

№10 (112), 2012 г.

Информационно-технический  
журнал

Учредитель — ООО «КОМПЭЛ»

Издается с 2005 г.

Свидетельство о регистрации:  
ПИ № ФС77-43993

**Редактор:**

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

**Выпускающий редактор:**

Снежана Холодова

**Редакционная коллегия:**

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

**Дизайн, графика, верстка:**

Елена Георгадзе  
Екатерина Беляева  
Евгений Торочков

**Распространение:**

Снежана Холодова

**Электронная подписка:**

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

**Отпечатано:**

«Гран При»  
г. Рыбинск

Распространяется бесплатно

Тираж — 1500 экз.  
© «Новости электроники»

Подписано в печать:  
11 декабря 2012 г.

# СОДЕРЖАНИЕ

## БРЕНД НОМЕРА: *TEXAS INSTRUMENTS*

|                                                                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| • Texas Instruments плюс КОМПЭЛ — планы на 2013 год<br><i>Александр Григорьев</i> .....                                             | 3  |
| • Sitara AM335x — недорогая замена ARM9 для систем автоматики<br><i>Алексей Бойков</i> .....                                        | 6  |
| • Учимся применять микропроцессоры Sitara: новые модули компании<br>ТерраЭлектроника<br><i>Владимир Бродин, Игорь Булатов</i> ..... | 12 |
| • Быстрее, надежнее, эффективнее! MSP430 с FRAM<br><i>Александр Калачев</i> .....                                                   | 15 |
| • Между датчиком и микроконтроллером: новые микросхемы семейства<br>Sensor AFE<br><i>Андрей Самоделов</i> .....                     | 21 |
| • Любой протокол — по проводам: решения Texas Instruments для PLC-систем<br>передачи данных<br><i>Алексей Пазюк</i> .....           | 30 |
| • «Point Of Load»-преобразователи — уникальные решения для эффективного<br>управления питанием<br><i>Михаил Чигарев</i> .....       | 35 |
| • Высокоточный дальномер на компонентах Texas Instruments<br><i>Герберт Шварц</i> .....                                             | 43 |



# TEXAS INSTRUMENTS



## National Products from Texas Instruments

Если вы хотите **бесплатно подписаться** на журнал «Новости электроники» и/или приложения к нему «Новости электроники + Автоматика», «Новости электроники + Светотехника» **на 2013 год**, просим вас заполнить электронную анкету по адресу <http://www.compeljournal.ru/subscribe>.

## ОТ РЕДАКТОРА



### Уважаемые читатели!

Эта редакционная заметка пишется почти за месяц до предполагаемого конца света. А до наступления нового, 2013 года остается немногим более месяца. Будучи материалистом и позитивистом (надеюсь, многие из вас также разделяют эти взгляды) и пережив уже несколько широко объявленных концов света, уверен, что все в очередной раз закончится благополучно. А следовательно, самое время поговорить о том, что ждет в начале нового года разработчиков электроники, применяющих в своих проектах компоненты **Texas Instruments**.

Первое в году мероприятие, абсолютно новое и для компании КОМПЭЛ и для ее клиентов, обещает стать важнейшим и регулярным. Это трехдневный **Фестиваль современной электроники «КомпэлФест»**. Он состоится в конце января (29-31) в одном из подмосковных пансионатов. До сих пор компания проводила в основном многодневные встречи дилеров и торговых партнеров, а мероприятия для инженеров проходили только в формате однодневных

технических семинаров. Возвращается уважение к инженерным знаниям, и такое изменение формата — знак усиления внимания КОМПЭЛ к работе с инженерами-разработчиками.

Главным из зарубежных производителей электронных компонентов, с которыми работает компания КОМПЭЛ, несомненно является компания Texas Instruments, и с инженерами TI (как и компании КОМПЭЛ) можно будет пообщаться вживую как на фестивале, так и на других совместных мероприятиях TI и КОМПЭЛ в 2013 году. Ожидается информация о новых **LED-драйверах** на компонентах из линейки National и о **POL-преобразователях**. Наши инженеры расскажут о перспективных разработках TI в области **беспроводной продукции** (с демонстрацией отладок **MSP430+CC110L**, **MSP430+CC2530ZNP**, возможно — нового решения на **CC2538**), о **силовых компонентах TI**, **интерфейсах**. В 2013 году обещаны практические тренинги по **аналоговой продукции**, а также по **микроконтроллерным платформам Stellaris и C2000**. Ждем со-

общений о новой микроконтроллерной платформе **Wolverine (MSP430+FRAM)**. Все можно будет покрутить в руках и попробовать в деле.

Что же до тенденций развития Texas Instruments в 2013 году — еще большее внимание будет уделено аналоговой продукции, в первую очередь — проводному и беспроводному сигнальному тракту. Ждем появления новых ОУ и АЦП, возможно некоторое снижение цен на так называемые Winning Combo («ударные» сочетания компонентов из линеек TI+NSC).

Как всегда, мы ждем ваших вопросов и предложений по теме Texas Instruments. Поздравляем всех наших читателей с наступающими **Новым годом и Рождеством!**

С уважением,  
Геннадий Каневский

Александр Григорьев (КОМПЭЛ)

## TEXAS INSTRUMENTS ПЛЮС КОМПЭЛ – ПЛАНЫ НА 2013 ГОД



*Руководитель бизнес-подразделения по продукции Texas Instruments компании КОМПЭЛ выступает в роли гида для разработчика электроники, заинтересованного в применении компонентов TI. С чего начать, на что рассчитывать, где взять отладочные средства и ПО, какие тренинги и семинары посетить в будущем году? — здесь вы найдете ответы на все эти вопросы.*

Перед вами уже одиннадцатый номер журнала Новости Электроники, целиком посвященный продукции Texas Instruments. С каждым разом все сложнее становится уместить в одном номере журнала информацию обо всем многообразии продуктов, которые готов предложить для вас и ваших разработок один из крупнейших производителей в отрасли. Тем более учитывая, что производитель не планирует останавливаться на достигнутом результате, а постоянно инвестирует значительную часть своей прибыли в развитие новых продуктов и производственных мощностей, стараясь сделать свою продукцию еще более доступной.

В области микроконтроллеров продолжают выходить новые продукты на ARM-архитектуре. Среди них выделяется семейство **Sitara®** на ядре **Cortex A8/A9** которое, благодаря богатой периферии и низкой цене сможет стать прекрасным решением для многих разработок в области промышленной автоматизации. На складе компании КОМПЭЛ всегда доступны образцы и отладочные наборы. Также мы регулярно проводим тренинги, на которых специалисты Texas Instruments совместно с инженерами КОМПЭЛ наглядно демонстрируют первые шаги при работе с данным процессором. Подпишитесь на рассылку новостей на нашем сайте [www.compel.ru](http://www.compel.ru), чтобы не пропустить очередное мероприятие.

Семейство **MSP430**, казалось бы, давно и широко известно, но и тут прогресс не стоит на месте — с 2013 года самый низкопотребляющий микроконтроллер в отрасли будет доступен с 64 кб FRAM-памяти. Texas Instruments пока остается единственным производителем, предлагающим контроллер со встроенной памятью этого типа. Ну и, разумеется, будут

побиты очередные рекорды по потреблению. Этот список можно продолжать и продолжать. В настоящий момент Texas Instruments принадлежат многие рекорды в отрасли по скорости, энергопотреблению, уровню шумов и т.п.

Компания регулярно первой предлагает решения, которые высоко оцениваются всем полупроводниковым сообществом и впоследствии становятся стандартными для рынка:

**SN65HVS88x** — Первые промышленные восьмиканальные сериалайзеры;

**ISO1050** — Первый в отрасли изолированный CAN-трансивер;

**TUSB1310** — Первый в отрасли сверхбыстрый USB 3.0-трансивер.

В 2011 году было представлено более 700 только аналоговых микросхем. То есть новая микросхема выпускалась каждые 12 часов.

На протяжении последних двух лет мы активно занимаемся популяризацией беспроводных решений Texas Instruments. И процесс не останавливается. В свет постоянно выходят новые продукты, появляются отладочные наборы. Беспроводной канал, для реализации которого ранее требовались узкие специалисты и сложное тестовое оборудование, становится все доступнее, расширяя потенциал вашей разработки. Отдельно хотелось бы отметить готовые модули, созданные российской компанией **Терраэлектроника** на базе чипа **CC430** — прекрасная возможность быстро и легко протестировать возможности беспроводных технологий. Ну а если вам потребуется совет для подбора микросхемы или качественная инженерная поддержка, вы всегда можете обратиться к инженерам компании КОМПЭЛ.

С недавнего времени широкому кругу разработчиков стала доступна технология **DLP (Digital Light Processing)**

от Texas Instruments. Новая, пока еще не имеющая широкого применения в нашей стране, но весьма интересная и перспективная.

Другой важной составляющей работы любого производителя электронных компонентов является организация бесперебойных поставок. Компания Texas Instruments сделала все необходимые выводы из ситуации, когда на рынке ощущался дефицит продукции, и теперь это, пожалуй, самый оснащенный производитель полупроводников в мире. А учитывая то, что компания Texas Instruments снимает микросхему с производства только в случае более чем годового отсутствия заказов на нее по всему миру, вы можете быть уверены, что выбрав продукцию TI для своих разработок, вы практически исключаете риски с последующим обеспечением производства.

Один вопрос остается открытым: как же разобраться во всем многообразии продуктов, предлагаемых Texas Instruments, коих в настоящий момент насчитывается более восьмидесяти тысяч? Добавим сюда предложения других производителей с собственной рекламой, даташитами, руководствами по применению, и задача становится практически неподъемной.

Для начала мне бы хотелось пригласить вас посетить сайт [www.compel.ru](http://www.compel.ru) и воспользоваться нашим параметрическим поиском. Информация обо всех продуктах крупнейших производителей электронных компонентов заносится в единую базу, и если вам уже понятны базовые критерии выбора компонентов, то параметрический поиск может стать прекрасным первым шагом. Там же вы сразу сможете оценить наличие как самих компонентов, так и сопутствующих продуктов, будь то отладочная плата или антенна для выбранного беспроводного модуля, заказать образцы или прочитать дополнительные материалы.

Быть в курсе новых продуктов вам поможет раздел новостей. Там же вы всегда можете узнать о планируемых семинарах и тренингах в вашем регионе, а так же высказать пожелания по его проведению. Сейчас это особенно актуально, так как в 2013 году мы планируем



ем обширную программу мероприятий. Прежде всего это конференция разработчиков, которая пройдет с 29 по 31 января в подмосковном пансионате на берегу Истры. В течение трех дней инженеры компаний-производителей электронных компонентов при поддержке инженеров КОМПЭЛ проведут серию тренингов и семинаров по всем основным темам, начиная с микроконтроллеров и беспроводных технологий, продолжая аналоговыми микросхемами и микросхемами питания и заканчивая дискретными и пассивными компонентами.

В 2013 году мы планируем продолжить серию мероприятий под общим названием «Фестиваль инноваций», по примеру уже проведенных в Новосибирске и Санкт-Петербурге в конце 2012 года. В данном формате помимо семинарской части, которая посвящена новинкам от крупнейших производителей, мы уделим большое внимание практическим занятиям.

Также на базе наших офисов мы планируем запустить серию регулярных тренингов по изучению микроконтроллеров MSP430, C2000, микроконтроллеров на базе ядра ARM и беспроводных технологий.

В 2013 году на сайте КОМПЭЛ появится **Webench**, онлайн-среда для разработки источников питания, завоевавшая популярность во всем мире. Отличительной особенностью будет локализация — к

использованию будут предлагаться только доступные компоненты, что значительно упростит путь от идеи на экране монитора до практической реализации на плате. Добавьте к этому большую библиотеку готовых дизайнов от PowerLab, и в сумме это может сократить время выхода разработчика на рынок на 50%.

Я привел лишь несколько примеров того, как разобраться в гигантском объеме окружающей нас информации. Разумеется, они не могут ответить на все вопросы, которые возникают перед разработчиками электронных устройств. Регулярно появляются задачи, требующие детальной проработки и нетривиального решения. В таких случаях инженеры технической поддержки КОМПЭЛ постараются помочь вам и найти наилучший способ решения, начиная от подбора замены или правильной аналоговой обвязки и заканчивая контактом с разработчиком микросхемы для понимания глубинной сути проблемы. В конце концов, именно в этом и состоит основной сервис компании КОМПЭЛ — помочь вам сделать ваш продукт качественней и конкурентоспособнее за более короткое время. **Б**

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

## UCC2870x — семейство обратноходовых AC/DC-контроллеров

Компания **Texas Instruments** представила новое семейство контроллеров обратноходового преобразователя питания **UCC2870x** для построения компактных, экономичных сетевых адаптеров и универсальных зарядных устройств.

Семейство UCC2870x обеспечивает стабилизацию регулируемого выходного постоянного напряжения и тока без использования оптических изоляторов или дополнительных трансформаторов. Информация о величине выходного напряжения и тока для формирования сигнала обратной связи определяется в цепи первичной обмотки силового трансформатора во время стадии обратного хода. Контроллеры отличаются малым пусковым током, динамическим контролем рабочего состояния и профиля модуляции, а также исключительно малой потребляемой мощностью в режиме ожидания без ухудшения времени запуска и скорости переходной характеристики.

Алгоритмы управления контроллеров семейства UCC2870x обеспечивают уровень эффективности, соответствующий или превосходящий действующие стандарты и нормы. Выходные драйверы устройств рассчитаны на управление силовыми MOSFET транзисторами. Режим прерывистой проводимости (DCM) с коммутацией в нижней точке кривой напряжения на силовом транзисторе позволяет уменьшить потери переключения. Архитектура с модуляцией частоты коммутации и пикового значения тока обеспечивает сохранение высокой эффективности преобразования во всем диапазоне токов нагрузки и входных напряжений.

Контроллеры имеют максимальную частоту коммутации **130 кГц** и обеспечивают непрерывный контроль пикового тока первичной обмотки трансформатора. Особенностью семейства UCC2870x является функция компенсации падения напряжения на выходной шине питания. UCC28700 обеспечивает регулировку уровня компенсации внешним резистором, остальные устройства данного семейства имеют фиксированное значение уровня компенсации.

## БИЗНЕС-ГРУППА КОМПЭЛ ПО ПРОДУКЦИИ TI

## ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВО TI В РОССИИ



**Александр Григорьев**  
руководитель направления TI



**Сергей Игнатов**  
технический руководитель  
направления TI



**Алексей Бойков**  
инженер по применению TI  
(Санкт-Петербург)



**Анатолий Дудников**  
руководитель  
представительства

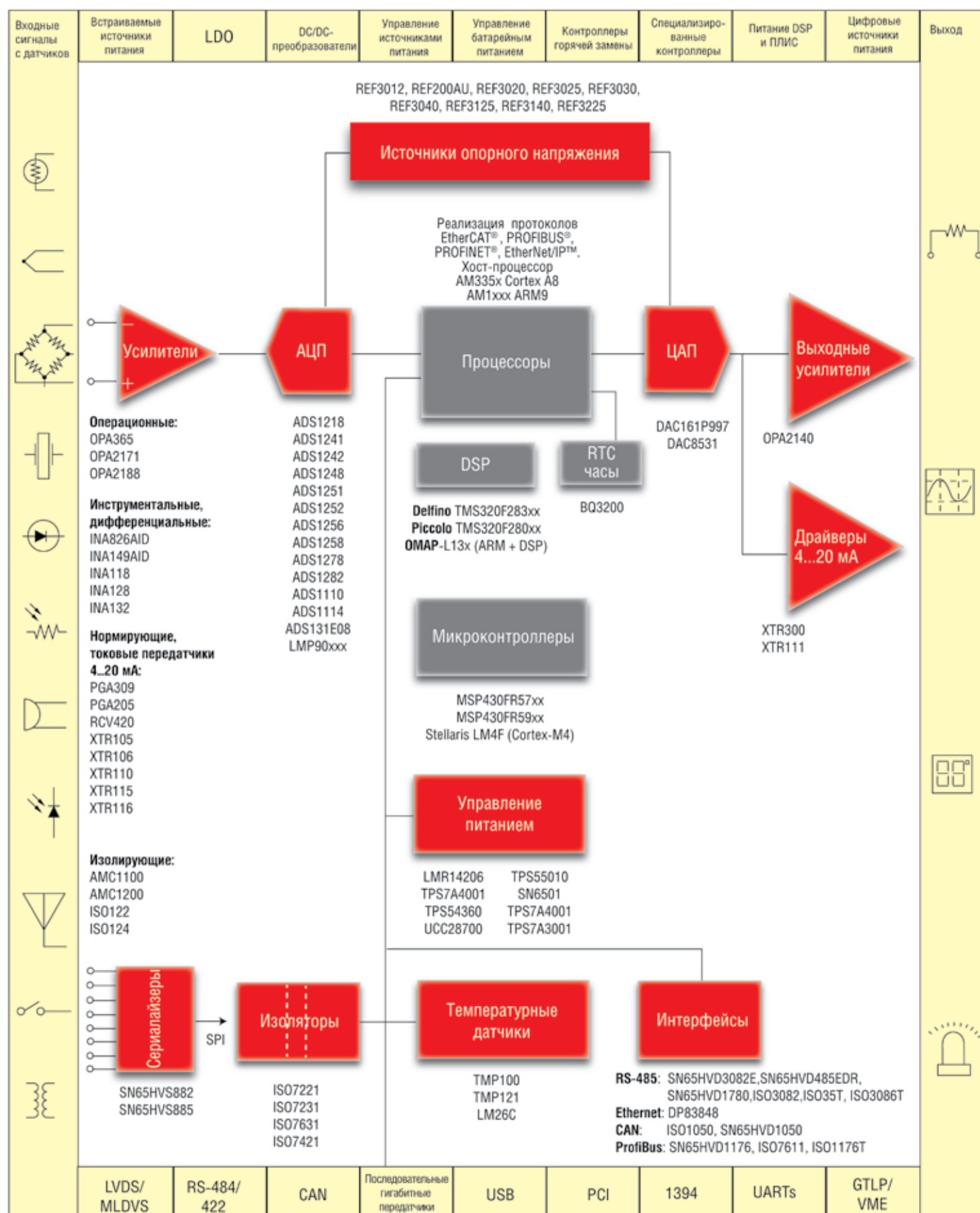


**Илья Чепурин**  
руководитель  
инженерного отдела



**Максим Камышик**  
менеджер по работе  
с дистрибьюторами

# КОМПЭЛ предлагает промышленные решения от Texas Instruments



Алексей Бойков (КОМПЭЛ)

## SITARA AM335X – НЕДОРОГАЯ ЗАМЕНА ARM 9 ДЛЯ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ



*Удачная архитектура, мощное современное ядро и невысокая стоимость — все это позволяет рассматривать линейку контроллеров **AM335x** семейства **Sitara** от **Texas Instruments** в качестве замены устаревающего ядра **ARM**. Переход на новое ядро **Cortex A8** позволяет получить значительный прирост производительности в промышленных приложениях, таких как системы **промышленной автоматизации**.*

Создание нового семейства микропроцессоров от TI на базе ядра Cortex A8 является важным этапом в развитии линейки микропроцессоров семейства Sitara от Texas Instruments, который позволит компании сохранить и упрочить лидирующие позиции на рынке высокопроизводительных микропроцессоров для промышленной автоматизации. Особенностью семейства, помимо современного ядра с гарвардской архитектурой, является богатый набор промышленной периферии, поддержка трехмерной графики, гигабитного Ethernet-a, EtherCAT и PROFIBUS.

Настоящий прорыв в производительности обеспечило новое современное 32-разрядное ядро Cortex A8, лицензию на которое TI приобрел еще в 2005 году. Производительность ядра до-

стигает 2 DMIPS/Мгц. Эта впечатляющая цифра достигается благодаря ряду архитектурных особенностей:

- Двойной симметричный конвейер с упреждающей выборкой инструкций,
- Суперскалярное микропроцессорное ядро,
- 13-стадийный конвейер обработки целых чисел,
- 10-стадийный конвейер обработки мультимедийных данных (NEON),
- Кэш-память второго уровня (L2) с настраиваемыми режимами ожидания,
- Поддержка системы команд Thumb-2 (комбинация 16- и 32-разрядных команд, рис. 1),
- Расширения NEON для обработки H.264 и MP3.

В настоящее время семейство Sitara включает в себя более 120 различных модификаций процессоров с ядрами

ARM9 и Cortex A8 (рис. 2). Диапазон рабочих частот — от 275 МГц до 1,5 ГГц. Внутри семейства обеспечивается программная совместимость, а в ряде случаев и pin-2-pin-совместимость, позволяя разработчику без проблем наращивать производительность или оптимизировать стоимость изделий. Помимо гибкой линейки процессоров, TI предоставляет разработчикам готовые порты популярных операционных систем (Linux, WinCE, Android) и демо-платы для быстрого ознакомления с программно-аппаратной платформой и старта разработки, а также большой объем хорошо написанной документации — от пошаговых инструкций до подробного описания технических особенностей.

Наиболее производительные представители Sitara — семейство **AM38XX**, работающие на частотах до 1,35 ГГц, их производительность достигает 2700 DMIPS. Процессоры данного семейства имеют аппаратный модуль для подключения дисплеев высокого разрешения, а AM3894 содержит встроенный ускоритель 3D графики. Поддерживаются ряд операционных систем — Neutrino, Integrity, Windows Embedded CE, Linux, VXWorks, Android.

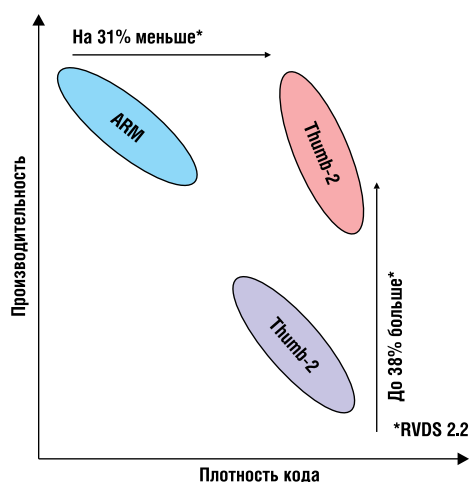


Рис. 1. Сравнение различных систем команд по плотности кода и производительности

|             | AM18x                                                     | AM335x                                           | AM35x                                                          | AM37x                                                                   |
|-------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| Ядро        | ARM9 до 456 МГц                                           | Cortex™-A8 до 720 МГц                            | Cortex-A8 до 600 МГц                                           | Cortex-A8 до 1 ГГц                                                      |
| DMIPS       | До 410                                                    | До 1440                                          | До 1200                                                        | До 2000                                                                 |
| Графика     | нет                                                       | SGX530                                           | SGX530                                                         | SGX530                                                                  |
| Память      | LPDDR1/DDR2                                               | LPDDR1/DDR2/DDR3                                 | LPDDR1/DDR2                                                    | LPDDR1                                                                  |
| ОС          | Linux/WinCE/StarterWare                                   | Linux/WinCE/Android/StarterWare                  | Linux/WinCE/Android                                            | Linux/WinCE/Android                                                     |
| Особенности | LCD контроллер SATA, Видео вх/вых, 10/100 EMAC, USB w/PHY | LCD контроллер CAN, 10/100/1000 EMAC             | Управление дисплеем, Видео вх/вых, 10/100 EMAC, CAN, USB w/PHY | Управление дисплеем, Видео вх/вых, PoP корпуса, USB, низкое потребление |
| Прил-я      | Умный счетчик Wi-Fi Роутер                                | Персональные навигаторы умный дом, пром. конт-ры | IA, PLC, мультимедиа                                           | Персональные навигаторы, Планшетные компьютеры                          |
| Цены        | От \$4.55 (10K)                                           | От \$7.50 (10K)                                  | От \$12.25 (10K)                                               | От \$12.25 (10K)                                                        |

Рис. 2. Семейство микропроцессоров Sitara

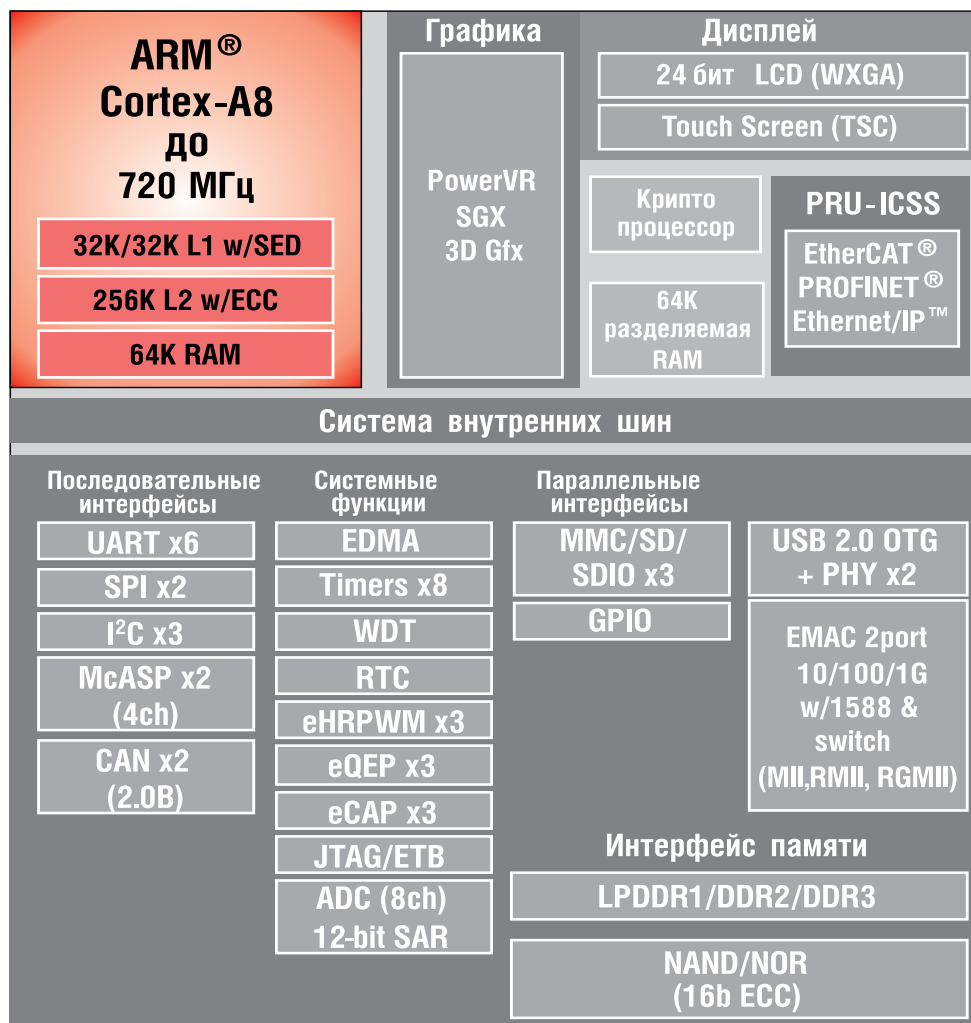


Рис. 3. Архитектура процессора AM335X

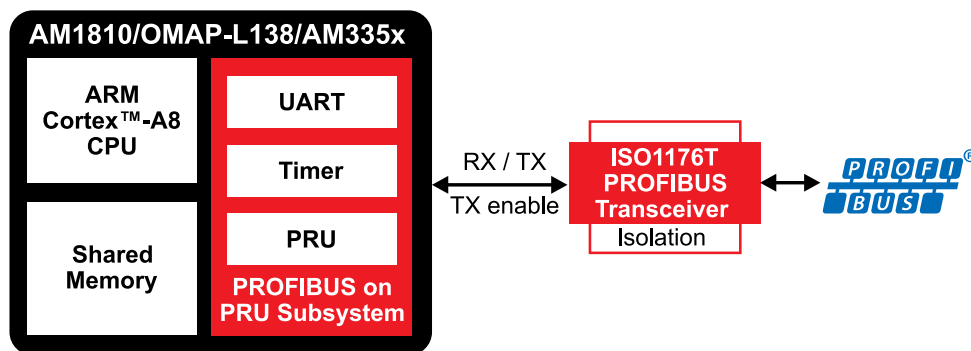


Рис. 4. Реализация PROFIBUS на процессорах Sitara

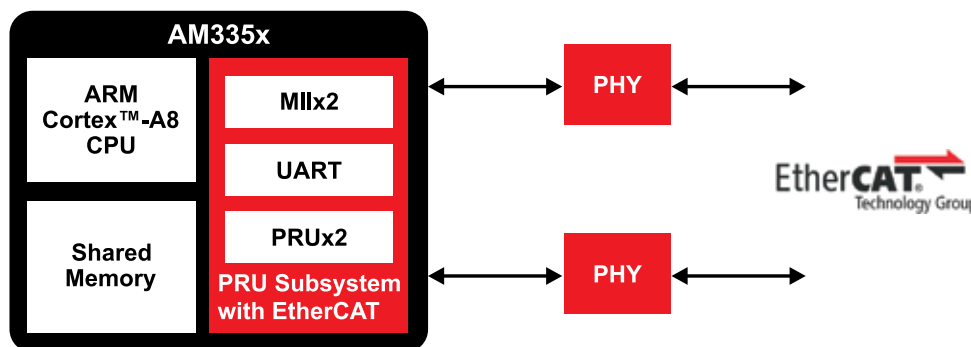


Рис. 5. Реализация PROFIBUS на процессорах AM335x

Основная область применения процессоров семейства Sitara — промышленная автоматика (промышленные контроллеры, одноплатные компьютеры), однако они также с успехом применяются в медицинской технике, навигации, в терминалах самообслуживания, в портативных приборах с малым потреблением.

### Архитектура AM335X

Рассмотрим архитектуру процессоров Sitara (рис. 3).

### Основные модули семейства AM335X:

- Блок MPU, содержащий ядро Cortex A8, кэш L1 и L2, ОЗУ,
- 3D графический ускоритель POWERVR SGX530,
- Аппаратный модуль шифрования,
- Контроллер дисплея + контроллер сенсорной панели,
- Модуль PRUSS,
- Интерфейс памяти с поддержкой LPDDR1, DDR2/DDR3, NAND/NOR,
- Последовательные интерфейсы UARTx6, SPIx2, I2Cx3, CANx2, USB2.0 OTG +PHY x2, EMAC 10/100/1Gx2,
- Интерфейс карт памяти SD/MMC,
- RTC, АЦП 12 бит 8 каналов, JTAG/ETB.

Помимо ряда стандартных модулей, которые представлены в микропроцессорах многих производителей, семейство Sitara содержит уникальный блок PRU-ICSS — программируемый модуль реального времени для промышленных коммуникаций (Programmable Real-time Unit SubSystem), позволяющий организовать передачу данных по ряду промышленных стандартов без участия основного ядра. Семейство Sitara AM335x содержит модуль второго поколения PRU (PRUSSv2), который в свою очередь состоит из двух подмодулей PRU и общих блоков.

Каждый подмодуль PRU состоит из:

- 32-х разрядного процессорного ядра, работающего на частоте 200 МГц,
- 8 кбайт памяти данных,
- 8 кбайт памяти программ,
- Модуль E GPIO (16 выходов и 17 входов общего назначения),
- 32-битного модуля умножения с накоплением (MAC) с 64-битным результатом.

Общие блоки модуля PRUSS:

- двухпортовый модуль Ethernet MII\_RT,
- память данных 12 кбайт,
- модуль ECAP (Enhanced Capture Model),
- модуль IEP (Industrial Ethernet Peripheral),



- UART0 — 16 бит FIFO transmit/receive, генерация прерываний, макс скорость — 192 Мбит/с,
- Блок регистров управления модулем PRUSS,
- Быстродействующая оперативная память (Scratch pad) — три банка по тридцать 32-разрядных регистров, доступ за один цикл,
- Контроллер прерываний.

Взаимодействие между блоками и процессорными ядрами внутри модуля осуществляется посредством внутренней 32-разрядной шины данных. В свою очередь, система PRUSS имеет доступ ко всем ресурсам основной системы на кристалле через шину Interface/OCF Master port, так же как и основное ядро имеет доступ ко всем ресурсам PRUSS. Подмодули PRU программируются на ассемблере, большинство команд выполняются за один цикл без КЭШа и конвейера, позволяя точно рассчитать временные промежутки. На частоте 200 МГц выполнение одного цикла занимает 5 нс.

Модуль PRU-ICSS является встроенной аппаратной платформой для реализации промышленных протоколов EtherCAT и PROFIBUS. Реализация EtherCat возможна благодаря двум физическим портам Ethernet, а для обработки пакетов «на лету» используются процессорные ресурсы модуля. Следует отметить, что аппаратная поддержка EtherCat есть не во всех представителях семейства AM335x (рис. 4). Для реализации шины PROFIBUS трансиверы интерфейса 485 подключаются непосредственно к выводам модуля PRU-ICSS (рис. 5). Формирование кадра для шины выполняется процессорной системой модуля, поэтому нет необходимости использовать дополнительные микросхемы ПЛИС. Модуль PRU обеспечивает прием и передачу сообщений шины, проверку кадров, передачу данных основному процессору.

На сайте ti.com есть программные примеры для конфигурирования модуля PRU-ICSS (рис. 6) для начала работы и быстрого освоения.

Линейка процессоров AM335X (рис. 7) достаточно гибкая: она включает в себя различные по составу, производительности и цене чипы. Внутри семейства имеется программная и аппаратная совместимость, что дает возможность разработчику без лишних затрат наращивать производительность или оптимизировать стоимость конечного изделия. Процессоры выпускаются в трех температурных исполнениях:

- Коммерческий (0...90°C),
- Индустриальный (-40...90°C),
- Расширенный (-40...105°C).

Микросхемы поставляются в пластиковых BGA-корпусах двух видов:

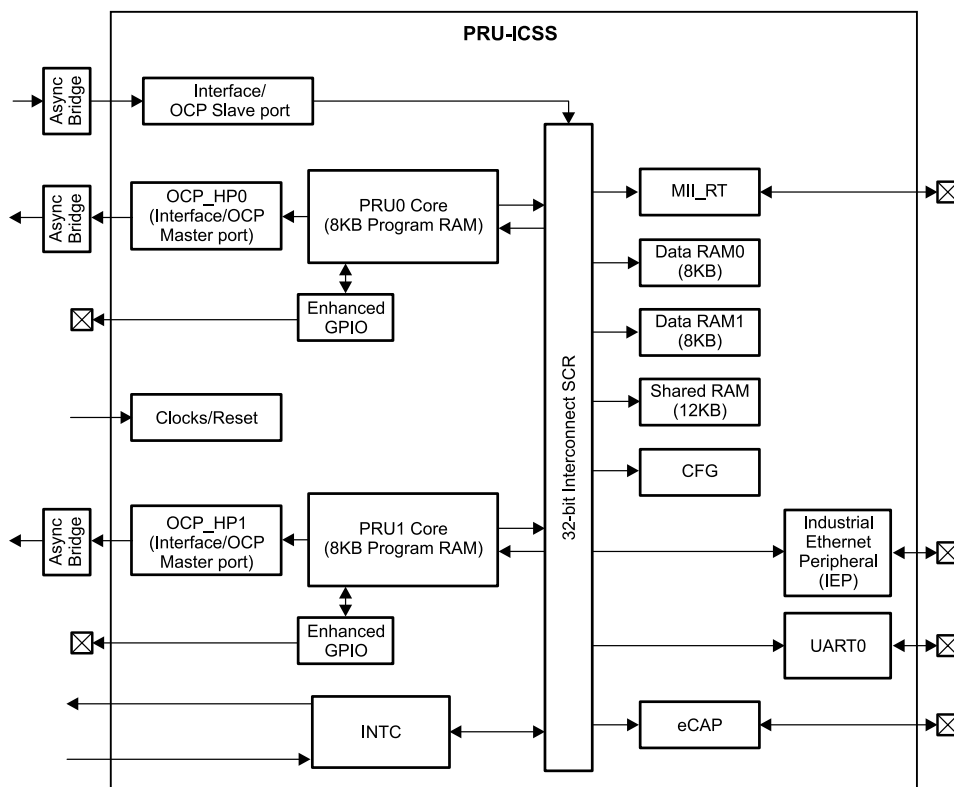


Рис. 6. Структура модуля PRU-ICSS

| ПИН-ТУ-ПИН СОВМЕСТИМОСТЬ |  | ARM Cortex-A8 (МГц) | Графика       | PRU-ICSS для пром. применений | Корпуса                         | Программная совместимость |
|--------------------------|--|---------------------|---------------|-------------------------------|---------------------------------|---------------------------|
| AM3359                   |  | 600/720             | 3D-ускоритель | PRU-ICSS + EtherCAT slave     | 15x15 / 0,8 мм                  |                           |
| AM3358                   |  | 500/600/720         | 3D-ускоритель | PRU-ICSS                      | 15x15 / 0,8 мм                  |                           |
| AM3357                   |  | 275/600/720         |               | PRU-ICSS + EtherCAT slave     | 15x15 / 0,8 мм                  |                           |
| AM3356                   |  | 275/500/600/720     |               | PRU-ICSS                      | 15x15 / 0,8 мм                  |                           |
| AM3354                   |  | 275/500/600/720     | 3D-ускоритель |                               | 15x15 / 0,8 мм<br>13x13/0,65 мм |                           |
| AM3352                   |  | 275/500/600/720     |               |                               | 15x15 / 0,8 мм<br>13x13/0,65 мм |                           |

Рис. 7. Семейство AM335X

- ZCZ (15,1x15,1x1,4 мм, 324 вывода, шаг 0,8 мм),
- ZCE (13,1x13,1x1,3 мм, 298 выводов, шаг 0,65 мм).

Модуль PRUSS имеет две модификации — с поддержкой EtherCat slave и без. Стоит обратить внимание, что чипы с модулем PRUSS выпускаются только в корпусах ZCZ.

#### Аппаратные средства разработки

Компания TI предоставляет разработчику ряд отладочных средств для оценки платформы и быстрого старта, отличающиеся функционалом и ценой. Среди них:

**TMDXICE3359 — Industrial Communications Engine (ICE)** — недорогая отладочная плата на базе процессора **AM3359** с поддержкой ряда коммуникационных интерфейсов (рис. 8, 9). Будет хорошим решением для инженеров, которые занимаются разработкой различных промышленных коммунитаторов, интерфейсов для датчиков и исполнительных механизмов, системами обратной связи для электродвигателей. Программные средства, поставляемые с платой, включают RTOS SYS/BIOS с бутлоадером, библиотеку драйверов периферии StarterWare, примеры приложений



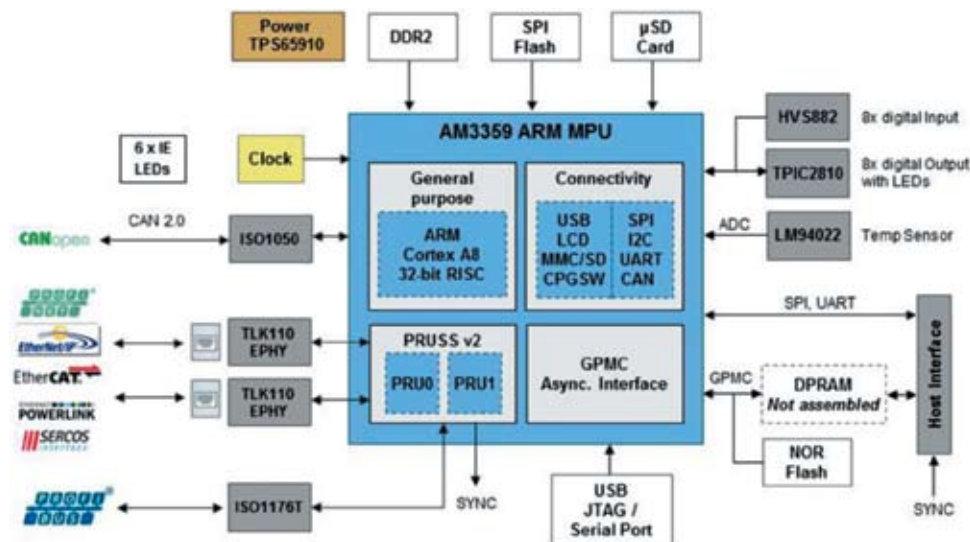


Рис. 8. Блок-схема отладочной платы TMDXICE3359

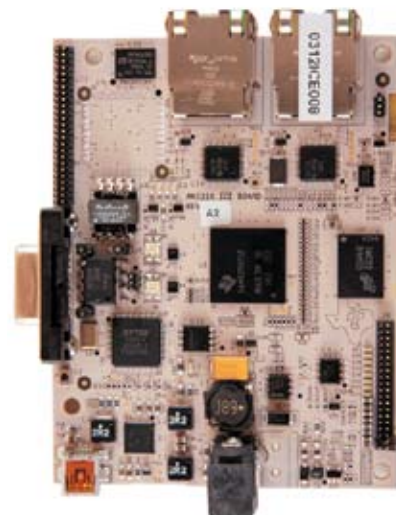


Рис. 9. Отладочная плата TMDXICE3359



Рис. 10. Отладочная плата TMDXEV3358

для работы по стандартам PROFIBUS и EtherCat.

**TMDXEV3358** — отладочная плата на базе процессора **AM3358** (рис. 10). Является базой для разработки устройств с человеко-машинным интерфейсом (GPS-навигаторы, терминалы самообслуживания, гаджеты и т.д.). Оборудована

LCD-дисплеем, разъемами Ethernet, USB, RS-232, CAN, Audio In/Out, слотом SD/MMC, аналоговыми входами. Поставляется с портами операционных систем Android (GINGERBREAD 2.3.4) и Linux. Программный пакет содержит ряд примеров для быстрого освоения, также имеется большое количество подробной документации.

**TMDXIDK3359-AM3359 Industrial Development Kit (IDK)** — полнофункциональная платформа для разработки и отладки приложений промышленного применения на базе процессора **AM3359** (рис. 11, 12). Содержит ряд интерфейсов: USB, Ethernet, SPI, I<sup>2</sup>C, UART, GPIO, PROFIBUS, CAN. Имеется слот для SD/MMC. На плате установлена периферия для управления двигателями, включая дополнительные микроконтроллеры **TMS320F28027** и **LM3S5R31**. Является базой для создания промышленных узлов передачи данных по промышленным стандартам и управления исполнительными механизмами. В про-

граммное обеспечение платы входят ядро RTOS SYS/BIOS от TI, а также стеки для реализации промышленных протоколов.

**AM335x Starter Kit (TMDSSK3358)** — недорогая полнофункциональная отладочная плата на базе процессора **AM3358** для быстрого старта и оценки (рис. 13). Несмотря на невысокую стоимость, плата содержит богатый набор компонентов для различных коммуникаций. Набор должен быть интересен прежде всего разработчикам гаджетов и устройств с человеко-машинным интерфейсом.

#### Особенности:

- Процессор **AM3358**, 720 МГц,
- Оперативная память 256 MB DDR3,
- Экран 4,3" с Touch screen,
- USB, USB-UART, эмулятор USB-XDS100,
- Два порта Ethernet,
- Модуль WiFi,
- Модуль Bluetooth,
- Аудио выход,
- Кнопки навигации Android,
- Светодиоды.

Комплект поставки включает порты Linux и Android.

В начале 2013 года ожидается выход отладочной платы на базе семейства **AM33XX** с поддержкой PLC- и SubGHz-коммуникации, а также ряда стандартных промышленных интерфейсов — Ethernet, RS-232, CAN. Данный отладочный набор разрабатывается в рамках развития существующей платформы SGI (Smart Grid Infrastructure) на базе процессора **OMAP™-L138**.

Кроме того, стоит упомянуть о недорогой отладочной плате стороннего производителя **BeagleBone** (рис. 14) на базе процессора **AM3358**, работающего на частоте 700 МГц. Плата име-

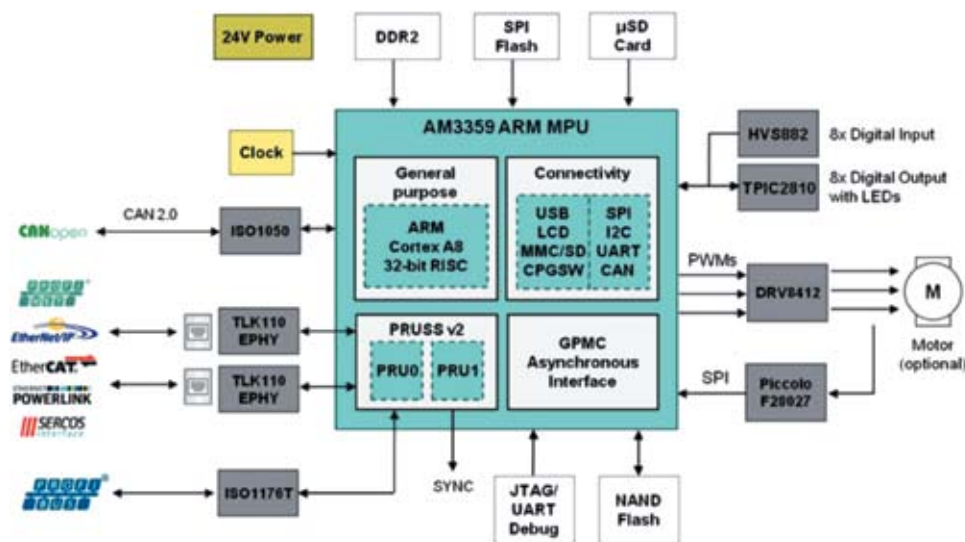


Рис. 11. Блок-схема отладочной платы TMDXIDK3359



Рис. 12. Отладочная плата TMDXIDK3359



Рис. 13. Отладочная плата TMDSSK3358

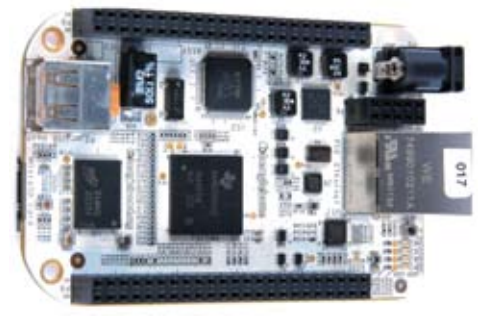


Рис. 14. Отладочная плата BeagleBone

ет на борту 256 Мбайт оперативной памяти, Ethernet, USB, порты ввода / вывода, оснащена двумя 46-пиновыми разъемами для подключения плат расширения (рис. 15), через которые выведена следующая периферия: LCD, GPMC(NAND), MMC1, SPIx2, I<sup>2</sup>Cx2, UARTx5, ADCx7, 66 GPIO, CANx2, PWMx8, TIMERx4. Платы расширения, имеющиеся в продаже:

- LCD-дисплей,
- DVI-видео выход,
- Аудио вход/выход,
- Батарейное питание.

Кроме того, существует несколько плат расширения от сообщества разработчиков, которые можно самостоятельно повторить.

Плата может применяться в самых различных областях — от коммуникаций до обработки изображений с видеокамер. Отдельно следует упомянуть, что BeagleBone может использоваться в качестве роутера для сети 6loWPAN. 6loWPAN — это стандарт взаимодействия по протоколу IPv6 поверх маломощных беспроводных персональных сетей стандарта IEEE 802.15.4. Сеть ориентируется на приложения, которые требуют беспроводного подключения к Интернету с низкой скоростью передачи данных для устройств с ограниченными возможностями производительности и мощности. Например, автоматизация дома, офиса и производства.

Плата поставляется с предустановленной ОС Linux, что позволяет использовать все наработанные программы и опыт Linux-сообщества. Вся необходимая информация для начала работы с платой есть по ссылке <http://beagleboard.org/bone>.

### Программные средства разработки

Для разработчиков программного обеспечения компания Texas Instruments предлагает целый ряд SDK для различных применений. SDK (Software Development Kit) — пакет инструментов для разработчика, содержащий порт операционной системы, набор приложений и документацию. SDK позволяет в крат-



Рис. 15. Платы расширения для BeagleBone

### Base settings:

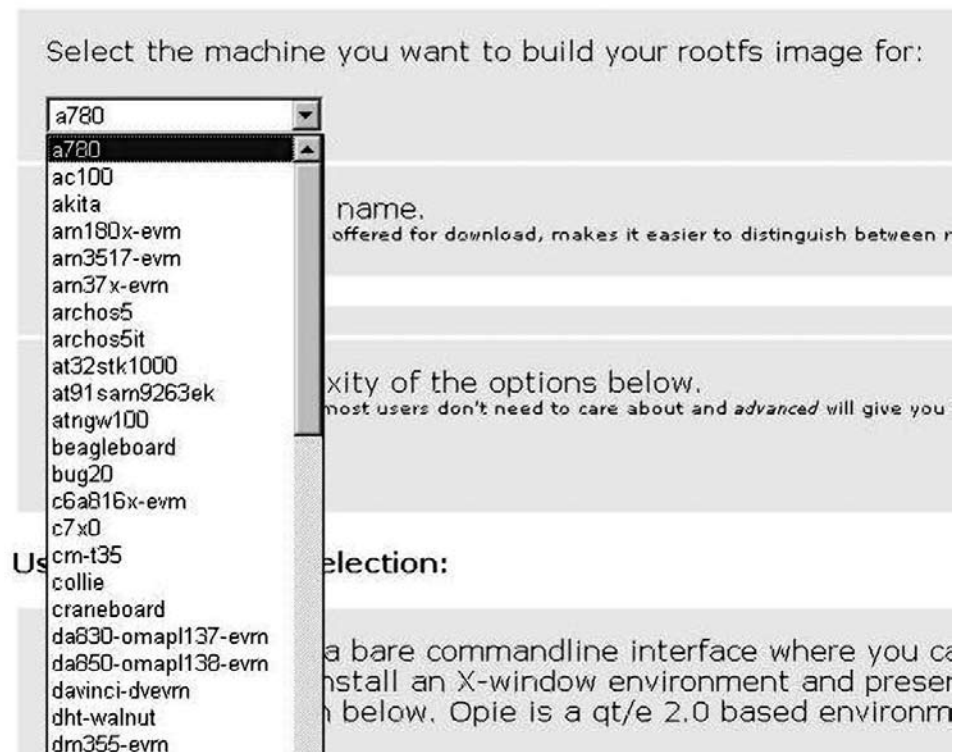


Рис. 16. Выбор целевой платы на сайте Angstrom

чайший срок ознакомиться с ОС и возможностями аппаратной платформы, а также является базой для разработки собственных приложений. Компания TI предоставляет SDK для семейства Sitara под операционные системы Linux, Android 2.3, SYS/BIOS, Windows Embedded Compact 7. Кро-

ме того, с сайта [www.ti.com](http://www.ti.com) доступен для скачивания пакет **StarterWare** для разработчиков, не использующих операционные системы.

### Особенности пакета StarterWare:

- Программные примеры для работы с периферией,



#### User environment selection:



Рис. 17. Поддержка графики и включение дополнительных пакетов

- Портруемость программных блоков для работы с периферией на различных процессорах,
- Инструментарий для C-кода,
- Запуск на Windows и Linux,
- Поддержка компиляторов GCC для ARM, IAR для ARM для процессоров семейства TMS470,

- Графическая библиотека и USB-стеки с программными примерами.

#### Online-утилита для генерации образа файловой системы

Помимо генерации файловой системы с помощью средств, входящих в SDK, существует возможность соз-

дать образ с помощью онлайн-утилиты на сайте проекта Angstrom: <http://narcissus.angstrom-distribution.org/>. С помощью данного проекта можно за считанные минуты загрузить Linux на целевую плату. Утилита позволяет выбрать целевую плату из списка, стабильный или новейший релиз, поддержку графики или консоли, а также включить большое количество необходимых пакетов.

После выбора необходимых параметров остается только нажать кнопку «Build me!» и загрузить сгенерированный файл на SD-карту, с которой запускается Linux на целевой плате.

#### Заключение

Новая линейка AM335x семейства Sitara представляют качественный шаг в развитии семейства высокопроизводительных микропроцессоров для промышленных и портативных применений. Быстрота, низкое потребление, гибкая линейка и низкие цены — это факторы, которые позволят данному семейству занять доминирующие позиции в своей нише. Удачная архитектура, мощное современное ядро и невысокая стоимость дают возможность рассматривать линейку AM335x в качестве замены устаревающего ядра ARM. Переход на новое ядро Cortex A8 позволяет получить значительный прирост в производительности, что является немаловажным фактором не только в мультимедийных приложениях, но и в промышленности. Всесторонняя поддержка от TI, наличие готовых портов популярных операционных систем в составе SDK и ряда отладочных плат как от самой компании TI, так и от сторонних производителей, позволяют разработчикам сэкономить время на освоении платформы и приступить к решению своих задач в кратчайшие сроки, что сказывается на себестоимости конечного изделия. Популярность линейки среди сообществ разработчиков обуславливает наличие на рынке большого количества альтернативных отладочных средств и бесплатных программных решений.

#### Литература

1. [www.ti.com](http://www.ti.com)
2. [www.arm.com](http://www.arm.com)
3. <http://beagleboard.org>
4. AM335x PRU-ICSS Reference Guide
5. AM335x ARM Cortex-A8 Microprocessors. Technical Reference Manual.
6. PROFIBUS® on AM335x and AM1810 Sitara™ ARM® Microprocessors.



ВСТРАИВАЕМЫЕ  
ДИСПЛЕЙНЫЕ МОДУЛИ

## НМИ и дисплейные модули

### TE-AM1707LCD70




**HUMAN MACHINE  
INTERFACE**

- Дисплей OSD 7" (800x480)
- Микропроцессор Sitara ARM9 465 МГц
- Интерфейсы: Ethernet, 2x USB, RS-232, microSD, USB-UART
- BSP Linux, библиотека Qt

МОСКВА  
Тел.: (495) 221-7804, 221-7803  
E-mail: [sale@terraelectronica.ru](mailto:sale@terraelectronica.ru)

Информация о партнерах  
в других городах - на сайте  
[www.terraelectronica.ru](http://www.terraelectronica.ru)



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

Владимир Бродин, Игорь Булатов (Терраэлектроника)

## УЧИМСЯ ПРИМЕНЯТЬ МИКРОПРОЦЕССОРЫ SITARA: НОВЫЕ МОДУЛИ КОМПАНИИ ТЕРРАЭЛЕКТРОНИКА

*Модули **TE-AM1705v2** и **TE-AM1707LCD70** компании **Терраэлектроника** выполнены на микропроцессорах семейства **Sitara** компании **Texas Instruments**. Микропроцессоры **AM1xxx** имеют ядро **ARM9**, максимальную тактовую частоту 456 МГц, весьма производительны и в то же время экономичны. Модули могут быть использованы для освоения архитектуры **Sitara**, макетирования систем управления, установки в серийные изделия. На каждый модуль установлен **BSP Linux**.*

Семейство микропроцессоров **Sitara™** компании **Texas Instruments** включает две линейки микропроцессоров, младшую — на основе ядра **ARM9** и старшую — на основе ядра **Cortex-A8**. Младшая линейка процессоров с максимальной частотой 456 МГц позиционируется как ориентированная на малое энергопотребление с возможностью гибкого выбора необходимого набора интерфейсов. Старшая линейка процессоров с максимальной частотой до 1,5 ГГц позиционируется как высокопроизводительная, ориентированная на системную интеграцию.

В линейке на основе ядра **ARM9** увеличение функциональных возможностей осуществляется добавлением к исходной конфигурации (**AM1705**) контроллеров **LCD**, **SATA**, цифровой видеокамеры, а также коммуникационных интерфейсов. Особенностью этих микропроцессоров является встроенный блок программируемых интерфейсов **PRU** (**Programmable Real-time Unit**), конфигурируя который, разработчик может добавить к имеющимся интерфейсам стандартные порты (**UART**, **CAN**) или порты с индивидуальным протоколом. Максимальная тактовая частота в младшей линейке у большинства микропроцессоров одинаковая. Младшие модели **AM17xx** способны работать только с памятью **SDRAM**, а старшие — еще и с памятью **DDR/DDR2**. Базовая модель линейки, микропроцессор **AM1705**, имеет корпус **LQFP**, остальные заключены в корпуса **BGA**. Структура микропроцессоров **AM1705/1707** приведена на рисунке 1.

Семейство микропроцессоров **Sitara™** производится компанией **Texas Instruments** в соответствии с концепцией масштабируемых архитектур, когда в

одном или нескольких семействах присутствуют как одноядерные процессоры с минимумом интерфейсов, так и процессоры с несколькими ядрами, разви-

тым набором интерфейсов, дополнительными контроллерами. Масштабируемые архитектуры подразумевают программную, аппаратную и топологическую (по выводам корпусов) совместимость между группами микропроцессоров/микроконтроллеров. В рамках этой концепции микропроцессор **Sitara™ AM1707** совместим с **OMAP-L137**, а микропроцессор **Sitara™ AM1808** — с **OMAP-L138**.

В линейке на основе ядра **Cortex-A8** в настоящее время имеются четыре группы микропроцессоров, отличаю-

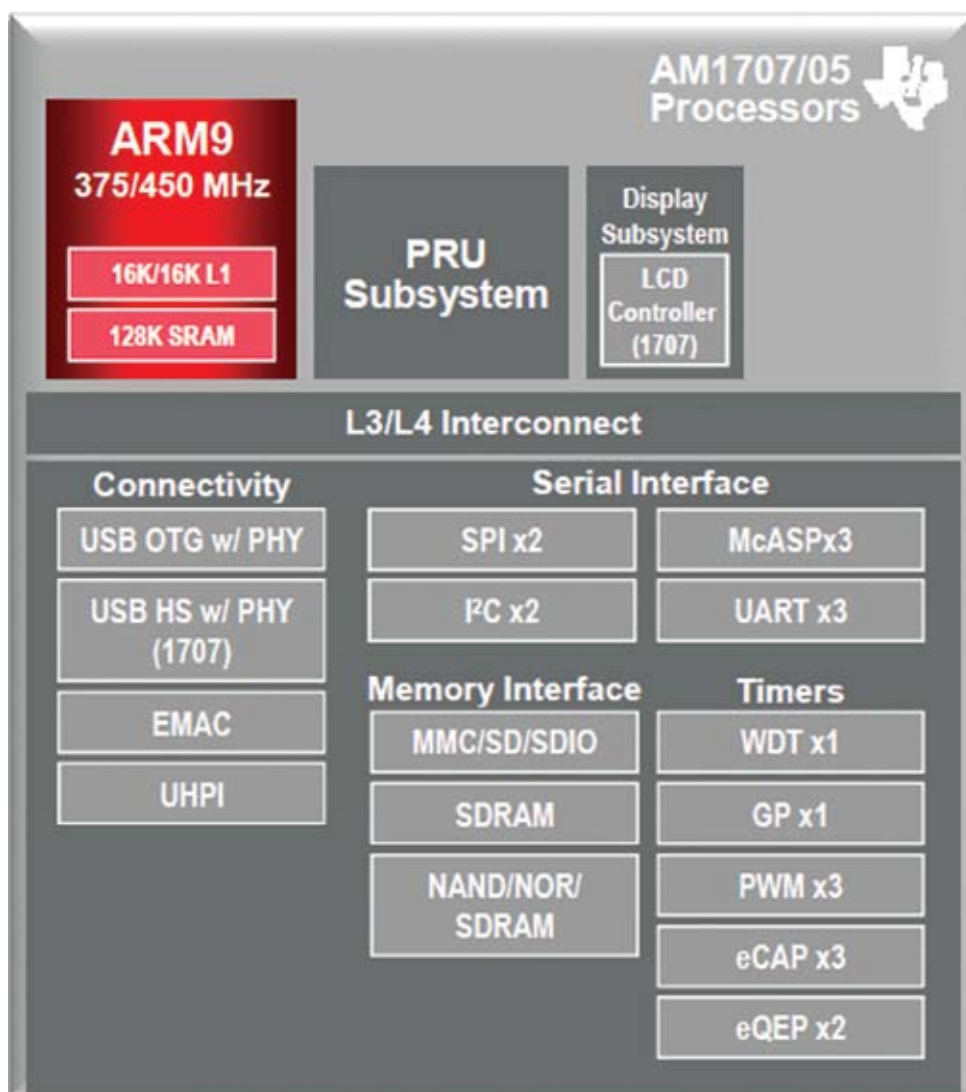


Рис. 1. Структура микропроцессоров **AM1705/1707**



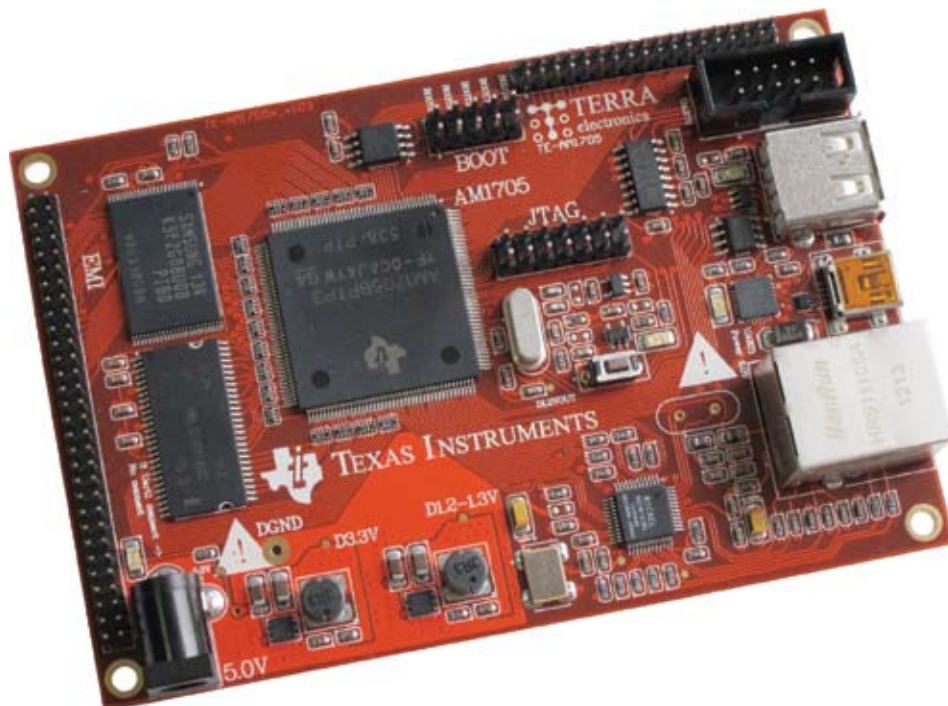


Рис. 2. Модуль TE-AM1705v2

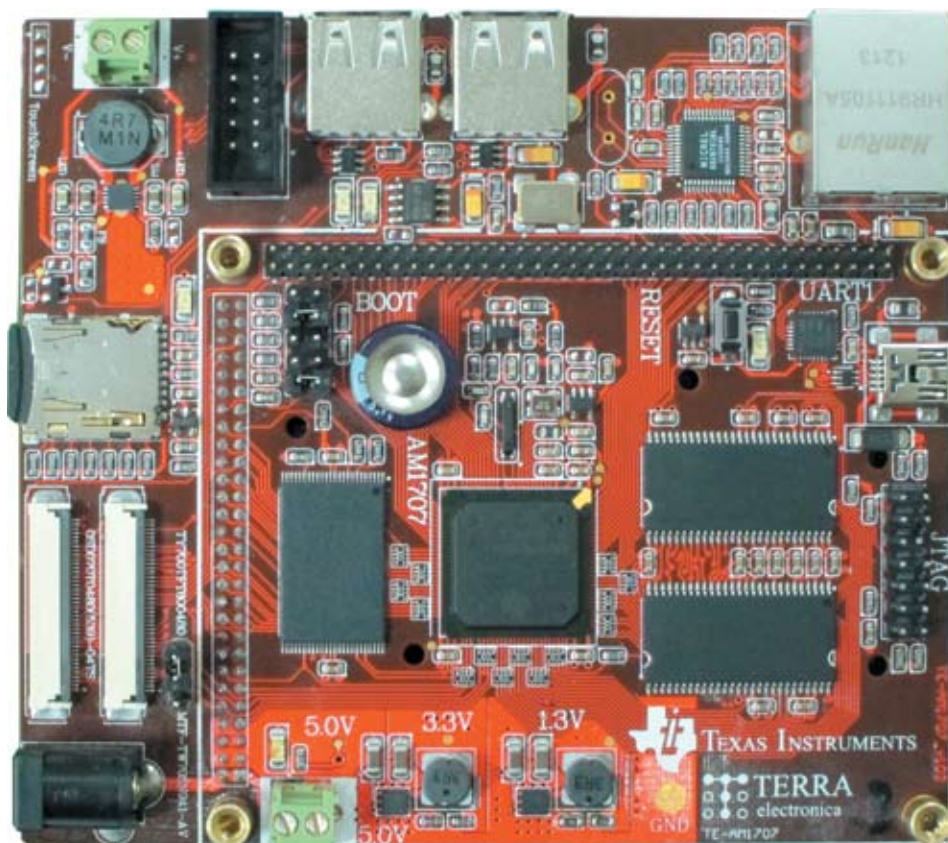


Рис. 3. Процессорная плата модуля TE-AM1707LCD70

щихся максимальной тактовой частотой (720 МГц, 600 МГц, 1000 МГц, 1,5 ГГц). В каждой группе по два микропроцессора, один с графическим ускорителем, другой без него.

Разработка систем на основе действующих 32-разрядных микропроцессоров трудоемка, требует высокой квалификации и значительного опыта.

В системе необходимо обеспечить работу внешней памяти с высокой скоростью обмена, поскольку такие микропроцессоры внутренней Flash-памяти не имеют. Также быстрые микропроцессоры требовательны к организации питания, имеют многовыводные корпуса BGA, непростые с точки зрения трассировки и монтажа. Поэтому конечные изделия

часто изготавливаются с использованием модулей SOM (System On Module), которые содержат собственно микропроцессор с системой питания, внешнюю память и отладочный разъем. Программное обеспечение при этом строится на основе операционных систем: Linux, Windows CE и др.

### Модули Терраэлектроники на основе микропроцессоров Sitara

Компания Терраэлектроника на основе микропроцессоров семейства Sitara с ядром ARM9 разработала встраиваемые модули **TE-AM1705v2** и **TE-AM1707LCD70**. Первый из них является производительным процессорным модулем, ориентированным на применение в составе приборов и промышленных систем, второй — модулем на основе микропроцессора с контроллером LCD и дисплея 7", который позволяет в развитой системе с быстрым процессором и разнообразными интерфейсами реализовать функцию HMI (Human Machine Interface).

Модуль TE-AM1705v2 выполнен на микропроцессоре **AM1705PTP3**, который имеет корпус LQFP176, привычный для отечественных разработчиков и простой для монтажа. Процессорное ядро ARM926EJ-S работает на частотах до 456 МГц. На кристалл интегрированы интерфейсы Ethernet MAC 10/100 и USB 2.0 OTG. Для формирования широко-модулированных сигналов имеются три блока PWM с улучшенными характеристиками. В набор интерфейсов входят два многоканальных последовательных аудиопорта.

На плате модуля TE-AM1705v2 (рис. 2), кроме микропроцессора, установлена внешняя память: NAND 128 MB, SDRAM 32 MB, SPI Data Flash 2 MB. Набор интерфейсов включает порты Ethernet, USB Host, RS-232, слот microSD и мост USB-UART.

Для программирования и отладки имеется разъем **JTAG**. На два штыревых разъема выведены линии **GPIO** микропроцессора и параллельная 8-разрядная шина.

Этот функциональный набор аппаратных средств модуля TE-AM1705v2 открывает большие возможности для построения систем управления, обработки и формирования сигналов. Модуль может быть также использован разработчиками как аппаратная платформа для получения практических навыков работы с ОС Linux. Для этого в комплект поставки включен многостраничный документ «Рекомендации по установке ОС Linux на модуль TEAM1705v2».

Процессорная плата модуля TE-AM1707LCD70 (рис. 3) выполнена на микропроцессоре **AM1707BZKBD4**, который имеет интегрированный контроллер LCD и заключен в корпус BGA256.

Ядро **ARM926EJ-S** в этом микропроцессоре работает на частотах до 456 МГц, на кристалл интегрированы порт Ethernet MAC 10/100 и два порта USB (Host, OTG). Имеются блок PRU и три блока PWM, три многоканальных последовательных аудиопорта.

На процессорной плате установлены два разъема, к которым могут быть подключены дисплеи **OSD070T0480** или **MTF-TW70SN941**. Оба дисплея имеют диагональ 7", разрешение 800x480 точек, сенсорный экран.

Конфигурация внешней памяти на плате модуля TE-AM1707LCD70 содержит NAND Flash 128 MB, SDRAM 64 MB, SPI Data Flash 2 MB.

Набор интерфейсов модуля включает порты Ethernet, 2xUSB Host, RS-232, microSD и мост USB-UART.

Для программирования и отладки имеется разъем JTAG 2x7 выводов. На два штыревых разъема выведены линии GPIO микроконтроллера и параллельная 16-разрядная шина.

На модуль установлен BSP (Board Support Package) Linux и графическая библиотека Qt (рис. 3).

Принцип масштабируемых архитектур позволяет установить на плату этого модуля микропроцессор **OMAP-L137**, имеющий на кристалле дополнительное DSP-ядро C674x. Это значительно увеличивает возможности по обработке сигналов всей системы без дополнительных изменений аппаратуры.

Модули TE-AM1705v2 и TE-AM1707LCD70 имеют проверенную схемотехнику, оптимизированные топологии плат, функции отладки. Они могут быть использованы на этапе изучения семейства Sitara компании Texas Instruments, при разработке систем управления, а также в составе серийных изделий в качестве OEM-модулей.

Модуль TE-AM1705LCD70 при использовании графической библиотеки Qt позволяет быстро реализовать производительные системы управления с развитыми функциями HMI (Human Machine Interface).

### BSP Linux

Программные пакеты BSP (Board Support Package) содержат все необходимое для установки и запуска ОС Linux на модулях TE-AM1705v2 и TE-AM1707LCD70. В состав каждого BSP входят U-Boot (загрузчик операционной системы), ядро ОС Linux (Kernel 3.2.1) и набор драйверов устройств. Загрузчик и ядро ОС в BSP представлены также в виде исходных текстов и сконфигурированы для двух вариантов источников загрузки (энергонезависимой памяти): NAND или SPI data flash.

В загрузчике U-Boot реализована поддержка интерфейса Ethernet и со-



Рис. 4. Демонстрационное изображение библиотеки Qt

хранение переменных среды окружения в энергонезависимую память, что позволяет гибко подойти к выбору источника ядра (загрузка из сети по протоколу tftp, NAND, SPI, USB и т.д.) и параметров загрузки ОС (передачи командной строки ядру) — это сокращает время, необходимое на разработку программного обеспечения.

Ядро ОС Linux, включенное в состав BSP, настроено на поддержку модулей TE-AM1705v2 и TE-AM1707LCD70. Набор драйверов поддерживает все функциональные устройства, реализованные в модулях: Ethernet, SPI Data flash, NAND, UART, RTC и т.д. Таким образом, после загрузки модуля появляется возможность использовать эти устройства, применяя интерфейс программирования приложений API (Application Programming Interface) ОС Linux, т.е. создавать прикладное программное обеспечение.

BSP Linux позволяет в минимально возможный срок освоить модули TE-AM1705v2 и TE-AM1707LCD70 и приступить к разработке прикладного и/или системного программного обеспечения.

### Заключение

Концепция масштабируемых архитектур, обеспечивающая программную, аппаратную и топологическую (по выводу корпусов) совместимость между группами микропроцессоров различной производительности, открывает большие перспективы перед разработчиками. Семейство Sitara™ является базой масштабируемых архитектур 32-разрядных микропроцессоров компании Texas Instruments.

Компания Терраэлектроника с помощью многоцелевых модулей TE-AM1705v2 и TE-AM1707LCD70 стремится максимально ускорить для разработчиков темп изучения новых электронных компонентов и их применения в приборах и системах. Эти модули могут применяться на всех этапах жизненного цикла изделий:

- при освоении микропроцессоров семейства Sitara™ как начинающими, так и опытными разработчиками;
- при разработке, макетировании и отладке новых изделий;
- в качестве готовых узлов серийных систем.

Следует отметить, что модуль TE-AM1705v2 с BSP Linux на микропроцессоре Sitara 456 МГц доступен по цене модулей на микроконтроллерах Cortex-M.

Кроме того, компания «Терраэлектроника» производит бюджетный эмулятор/программатор TE-XDS100v3, при использовании которого система программирования Code Composer Studio является бесплатной. Разработчики могут приобрести микропроцессоры AM1705/1707 и модули TE-AM1705v2/1707LCD70 в компании «Терраэлектроника», а также получить консультации инженеров по вопросам их применения.

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



Александр Калачев (г. Барнаул)

## БЫСТРЕЕ, НАДЕЖНЕЕ, ЭФФЕКТИВНЕЕ! MSP430 C FRAM



Новый микроконтроллер **MSP430FR57xx** с 16-битным RISC-ядром и встроенной **FRAM-памятью** дает возможность сэкономить на внешних носителях информации — надобность в них просто отпадает. Он позволяет существенно сэкономить время и энергопотребление в таких приложениях, как промышленные и бытовые устройства с автономным питанием и возможностью ведения длительного лога данных; узлы беспроводных систем сбора данных, работающих по стандартам **ZigBee**, **6LoWPAN**.

Для автономно работающего прибора необходимость отслеживания уровня питающего напряжения и принятия специальных мер в случае его критического падения возникла не на пустом месте. Непреднамеренный сброс или отключение питания в результате сбоя приводит к потере данных, что всегда неприятно. В ряде случаев возникает необходимость сохранения данных приложения (контекста приложения) при штатном отключении питания. Одним из возможных решений является запись данных в EEPROM, на флеш-память, или на внешнюю энергонезависимую память.

В каждом из предложенных решений есть несколько подводных камней. Например, размеры EEPROM, как правило, ограничены несколькими сотнями байт. Запись во флеш-память требует соблюдения специальных процедур и предварительного стирания блоков или секторов в случае, если адреса, по которым требуется произвести запись, уже содержат данные. Кроме того, это достаточно ощутимые затраты времени, исчисляемые десятками, а то и сотнями миллисекунд. Внешняя память дополнительно к затратам времени увеличивает энергопотребление устройства и размеры печатной платы.

### Технология энергонезависимой памяти FRAM

Возможный выход в решении описанных выше проблем лежит в создании энергонезависимой оперативной памяти. FRAM — это одна из технологий энергонезависимой встраиваемой памяти, являющаяся на сегодняшний день наиболее простой в реализации, энергоэффективной и универсальной.

Ячейка типа **1T-1C**, разработанная для FRAM, схожа по своему устрой-

ству с обоими типами ячеек, широко используемых в DRAM-памяти, включая структуру, состоящую из одного конденсатора и одного транзистора. В конденсаторе DRAM-ячейки используется линейный диэлектрик, тогда как в конденсаторе FRAM-ячейки применяется диэлектрическая структура, включающая в себя сегнетоэлектрик. Обычно его роль играет пьезокерамика PZT (цирконат-титанат свинца) [1, 2].

Сегнетоэлектрик (рис. 1) обладает нелинейной связью между применяемым электрическим полем и хранимым зарядом. В частности, сегнетоэлектрическая характеристика имеет вид петли гистерезиса, который очень схож в общих чертах с петлей гистерезиса ферромагнитных материалов. Диэлектрическая константа сегнетоэлектрика, как правило, значительно выше, чем у линейного диэлектрика вследствие эффекта полупостоянных электрических диполей, формируемых в кристаллической структуре сегнетоэлектрического материала. Когда внешнее электрическое поле проникает через диэлектрик, диполи выравниваются по направлению прикладываемого поля, приводя к небольшим сдвигам позиций атомов и смещениям прохождения электрическо-

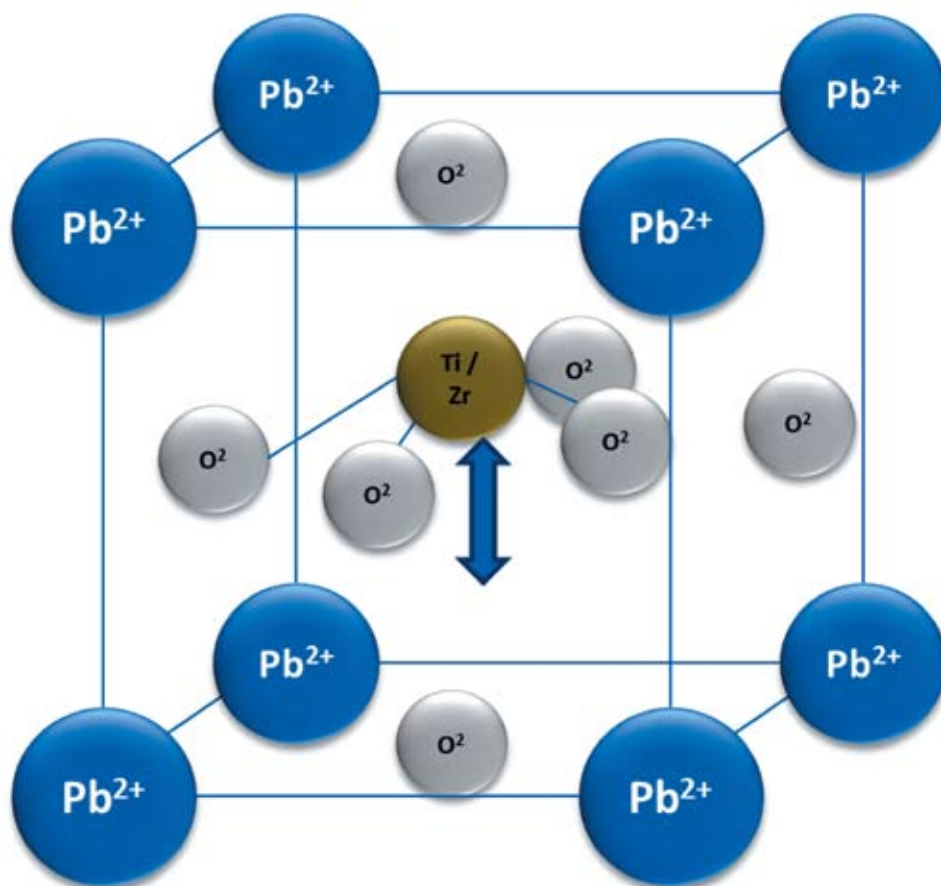


Рис. 1. Структура кристалла сегнетоэлектрика



Таблица 1. Сравнительные характеристики FRAM, SRAM, EEPROM и Flash памяти

| Параметр                                                   | FRAM  | SRAM          | EEPROM   | Flash   |
|------------------------------------------------------------|-------|---------------|----------|---------|
| Сохранность данных при отключении питания                  | +     | —             | +        | +       |
| Скорость записи (блок данных)                              | 7 мс  | <10 мс        | ~1 сек   | ~1 сек  |
| Средний ток потребления при записи, мкА                    | 100   | <60           | 4000     | 4000    |
| Количество циклов перезаписи                               | ~1015 | Не ограничено | ~100 000 | ~10 000 |
| Возможность побитного программирования                     | +     | +             | —        | —       |
| Универсальное решение (хранение программ, хранение данных) | +     | —             | —        | —       |

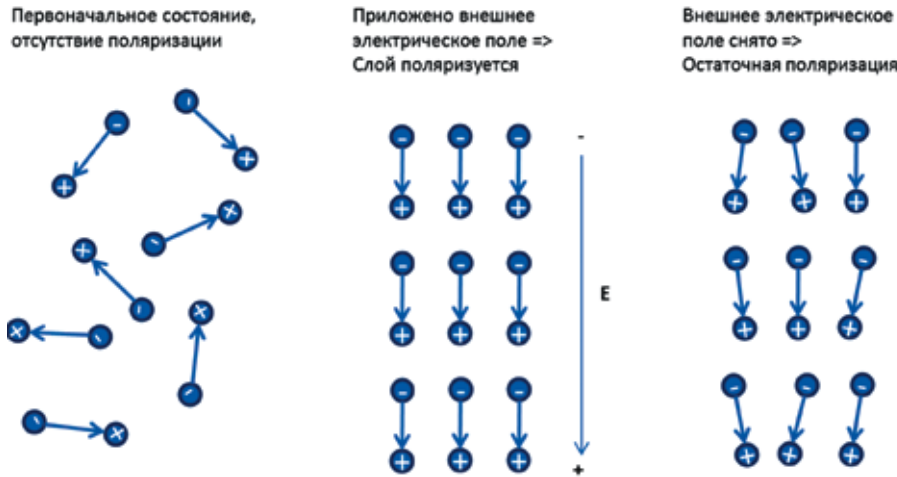


Рис. 2. Поведение слоя сегнетоэлектрика под действием внешнего электрического поля

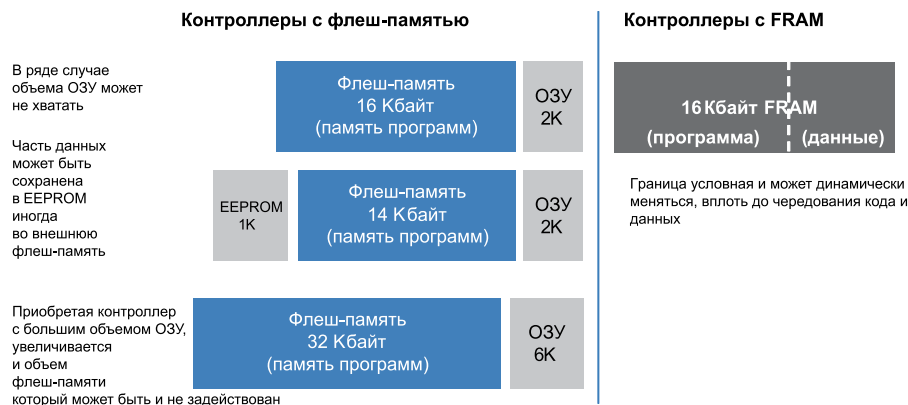


Рис. 3. Организация памяти в обычных контроллерах и в контроллерах с FRAM

го заряда в кристаллической структуре (рис. 2). После удаления заряда диполи сохраняют свое состояние поляризации. Обычно двоичные «0» и «1» хранятся в виде одной из двух возможных электрических поляризаций в каждой ячейке хранения данных. Например, под «1» понимается отрицательный остаток поляризации «-Pr», а под «0» — положительный остаток поляризации «+Pr».

Функционально FRAM похожа на DRAM. Запись происходит путем проникновения поля через сегнетоэлектрический слой при зарядании электродов, принуждая атомы внутри принимать ориентацию вверх или вниз (в зависимости от полярности заряда), за счет чего запоминается «1» или «0».

Принцип чтения несколько отличается от его реализации в DRAM. Транзистор переводит ячейку в особое состояние, сообщая «0». Если ячейка уже содержит «0», то на линиях вывода ничего не произойдет. Если ячейка содержит «1», то переориентация атомов в прослойке приведет к короткому импульсу на выходе, так как они вытолкнут электроны из металла на «нижней» стороне. Наличие этого импульса будет означать, что ячейка хранит «1». Так как процесс перезаписывает содержимое ячейки, то чтение из FRAM — деструктивный процесс, который требует регенерации данных в ячейке в случае их изменения при считывании.

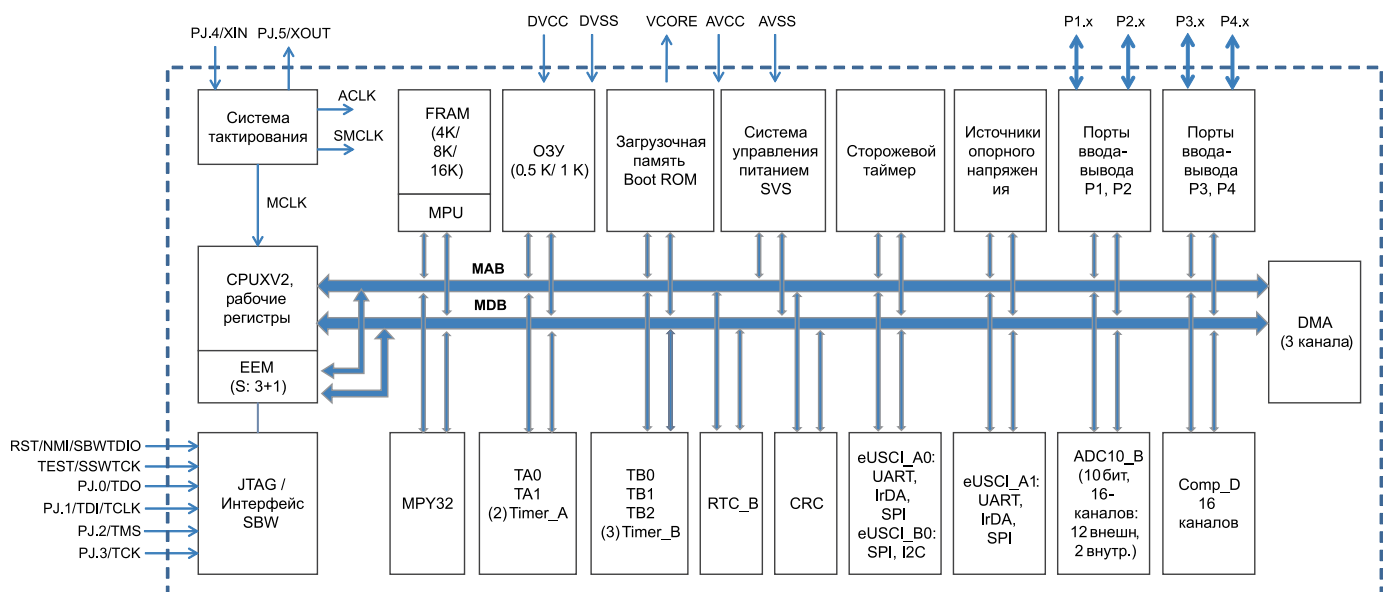


Рис. 4. Структура микроконтроллеров семейства MSP430FR57xx

Таблица 2. Микроконтроллеры семейства MSP430FR57xx

| Наименование        | Частота, МГц | FRAM, кБ | SRAM, байт | АЦП 10-бит, каналов | Компаратор | USCI_A (UART; SPI) | USCI_B (I <sup>2</sup> C; SPI) | Таймеры 16-бит | Корпус          |
|---------------------|--------------|----------|------------|---------------------|------------|--------------------|--------------------------------|----------------|-----------------|
| <b>MSP430FR5725</b> | 8            | 8        | 1024       | 14                  | 16         | 2                  | 1                              | 5              | 40VQFN          |
| <b>MSP430FR5728</b> | 8            | 16       | 1024       | 8                   | 10         | 1                  | 1                              | 3              | 24VQFN          |
| <b>MSP430FR5729</b> | 8            | 16       | 1024       | 14                  | 16         | 2                  | 1                              | 5              | 38TSSOP, 40VQFN |
| <b>MSP430FR5730</b> | 24           | 16       | 512        | 8                   | 10         | 1                  | 1                              | 3              | 24VQFN          |
| <b>MSP430FR5735</b> | 24           | 8        | 1024       | 14                  | 16         | 2                  | 1                              | 5              | 40VQFN          |
| <b>MSP430FR5738</b> | 24           | 16       | 1024       | 8                   | 10         | 1                  | 1                              | 3              | 24VQFN          |
| <b>MSP430FR5739</b> | 24           | 16       | 1024       | 14                  | 16         | 2                  | 1                              | 5              | 38TSSOP, 40VQFN |

### FRAM: новые технологии — новые преимущества

Технология FRAM присутствует на рынке уже более 10 лет, начиная с микросхем энергонезависимой памяти **Ramtron International Corporation**.

#### Основные свойства FRAM:

- FRAM является энергонезависимой памятью (данные сохраняются после отключения питания);
- FRAM — память с произвольным доступом. В ней отсутствует деление на блоки или сегменты. Чтение или запись данных происходят аналогично обычной ОЗУ;
- процедура чтения или записи памяти не требует инициализации, снятия блокировки или настройки регистров управления;
- запись ячейки в FRAM требует меньше энергии, по сравнению с DRAM или флеш-памятью, поскольку не требует зарядки конденсатора ячейки памяти;
- запись ячейки возможна во всем рабочем диапазоне напряжения питания памяти;
- практически не ограниченное число циклов записи — порядка  $10^{15}$ ;
- память нечувствительна к наличию магнитных полей, т.к. кристаллы сегнетоэлектрика не содержат ионов железа;
- гарантированное время хранения данных — до 19 лет, при температуре 85°C.

Сравнение FRAM с основными типами памяти представлено в таблице 1.

Внедрение технологии FRAM в микроконтроллеры открывает новые уникальные возможности по организации программного обеспечения, размещения и хранения данных. Даже при едином адресном пространстве память контроллера разделена на области — память программ, оперативная память, энергонезависимая память. Для приложений, требующих большого объема оперативной памяти, требовалось покупать контроллер из выбранной линейки, с нужным объемом памяти, но чаще всего это вело и к увеличению объема флеш-памяти, которая бывает излиш-

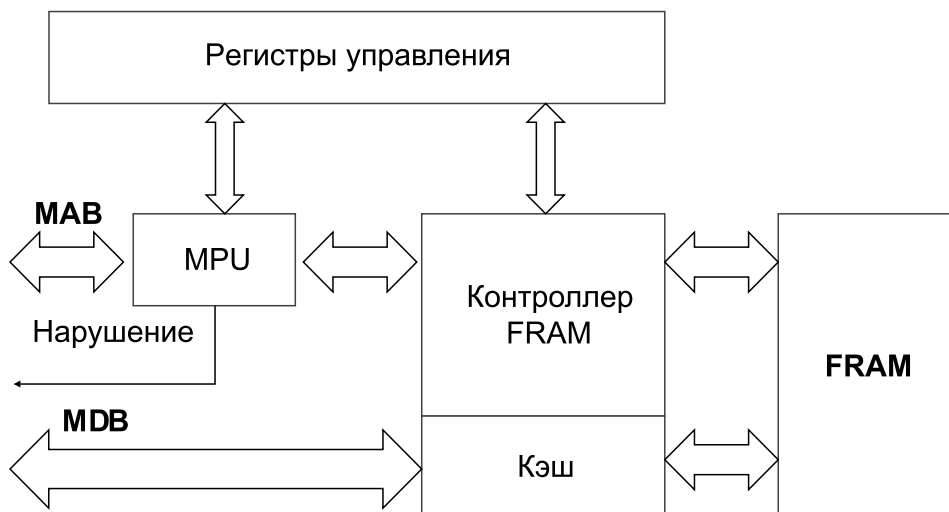


Рис. 5. Структура FRAM-контроллера

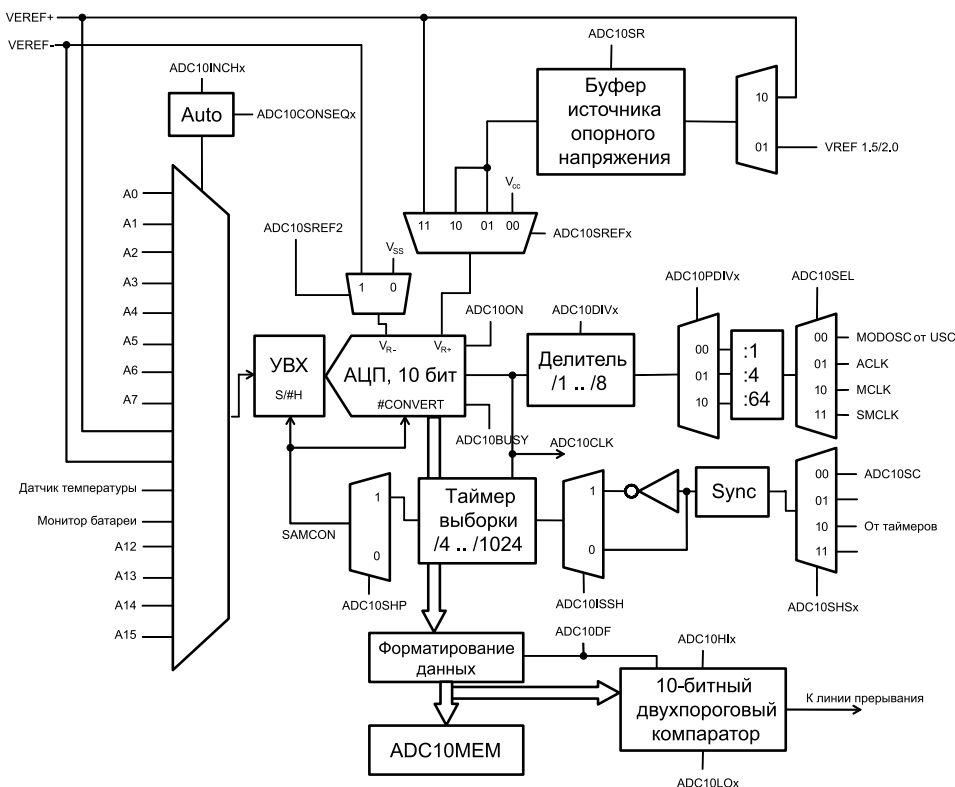


Рис. 6. Структура АЦП-контроллеров MSP430FR57xx

ней. С FRAM пространство памяти становится действительно линейным и единообразным (рис. 3).

Все пространство памяти может быть свободно и единообразно использовано прикладными задачами — один и тот же



- скорость чтения/записи больше в 160 раз, по сравнению с традиционной FLASH, при этом потребление энергии при работе с FRAM меньше в 250 раз;
- практически бесконечное число циклов перезаписи ( $10^{13}$ );



- сохранение состояния после отключения питания и во всех режимах микроконтроллера;

- динамическое управление границами разделов и правами доступа.

FRAM-память в MSP430FR57xx поддерживает режимы побайтной и слововой записи. Имеет автоматические и настраиваемые такты ожидания доступа к памяти. Дополнительно реализована защита от ошибок памяти при помощи кодов с коррекцией ошибочного бита, битом ошибки и флагом индикации ошибки. В ходе выполнения программы из FRAM контроллер памяти использует двухканальный ассоциативный кэш на 4 байта, таким образом, за один раз выбирается 64 бита. Данное решение в ряде случаев ускоряет работу программ и дополнительно снижает количество циклов доступа к FRAM [1] (рис. 5).

Скорость работы, сравнимая со скоростью работы с RAM (время доступа ~50 нс), а также сохранение состояния после пропадания питания позволяют использовать FRAM как единый универсальный массив памяти, что дает разработчику гибкие возможности по оптимизации встраиваемых приложений.

Так, для записи слова данных во флеш-память контроллерам необходимо от десятков микросекунд до нескольких миллисекунд времени (к примеру, [MSP430F5438A](#) тратит на запись слова от 37 до 85 мкс в зависимости от режима работы и условий программирования). И это в том случае, если не требуется предварительное стирание сегмента. Время записи одного слова FRAM составляет порядка 100 нс при отсутствии предварительного стирания сектора или отдельного блока.

Процессы неразрушающего чтения ячеек FRAM (чтение с восстановлением) абсолютно прозрачны для приложения и защищены от потери питания в любом режиме энергопотребления контроллера. Цепи питания FRAM в контроллере отделены от цепей основного питания, более того они включают в себя встроенный LDO-стабилизатор и конденсатор, способный хранить достаточный заряд для завершения процедуры записи ячейки при любом сбое питания.

## Периферийные устройства

Наличие аналоговых периферийных устройств позволяет использовать данное семейство контроллеров для сбора и обработки аналоговых данных. Контроллеры семейства MSP430FR57xx включают в себя достаточно высокопроизводительный 10-битный АЦП со скоростью преобразования до 200 К выборок/секунду, встроенным источником опорного напряжения на 1,5; 2,0 и 2,5 В, управляемым временем выборки

сигнала и двухпороговым компаратором. Ток потребления АЦП в активном режиме не превышает 150 мкА.

### Основные возможности АЦП [3]:

- встроенное УВХ с программируемым временем выборки сигнала и периодом опроса;
- запуск преобразования программный или по прерыванию таймеров;
- возможность выбора между внутренним источником опорного напряжения и внешним источником;
- до 12 внешних входных каналов преобразования;
- 4 канала от внутренних источников: датчик температуры, монитор батареи, источник опорного напряжения;
- двухпороговый компаратор для отслеживания входных сигналов;
- несколько режимов преобразования: одиночное преобразование, периодический опрос одного канала, опрос последовательности каналов, периодический опрос последовательности каналов;
- выделенный регистр векторов прерывания АЦП.

Структурная схема АЦП представлена на рисунке 6 [3].

## Универсальные последовательные коммуникационные интерфейсы

eUSCI\_A и eUSCI\_B поддерживают несколько режимов обмена данными. eUSCI\_A поддерживает UART и SPI-режимы, eUSCI\_B — SPI и I<sup>2</sup>C. Это позволяет подключать к контроллеру внешние устройства и модули, такие как интеллектуальные датчики, навигационные модули, беспроводные приемопередатчики и модули, управляющие или ведомые контроллеры.

В режиме асинхронного приемопередатчика eUSCI\_A подключается к внешним устройствам посредством двух внешних выводов UCAxRXD и UCAxTXD. eUSCI\_A в режиме UART обеспечивает независимые буферы данных для приемника и передатчика, независимые сдвигающие регистры приемника и передатчика. Возможны режимы передачи данных с семью или восемью битами данных, с проверкой четности, а также — прием или передача данных начиная с младшего или старшего бита. Поддерживаются режимы мультипроцессорной работы, независимые прерывания по приему, передаче, получению стартового бита.

Структурная схема eUSART\_A в режиме UART представлена на рисунке 7 [3].

В SPI-режиме могут работать и eUSART A-, и eUSART B-интерфейсы.

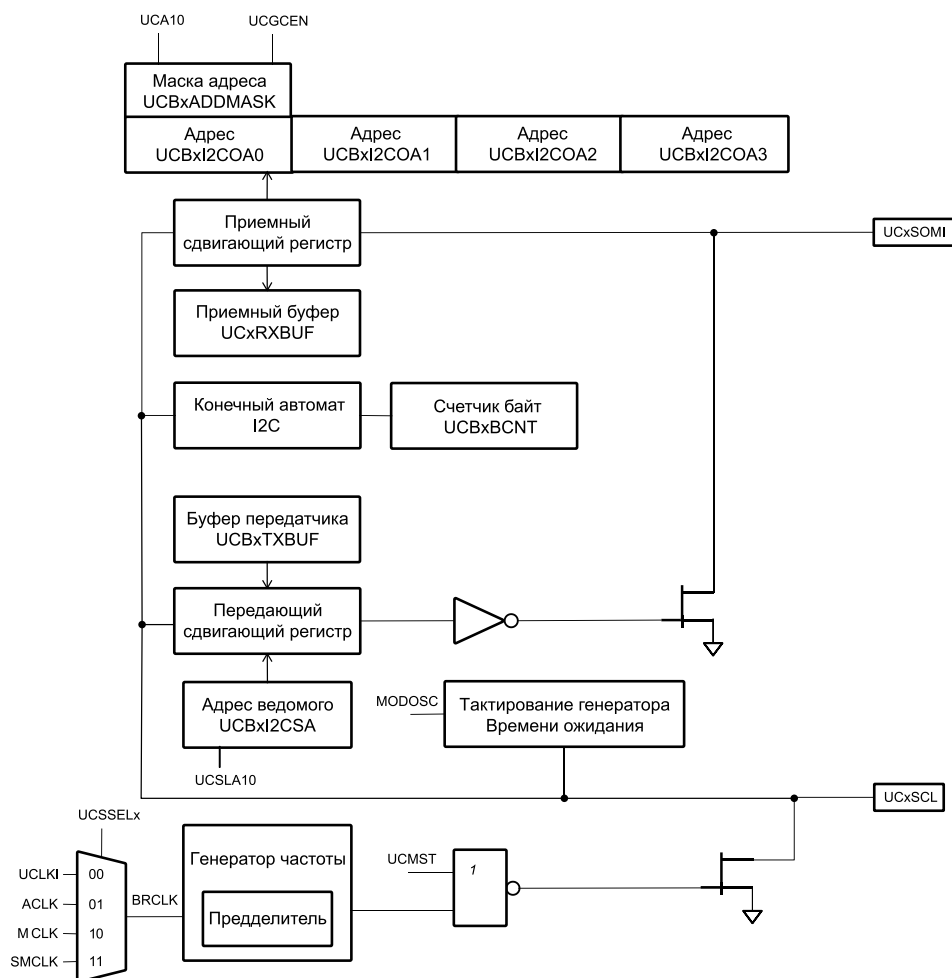


Рис. 9. Структурная схема eUSCU\_B в режиме I<sup>2</sup>C



Рис. 10. Отладочная плата MSP-EXP430FR5739

В данном случае подключение обеспечивается четырьмя линиями UCxSIMO, UCxSOMI, UCxCLK, и UCxSTE.

#### Основные возможности интерфейсов в режиме SPI:

- данные длиной 7, или 8 бит;
- передача младшим или старшим битом вперед;
- режимы ведущего и ведомого устройств;
- независимые буферы и сдвиговые регистры приемника и передатчика;
- режимы длительной передачи и приема данных;
- поддержка операций ведомого устройства в режиме LPM4;
- поддержка нескольких режимов SPI.

Структурная схема eUSART\_x в режиме SPI представлена на рисунке 8 [3].

Последовательный интерфейс eUSCI\_B поддерживает режим двухпроводной последовательной шины I<sup>2</sup>C. В данном режиме поддерживается 7- и 10-битная адресация устройств, режимы работы с несколькими ведущими устройствами на шине, режим ведомого устройства с четырьмя аппаратно поддерживаемыми адресами. Поддерживается стандартный набор скоростей до 100 кбит/с, а также скоростной режим до 400 кбит/с. Ряд операций поддерживается также и в режимах низкого энергопотребления контроллера. Структурная схема eUSCU\_B в режиме I<sup>2</sup>C представлена на рисунке 9 [3].

#### Средства разработки и отладки

В качестве среды разработки предлагается использовать **Code Composer Studio** (доступна бесплатная версия с ограничением по коду в 16 кбайт). Также контроллеры данного семейства поддерживаются **IAR-EW430 v5.20**.

Для быстрого старта разработки на **MSP430FR5739** предлагается использовать отладочную плату **MSP-EXP430FR5739** (рис. 10). Плата осна-

щена USB-программатором-эмулятором ezFET, трехосевым акселерометром, NTC-термистором, парой кнопок и разъемом для подключения стандартных радиомодулей TI для CC1xx, CC2xx, модуля Wi-Fi.

#### Целевые приложения контроллеров семейства MSP430FR57xx

Уникальное сочетание свойств контроллеров семейства MSP430FR57xx позволяет просто и элегантно решить ряд проблем в системах сбора и хранения данных, контроля и управления доступом, в ряде других встраиваемых приложений с автономным питанием.

Применение контроллеров с FRAM для узлов беспроводных сенсорных сетей существенно снижает затраты энергии на обновление программного обеспечения узла, позволяет предотвратить потери данных при выходе системы питания узла из строя или при разряде его источника питания.

Так, при удаленном обновлении программного обеспечения беспроводного узла может расходоваться почти месячный запас энергии, обеспечивающий работу приемопередатчика, стирание и запись блоков памяти, перемещение и хранение блоков данных. Контроллер с FRAM практически исключает затраты энергии и времени работы контроллера на запись новой прошивки — нет предварительного стирания блоков, меньшее время записи, побайтный режим записи. За счет этого расход ресурса источника питания сокращается примерно до четверти дня.

Аналогичная ситуация будет и с системами сбора и хранения данных, таких как трекеры, расходомеры, сейсмодатчики, автоматические метеостанции, охранно-пожарные сигнализации, системы мониторинга жизнедеятельности. Способ записи и расхода энергии FRAM позволяют вести более комплексное наблюдение за счет большего по сравнению с EEPROM объема памяти и возможности длительного хра-

нения данных. Отпадает необходимость во внешних носителях данных.

В системах контроля и управления доступом возникает проблема многократной перезаписи небольшого объема данных при небольших габаритах и энергопотреблении. Ресурсы EEPROM или Flash-памяти могут быть быстро исчерпаны. Контроллер с FRAM позволяет уменьшить число позиций в списке материалов, продлить срок службы устройства, использовать дополнительные алгоритмы для защиты данных.

#### Заключение

Лучшее в своем классе энергопотребление и богатый набор периферии позволяют использовать семейство для разработки бытовых автономных устройств, а также для промышленных применений. Микроконтроллеры с FRAM-памятью идеально подходят для построения автономных устройств с возможностью ведения длительного лога данных, узлов беспроводных систем сбора данных, работающих по стандартам ZigBee, 6LoWPAN.

В первой половине 2013 года Texas Instruments планирует представить контроллеры FRAM с объемом памяти до 64 К, уменьшенным временем выхода из спящего режима и богатым набором периферийных устройств.

#### Литература

1. Priya Thanigai. MSP430FR57xx FRAM Quality and Reliability // <http://www.ti.com/lit/an/slaa526/slaa526.pdf>
2. Volker Rzehak. Low-Power FRAM Microcontrollers and Their Applications // <http://www.ti.com/lit/wp/slaa502/slaa502.pdf>
3. MSP430FR57xx Family User's Guide. // <http://www.ti.com/lit/ug/slau272a/slau272a.pdf>
4. MSP430 Microcontroller 16 bit Microcontroller 16 bit MCU — TI.com // [www.msp430.com](http://www.msp430.com)
5. FRAM Series Product Search from Texas Instruments // [www.ti.com/fram](http://www.ti.com/fram)
6. MSP430FR573x, MSP430FR572x Mixed Signal Microcontroller // <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/msp430fr5720.pdf>
7. MSP430™16-bit Ultra-Low Power MCUs—FRAM Series—MSP430FR5720—TI.com // <http://www.ti.com/product/msp430fr5720#technicaldocuments>
8. MSP430FR57xx — новые микроконтроллеры с FRAM памятью // <http://www.compel.ru/2011/05/19/msp430fr57xx-novye-mikrokontrollery-s-fram-pamyatyu/>

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

Андрей Самоделов (г. Москва)

# МЕЖДУ ДАТЧИКОМ И МИКРОКОНТРОЛЛЕРОМ: НОВЫЕ МИКРОСХЕМЫ СЕМЕЙСТВА SENSOR AFE



Приобретение компанией **Texas Instruments** компании **National Semiconductor** в прошлом году привело, в числе прочего, и к объединению усилий и ноу-хау в области **предварительной обработки аналогового сигнала**, поступающего с разнообразных датчиков и систем учета (так называемый **аналоговый front end**). Результат — новые высокоинтегрированные микросхемы семейства **Sensor AFE**.

В настоящее время многие производители электронных компонентов разрабатывают и выпускают серийно сложные интегрированные системы, предназначенные для сбора и предварительной обработки аналоговых сигналов. В зарубежной литературе для таких микросхем применяется термин Analog Front End или AFE. Микросхемы AFE могут заменять несколько традиционно использовавшихся компонентов, обеспечивая уменьшение размера, стоимости и повышение надежности системы. В данной статье будут рассмотрены новые микросхемы семейства Sensor AFE компании Texas Instruments (TI).

## Семейство микросхем Sensor AFE компании TI

Конфигурируемые микросхемы семейства Sensor AFE и ПО WEBENCH® Sensor AFE Designer компании Texas Instruments являются частью интегрированной программно-аппаратной платформы, упрощающей разработку систем датчиков. Они позволяют за несколько

минут выбрать тип датчика, схемотехнику, сконфигурировать решение и загрузить конфигурацию. Система позволяет оценить сигнальный тракт (включая датчики) либо онлайн, либо на отладочном стенде. В таблице 1 приведен список микросхем, рассмотренных далее.

В таблице 2 приведено сравнение разработки устройства на микросхеме Sensor AFE и на дискретных компонентах.

## Типовые области применения Sensor AFE

Микросхемы семейства Sensor AFE находят применение при сборе сигналов с большого количества типов датчиков.

К ним можно отнести: датчики нагрузки, дифференциальные преобразователи давления, датчики силы, датчики на эффекте Холла, датчики уровня, MEMS-датчики, датчики давления нефти, манометры, датчики давления, манометры, весы, датчики мостов Уитсона, химические датчики, датчики детекторов газа, датчики CO (CO<sub>2</sub>) и H<sub>2</sub>S, газовые анализаторы, газовые детекторы, газовые мониторы, цифровые термометры, термодатчики Type k, терморезисторы.

[LMP90100](#) / [LMP90099](#) / [LMP90098](#) / [LMP90097](#) — аналоговый front end для мостовых датчиков температуры и давления

Семейство LMP90xxx состоит из экономичных 24-разрядных сигма-дельта АЦП с 4 дифференциальными/7 несимметричными ([LMP90100](#)/[LMP90099](#)) или 2 дифференциальными/4 несимметричными ([LMP90098](#)/[LMP90097](#)) аналоговыми каналами. Данные выдаются через SPI-интерфейс в формате «дополнение до» со скоростью 1,6775...214,65 отсчетов/сек.

Таблица 1. Новые микросхемы семейства Sensor AFE компании TI

| Тип AFE                  | Описание                                                               |
|--------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| <a href="#">LMP91050</a> | Конфигурируемые AFE для приложений с NDIR-датчиками                    |
| <a href="#">LMP91200</a> | Конфигурируемые AFE экономичных приложений на базе химических датчиков |
| <a href="#">LMP91002</a> | Конфигурируемые AFE для экономичных датчиков H <sub>2</sub> S и CO     |
| <a href="#">LMP91000</a> | Экономичные AFE для химических датчиков и датчиков газов               |
| <a href="#">LMP90xxx</a> | Семейство многоканальных 16- и 24-битных AFE для датчиков              |

Таблица 2. Сравнение реализации Dual RTD-приложения: микросхема Sensor AFE против дискретных компонентов

| Параметр                                | Sensor AFE LMP90100 | Дискретные компоненты |
|-----------------------------------------|---------------------|-----------------------|
| АЦП                                     | LMP90100            | ADC102S021            |
| ОУ датчика давления                     |                     | LMP7716 + LMP7715     |
| ОУ RTD                                  |                     | LMP7716 + LMP7715     |
| Источник тока RTD                       |                     | LMP7702               |
| Разрешение                              |                     | 10 разрядов, 2 канала |
| Интеграция                              | +                   | —                     |
| Программная конфигурация                | +                   | —                     |
| Истинная непрерывная фоновая калибровка | +                   | —                     |
| Упрощение логистики                     | +                   | —                     |
| Быстрая разработка и отладка            | +                   | —                     |



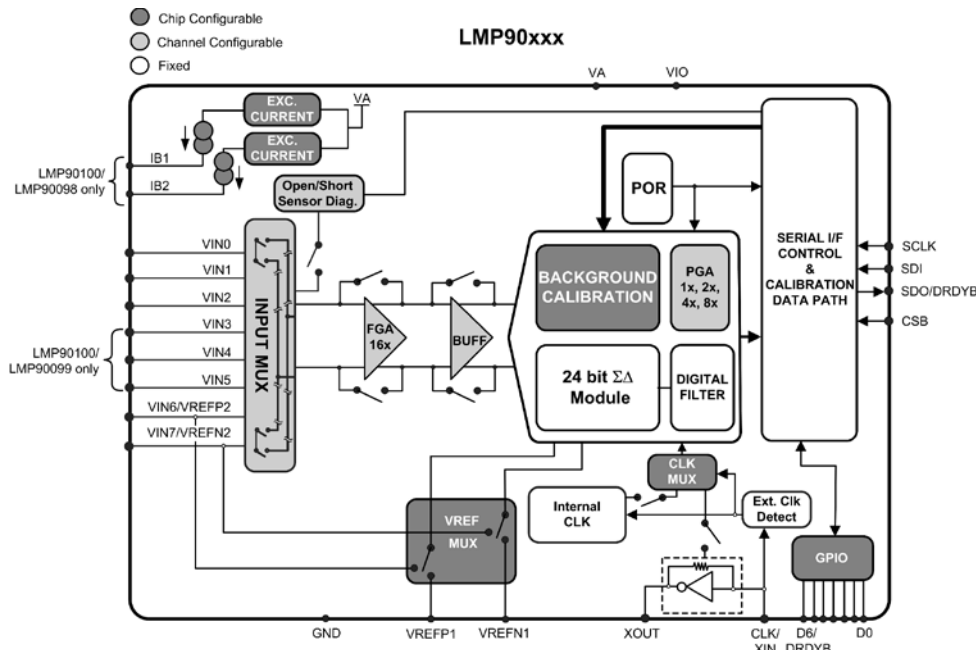


Рис. 1. Внутренняя архитектура LMP90xxx

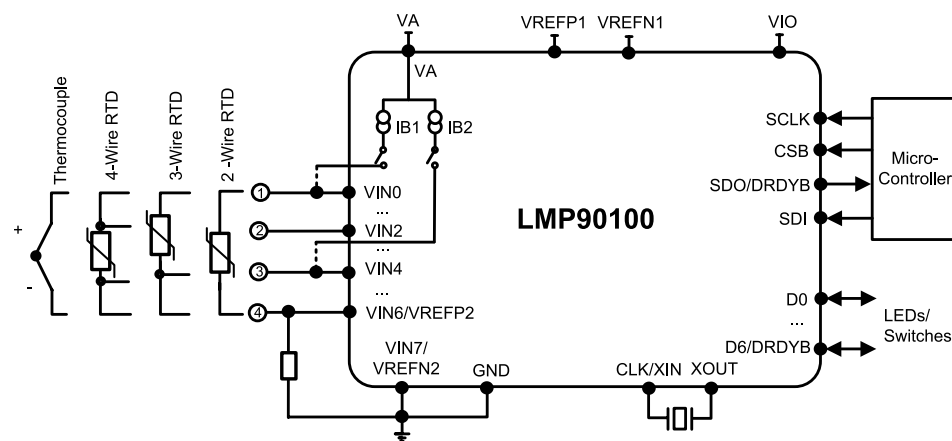


Рис. 2. Типовая схема включения LMP90xxx

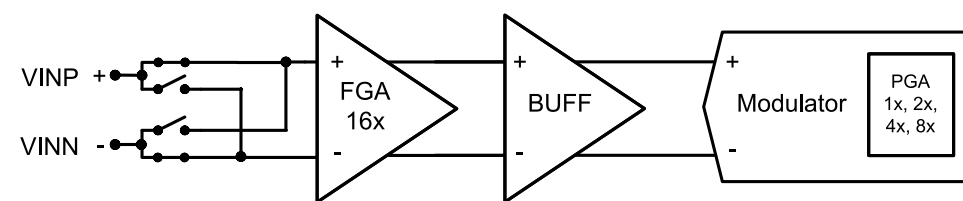


Рис. 3. Схема коррекции напряжения смещения

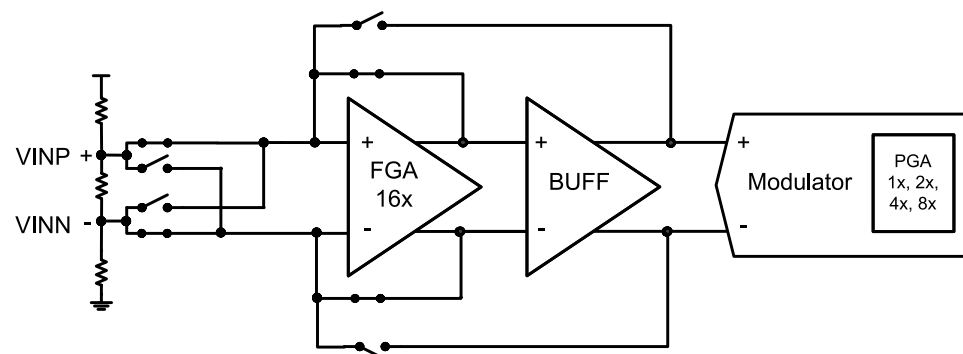


Рис. 4. Схема коррекции коэффициента усиления

Встроенная непрерывная фоновая калибровка напряжения смещения и коэффициента усиления позволяет повысить точность измерений. В отличие от других АЦП, фоновая калибровка в LMP90xxx не оказывает значительного воздействия на входной сигнал.

На рисунке 1 представлена внутренняя архитектура микросхем LMP90xxx, а на рисунке 2 — типовая схема включения.

### Механизм встроенной автоматической калибровки

Для многих приложений с использованием датчиков важным требованием является высокая абсолютная точность и линейность, очень низкий уровень шума, неизменность начального смещения ( $U_{см}$ ) и ошибок коэффициента усиления ( $K_y$ ) во времени и в заданном температурном диапазоне. Исторически аналоговые блоки сопряжения с датчиками (AFE) создавались на дискретных компонентах, таких как дифференциальные усилители и АЦП. Сейчас AFE можно изготовить в виде монолитной ИС. При этом работа по коррекции ошибок в сигнальном тракте ложится на разработчика ИС, а не на разработчика прикладного решения.

Для достижения малого напряжения смещения и ошибок  $K_y$  в LMP90100 используется технология, называемая **True Continuous Background Calibration** (непрерывная фоновая калибровка).

### Фоновая калибровка, реализованная в LMP90100

Микросхема LMP90100 предлагает два метода калибровки напряжения смещения и коэффициента усиления:

**Первый метод** является методом коррекции, в котором LMP90100 непрерывно определяет коэффициент усиления и/или напряжения смещения и применяет его к выходному коду. В этом методе непрерывно отслеживаются изменения  $K_y$  и напряжения смещения LMP90100 при изменении условий работы, таких как напряжение питания, температура и время. Однако, использование этого метода оказывает небольшое влияние на скорость действия, которая зависит от количества каналов и скорости выдачи данных для выбранного канала. На рисунках 3 и 4 изображены принципы коррекции напряжения смещения и коэффициента усиления.

**Второй метод** является методом оценки, в котором LMP90100 непрерывно применяет к выходному коду последнее известное калибровочное значение, которое можно получить из двух источников. Первый источник — фабричный коэффициент, записанный в ПЗУ. Второй источник — это результаты вычислений по методу 1. Использование

метода 2 не оказывает влияния на производительность.

Микросхема LMP90100 позволяет комбинировать метод 1 и метод 2, как показано на рисунке 5, программированием регистра BGCALCN.

### Библиотека для микроконтроллера MSP430

Микроконтроллеры **MSP430** являются идеальным решением для недорогих, экономичных, прецизионных датчиков. Для обеспечения интерфейса любого из микроконтроллеров MSP430 к LMP90100 разработана библиотека **LMP90100 MSP430 Code Library**, обеспечивающая высокий уровень аппаратной абстракции. Библиотека предназначена для работы микроконтроллеров MSP430 с любыми внешними модулями с SPI-интерфейсом, что позволяет разработчикам максимально гибко выбирать наиболее подходящий микроконтроллер MSP430. В комплект поставки библиотеки входят примеры программ, демонстрирующих большинство возможностей LMP90100. Хотя примеры разработаны для микроконтроллера **MSP430F5528**, но их можно легко перенести на другую аппаратную платформу. На рисунке 6 представлена структурная схема библиотеки LMP90100 MSP430 Code Library.

### Отладочная платформа LMP90100 Design Kit

Для оценки возможностей LMP90100 выпускается набор **LMP90100 Design Kit**. Он состоит из оценочной платы **LMP90100 Sensor AFE Evaluation Board (LMP90100EVB)**, общей платы **Sensor AFE Digital Controller Board (SPIO-4)**, **ПО Sensor AFE** и документации. Оценка функциональных возможностей упрощена за счет подключения платы

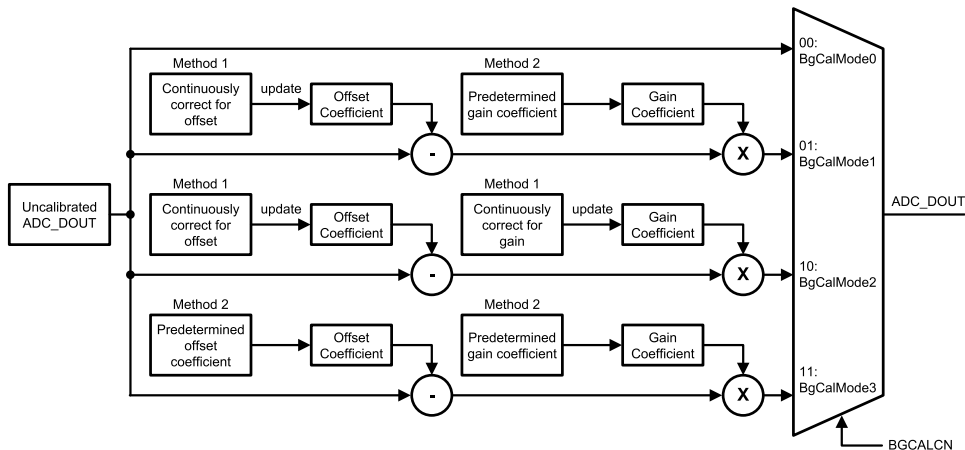


Рис. 5. Варианты применения методов коррекции  $K_y$  и  $U_{cm}$

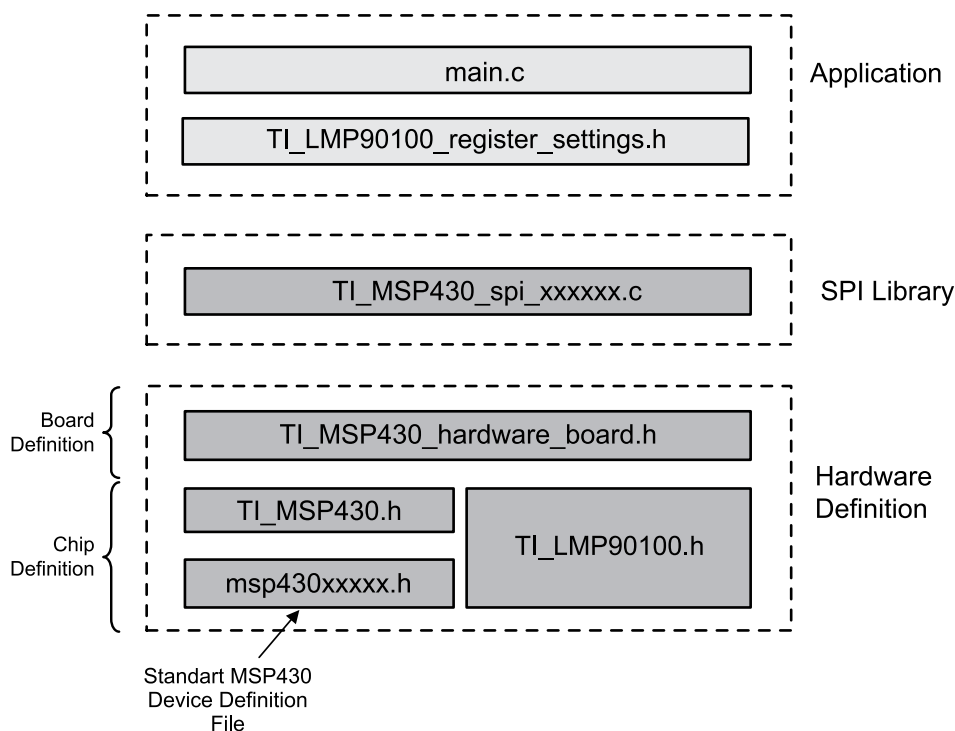


Рис. 6. Структурная схема библиотеки LMP90100 MSP430 Code Library

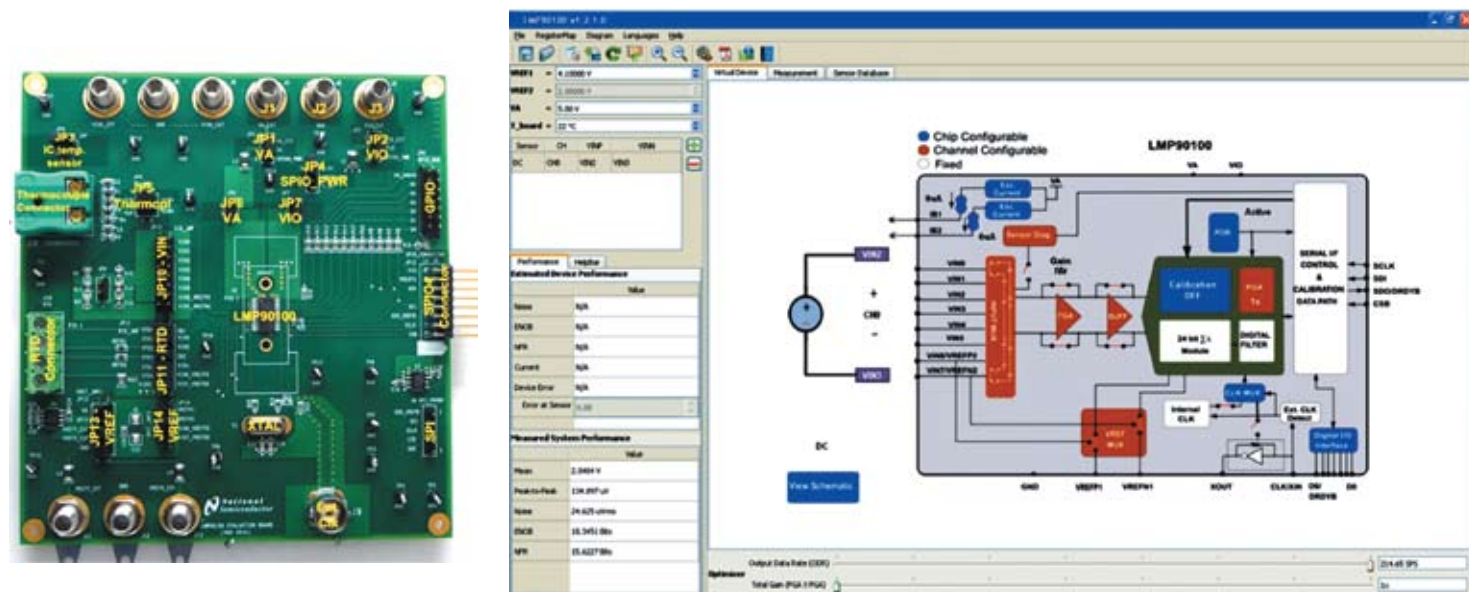


Рис. 7. Внешний вид LMP90100EVB и ПО

Таблица 3. Типовые характеристики LMP91000/LMP91002 при  $T_A = 25^\circ\text{C}$

| Параметр                                         | LMP91000                     | LMP91002                  |
|--------------------------------------------------|------------------------------|---------------------------|
| Напряжение питания, В                            | 2,7...5,25                   | 2,7...3,6                 |
| Потребляемый ток, мкА                            | <10                          |                           |
| Ток ячейки, мкА                                  | >10                          |                           |
| Ток смещения опорного электрода (85°C), пА (max) | 900                          |                           |
| Output drive current перевести. ХС, мкА          | 750                          |                           |
| Полнофункциональная схема для                    | Химических датчиков          | Несмещенных датчиков газа |
| Программирование напряжения смещения             | +                            | —                         |
| Программируемый Кусил ТИА, кОм                   | 2,75...350                   |                           |
| Источник втекающего и вытекающего тока           | +                            | —                         |
| Цифровой интерфейс                               | I <sup>2</sup> C-совместимый |                           |
| Рабочая температура, °C                          | -40...85                     | -40...85                  |
| Тип корпуса                                      | 14 pin LLP                   |                           |
| Основные области применения                      | Химическая идентификация     | Газовые детекторы         |
|                                                  | Электрометры                 |                           |
|                                                  | Электрохимические глюкометры |                           |

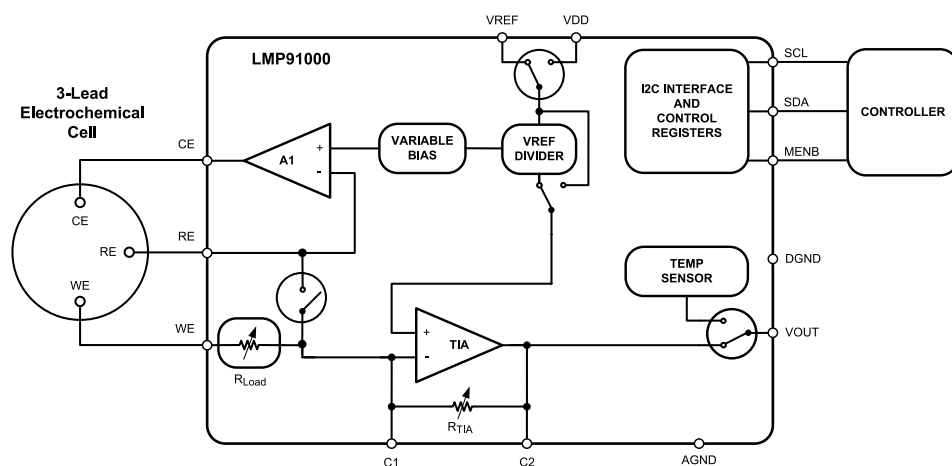


Рис. 8. Внутренняя архитектура и типовая схема включения LMP91000

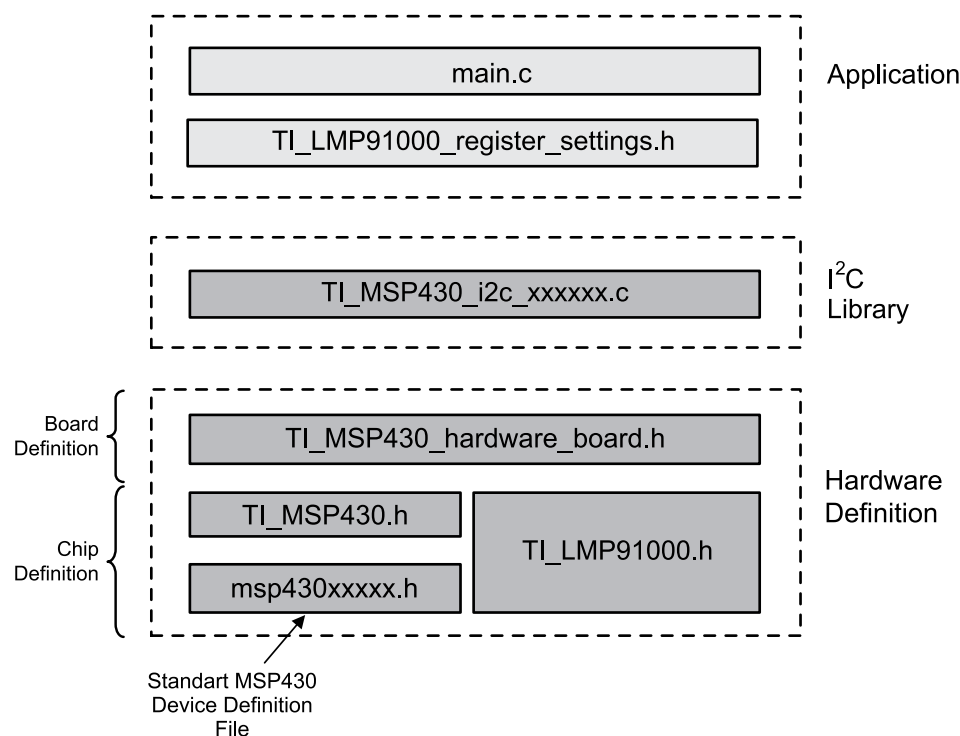


Рис. 9. Структурная схема библиотеки LMP91000 MSP430 Code Library

SPIO-4 к ПК через USB-интерфейс и работающее ПО Sensor AFE. Обмен данными между SPIO-4 и LMP91000EVБ осуществляется по SPI-интерфейсу. Возможно автономное использование платы LMP91000EVБ. На рисунке 7 приведен внешний вид LMP91000EVБ

Микросхема LMP91000 оцифровывает аналоговый сигнал, а ПО отображает результаты в виде кривых и гистограмм. Кроме того, ПО имеет доступ к регистрам LMP91000 на чтение/запись, что позволяет записывать в них калибровочные данные.

#### LMP91000/002 – аналоговый front end для электрохимических датчиков

**LMP91000/LMP91002** – это программируемые AFE для электрохимических датчиков. На них можно реализовать законченный сигнальный тракт от датчика до микроконтроллера. Возможность программирования обеспечивает совместимость с большинством электрохимических датчиков, таких, как трехвыводные датчики токсических газов и двухвыводные датчики гальванических элементов Galvanic cell sensors (LMP91000), или несмещенные электрохимические датчики газа (LMP91002). LMP91000/LMP91002 поддерживают датчики с чувствительностью 0,5...9500 нА/ррм и позволяют эффективно преобразовывать ток в диапазоне 5...750 мкА.

Подстройка смещения (LMP91000) и коэффициента усиления трансимпедансного усилителя (TIA) осуществляется через I<sup>2</sup>C-интерфейс, используемый также для диагностики датчика. Микросхемы имеют встроенный датчик температуры, выходной сигнал которого (вывод V<sub>OUT</sub>) можно использовать для дополнительной корректировки сигнала или для наблюдения за температурным режимом.





Рис. 10. Внешний вид LMP91000SDEVAL

Микросхемы оптимизированы для экономичных приложений и могут работать при напряжении источника питания 2,7...5,25 В (LMP91000) или 2,7...3,6 В (LMP91002), при потребляемом токе меньше 10 мкА. Дальнейшее уменьшение потребляемой мощности возможно при отключении Т1А-усилителя и закорачивании образцового и рабочего электрода внутренним ключом. В таблице 3 приведены типовые характеристики LMP91000/LMP91002 при  $T_a = 25^\circ\text{C}$ .

На рисунке 8 изображена внутренняя архитектура и типовая схема применения LMP91000.

*Библиотека для микроконтроллера MSP430*

Микросхема **LMP91000** программируемого AFE применяется в экономических химических датчиках и оптимальна для использования совместно с MSP430-микроконтроллерами. LMP91000 разработана для трехвыводных газовых датчиков и двухвыводных датчиков гальванических элементов. Она имеет I<sup>2</sup>C-порт (slave), через который может подключаться к MSP430. LMP91000 генерирует выходное напряжение, пропорциональное току через ячейку, и идеальна для обнаружения изменений концентрации газа, основанного на изменении тока через рабочий электрод. Библиотека **LMP91000 MSP430 Code Library** позволяет абстрагироваться от аппаратных особенностей и начать быструю разработку конечных приложений на базе LMP91000.

На рисунке 9 изображена структурная схема библиотеки LMP91000 MSP430 Code Library.

## Комплект разработчика

Оценочная плата для LMP91000 (**LMP91000SDEVAL**) может использоваться как отдельно, так и в составе оценочной платформы **SensorAFE eval platform**. Она позволяет конфигурировать LMP91000 через I<sup>2</sup>C-интерфейс и

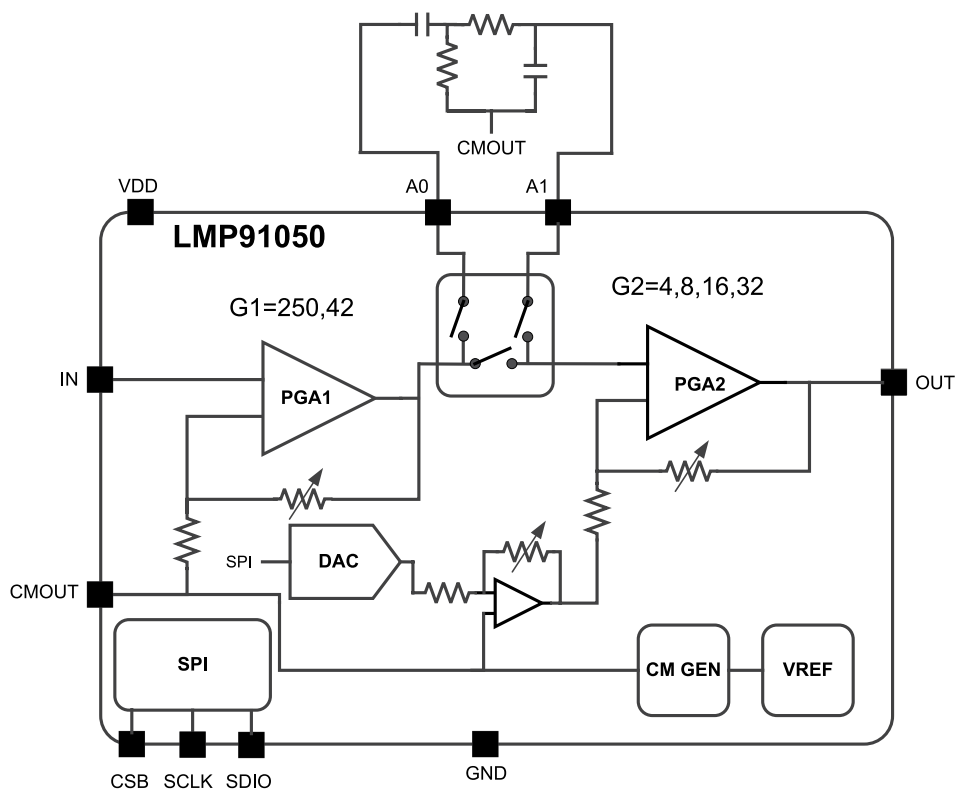


Рис. 11. Внутренняя архитектура LMP91050

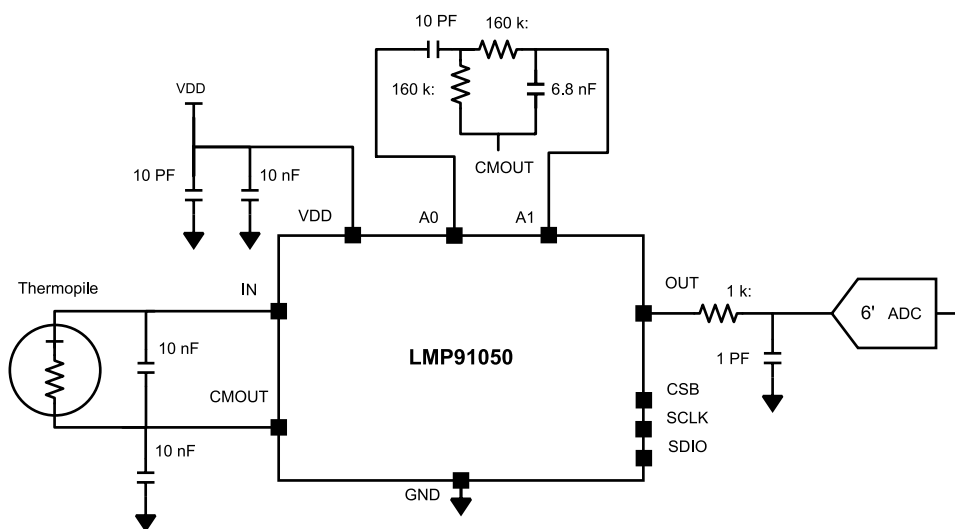


Рис. 12. Типовая схема включения LMP91050

проверять совместимость с реальными газовыми датчиками (3-выводными токовыми и 2-выводными гальваническими ячейками). На рисунке 10 приведен внешний вид LMP91000SDEVAL.

## LMP91050 – аналоговый front end для NDIR-датчиков газа

Микросхема **LMP91050** — это программируемый интегрированный AFE для термопар, часто используемых в NDIR-приложениях. Она позволяет создать замкнутый сигнальный тракт между датчиком (термопарой) и микроконтроллером.

LMP91050 содержит усилитель с программируемым коэффициентом

усиления (PGA), схему компенсации смещения в «темной фазе» и регулируемый (1,15...2,59 В) ИОН, расширяющий выходной динамический диапазон. Коэффициент усиления PGA можно устанавливать в диапазонах 167...1335 и 1002...7986, что позволяет пользователю правильно учесть различную чувствительность термопар. PGA имеет малые показатели дрейфов  $K_y$  (100 ppm/°C), напряжения смещения (1,2 мВ/°C при  $K_y = 1002$ ), фазовой задержки (500 нсек) и низкий уровень шума (0,1 мкВ RMS 0,1...10 Гц).

Для подавления внеполосных шумов в LMP91050 реализована фильтрация

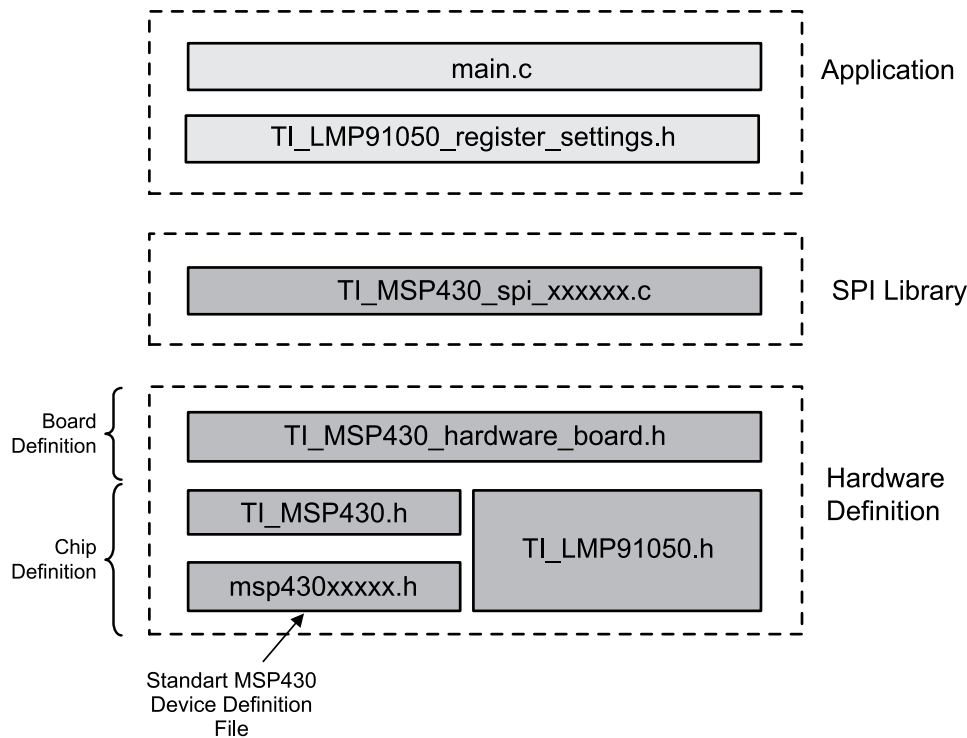


Рис. 13. Структурная схема библиотеки LMP91050 MSP430 Code Library



Рис. 14. Внешний вид LMP91050SDEVAL

сигнала (ФВЧ, ФНЧ или ПФ) через выходы A0 и A1.

Программирование **LMP91050** осуществляется через SPI-интерфейс. Микросхемы выпускаются в 10-контактном корпусе MSOP и имеют рабочую температуру -40...105°C.

На рисунках 11 и 12 изображена внутренняя архитектура и типовая схема включения LMP91050.

#### Библиотека для микроконтроллера MSP430

Микросхема **LMP91050** программируемого интегрированного AFE для датчиков на основе термоэлемента обычно используется в NDIR-приложениях.

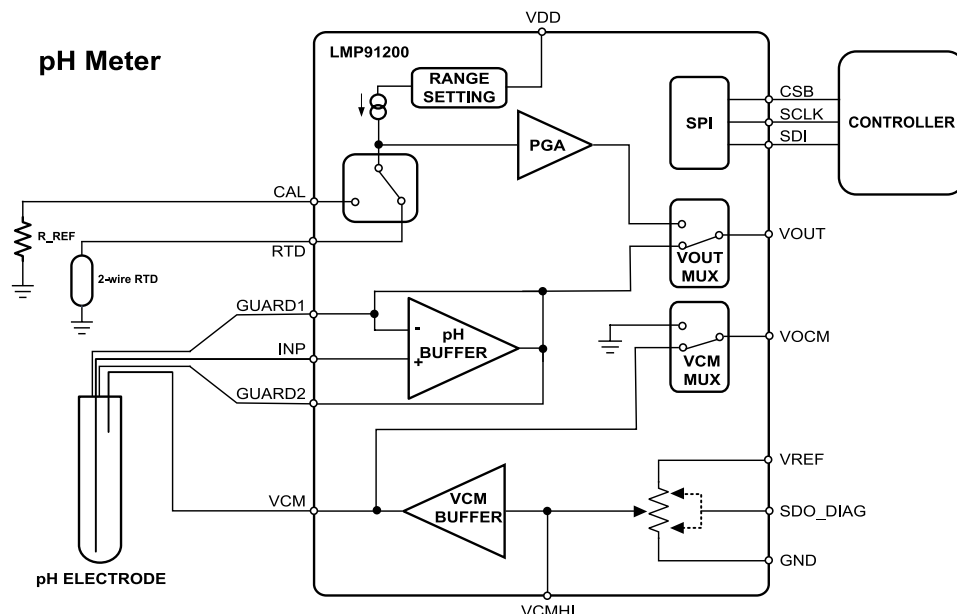


Рис. 15. Внутренняя архитектура и типовая схема включения LMP91200

Библиотека **LMP91050 MSP430 Code Library** обеспечивает соединения любого MSP430-микроконтроллера с LMP91050 и поддерживает модули с SPI-интерфейсами. Это предоставляет разработчику максимальную гибкость при выборе для своего приложения наиболее подходящего микроконтроллера MSP430. Примеры программ разработаны для платы **MSP430F5528** breakout board, но легко могут быть адаптированы для других платформ. На рисунке 13 изображена структурная схема библиотеки LMP91050 MSP430 Code Library.

#### Набор разработчика LMP91050 Design Kit

**LMP91050 Design Kit** (содержит оценочную плату **LMP91050 Evaluation Board LMP91050SDEVAL**, плату управления **SPIO-4 Digital Controller Board и ПО Sensor AFE**), разработан для удобства изучения и разработки устройств на базе LMP91050. Сбор и обработка данных упрощена за счет подключения SPIO-4 Digital Controller Board к ПК через USB-интерфейс с использованием ПО Sensor AFE. Плата сбора данных SPIO-4 генерирует SPI-сигналы для сбора данных и управления LMP91050. Возможно использование LMP91050 без платы SPIO-4 или ПО. Полученные от LMP91050 и оцифрованные данные передаются в ПК и отображаются в виде временного ряда или гистограммы. ПО позволяет осуществлять доступ к регистрам LMP91050 для конфигурирования значений по умолчанию для напряжения смещения и коэффициента усиления. На рисунке 14 приведен внешний вид LMP91050SDEVAL.

#### LMP91200 – аналоговый фронт-энд для датчиков кислотности

Микросхема **LMP91200** – это конфигурируемый AFE для экономичных двухэлектродных датчиков кислотности, работающих на разности потенциалов. Работает при напряжении питания 1,8...5,5 В, имеет чрезвычайно малый входной ток смещения, оптимизирован для датчиков pH. На выводе  $V_{OSM}$  устанавливается начальное смещение, которое может программироваться в зависимости от диапазона измерения pH. Для защиты кабеля с высоким паразитным импедансом предназначены два защитных вывода. В LMP91200 интегрирована поддержка для температурных датчиков Pt1000, Pt100 или подобных им. Управление всеми функциями микросхемы осуществляется через SPI-интерфейс. Встроенные функции тестирования предназначены для проверки правильности подключения и функционирования датчиков. В зависимости от конфигурации потребляемый ток может достигать 50 мкА при измерении pH. Микросхема выпускается в 16-контакт-

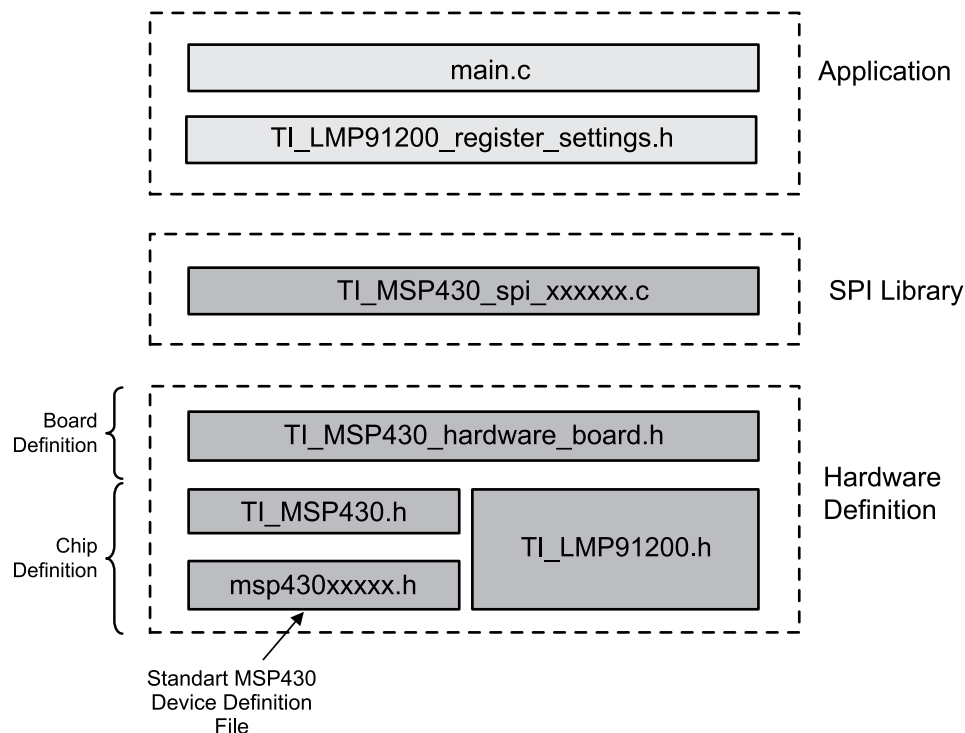


Рис. 16. Структурная схема библиотеки LMP91200 MSP430 Code Library

ном корпусе TSSOP и работоспособна в диапазоне температур -40...125°C.

На рисунке 15 изображена внутренняя архитектура и типовая схема применения LMP91200.

#### Библиотека для микроконтроллера MSP430

Поставляемое ПО содержит библиотеку функций **LMP91200 MSP430 Code Library**, позволяющую быстро сконфигурировать AFE. Она является отправной точкой для инженеров, желающих разрабатывать устройства на базе микроконтроллеров **MSP430** и AFE **LMP91200**. На рисунке 16 изображена структурная схема библиотеки LMP91200 MSP430 Code Library.

#### Отладочная плата LMP91200EVAL

Плата LMP91200 evalboard (**LMP91200EVAL**) может использоваться либо автономно, либо как часть платформы **SensorAFE eval platform**. Она позволяет конфигурировать LMP91200 через SPI-интерфейс и тестировать ее с реальными PH-датчиками. Кроме того, к плате можно подключить внешний датчик температуры, например, **Pt100** или **Pt1000**. На рисунке 17 приведен внешний вид LMP91200EVAL.

Специализированные АЦП для интеллектуальных счетчиков электроэнергии, мониторинга электросетей и защитной автоматики **ADS130E0x/ADS131E0x**

Микросхемы **ADS130E08/ADS131E0x** представляют семейство экономичных, многоканальных, 24-раз-

рядных (16-разрядных для ADS131E0x), сигма-дельта АЦП непрерывного преобразования со встроенным PGA, внутрен-



Рис. 17. Внешний вид LMP91200EVAL

ним ИОН и интерфейсом для внешнего кварцевого резонатора.

Микросхемы оборудованы всем необходимым для измерений (**ADS130E08**) или мониторинга мощности, управления и защиты (**ADS131E0x**) в промышленных приложениях. Высокий уровень интеграции и высокая производительность **ADS130E08** позволяют создавать масштабируемые промышленные системы управления мощностью при значительном уменьшении размера, потребляемой мощности и общей стоимости систем.

Микросхемы в каждом канале имеют гибкий мультиплексор, который может независимо подключать-

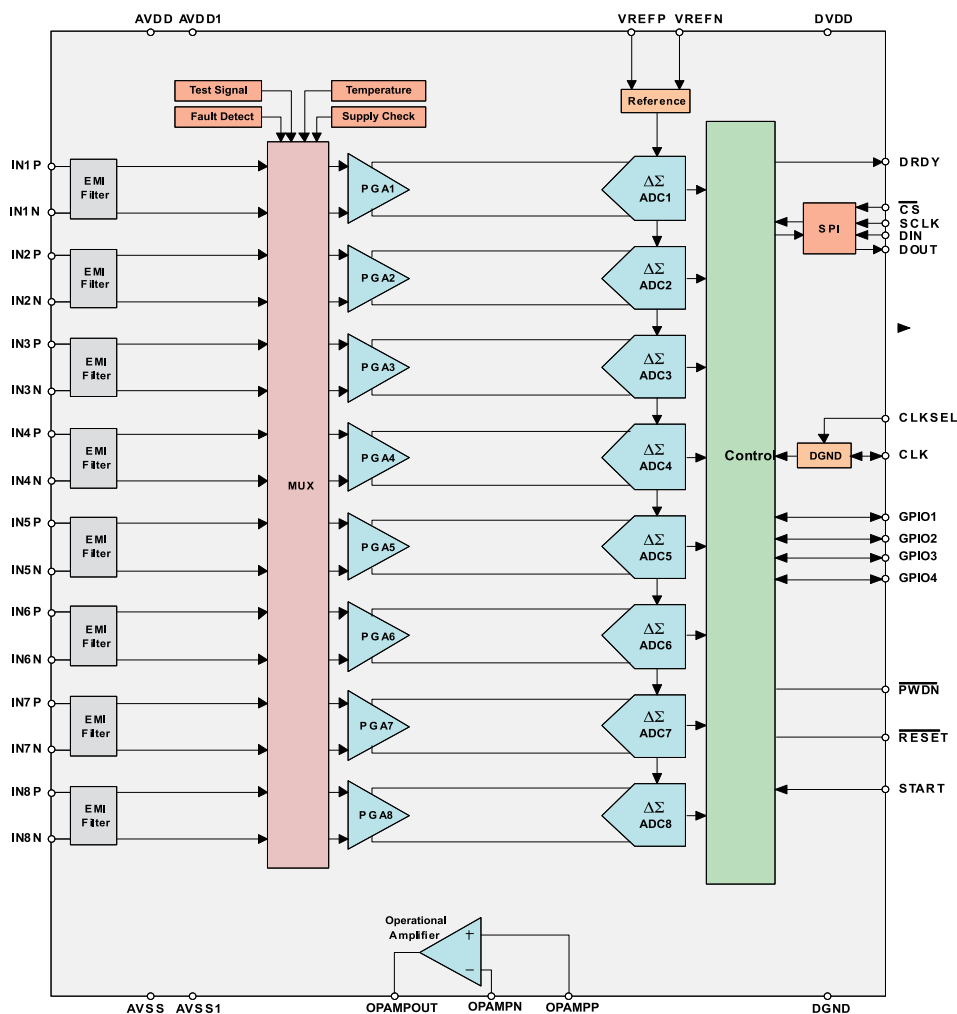


Рис. 18. Внутренняя архитектура ADS13xE0x



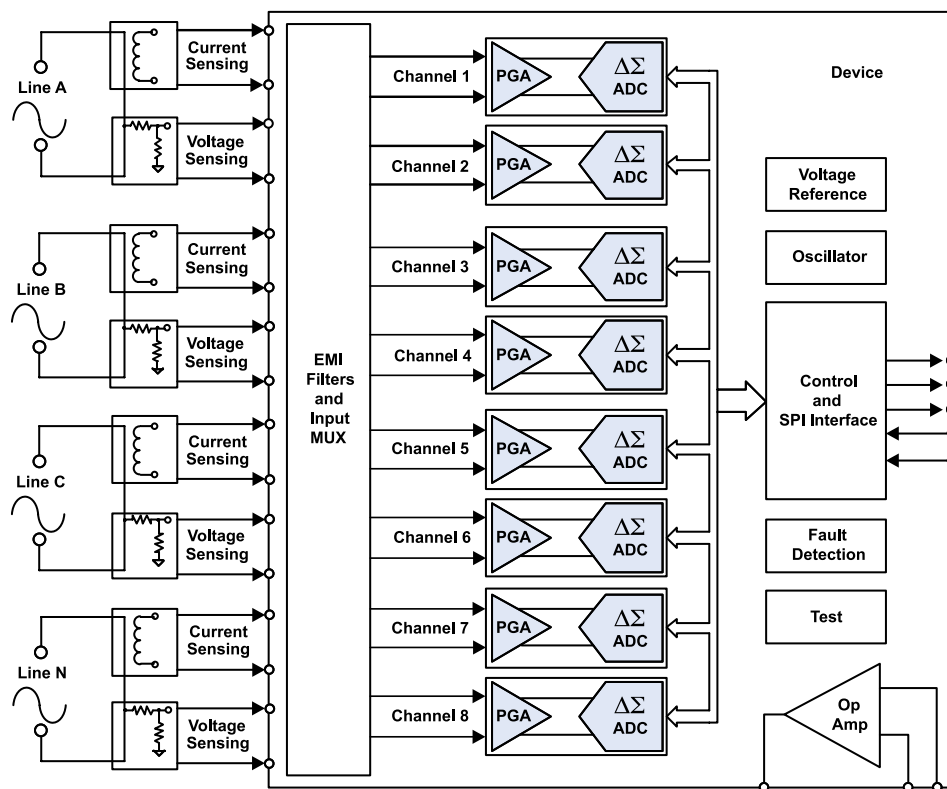


Рис. 19. Типовая схема применения ADS13xE0x с AMC1100 и AMC1200

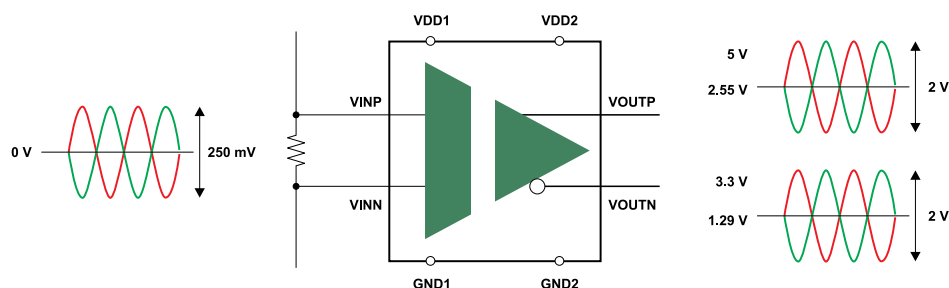


Рис. 20. Блок-схема AMC1100/AMC1200



Рис. 21. Внешний вид ADS131E08EVM

ся к внутреннему ИОН, датчику температуры и детектору сбоев. Входы ADS131E0x для измерения напряжения можно независимо и непосредственно подключать к резистивному делителю или обмотке трансформато-

ра. Для измерения тока выводы можно подключать к трансформатору тока или катушке Роговского. Коэффициент усиления PGA выбирается из ряда 1, 2 и 8 (ADS130E08) ил 1, 2, 4, 8 и 12 (ADS131E0x). ADS130E08 обменивается данными по SPI со скоростью 8 kSPS, а ADS131E0x — до 64 kSPS. Детектор неисправности можно реализовать внутренними средствами с использованием управляемого ЦАП детектора уровней. Микросхема имеет четыре GPIO. Систему из нескольких микросхем можно синхронизировать по выводу START.

Напряжение внутреннего ИОН можно выбрать в диапазоне 2,4...4 В. Напряжение питания: аналоговой части +3...+5 В и ±2,5 В, цифровой части +1,8...+3,6 В, при потребляемой мощности 750 мкВт/канал.

Микросхемы выпускаются в корпусе TQFP-64 и работают в промышленном температурном диапазоне -40...+105°C.

ADS131E0x находят применение в промышленных устройствах мониторинга электроэнергии, в частности, в трехфазных счетчиках электроэнергии.

На рисунке 18 изображена внутренняя архитектура ADS13xE0x, а на рисунке 19 — типовая схема применения в трехфазных сетях совместно с изолированными усилителями AMC1100 и AMC1200, для измерения тока с помощью шунтов.

### Изолированные усилители AMC1100/1200

Микросхемы AMC1100/AMC1200 — это прецизионные изолированные усилители с изоляцией, реализованной в виде барьера из SiO<sub>2</sub> и обеспечивающей гальваническую развязку до 4250 (4000 для AMC1200B) ВРЕАК, согласно UL1577 и IEC60747-5-2. При использовании с изолированным источником питания микросхемы могут обеспечить изоляцию тока в незаземленной цепи от незащищенных заземленных сигнальных цепей.

Вход AMC1100 оптимизирован для непосредственного подключения к шунту или другому низковольтному источнику сигнала. Высокая производительность позволяет производить высокоточные измерения в приложениях для измерения электроэнергии. Выходной сигнал автоматически приводится к диапазону трех- или пятивольтового источника питания.

AMC1100/AMC1200 работают в температурном диапазоне -40...+105°C и выпускаются в 8-контактном SMD-корпусе.

Блок-схема AMC1100/AMC1200 представлена на рисунке 20.

### Отладочная плата ADS131E08EVM

Набор ADS131E08EVM-PDK предназначен для оценки микросхем ADS131E08. Интерфейс SPI позволяет подключать плату ADS131E08EVM к управляющей плате MMB0, обменивающейся данными с ПК. Набор спроектирован для изучения и разработки систем на базе ADS131E08. Базовая плата MMB0 позволяет ADS131E08EVM обмениваться данными с ПК через USB-интерфейс.

Аппаратная часть позволяет конфигурировать плату для работы с однополярным и двухполярным источником сигнала, конфигурировать использование внутреннего или внешнего тактирования, подавать аналоговые сигналы через винтовые клеммники.

Программное обеспечение состоит из инструментов анализа (включая виртуальные осциллографы, построители гистограмм и модули БПФ) и обеспечивает с помощью удобного графического интерфейса доступ ко всем внутренним

регистрам ADS131E08. Для упрощения работы с оценочными модулями Sensor AFE служит кросс-плата SPIO-4. На рисунке 21 приведен внешний вид ADS131E08EVM.

### Прецизионный модуль контроллера сигнального тракта SPIO-4

Модуль **SPIO-4** является одной из плат цифрового управления/сбора данных линейки **National Semiconductor**, которые используются в большом количестве ознакомительных систем. Модуль предназначен для быстрой оценки в лабораторных условиях функциональных возможностей подключаемых к нему дочерних плат. Поддерживается два типа ПО: the **WaveVision-5** и **Sensor AFE**. В комплект поставки входит текущая версия WaveVision-5.

Помимо модуля SPIO-4 и ПО WaveVision-5 или Sensor AFE, в комплект поставки оценочного набора, как правило, входит дочерняя плата **DUT board**. Для каждой платы DUT board имеется собственное дополнительное ПО. Для WaveVision-5 GUI это ПО представляет собой специфические модули, которые добавляют поддержку функций изучаемой дочерней платы. В случае микросхем семейства Sensor AFE оценочная плата поставляется вместе с уникальной для нее версией ПО Sensor AFE.

Плата SPIO-4 управляется микроконтроллером **SAM3U** с 32-разрядным ядром **ARM Cortex-M3** компании **Atmel**. МК обеспечивает обмен данными с ПК по USB-интерфейсу. К плате SPIO-4 дочерние модули подключаются через разъем J6, GPSI-16/32, который обеспечивает подачу питания и обмен данными, а также интерфейсы I<sup>2</sup>C, SPI и параллельный интерфейс. Один из интерфейсов I<sup>2</sup>C предназначен для идентификации дочернего модуля и управления им, в то время как второй интерфейс может использоваться для обмена данными. Интерфейс SPI может предоставляться как периферийным модулем процессора, так и **FPGA Xilinx Spartan XC6SLX16**. С помощью FPGA можно реализовать и другие, отличные от SPI, интерфейсы: I<sup>2</sup>C или параллельный. Внешнее ОЗУ 8Mx16 подключено как к процессору, так и к FPGA и может использоваться при недостатке их внутренней памяти.

Питание осуществляется по USB-кабелю или от внешнего адаптера. Для питания расположенных на плате устройств служит импульсный стабилизатор на 3,3 В. Для обеспечения напряжения +5 В на разъеме GPSI-32 служит дополнительный повышающий преобразователь.



Рис. 22. Внешний вид SPIO-4

### Автоматическое обнаружение подключенного модуля и конфигурирование

Система SPIO-4 поддерживает автоматическое обнаружение присоединенного модуля и конфигурирование под него. Каждая дочерняя плата имеет свой файл конфигурации FPGA или модуль прошивки микроконтроллера. Конфигурирование встроенной FPGA или микроконтроллера происходит с помощью ПК «на лету» при подаче напряжения питания на SPIO-4. Обычно процесс конфигурации не требует вмешательства пользователя.

На рисунке 22 приведен внешний вид SPIO-4.

В комплект поставки SPIO-4 kit входят сама плата SPIO-4; USB-кабель, руководство пользователя и ПО WaveVision-5 GUI.

### Заключение

Рассмотренные в статье новейшие микросхемы для сбора и предварительной обработки аналоговых сиг-

налов являются высокоинтегрированными устройствами, позволяющими значительно сократить как стоимость разработки, так и общую стоимость изготовления модулей сопряжения с аналоговыми датчиками различных типов. Наличие оценочных наборов и специализированных высокоуровневых библиотек значительно сокращает выбор необходимого решения и разработки готовых устройств. Интеграция компаний TI и NSC позволила на базе отработанных аналоговых технологий от NSC и проверенных методов цифровой обработки сигналов от TI создать семейство микросхем с превосходными эксплуатационными характеристиками для сопряжения цифровых устройств с аналоговыми датчиками. **5**

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



**TEXAS**  
**INSTRUMENTS**

**Аналоговый front end  
для датчиков температуры**



**LMP90100**

- 24-бит АЦП, 7 каналов
- Встроенная фоновая калибровка
- Источник тока RTD

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



Алексей Пазюк (КОМПЭЛ)

# ЛЮБОЙ ПРОТОКОЛ – ПО ПРОВОДАМ: РЕШЕНИЯ TEXAS INSTRUMENTS ДЛЯ PLC-СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ



**Передача данных по сетям электропитания (PLC) – современное решение для АСКУЭ, промышленной и бытовой автоматики. PLC-решения от Texas Instruments – это гибкость и масштабируемость реализации за счет использования сигнального процессора семейства C2000 (Piccolo и Concerto) и отдельной микросхемы для предварительной обработки аналогового сигнала (AFE03x).**

На сегодняшний день в системах передачи информации успешно сосуществуют различные проводные и беспроводные интерфейсы. В последнее время активно развивается отдельный сегмент передачи и сбора данных – интеллектуальные сети, предназначенные для учета энергоресурсов (Smart Grid). Такие сети позволяют обеспечить двусторонний обмен информацией между потребителем и производителем/поставщиком энергоресурсов. Это, в свою очередь, позволяет не только контролировать энергозатраты, но и оптимизировать потребление энергии за счет распределения и снижения пиковой нагрузки, локализации энергопотерь, повышения надежности и т.д.

На физическом уровне «интеллектуальные» сети строятся с использованием как стандартных проводных (UART, RS-485 и т.д.) и беспроводных (ZigBee, 6LoWPAN и др.) интерфейсов, так и других интерфейсов, таких, как системы передачи данных по силовым электропроводам, системы передачи данных с использованием GSM-канала и пр. Различные способы передачи данных могут успешно использоваться в пределах одной сети. Например, для счетчиков расхода воды, газа или тепла наиболее логичным является создание автономных устройств на базе микроконтроллеров со сверхнизким энергопотреблением (серий MSP430), объединяющихся в беспроводные сети, с питанием от мощных литиевых батарей. А для счетчиков электроэнергии уместным будет решение с использованием силовой сети как для питания самих счетчиков, так и для передачи данных посредством той же сети (Power Line Communication, PLC).

Следует отметить, что PLC-модемы активно используются не только в системах

энергочета, но и в системах управления освещением, бытовой и промышленной автоматикой. Их популярность обусловлена тем, что такие решения позволяют использовать уже существующую инфраструктуру и реализовать систему передачи данных без дополнительных затрат на реализацию новых физических каналов связи, так как для передачи данных используются провода силовых сетей, а переменное сетевое напряжение выступает в качестве несущей частоты.

## Тип модуляции

Для передачи данных в системах PLC используют различные типы модуляций. Наиболее распространенными

являются следующие четыре: частотная манипуляция (Frequency Shift Keying, FSK), частотная манипуляция с разнесенными частотами (Spread Frequency Shift Keying, S-FSK), двоичная фазовая манипуляция (Binary Phase Shift Keying, BPSK) и ортогональное мультиплексирование с частотным разделением каналов (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM). В таблице 1 приведено сравнение различных типов модуляций на основании двух главных критериев – эффективности использования полосы частот и сложности реализации.

В частности, при помощи OFDM можно достичь высоких скоростей, что взамен потребует дополнительных вычислительных ресурсов для реализации необходимых алгоритмов. С другой стороны, BPSK и FSK легко реализуются, но обеспечивают низкие скорости и более подвержены внешним помехам. Спектры частот, иллюстрирующие эффективность использования частотного диапазона, показаны на рисунке 1. На

Таблица 1. Сравнение эффективности и сложности реализации в зависимости от типа модуляции

| Тип модуляции | Эффективность использования полосы частот | Сложность реализации |
|---------------|-------------------------------------------|----------------------|
| FSK           | средняя                                   | низкая               |
| BFSK          | средняя                                   | низкая               |
| SFSK          | низкая                                    | средняя              |
| OFDM          | высокая                                   | высокая              |

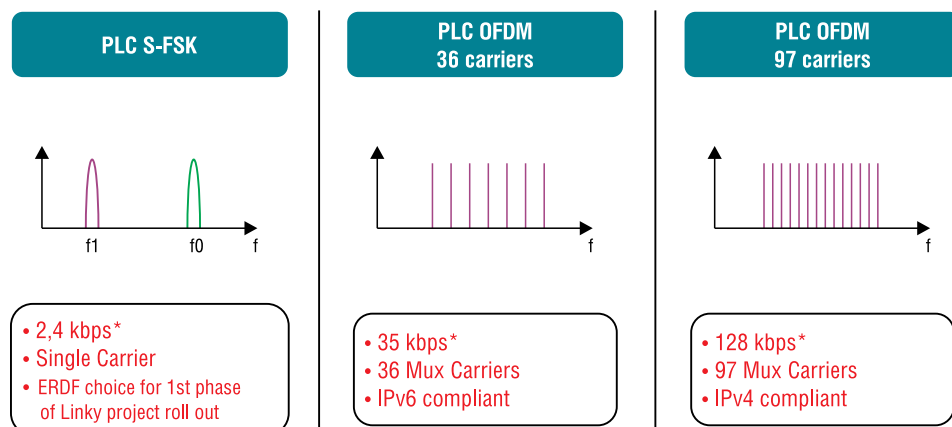


Рис. 1. Сравнение спектров различных типов модуляции



Таблица 2. Регуляторные инструкции

| Регион | Инструкция | Диапазон частот, кГц | Примечания                          |
|--------|------------|----------------------|-------------------------------------|
| Европа | CENELEC    | 3...95               | A — для поставщиков электроэнергии  |
|        |            | 95...125             | B — для пользовательских приложений |
|        |            | 125...140            | C — для пользовательских приложений |
|        |            | 140...148,5          | D — для пользовательских приложений |
| США    | FCC        | 10...490             | —                                   |
| Япония | ARIB       | 10...450             | —                                   |
| Китай  | EPRI       | 3...500 (3...90)     | —                                   |

сегодняшний день намечается тенденция к использованию OFDM с PSK.

OFDM-модуляция основана на многочастотном алгоритме Discrete Multi Tone (DMT), который был разработан и запатентован специалистами из Amati Communications (ныне Internet Access group, подразделение Texas Instruments) в начале 1990-х.

Алгоритм DMT построен по принципу разделения всего диапазона частот, используемого для обмена данными, на несколько участков шириной по 4,3125 кГц, которые используются для независимой передачи данных. При передаче данных информация распределяется между независимыми каналами пропорционально их пропускной способности. При приеме выполняется демультимплексирование каналов и восстановление исходного информационного потока. Для повышения качества связи

передатчик, исходя из уровня помех в частотном диапазоне участка, выбирает подходящую модуляционную схему и скорость передачи. На каналах с малым уровнем шумов часто используются алгоритмы QAM 64, а на более зашумленных каналах — более простые алгоритмы, например QPSK. Кроме того, некоторые из поднесущих частот можно отключать, если в этих частотных диапазонах имеются импульсные помехи.

К достоинствам OFDM можно отнести высокую скорость передачи данных и способность отстраиваться от помех в линии. Еще одним достоинством алгоритма OFDM является наличие для него стандартов ITU и ANSI. Недостатком метода является невозможность избирательной адаптации пропускной способности элементарных каналов к частотным характеристикам линии. Элементарные частотные кана-

лы OFDM разделяются заградительными интервалами. При увеличении числа элементарных частотных каналов пропорционально увеличивается ширина частотного интервала, который не может быть использован непосредственно для передачи данных.

### Стандарты и частоты

При разработке PLC-систем необходимо также учитывать дополнительные требования по соответствию существующим стандартам (IEC61 334, PRIME, G3) или местным регуляторным требованиям (CENELEC, FCC, ARIB). Ниже в таблице 2 приведены требования по использованию частот в основных регионах. Европейский стандарт для узкополосной низкочастотной передачи данных по PLC-каналам определяет четыре основные сетки частот. Для сеток Cenelec A, B, D уровень протокола определяется стандартами или патентами. Для сетки Cenelec C определен доступ по стандарту CSMA (Carrier Sense Multiple Access — множественный доступ с контролем несущей).

### Обзор решений TI для PLC

Учитывая разнообразные требования для реализации систем на базе PLC, Texas Instruments предлагает решения как для реализации стандартных

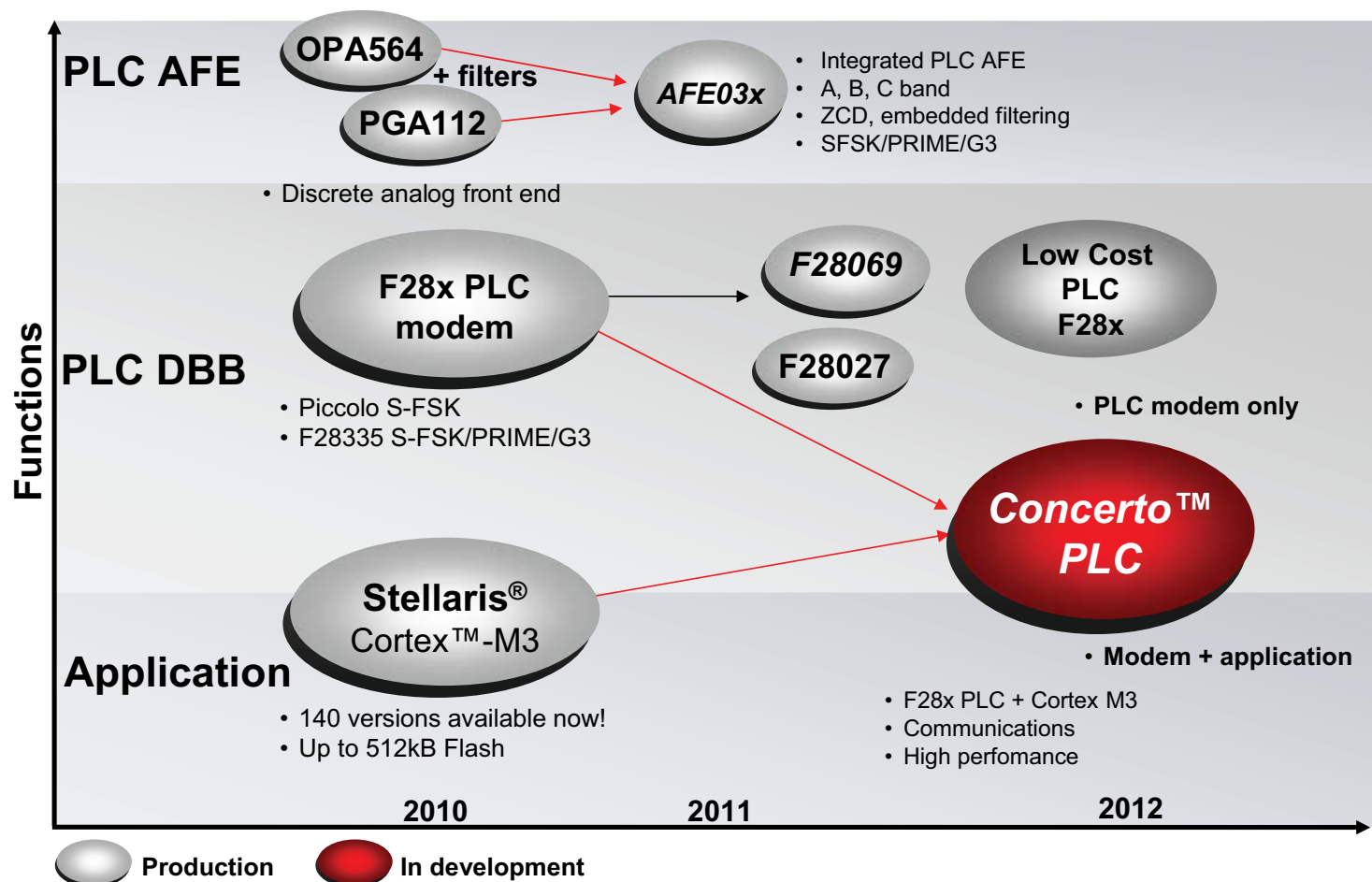


Рис. 2. Развитие линейки PLC-модемов

Таблица 3. Решения TI для реализации различных стандартов

| Стандарт             | Тип модуляции | Диапазон частот, кГц | Скорость обмена данными, кБод | Целевой процессор | Аналоговая подсистема |
|----------------------|---------------|----------------------|-------------------------------|-------------------|-----------------------|
| IEC 61334 (G1)       | SFSK          | 60...76              | 1,2...2,4                     | F28027            | AFE030/AFE031         |
| PRIME                | OFDM          | 42...90              | 21...128                      | F28069/F28M35x    | AFE031                |
| ERDF G3              | OFDM          | 35...90              | 5,6...45                      | F28069/F28M35x    | AFE031                |
| P1901.2/G3 FCC       | OFDM          | 35...450             | 34...234                      | F28M35x           | AFE03x                |
| PLCLite (патент TI)  | OFDM          | 42...90              | 2,4...21                      | F28035/F28027     | AFE031                |
| FlexOFDM (патент TI) | OFDM          | <10...FCC*           | 2,4...128                     | F28069/F28M35x    | AFE031                |

\* — ограничен местными регуляторными требованиями.

(PRIME и G3), так и собственных протоколов (FlexOFDM) (таблица 3).

Отличительной особенностью решений, предлагаемых TI, являются гибкость и масштабируемость реализации. Оба этих принципа обеспечиваются за счет полной программируемости и модифицируемости для требований конкретной задачи.

Гибкость обеспечивается за счет использования схемной архитектуры, основанной на использовании двух микросхем: сигнального процессора семейства C2000 (Piccolo и Concerto) и отдельной микросхемы для предварительной обработки аналогового сигнала (AFE03x). Такой подход гарантирует полную программируемость решения за счет использования процессоров F28x (MAC и PHY) и обеспечивает возможность работы как в режиме S-FSK, так и в режиме низкочастотной узкополосной OFDM-модуляции для стандартов PRIME, G3 и FlexOFDM. Развитие номенклатуры TI для решения задач PLC показано на рисунке 2.

На рисунке 3 показана блок-диаграмма решения для PLC-модема, предлагаемого TI. Основными узлами такого решения являются микроконтроллер, выполняющий функцию цифровой обработки сигнала, аналоговая система, преобразующая цифровые данные в аналоговый сигнал для последующего приема и передачи по силовой линии, и схема согласования. Ниже рассмотрим каждый из блоков в отдельности.

### Блок цифровой обработки информации (DSP)

Блок цифровой обработки информации, как правило, реализуется на сигнальных процессорах (DSP) семейства C2000 (таблица 3). Контроллеры семейства Piccolo™ позволяют достичь хорошего соотношения производительности и стоимости, обеспечивая при этом гибкость в реализации множества существующих протоколов.

Микроконтроллеры TMS320F280xx Piccolo™ основаны на высокопроизводительном ядре C28x™ и работают на тактовой частоте 40...90 МГц, имеют до 256 кбайт Flash-памяти, 100 кбайт ОЗУ и 1 кбайт OTP ROM. Микроконтрол-

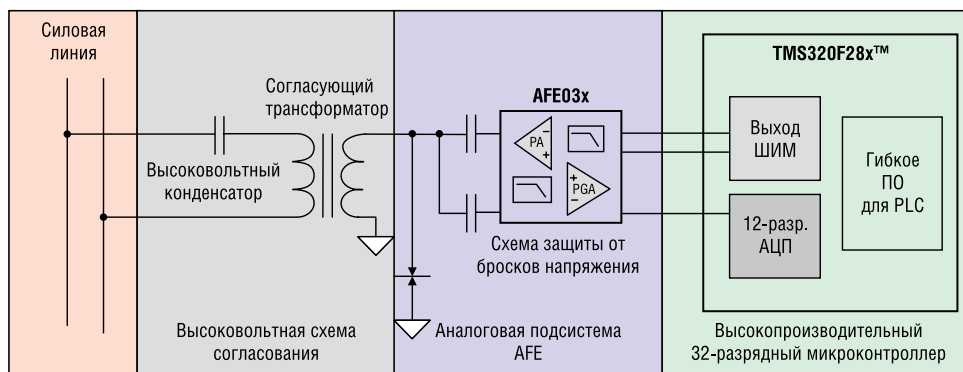


Рис. 3. Блок-диаграмма PLC-модема

леры имеют аппаратный умножитель-аккумулятор, который может работать в режимах 16x16, 32x32 или вдвоенном — 16x16 разрядов. Для ускорения выполнения сложных алгоритмов в линейке F2806x имеются: сопроцессор для операций с плавающей точкой одинарной точности (FPU); программируемый ускоритель алгоритмов управления (CLA); блок алгоритмов Витерби, комплексной арифметики и вычисления CRC (VCU). Эффективности выполнения программ способствуют быстрый ответ на прерывания и их обработка, унифицированная модель памяти, оптимизация кода как для C/C++, так и для ассемблера, и совместимость с кодом предыдущих семейств C28x. Для тактирования микроконтроллера можно использовать два внутренних генератора, встроенный кварцевый генератор/вход внешнего тактирования с поддержкой динамического коэффициента умножения ФАПЧ. Надежность работы системы тактирования обеспечивается сторожевым таймером (WDT) и схемой обнаружения пропадания тактового сигнала. Данное семейство обладает широким набором периферийных модулей (рис. 4): 32-разрядные таймеры CPU; модули расширенных ШИМ (ePWM), модули ШИМ с высоким разрешением (HRPWM), входы захвата (eCAP) и входы захвата с высоким разрешением (HRCAP); квадратурный энкодер (eQEP); 12-разрядный АЦП с производительностью 3 MSPS и схемой устройства выборки и хранения; коммуникационные модули SCI (UART), SPI, I2C, eCAN, USB 2.0.

Внутренние стабилизаторы обеспечивают работу от одного источника питания с напряжением 3,3 В, что избавляет от необходимости применения внешней схемы, обеспечивающей последовательность подачи напряжений на блок микроконтроллера. Микросхемы выпускаются в корпусах LQFP80/LQFP100 (F28069), LQFP80/TQFP64/VQFN56 (F28035), TSSOP38/LQFP48 (F28027) и предназначены для работы в температурном диапазоне -40...125°C. В качестве примера разработки PLC-модема на базе TMS320F28069, компания TI выпускает набор TMDSPCLKIT-V3.

Для применений, требующих большего функционала и интеграции в пользовательские приложения TI предлагает двухъядерные микроконтроллеры F28x35x семейства Concerto. Эти контроллеры позволяют реализовать, например, электросчетчик и концентратор для PLC.

В ближайшее время компания TI планирует расширить линейку Piccolo микроконтроллерами, оптимизированными для работы в качестве сигнального процессора PLC-модемов. В состав такого контроллера будут входить только необходимые модули для реализации PLC, что позволит снизить его себестоимость по сравнению со стандартной серией Piccolo. Микроконтроллер будет построен на стандартном 32-разрядном CPU C28x. Микросхемы предполагается выпускать в корпусе LQFP80 для температурного диапазона -40...125 °C, в соответствии с AEC Q100, повышающим совместимость с существующими микро-

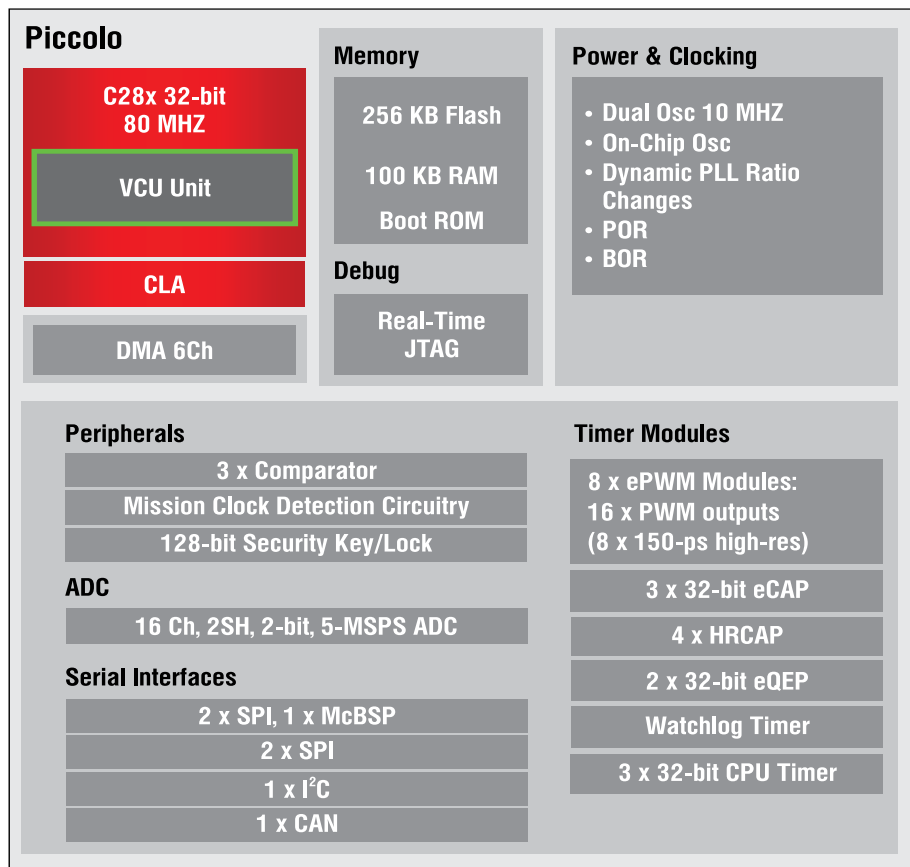


Рис. 4. Структурная схема TMS320F2806x

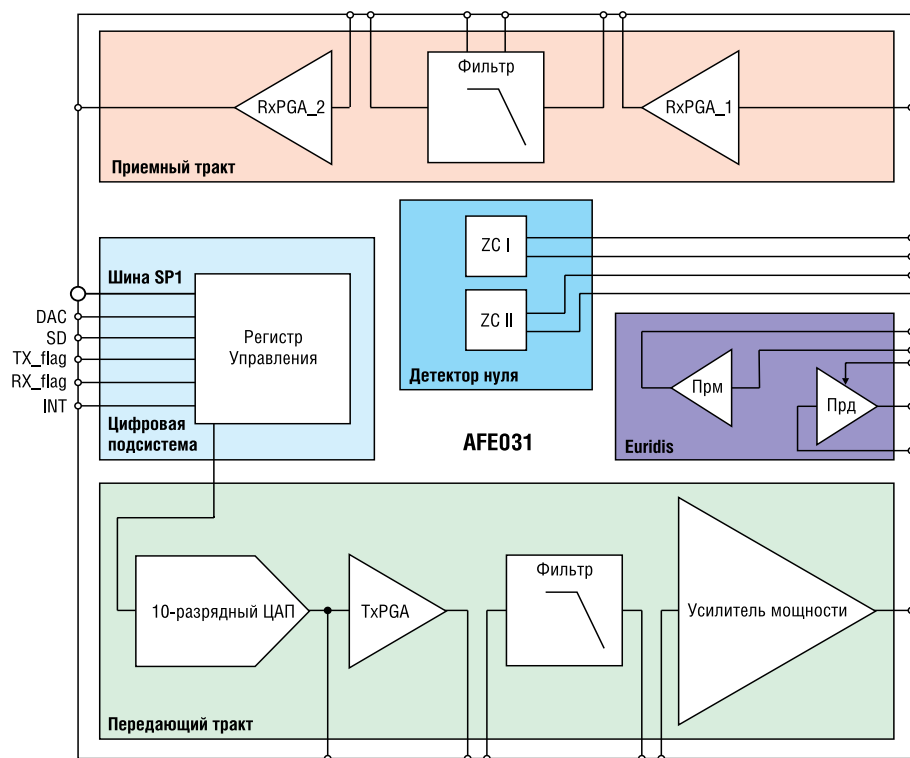


Рис. 5. Блок-диаграмма AFE031

схемами семейства Piccolo. Микроконтроллер будет поддерживать стандарты S-FSK/PRIME/G3 и OFDM в пределах сетей Cenelec B/C и будет предназначен к применению в силовых системах электромобилей (EVSE), системах освещения, солнечных электростанциях.

#### Аналоговая подсистема PLC-модема

В качестве интегрированного решения для реализации аналоговой части PLC-системы TI предлагаются микросхемы **AFE030** и **AFE031**, которые отличаются величиной выходной токовой нагрузки передатчика (AFE030 — ток до

1,0 А, AFE031 — ток до 15 А) и позволяют реализовать FSK-, SFSK- и OFDM-модуляцию в соответствии с требованиями CENELEC. Функциональные особенности аналогового интерфейса рассмотрим на примере AFE031 (рис. 5).

AFE031 позволяет реализовать соединение с силовой сетью как через емкостную, так и через индуктивную связь с минимальным количеством внешних элементов. Микросхема состоит из трех основных функциональных блоков: приемник, передатчик, усилитель мощности. Кроме них в микросхеме реализованы дополнительные модули: блок детектирования перехода через ноль, блок управления питанием, буфер передачи для стандартов Euridis 1 и 2. Управление всеми функциями осуществляется через четырехпроводный SPI-интерфейс.

Задачей приемного тракта является получение сигнала из переменной силовой сети, подавление шума и усиление информационного сигнала для последующей обработки АЦП микроконтроллера. Приемный тракт AFE031 реализован в виде двух усилителей с независимой регулировкой усиления и программируемого ФНЧ четвертого порядка. Диапазон регулировки усилителей составляет 0,25/0,5/1/2 для RxPGA1 и 1/4/16/64 для RxPGA2. Приемник позволяет детектировать сигнал 20 мкВ и, благодаря широкому выбору коэффициентов усиления, обеспечить условия для его дальнейшей передачи. Полоса пропускания приемника задается двумя внешними конденсаторами и выбором внутреннего режима посредством регистра управления.

Передающий тракт AFE031 может работать в двух режимах — ЦАП и ШИМ. Поэтому кроме традиционного усилителя мощности, фильтра передатчика и PGA в тракт входит 10-битный ЦАП. Усилитель передатчика имеет переменный коэффициент усиления 0,25/0,5/0,707/1, который задается через последовательный интерфейс. Фильтр передатчика представляет собой ФНЧ четвертого порядка с частотой среза, задаваемой через регистр управления. Частота среза передатчика может быть выбрана между двумя значениями, соответствующими CENELEC A либо CENELEC B, C и D. Режим ЦАП рекомендован для достижения лучших характеристик. В режиме ЦАП нет необходимости в использовании дополнительных элементов для соответствия требованиям CELNEC. Для программирования ЦАП используется SPI-интерфейс. Выходной усилитель мощности рассчитан на работу при напряжениях питания 7...24 В и способен обеспечить выходной ток до 1,5 А при температуре р-п-перехода в диапазоне -40...125°C. Для подключения усилителя мощности в типовом PLC-приложении достаточно только двух внешних компонентов: развязывающего



конденсатора и резистора для программирования ограничения по току.

Для получения гибкости в реализации конкретных задач все блоки микросхемы подключены к отдельным выводам, что обеспечивает возможность применения альтернативных решений для фильтрации и обработки сигнала в случае необходимости.

Для оптимизации энергопотребления каждый отдельный блок может быть отключен через последовательный интерфейс. Таким образом, в режиме приема при отключенном тракте передачи достигается мощность потребления около 15 мВт.

### Средства разработки

Для начала собственной разработки PLC-системы TI предлагает ряд средств конструирования: отладочные наборы, наборы библиотек, типовые схемы. Отладочные средства представлены в виде **TMDSPCKIT-V3** (PLC-модем), **TMDSSGI-EVML138** (концентратор).

TMDSPCKIT-V3 представляет собой набор из двух модемов с программным обеспечением для реализации обмена данными. Модемы, входящие в набор, построены на базе микроконтроллера TMS320F28069 и аналогового блока AFE031.

TMDSSGI-EVML138 — платформа для разработки приложений для интеллектуальных сетей, включая приложения для измерения качества электроэнергии, концентраторы данных, защиты электропитания и т.д. Даная плата построена на базе процессора OMAPL138 и предусматривает возможность подключения дополнительных RF- и PLC-модулей для создания сети.

Также TI представляет данные типового проекта, включая принципиальную схему и информацию для изготовления печатной платы (рис. 6).

В качестве базы для разработки программного обеспечения предлагается среда для разработки **plcSUITE** (рис. 7). PlcSUITE представляет собой набор модулей для реализации различных протоколов (PRIME, G3 и FlexOFDM) и разработки приложений, что дает разработчику возможность получить максимум гибкости при тестировании и проектировании PLC-модемов. Использование готовых библиотек упрощает процесс реализации протоколов.

Также на сегодняшний день TI предлагает программное обеспечение для создания концентратора PLC-сетей под свои процессоры ARM9, работающие на операционной системе Linux. Данное ПО можно использовать совместно с отладочной платой TMDSSGI-EVML138 для исследования возможностей создания PLC-сети. В будущем планируется реализовать данное ПО и под другие процессоры семейства Sitara Cortex A8.

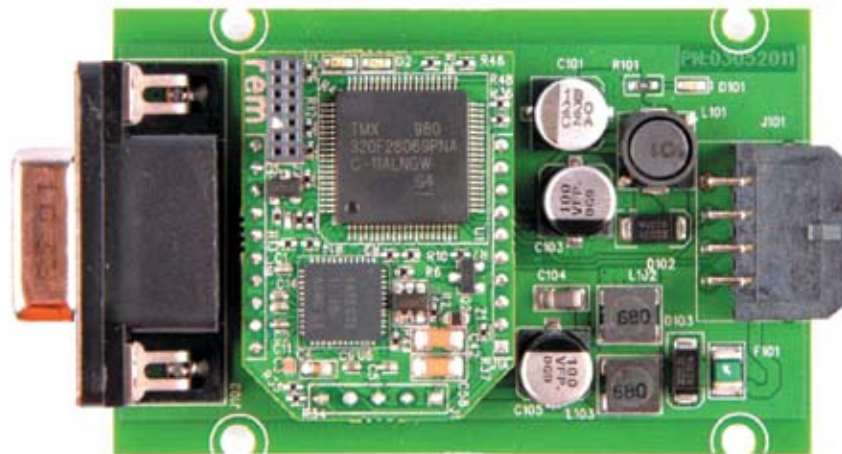


Рис. 6. Пример типового PLC-дизайна

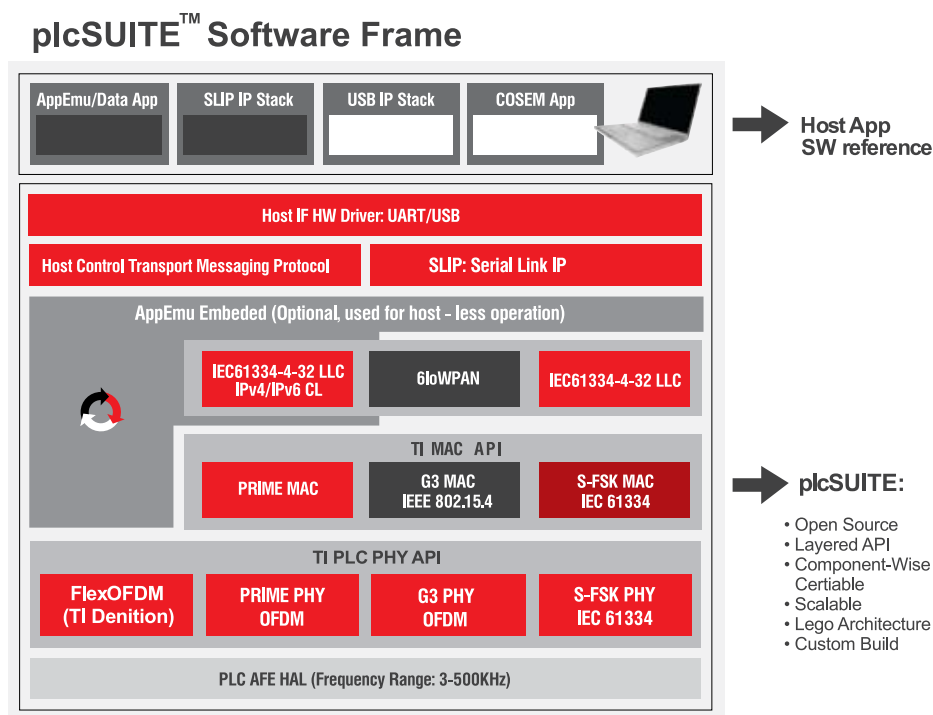


Рис. 7. Состав среды разработки plcSUITE

### Заключение

Компания Texas Instruments предоставляет комплексное решение от микросхем до ПО для реализации PLC-сетей в системах управления и сбора информации. Благодаря своей гибкости, такое решение позволяет реализовать систему для любого типа протокола и удовлетворяет возможным требованиям регуляторных инструкций.

Компания КОМПЭЛ является официальным дистрибьютором Texas Instruments и может обеспечить разработчиков как самими процессорами и аналоговыми микросхемами, так и средствами разработки для реализации собственных PLC-проектов.

### Литература

1. TMS320F28069 Piccolo Microcontroller. <http://focus.ti.com/docs/prod/folders/print/tms320f28069.html>.

2. TMS320F28069 Piccolo Microcontroller. Datasheet. <http://www.ti.com/lit/gpn/tms320f28069>.

3. AFE031. Powerline Communications Analog Front End. Datasheet. <http://www.ti.com/lit/gpn/afe031>.

4. C2000 Power Line Modem Developer's Kit. <http://focus.ti.com/docs/toolsw/folders/print/tmdsplckit-v3.html>

5. Андрей Самоделов. Концерт для счетчика и сети: PLC-модемы компании Texas Instruments // Новости Электроники №7/2011.

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

Михаил Чигарев (КОМПЭЛ)

## “POINT OF LOAD”-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ – УНИКАЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПИТАНИЕМ



В настоящее время компания **Texas Instruments** обладает самой широкой линейкой **понижающих преобразователей** в мире. С одной стороны, это возможность для разработчика выбрать микросхему, идеально подходящую под его приложение. С другой стороны, такое количество преобразователей (порой на первый взгляд однотипных) значительно усложняет сам процесс выбора. В статье рассмотрены одни из самых уникальных микросхем – семейство **TPS54260/40** и **TPS54x27/28** для **GSM/GPRS-устройств** и **LM5574/75/76** и **LM5017/18/19** для **источников питания с широким диапазоном входного напряжения** (от 6 до 100 В). Также приведены основные критерии выбора того или иного компонента для конкретного приложения.

Современная электроника предъявляет широкий спектр требований к **POC-преобразователям**. Причина – противоречивые требования к питанию различных узлов одного и того же устройства. Например, микросхемы прецизионных аналоговых трактов (операционные и инструментальные усилители, АЦП и т.п.) требуют минимального уровня пульсаций напряжения по шине питания, и чаще всего для этой цели после импульсного преобразователя приходится использовать малопомеховые **LDO-стабилизаторы** с высоким значением подавления пульсаций входного напряжения (**PSRR**).

Модемы сотовой связи (**GSM/GPRS**) благодаря работе в различных режимах (ожидание, поиск сети, передача данных) имеют свои особенности организации питания. Например, в режиме **Idle** (при нахождении в сети **GSM**, когда модем готов к приему входного звонка) среднее потребление составляет единицы миллиампер (как правило, 1...3 мА), а при передаче данных **GSM-модем** потребляет порядка 1,5...2 А в импульсном режиме (**burst emission**). Из этого следует, что источник питания должен обеспечивать: выходной ток 2...3 А, быструю реакцию на изменение тока нагрузки (импульсное потребление), а также высокий КПД при малой нагрузке (когда модем находится в режиме **Idle**).

Помимо приведенных выше, следует выделить еще два требования, которые будут учитываться при рассмотрении микросхем и топологий источников

питания в данной статье – это диапазон выходного напряжения и необходимость гальванической развязки «вход-выход». Довольно часто требуется обеспечить широкий диапазон входного напряжения. Это связано, во-первых, с реализацией универсального питания (например, питание от шины 12/24/48 В). Во-вторых, с требованиями по защите от высоковольтных импульсов. Например, в устройствах, включенных в автомобильную сеть 12 В, часто требуется защита/работа при напряжении на входе до 100 В. Это необходимо на случай выхода из строя или обрыва аккумуляторной батареи (однажды автор сам столкнулся с подобной проблемой, поленившись сменить старый аккумулятор при первых симптомах).

С точки зрения особенностей разработки изолированного источника питания, на этапе макетирования лучше всего иметь в наличии стандартный серийно выпускаемый трансформатор (чтобы, в случае некорректной работы источника питания, искать ошибки в принципиальной схеме или топологии печатной платы и не иметь сомнений в правильности намотки трансформатора). В качестве управляющей микросхемы лучше всего выбрать ту, которая поддерживает об-

ратноходовую или прямоходовую топологию источника питания.

### Управление питанием модемов сотовой связи и устройств с импульсным потреблением тока

Потребление тока **GSM/GPRS-передатчиком** при работе **GPRS** класса 10 (рис. 1) можно представить эквивалентно импульсам амплитудой до 2 А, длительностью 1154 мкс, временем нарастания около 10 мкс и периодом 4615 мкс (длительность **GSM-фрейма**). Это предъявляет определенные требования не только к максимально допустимому выходному току преобразователя, но и к организации петли обратной связи. Источник питания должен обеспечивать стабильное выходное напряжение без провалов и всплесков. Помимо этого, для обеспечения высоких эксплуатационных свойств в современных реалиях крайне желательно, чтобы в схеме **DC/DC-преобразователя** использовались только керамические конденсаторы.

На практике поддержать стабилизацию выходного напряжения мгновенно микросхема управления не может, необходимо время для изменения коэффициента заполнения, а также для того, чтобы конденсатор или катушка индуктивности освободились от лишней запасенной энергии – только по истечении такого интервала времени выходное напряжение выйдет на заданный уровень. Это означает, что источник питания **GSM/GPRS-модема** должен иметь стабильную петлю обратной связи, при этом достаточно быстро реагирующую на изменение тока нагрузки (особенно при использовании керамических конденсаторов).

Практика показывает, что для питания **GSM/GPRS-модемов** крайне нежелательно применять **DC/**

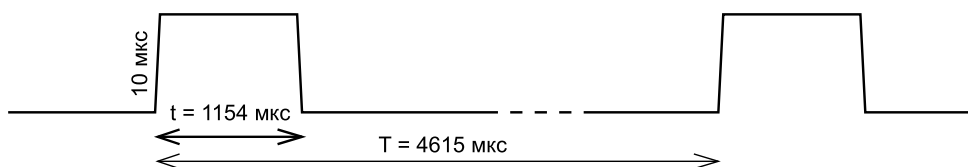


Рис. 1. Потребление тока **GSM-передатчиком** для **GSM/GPRS class 10**

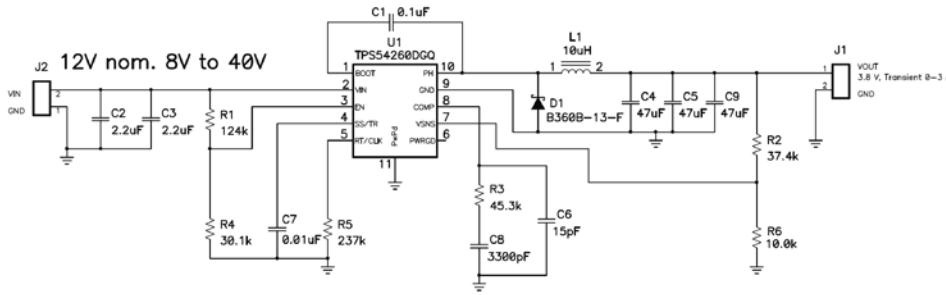


Рис. 2. Схема питания GSM/GPRS-модема на базе микросхемы TPS54260

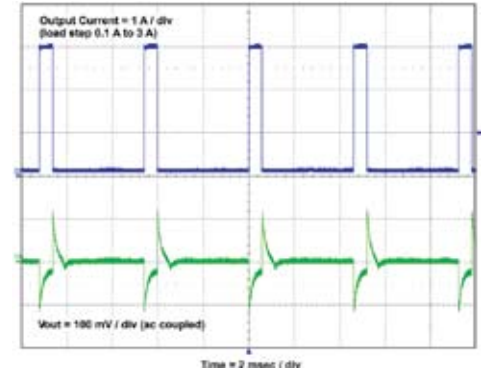


Рис. 3. Реакция выходного напряжения схемы с TPS54260 на импульсы тока до 3 А

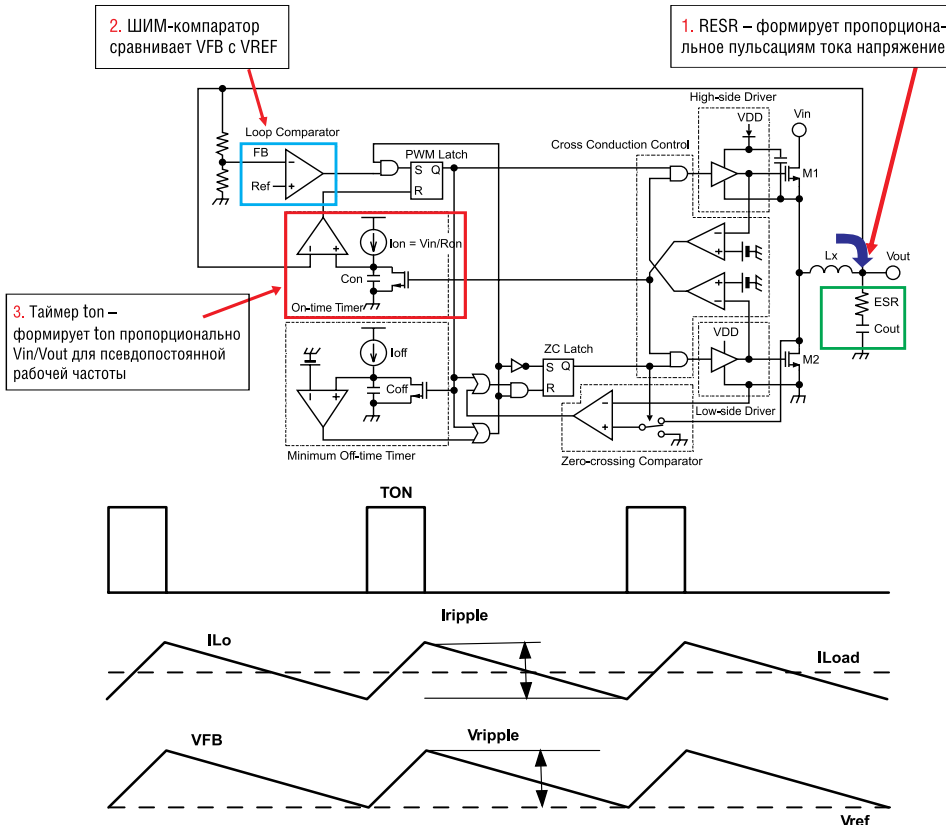


Рис. 4. Логика работы метода управления выходным напряжением DCAP™

DC-преобразователи, логика работы которых подразумевает регулирование по напряжению. Дело в том, что схема управления любого преобразователя никогда полностью не «знает», является ли ошибка, которую она видит, результатом внешнего воздействия, или это ее собственная коррекция, возмратившаяся на вход. Иначе говоря, может возникнуть ситуация, когда последовательность часто повторяющихся импульсов тока мо-

жет вызвать причинно-следственную неопределенность, что приведет к появлению на выходе выбросов напряжения — «звона». В худшем случае (особенно если одновременно присутствует нестабильность входного напряжения) этот звон может продолжаться и даже возрастать бесконечно, а также привести к выходу из строя микросхемы или срабатыванию встроенной схемы защиты. Именно это свойство присуще DC/

DC-преобразователям с управлением по напряжению в схемах питания GSM-модемов. В моей практике был случай, когда инженеры технической поддержки производителя, разбирая случай выхода из строя DC/DC-преобразователя, после получения подробных пояснений по условиям применения (как раз питание GSM-модуля), дали единственную рекомендацию — заменить DC/DC-преобразователь на аналогичный по параметрам, но с управлением по току. Питание GSM-модуля — это именно тот случай, когда «не все йогурты одинаково полезны».

Поэтому одним из основных параметров, на который следует обратить внимание при выборе микросхемы DC/DC-преобразователя для питания GSM-модема (табл. 1), является реализованный в ней метод управления. Как правило, из документации на любую микросхему можно достоверно установить, как именно реализовано регулирование выходного напряжения. Метод управления может быть указан в явном виде: по напряжению, по току, гистерезисный (voltage mode, current mode, hysteretic). В некоторых случаях это может быть запатентованный производителем метод, как правило, являющийся симбиозом трех перечисленных ранее (это можно легко установить, внимательно изучив datasheet). Запатентованными методами управления Texas Instruments, например, являются DCAP™ и DCS-Control™.

В случае необходимости работы в широком диапазоне входного напряжения (например, 8...50 В), следует обратить внимание на такие параметры, как минимальное время включения (ton) и рабочая частота. Некоторые современ-

Таблица 1. Понижающие DC/DC-преобразователи для GSM/GPRS-применений

| Наименование                | Uвх, В   | Uвых, В  | Iвых, А | Фраб, кГц  | SR  | Eco-Mode | Корпус                 |
|-----------------------------|----------|----------|---------|------------|-----|----------|------------------------|
| <b>TPS54260</b>             | 3,5...60 | 0,8...58 | 2,5     | 100...2500 | нет | да       | 10MSOP-PowerPAD, 10SON |
| <b>TPS54240</b>             | 3,5...42 | 0,8...39 | 2,5     | 100...2500 | нет | да       | 10MSOP-PowerPAD, 10SON |
| <b>TPS54327 / 427 / 527</b> | 4,5...18 | 0,76...7 | 3/4/5   | 700        | да  | нет      | 8SO PowerPAD           |
| <b>TPS54328 / 428 / 528</b> | 4,5...18 | 0,76...7 | 3/4/5   | 700        | да  | да       | 8SO PowerPAD           |



ные преобразователи, помимо ШИМ-управления, для эффективного ускорения реакции на изменение тока нагрузки дополнительно используют увеличение/уменьшение рабочей частоты (логика работы подобных преобразователей будет рассмотрена ниже).

На рисунке 2 приведена разработанная Texas Instruments схема питания GSM/GPRS-модуля на основе микросхемы **TPS54260**. Номинальное входное напряжение в этой схеме 12 В, а полный рабочий диапазон — 8...40 В. Методика расчетов и результаты испытаний подробно описаны в документе "Creating GSM /GPRS Power Supply from TPS54260". В этом же документе можно найти схему на номинальное напряжение 24 В и полный рабочий диапазон 18...60 В. Отметим основные особенности и преимущества применения TPS54260 в подобном приложении.

В микросхеме понижающего DC/DC-преобразователя TPS54260 использован метод управления по току, который обеспечивает при импульсном изменении тока нагрузки от 0,1 до 3 А в приведенной схеме провал/всплеск напряжения в пределах 120 мВ (рис. 3). Время отклика преобразователя на изменение тока нагрузки зависит от рабочей частоты и от полосы пропускания петли обратной связи. Кроме того, выбранная в данном дизайне рабочая частота (500 кГц) обеспечивает, с одной стороны, малые значения выходных емкостей (в данной схеме все конденсаторы керамические), с другой — достаточно высокий КПД (до 90%).

Кроме этого, благодаря наличию режима пропуска управляющих импульсов **Eco-Mode™**, обеспечивается максимально возможный КПД и в случае низкого тока нагрузки (что весьма удобно, так как большую часть времени GSM/GPRS-модуль находится в режиме ожидания).

Также TPS54260 является одной из самых удачных и универсальных микросхем для подобных применений благодаря встроенному 200 мОм MOSFET, минимальному количеству внешних компонентов, широкому диапазону входного напряжения 3,5...60 В, возможностью установки частоты от 100 кГц до 2,5 МГц и внешней синхронизации, максимальному выходному току до 2,5 А (пиковый ток 3,5 А).

Особенностью TPS54260 является то, что этот преобразователь относится к целому семейству pin-2-pin-совместимых микросхем, отличающихся максимальным выходным током и диапазоном входного напряжения. TPS54060/160/260 отличаются выходным током (0,5, 1,5 и 2,5 А соответственно). Микросхемы TPS54040/140/240 имеют максимальное входное напряжение до 42 В, и, что

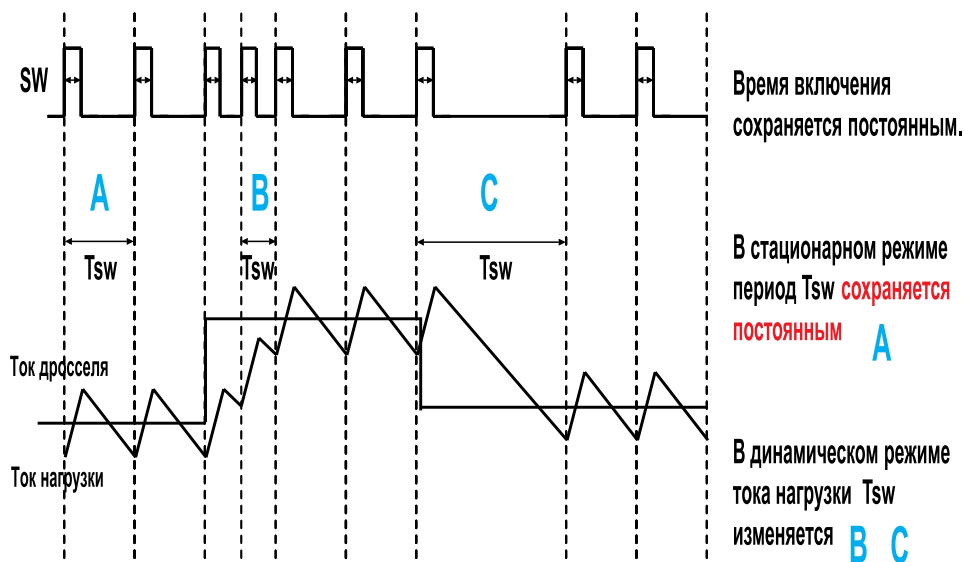


Рис. 5. Работа микросхемы с DCAP™ при импульсном изменении тока нагрузки

вполне логично, отличаются от семейства TPS54x60 меньшей ценой.

Семейство TPS54x60 обладает продвинутыми функциями защиты от превышения входного напряжения, от перегрузки по току и от перегрева. Также для уменьшения пускового тока реализована функция мягкого запуска.

Время реакции DC/DC-преобразователя на изменение тока нагрузки можно уменьшить более продвинутыми методами управления. Например, собственным методом Texas Instruments **DCAP2™**, который используется в микросхеме **TPS54327**. DCAP расшифровывается, как **Direct Connect to the Capacitor** (прямое подключение к конденсатору), а цифра "2" означает его усовершенствованную версию.

Суть этого метода (рис. 4) заключается в том, что время  $t_{on}$  является функцией  $V_{in}$ ,  $V_{out}$  и рабочей частоты, а каждый новый импульс  $t_{on}$  генерируется в момент снижения пульсаций напряжения (возникающих за счет пульсаций тока и наличия у выходно-

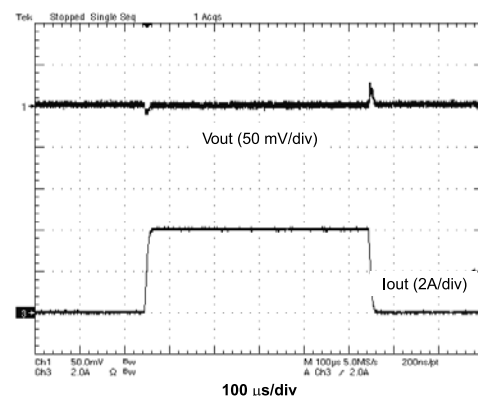


Рис. 6. Реакция выходного напряжения схемы с TPS54327 на импульсы тока до 2А

го конденсатора эквивалентного последовательного сопротивления) до уровня опорного напряжения  $V_{ref}$ . Такая логика работы преобразователя приводит к тому, что, в случае резкого изменения тока нагрузки, импульсы  $t_{on}$  начинают генерироваться чаще, что позволяет быстрее запасти энергию в катушке индуктивности и выходном конденсаторе

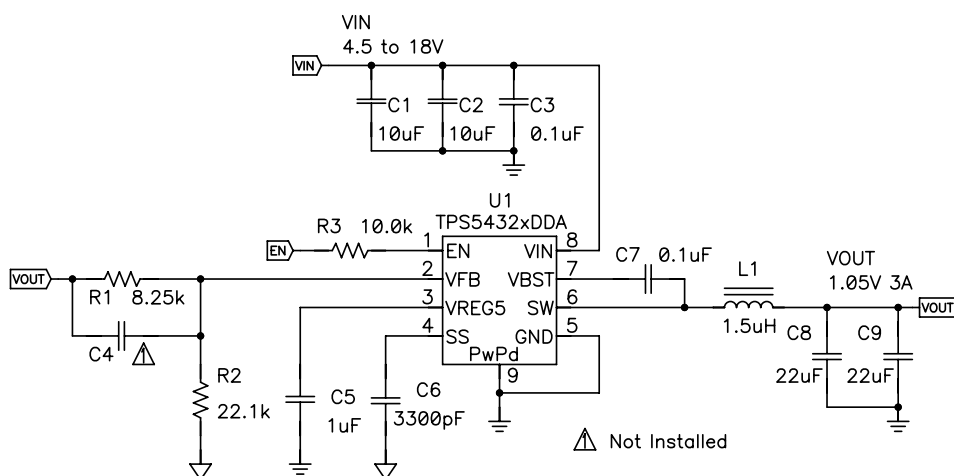


Рис. 7. Типовая схема применения TPS54327

Таблица 2. Высоковольтные DC/DC-преобразователи

| Наименование            | Uвх, В   | Uвых, В   | Iвых, А         | Фраб, кГц | SR | Метод управления ШИМ   | Корпус             |
|-------------------------|----------|-----------|-----------------|-----------|----|------------------------|--------------------|
| <b>LM34923</b>          | 6...75   | 2,5...75  | 0,65            | 50...600  | —  | Constant On-Time (COT) | MSOP-10            |
| <b>LM5008A</b>          | 6...95   | 2,5...75  | 0,35            | 50...600  | —  | Constant On-Time (COT) | MSOP-8, LLP-8      |
| <b>LM5009A</b>          | 6...95   | 2,5...85  | 0,15            | 50...600  | —  | Constant On-Time (COT) | MSOP-8, LLP-8      |
| <b>LM5010A</b>          | 6...75   | 2,5...70  | 1               | 50...1000 | —  | Constant On-Time (COT) | LLP-10, TSSOP-14EP |
| <b>LM5005</b>           | 7...75   | 1,23...70 | 2,5             | 50...500  | —  | Current Mode Control   | TSSOP-20EP         |
| <b>LM5006</b>           | 6...75   | 2,5...75  | 0,65            | 50...600  | +  | Constant On-Time (COT) | MSOP-10            |
| <b>LM5007</b>           | 9...75   | 2,5...73  | 0,5             | 50...800  | —  | Constant On-Time (COT) | MSOP-8, LLP-8      |
| <b>LM5008</b>           | 9,5...95 | 2,5...75  | 0,35            | 50...600  | —  | Constant On-Time (COT) | MSOP-8, LLP-8      |
| <b>LM5009</b>           | 9,5...95 | 2,5...85  | 0,15            | 50...600  | —  | Constant On-Time (COT) | MSOP-8, LLP-8      |
| <b>LM5010</b>           | 8...75   | 2,5...70  | 1               | 50...1000 | —  | Constant On-Time (COT) | LLP-10, TSSOP-14EP |
| <b>LM5017 / 18 / 19</b> | 9...100  | 1,25...90 | 0,6 / 0,3 / 0,1 | 1000      | +  | Constant On-Time (COT) | PSOP-8, LLP-8      |
| <b>LM5574 / 75 / 76</b> | 6...75   | 1,23...70 | 0,5 / 1,5 / 3   | 50...500  | —  | Current Mode Control   | TSSOP-16           |

(рис. 5). При снижении тока нагрузки, соответственно, на определенное время период следования импульсов увеличивается по сравнению со стационарным режимом.

Такая схема позволяет одинаково эффективно обрабатывать как изменения входного напряжения, так и резкие изменения тока нагрузки. Однако у метода DCAP™ есть один существенный недостаток — для его работы необходимо наличие пульсаций тока на выходе, кроме этого, напряжение, получаемое на  $R_{ESR}$ , находится не в фазе с током дросселя, что приводит к его немономонному спаду в то время, когда верхний ключ закрыт (toff). Это требует введения до-

полнительных компенсационных элементов. Также это косвенно приводит к сложностям в использовании LowESR-конденсаторов. Данная проблема была устранена в усовершенствованном методе DCAP2™, в котором цепочка для задания необходимого уровня пульсаций и компенсации сдвига фаз интегрирована в саму микросхему (internal ripple injection). Это позволяет снизить выходные пульсации, значительно упростить схему, а также использовать любые выходные конденсаторы.

Микросхемы с управлением DCAP2™ являются одними из самых быстрых (если не самыми быстрыми) по времени реакции на бросок тока нагрузки. На-

пример, при использовании микросхемы **TPS54327** импульсное изменение тока от 0 до 2 А (рис. 6) приводит к провалу/всплеску выходного напряжения не более 25 мВ! Для сравнения достаточно вернуться к рисунку 3 и посмотреть на результат **TPS54260** с импульсом 3 А.

TPS54327 — понижающий DC/DC-преобразователь с синхронным выпрямлением и интегрированными верхним и нижним ключами. По сравнению с семейством TPS54x60 он имеет менее широкий диапазон входного напряжения: 4,5...18 В. При этом линейка pin-2-pin-совместимых микросхем TPS54x27 перекрывает диапазон выходных токов от 2 до 5 А, а самый мощный 5-амперный

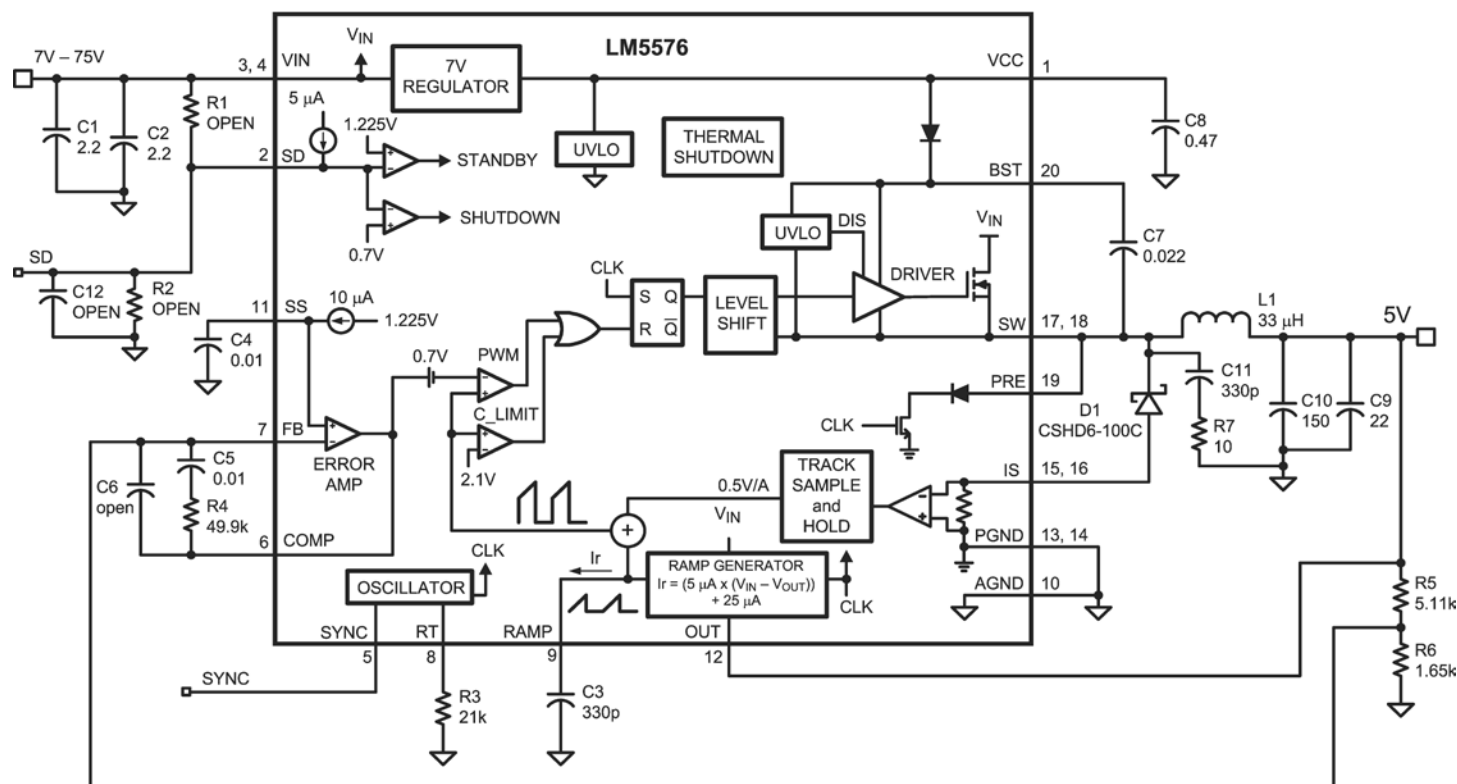


Рис. 8. Типовая схема применения LM5576

преобразователь **TPS54527** выпускается в таком же компактном корпусе SOIC-8 с термопадом, что и все остальные версии. Как и у большинства современных DC/DC-преобразователей, в данном семействе реализована так называемая “cycle-by-cycle”-защита от перегрузки по току, а также функция мягкого запуска. Типовая схема применения приведена на рисунке 7. Для упрощения реализации источника питания на базе **TPS54327** в документации приведена таблица с рекомендуемыми значениями пассивных компонентов обвязки на популярные выходные напряжения: 1,2, 1,8, 2,5, 3,3, 5 В.

#### Преобразователи для источников питания с широким диапазоном допустимого входного напряжения

С пополнением номенклатуры Texas Instruments продукцией National Semiconductor в линейке понижающих DC/DC-преобразователей с интегрированным MOSFET появились микросхемы, способные работать при входном напряжении до 100 В. Полный список современных преобразователей с максимальным входным напряжением от 75 до 100 В приведен в таблице 2. Особое внимание уделим двум семействам: **LM5574/75/76** и **LM5017/18/19**.

**LM5574**, **LM5575** и **LM5576** — pin-2-pin-совместимые микросхемы понижающих DC/DC-преобразователей со встроенным MOSFET, которые отличаются максимальным током нагрузки (0,5 А, 1,5 А и 3 А соответственно) и обеспечивают работу источника питания в диапазоне входных напряжений 6...75 В. При этом для обеспечения собственного питания микросхемы не требуется никаких внешних цепей — питание осуществляется с помощью встроенного линейного регулятора с выходным напряжением 7 В. На рисунке 8 показана внутренняя архитектура преобразователя **LM5576** и типовая схема применения. При выходном напряжении 5 В данная схема обеспечивает стабильно высокий КПД во всем диапазоне тока нагрузки, а также весьма неплохой результат при максимальном входном напряжении 75 В (рисунок 9). Пульсации выходного напряжения при токе нагрузки 2 А и входном напряжении 36 В не превышают 25 мВ.

Удобной особенностью данной микросхемы является наличие выводов **SD** и **SYNC**. С помощью вывода **SD** можно либо задать порог отключения микросхемы при снижении входного напряжения до порогового значения, либо отключить ее внешним сигналом (перевести в режим low power). Вывод **SYNC** позволяет синхронизировать работу нескольких микросхем **LM5576** от внешнего сигнала, либо несколько **LM5576** можно синхронизировать про-

стым соединением выводом **SYNC** между собой.

Стоит лишний раз отметить, что максимально допустимое напряжение на входе 75 В является не просто пиковым значением, при котором микросхема сохраняет работоспособность или обеспечивает защиту нагрузки, а, по сути, напряжением, при котором микросхема работает полностью в штатном режиме без срабатывания какой-либо защиты. Для обеспечения такой стабильной работы микросхемы во всем диапазоне входного напряжения и выходного тока следует обратить особое внимание на трассировку печатной платы (рис. 10), а именно — на полигоны, соединенные переходными отверстиями, на верхнем

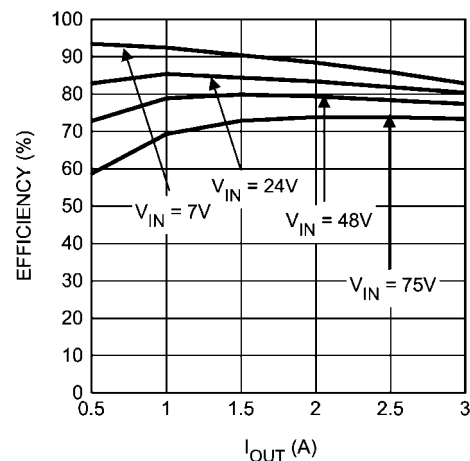


Рис. 9. КПД схемы на микросхеме **LM5576**

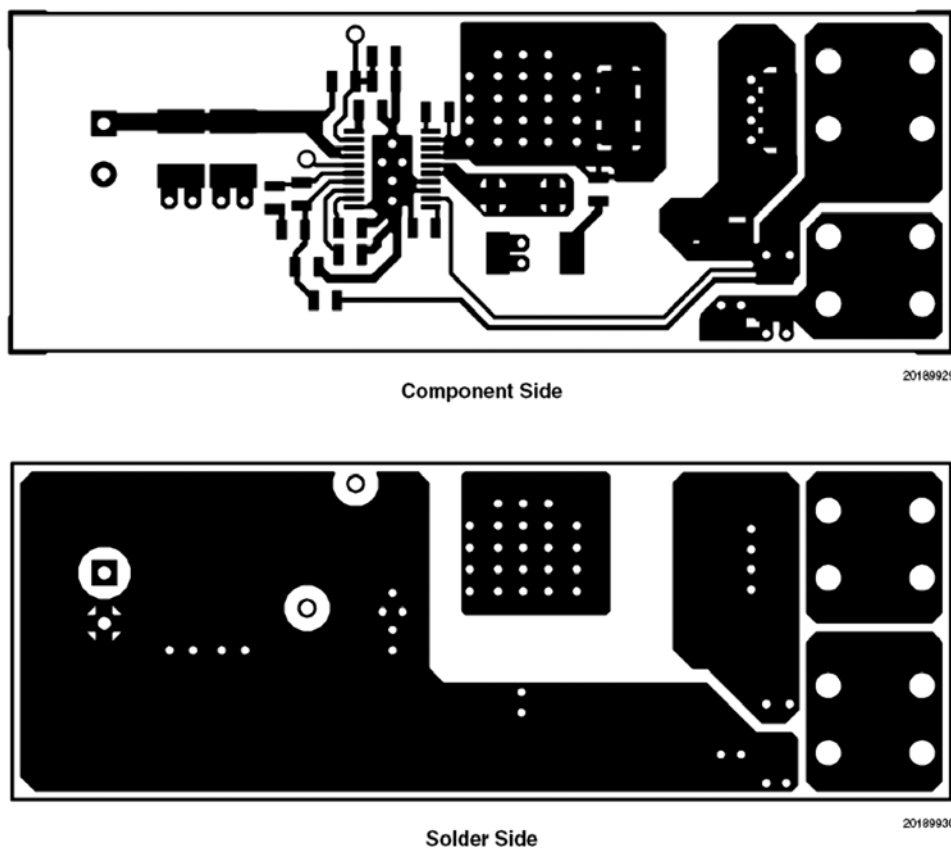


Рис. 10. Трассировка печатной платы источника питания на **LM5576**

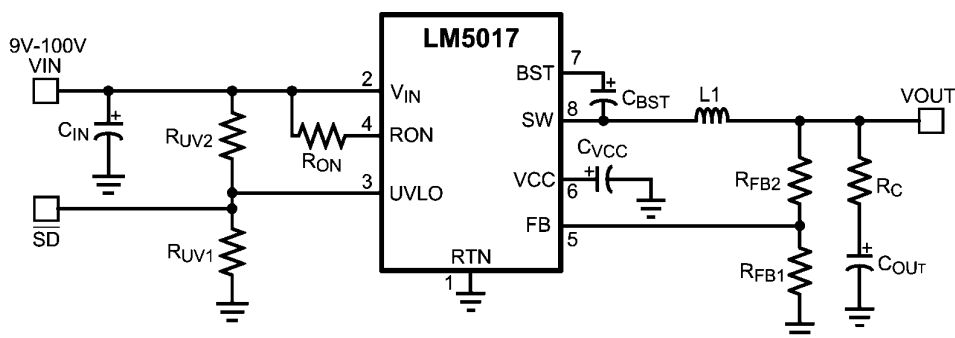


Рис. 11. Упрощенная схема применения **LM5017**

и нижнем слое. Данные полигоны соединены с выводом микросхемы, к которому подключен исток встроенного

полевого транзистора — таким образом реализован качественный отвод тепла и обеспечивается работа микросхемы в за-



Таблица 3. Трансформаторы Coilcraft для микросхем Texas Instruments

| Трансформатор | Uвх, В  | Uвых, В | Iвых, А | Уизоляции, Vrms | Микросхема TI | Рекомендуемая топология |
|---------------|---------|---------|---------|-----------------|---------------|-------------------------|
| FA2636-AL     | 16...36 | 5       | 1       | 1500            | LM5001        | обратноходовой          |
| A0009-AL      | 18...55 | 3,3     | 3       | 500             | LM5000        | обратноходовой          |
| GA3372-AL     | 36...72 | 5       | 2,6     | 1500            | LM5015        | обратноходовой          |
| FCT1-33K2SL   | 9...18  | 3,3     | 1,2     | 1500            | LM5015        | прямоходовой            |
| FCT1-50K2SL   | 9...18  | 5       | 0,8     | 1500            | LM5015        | прямоходовой            |
| FCT1-90K2SL   | 9...18  | 9       | 0,44    | 1500            | LM5015        | прямоходовой            |
| FCT1-120K2SL  | 9...18  | 12      | 0,33    | 1500            | LM5015        | прямоходовой            |
| FCT1-150K2SL  | 9...18  | 15      | 0,27    | 1500            | LM5015        | прямоходовой            |
| FCT1-33L2SL   | 18...36 | 3,3     | 2,4     | 1500            | LM5015        | прямоходовой            |
| FCT1-50L2SL   | 18...36 | 5       | 1,6     | 1500            | LM5015        | прямоходовой            |
| FCT1-90L2SL   | 18...36 | 9       | 0,89    | 1500            | LM5015        | прямоходовой            |
| FCT1-120L2SL  | 18...36 | 12      | 0,67    | 1500            | LM5015        | прямоходовой            |
| FCT1-150L2SL  | 18...36 | 15      | 0,53    | 1500            | LM5015        | прямоходовой            |
| FCT1-33M2SL   | 36...75 | 3,3     | 4,6     | 1500            | LM5015        | прямоходовой            |
| FCT1-50M2SL   | 36...75 | 5       | 3,0     | 1500            | LM5015        | прямоходовой            |
| FCT1-90M2SL   | 36...75 | 9       | 1,67    | 1500            | LM5015        | прямоходовой            |
| FCT1-120M2SL  | 36...75 | 12      | 1,25    | 1500            | LM5015        | прямоходовой            |
| FCT1-150M2SL  | 36...75 | 15      | 1,0     | 1500            | LM5015        | прямоходовой            |

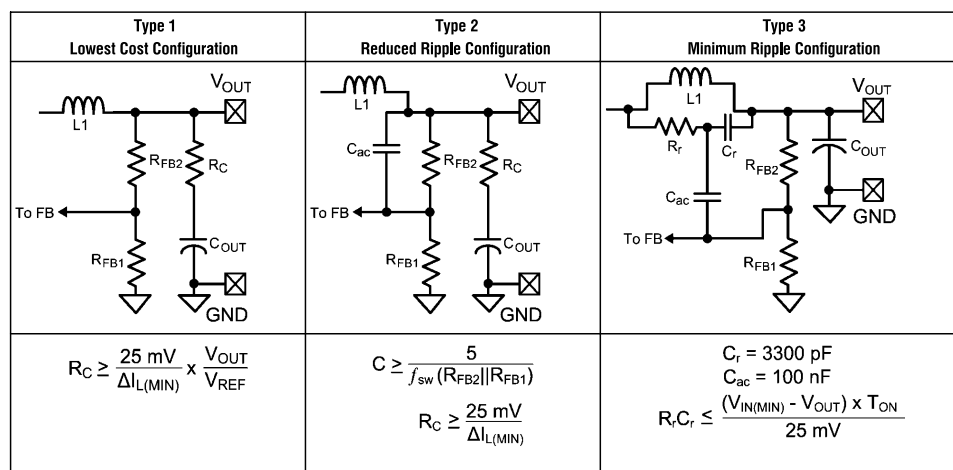


Рис. 12. Конфигурация компенсирующей цепочки обратной связи LM5017

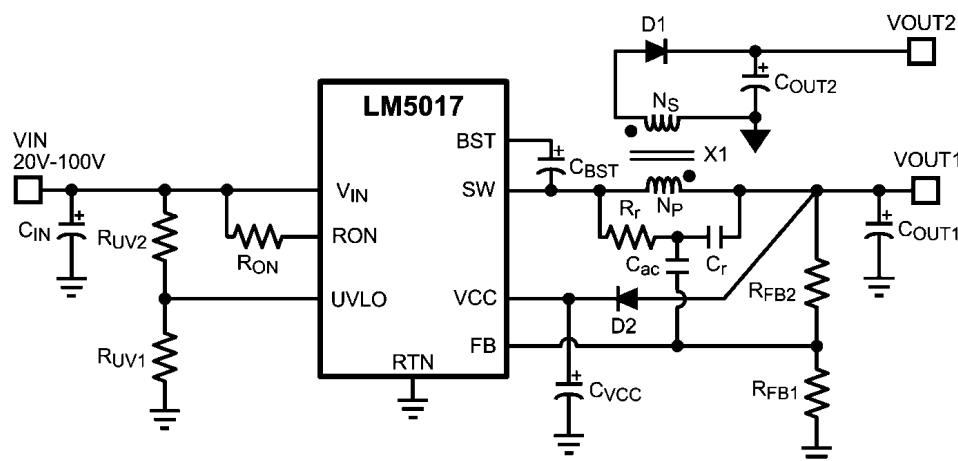


Рис. 13. Изолированный DC/DC-преобразователь на LM5017

данных диапазонах температуры, тока нагрузки и входного напряжения без срабатывания встроенной защиты от перегрева.

LM5017/18/19 – новинка 2012 года, которая заинтересовала разработчиков с момента ее анонса. Прежде всего эта микросхема интересна тем, кто разрабатывает устройства, питающиеся от автомобильной сети 12 В, так как она обеспечивает не просто защиту от бросков входного напряжения до 100 В – диапазон входного напряжения от 9 до 100 В является для нее рабочим! Микросхемы LM5017, LM5018 и LM5019 имеют pin-2-pin-совместимость и отличаются максимальным выходным током, причем нетипичным для Texas Instruments образом: LM5017 – 600 мА; LM5018 – 300 мА и LM5019 – 100 мА (то есть в обратную сторону относительно увеличения цифры наименования).

Данное семейство обладает высокой степенью интеграции, что позволяет уменьшить количество внешних пассивных компонентов. Помимо этого, в преобразователе реализовано синхронное выпрямление, а верхний и нижний ключи интегрированы в саму микросхему. Так же, как и в случае с LM5574/75/76, данному семейству не требуется внешних цепей запуска, а благодаря тому, что внутреннее значение порога UVLO составляет 4,5 В, при определенных обстоятельствах микросхема стабильно работает при входном напряжении ниже 9 В (эту «недокументированную» функцию всегда стоит проверить в ва-

шем конкретном устройстве). Упрощенная схема применения LM5017 приведена на рисунке 11.

В LM5017 применена схема управления **Constant-On-Time**, в которой каждый следующий управляющий импульс MOSFET формируется точно так же, как и в описанном ранее методе DСАР™ (в момент спада сигнала на выводе FB до опорного уровня), что позволяет схеме быстро обрабатывать броски тока нагрузки. Это обстоятельство предъявляет повышенные требования к качествам сигнала, получаемого с делителя напря-

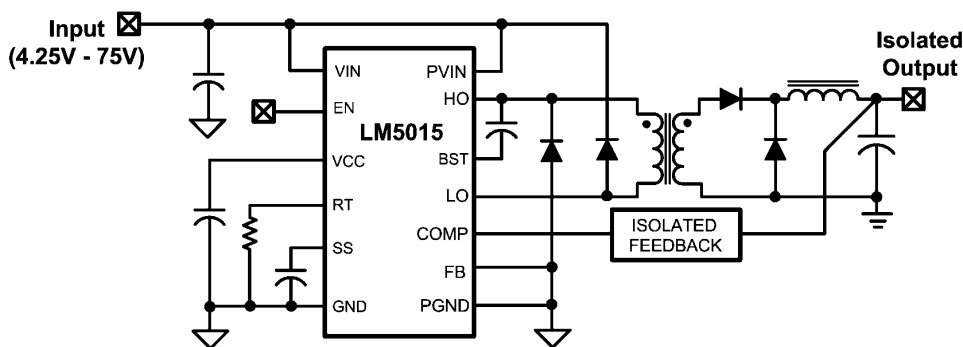


Рис. 14. Типовая схема применения LM5015

**LM5015 Isolated Two Switch Forward Regulator Quick Start Component Calculator** Version 1.2

Revision date: 6 Jan 09

Note: The components calculated in this worksheet are reasonable starting values for a design using the LM5015. They are not optimized for any particular performance attribute.

| Step                                           | Parameter                                        | Value          |
|------------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------|
| Step 1 - General Requirements                  | Vout (V)                                         | 5              |
|                                                | Vin(min) (V)                                     | 36             |
|                                                | Vin(max) (V)                                     | 72             |
|                                                | Max Load Current Limit (A)                       | 3,0            |
| Application Specified Maximum Load Current (A) |                                                  | 3              |
|                                                |                                                  |                |
| Step 2. Secondary Rectifier Diode Forward Drop | VF (V)                                           | 0,4            |
|                                                |                                                  |                |
| Step 3. Transformer                            | VCC To Be Produced Externally?                   | Yes            |
|                                                | Desired External Produced VCC voltage (V)        | 10,0           |
|                                                | Suggested T1: Option 1-Coilcraft                 | FCT1-50M2SL    |
|                                                | Option 2-Pulse Eng                               | PL2312NL       |
| Primary to Secondary Turns Ratio               |                                                  | 3,0            |
| Step 4. Operating Duty Cycle                   | Max Duty Cycle (%)                               | 45,45%         |
|                                                | Min Duty Cycle (%)                               | 22,73%         |
| Step 5 - Switching Frequency                   | Desired Fsw (KHz)                                | 300            |
|                                                | Rt (kΩ)                                          | 20,80          |
| Step 6 - Output Inductor Value                 | Suggested Lo (μH)                                | 10,0           |
|                                                | Your Selected Lo (μH)                            | 10,0           |
| Step 7 - Output Capacitors                     | Cout1 (μF)                                       | 20             |
|                                                | Cout1 ESR (Ω)                                    | 0,002          |
|                                                | Cout2 (μF)                                       | 150            |
|                                                | Cout2 ESR (Ω)                                    | 0,022          |
|                                                | Cout Total (μF)                                  | 170            |
|                                                | Ripple Voltage ΔVout (mV)                        | 37,6           |
|                                                |                                                  | 0,75% of Vout. |
| Step 8 - VIN Undervoltage Shutdown             | Required ?                                       | Yes            |
|                                                | VIN Under Voltage Rising-Edge Threshold (V)      | 34             |
|                                                | Ruv2 (kΩ)                                        | 10             |
|                                                | Ruv1 (kΩ)                                        | 273            |
|                                                | VIN UVLO Hysteresis                              | 2,70           |
|                                                | VIN Under Voltage Threshold (V)—VIN Falling Edge | 31,30          |
|                                                | UVLO Filter Time Delay (μs)                      | 200            |
|                                                | UVLO Filter Capacitor Crt (μF)                   | 0,083          |
| Step 9 - Feedback Resistors                    | Application Specified Vout(V)                    | 5,5            |
|                                                | U3 (Reference)                                   | LMV431A        |
|                                                | Rfb2 (Ω)                                         | 8 060          |
|                                                | Rfb1 (Ω)                                         | 23 873         |
| Step 10 - Cbst & Cvcc Capacitor                | Minimum Required Cvcc (μF)                       | 0,47           |
|                                                | Your Final Seelction of Cvcc (μF)                | 1,00           |
|                                                | Minimum Required Cbst (μF)                       | 0,02           |
|                                                | Your Final Seelction of Cbst (μF)                | 0,10           |
| Step 11 - Input Filters                        | Allowed Ripple Voltage on Cin (V)                | 0,50           |
|                                                | Cin (μF)                                         | 3,64           |

Figure 1 - Isolated Two-Switch Forward Regulator

LM5015 Calculator | Power Dissipation | Frequency Compensation Graphs | Bill of Materials | Transformers | Rev History

Рис. 15. Программа для расчета источника питания на LM5015

жения (как было описано ранее, напряжение, возникающее от пульсаций тока дросселя на конденсаторе, находится не в фазе с ним, что требует дополни-

тельной компенсации). В документации LM5017 приведены три рекомендуемые схемы компенсации в зависимости от того, что важнее в конкретной разработ-

ке — минимальные пульсации или минимальная цена решения (рис. 12).

Также в документации можно найти интересную реализацию гальвани-

чески развязанного источника питания на LM5017 (рис. 13), а более подробное описание этого дизайна с использованием дросселя **LPD5030V-333ME** от компании **Coilcraft** — в документе AN-2204 на отладочную плату **LM5017ISOEVAL**.

#### Реализация изолированных источников питания

Как отмечалось ранее, для быстрого старта в разработке и прототипировании изолированного DC/DC-преобразователя очень удобно иметь под рукой готовый трансформатор. Компания Coilcraft предлагает целый ряд готовых серийно выпускаемых трансформаторов, предназначенных для работы с микросхемами Texas Instruments (таблица 3).

Наиболее удобным и универсальным решением является микросхема LM5015, Coilcraft выпускает для нее трансформаторы практически под любой необходимый диапазон входного напряжения, выходное напряжение и ток. LM5015 — достаточно простая в использовании микросхема с интегрированными верхним и нижним 75-вольтовыми ключами. Такая архитектура позволяет микросхеме работать с входным напряжением, близким номинальному для встроенных MOSFET (т.е. до 75 В).

В преобразователе реализован токовый метод управления и не требуется сложная внешняя компенсация. Рабочая частота задается внешним резистором или с помощью внешнего синхросигнала. Реализованы следующие функции защиты: ограничение тока «от цикла к циклу», защита от перегрева, отключение при падении напряжения на входе ниже заданного уровня. Типовая схема применения LM5015 приведена на рисунке 14.

Удобство применения именно LM5015 связано не только с наличием готовых трансформаторов и простой схемы, но и с наличием excel-программы для расчетов всех компонентов схемы (рис. 15). Данная программа доступна для скачивания по ссылке <http://www.ti.com/litv/zip/snvu060>. Интересной особенностью является то, что, в зависимости от входных параметров программа выдает наименование рекомендуемого для данного дизайна трансформатора. Таким образом, после ввода всех требуемых параметров на выходе вы получаете полную спецификацию на прототип изолированного источника питания.

#### Заключение

Безусловно, рассмотреть все POL-преобразователи Texas Instruments в

рамках одной статьи невозможно — ведь их число постепенно приближается к 1000! Однако, на примере популярных DC/DC-преобразователей были рассмотрены основные конкурентные преимущества продукции TI, а именно — мгновенная реакция на изменение тока нагрузки, наличие в линейке преобразователей с широким диапазоном входных напряжений и простота реализации гальванически развязанных источников питания.

#### Литература

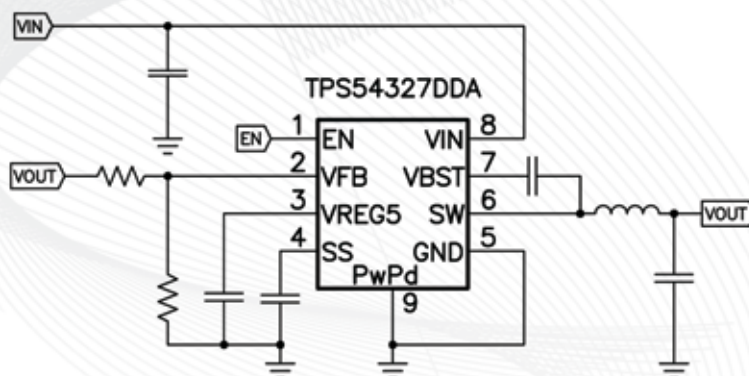
1. "Creating GSM /GPRS Power Supply from TPS54260". Texas Instruments Application Note SLVA412
2. "D-CAP™ Mode With All-Ceramic Output Capacitor Application". Texas Instruments Application Report SLVA453
3. Документация на микросхемы TPS54260, TPS54327, LM5576, LM5017, LM5015.

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

#### КЛЮЧЕВЫЕ ОСОБЕННОСТИ:

- Входное напряжение 4,5...18 В
- Выходной ток до 3 А
- Рабочая частота 700 кГц
- Интегрированные MOSFET
- Синхронное выпрямление
- Мгновенная реакция на изменение тока нагрузки
- Корпус SOIC-8 с PowerPAD

**TPS54327**



Поддержка разработчиков:  
E-mail: [ti@compel.ru](mailto:ti@compel.ru)  
[www.compel.ru/projects-support](http://www.compel.ru/projects-support)

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



Герберт Шварц (Texas Instruments)

## ВЫСОКОТОЧНЫЙ ДАЛЬНОМЕР НА КОМПОНЕНТАХ TEXAS INSTRUMENTS

Что нужно для построения **радиолокационного дальномера**? — только радиолокационный датчик с антенной и три компонента от **Texas Instruments**: **линейный регулятор LDO TPS7A4901**, **операционный усилитель MC33078** и **микроконтроллер MSP430AFE253**. Ну и обвязка — несколько резисторов, конденсаторов и светодиодов.

Представленное приложение «Дальномер» основано на использовании радиолокационного трансивера в сантиметровом К-диапазоне 24 ГГц. Используемый радиолокационный датчик имеет встроенную антенну приема и передачи. Для точного определения расстояния до объекта и его скорости необходимо использовать хороший радиолокационный датчик и высокопроизводительный аналоговый усилитель. Более того, для управления всем приложением необходим микроконтроллер с низким энергопотреблением и встроенным дельта-сигма АЦП. Принципиальная схема подробно объясняется ниже.

### Источник питания — линейный регулятор LDO TPS7A4901

Источником питания для данного приложения является положительный линейный регулятор с ультранизким шумом (15,1 мкВ<sub>RMS</sub>, 72 дБ).

Для питания всего приложения достаточно максимального тока нагрузки в 200 мА. Линейный регулятор имеет совместимый с КМОП-логикой вывод разрешения и функцию программируемого мягкого старта, что позволяет создавать индивидуальные решения управления питанием. Другими особенностями являются встроенные ограничители по силе тока и температуре для защиты устройства и системы в аварийных условиях. VIN-вывод регулятора подключается к внешнему источнику питания в 9 В. Выходное напряжение регулятора устанавливается с помощью резисторов R13 и R14 на уровне 3,3 В. Выходное напряжение можно вывести из формулы:

$R13 = R14 \left( \frac{V_{OUT}}{V_{REF}} - 1 \right)$ , где  $V_{REF}$  регулятора, как правило, равно 1,194 В.

### Радиолокационный датчик RSM3650

В используемой радиолокационной системе применяется радар с непрерывной волной, работающий на частоте 24 ГГц. Напряжение питания в 3,3 В для трансивера с К-диапазоном должно быть очень стабильным. Упомянутый выше линейный регулятор LDO **TPS7A4901** обеспечивает стабильное опорное напряжение. Транзистор T1 используется для включения и выключения напряжения питания датчика RVCC (вывод 1). Ток питания радара равен 29,5 мА. Выходной радиолокационный сигнал появляется на выводе 3 и идет на входной вывод 1 усилителя.

### Усилитель

Сначала нам нужно обратить внимание на выбор правильной полосы пропускания и, конечно, на необходимое

усиление для низковольтного радиолокационного сигнала (300 мВ). Используемый операционный усилитель (ОУ) **MC33078** от Texas Instruments работает в широком диапазоне от одного источника напряжения и с высокой добротностью в полосе до 16 МГц. Сигнал трансивера от радиолокационного датчика поступает с вывода 3 на вход усилителя. Усилитель состоит из двух каскадов с усилением 2х30 дБ и адаптированной полосой пропускания в 1061 Гц. Характеристики усилителя показаны на рисунке 1.

Второй каскад позволяет производить дополнительную регулировку уровня чувствительности для калибровки дальномера. Наконец, на выходе ОУ усиленный сигнал (рис. 2) может быть обработан микроконтроллером. Определенная им полоса пропускания зависит от скорости объекта. Например, для измерения расстояния при парковке автомобиля скорость объекта в 25 км/ч соответствует реальным условиям. Высокопроизводительный усилитель позволяет избежать любых ограничений, касающихся отношения «сигнал-шум» трансивера, работающего в К-диапазоне.

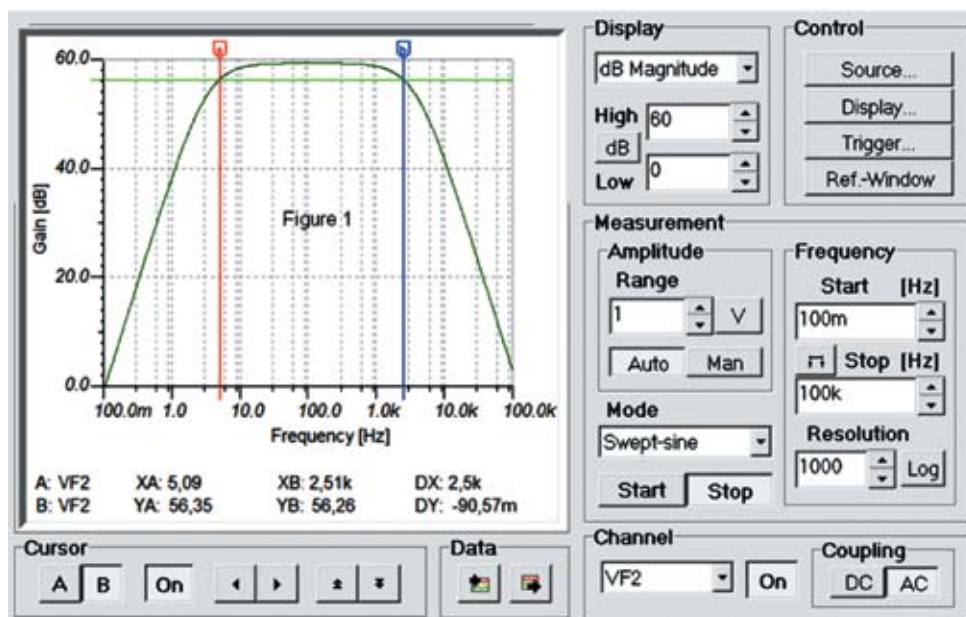


Рис. 1. Характеристики усилителя высокоточного дальномера

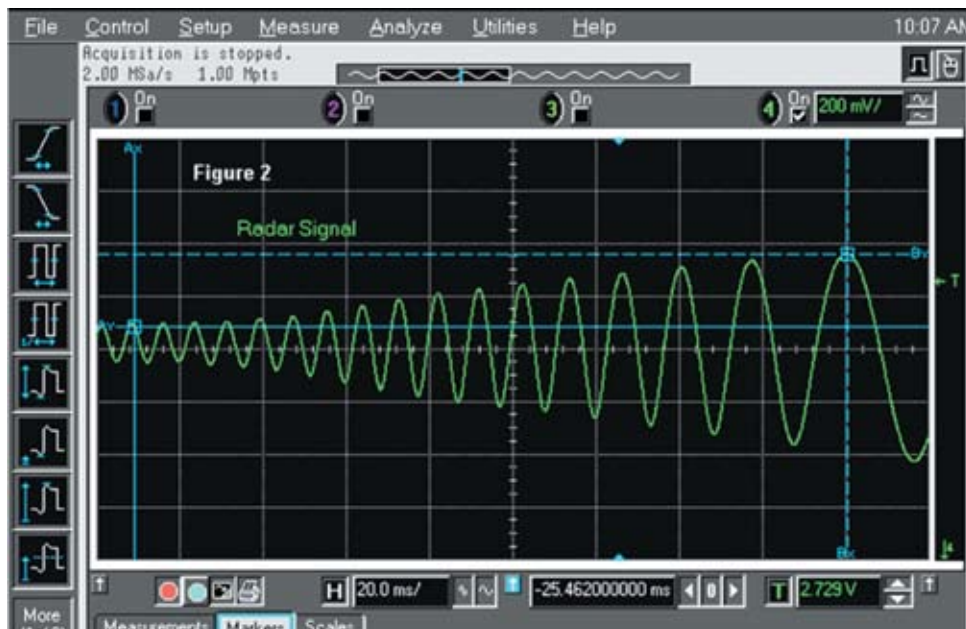


Рис. 2. Измерение скорости объекта и расстояния до него

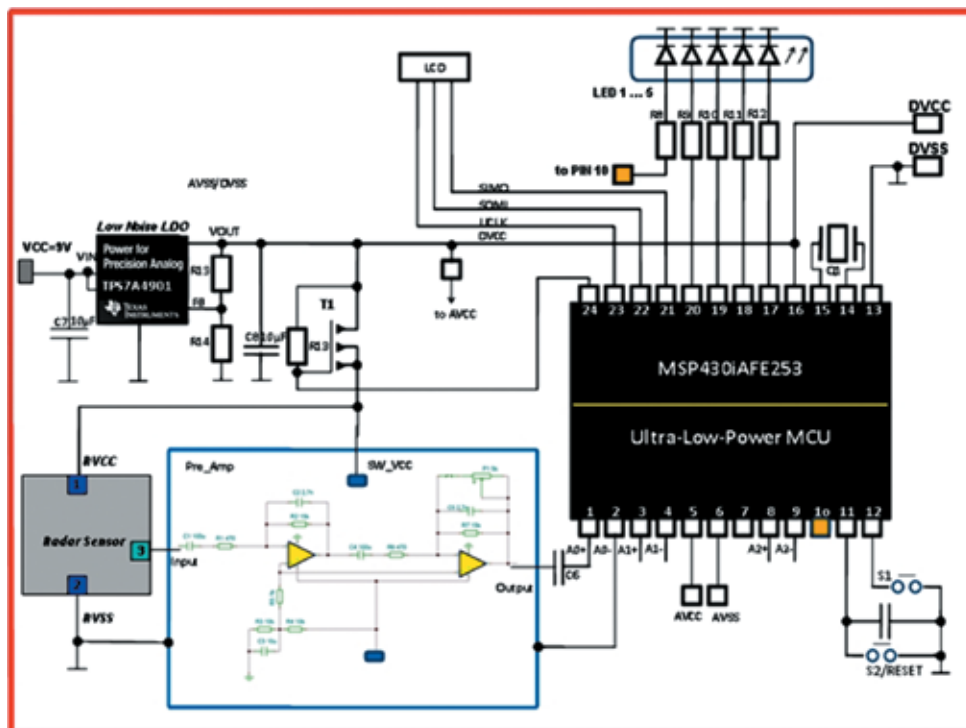


Рис. 3. Высокоточный дальномер на основе R-технологии

Доплеровская частота характеризует скорость объекта, а расстояние до него может быть определено с помощью амплитуды (АХЧ) отраженного радиолокационного сигнала (рис. 2). Оба параметра измеряются дельта-сигма-преобразователем в используемом микроконтроллере!

#### Микроконтроллер MSP430AFE253

Сигнал непрерывной радарной волны преобразуется 24-битным дельта-сигма-преобразователем. Дальномер основан на базе микроконтроллера

MSP430AFE253 с низким энергопотреблением. Схема применения показана на рисунке 3. MSP430AFE253 принадлежит к линейке микроконтроллеров серии AFE2x3 от Texas Instruments. Данный микроконтроллер является высокопроизводительным устройством с тремя каналами и тремя независимыми дельта-сигма-преобразователями второго порядка с динамическим диапазоном более 100 дБ. Эта серия микроконтроллеров характеризуется наивысшей точностью результатов и обеспечивает одновременную обработку

напряжения и тока. Микроконтроллер оснащен встроенным модулем дельта-сигма-АЦП. В дальномере для согласования уровня радиолокационного сигнала с аналоговым входом дельта-сигма-преобразователя применяется мал шумящий усилитель с определенной полосой пропускания и коэффициентом усиления. После подключения питания к приложению с помощью выключателя S1, микроконтроллер подает напряжение на радиолокационный датчик и аналоговый усилитель. Вывод 24 микроконтроллера переходит в высокий уровень и включает T1. Дельта-сигма-преобразователь осуществляет постоянный мониторинг радиолокационного сигнала (рис. 3) на выводе 1 микроконтроллера. Уровень чувствительности можно регулировать с помощью потенциометра P1, расположенного во втором каскаде усилителя. Для определения расстояния в этом приложении мы должны измерять только амплитуду ответного радиолокационного сигнала. Если сигнал сильнее предварительно установленного уровня чувствительности, то начинается расчет расстояния. Если расстояние  $\leq 60$  см — загорается первый зеленый светодиод. Каждый светодиод показывает 10 см приближения до препятствия. Это означает, что, если загорелись все светодиоды, то расстояние до объекта равно 20 см. Предварительно заданная дистанция достигнута. Светодиоды LED 1...LED 4 горят зеленым цветом, а LED 5 загорается красным. Все светодиоды управляются выводами 10, 17...20 микроконтроллера. Дальномер является высокоточной измерительной системой с низким шумом. Приложение следует выключить кнопкой S1. При этом питание радиолокационного датчика и усилителя отключается для экономии энергии. Если питание радара выключено полностью — микроконтроллер переходит в энергосберегающий режим.

#### Почему я использую радиолокационный датчик для измерения расстояния?

Это лучший способ определения радиального движения и простого определения любой скорости движущегося объекта. Более того, радиолокационный датчик очень стабилен в отношении воздействий окружающей среды. Дождь, снег или загрязнения не могут повлиять на измерительную систему.

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