,5 мВ, низкий уровень шума 14 нВ/ $\sqrt{\text{Гц}}$ при 1 кГц и полосу пропускания 3 МГц. ОУ имеют напряжение питания 1,8...5,5 В и ток покоя 190 мкА/канал. Входы ОУ защищены от электромагнитных помех (EMI/RFI).

ОРАх314 идеальны для усиления слабых сигналов с высоким соотношением «сигнал/шум». RRIO позволяет максимально использовать входной и выходной диапазон сигналов при однополярном питании. Широкая полоса

пропускания позволяет подключать ОУ к высокоимпедансным источникам сигнала.

ОРАх314 применяются в преусилителях датчиков и фотодиодов, заземленных датчиках тока, детекторах СО/дыма, портативных медицинских и измерительных приборах. Пример реализации двухполюсного ФНЧ на ОРАх314 приведен на рис. 3.

Типы корпусов:

- ОРА314 – SC70-5, SOT23-5;
- ОРА2314 – MSOP-8, SO-8, DFN-8;
- ОРА4314 – TSSOP-14;

ОРА320/ОРА2320 – это прецизионные RRIO CMOS ОУ с малым током смещения 0,9 пА, напряжением смещения 150 мкВ, низким уровнем шума 7 нВ/ $\sqrt{\text{Гц}}$ при 10 кГц, скоростью нарастания выходного сигнала 10 В/мкс и полосой пропускания 20 МГц. Напряжение питания составляет 1,8...5,5 В, ток покоя 1,6 мА/канал.

Высокая точность и линейность, широкая полоса пропускания позволяют использовать ОРАх320 в драйверах 16-разрядных АЦП. Уровень шума ОРАх320 на 35% меньше, чем у ОРА365. Значение соотношения «потребление/полоса пропускания» в 80 мкА/МГц увеличивает КПД на 50% по сравнению с ОРА376.

ОРАх320 применяются в трансимпедансных усилителях (рис. 4), прецизионных системах сбора данных, преусилителях высокоимпедансных датчиков, промышленных контроллерах, датчиках в цепи ОС систем управления электродвигателями и активных фильтрах.

Инструментальные усилители

Инструментальные усилители являются особым классом усилителей напряжения, обладающих высоким входным сопротивлением, широкой полосой пропускания, малым уровнем шума, большим коэффициентом усиления и высоким подавлением входного синфазного сигнала общего вида.

INA826 – это прецизионный ($U_{см} = 40$ мкВ) экономичный ($I_{пот} = 200$ мкА) RRIO инструментальный усилитель с напряжением питания 2,7...3,6 В или $\pm 1,35$...1,8 В, низким уровнем входного шума 18 нВ/ $\sqrt{\text{Гц}}$ и КОСС = 84 дБ при КУ = 1. Усилитель имеет широкий диапазон входного синфазного сигнала, который может опускаться ниже нуля, и защиту входа от перенапряжения до ± 50 В и от EMI-помех.

INA826 выпускается в стандартных SOIC-8, MSOP-8 и микрокорпусах DFN-8, позволяющих сократить до 30% площадь печатной платы по сравнению с MSOP-8.

INA826 применяются в промышленных системах управления, электронных

Знаете ли Вы, что ...

1. Для любого чувствительного к стоимости промышленного применения имеется единственный ОУ, который удовлетворяет требованиям большинства таких приложений – **ОРА2171**.
2. Для любого пользователя промышленных программируемых логических контроллеров имеется единственный в мире прецизионный ОУ с нулевым дрейфом и напряжением питания 36 В – **ОРА2188**.
3. Если пользователю необходимо с высокой точностью измерить выходной сигнал от маломощного датчика, то TI предлагает наилучший прецизионный ОУ с FET-транзисторами на входе – **ОРА140**.
4. Имеется единственный ОУ с одним источником питания для использования в качестве драйвера 16-разрядного АЦП, который обеспечивает прецизионную работу при напряжении источника питания 1,8 В – **ОРА320**.
5. Если Вы применяете микроконтроллеры семейства MSP430, имеется единственный ОУ, который можно использовать как прибор с наилучшим соотношением потребляемой мощности и цены – **ОРА2314**.

- ОРА2188 – SO-8, MSOP-8;
- ОРА4188 – SO-14, TSSOP-14.

пропускания гарантирует быстрый ответ на импульсный сигнал, а малый ток сме-

предохранителях, датчиках тока, медицинских приборах и портативных системах сбора данных.

ЦАП DAC161P997

DAC161P997 — это экономичный (Iпот < 190 мкА) 16-разрядный дельта-сигма ЦАП с SWI-интерфейсом и драйвером токовой петли 4...20 мА, с минимальным дрейфом выходного тока 90 ppmFS. ЦАП имеет автоматическую калибровку, функцию обнаружения ошибок, программируемый порог ошибок по выходу, дополнительный вход HART и внутренний ИОН (рис. 5).

DAC161P997 применяется в системах с токовой петлей 4...20 мА, например, для оцифровки сигналов с микропотребляющих изолированных двухпроводных датчиков, и выпускается в корпусе LLP-16 размером 4x4 мм².

Analog Front-End (AFE)

В последние годы многие производители ИС освоили выпуск однокристалльных систем сбора, оцифровки и предварительной обработки аналоговой информации (Analog Front-End, AFE). Подобного рода системы состоят из (дифференциальных) предусилителей с регулируемым коэффициентом усиления (PGA, VGA), аналогового мультиплексора, одного или нескольких АЦП с УВХ и блока управления и предварительной обработки сигнала.

Рассмотрим некоторые AFE от TI/NSC.

ADS1131 — это 18-разрядный AFE для мостовых датчиков с низким уровнем шума (40 нВ RMS при 10 SPS), ЕМI-фильтром и непрерывной режекцией сигнала с частотой 50 или 60 Гц при 10 SPS. Скорость преобразования выбирается с помощью внешнего вывода равной 10 или 80 SPS, что избавляет от необходимости программировать регистры, сокращает время и уменьшает сложность разработок. Опорный сигнал напряжения до 5 В задается внешним ИОН.

ADS1131 имеет на 20% большую производительность по сравнению с ближайшими конкурентами при наименьшем в своем классе уровне шумов. Встроенная система отключения измерительного моста уменьшает энергопотребление между циклами преобразования.

ADS1131 применяется в электронных весах и системах управления промышленными процессами.

LMP90100 — это многоканальный (4 дифференциальных или 7 SE) экономичный малощумящий 24-разрядный AFE для датчиков с КУ 1...128 и непрерывной фоновой калибровкой (рис. 6).

Сводные данные особенностей микросхем семейства LMP90000 представлены в таблице 1.

Таблица 1. Сводные данные особенностей микросхем семейства LMP90000

Разрешение, разр.	Источники тока	4 дифф. / 7SE	2 дифф. / 4SE
24	Да	LMP90100	LMP90098
24	Нет	LMP90099	LMP90097
16	Да	LMP90080	LMP90078
16	Нет	LMP90079	LMP90077

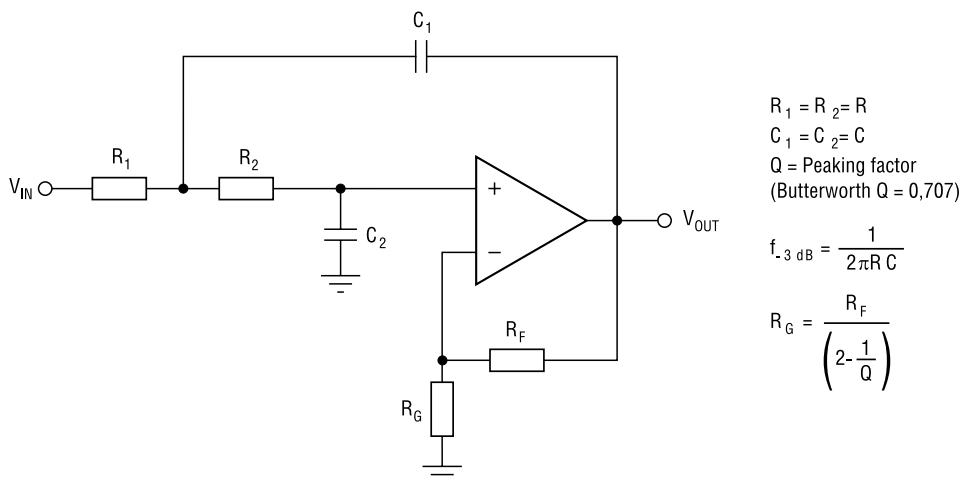


Рис. 3. Двухполюсный ФНЧ на OPAx314

Для LMP90100 имеется web-среда разработки, а также информация о производительности для каждой комбинации КУ/быстродействие. Одна разводка печатной платы позволяет реализовывать различные разрешения и конфигурации.

Микросхемы применяются в преобразователях и передатчиках, предусилителях для термопар и датчиков температуры, датчиках давления/нагрузки/силы и системах сбора данных.

Выпускается оценочный набор LMP90100EB.

LMP91000 — это конфигурируемый экономичный (Iпот = 10 мкА при Uпит = 2,7...5,5 В) AFE для потенциалостата с программируемым коэффициентом преобразования для химических приложений, со встроенными датчиками TIA, смещения ячейек (с низким дрейфом и током кондиционирования 10 мА при токе смещения опорного электрода 1000 пА), температуры и схемой тестирования датчиков.

В AFE интегрировано множество дискретных компонентов, что экономит размер платы, уменьшает стоимость и минимизирует время разработки (рис. 7).

LMP91000 позволяет в широком диапазоне (0,5...9,5 нА/ppm) определять концентрацию различных газов. Она оптимальна для портативных систем и систем с токовой петлей 4...20 мА. Онлайн-среда разработки позволяет быстро оценивать, макетировать и выводить на рынок конечную систему.

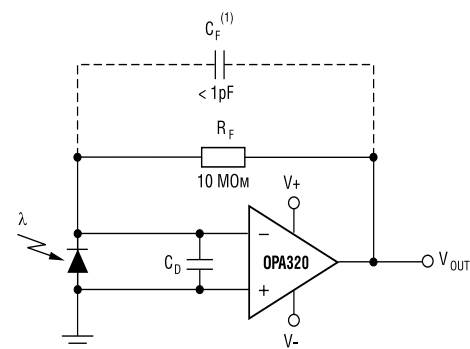


Рис. 4. Трансимпедансный усилитель на OPAx320

Микросхема находит применение в детекторах ядовитых газов, амперометрических приложениях, детекторах химического состава смеси газов, глюкометрах, трехпроводных датчиках ядовитых газов и двухпроводных датчиках напряжения гальванических элементов.

Имеется оценочный набор LMP91000SDE/NOPB.

Аналоговые компоненты National Semiconductor (NSC)

Издревле среди разработчиков ходит поговорка «LM — значит NSC». Теперь набрав наименование компонента «LM» разработчик будет попадать в каталог продукции TI. Рассмотрим электронные компоненты NSC, вошедшие в портфолио TI.

Операционные усилители

LMP8640/8645 — это прецизионные высоковольтные усилители для сигналов с датчиков тока с низким дрейфом напряжения смещения

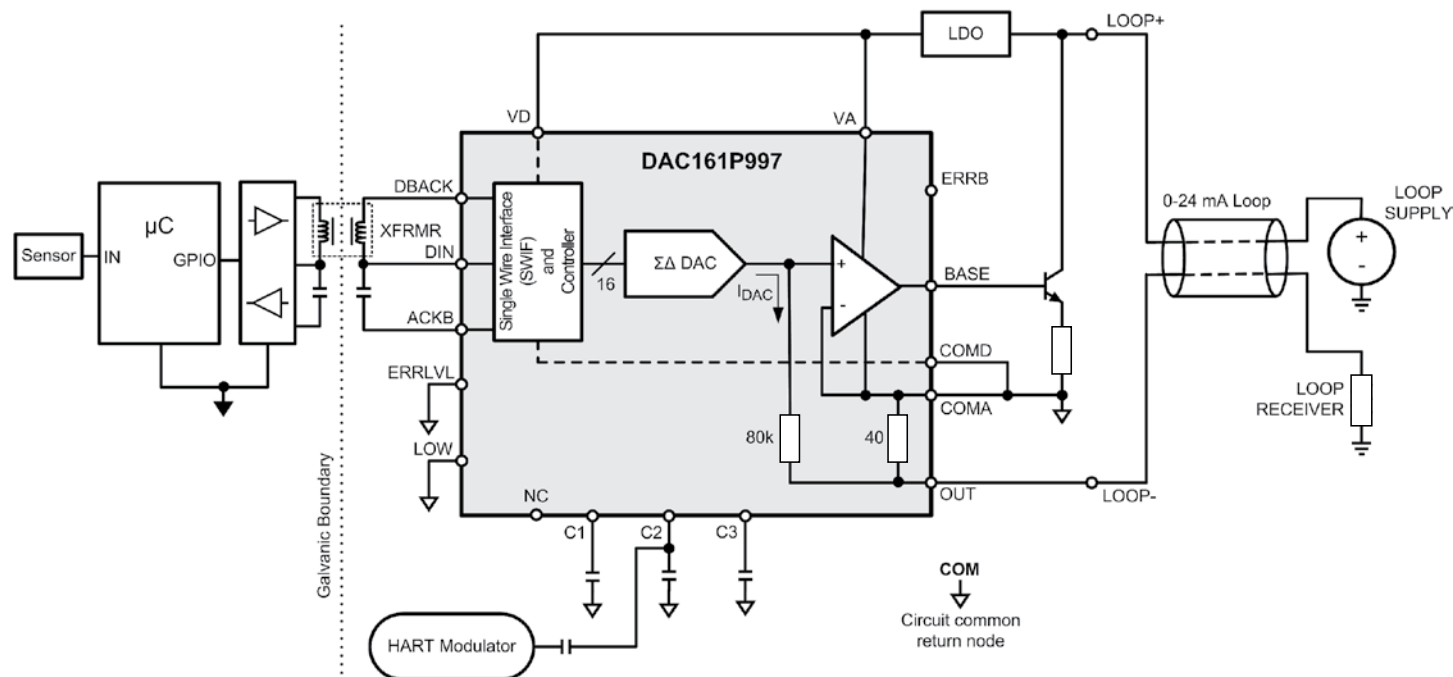


Рис. 5. Схема включения DAC161P997: промышленный передатчик для токовой петли 4...20мА

($\pm 2,6$ мкВ/°C), большим допустимым диапазоном входного сигнала -2...42 В (-2...76 В – с суффиксом HV), высоким КОСС 103 дБ, фиксированным КУ (20 для 864х-Т, 50 для 864х-Ф и 100 для 864х-Н) и малым температурным дрейфом $\pm 26,2$ ppm/°C.

Усилители потребляют ток 2,5 мА и работоспособны в температурном диапазоне -40...125°C.

LMP8640/8645 применяются в датчиках тока верхнего плеча, датчиках тока автомобилей, системах управления электродвигателями, схемах мониторинга состояния батарей и управления мощностью.

LMP2021/2022 – это маломощные (11 нВ/√Гц при КУ = 1000) ОУ с периодической коррекцией дрейфа, малым напряжением смещения 5 мкВ, его дрейфом 0,02 мкВ/°C и защитой входа от EMI.

LMP2021/2022 применяются в инструментальных усилителях, портативном инструментарии, усилителях сигналов с термпар и мостовых схем.

LPV511/521/531 – это экономичные RRIO ОУ с напряжением питания 2,7...12 В и сверхнизким током потребления (1,2 мкА для LPV511, 0,4 мкА для LPV521, программируемый 5...435 мкА для LPV531), позволяющие увеличить срок службы батарей в портативных приложениях. Выпускаются в корпусе SC-70 или TSOT23-6 (LPV531).

LPV511/521/531 применяются в портативных системах, системах безопасности, термостатах, системах на солнечных батареях, портативном ин-

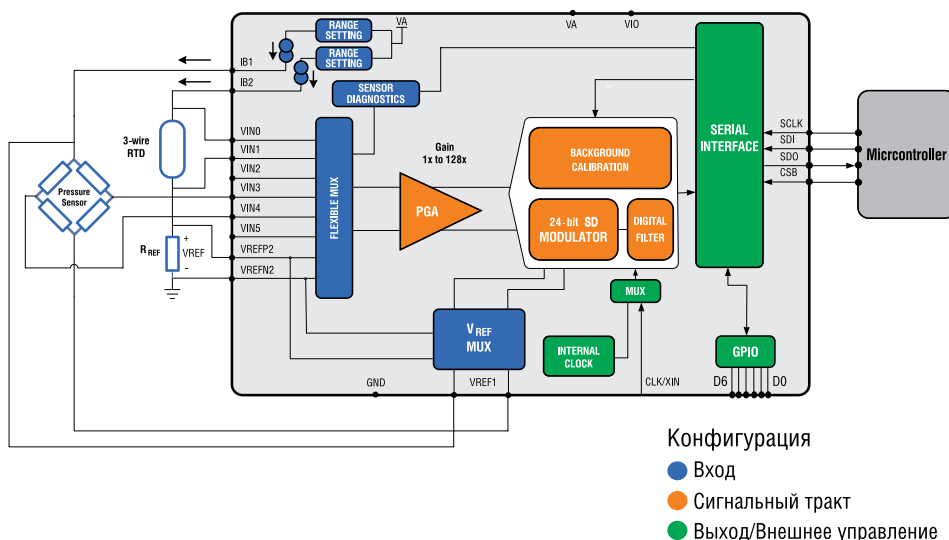


Рис. 6. Блок-схема LMP90100

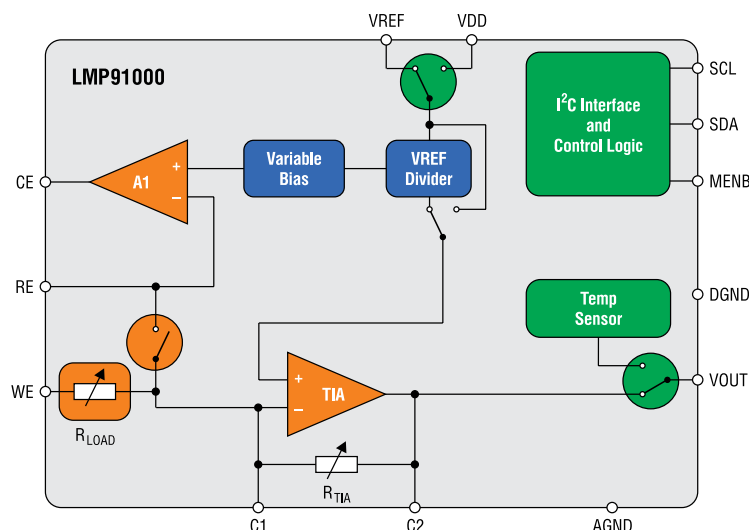


Рис. 7. Блок-схема LMP91000

струментарии, активных фильтрах и беспроводных датчиках.

LMP7721 — это прецизионный малошумящий ($7 \text{ нВ}/\sqrt{\text{Гц}}$) CMOS ОУ со сверхмалым входным током 3 фА . Напряжение питания ОУ $1,8...5,5 \text{ В}$; потребляемый ток $1,5 \text{ мА}$.

ИС обладают превосходной производительностью при малом потребляемом токе. Они способны работать с высокоимпедансными источниками сигнала и применяются в прецизионных инструментальных усилителях, портативной медицинской технике, датчиках и электрометрах. Пример реализации преобразователя «ток-напряжение» для ионной камеры на LMP7721 показан на рис. 8.

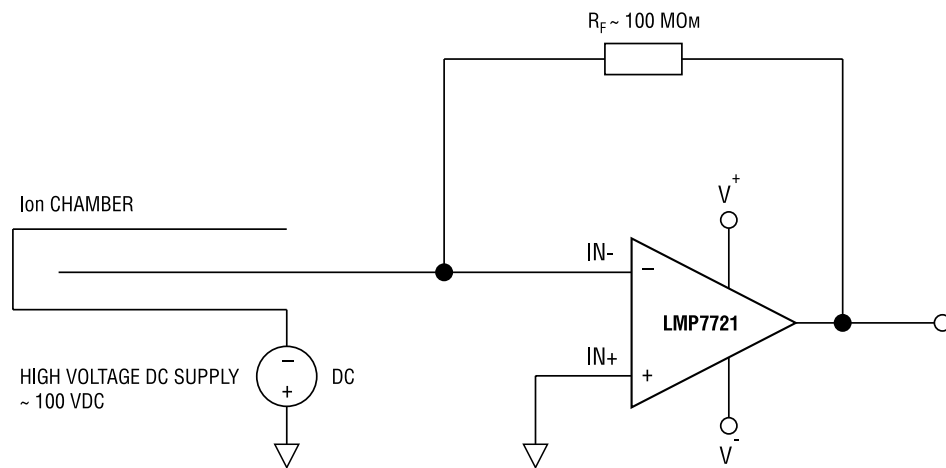


Рис. 8. Преобразователь ток-напряжение для ионной камеры на LMP7721

LMP2231/2232/2234 — это экономичные ($U_{\text{пит}} = 1,6...5,5 \text{ В}$; $I_{\text{пот}} = 10 \text{ мкА}$ для LMP2231, 27 мкА для LMP2232 и 48 мкА для LMP2234) прецизионные CMOS ОУ, предназначенные для работы с высокоимпедансными источниками сигнала и имеющие большой КОСС 120 дБ . Напряжение смещения 150 мкВ ; температурный дрейф $0,4 \text{ мкВ}$ для LMP2231, $0,5 \text{ мкВ}$ для LMP2232 и $0,75 \text{ мкВ}$ для LMP2234.

LMP2231/2232/2234 применяются в прецизионных инструментальных усилителях (рис. 9), портативных медицинских приборах и предусилителях сигналов от датчиков.

LMP7731/7732 — это малошумящие ($2,9 \text{ нВ}/\sqrt{\text{Гц}}$) прецизионные (напряжение смещения 500 мкВ , дрейф $5,5 \text{ мкВ}/^\circ\text{C}$) ОУ с широкой полосой пропускания 22 МГц и большой скоростью нарастания выходного сигнала $2,4 \text{ В}/\text{мкс}$ с напряжением питания $1,8...5,5 \text{ В}$.

ОУ LMP7731/7732 применяются в газоанализаторах, фотометрах и медицинской технике.

Схема для определения коэффициента шума LMP7731/7732 в полосе частот $0,1...10 \text{ Гц}$ показана на рис. 10.

LMV831/2/4 — это экономичные ($U_{\text{пит}} = 2,7...5,5 \text{ В}$; $I_{\text{пот}} = 240 \text{ мкА}/\text{канал}$), малошумящие ($12 \text{ нВ}/\sqrt{\text{Гц}}$ при 1 кГц) ОУ с CMOS-транзисторами на входах, обеспечивающими ток смещения $0,1 \text{ пА}$, напряжением смещения 1 мВ , полосой пропускания $3,3 \text{ МГц}$, скоростью нарастания сигнала на выходе $2 \text{ В}/\text{мкс}$ и защитой от EMI (подавление 120 дБ при $1,8 \text{ ГГц}$), обеспечивающей устойчивую работу в устройствах сотовой связи.

LMV831/2/4 находят применение в предусилителях фотодиодов, пьезодатчиках, портативном (медицинском) оборудовании, активных фильтрах, аксессуарах для PDA/телефонов. Пример реализации усилителя сигнала датчика

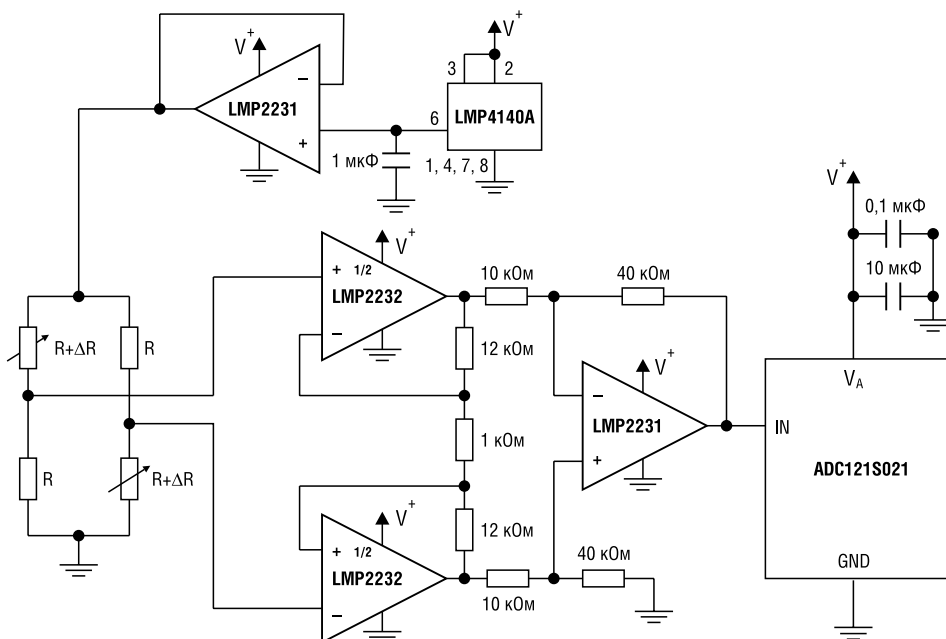


Рис. 9. Инструментальный усилитель сигнала разбалансировки моста на LMP2231/2232

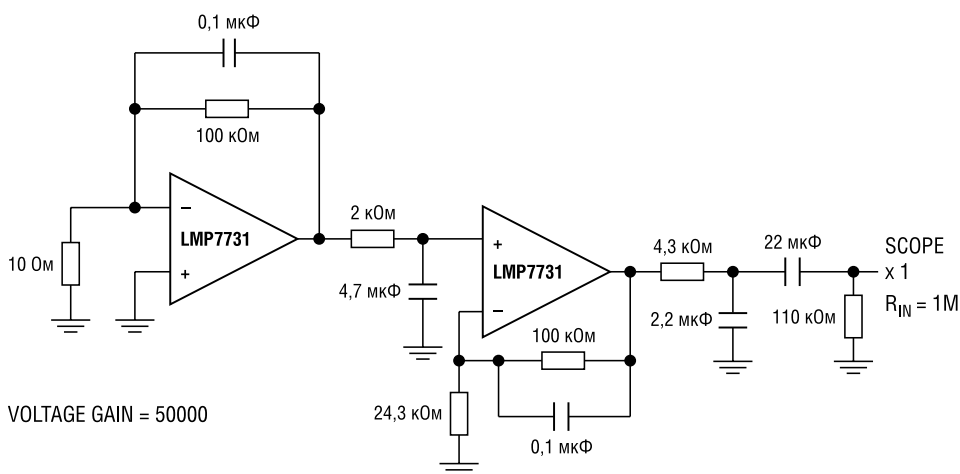


Рис. 10. Схема для определения коэффициента шума LMP7731/7732 в полосе частот $0,1...10 \text{ Гц}$

давления на LMV831 представлен на рис. 11.

LMP7701/2/4 — это экономичные ($U_{\text{пит}} = 2,7...12 \text{ В}$, $I_{\text{пот}} = 700 \text{ мкА}/\text{ка}$ -

нал) прецизионные ($U_{\text{см}} = 200 \text{ мкВ}$) малошумящие ($9 \text{ нВ}/\sqrt{\text{Гц}}$) RRIO CMOS ОУ с большим значением КОСС 130 дБ и коэффициента передачи без ОС 130 дБ .

Таблица 2. Сводные данные особенностей микросхем семейства ADC128S102

Разрешение, бит	Гарантированная производительность, kSPS:		
	50...200	200...500	500...1000
12	ADC128S102	ADC128S052	ADC128S022
10	ADC108S102	ADC108S052	ADC108S022
8	ADC088S102	ADC088S052	ADC088S022

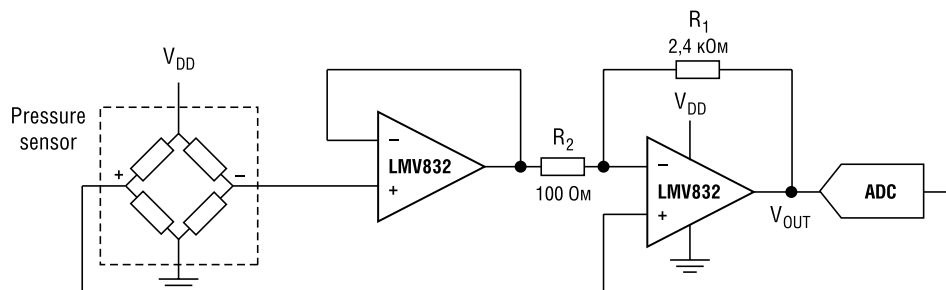


Рис. 11. Усилитель сигнала датчика давления на LMV831

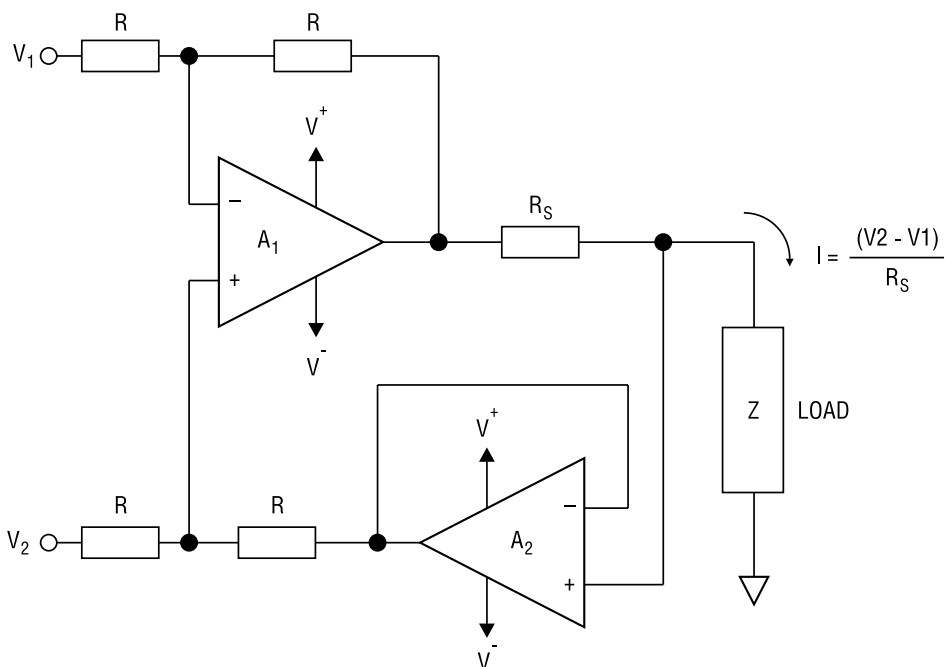


Рис. 12. Прецизионный источник тока с дифференциальным входом на LMP7701

В портативных устройствах ОУ LMP7701/2/4 позволяют продлить срок службы батарей и работать при одном питающем напряжении.

LMP7701/2/4 применяются в интерфейсах высокоимпедансных датчиков, портативных измерительных приборах, усилителях с большим КУ, буферах ЦАП, активных фильтрах и дискретных инструментальных усилителях. Пример реализации прецизионного источника тока с дифференциальным входом на LMP7701 показан на рис. 12.

Аналого-цифровые преобразователи (АЦП)

ADC128S102 — это экономичный 8-канальный 12-разрядный АЦП

с производительностью 1 MSPS, точностью преобразования $\pm 0,024\%$, нелинейностью $\pm 1,0$ LSB, напряжением питания 2,7...5,25 В и SPI-интерфейсом. ADC128S102 выпускаются в корпусе TSSOP-16 и являются представителями семейства повыводно совместимых АЦП:

Сводные данные особенностей микросхем семейства ADC128S102 представлены в таблице 2.

ADC128S102 находят применение в интерфейсах датчиков, портативных системах сбора данных, измерительных и управляющих системах.

ADC161S626 — это 16-разрядный MicroPower АЦП с дифференци-

альным входом, производительностью 50...250 kSPS, точностью преобразования $\pm 0,003\%$, следящим режимом с временем готовности 0 мкс и SPI-интерфейсом.

Выпускается преобразователь в корпусе MSOP-10.

ADC161S626 применяется в интерфейсах датчиков, системах сбора данных и управления электродвигателями, измерительных и медицинских приборах.

Цифро-аналоговые преобразователи

DAC161S055 — это прецизионный 16-разрядный ЦАП с временем установления выходного напряжения 5 мкс, SPI-интерфейсом, буферизованным rail-to-rail потенциальным выходом, опорным напряжением от 2,5 В до напряжения питания аналоговых цепей, асинхронной загрузкой, выводом сброса и совместимостью с микроконтроллерами с напряжением питания линий I/O 1,8 В. Схема сброса при подаче напряжения питания гарантирует приведение ЦАП в известное исходное состояние. Режим пониженного энергопотребления способствует сбережению энергии батареи в периоды бездействия.

Преобразователи выпускаются в корпусе LLP-16 с температурным диапазоном $-40...105^\circ\text{C}$.

DAC161S055 применяются в системах управления процессами, автоматическом проверочном оборудовании, программируемых источниках напряжения, коммуникационных системах, промышленных контроллерах и портативных приборах.

Заключение

Вспоминая приобретение Texas Instruments компании Luminary Micro, дальнейшее развитие компаний TI семейства микроконтроллеров Stellaris с ядром Cortex-M3 и создание на их основе семейства двухъядерных микроконтроллеров Concerto, хочется надеяться, что нынешнее приобретение компании NSC позволит TI еще больше расширить номенклатуру выпускаемых аналоговых компонентов и укрепить лидирующие позиции на рынке прецизионных аналоговых и аналогово-цифровых микросхем.

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

Роман Криночкин, Сергей Барабан (г. Винница)

РАСШИРЕНИЕ ЛИНЕЙКИ ДРАЙВЕРОВ СВЕТОДИОДОВ ОТ TEXAS INSTRUMENTS: ТЕПЕРЬ И LM3444/3445/3448

Линейка понижающих драйверов для осветительных светодиодов от компании TI (популярные на рынке TPS92xxx) пополнилась изделиями LM344x, ранее выпускавшимися National Semiconductor. Эти драйверы с хорошими рабочими характеристиками и идеальным соотношением «цена/качество» предназначены для применения в промышленном, офисном, декоративном и бытовом освещении. В линейке есть модели с поддержкой диммирования и встроенным силовым ключом.

Еще недавно мысль о светодиодном освещении как полноценной замене других источников света казалась хотя и эффективной, но утопичной идеей — слишком много проблем возникало на этом пути, от недостаточной яркости световых элементов до проблем согласования напряжений питания.

Начинался путь к успеху этой идеи с простых отдельных светодиодов, используемых в дискретных индикаторах, далее прогресс в развитии полупроводниковой технологии позволил создавать все более яркие элементы. В первую очередь изменения коснулись транспорта и различных мобильных устройств. В обеих сферах требовалась высокая устойчивость источника света к механическим нагрузкам (ускорения, вибрации), при этом бортовые сети обычно имели номинальное напряжение значительно ниже промышленного, что упрощало конструкцию LED-светильников.

Через относительно короткое время началась эра массового использования светодиодов как источников света — в больших уличных экранах, в бегущих строках, в уличном, промышленном, бытовом освещении. Этому немало способствовала разработка импульсных регуляторов, которая позволила обеспечить эффективное решение проблем питания.

Основой этого регулятора является так называемый драйвер, который представляет собой интегральную микросхему, управляющую силовым ключом, что обеспечивает установление напряжения или тока на необходимых значениях.

Однако для технической реализации регулятора, работающего от промышленной сети переменного тока, кроме драйвера необходимо множество вспо-

могательных элементов — выпрямители, фильтры, сами транзисторные ключи. Большинство современных производителей электроники наряду с микросхемами светодиодных драйверов предлагают потребителям демонстрационные платы — уже собранный драйвер с рекомендуемой электрической схемой, оптимальной для управления заданным количеством светодиодов и организации необходимых функций, например, светорегулирования (диммер).

Компания Texas Instruments находится на рынке светодиодного освещения и всего, что с ним связано, фактически с момента рождения этого вида освещения. Ведь именно двое инженеров из Texas Instruments (Роберт Байард и Гари Питтман) в 1961 году открыли и запатентовали технологию инфракрасного светодиода.

При выборе светодиодных драйверов в пользу компании Texas Instruments свидетельствуют следующие факторы:

- репутация — компания давно зарекомендовала себя как производитель качественных компонентов источников питания, в том числе и для светодиодов
- поддержка — TI обеспечивает пользователя всей необходимой технической документацией, которую можно свободно скачать из интернета, плюс техподдержка через тот же интернет и по телефону;

- надежность электрической схемы — устройства, выпускаемые компанией, содержат защиту от короткого замыкания, от скачков напряжения, схему температурной стабилизации;

- качество — светодиодные драйверы проходят всю необходимую сертификацию;

- комплексность — компания TI предлагает интегрированные комплексные решения по управлению освещением.

Принцип действия

Наиболее широкое распространение при построении маломощных импульсных источников питания получили обратноходовые преобразователи. Общий принцип регулирования в них состоит в получении высокочастотного переменного напряжения с помощью периодически замыкающегося и размыкающегося ключа. Для понижения такого напряжения можно использовать малогабаритный импульсный трансформатор с высоким КПД.

Свое название обратноходовые преобразователи получили в связи с тем, что энергия передается в нагрузку при разомкнутом силовом ключе. Такое решение просто по конструкции и в то же время позволяет использовать все основные преимущества импульсных регуляторов, являясь, таким образом, схемой выбора в случае светодиодных драйверов. Поскольку источники энергии для светодиодов питаются обычно непосредственно от сети переменного тока, необходимо использование трансформатора для гальванической развязки нагрузки с сетью.

В таблице 1 представлены основные виды преобразователей с такой развязкой.

Таблица 1. Параметры схем с трансформаторной развязкой

Схема	Диапазон мощностей, Вт	Относительная сложность
Обратноходовая	1...100	Низкая
Прямоходовая	1...200	Средняя
Двухтактная	200...500	Средняя
Полумостовая	200...500	Высокая
Мостовая	500...2000	Очень высокая

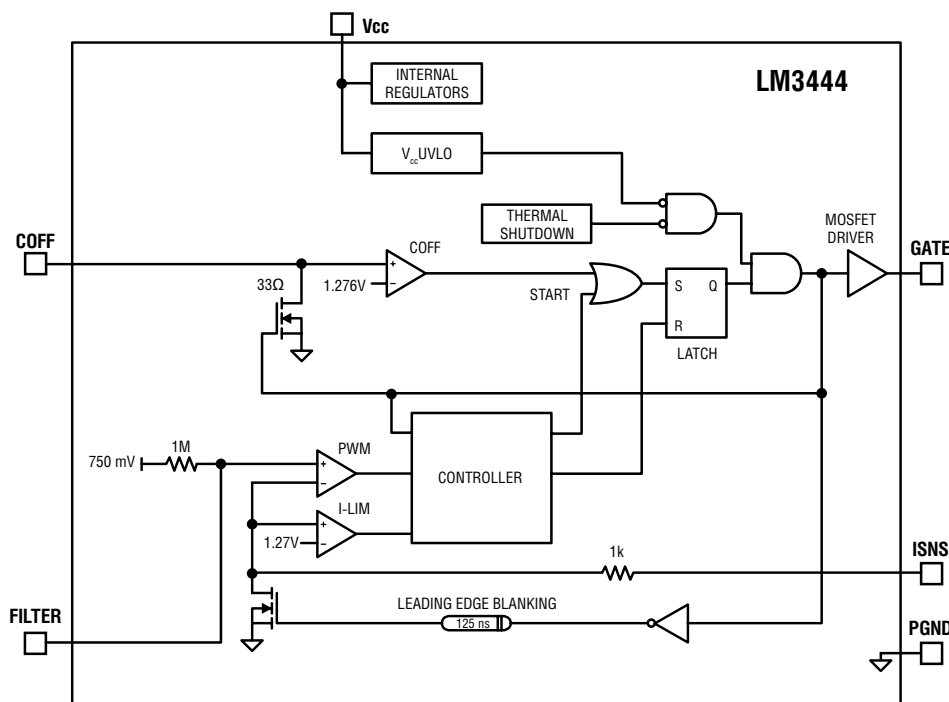


Рис. 1. Функциональная схема LM3444

Практически все импульсные сетевые источники питания до мощностей 30...50 Вт строятся по принципу обратного преобразователя. К его недостаткам можно отнести то, что обратный преобразователь по энергетическим параметрам уступает другим импульсным схемотехническим решениям с гальванической развязкой. Зато он дешевле и в нем меньше деталей.

LM 3444

Настраиваемый понижающий драйвер для построения источников тока для питания мощных светодиодов. Микросхема оснащена пассивным корректором коэффициента мощности, защитой от перегрева и перегрузки.

Основные свойства:

- диапазон рабочих напряжений ~80...227 В;
- способность контролировать токи светодиодов более чем в 1 А;
- настраиваемая частота переключения ключа;

- настраиваемая длительность нахождения ключа в закрытом состоянии (toff);

- нет 100 Гц шума (частота питающей сети 50 Гц после диодного моста превращается в 100 Гц).

Это — относительно простая микросхема в корпусах MSOP-10 и SOIC-8. В последнем задействовано шесть выводов, два из которых — выводы питания. Назначение остальных: COFF — настройка времени отсечки ключа; FILTER — вход для аналогового диммирования, совместимый с ШИМ-диммированием при условии подключения внешнего фильтра; ISNS — вывод для отслеживания протекающего через нагрузку тока; GATE — подключение затвора силового ключа. На рисунке 1 приведена функциональная диаграмма микросхемы.

Компания TI выпустила подробные апноуты ко всем драйверам серии LM3444/45/48. Рекомендации к применению AN2097 касаются создания схемы изолированного импульсного ре-

гулятора тока (рисунок 2) с мощностью до 8 Вт на основе LM3444.

Такой регулятор может быть использован для питания линейки, которая состоит из 4 до 10 последовательно соединенных светодиодов с внешним питанием от промышленной сети напряжением от 180 до 265 В и частотой 50 Гц. Это четырехслойная плата, использующая основание и верхний слой для размещения компонентов. Демонстрационная плата может быть изменена для установки тока светодиодов и частоты переключения.

Основные характеристики:

- Входное напряжение — 230 В (СКВ), мин. — 180 В, макс. — 265 В;
- Напряжение на линейке светодиодов — 21,5 В, мин. — 13 В, макс. — 36 В;
- Средний ток линейки светодиодов — 350 мА;
- Частота переключения — 67 кГц;
- Применение: светодиодное освещение, промышленное и офисное освещение, бытовое освещение;
- Мощность источника зависит от величины входного напряжения и изменяется в пределах от 4,5 до 9 Вт.

Экспериментальные результаты

Производительность. В стационарном состоянии напряжение светодиодной линейки равно 21,55 В, а средний ток светодиода равен 347,5 мА. Пульсации тока с частотой 100 Гц, протекающие через светодиодную линейку, равны 194 мА при полной нагрузке. Амплитуда пульсации является функцией от значения емкости накопительных конденсаторов, установленных на выходе. Пульсации тока могут быть уменьшены за счет увеличения величины емкости накопительных конденсаторов, либо путем увеличения напряжения светодиодной линейки.

Измеренная частота переключения близка к указанной и равна 67 кГц. Схема работает с коэффициентом заполнения 0,21 и потребляет около 9 Вт входной мощности.

Параметры для регулятора со светодиодной строкой из шести диодов приведены в таблице 2.

Таблица 2. Параметры регулятора для 6 LED

Vin, В(RMS)	Iin, мА(RMS)	Pin, Вт	Vout, В	Iled, мА	Pout, Вт	КПД, %	Коэфф. мощности
180	30,65	5,42	20,59	219,40	4,52	83,30	0,9867
190	32,35	6,06	20,80	242,55	5,05	83,30	0,9869
200	34,21	6,75	21,00	267,37	5,62	83,20	0,9870
210	36,01	7,47	21,18	293,39	6,21	83,20	0,9871
220	37,74	8,20	21,37	320,18	6,84	83,30	0,9872
230	39,44	8,96	21,55	347,51	7,49	83,60	0,9873
240	41,22	9,76	21,72	375,52	8,15	83,60	0,9874
250	43,29	10,62	21,90	404,82	8,86	83,50	0,9875
260	45,06	11,57	22,07	436,75	9,64	83,30	0,9877

Коэффициент гармонических искажений. Разработчикам удалось добиться высокого коэффициента мощности светодиодного регулятора ($PF \sim 0,98$), который отвечает требованиям Energy Star. Эта разработка инженеров Texas Instruments также обладает низкими гармониками тока в процентном отношении к основной гармонике и, таким образом, соответствует требованиям IEC 61000-3-2 Class-3. Суммарный коэффициент гармонических искажений меньше 1,2%.

Термические свойства. Температура платы драйвера была измерена с помощью ИК-камеры HIS-3000 со следующими параметрами:

- Входное напряжение 230 В (СКВ);
- Ток светодиода 328 мА;
- Количество светодиодов 6 шт.;
- Выходная мощность 7,2 Вт.

На рисунке 3 показаны результаты.

LM 3445

Основным отличием этой микросхемы от LM3444 является наличие детектора диммирования, что позволяет плавно управлять интенсивностью светового потока с помощью стандартного внешнего диммера с ШИМ. В остальном параметры сходны с параметрами предыдущей микросхемы.

В связи с тем, что симисторный регулятор изменяет форму напряжения на входе, микросхема драйвера должна отслеживать текущее состояние симистора (открыт/закрыт), для чего предназначена схема детектирования (вывод BLDR является ее входом), на выходе которой (вывод ASNS) появляется низкочастотный ШИМ-сигнал с коэффициентом заполнения, пропорциональным времени нахождения диммерного симистора в открытом состоянии. В дальнейшем этот ШИМ подается на вывод FLTR1 для генерации высокочастотного ШИМ, управляющего работой схемы открытия и закрытия силового ключа.

Применение эта система находит в широко распространенных регуляторах освещения, использующих диммер как простой и дешевый способ изменять яркость свечения.

Демоплата регулятора на основе LM3445

Данный регулятор может быть использован для питания единичной линейки светодиодов, которая состоит из 4...10 последовательно соединенных светодиодов с питанием схемы от сети переменного тока с напряжением 180...265 В и частотой 50 Гц.

Основная отличительная особенность — встроенная совместимость с симисторными светорегуляторами.

Применение: модификации светорегуляторов, светодиодное освещение, промышленное и офисное освещение, бытовое освещение.

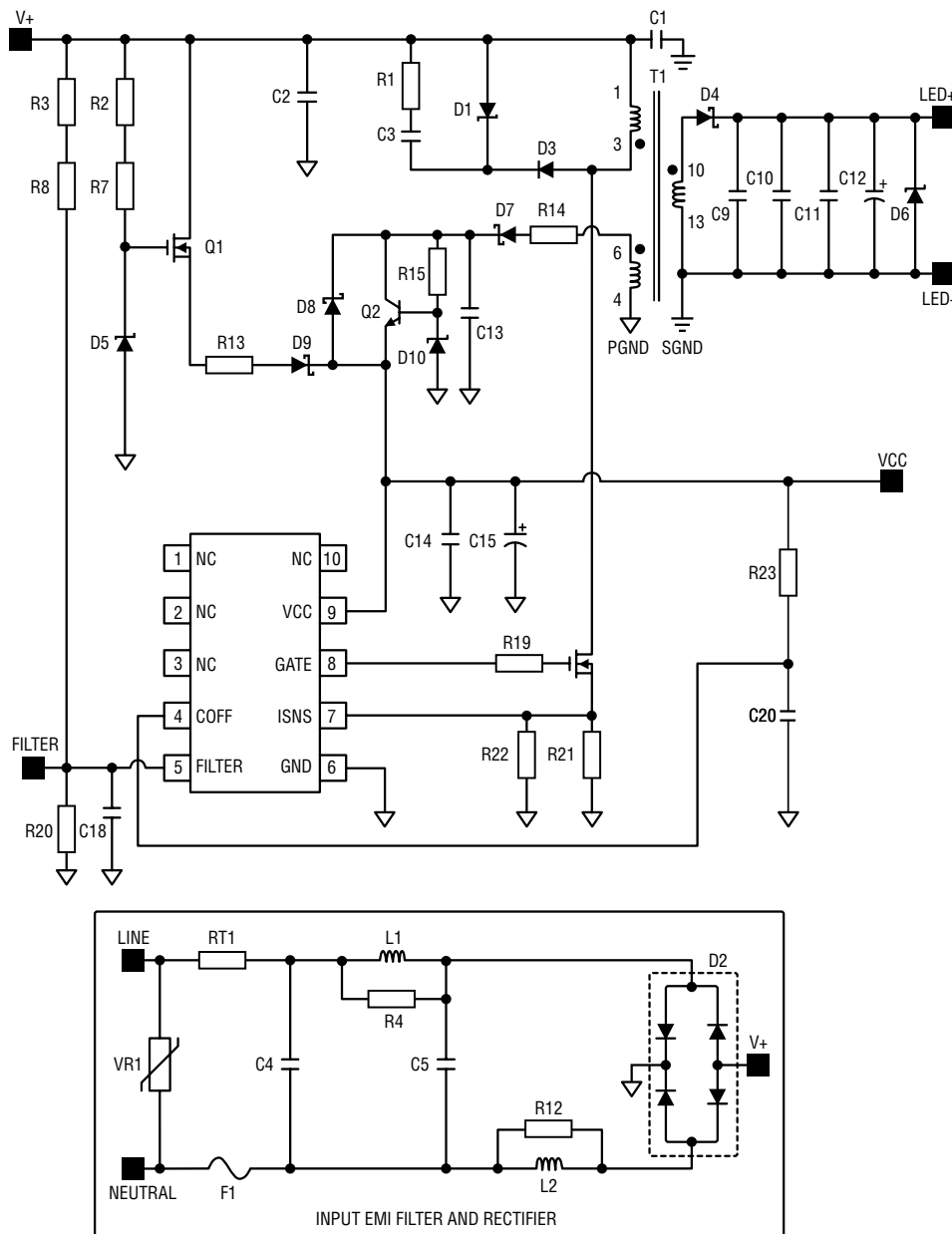


Рис. 2. Принципиальная схема изолированного регулятора на основе LM3444

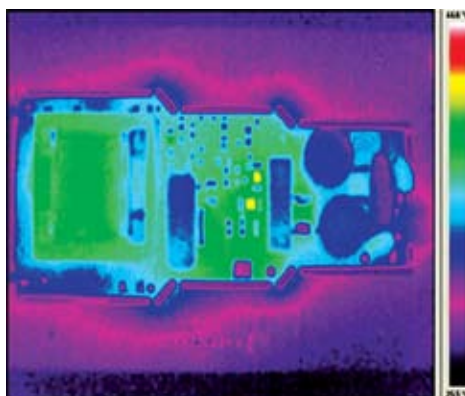


Рис. 3. Термография демоплаты на основе LM3444 из AN2097



Рис. 4. Внешний вид демоплаты на основании LM3448

- Входное напряжение 230 В (СКВ), мин. 180 В, макс. 265 В;
- Напряжение линейки светодиодов 20 В, мин. 13 В, макс. 27 В;

- Средний ток линейки светодиодов 250 мА;
- Частота переключения 67 кГц;
- Диапазон мощности от 4,5 до 9 Вт.

Таблица 3. Измеренная производительность светорегулирования

V_{in}, B(RMS)	V_o, B	I_{led}, mA	P_{out}, Br
229,39	20,51	343,1	7,04
220,47	20,35	320,8	6,53
210,24	20,16	294,8	5,94
199,05	19,98	266,8	5,33
190,32	19,80	245,8	4,87
180,33	19,61	222,7	4,37
170,51	19,42	200,1	3,89
156,39	19,31	187,4	3,62
149,11	19,15	171,6	3,29
140,35	18,97	154,0	2,92
129,61	18,75	133,1	2,50
119,70	18,53	115,3	2,14
110,17	18,33	99,1	1,82
100,55	18,11	83,5	1,51
90,75	17,87	68,8	1,23
79,72	17,59	53,1	0,93
70,42	17,34	40,8	0,71
60,91	17,08	30,1	0,81
49,94	16,77	19,8	0,33
45,04	16,64	16,0	0,27

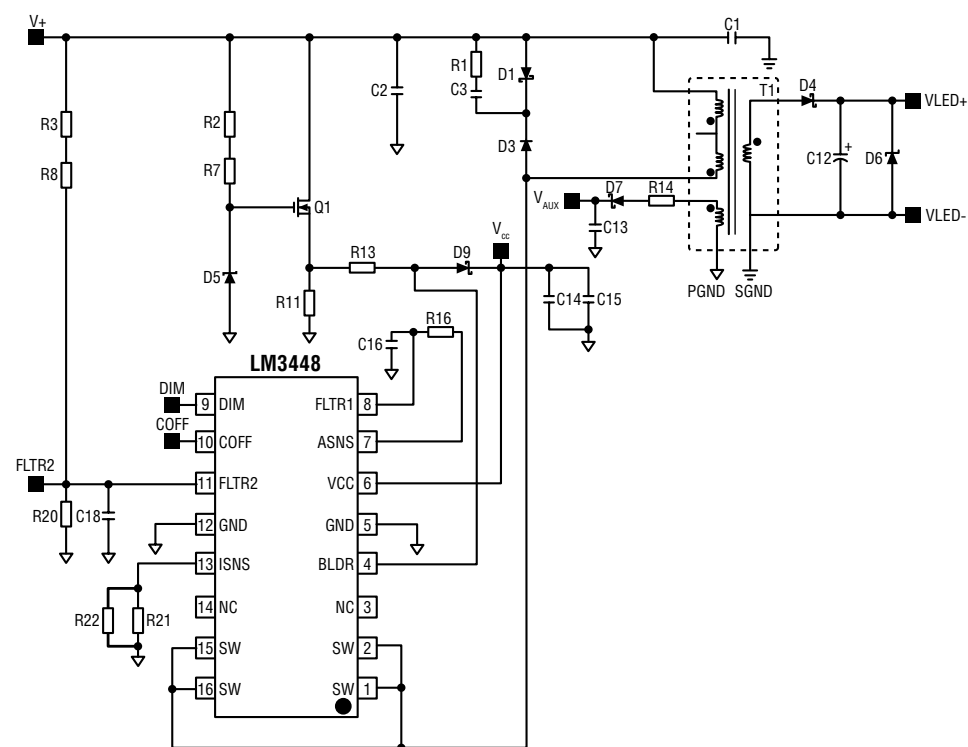


Рис. 5. Электрическая схема демоплаты на основании LM3448

Производительность светорегулирования. Эффективность светорегулирования светодиодного драйвера превосходит аналогичный параметр лампы накаливания. Используя простой поворотный симисторный светорегулятор, можно достичь плавного и близкого к логарифмическому светорегулирования. Изменяя угол открытия симисторного

светорегулятора и измеряя соответствующие входные и выходные параметры, получили значения производительности светорегулирования демонстрационной платы с 6 светодиодами, приведенные в таблице 3.

Режим работы без светорегулирования. В установившемся режиме напряжение светодиодной линейки равно

20,5 В, а средний ток через светодиоды равняется 350 мА. Пульсации тока с частотой 100 Гц, протекающие через светодиодную строку, равны 194 мА при полной нагрузке.

LM 3448

Главным отличием этой интегральной схемы от предыдущих является наличие встроенного высоковольтного МОП-ключа (до 600 В, вертикальная структура), что упрощает разработку и уменьшает количество внешних элементов. Максимальный пиковый ток ключа 1,2 А. Драйвер обладает схемой тепловой защиты, функцией ограничения тока, может блокировать питание при пониженном напряжении.

Демоплата на основании LM3448

Схемотехника платы (рис. 4, 5), в общем, та же, что и у двух предыдущих. Ко входу подключается линия переменного напряжения (180...265 В, 50 Гц). Далее идет входной ЭМИ-фильтр, за которым следует мостовой выпрямитель (точка V+ на схеме). Регулятор напряжения на транзисторе Q1, обеспечивает необходимое для питания микросхемы смещение Vcc (также для этого используется восстанавливающая (третья) катушка трансформатора через диод D7 и цепь Vaux).

Трансформатор питается от выпрямленного напряжения (V+), второй конец замыкается на землю через интегральный силовой ключ (вывод SW), управляемый внутренним контроллером микросхемы. Для предотвращения повреждения ключа использованы диоды D1, D3.

Обяззка LM3448 выполнена в соответствии с функциональным назначением выводов. BLDR – вход фазодетектора, определяющего положение диммера; ASNS – его выход, ШИМ-сигнал с которого подается на FLTR1 для выполнения светорегулирования; SW – сток встроенного полевого ключа вертикальной структуры; ISNS – вывод для подключения измерительного токочувствительного резистора.

Выходная мощность от 4 до 8 Вт. Коэффициент мощности составляет не менее 0,85. Частота переключения 73 кГц.

Основные применения микросхемы те же что и для LM3444/445 – промышленное, коммерческое и бытовое освещение и декор, особенно – в комплексе с диммерными регуляторами.

Заключение

Серия драйверов LM34xx имеет хорошие рабочие характеристики, при этом предоставляя пользователю выбор:

LM3444 – недорогие драйвера в миниатюрном корпусе (8 выводов, из которых задействовано 6), там, где нет необходимости в светорегуляции;

LM3445 — поддержка диммирования, что расширяет сферу применения устройства;

LM3448 — встроенный силовой ключ, упрощающий разводку платы и снижающий сложность разработки в целом.

Приятно так же, что производитель предлагает различные проработанные готовые решения по построению источников питания на основании рассматриваемых драйверов. Подробно расписаны схемы, принципы работы в различных режимах. Исследованы электрические и тепловые характеристики, даны рекомендации по изготовлению. С такими рекомендациями не составит труда изготавливать даже серийные источники питания.

Светодиодные регуляторы — динамично развивающийся рынок, для которого является естественной высокая частота появления новых продуктов. Поэтому удержаться на нем непросто. Однако, после произошедшего в этом году слияния Texas Instruments и National Semiconductor и добавлению к заслужившей популярность линейке собственных драйверов TI новых продуктов, вполне естественно для возросшей мощи компании усиливать борьбу именно на таких растущих рынках.

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

Операционный усилитель OPA2188 с нулевым дрейфом от Texas Instruments



Компания **Texas Instruments** анонсировала прецизионный операционный усилитель **OPA2188** с напряжением питания 36 В и температурным дрейфом 0,03 мкВ/°С, выполненный по технологии **Zero-Drift**, что обеспечивает напряжение смещения не более 25 мкВ во всем диапазоне рабочих температур от -40°С до 105°С. Низкий потребляемый ток (475 мкА при полосе пропускания 2 МГц) и уровень шумов (8,8 нВ/√Гц) делают операционный усилитель OPA2188 идеальным решением для построения прецизионных систем измерения. Его важной особенностью является наличие Rail-To-Rail выхода. OPA2188 — это первый в своем классе операционный усилитель с размахом выходного сигнала, равным напряжению

питания, что упрощает разработку и может быть использовано в высоко- и низковольтных системах питания, требующих сверхвысокой точности, например, в испытательном и измерительном оборудовании, электронных весах, медицинском оборудовании и измерителях расхода.

Основные особенности и преимущества

- Архитектура с нулевым дрейфом (0,03 мкВ/°С) снижает потребность в калибровке системы в целом.
- Начальное напряжение смещения, равное 25 мкВ, позволяет реализовать датчик с высочайшим в своем классе разрешением.
- При полосе пропускания 2 МГц ток собственного потребления составляет всего лишь 475 мкА, что позволяет обеспечить высокую точность портативных медицинских приборов.
- Низкий уровень шума (8,8 нВ/√Гц) обеспечивает высокую точность системы.
- Входной диапазон синфазного сигнала «не дотягивает» 1,5 В до отрицательной шины питания и простирается до положительной шины, что позволяет уменьшить дополнительную схему при 5 В однополярном питании.

**National
Semiconductor**
The Sight & Sound of Information

AC/DC-драйверы светодиодов

Наименование	Диапазон входного напряжения	Оптимальная выходная мощность	Ток светодиодов	Поддержка димминга	Интегрированный MOSFET
LM3444	80...277 VAC	до 50 Вт	>1 А	нет	нет
LM3445	80...277 VAC	до 50 Вт	>1 А	TRIAC	нет
LM3448	85...265 VAC	до 10 Вт	350 мА	TRIAC	да

Москва
Техподдержка:
Сергей Игнатов
E-mail: ti@compel.ru

Санкт-Петербург
Техподдержка:
Алексей Бойков
E-mail: boikov.spb@compel.ru

Компэл
www.compel.ru

Александр Калачев (г. Барнаул)

ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ДАТЧИКИ ТЕМПЕРАТУРЫ ОТ TI (ЛИНЕЙКА NSC): ИЗМЕРЯЕМ ГДЕ И КАК УГОДНО



К линейке **цифровых термодатчиков TI** добавилась широкая номенклатура **аналоговых и цифровых термодатчиков от NSC**. Тут есть приборы на любой вкус: простые **аналоговые с выходом по напряжению и току, «термоключи»** для обнаружения перегрева прибора или узла, **датчики локальной температуры и температуры удаленного диода, мониторы температуры**.

Спектр приложений и задач, в которых может потребоваться измерение температуры, очень широк. Пожалуй, температуру можно назвать одним из самых часто измеряемых параметров. В некоторых случаях это может быть температура внешней среды, температура охлаждающих сред, в некоторых — самих приборов или их частей. Различаются также абсолютные диапазоны измерений и требования к точности измерений. Некоторое влияние оказывает и способ обработки измеренных данных — локально или удаленно.

Приобретение компании National Semiconductor добавило в спектр продукции Texas Instruments ряд линеек продуктов. В частности, это коснулось и интегральных датчиков температуры.

В линейке датчиков температуры National представлены аналоговые и цифровые изделия, некоторые — с рядом дополнительных функций. Имеются температурные датчики, основанные на различных физических эффектах — резистивные, полупроводниковые, микросхемы для работы с термопарами. Среди аналоговых датчиков присутствуют датчики с выходом по напряжению, токовые датчики, интегральные микросхемы датчиков с программируемым коэффициентом усиления, микросхемы,

содержащие схемы сравнения — т.н. термостаты или термосигнализаторы. Целый ряд микросхем предназначен для работы с удаленными датчиками температуры (в основном — с полупроводниковыми диодами). Кроме этого, отдельно стоит выделить интегральные контроллеры аппаратуры, содержащие в себе, помимо температурных датчиков или схем их опроса, схемы управления внешними устройствами, в частности, скоростью вращения вентилятора охлаждения [1].

Аналоговые температурные датчики

Аналоговые полупроводниковые температурные датчики National отличаются компактностью, простота схем включения, достаточно высокая стабильность передаточной характеристики, широкий диапазон напряжений питания и малый потребляемый ток. Температурный диапазон работы большинства датчиков лежит в пределах $-40...125^{\circ}\text{C}$, есть датчики, работающие и в более широком диапазоне — от -50 до 150°C . Ряд наиболее популярных серий приведены в таблице 1.

Датчики с выходом напряжения

Датчики с выходом по напряжению можно разделить на три большие группы:

- интегральные датчики с программируемым усилением;
- датчики с фиксированным коэффициентом усиления и выходом напряжения, пропорциональным температуре;
- датчики с выходным напряжением, пропорциональным одной из температурных шкал — по Цельсию/по Кельвину/по Фаренгейту.

Датчики с программируемым коэффициентом усиления представлены серией LM9402x. На текущий момент в нее входит три микросхемы — **LM94021, LM94022 и LM94023**.

Среди основных возможностей — широкий температурный диапазон измерений — от -50 до 150°C при минимальном напряжении питания всего $1,5\text{ В}$, токе потребления не более 15 мкА и ошибке измерений не более $2,1^{\circ}\text{C}$. Выход защищен от короткого замыкания, его малое выходное сопротивление позволяет ему работать с высокеемкостными входами — до величин порядка 1 нФ (например, УВХ АЦП или фильтр нижних частот). Один, как в случае с LM94023, или два (LM94021, LM94022) управляющих выводов GSx позволяют выбирать один из двух или четырех коэффициентов усиления. Это позволяет достигать оптимальных результатов в зависимости от требований приложения — или расширение измеряемого диапазона температур, или повышение чувствительности — от $5,5$ до $13,6\text{ мВ}/^{\circ}\text{C}$ для LM94021, LM94022 (от $5,5$ до $8,2\text{ мВ}/^{\circ}\text{C}$ для LM94023).

Датчики выполняются в компактных корпусах типа SC70 и microSMD. Минимальная схема включения не требует наличия внешних дополнительных элементов. Управляющие входы допуска-

Таблица 1. Пример аналоговых датчиков температуры линейки National

Наименование	Погрешность измерения, $^{\circ}\text{C}$	Диапазон напряжений питания, В	Рабочий температурный диапазон, $^{\circ}\text{C}$
LM94023	$\pm 1,5$	$1,5...5,5 @ 5,4\text{ мкА}$	$-50...150$
LM94022	$\pm 1,5$	$1,5...5,5 @ 5,4\text{ мкА}$	$-50...150$
LM94021	$\pm 1,5$	$1,5...5,5 @ 9\text{ мкА}$	$-50...150$
LM20	$\pm 1,5$	$2,4...5,5 @ 4,5\text{ мкА}$	$-55...130$
LM35	$\pm 0,5$	$4...30 @ 56\text{ мкА}$	$-55...150$

ют непосредственное подключение, как к общему проводу, так и к питанию без дополнительных подтягивающих резисторов.

Температурные датчики с фиксированной чувствительностью представляют собой достаточно простое решение для многих задач измерения и контроля температуры. Высокая линейность характеристики, надежность, высокая точность и низкое энергопотребление привели к тому, что ряд из них были признаны промышленным стандартом по факту, в частности — популярный датчик LM20.

На текущий момент к таким датчикам можно отнести датчики серий LM19, LM20. Датчики способны работать в диапазоне $-50...130^{\circ}\text{C}$, что перекрывает многие задачи контроля температуры. Диапазон питающих напряжений от 2,7 до 5,5 В при токе потребления порядка нескольких микроампер позволяет применять датчики в устройствах как со стационарным, так и с батарейным питанием. Чувствительность их составляет $11\text{ мВ}/^{\circ}\text{C}$.

Весьма интересным подмножеством аналоговых датчиков температуры National можно назвать датчики с выходными уровнями напряжения, пропорциональными одной из температурных шкал — Цельсия, Кельвина или Фаренгейта. Общим их свойством является линейная характеристика с чувствительностью $10\text{ мВ}/^{\circ}\text{C}$ одной из шкал.

Так, серии LM135, LM235 и LM335 являются температурными датчиками с выходным напряжением, пропорциональным шкале Кельвина — номинальное напряжение на выходе при температуре 0°C (273°K) равно 2,73 В, при температуре 100°C — 3,73 В. Температурный коэффициент датчиков — $10\text{ мВ}/^{\circ}\text{K}$ при максимальной ошибке на всей измеряемой шкале $\pm 2,7^{\circ}\text{C}$. При помощи внешнего подстроечного резистора можно добиться точности порядка $\pm 1^{\circ}\text{C}$. Датчики доступны в пластиковых — TO-92 и SO-8, и металлических — TO-46 корпусах.

Датчики серий **LM35**, **LM45**, **LM50** имеют выход в шкале Цельсия. Номинальный выход датчиков LM35, LM45 при 25°C — 250 мВ, а при 100°C — 1 В, чувствительность $10\text{ мВ}/^{\circ}\text{C}$. Более того, подключение резистора к выходу и отрицательному напряжению пита-

ния позволяет измерять и отрицательные температуры (ниже 0°C). Точность измерений датчиков в самом плохом варианте укладывается в $\pm 3^{\circ}\text{C}$. Стоит отметить, что ряд серий датчиков в данной группе способен обеспечить более высокую точность: так, погрешность LM35 в диапазоне -55 до 150°C составляет всего $\pm 1^{\circ}\text{C}$.

Датчик LM50 отличается от LM35/45 тем, что при аналогичной зависимости выходного напряжения от температуры ($10\text{ мВ}/^{\circ}\text{C}$) при 0°C имеет на выходе постоянное смещение в 500 мВ. Т.е., при температуре 0°C — на выходе датчика 500 мВ, 100°C — 1,5 В, и при -40°C — 100 мВ. Функциональным аналогом LM50 для систем с низковольтным питанием (от 2,7 В) является LM60/61/62 — при 0°C его выход равен 424 мВ, 1049 мВ при 100°C и 174 мВ при -40°C , температурная зависимость их положительна и равна $6,25\text{ мВ}/^{\circ}\text{C}$.

Аналогичная ситуация и с датчиками температуры по шкале Фаренгейта — LM34, способными измерять температуры от -50 до 300°F с погрешностью 2°F при аналогичном температурном коэффициенте $10\text{ мВ}/^{\circ}\text{F}$.

Токовые датчики

Устройства серий **LM134/LM234/LM334** можно применять по-разному. С одной стороны, они могут служить регулируемыми источниками тока (значение выходного тока задается внешним резистором), с другой — их выходной ток зависит от температуры: от 1 до 3 мкА/ $^{\circ}\text{C}$. Путем подбора величины внешнего сопротивления можно регулировать чувствительность датчиков или измерительный диапазон. Конечно, чувствительность в пару микроампер на градус не назовешь высокой, да и датчик на их основе будет требовать последующей калибровки, или использования в схеме прецизионного резистора. Но аргументом в пользу их выбора может стать то, что для их работы достаточно напряжения всего 1,2 В, следовательно, они могут быть востребованы в приложениях с батарейным или аккумуляторным питанием.

«Термоключи»

Одна из частых задач, возникающих в бытовой и промышленной технике —

обнаружение перегрева прибора или его узла. В линейке аналоговых датчиков температуры от National есть ряд приборов, сочетающих в себе температурный датчик, формирователь порогового уровня, компаратор и выходные силовые цепи (таблица 2).

Примерами таких устройств являются высокоинтегрированные температурные ключи серий **LM26** и **LM27**, выпускаемые в корпусе SOT-23. Обе серии могут эксплуатироваться в весьма жестких температурных условиях. Так серия LM26 работает в диапазоне от -55 до 125°C , а LM27 от -40 до 150°C при порогах срабатывания в диапазоне $120...150^{\circ}\text{C}$. Таким образом, они оптимальны для мониторинга перегрева силовых узлов, тем более, что обе имеют вход HYST, позволяющий задать гистерезис. Ширина петли гистерезиса от 2°C (при подключении вывода к общему проводу), до 10°C (при подключении к линии питания). Микросхемы имеют два выходных сигнала — аналоговый выход температурного датчика и выход с открытым стоком. Порог срабатывания задается при производстве.

Дальнейшим развитием является серия **LM26LV**. LM26LV представляет собой прецизионный низковольтный ключ, срабатывающий при превышении температуры определенного уровня. На выходе датчика формируется напряжение, пропорциональное температуре, и два пороговых сигнала. Аналоговый выход обладает достаточным входным/выходным током для работы на емкостную нагрузку. Один из пороговых сигналов — **OVERTEMP** — генерирует логический сигнал высокого уровня при превышении заданного порога, параллельно выход с открытым стоком **-OVERTEMP** становится активным. Входной сигнал **TRIPTEST** предназначен для внутрисхемного тестирования ключа. Высокий уровень на нем имитирует превышение порога и приводит к срабатыванию ключа. Порог срабатывания, так же, как и для LM26, LM27, задается при производстве и находится в пределах от 0 до 150°C с шагом 1°C . Диапазон напряжений питания от 1,6 до 5,5 В.

В качестве температурного ключа с задаваемым порогом срабатывания может применяться серия **LM57**, для которой порог задается парой внешних резисторов.

Таблица 2. Температурные ключи

Наименование	Метод задания порога, точность, $^{\circ}\text{C}$	Напряжение питания, В; ток потребления, мкА	Диапазон пороговых уровней температуры, $^{\circ}\text{C}$
LM26LV	Заводские предустановки, $\pm 2,2$	1,6...5,5; 8	0...150, шаг 1
LM26	Заводские предустановки, ± 3	2,7...5,5; 16	$-55...125$, шаг 1
LM27	Заводские предустановки, ± 3	2,7...5,5; 15	120...150, шаг 1
LM56	Пользовательский, ± 2	2,7...10; 110	$-40...125$, внешние резисторы
LM57	Пользовательский, $\pm 1,5$	2,4...5,5; 24	$-40...150$, внешние резисторы

Таблица 3. Цифровые датчики температуры линейки National

Наименование	Точность, °C; разрядность, бит	Напряжение питания, В; ток потребления, мА	Температурный диапазон, °C	Интерфейс
LM73	±2,0; 9	3...5,5; 1	-55...125	2-wire
LM75A	±2,0°; 9	3...5,5B; 1	-55...125	2-wire
LM92	±0,33 & ±0,5; 13	2,7...5,5; 0,625	-55...150	2-wire
LM74	±1,5; 13	2,65...5,5; 0,55	-40...150	3-wire
LM95071	±1,0; 14	2,4...5,5; 0,28	-55...150	3-wire
LM74	±1,25; 13	3...5,5; 0,52	-55...150	3-wire

LM56 является интегральной микросхемой-термостатом. Она содержит источник опорного напряжения 1,25 В, два компаратора со встроенным гистерезисом, температурный датчик (аналогичный LM60). Рабочий температурный диапазон LM56 составляет -40...125°C. Суммарная погрешность датчика и компараторов в пределах температур от 25 до 85°C составляет не более 2°C, в полном рабочем диапазоне от -40...125°C — не более 3°C, не считая погрешности внешних резисторов.

Цифровые температурные датчики

Цифровые датчики температуры объединяют в себе чувствительный полупроводниковый элемент, аналого-цифровой преобразователь, блок управления, содержащий управляющую логику и регистры конфигурации, и интерфейсный блок. Для датчиков Texas Instruments линейки National традиционно используются двухпроводной интерфейс SMBus/I²C, или трехпроводной SPI/Microwire. В линейку поставок входят датчики с разрядностью от 8 бит с погрешностью ±4°C до 16-бит с погрешностью при комнатных температурах всего ±0,33°C (таблица 3).

Датчики локальной температуры

Некоторые из цифровых датчиков имеют дополнительные сигнализирующие пороговые выходы. Но, в отличие от температурных ключей, порог их срабатывания, включая гистерезис, задается пользователем. Примером подобного датчика является прецизионный датчик **LM73** (корпус SOT23-6) с двухпроводным интерфейсом, совместимым с шинами SMBus и I²C. При полном рабочем диапазоне от -40 до 150°C его погрешность в пределах от -10 до 80 ±1°C. При помощи всего одной линии выбора адреса датчика на шине возможна установка для него одного из трех адресов в зависимости от состояния адресной линии — не подключена, подключена к общему проводу или подключена к напряжению питания.

Настройки LM73 позволяют оптимизировать его скорость и точность работы — разрешение датчика может варьироваться от 0,25°C/бит до 0,03°C/бит

(11...14-битное преобразование). Датчик имеет два режима работы. Это — обычный режим, в котором датчик все время находится в режиме непрерывного преобразования и выдачи данных, и режим низкого потребления, когда запуск преобразования и выдача результата проводятся по запросу внешнего устройства.

Датчик серии **LM92** может служить примером цифрового термостата. Он позволяет существенно упростить создание систем контроля температуры. При прекрасных показателях точности порядка 0,5°C, диапазоне питания 2,7...5,5 В и 12-битном АЦП, LM92 имеет два программируемых пороговых выхода INT и T_CRIT_A. Первый из них, INT, становится активным при выходе температуры за установленные пределы. Выход T_CRIT_A срабатывает при превышении температуры заданного порога. Два входа селекции адреса позволяют выбрать один из четырех адресов датчика на последовательной шине I²C.

Примерами датчиков, управляемых по шине SPI, могут служить популярные датчики **LM70**, **LM74**, **LM95071** и ряд других.

14-битный датчик LM95071 обеспечивает точность 2°C на полном рабочем температурном диапазоне и до 1°C в пределах 0...70°C, цифровой шум составляет всего один младший разряд. Для данного датчика также доступен режим непрерывного преобразования и режим низкого энергопотребления. Он выпускается в миниатюрном корпусе SOT-23.

Украшением линейки цифровых датчиков можно считать 24-битную однокристалльную систему сбора данных с температурных датчиков — **LMP90100**. Ключевыми ее свойствами является низкое энергопотребление, 24-битное сигма-дельта АЦП с автоматической калибровкой, управляемый коэффициент усиления, а также малый дрейф параметров в зависимости от времени или температуры. LMP90100 может работать как от внутреннего, так и от внешнего источника синхронизирующих импульсов, имеет несколько конфигурируемых цифровых линий ввода-вывода, SPI-интерфейс управления.

Встроенные опорные источники тока и напряжения позволяют напрямую работать с резистивными типами датчиков (мосты, терморезисторы, а также датчики давления и тензодатчики). Гибкий конфигурируемый входной мультиплексор позволяет работать даже с дифференциальными сигналами — например, возможны конфигурация на четыре дифференциальных входа или на семь одиночных, а также различные комбинации.

Датчики температуры удаленного диода

Данный тип датчиков предназначен для мониторинга температуры электронных компонентов, например, центрального процессора, специализированных микросхем типа ASIC или программируемых логических схем FPGA. Как правило, в таких устройствах предусмотрены выходы сенсорного диода (чаще всего сенсорным диодом является р-п-р-транзистор). В случаях критически важных систем, не имеющих подобного чувствительного диода, вместо него применяют транзистор **2N3904**. Впервые идея сенсорного температурного диода была воплощена в жизнь рядом производителей полупроводниковой продукции в 90-нм технологическом процессе (таблица 4).

В технологиях с меньшими размерами (например, 45 нм), выходной сигнал сенсорного диода может существенно отличаться в пределах серии элементов или в зависимости от конкретных реализаций технологии производителями. Для решения данной проблемы National предложила уникальную технологию компенсации, называемую TruTherm® (BTJ/Transistor beta-compensation technology). Помимо специализированных датчиков, работу с удаленными диодами поддерживает ряд серий цифровых температурных датчиков и мониторов аппаратуры.

В рамках семейства датчиков температуры удаленного диода присутствуют устройства, работающие с одним, двумя или четырьмя каналами.

Серии **LM86**, **LM89**, **LM90**, и **LM99** являются традиционными одноканальными датчиками температуры, управ-

Таблица 4. Датчики температуры удаленных диодов

Наименование	Точность, °C; корпус; число сигнальных линий	Метод измерений	Количество каналов
LM95245	±0,75; MSOP-8; 1	45 нм, TruTherm®	1
LM95235	±0,75; MSOP-8; 1	65 нм, TruTherm	1
LM95241	±1,25; MSOP-8; 1	65 нм, TruTherm	2
LM95234	±0,875; LLP-14; 3	65 нм, TruTherm	0...4
LM95214	±1,1; LLP-14; 3	Тр-р 2N3904	0...4

Таблица 5. Контроллеры аппаратуры

Серия	Метод контроля	Ключевые особенности
LMP92001	—	16-каналов, 12-бит АЦП, точность ±0,1% TUE, двенадцать 12-битных ЦАП, внутренний источник опорного напряжения, встроенный температурный датчик, 8-линий ввода-вывода, интерфейс I ² C.
LM96080	—	10-бит сигма-дельта АЦП, отслеживание 7 напряжений, локальная температура, измерение скорости вращения двух кулеров; интерфейс I ² C, совместимый с LM80
LM96194	PI & LUT	Монитор рабочей станции, 4 канала работы с удаленными диодами с технологией TruTherm, 4 сенсорных входа, 2 контроля кулера, 8 мониторов напряжения.
LM94	PI & LUT	Монитор сервера, 4 TruTherm канала работы с удаленными диодами, 4 сенсорных тач-входа, 2 контроллера кулеров, 16 линий контроля напряжения, контроллер 4-пинового кулера
LM96000	Linear	Монитор персонального компьютера, два канала измерения температуры удаленных диодов, dual RDTS, контроллер 4-пинового кулера
LM96163	12-point LUT	11-бит удаленный диод с TruTherm, улучшенный аналоговый тракт, цифровая фильтрация сигнала
LM81	—	Монитор напряжения, выход ЦАП, тач-входы

ляемыми по шине SMBus. Кроме показаний температуры датчик имеет два сигнализирующих вывода ALERT и T_CRIT_A, генерирующих сигналы при выходе температуры за заданные диапазоны и превышении критического уровня, соответственно.

Одноканальные датчики **LM95235** и **LM95245** выполнены с применением технологии TruTherm® BTJ/Transistor beta-compensation. LM95235 предназначены для мониторинга температуры процессоров Intel, выполненных по 65 и 90 нм технологии. LM95245 способны работать с сенсорными диодами по 45-, 60- и 90-нм технологии. В качестве дополнительной возможности LM95235 может осуществлять цифровую фильтрацию сигнала.

LM95221 имеет два сигнальных канала с разрешением 0,125°C. Более универсальным вариантом являются датчики **LM95231** и **LM95241**, выполненные с применением технологии TruTherm®.

Мониторы аппаратуры

В отдельный ряд можно вынести серии приборов, способных измерять собственную температуру и температуры удаленных диодов наряду с выполнением действий по управлению внешними устройствами. Общее их название — мониторы аппаратуры (*Hardware Monitors*). Типовыми задачами для них являются управление системами охлаждения/нагрева приборов или узлов, например, управление скоростью вращения вентилятора охлаждения. Кроме схем измерения температуры, настрой-

ки и управления порогами срабатывания, данные серии микросхем имеют схемы ШИМ- или PID-регулирования (таблица 5).

Средства отладки и разработки

Процесс разработки сенсорных решений имеет мощную поддержку в виде он-лайн инструментария WEBENCH, позволяющего помимо ряда других функций производить выбор необходимого типа температурного датчика для требований конкретных приложений. Также он позволяет определиться с типом чувствительного элемента — термопара/резистивный/полупроводниковый датчик и характеристиками последующего аналогового тракта [2-4].

Инструментарий SensorEval предназначен для работы с отладочными платами температурных датчиков и мониторов аппаратуры через USB-интерфейс. Более того — он поддерживает прямой доступ к температурным датчикам, расположенным непосредственно на материнских платах (с поддержкой наборов микросхем Intel) [5].

Для каждого из типов продукции National предлагаются отладочные платы, позволяющие оценить основные возможности датчиков, температурных ключей и мониторов аппаратуры.

Заключение

Как видно из данного далеко не полного обзора продуктов, предназначенных для задач измерения, контроля температуры, их спектр, предоставляемый линейкой National, довольно широк. Он гармонич-

но дополняет собственный ряд температурных датчиков Texas Instruments, легко интегрируется с микроконтроллерами, АЦП и силовой продукцией TI, как в плане точности и надежности, так и в плане энергопотребления.

Литература

1. Temp Sensors National Semiconductor — Temperature Sensors with TruTherm® Technology, Temp Switches, Hardware Monitors, Fan Controls, & other Thermal Management Products//<http://www.national.com/en/tempsensors/index.html>
2. Temp Sensor Eval Boards & Reference Designs National Semiconductor//<http://www.national.com/en/tempsensors/boards.html>
3. SensorEval Sensor Evaluation Software for Temperature Sensor Eval Boards National Semiconductor//<http://www.national.com/en/tempsensors/SensorEvalDescription.html>
4. Temp Sensor Software National Semiconductor//<http://www.national.com/en/tempsensors/software.html>
5. WEBENCH® SensorAFE Designer & WEBENCH Sensor Designer Tools National Semiconductor — Precision Sensor Path Circuit Design//<http://www.national.com/en/webench/sensors/index.html>.

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

Андрей Самоделов (г. Москва)

САМ СЕБЕ ИСПОЛНИТЕЛЬ И ДИРИЖЕР: ДВУХЪЯДЕРНЫЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ СЕМЕЙСТВА CONCERTO



Новые двухъядерные микроконтроллеры Concerto от Texas Instruments — идеальный выбор для центрального управляющего контроллера в сложных системах промавтоматики благодаря сочетанию ядра Cortex-M3 и DSP-ядра C2000 и сбалансированному распределению задач управления и обмена данными между двумя этими ядрами.

До недавнего времени в задачах управления постоянно приходилось выбирать между одно- и двухпроцессорными решениями. Однопроцессорное решение всегда было компромиссным вариантом между скоростью обхода алгоритмов, быстротой реакции на события и скоростью обмена данными по шине управления. Двухпроцессорные решения отличались дополнительными сложностями, возникающими при использовании отдельных процессоров для задачи управления и задачи обмена данными по шине управления. Эти сложности были связаны с необходимостью разрабатывать фактически два устройства и организовывать интерфейс обмена данными между ними. Это, в свою очередь, повышало стоимость решения и приводило к дополнительным задержкам при отработке команд и реакции на аварийные и нештатные ситуации.

2011 год ознаменовался выдающимся событием на рынке комплектующих для устройств промышленной автоматизации — появлением двухъядерных микроконтроллеров F28M35x семейства Concerto корпорации Texas Instruments (TI). Микроконтроллеры F28M35x явились логическим продолжением развития двух семейств. Первое — семейство микроконтроллеров Stellaris с ядром Cortex-M3 с бога-

тыми коммуникационными возможностями. Второе — семейство цифровых сигнальных процессоров (DSP) C28x, находящее все большее применение в системах электропривода, источниках питания, контроллерах преобразователей возобновляемых источников электроэнергии, а также в модемах для обмена данными по силовым линиям (PLC-модемы).

Микроконтроллеры Concerto в зависимости от производительности делятся на три подсемейства.

- **F28M35Exxx** — начального уровня с тактовой частотой ядер C28x/CORTEX-M3 60/60 МГц.

- **F28M35Mxxx** — среднего уровня с тактовой частотой ядер C28x/CORTEX-M3 75/75 МГц (базовое подсемейство).

- **F28M35Hxxx** — высокопроизводительное подсемейство с тактовой частотой ядер C28x/CORTEX-M3 150/75 МГц или 100/100 МГц.

Выбор частоты 150/75 МГц или 100/100 МГц для микроконтроллеров группы «Н» осуществляется путем выбора делителя в цепи тактового генератора.

В зависимости от наличия или отсутствия «тяжелых» коммуникационных интерфейсов (Ethernet, USB) микроконтроллеры выпускаются с суффиксами В (Base) — без интерфейсов или С (Connectivity) — с интерфейсами.

В таблице 1 приведена расшифровка маркировки микроконтроллеров F28M35.

Основные характеристики микроконтроллеров Concerto приведены в сводной таблице 2.

Микроконтроллеры Concerto состоят из трех основных подсистем: главной, управляющей и аналоговой. Для связи между главной и управляющей подсистемой служит блок межпроцессорного взаимодействия. Блок-схема микроконтроллеров Concerto приведена на рисунке 1.

Главная подсистема построена на ядре Cortex-M3 и содержит большое количество периферийных модулей для обмена данными, включая Ethernet 1588, USB OTG + PHY, CAN, UART, SSI, I²C и интерфейс внешней периферии (EPI).

Управляющая подсистема основана на ядре C28x и содержит блоки арифметики с плавающей точкой (FPU) и арифметический сопроцессор (VCU), позволяющий производить аппаратное вычисление функций Витерби, операции с комплексными числами и вычисление контрольных сумм. Наличие в управляющей подсистеме интерфейсов квадратурных энкодеров и модулей ШИМ с большим разрешением позволяет управлять системами, используя достаточно сложные алгоритмы.

Для организации гибкого обмена данными между главной и управляющей подсистемами служит блок межпроцессорного обмена (IPC), который содержит несколько однонаправленных (от M3 к C28 или наоборот) регистровых ОЗУ сообщений и конфигурируемых ОЗУ для обмена данными. Кроме того, Несколько регистров ОЗУ сообщений снабжены прерываниями,

Таблица 1. Расшифровка маркировки микроконтроллеров Concerto

TI Concerto	Тактовая частота, МГц	Внутренняя память, Байт	Ethernet, USB	Тип корпуса
F28M35	H = 150/75 M = 75/75 E = 60/60	20 = 256к + 256к Flash 22 = + 64к RAM (30 = 512к (M) + 256к (C))* 32 = + 64к RAM 50 = 512к + 512к Flash 52 = + 64к RAM	C = Есть B = Нет	2 = 200 + ball BGA 4 = 144-pin QFP

*— Микроконтроллеры с кодом 30 для размера внутренней памяти не выпускаются.

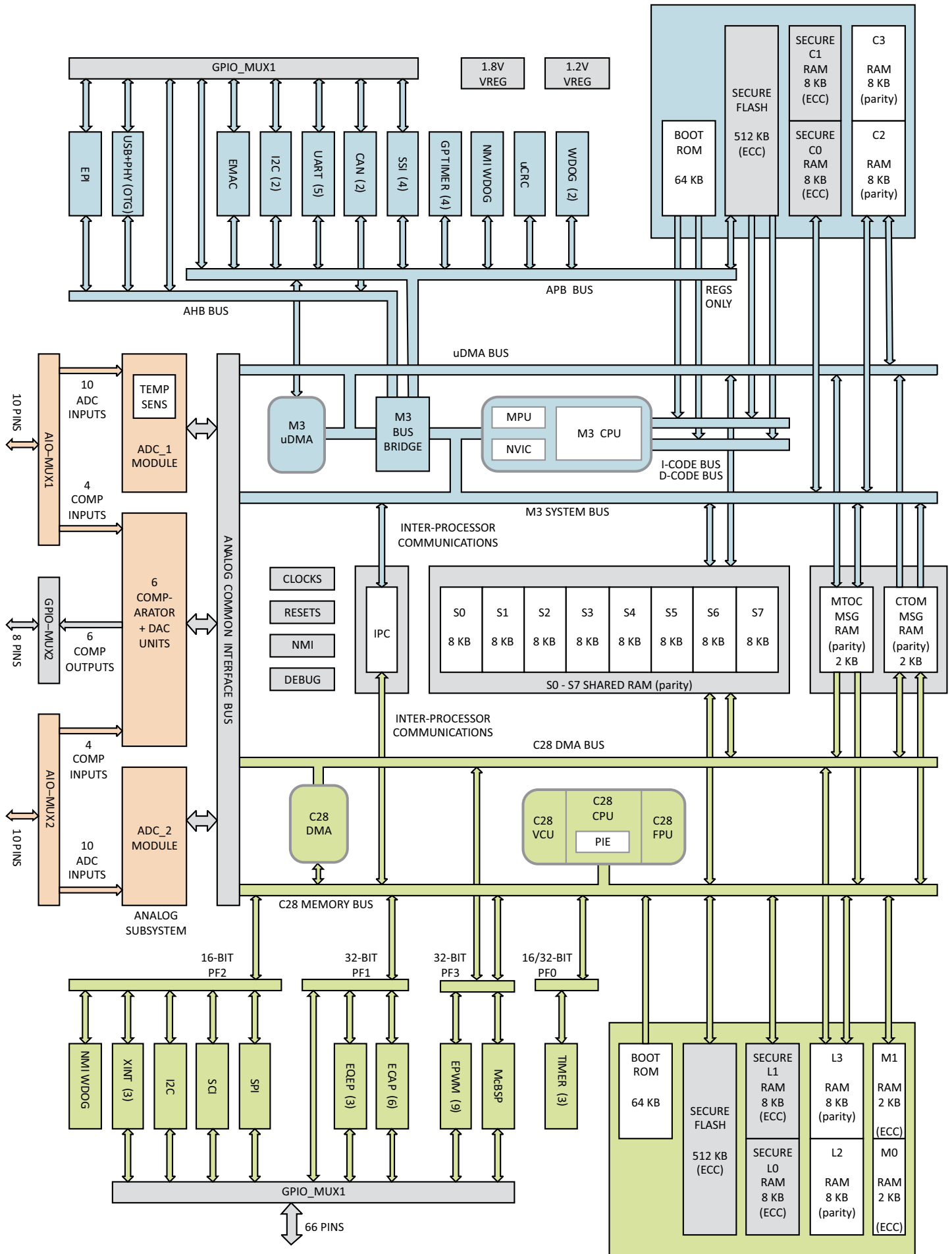


Рис. 1. Блок-схема микроконтроллера Concerto

Таблица 2. Основные характеристики микроконтроллеров Concerto

Характеристики	x20B	x20C	x22B	x22C	x32B	x32C	x50B	x50C	x52B	x52C
Процессор										
Частота, МГц (C28x/CM3)	60/60 (x=E); 75/75 (x=M); 150/75 или 100/100 (x=H)									
MMACS	187	187	187	187	187	187	187	187	187	187
FPU	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
VCU	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
DMA	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Память										
Загрузочное ПЗУ, кбайт	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64
ОЗУ, кбайт	72	72	136	136	136	136	72	72	136	136
Flash, кбайт	512	512	512	512	768	768	1024	1024	1024	1024
EMIF	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Интерфейсы управления										
ШИМ, каналов	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
ШИМ высокого разрешения	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Таймеры	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Каналы захвата событий	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
QEP/QEI	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
АЦП, разрешение	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
АЦП, каналов	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
АЦП, производительность MSPS	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8
Компараторы	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Порты обмена данными										
USB (OTG)	—	+	—	+	—	+	—	+	—	+
ENET	—	+	—	+	—	+	—	+	—	+
SPI	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
SCI	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
CAN	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
I²C	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
McBSP	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Прочее										
Тактовые генераторы	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Линии ввода/вывода	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64
Напряжение питания линий ввода/вывода, В	3,3/3,3	3,3/3,3	3,3/3,3	3,3/3,3	3,3/3,3	3,3/3,3	3,3/3,3	3,3/3,3	3,3/3,3	3,3/3,3
Тип корпуса	144HTQFP									
Температурный диапазон, °C	-40...125									

что позволяет обмениваться критичными данными в режиме реального времени, не отвлекая процессоры на опрос битов регистра межпроцессорного взаимодействия.

Для измерения аналоговых величин микроконтроллеры Concerto имеют развитую аналоговую подсистему, доступную для обоих ядер. Аналоговая подсистема содержит два модуля 12-разрядных 10-канальных АЦП с четырьмя устройствами выборки-хранения и шесть аналоговых компараторов. Такая конфигурация позволяет на этапе проектирования устройства гибко распределять аналоговые ресурсы между главной и управляющей подсистемой. Управление АЦП происходит по прерываниям, а обмен измеренными значениями можно осуществлять, используя прямой доступ к памяти.

Функции контроля и блокировки памяти и регистров управления дополнительно повышают надежность

устройств, собранных на микроконтроллерах Concerto.

Главная подсистема

Главная подсистема состоит из ядра Cortex-M3 с Гарвардской архитектурой, привилегированным и пользовательским режимом доступа к памяти и Little-endian-форматом представления чисел; контроллера прямого доступа к памяти μ DMA; контроллера вложенных векторных прерываний NVIC; набора стандартных периферийных модулей Cortex-M3; локальной памяти, содержащей до 64 кбайт загрузочного ПЗУ, до 512 кбайт flash-памяти с ECC, до 32 кбайт ОЗУ с ECC/контролем четности и до 2 кбайт ОЗУ сообщений IPC.

Команды и данные ядро Cortex-M3 считывает из flash-памяти через шины ICODE и DCODE, соответственно.

Обмен данными между ядром Cortex-M3/блоком μ DMA и управляющей подсистемой осуществляется через

разделяемые ресурсы (канал межпроцессорного обмена данными — IPC): ОЗУ сообщений (MSG RAM) и разделяемое ОЗУ (Shared RAM).

Ядро Cortex-M3 обменивается данными с собственными периферийными модулями через шину M3 CPU Sbus АНВ-Lite, мост System Bus Bridge и далее через шину APBx для низкоскоростных периферийных устройств и шину АНВх для высокоскоростных периферийных устройств.

Блок μ DMA обменивается данными с собственными периферийными модулями через шину M3uDMA АНВ-Lite Bus, мост System Bus Bridge и далее через шину APBx для низкоскоростных периферийных устройств и шину АНВх для высокоскоростных периферийных устройств.

Обмен данными с аналоговой подсистемой осуществляется через шину ACIB. Главная подсистема может принимать немаскируемые прерывания от блока NMI и посылать сигналы в блок сброса.

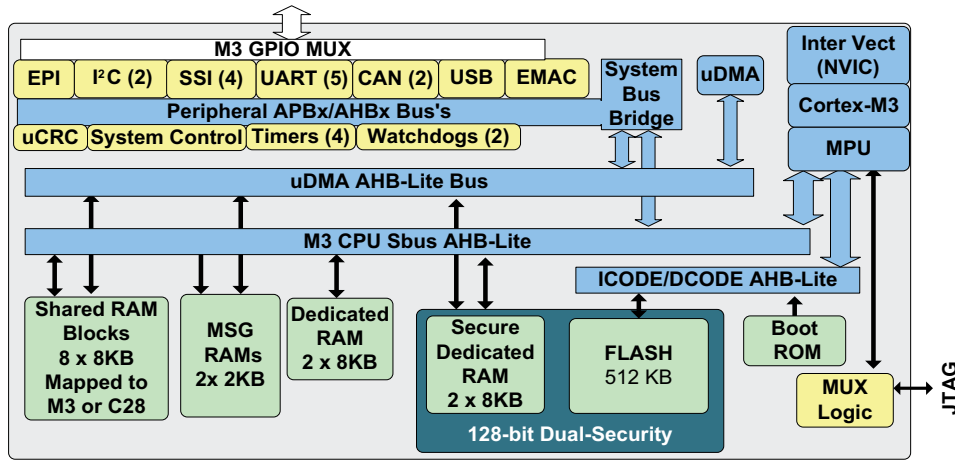


Рис. 2. Главная подсистема микроконтроллеров Concerto

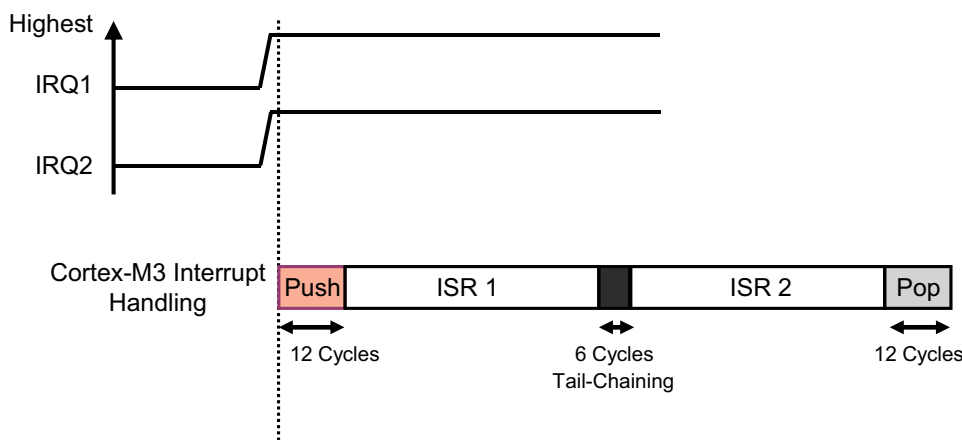


Рис. 3. Обработка одновременно пришедших прерываний

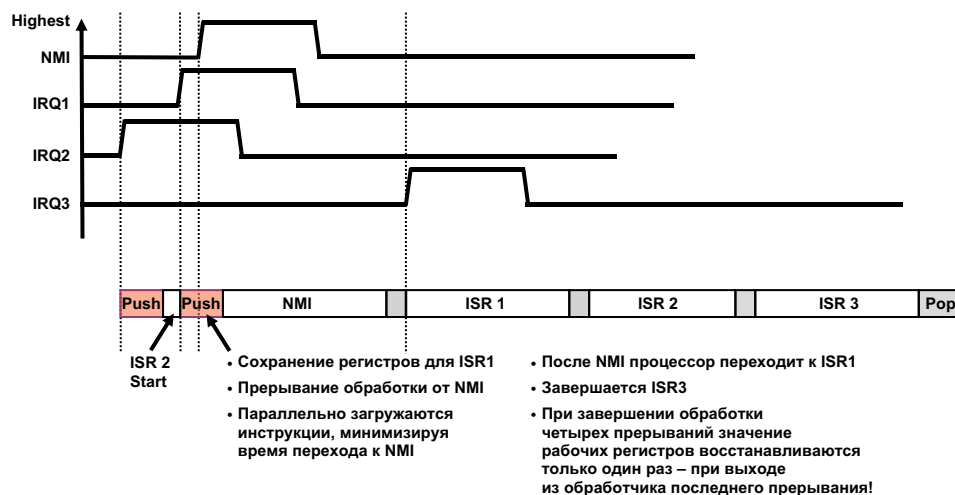


Рис. 4. Пример сложной обработки прерываний

На рисунке 2 показана главная подсистема микроконтроллеров Concerto.

Периферийные модули главной подсистемы

Периферийные модули главной подсистемы представлены стандартным для Cortex-M3 набором, состоящим из двух

сторожевых таймеров (WDT0 и WDT1), сторожевого таймера с немаскируемым прерыванием NMI WDT, четырех таймеров общего назначения, четырех модулей SSI, двух CAN-контроллеров, пяти UART, двух модулей I²C, модуля Ethernet, модуля USB + PHY, интерфейса внешней периферии (EPI) и

блока вычисления контрольных сумм (μ CRC).

Прерывания подсистемы CortexM3

Одной из отличительных особенностей микроконтроллеров с ядром Cortex-M3 является детерминированная реакция на прерывания. Это позволяет использовать главную подсистему, в том числе и в приложениях с жестким реальным временем.

Управляет прерываниями контроллер вложенных векторных прерываний (NVIC), к основным задачам которого относятся: назначение приоритетов и обработка всех исключений; автоматическое обслуживание прерываний; реализация упреждающих/вложенных прерываний; полный доступ из привилегированного режима.

К исключительным ситуациям (исключениям) относятся: 10 типов исключительных ситуаций ядра Cortex M3; до 91 периферийных прерываний (GPIOs, UART, USB,...), которые группируются по приоритетам.

На рисунке 3 показана обработка одновременно пришедших прерываний

За 12 циклов происходит сохранение содержимого основных регистров и вход в процедуру ISR1 обработки прерывания IRQ1. Еще шесть циклов требуется для перехода от обработчика прерывания ISR1 к ISR2. И 12 циклов необходимо для выхода из обработчика ISR2 и восстановления содержимого основных регистров.

Такая процедура требует на 65% меньше циклов работы с основными регистрами, чем у ядра ARM7.

На рисунке 4 показан достаточно сложный пример: обработка вложенных прерываний, прерванная немаскируемым прерыванием, имеющим наивысший приоритет.

Основа работы главной подсистемы Concerto – быстрая реакция на внешние прерывания (рисунок 5). В этом плане она похожа на менеджера среднего звена, который принимает указания от руководства компании (система внешнего управления), быстро реагирует на них, составляя задания подчиненным (управляющая подсистема), и ожидает дальнейших указаний от руководства или сообщений о внештатных ситуациях (перегрузки по току и напряжению, КЗ, обрывы, перегрев) от исполнителей.

Главное приложение обычно выполняется в фоновом режиме. Системные обработчики прерываний (таймеры, сбои, датчик температуры) выполняются с наивысшими приоритетами. Обработчики прерываний от модулей обмена данными (Ethernet, CAN, UART) имеют меньший приоритет. Часто программа строится таким образом, что в промежутках между обработкой преры-

ваний главная подсистема (а возможно и весь микроконтроллер) находится в спящем режиме, что позволяет значительно снизить энергопотребление.

Управляющая подсистема

Управляющая подсистема построена на базе хорошо зарекомендовавшего себя ядра C2000 в связке CPU+FPU+VCU. FPU содержит сопроцессоры для работы как с целочисленной, так и с вещественной арифметикой. Кроме того, в состав управляющей подсистемы входят: контроллер прерываний (PIE), блок DMA, периферийные модули и локальная память (до 512 кбайт Flash-памяти с ECC, до 36 кбайт ОЗУ с ECC/контролем четности и до 2 кбайт ОЗУ сообщений IPC). Ядро C28x и блок DMA C28x через системную шину имеют доступ к разделяемым ресурсам (IPC, ОЗУ сообщений, разделяемое ОЗУ), а через шину ACIB — к периферийным модулям аналоговой подсистемы.

На рисунке 6 показана структурная схема управляющей подсистемы микроконтроллеров Concerto.

Модуль VCU

Модуль VCU позволяет значительно сократить время выполнения стандартных для алгоритмов управления операций и состоит из трех функциональных блоков:

Блока вычисления CRC (CRC Unit, CU), поддерживающего форматы CRC8, CRC16 и CRC32 для данных, хранящихся в памяти и byte-wise вычисления, для поддержки режима PRIME в PLC-моделях.

Блока вычисления функций Витерби (Viterbi Unit, VU), поддерживающего эффективную программную реализацию декодера Витерби за счет выполнения инструкций ADD-Compare-Select и аппаратной реализации обратных связей. Модуль за один цикл выполняет инициализацию метрик для $CR=1/2$ и за два цикла — для $CR=1/3$; за два цикла — операцию «бабочка» для алгоритма Витерби и за три цикла — операцию обратного прохода.

Модуля расширенной арифметики (Arithmetic Unit, AU), поддерживающего операции с комплексными числами и вычисление БПФ: за два цикла выполняет умножение комплексных чисел $16 \times 16 = 32$ разряда для вещественной и мнимой частей; за один цикл — сложение; за два цикла комплексное умножение с накоплением (MAC). Имеется инструкция, позволяющая за пять тактов выполнить 16-разрядную операцию «бабочка» для БПФ.

Периферийные модули управляющей подсистемы

Набор периферийных модулей управляющей подсистемы содержит

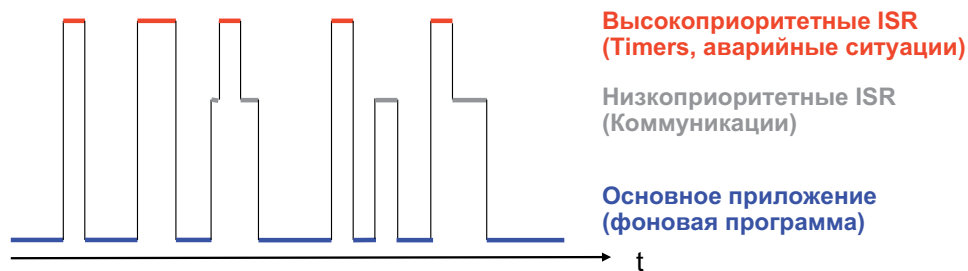


Рис. 5. Основной алгоритм работы главной подсистемы

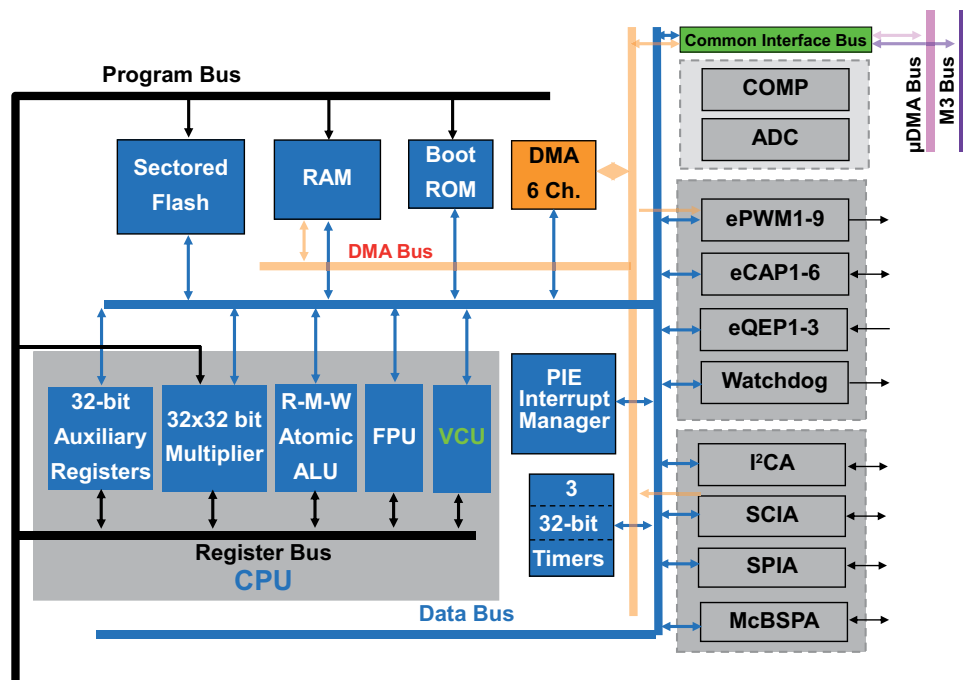


Рис. 6. Управляющая подсистема микроконтроллеров Concerto

знакомые по микроконтроллерам C2000 узлы, такие как: сторожевой таймер NMI WDT; три таймера общего назначения; четыре типа последовательных портов — SCI, SPI, McBSP, I²C; три типа модулей управления (девять модулей ePWM, шесть модулей eCAP и три модуля eQEP).

Ядро C28x имеет доступ к периферийным модулям через шину памяти, а блок DMA C28x имеет доступ к модулям McBSP и ePWM через шину DMA C28x.

Периферийные модули C28x могут генерировать сигналы для блока прерываний PIE, блока DMA C28x и аналоговой подсистемы.

Наиболее важным периферийным модулем управляющей подсистемы является расширенный ШИМ (Enhanced PWM, ePWM). Каждый модуль ePWM имеет два синхронных выхода, EPWMxA и EPWMxB. Частота каждого модуля может выбираться независимо, но может синхронизироваться или реализовываться задержка по фазе. Блок-схема модуля ШИМ показана на рисунке 7.

Каждый из 16-разрядных счетчиков в качестве входного сигнала использу-

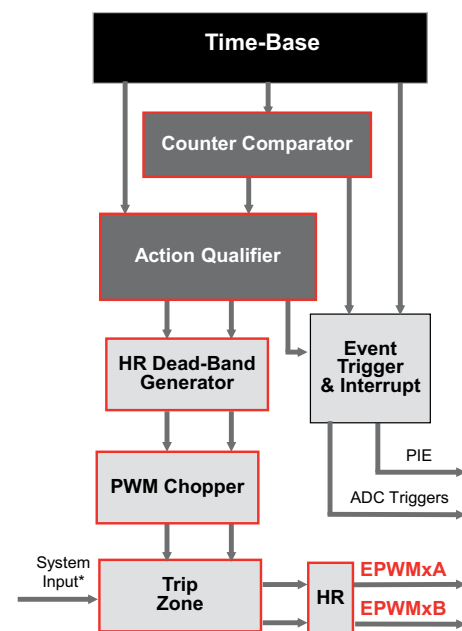


Рис. 7. Модуль ШИМ управляющей подсистемы

ет системный тактовый сигнал, поделенный на необходимое значение.

Счетчик/компаратор (Counter Comparator, CC) избавляет от необ-

Таблица 3. Доступность ресурсов аналоговой подсистемы

Ресурсы	C28 DMA	C28	M3 uDMA	M3
Результат АЦП	+	+	+	+
COMP_DAC	+	+	—	—
Конфигурирование АЦП	+	+	—	—
GPIO	+	+	—	—

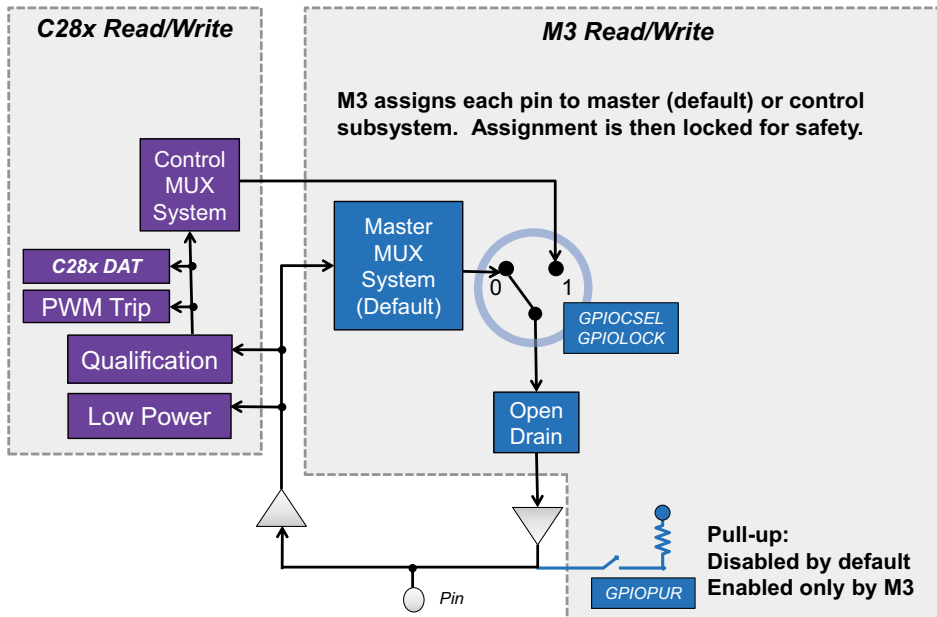


Рис. 9. Принцип работы цифровых мультиплексоров

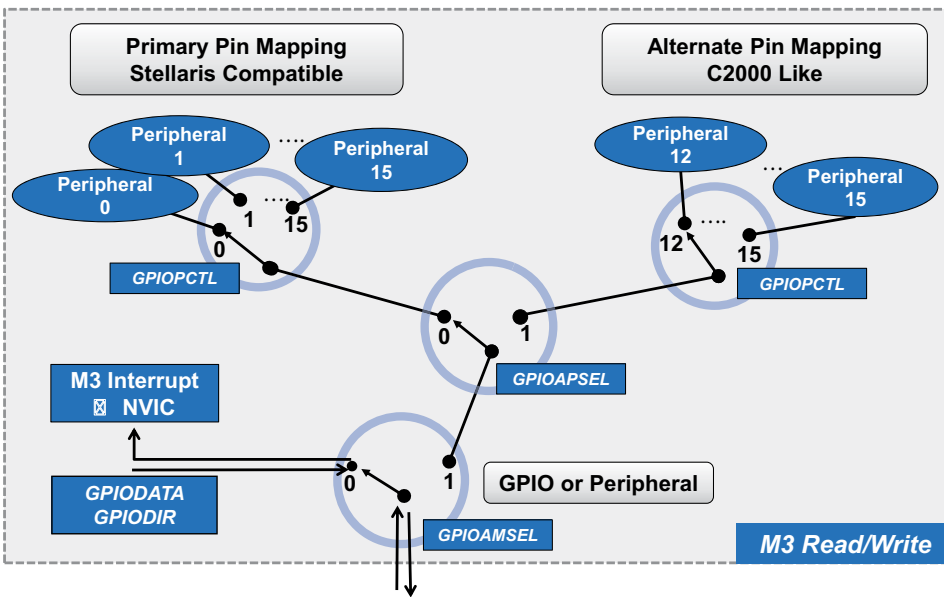


Рис. 10. Маршрутизация сигналов через мультиплексоры

ходимости прерывать работу CPU при генерации ШИМ-сигналов. Является источником событий: CMPA, CMPB, CMPC, CMPD.

Блок квалификации операций (Action Qualifier) следит за любыми событиями: установка PWMxA/B (High, Low, Toggle, Do Nothing); создает программируемые события или генерирует прерывания.

Программируемый генератор «мертвого времени» (High-Res Dead-Band

Generator) позволяет определять задержку до фронта импульса и после спада (с разрешением ~150 псек).

Прерыватель сигнала ШИМ (PWM Chopper) позволяет модулировать выходной сигнал ШИМ высокочастотным сигналом.

Программируемый генератор защитной зоны (Trip Zone Generator Time-Base) позволяет быстро перевести выходы ШИМ в заданное состояние (Hi, Low или Hi-Z), выполнять однократное или

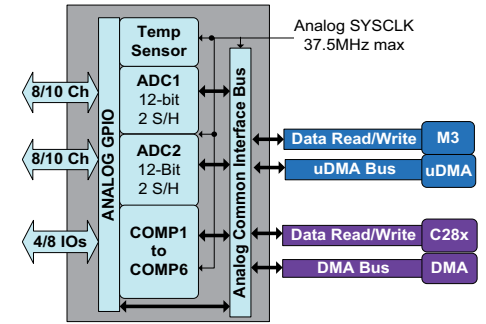


Рис. 8. Аналоговая подсистема микроконтроллеров Concerto

циклическое ограничение тока, и может генерировать события, отфильтрованные события или защитные условия.

Выходы с высоким разрешением (High Resolution Outputs) обеспечивают высокое разрешение (~150 псек) для частоты повторения, ширины импульса, длительности «мертвого времени» и фазового сдвига.

Аналоговая подсистема

Аналоговая подсистема (рисунок 8) состоит из двух 10-канальных 12-разрядных АЦП ADC1 и ADC2, каждый из которых имеет по две независимые схемы УВХ S/H и шесть компараторов COMP1...COMP6 с опорой в виде внутренних 10-битных ЦАП. Такое построение АЦП позволяет снимать значения с четырех разных каналов практически одновременно или оцифровывать один и тот же сигнал двумя модулями АЦП со сдвигом (аппаратно), что в два раза повышает эффективное быстродействие. Преобразование в АЦП запускается специальным сигналом, поступающим от главной или управляющей подсистемы. После окончания преобразования генерируется прерывание, которое перенаправляется в подсистему, запустившую преобразование. К одному из каналов АЦП ADC1 подключен датчик температуры.

Подключение линий аналоговой подсистемы к выводам микроконтроллера осуществляется с помощью аналоговых мультиплексоров AIO_MUX1 и AIO_MUX2.

В таблице 3 приведена доступность ресурсов аналоговой подсистемы со стороны главной и управляющей подсистемы.

Мультиплексоры

Для назначения каждому из выводов микроконтроллера функций цифрового ввода-вывода (GPIO) сигнальных линий периферийных модулей или аналоговых входов служат блоки мультиплексоров (рисунок 9). Микроконтроллеры Concerto имеют два цифровых мультиплексора (GPIO_MUX1 и GPIO_MUX2) и два аналоговых AIO_MUX1 и AIO_MUX2. Несмотря на свое назва-

ние, аналоговые мультиплексоры могут пропускать и цифровой сигнал, только с меньшим количеством функций.

По умолчанию после сброса микроконтроллера все выводы подключены к главной подсистеме. Подтягивающие резисторы отключены и могут подключаться только из главной подсистемы.

Маршрутизация сигналов через мультиплексоры состоит из трех этапов (рисунок 10):

1. С помощью регистра GPIOAMSEL выбирается, будет ли вывод использоваться как линия GPIO или как линия периферийного модуля.

2. С помощью регистра GPIOAPSEL выбирается к периферийному модулю какой из подсистем, главной или управляющей, будет подключен вывод.

3. С помощью регистра GPIOPCTL выбирается, к какой из линий какого периферийного модуля будет подключен вывод.

Тактирование

Система тактирования микроконтроллеров Concerto показана на рисунке 11. Основной тактовый генератор может работать или от внешнего кварцевого резонатора, подключаемого к выводам X1 и X2, или от внешнего тактового генератора, подключаемого к выводу X1. С выхода генератора сигнал подается на умножитель частоты с ФАПЧ, на схему формирования тактового сигнала USB и на схему слежения за сигналами тактирования. К схеме слежения подключены также два сигнала тактирования от внутреннего генератора: сигнал с частотой 10 МГц и сигнал с частотой 32 кГц. Сигнал частотой 10 МГц используется в качестве основного сигнала тактирования после сброса микроконтроллера и в качестве дополнительного сигнала при пропадании сигнала основного генератора. Кроме того, оба сигнала (10 МГц и 32 кГц) используются в качестве основных сигналов тактирования в режимах пониженного энергопотребления.

После прохождения умножителя с ФАПЧ сигнал основного тактового генератора (или один из вспомогательных сигналов тактирования) попадает на блок делителей, который и определяет частоты сигналов тактирования всех трех подсистем микроконтроллера (рисунок 12). При выборе коэффициента умножения блока ФАПЧ и коэффициентов деления делителей для главной и управляющей подсистем следует учитывать, что у микроконтроллеров группы N максимальная частота для ядра C28x составляет 150 МГц, в то время как максимальная частота для ядра Cortex-M3 составляет 100 МГц. Поэтому соотношение частот может быть либо 150/75, либо 100/100. Максимальная частота сигнала тактирования аналоговой подсистемы составляет 37,5 МГц. Сигнал

Таблица 4. Максимальные частоты тактирования подсистем микроконтроллеров Concerto

Максимальные частоты				
C28x МГц CLKIN	M3 МГц M3SSCLK	Аналоговая МГц ADCCLK	ADC MSPS ADCCLK/13	EPI МГц M3SSCLK/2
150,0	100,0	37,5	2 x 2,885	50,0

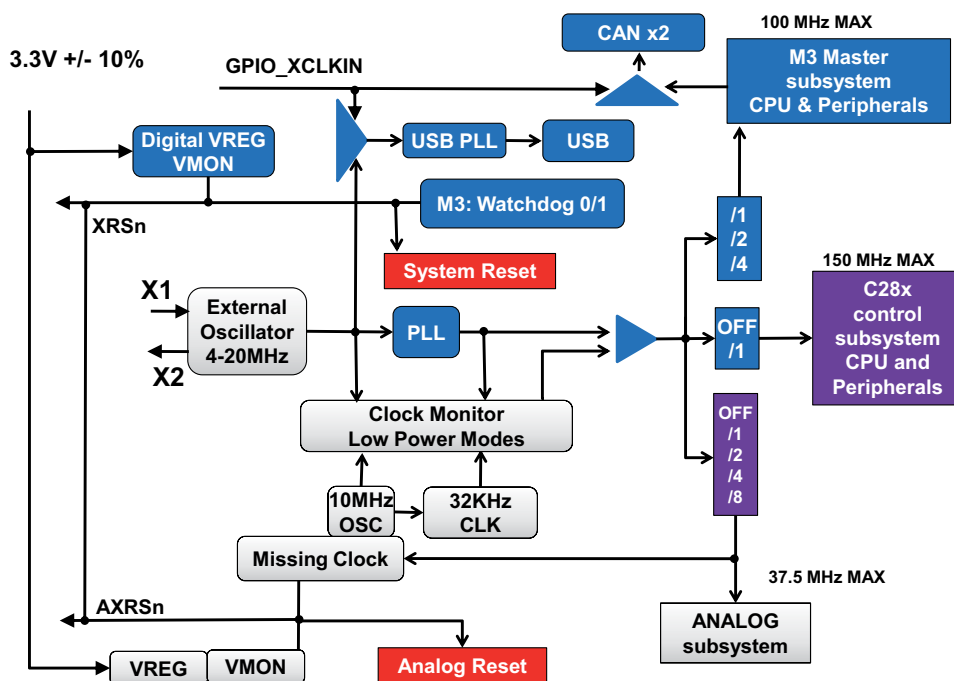


Рис. 11. Система тактирования микроконтроллеров Concerto

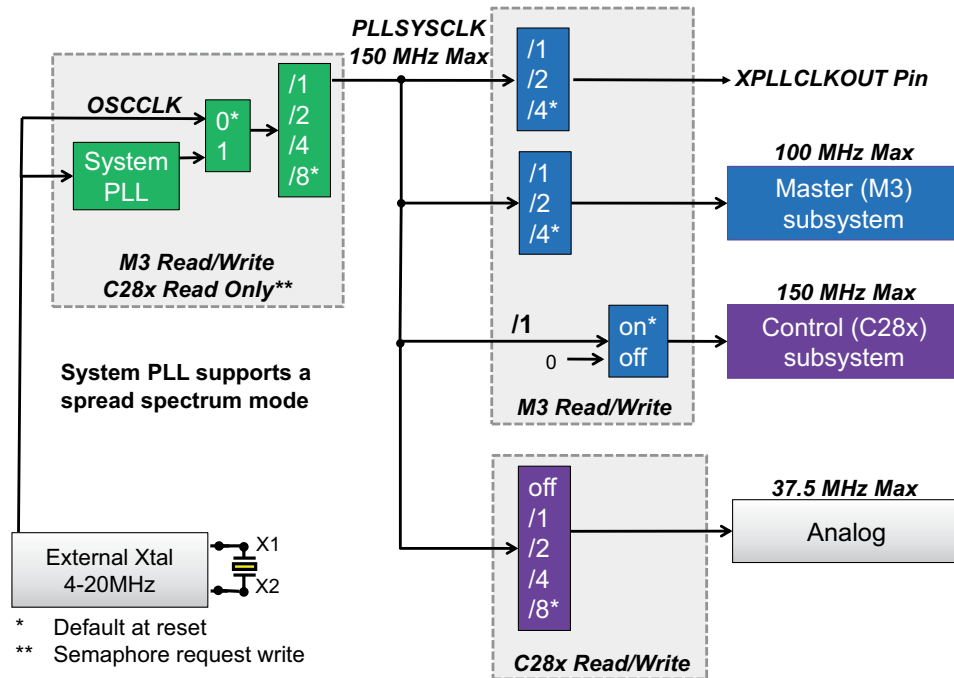


Рис. 12. Системный тактовый генератор с ФАПЧ

для тактирования ядра C28x берется непосредственно с выхода блока ФАПЧ. Остальные сигналы получают путем деления на один из коэффициентов: 1/2/4/8. В таблице 4 приведены максимальные частоты тактирования, а в таблице 5 возможные комбинации ча-

стот тактирования подсистем микроконтроллеров Concerto.

Режимы пониженного энергопотребления

Подсистема Cortex-M3 может работать в одном из трех режимов: рабочий

Таблица 5. Возможные комбинации частот тактирования подсистем микроконтроллеров Concerto

Возможные комбинации частот				
C28x МГц CLKIN	M3 МГц M3SSCLK	Аналоговая МГц ADCCLK	АЦП MSPS ADCCLK/13	EPI МГц M3SSCLK/2
150,0	450,0 (/4)	450,0 (/4)	—	—
	75,0 (/2)	75,0 (/2)	—	37,5
	37,5 (/4)	37,5 (/4)	2 x 2,885	18,75
	—	18,75 (/8)	2 x 0,480	—
100,0	100,0 (/1)	25,0 (/4)	2 x 1,923	50,0
60,0	60,0 (/1)	30,0 (/2)	2 x 2,308	30,0

режим (Run Mode), режим сна (Sleep Mode) или режим глубокого сна (Deep Sleep Mode). Режим сна и режим глубокого сна отличаются от основного (рабочего) режима тем, что в них процессор и память Cortex-M3 отключены от тактового генератора. Это приводит к приостановке выполнения кода. С целью снижения энергопотребления в режиме глубокого сна выключаются главный генератор с ФАПЧ и генератор USB с ФАПЧ.

Подсистема C28x также может работать в одном из трех режимов: нормальный режим (Normal Mode), режим простоя (Idle Mode) или режим ожидания (Standby Mode).

В режиме простоя отключается сигнал тактирования ядра C28x, и процессор C28x останавливает выполнение инструкций. Для выхода из режима простоя можно использовать любое разрешенное прерывание или немаскируемое прерывание C28x.

В режиме ожидания процессор C28x останавливает выполнение инструкций, и отключаются все сигналы тактирования. Для выхода из режима ожидания можно использовать или сигнал с линии, или прерывание от блока МТОС модуля IPC.

Заключение

В лице семейства микроконтроллеров Concerto разработчики получили от компании Texas Instruments великолепное семейство микросхем, способных удовлетворить самые взыскательные требования к сердцу современной системы управления. Разделение функций обмена данными и управления между двумя подсистемами великолепно зарекомендовавших себя микроконтроллеров позволяет использовать все имеющиеся наработки для микроконтроллеров Stellaris и DSP C2000 с минимальной модификацией кода. Наличие мощных средств разработки позволяет быстро начать проектирование собственных систем и за минимальное время выйти на рынок встраиваемых приложений.

Компания КОМПЭЛ является официальным дистрибьютором Texas Instruments и может обеспечить разработчиков как самими процессорами, так и средствами разработки для ознакомления с возможностями микроконтроллеров.

Литература

1. 28x + ARM Cortex M3 Concerto Series. <http://focus.ti.com/mcu/docs/mcuproductcontentnp.tsp?sectionId=95&familyId=2049&tabId=2743>

2. Concerto F28M35x Technical Reference Guide. <http://www.ti.com/litv/pdf/spruh22>

3. F28M35E52C Concerto Microcontroller. <http://focus.ti.com/docs/prod/folders/print/f28m35e52c.html>

4. F28M35H Concerto Microcontrollers. Datasheet. <http://www.ti.com/lit/gpn/f28m35h52c>

5. Stellaris ARM Cortex-M3-based Microcontrollers. <http://focus.ti.com/mcu/docs/mculuminaryprodoverview.tsp?sectionId=95&tabId=2486&familyId=1755&docCategoryId=10&viewType=mostrecent&DCMP=Luminary&HQS=Other+OT+stellaris>

6. 32 bit Real-time C2000 Microcontrollers. <http://focus.ti.com/>

[mcu/docs/mcuprodooverview.tsp?sectionId=95&tabId=1531&familyId=916](http://focus.ti.com/mcu/docs/mcuprodooverview.tsp?sectionId=95&tabId=1531&familyId=916)

7. C2000 32 bit 28x Piccolo Series. <http://focus.ti.com/paramsearch/docs/parametricsearch.tsp?familyId=919§ionId=95&tabId=1533&family=mcu>

8. C2000 32 bit 28x Delfino Floating-point Series. <http://focus.ti.com/paramsearch/docs/parametricsearch.tsp?family=mcu§ionId=95&tabId=2108&familyId=1414¶mCriteria=no>

9. Новые двухъядерные микроконтроллеры для систем управления F28M35x семейства Concerto корпорации Texas Instruments/Андрей Самоделов//Компоненты и технологии. — 2011. — № 10-12. **5**

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


**TEXAS
INSTRUMENTS**

КОНЦЕРТ для двух ядер

Семейство МК Concerto™ F28x35



Два ядра

- 60, 75, 100, 150 МГц **C28x**
- 60, 75, 100 МГц ARM **Cortex-M3**

Модуль вычислений с плавающей точкой (FPU)

Память

- от 512 кБ до 1 МБ FLASH
- от 76 кБ до 136 кБ SRAM

Богатый выбор интерфейсов

- 10/100 Ethernet MAC 1588
- USB 2.0 OTG PHY
- 2xCAN
- SPI, UART, I²C
- 8/16/32-битный интерфейс внешней памяти

Москва
Техподдержка:
Сергей Игнатов
E-mail: ti@compel.ru

Санкт-Петербург
Техподдержка:
Алексей Бойков
E-mail: boikov.spb@compel.ru


Компэл
www.compel.ru

Александр Калачев (г. Барнаул)

6LOWPAN – ВЗГЛЯД НА БЕСПРОВОДНЫЕ IP-СЕТИ ОТ TEXAS INSTRUMENTS



Сенсорная сеть глобального масштаба? Отслеживание процессов и событий через обычную компьютерную сеть? Сети 6LoWPAN открывают такую возможность – взаимодействие с беспроводными сенсорными сетями становится удобнее. Texas Instruments совместно с Sensinode предлагают элегантные решения для развертывания сетей 6LoWPAN – сетевой процессор CC1180 с встроенным стеком протоколов NanoStack lite.

Одна из главных составляющих современного мира – информационные и электрические сети. Девиз компании Sun Microsystems – «Сеть – это компьютер».

Мощность сети определяется количеством задействованных в ней узлов и способностью протоколов эффективно использовать заложенные возможности. Сетевые возможности применяются во многих отраслях деятельности – мониторинг и управление объектами; сбор, передача и первичная обработка данных и многое другое. При этом узлы сети могут иметь существенные различия по вычислительным, коммуникационным ресурсам и по ресурсам памяти.

Особенно ценным качеством сети является ее способность интегрировать различные устройства с разными функциями и предоставляемыми ресурсами. Определяющую роль при этом играют сетевые протоколы – стек протоколов. Яркий пример этому – стек протоколов TCP/IP, лежащий в основе подавляющего большинства современных сетей различного уровня, масштаба и назначения. Самая крупная и самая используемая из них – сеть Internet, предоставляющая глобальные коммуникации, услуги, сервисы. Более важным фактором является то, что разработаны стандарты обработки информации и разработки приложений для сетей TCP/IP. Сеть Internet уж включает в себя несколько миллиардов узлов и стоит на пороге перехода на новую версию протокола IP – IPv6, обеспечивающую более гибкую схему адресации и приличный запас адресного пространства.

Повсеместное внедрение систем автоматизации и автоматизации, несмотря на кажущуюся порой избыточность, показало свою эффективность. В основе

этого – разветвленные сети датчиков (сенсоров), управляемых узлов и механизмов. Даже для небольшого автоматизированного объекта их количество может превышать несколько сотен. Более того, современные задачи автоматизации требуют прозрачного межмашинного взаимодействия (M2M interaction), развитых сервисов, взаимодействия с базами данных и даже пользовательского интерфейса. В этом ключе использование инфраструктуры сети Internet для построения распределенной масштабируемой системы выглядит весьма соблазнительно.

Прямая поддержка протоколов Internet для подавляющего большинства узлов сенсорных сетей невозможна. Причин тому несколько:

- ограниченные ресурсы источника питания (автономные устройства);
- недостаточные вычислительные возможности;
- малый объем памяти.

К этому добавляются достаточно большой объем заголовков и пакетов сетевых протоколов.

Для выхода из данной ситуации IETF разработан стек протоколов 6LoWPAN («IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks» – стандарт взаимодействия по протоколу IPv6 поверх маломощных беспроводных персональных сетей стандарта IEEE 802.15.4) [1] – версия протокола IPv6 для беспроводных сенсорных сетей с низким энергопотреблением. Ключевыми особенностями сетей 6LoWPAN являются:

- доступность любого узла сети по его адресу;
- отсутствие необходимости в шлюзе прикладного уровня для работы с узлами сети.

Так как 6LoWPAN является протоколом сетевого уровня, то может ис-

пользоваться с любым физическим и канальным уровнем, аналогичная ситуация – и со стеком TCP/IP. Более того, не обязательно использовать беспроводную среду передачи. Для поддержки больших сетей узлы 6LoWPAN могут выполнять роль маршрутизаторов, есть возможность маршрутизации с ориентацией на уровень сигнала, что позволяет передавать данные на низкой мощности, экономя энергоресурс источника питания. Отсутствует единая точка оттока сети.

6LoWPAN: краткая характеристика

Предлагаемая на текущий момент реализация стека протоколов 6LoWPAN рассчитана на субгигагерцовый диапазон, и это не случайно [2]. Причина заключается в следующем. Во-первых, данный диапазон не требует лицензирования практически во всех странах мира (так, или иначе, ряд частотных полос этого диапазона доступен для свободного использования). Во-вторых, при равных затратах энергии на прием и передачу, по сравнению с диапазоном 2,4 ГГц, за счет большей длины волн можно обеспечить устойчивую связь на большем расстоянии. Также заметно меньше влияние препятствий в виде стен, перегородок машин, деревьев, что важно для систем, работающих в городских условиях. Это позволяет применять субгигагерцовые приемопередатчики для организации сетей как персонального (до 10 метров), так и локального масштаба. Верхний предел дальности связи колеблется на отметке 800 метров. Скорости передачи данных также хватает для типовых приложений сенсорных сетей – от 50 до 200 кбит/с.

Целевые приложения стека 6LoWPAN включают в себя достаточно большие масштабируемые сети с подключением к IP-сетям (Internet, intranet или extranet). Несмотря на хорошую масштабируемость, потенциально прозрачное управление и легкий доступ к узлам, они подходят не для всех применений. В частности, текущая версия стандарта стека протоколов требует постоянной активности маршрутизаторов для корректной передачи данных.

Тем не менее, эта особенность позволяет минимизировать занимаемый стеком 6LoWPAN объем flash-памяти (около 20 кБ для CC1180) в конечном устройстве (узле сети), а следовательно, минимизировать стоимость сетевого процессора.

Некоторые области перекликаются с рядом профайлов ZigBee (см. рисунок 1), но не стоит думать, что назревает конкуренция стандартов и решений, скорее — взаимодействие и дополнение друг друга, особенно в плане интеграции сервисов, расширения зон действия сети.

Основные области применения:

- интеллектуальные системы учета;
- управление уличным освещением;
- промышленная автоматика;
- логистические системы, отслеживание товаров или объектов инвентаризации;
- коммерческие охранные системы, системы контроля и управления доступом;
- некоторые военные приложения.

Список, конечно же, не окончательный и решение всегда остается за разработчиком.

Архитектура сетей 6LoWPAN несколько отличается от традиционных архитектур IP-сетей (наличие специализированного коммутационного оборудования, маршрутизаторов,

медиа-конверторов) и от сложившихся архитектур беспроводных сетей сбора данных. Ближе всего к ней находится архитектура WiFi-сетей, хотя и от нее есть ряд отличий.

Прежде всего, 6LoWPAN являются подсетями IPv6-сетей, т.е. они могут взаимодействовать с другими сетями и узлами IP-сети, но не являются транзитными для ее сетевого трафика. Сети 6LoWPAN состоят из узлов, которые могут также исполнять роль маршрутизаторов (host и router), кроме этого в сети может присутствовать один или более так называемых граничных маршрутизаторов (edge routers). Участие в маршрутизации не является обязательным требованием для узла сети, и он может играть роль, аналогичную роли конечного устройства в сетях ZigBee или устройства с ограниченной функциональностью для сетей 802.15.4, в терминологии 6LoWPAN — «хост-узел» (host). Узел, способный выполнять маршрутизацию в пределах сети 6LoWPAN, называется роутером, или маршрутизатором (router). Граничный маршрутизатор отвечает за взаимодействие подсети 6LoWPAN с сетью IPv6, участвует в процедуре инициализации и маршрутизации в подсети 6LoWPAN, осуществляет компрессию/декомпрессию заголовков IPv6 при обмене с внешней сетью, в случае подключения

к сети IPv4 может играть роль шлюза IPv6<=>IPv4. Узлы подсети разделяют 64-битный префикс IPv6, который также является частью сетевого адреса граничного маршрутизатора. Для адресации внутри сети можно пользоваться оставшимися шестидесятью четырьмя битами (MAC-адрес сетевого интерфейса) или использовать сжатие адреса и укороченную 16-битную схему адресации (младшие два байта MAC-адреса). Предполагается, что сетевой адрес напрямую включает адрес сетевого интерфейса, это исключает необходимость применения протокола разрешения сетевых адресов (протокола ARP).

Выделяют три типа сетей 6LoWPAN: 1) ad-hoc, 2) простая 6LoWPAN-сеть, 3) расширенная 6LoWPAN-сеть (рисунок 2).

Ad-hoc-сеть не имеет подключения к внешней IP-сети, не имеет граничного маршрутизатора. Является самоорганизующейся сетью, использующей стек протоколов 6LoWPAN для организации работы и передачи данных между узлами.

Простая 6LoWPAN-сеть подключена к другой IP-сети при помощи одного граничного маршрутизатора. Граничный маршрутизатор может быть подключен к внешней IP-сети напрямую (подключение типа «точка-точка», например, GPRS/3G-модем) или может входить в состав кампусной сети (например, сети организации).

Расширенная 6LoWPAN-сеть состоит из одной или нескольких подсетей, подключенных к внешней IP сети через несколько граничных маршрутизаторов, подключенных к одной сети (например локальная сеть организации). При этом граничные маршрутизаторы в расширенной сети разделяют один и тот же сетевой префикс. Узлы расширенной сети могут свободно перемещаться в пределах сети и осуществлять обмен с внешней сетью через любой граничный маршрутизатор (обычно выбирается маршрут с наилучшими показателями качества сигнала — уровень ошибок, уровень сигнала).

Взаимодействие между узлами сети 6LoWPAN, а также взаимодействие с внешними узлами осуществляется так же, как и в обычной IP-сети. Каждый узел имеет свой уникальный IPv6-адрес и может принимать и передавать пакеты IPv6. Упрощенная структура стека протоколов 6LoWPAN в сравнении со стеками TCP/IP и ZigBee представлена на рисунке 3. Обычно узлы имеют поддержку протокола ICMPv6 и UDP. Прикладные протоколы чаще всего используют бинарный формат данных при работе по UDP-протоколу в сетях 6LoWPAN. В отличие от TCP/IP-стека, в 6LoWPAN нет поддержки протокола транспортного уровня TCP — из-за

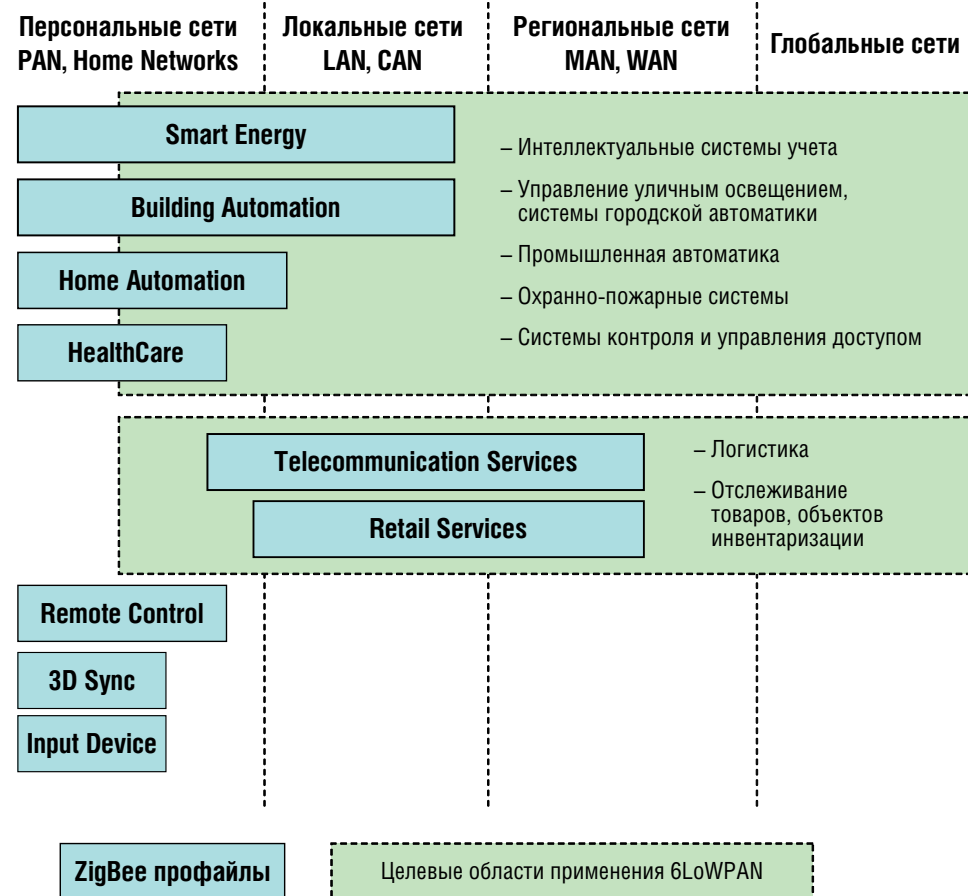


Рис. 1. Сравнительные области применения и возможный территориальный охват сервисов ZigBee и 6LoWPAN

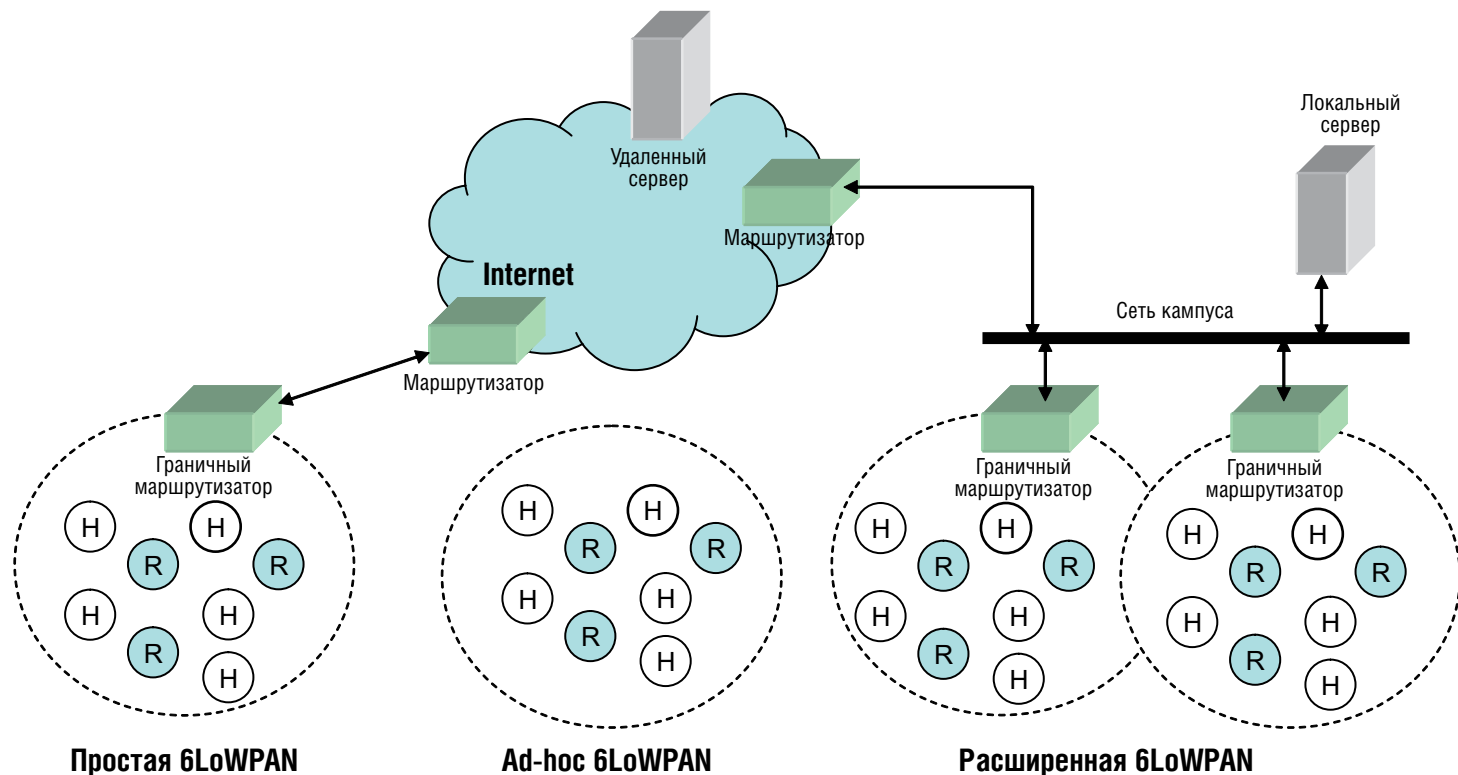


Рис. 2. Архитектура сетей 6LoWPAN

больших накладных расходов на формирование пакетов и из-за особенностей работы протокола, которые существенно затрудняют его применение в сенсорных беспроводных сетях. (Подтверждение пакетов и установление/разрыв соединения требуют частой работы приемопередатчика узла, и, как следствие, повышенного потребления энергии).

Так же как и сети ZigBee, сети 6LoWPAN являются самоорганизующимися. Для этого используется стандартная техника сетей IPv6. На базе установленных параметров стека автоматически устанавливается оптимальная топология связей между узлами в сети. Оптимальные маршруты определяются на основе метрик.

Процедура инициализации и работы сети 6LoWPAN заключается в следующем:

- соединение узлов на канальном уровне (commissioning);
- инициализация сетевого уровня, обнаружение соседних узлов, регистрация в сети (bootstrapping);
- установление маршрутов (route initialization).
- предыдущие пункты периодически повторяются для поддержания работоспособности сети.

Для мониторинга работы сети 6LoWPAN применяется специальный программный механизм, называемый доской объявлений (whiteboard) и хранящийся на граничном маршрутизаторе. Whiteboard применяется для:

- обнаружения дублирования адресов;

- поддержки мобильности узлов (для расширенных сетей 6LoWPAN);
- генерации коротких адресов;
- локализации узлов сети;
- ведение черного списка узлов.

NanoStack 2.0 lite

Решения Texas Instruments для 6LoWPAN основываются на собственных аппаратных разработках и программном обеспечении компании-партнера Sensinode Ltd — одного из лидеров в области программных продуктов для 6LoWPAN. Компанией Sensinode разработан стек протоколов **NanoStack lite 2.0** для организации сетей 6LoWPAN.

6LoWPAN является более простым по структуре, чем стек ZigBee, более прозрачным с точки зрения прикладного программного обеспечения. Следствием этого является меньший объем бинарного кода: для стека Sensinode NanoStack он составляет примерно 20 кБ, что в среднем в 4...6 раз меньше размера стека ZigBee.

По сути NanoStack 2.0 lite является операционной системой, ориентированной на обработку событий. Периферийные устройства, такие как таймеры, АЦП, интерфейсы ввода-вывода, обрабатываются в основной программе. Обработка прерываний осуществляется драйверами устройств.

Так же как и стек протоколов ZigBee, NanoStack lite 2.0 использует физический и канальный уровни стандарта 802.15.4.

Стек протоколов NanoStack может применяться как на однокристальных системах (системы-на-кристалле серий CC430), так и в связке «сетевой процессор **CC1180** плюс микроконтроллер». Для поддержки этого в состав стека входят два различных набора API-функций: NAPSocket API и NanoSocket API. Программный интерфейс предоставляет возможности для работы приложения в сети, такие как опрос узлов, конфигурирование беспроводных сетевых интерфейсов.

TCP/IP			6LoWPAN		ZigBee	
HTTP			Прикладные протоколы		Приложения	
RTP			UDP		Профайлы ZigBee	
TCP			UDP		APS (подуровень поддержки приложений)	
UDP			ICMP		NWK (сетевой уровень)	
ICMP			IPv6 с 6LoWPAN		DLC (уровень канала передачи данных)	
IP			IEEE802.15.4e MAC		IEEE802.15.4 MAC	
Ethernet MAC			IEEE802.15.4g PHY		IEEE802.15.4 PHY	
Ethernet PHY						

Рис. 3. Сравнительная структура стеков TCP/IP, 6LoWPAN, ZigBee

Для построения маршрутов стек NanoStack от Sensinode использует протокол RPL 0.13 (draft-ietf-roll-rpl-13 от IETF). Гибкий механизм определения метрик позволяет настроить протокол на определение путей в соответствии с требованиями конкретного приложения. При этом в NanoStack протокол RPL входит как модуль, что позволяет Sensinode производить его независимую модернизацию и оптимизацию. NanoStack позволяет при наличии соответствующей вычислительной мощности у граничного маршрутизатора формировать достаточно большую и разветвленную сеть 6LoWPAN — максимальное количество переходов в маршруте (хопов) составляет 254. Единственным ограничением является то, что данные от узла к узлу всегда проходят через граничный маршрутизатор.

Структура стека NanoStack lite 2.0 представлена на рисунке 4.

Каждому узлу ставится в соответствие ранг таким образом, что он возрастает по мере удаления узла от граничного маршрутизатора. В протоколе RPL это называется ориентированным направленным графом расстояний (Destination Oriented Directed Acyclic Graph — DODAG). Пересылка пакета граничному роутеру состоит в пересылке его соседнему узлу с наименьшим рангом. Узлы, на которых запущен RPL, обмениваются сигнальной информацией (т.н. информационные объекты графа расстояний — объекты DAG или DIO) для поддержания графа DODAG в актуальном состоянии. Все узлы в сети периодически генерируют DIO-

пакеты для оповещения соседей о своем ранге. Каждый узел кроме информации о ближайшем маршрутизаторе хранит информацию о нескольких альтернативных с большими рангами (от 0 до 3 альтернативных узлов), и при выходе из строя маршрутизатора или нарушении связи с ним передача пакетов будет идти через один из резервных узлов. Это позволяет обеспечить отказоустойчивость сети.

Все беспроводные узлы, работающие под управлением NanoStack lite, способны выполнять роль маршрутизаторов.

Для встраиваемых систем возможны следующие варианты реализации работы в сети:

Приемопередатчик совместно с управляющим микроконтроллером. В этом случае микроконтроллер отвечает за работу сетевого стека и за работу прикладных задач. Приемопередатчик подключается к контроллеру через последовательный интерфейс (как правило, используется SPI или UART). В случае Texas Instruments возможно использование практически любого приемопередатчика на базе CC1101.

Вторым вариантом является применение систем-на-кристалле, содержащих в одном корпусе на одном кристалле и приемопередатчик, и микроконтроллер. Процессорное ядро контроллера при этом также выполняет и стек протоколов, и приложения. Данное решение является более компактным и во многих случаях выгоднее энергетически (меньшая общая потребляемая мощность по сравнению с вариантом «приемопередатчик + микроконтроллер»).

И в том, и в другом случае при отладке приложения необходимо отслеживать работу как стека протоколов, так и приложения. Кроме того, некорректная работа приложения может привести к прекращению выполнения стека, и, как следствие, выхода узла из сети, что, в свою очередь, может повредить выполнению распределенного приложения. Аналогично, ошибки в работе стека могут привести к зависанию микроконтроллера или прекращению выполнения приложения. Узел в этом случае перестает выполнять свои функции.

Третьим вариантом является разнесение выполнения прикладной задачи и стека протоколов на разные микроконтроллеры. Микроконтроллер, выполняющий стек протоколов, часто называется сетевым процессором.

NanoSocket API

Для систем-на-кристалле (для случая выполнения стека протоколов и прикладной задачи на одном контроллере) используется библиотека NanoSocket API [3] (рисунок 5), предоставляющая интерфейс для задания настроек беспроводного приемопередатчика, стека протоколов и работы с самим стеком. Библиотека подключается на этапе компиляции проекта в среде IAR и представляет собой файл библиотеки .lib с несколькими заголовочными файлами.

Командный интерфейс отвечает за обработку всех запросов и ответов на них, связанных с конфигурацией узла, стека протоколов или сети. Сокетный интерфейс используется при обмене данными 6LoWPAN. События генери-

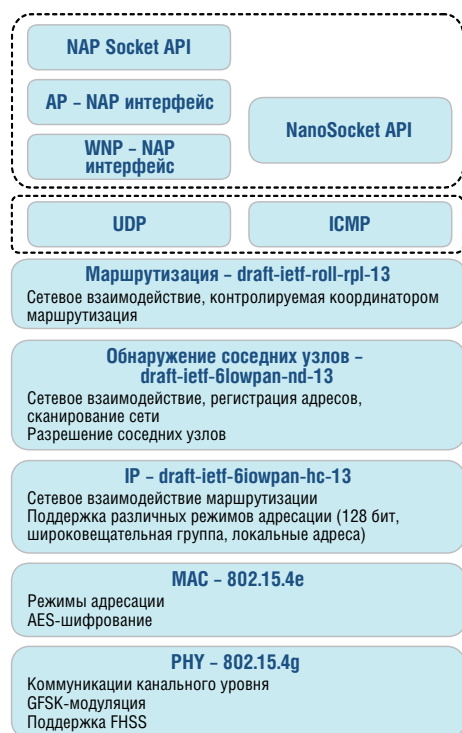


Рис. 4. Структура стека протоколов NanoStack lite 2.0

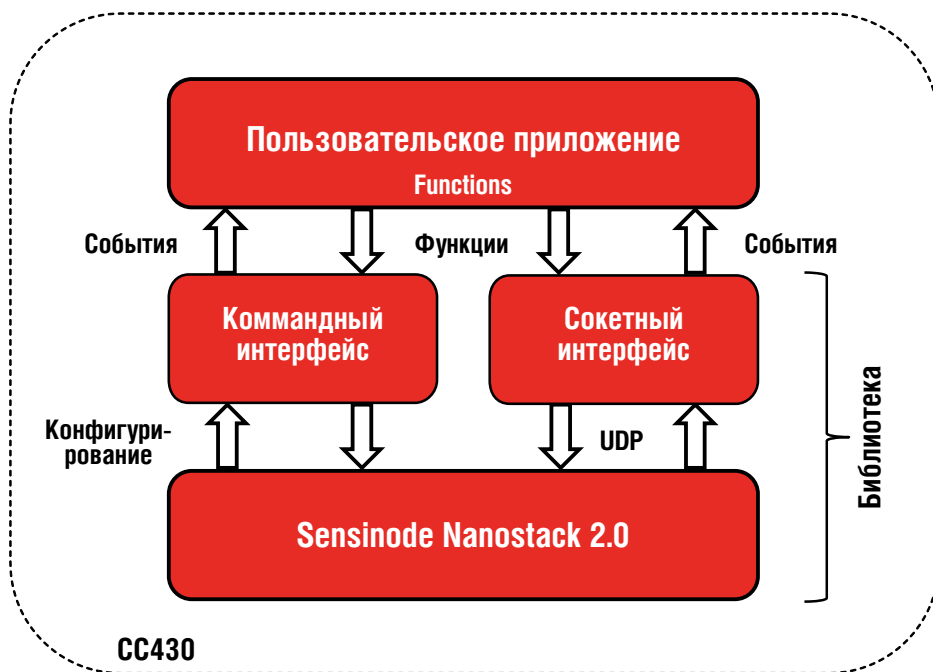


Рис. 5. Взаимодействие стека протоколов NanoStack с прикладным приложением

руются при приходе пакетов данных, ответов на запросы или других событий стека NanoStack 2.0.

Для обработки событий стека протоколов пользователь переопределяет функцию `tasklet_main()`. Данная функция вызывается каждый раз при приходе данных с буфер-сокетов или при генерации событий стека.

Основные типы обрабатываемых событий, кроме событий, связанных с приемом или передачей данных являются:

- инициализация библиотеки;
- прием данных через UART;
- события таймера;
- ряд служебных событий стека.

Сетевой процессор CC1180

Сетевой процессор CC1180 является системой-на-кристалле **CC110F32**, поставляющейся с прошитым стеком протоколов NanoStack 2.0 Lite компании Sensinode для сетей 6LoWPAN [4-6]. CC1180 выполняет все критически важные и ресурсоемкие процессы, связанные с работой сетевых протоколов, экономя ресурсы внешнего микроконтроллера для решения прикладных задач. Взаимодействие с внешним контроллером (часто называемым прикладным контроллером или контроллером приложений) осуществляется по интерфейсу UART с протоколом обмена NAP. Например, возможно использование микроконтроллеров серии **MSP430** или любых других. Сетевой процессор позволяет легко расширить функциональность создаваемой или существующей системы за счет подключения к 6LoWPAN-сети.

Версия прошивки стека может быть обновлена при помощи т.н. загрузчика NanoBoot, позволяющего загрузить образ стека в микроконтроллер.

Протокол NAP содержит небольшое количество достаточно простых функций, позволяющих настраивать параметры беспроводного узла, принимать и передавать данные. Программный интерфейс близок к сокетам, знакомым по TCP/IP-сетям, что отчасти упрощает жизнь прикладному программисту.

Ключевые особенности:

- простая интеграция в сеть 6LoWPAN;
- распространенный UART-интерфейс;
- простой и функциональный протокол взаимодействия;
- обновление прошивки через радио (при условии, что у узла достаточно памяти для временного хранения образа);
- большой выбор возможных диапазонов частот — 315/433/868/915 МГц;
- выходная мощность радиосигнала от -30 до +10 дБм;
- скорости передачи данных: 50, 100, 150, 200 Кбит/с;

- AES шифрование в пределах подсети;

- диапазон напряжений питания от 2 до 3,6 В;

- компактные размеры — корпус QFN36 — 6х6 мм.

NAPSocket API

При работе с сетевым процессором CC1180 приложение компилируется на хост-контроллер совместно с библиотекой NAPSocket API, аналогично содержащей скомпилированную библиотеку и набор заголовочных файлов [5, 7-9]. Функции, предоставляемые NAPSocket API, аналогичны функциям NanoSocket API с тем отличием, что библиотека выполняется на отдельном микроконтроллере и обмен сообщениями и данными с частью стека, выполняемой на сетевом процессоре, происходит по последовательному интерфейсу (UART или SPI) при помощи протокола NAP [8] (рисунок 6). В случае с процессором CC1180 используется UART-интерфейс. Так же, как и в предыдущем случае, прикладной программист должен определить функцию, ответственную за обработку событий. Обработчик событий прописывается при вызове функции инициализации библиотеки — `library_init()` [7, 9].

В принципе, разработчик может взаимодействовать с CC1180, не используя NanoSocket API, самостоятельно формируя и обрабатывая сообщения NAP-протокола.

Обе библиотеки для передачи данных между узлами предоставляют привычный интерфейс сокетов с поддержкой основных операций: `socket`, `bind`, `send`, `read`, `close` и ряда других. Также выделены API для настроек беспроводного приемопередатчика: выходная мощность, скорость передачи данных, режим перестройки частот, разнесение

каналов — и функции конфигурации сети: старт сети, остановка сети, задание AES ключа и т.д.

Ознакомительный комплект CC-6LOWPAN-DK-868

Ознакомительный комплект CC-6LOWPAN-DK-868 (рисунок 7) позволяет пользователям посмотреть работу сетей 6LoWPAN, начать разработку собственных сетевых приложений на базе данного протокола. В составе комплекта — беспроводные модули Texas Instruments с программным обеспечением от Sensinode (стек протоколов NanoStack) [10,11].

CC-6LOWPAN-DK-868 демонстрирует два способа реализации и применения стека NanoStack — для систем-на-кристалле и с использованием сетевого процессора CC1180.

В состав комплекта входят:

- граничный маршрутизатор 6LoWPAN на базе микроконтроллера **OMAP-L138** с модулем CC1180EM в качестве беспроводного интерфейса;
- две отладочные платы EM430F5137RF900 Rev 3.2;
- две платы CC1180DB.

Граничный маршрутизатор содержит программное обеспечение Sensinode NanoRouter 2.0 и способен присоединять к сети и взаимодействовать с узлами, работающими под управлением стека протоколов NanoStack 2.0 lite. В предлагаемой в ознакомительном комплекте версии NanoRouter 2.0 установлено ограничение в 10 узлов на один граничный маршрутизатор.

Платы EM430F5137RF900 и CC1180DB используются в комплекте как узлы беспроводной сети. Системы-на-кристалле CC430 демонстрируют работу со стеком протоколов через библиотеку NanoSocket API.

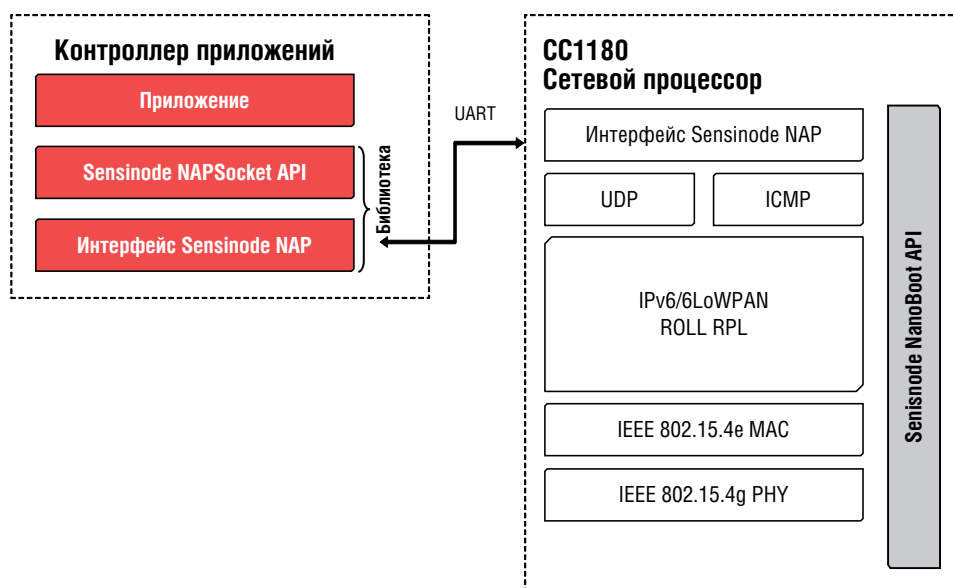


Рис. 6. Взаимодействие внешнего контроллера с сетевым процессором

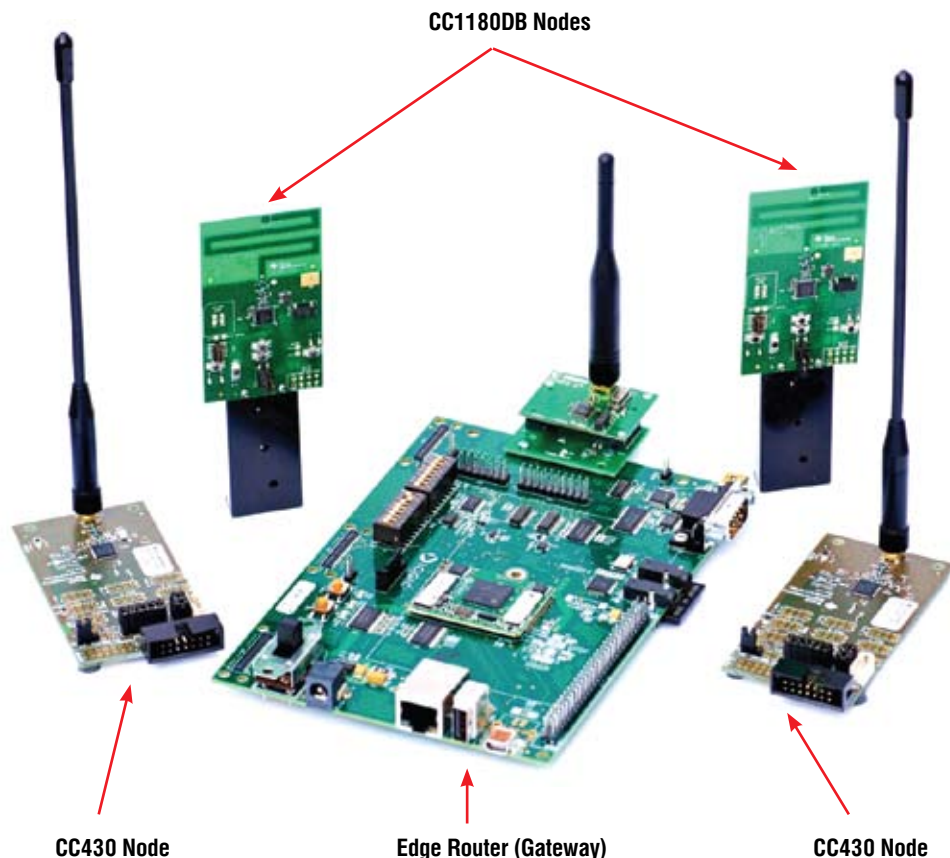


Рис. 7. Ознакомительный комплект CC-6LoWPAN-DK-868

CC1180DB содержит сетевой процессор CC1180, выполняющий основную часть стека, и хост-контроллер MSP430F5438A, выполняющий прикладные задачи — в частности, демонстрационное приложение. Взаимодействие между сетевым и хост-процессорами идет по интерфейсу UART с помощью протокола Sensinode NAPSock API.

В качестве демонстрационного для работы с сетью 6LoWPAN идет приложение «монитор сети NodeView 2.0», позволяющее управлять граничным маршрутизатором, отслеживать состояние сети в реальном времени. Прикладной управляющий протокол основывает-

ся на протоколе UDP стека NanoStack lite. NodeView 2.0 также позволяет создавать небольшие пользовательские Java-приложения.

Все представленные беспроводные узлы могут выступать в роли маршрутизаторов в данной подсети 6LoWPAN. Платой за это выступает необходимость постоянной активности приемопередатчика, и питание узлов целесообразнее брать стационарное.

Заключение

6LoWPAN решает несколько накопившихся проблем, связанных с беспроводными сенсорными сетями — стандартизация работы сети и доступа к данным

сети. В отличие от стандартов ZigBee, 6LoWPAN расширяет стандартизацию практически до уровня прикладных задач, параллельно решая проблемы с интеграцией небольших беспроводных узлов в IP-сети.

Программный продукт Sensinode — NanoStack lite позволяет использовать практически половину линейки беспроводных устройств Texas Instruments в сетях 6LoWPAN для любого поддерживаемого частотного диапазона.

Весьма интересным решением является сетевой процессор CC1180 — система-на-кристалле со специализированным программным обеспечением, предельно упрощающим создание и программирование узлов сети 6LoWPAN.

Литература

1. Zach Shelby, Carsten Bormann 6LoWPAN: The Wireless Embedded Internet. John Wiley & Sons Ltd. 2009. 245 с.
2. CC-6LoWPAN — Texas Instruments Embedded Processors Wiki//<http://processors.wiki.ti.com/index.php/CC-6LoWPAN>
3. NanoStack 2.0 library for cc430//<http://www.sensinode.com/media/ti-cc-6lowpan/cc430-nanosocket-api-1.0-01.pdf>
4. Mesh and IP Networks — 6LoWPAN — CC1180//<http://www.ti.com/product/cc1180>
5. CC1180 Sub-1GHz 6LoWPAN Network Processor//<http://www.ti.com/lit/gpn/cc1180>
6. CC1110Fxx/CC1111Fxx Low-Power SoC (System-on-Chip) with MCU, Memory, Sub-1 GHz RF Transceiver, and USB Controller//[swrs033g.pdf](http://www.ti.com/lit/zip/swrs033g.pdf)
7. NanoHost Example 1.0-02//<http://www.sensinode.com/media/ti-cc-6lowpan/nanohost-example-1.0-02.pdf>
8. NAP Protocol//<http://www.sensinode.com/media/ti-cc-6lowpan/napprotocol1.0.pdf>
9. NAPSock Library//<http://www.sensinode.com/media/ti-cc-6lowpan/napsocklibrary1.0-02.pdf>
10. Sub-1GHz 6LoWPAN Development kit User's Guide//<http://www.ti.com/lit/pdf/swru298>
11. Texas Instruments CC-6LoWPAN kit — Sensinode Ltd <http://www.sensinode.com/EN/products/software/ti-cc-6lowpan-kit.html>



Сетевой процессор CC1180

Лучшее решение для построения
беспроводных IPv6-сетей
малой мощности





www.compel.ru

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