

№11 (75), 2009 г.

Информационно-технический  
журнал

Учредитель — ЗАО «КОМПЭЛ»

Издается с 2005 г.

Свидетельство о регистрации:  
ПИ № ФС77-19835

**Редактор:**

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

**Выпускающий редактор:**  
Анна Кузьмина

**Редакционная коллегия:**

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

**Дизайн, графика, верстка:**

Елена Георгадзе  
Владимир Писанко  
Евгений Торочков

**Распространение:**

Анна Кузьмина

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

**Отпечатано:**

«Гран При»  
г. Рыбинск

Тираж — 1500 экз.

© «Новости электроники»

**Подписано в печать:**

31 августа 2009 г.

# СОДЕРЖАНИЕ

## БРЕНД НОМЕРА: *TEXAS INSTRUMENTS INC.*

• «Дни MSP430 Texas Instruments» теперь стали «Днями микроконтроллеров» <i>Брайан Кратчер</i> .....	3
• Стандартные компоненты – «соль и перец» печатной платы <i>Ян Папе</i> .....	4
• MSP430F5xxx – самые энергоэкономичные в мире микроконтроллеры с USB-интерфейсом <i>Алексей Пантелейчук</i> .....	6
• Stellaris – семейство микроконтроллеров на ядре Cortex-M3 <i>Константин Староверов</i> .....	10
• Новые прикладные процессоры OMAP-L1x для приложений с низким энергопотреблением <i>Андрей Никитин</i> .....	15
• Отечественные модули на микроконтроллерах Piccolo и Delfino компании Texas Instruments <i>Владимир Бродин, Игорь Булатов</i> .....	21
• Стандартные компоненты от TI: аналоговые коммутаторы и их применение <i>Филипп Пишо, Кристофер Грейвс</i> .....	24
• Аналоговые переключатели видеосигналов от Texas Instruments <i>Михаил Чигарев</i> .....	27
• Разработка источников питания для уличного светодиодного освещения <i>Павел Ильин, Андрей Соколов</i> .....	30



## В СЛЕДУЮЩИХ НОМЕРАХ

- Новый этап развития International Rectifier: упор на MOSFETы
- Компоненты управления электроприводом

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

## ОТ РЕДАКТОРА



### Уважаемые читатели!

Летом далекого 1958 года инженер-разработчик компании Texas Instruments Джек Килби разработал первую в истории человечества микросхему — транзистор и несколько пассивных элементов на германиевой подложке. Нобелевская премия по физике, которой было отмечено это революционное изобретение 42 года спустя — это, по сути дела, премия за непредставимое ранее сбережение места на плате, времени разработки и потребляемой энергии.

Возможно, именно технологическая революция, произведенная Texas Instruments в 1958 году, стала причиной того, что основой бизнеса и «визитной карточкой» компании на долгие годы стали наиболее интегрированные из интегральных схем: микроконтроллеры и цифровые процессоры. В отличие от многих нишевых игроков электронного рынка, TI всегда стремилась представить наиболее широкую линейку микроконтроллеров и DSP для самых различных применений.

Если контроллеры — визитная карточка TI, то внутри данного сегмента есть своя «визитка» — знаменитое семейство MSP430, многолетний чемпион отрасли по минимальному энергопотреблению. Многие годы компания TI проводила так называемые «всемирные дни MSP430» — единые технические семинары и тренинги, посвященные этому семейству. Но последние достижения Texas Instruments в области микроконтроллеров и DSP настолько разнообразны, что впервые в 2009 году тематика семинаров расширена, и они посвящены всей линейке микроконтроллеров TI. Вот лишь некоторые темы, которые предлагаются к рассмотрению и обсуждению:

- недавнее приобретение компанией Texas Instruments компании Luminary Micro и ее линейки контроллеров Stellaris на 32-битном ядре ARM Cortex-M3,
- разработка системы-на-кристалле для беспроводных приложений CC430, включающей знакомое ядро MSP430 и RF-трансивер,
- выпуск специализированных контроллеров Piccolo и

Delphino для управления электроприводом в бюджетном сегменте,

- появление двухъядерных (ARM + DSP) процессоров OMAP-L1 для мультимедийных приложений и встраиваемых систем.

Не забыто и семейство MSP430 — в нем появилось наиболее экономичное на данный момент изделие MSP430F5xx.

Семинары по микроконтроллерам TI пройдут при участии российского представительства Texas Instruments и компании КОМПЭЛ в первой половине сентября в Москве, Санкт-Петербурге и Новосибирске

Как всегда, ждем ваших вопросов и предложений.

С уважением,  
Геннадий Каневский

Брайан Кратчер (Texas Instruments)

## «ДНИ MSP430 TEXAS INSTRUMENTS» ТЕПЕРЬ СТАЛИ «ДНЯМИ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ»



В интервью редактору «Новостей электроники» Геннадию Каневскому вице-президент по микроконтроллерной продукции компании Texas Instruments Брайан Кратчер рассказывает о предстоящих в сентябре 2009 года «Днях микроконтроллеров TI», о новинках микроконтроллерной продукции и особенностях применения разных семейств микроконтроллеров TI.



**Геннадий Каневский:** Texas Instruments по традиции ежегодно проводит по всему миру (включая Россию) так называемые «Дни MSP430». В этом году их название впервые было изменено на «Дни микроконтроллеров», что предполагает включение в их программу не только MSP430. Каковы причины и цели такого изменения?

**Брайан Кратчер:** В свете большого успеха и популярности «Дней MSP430» компания TI решила расширить тематику этих встреч и предоставить покупателям доступ к информации и тренингам по всей микроконтроллерной линейке. Это самое большое мероприятие TI такого рода для разработчиков электроники: оно будет проходить более чем в 150 точках по всему миру. «Дни микроконтроллеров» будут включать в себя рассказы об архитектурах МК, последних изменениях, ключевых областях применения, а также о секретах работы с новинками TI в сфере микроконтроллеров и инструментальных средств разработки. Тематика «Дней» включает микроконтроллеры со сверхмалым энергопотреблением MSP430, микроконтроллерную платформу ре-

ального времени C2000, семейство Stellaris на ядре ARM Cortex-M3 и прикладные процессоры OMAP-L1x на ядре ARM9.

**Г.К.:** Недавно компания Texas Instruments поглотила компанию Luminary Micro — известного производителя микроконтроллеров на ядре ARM Cortex-M3. Не могли бы Вы рассказать о деталях и целях этого поглощения?

**Б.К.:** Добавление линейки Stellaris на ядре Cortex-M3, выпускавшейся компанией Luminary Micro, позволило компании TI представить наиболее полный в индустрии ассортимент микроконтроллеров и тем самым удовлетворить высокие требования рынка. Эта линейка представляет собой изготовленные по высочайшим стандартам процессоры общего назначения для разработчиков, желающих использовать преимущества 32-битного ядра ARM. Они сочетают в себе богатые возможности по подключению периферийных устройств и развитые инструментальные средства. Возможные применения включают управление приводом, промышленную автоматику, медицинскую и транспортную электронику, системы безопасности и контроля доступа и многое другое.

**Г.К.:** Каково направление дальнейшего развития линейки MSP430 с учетом появления в ассортименте продукции TI контроллеров на ядре ARM Cortex-M3?

**Б.К.:** Одна из целей компании TI — предоставлять готовые решения на все возможные запросы потребителей. Для того, чтобы выполнять эту цель, необходимо как можно более широкое портфолио решений. Микроконтрол-

леры MSP430 предназначены для приложений, где требуется сверхмалая потребляемая мощность, невысокая стоимость и простота эксплуатации. Примеры таких приложений — счетчики электроэнергии, портативные медицинские приборы, потребительская электроника и персональные цифровые устройства. Микроконтроллеры Stellaris предоставляют разработчику доступ к вычислительным возможностям ядра ARM Cortex-M3 и к современным средствам передачи данных, включая Ethernet, интерфейсы USB и CAN. Экономичные и недорогие MSP430, управляющие контроллеры реального времени C2000, новое семейство Stellaris — эта широкая линейка отвечает задаче компании предоставлять микроконтроллерное решение для любой возможной разработки.

**Г.К.:** Еще недавно семейство C2000 позиционировалось компанией Texas Instruments как DSP. С появлением нового семейства Piccolo изделия из линейки C2000 стали именоваться уже «микроконтроллерами». Чем вызваны эти изменения?

**Б.К.:** Многие приложения, решающие задачи управления в реальном времени, нуждаются в высокопроизводительном процессоре для выполнения сложных математических вычислений и алгоритмов управления. Но разработчикам нужны и менее производительные варианты с большим объемом flash-памяти и встроенным управлением периферийными устройствами, что характерно для микроконтроллеров. Семейство C2000 представляет сочетание лучшего из обеих подходов — высокопроизводительное DSP-ориентированное ядро C28x наряду с востребованными рынком встроенными flash-памятью, АЦП, ШИМ, периферийными устройствами связи, компараторами и прочими, характерными для микроконтроллеров, чертами. Подробная информация о C2000 находится на сайте компании Texas Instruments, в разделе «Микроконтроллеры». 

Ян Пана (Texas Instruments)

## СТАНДАРТНЫЕ КОМПОНЕНТЫ – «СОЛЬ И ПЕРЕЦ» ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ



Выпускаемые многими производителями **стандартные компоненты** (часто называемые английским словом **Commodity**) включают интегральные **стабилизаторы питания, преобразователи напряжения и тока, ключи, логические элементы и схемы** и многое другое. Без них невозможно представить реализацию главной задачи электроники: получение, анализ и обработка сигнала. Доля компании **Texas Instruments** в этом секторе рынка достигает 30%, о чем знают далеко не все. В подробном интервью, которое редактору «Новостей электроники» Геннадию Каневскому дал **Директор по продажам стандартной продукции компании Texas Instruments Ян Пана** — этот и многие другие любопытные и полезные факты о стандартных компонентах ТИ.

**Геннадий Каневский:** Сегодня мы живем во времена экономического кризиса. Как это влияет на продажи ТИ в секторе стандартной линейной и логической продукции?

**Ян Пана:** Стандартная линейная и логическая продукция (SLL) именно в такой период — очень интересная часть полупроводникового рынка. Эта продукция по спадам и подъемам часто опережает специализированные устройства, например, микропроцессоры. Я обычно называю эту продукцию «солью и перцем» печатной платы. Как, к примеру, мясо с овощами нуждается в правильном количестве соли и перца, чтобы быть по-настоящему вкусным, так и печатные платы для работы нуждаются в стандартной продукции. Вам нужны определенные устройства на печатную плату, определенного качества, в определенном корпусе и по определенной цене, иначе система не будет работать. Обычно на печатной плате, предназначенной для любых приложений, находится от 10 до 30 стандартных изделий, суммарная стоимость их при этом варьируется от \$1 до \$4.

Мы видим серьезное влияние экономического спада в период с декабря 2008 года по февраль 2009. С тех пор рынок вырос и прогнозы ТИ на стандартную продукцию в третьем квартале 2009 года опираются на информацию о прибыли во втором квартале 2009 года, опубликованную компанией 20 июля. Мы также видим, что сейчас сроки поставки стандартной линейной и логической продукции в наиболее популярных корпусах увеличиваются.

Сроки поставки ТИ сейчас вполне стабильны, а в группах продукции, где сроки поставки увеличились из-за спроса, опережающего складские запасы, мы интенсивно работаем над увеличением производства и восстановлением приемлемых сроков. Мы надеемся быть готовыми к улучшению экономических условий.

**Г.К.:** Как мы знаем, доля ТИ на мировом рынке стандартной продукции составляет 30%. Российская ситуация не настолько хороша. Как ТИ достиг таких результатов и почему, на ваш взгляд, на российском рынке они иные?

**Я.П.:** Мы объясняем нашу долю в 30% несколькими факторами. Прежде всего, ТИ работает в сфере стандартной логики с начала 60-х годов. Наша фабрика TTL-логики была построена в 1964

возможность предоставлять своим клиентам широчайшее портфолио по всему миру. Мы предлагаем продукцию от традиционных BiPolar TTL и CMOS (CD4K, HC) до низковольтных CMOS (LVC, LV и т.д.), BiCMOS (LVTH и т.д.), а также ультранизкомощных семейств (AUP, AUC).

Вдобавок, благодаря большим размерам компании, мы способны достигать необходимой экономии, что позволяет нам постоянно предлагать правильные цены и превосходную поддержку клиента независимо от рыночных условий. К тому же, мы производим всю продукцию внутри компании, что означает независимость от услуг субподрядчиков.

Наконец, не в последнюю очередь, мы постоянно вкладываем средства в разработку новых продуктов и программного обеспечения, не упуская из виду программы снижения цен везде, где это возможно.

В России мы считаем необходимым повысить нашу долю с помощью дистрибьюторов и снабдить наших конечных клиентов необходимой продукцией должного качества в нужном корпусе по правильной цене.

Обычно стандартные компоненты воспринимаются как должное (см. сказанное выше про «соль и перец»), и это означает, что инженеры будут использовать наиболее знакомое, то, что они

Обычно на печатной плате, предназначенной для любых приложений, находится от 10 до 30 стандартных изделий, суммарная стоимость их при этом варьируется от \$1 до \$4.

году в Шермане, штат Техас, но она и сейчас служит главным центром производства нашей стандартной линейной и логической продукции. Во-вторых, наше бизнес-подразделение по стандартной продукции ни разу не прекращало выпуск какой-либо серии. В третьих, мы выпускаем на рынок больше новых продуктов ([см. www.ti.com/musthave](http://www.ti.com/musthave)), чем большинство наших конкурентов вместе взятых. Такая стратегия дает ТИ

привыкли использовать в готовой продукции. В России мы хотим работать с такими партнерами, как КОМПЭЛ, чтобы знать, чего хочет российский заказчик от поставщика стандартной и линейной логики. В процессе принятия решения о разработке нового продукта в области стандартной и линейной логики мы всегда работаем бок о бок с коллегами из ТИ, чтобы убедиться, что наша стандартная продукция будет соответ-

ствовать предложению компании по аналоговой продукции и процессорам.

Мы хотим помочь заказчику подобрать стандартные компоненты на каждом этапе разработки любой части его системы, от процессорной до аналоговой.

Текущая ситуация на рынке поможет значительно увеличить долю стандартной продукции TI в России.

**Г.К.: Планирует ли TI выпускать новые группы стандартных изделий в ближайшем будущем?**

**Я.П.:** Мы постоянно выпускаем новые продукты в области стандартной логической и линейной продукции, примерно 100 новых устройств ежегодно. В этом, 2009, году мы увидим широкий ассортимент новых продуктов и семейств продукции, анонсированных и представленных на рынке. Расскажу лишь о некоторых новинках:

1) Устройства защиты от электростатических разрядов и электромагнитных импульсов. **TPD4S009** — 4-канальное ESD-устройство для защиты системного интерфейса USB. И это всего лишь один пример, полный список наименований устройств защиты смотрите по адресу <http://focus.ti.com/analog/docs/gencontent.tsp?familyId=361&genContentId=41762> или ищите обзоры новинок на [http://focus.ti.com/paramsearch/docs/parametricsearch.tsp?247SEM=&family=analog&familyId=1444&uiTemplateId=NODE\\_STRY\\_PGE\\_T;](http://focus.ti.com/paramsearch/docs/parametricsearch.tsp?247SEM=&family=analog&familyId=1444&uiTemplateId=NODE_STRY_PGE_T;)

2) Другое новое семейство, о котором стоит сказать — переключатели нагрузки [www.ti.com/loadswitches-pr](http://www.ti.com/loadswitches-pr);

3) Постоянно пополняется линейка PC-продукции [http://focus.ti.com/paramsearch/docs/parametricsearch.tsp?247SEM=&family=analog&familyId=867&uiTemplateId=NODE\\_STRY\\_PGE\\_T;](http://focus.ti.com/paramsearch/docs/parametricsearch.tsp?247SEM=&family=analog&familyId=867&uiTemplateId=NODE_STRY_PGE_T;)

4) В семействе аналоговых переключателей мы представляем новые высоковольтные переключатели (12 и 36 В), а также специализированные переключатели для PCIE, USB и мини-USB <http://focus.ti.com/analog/docs/switcheshome.tsp?familyId=727&contentType=4;>

5) Мы также продолжаем расширять ассортимент преобразователей уровня, удовлетворяющий потребность в согласовании низкого входного/выходного напряжения цифрового ядра и более высокого напряжения, необходимого для работы периферийных устройств (пример — совместная работа процессора и карты памяти): [http://focus.ti.com/paramsearch/docs/parametricsearch.tsp?family=analog&familyId=705&uiTemplateId=NODE\\_STRY\\_PGE\\_T](http://focus.ti.com/paramsearch/docs/parametricsearch.tsp?family=analog&familyId=705&uiTemplateId=NODE_STRY_PGE_T). (здесь вы так-

же можете найти видеорассказ Дэвида Муна о том, где можно использовать данные устройства);

6) К концу года мы собираемся представить намного больше новых устройств в таких сегментах как цифровые потенциометры, LED-драйверы и другие. Наилучший способ получения информации о новых и востребованных изделиях — наш список обязательной продукции “Must Have”, включающий наши последний разработки, которые пользуются особой популярностью у заказчиков: [www.ti.com/musthave](http://www.ti.com/musthave).

**Г.К.: Какие группы стандартной продукции TI пользуются постоянным спросом в мире и почему?**

**Я.П.:** Значительную часть бизнеса, помимо новинок и обязательного списка продукции “Must Have”, составляет логика серий Little Logic, LVC и HC (<http://focus.ti.com/logic/docs/logichome.tsp?familyId=1&sectionId=450>) несмотря на растущий спрос на новейшие логические серии AUP и AUC, оптимизированные для низковольтного питания. Но в индустриальном и общем секторе существует серьезный спрос на крупного поставщика, подобного TI, удовлетворяющего потребность в таких традиционных логических сериях, как CD4000 и LVT. Как я уже говорил

ранее, мы не сняли с производства ни одно семейство продукции за последние 40 с лишним лет, и не собираемся делать этого и далее. Такая стратегия отличает нашу компанию от конкурентов. Мы также продолжаем производить и поставлять наши традиционные семейства биполярной логики TTL, LS и подобные, и будем продолжать это делать в дальнейшем.

Что касается стандартной линейной продукции (<http://focus.ti.com/analog/docs/standardlinearhome.tsp?contentType=4&familyId=768>), там ситуация очень похожая: наиболее продающиеся устройства — LM317, NE555, LM324, но мы видим тенденцию к переходу на новые стандартные линейные устройства, такие как LMV981, LP2981, TL431. Однако такие компоненты, как ULN2003, все еще пользуются большим спросом, хотя мы продолжаем развиваться и создавать новые устройства, такие, как семейство TPL9201/02 (8-канальный драйвер реле со встроенным 5-вольтовым LDO и индикатором нулевого уровня напряжения <http://focus.ti.com/docs/prod/folders/print/tpl9201.html>), в котором мы объединили шесть стандартных компонентов в одно устройство, чтобы добиться простоты в производстве и снижения стоимости систем в большом количестве проектов управления электроприводом.

**БИЗНЕС-ГРУППА КОМПЭЛ  
ПО ПРОДУКЦИИ TI**

**ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВО  
TI В РОССИИ**



**Мария Рудак**  
бренд-менеджер TI



**Бертрам Йокушес**  
руководитель  
представительства



**Андрей Соколов**  
менеджер по проектам



**Василий Басов**  
координация бизнеса



**Павел Ильин**  
инженер по применению  
аналоговых компонентов TI



**Александр Казакевич**  
инженер по применению  
аналоговых компонентов

Алексей Пантелейчук

## MSP430F5xxx – САМЫЕ ЭНЕРГОЭКОНОМИЧНЫЕ В МИРЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ С USB-ИНТЕРФЕЙСОМ



*Семейство MSP430F5xx является следующим шагом в развитии микроконтроллеров MSP430 компании Texas Instruments. В статье рассмотрены основные отличия нового семейства, в том числе главное из них – USB-интерфейс, затронуты вопросы энергопотребления MSP430 в USB-приложениях, а также описаны доступные средства разработки для новых MSP430.*

Как и их предшественники, микроконтроллеры MSP430F5xx (рисунок 1) разрабатывались специально для обеспечения длительной работы устройства от батареи в портативных применениях и используются в таких приложениях, как системы цифровых датчиков, регистраторы данных, USB-устройства.

### Отличительные особенности MSP430F5xx:

- Высокая производительность:
  - До 25 МГц;
  - 12 МГц при 1,8 В;
  - До 256 КБ Flash;
  - До 16 КБ RAM;
  - DMA, USB, АЦП, ЦАП и 4 USCI;
- Функциональность:
  - Поддержка USB, беспроводных протоколов, шифрования и ЖКИ-интерфейса;
  - Внутрисхемное программирование Flash при 1,8 В;
  - Возможность чтения из Flash во время выполнения операции стирания;
- Простота использования:
  - Надежная и гибкая система синхронизации (0, 1 или 2 внешних источника тактового сигнала);
  - Встроенный осциллятор (REFO) для работы без внешнего часового кварца;
  - Надежная система тактирования Flash;
  - Определяемый пользователем загрузчик (BSL);
  - Интегрированный генератор опорного напряжения;
- Простота перехода:
  - Прежняя система команд;
  - Архитектура MSP430C1XX;
  - Совместимость периферийных устройств;

- ADC12 с меньшим энергопотреблением и улучшенным генератором опорного напряжения;
- Усовершенствованный аппаратный умножитель 32x32;
- Те же отладочные средства;
- Новые периферийные устройства:
  - Модуль Управления Энергопотреблением (PMM);
- Дополнительные возможности для пользователя;
- Интегрированный регулятор напряжения (LDO);
- Программируемые мониторы и супервизоры напряжения питания (SVM/SVS);
- Подстройка напряжения ядра для снижения энергопотребления.

MSP430x5xx производятся по новой технологии, в связи с чем снизилось напряжение питания ядра и множества периферийных модулей. Модуль управления напряжением питания (PMM) – это

ния питания регулируются программно, что можно использовать для динамического переключения между четырьмя уровнями напряжения, в результате чего снижается энергопотребление приложения в те моменты, когда не требуется максимальная производительность.

В систему синхронизации USC-микроконтроллеров MSP430x5xx добавлен новый низкочастотный встроенный осциллятор, называемый REFO. Этот осциллятор позволяет обойтись без 32-килогерцового часового кварца в качестве источника опорного сигнала системы синхронизации. Встроенный осциллятор с цифровым управлением (DCO) выводит микроконтроллер из режимов низкого энергопотребления в активный режим меньше чем за 5 мкс.

Как и в предыдущих MSP430, в новых микроконтроллерах используются три системных тактовых сигнала: ACLK, MCLK и SMCLK. Для MSP430x5xx нет разницы, какой из осцилляторов будет источником для этих сигналов, что придает системе синхронизации новых микроконтроллеров непревзойденную гибкость.

Системный модуль SYS – новый модуль для MSP430 – берет на себя часть системных функций, имеющихся в предыдущих семействах, а также ре-

**В MSP430F5xx технология USB** интегрирована таким образом, что пользователю нет необходимости разбираться с ее организацией. Для использования USB в схему устройства необходимо добавить только USB-коннектор и несколько дискретных компонентов, а в программный код включить API-стеки, предлагаемые компанией-производителем и реализующие три наиболее популярных класса устройств.

совершенно новый модуль в составе MSP430. К нему подключена большая часть логики MSP430x5xx. Его задача, как уже понятно из названия и предыдущих двух предложений, заключается в регулировании напряжения питания MSP430x5xx. PMM осуществляет контроль падения напряжения питания. Уровни допустимого падения напряже-

шает несколько задач, присущих только MSP430x5xx. В состав системного модуля входит сторожевой таймер. Системный модуль обрабатывает все функции сброса и немаскируемые прерывания (NMI), а также дескрипторы микроконтроллера. Дескрипторы представляют собой таблицы с информацией о микроконтроллере (тип, ревизия,

доступные периферийные устройства). Эта функция полезна при разработке встраиваемых систем, когда система может подстраивать драйвера в зависимости от доступных ресурсов. Эти таблицы также могут быть использованы различными отладочными средствами для настройки подключения.

Разрядность сторожевого таймера увеличена до 32 бит. Также есть изменения в логике обработки ошибок тактирования сторожевого таймера. Теперь при отказе ACLK или SMCLK (от которых тактируется сторожевой таймер) автоматически происходит переключение на осциллятор VLO.

Микроконтроллеры MSP430x5xx поддерживают четырехпроводный и двухпроводный (Spy-Bi-Wire) интерфейсы JTAG. Режим загрузки выбирается с помощью подачи определенной последовательности сигналов на выходы TEST/SBWTCK и RST/NMI/SBWDIO.

Система памяти MSP430F5xx значительно отличается от системы памяти MSP430F2xx и MSP430x4xx. Эти изменения необходимы для расширения адресного пространства, поддержки новых периферийных устройств и дальнейших усовершенствований. Область памяти для периферийных устройств расширилась до 4 КБ. Доступ к большинству регистров периферийных устройств можно осуществлять в формате байт и слов (16-бит), однако есть исключения.

Область памяти ОЗУ MSP430F5xx начинается с адреса 01C00h. Размер этой области зависит от объема ОЗУ конкретного микроконтроллера. Таблица векторов прерываний находится там же, вверху адресного пространства, но число векторов прерываний увеличилось до 64. Область памяти для загрузчика увеличилась до 2 кбайт, так как загрузчик поддерживает большее количество режимов загрузки, в том числе и режим, генерируемый пользователем.

Модуль CRC является новым для MSP430, он аппаратно вычисляет циклический избыточный код для проверки корректности данных.

32-битный аппаратный умножитель MPY32 представляет собой расширенную версию 16-битного умножителя, используемого в микроконтроллерах MSP430x2xx и MSP430x4xx, может осуществлять 32-битные умножения. В отличие от предшественника, MPY32 может работать с дробными числами в форматах Q. Добавлен режим насыщения для предотвращения переполнения.

К регистрам универсального последовательного коммуникационного интерфейса USCI теперь можно обращаться в формате байтов и слов (16-бит). Улучшилась система прерываний коммуникационного интерфейса: выделено два вектора прерывания, один для

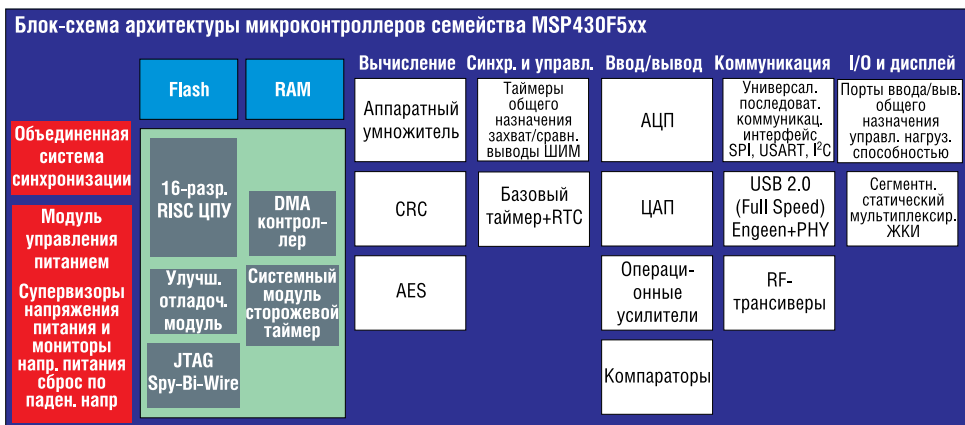


Рис. 1. Блок-схема архитектуры микроконтроллеров семейства MSP430F5xx

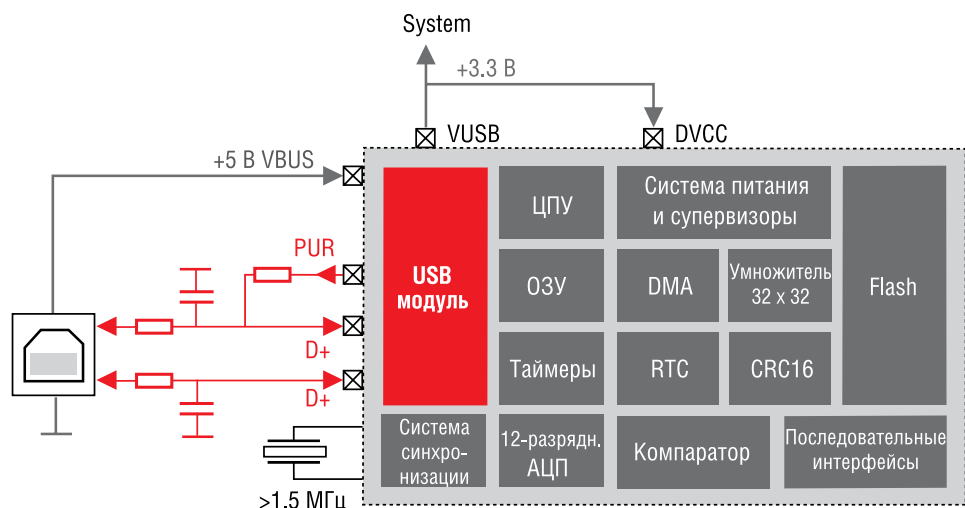


Рис. 2. Использование USB-микроконтроллера MSP430F5xx

USCI\_A, другой для USCI\_B, что значительно облегчает обработку прерываний от каждого из модулей.

Цифровые выходы содержат подтягивающие резисторы. Кроме этого, появилась возможность управлять нагрузочной способностью вывода. То есть, в тех случаях, когда не требуется выдавать максимальное значение тока в нагрузку, с помощью записи одного бита в регистр управления можно перевести вывод в состояние с низкой нагрузочной способностью. При этом снизается энергопотребление и уровень электромагнитных помех микроконтроллера.

12-битный АЦП ADC12\_A представляет собой улучшенную версию ADC12, используемого во многих устройствах MSP430x2xx и MSP430x4xx. Изменения затронули генератор опорного напряжения. Увеличилось число форматов выходных данных. Уменьшилось энергопотребление, возросла линейность характеристик преобразования.

Одним из самых важных отличий MSP430F5xx от предшественников является наличие USB-интерфейса, хотя первые представители нового семейства его не содержат (таблица 1). Распространенность и повсеместность USB-интерфейса обуславливает его

привлекательность для приложений, осуществляющих обмен данными с ПК или другими микроконтроллерами, периодическую загрузку данных или обновление прошивки извне. Очень часто такие устройства являются портативными, как, например, медицинские и промышленные устройства, осуществляющие накопление данных с последующей их передачей в головное устройство для анализа и постобработки. По причине портативности устройств применение USB должно быть экономичным с точки зрения энергопотребления и цены.

Одна из причин распространенности USB — простота использования. Однако за простотой использования скрывается сложность технологии USB, что очень часто недооценивает пользователь при попытке разработать USB-приложение. Всплывает множество новых терминов и процедур, не разобравшись с которыми, пользователь не может добиться правильного функционирования. В результате этого растягиваются сроки, увеличивается стоимость разработки.

В MSP430F5xx технология USB интегрирована таким образом, что пользователю нет необходимости разбираться с ее организацией. Для использования USB в схему устройства необходимо

Таблица 1. Представители семейства MSP430F5xx

Устройство	Flash, кБ	SRAM, кБ	USB	АЦП, каналов/бит	Выводов
MSP430F5438	256	16	—	16 / 12	100
MSP430F5438A	256	16	—	16 / 12	113
MSP430F5437	192	16	—	16 / 12	80
MSP430F5436	192	16	—	16 / 12	100
MSP430F5436A	192	16	—	16 / 12	113
MSP430F5435	192	16	—	16 / 12	80
MSP430F5419	128	16	—	16 / 12	100
MSP430F5419A	128	16	—	16 / 12	113
MSP430F5418	128	16	—	16 / 12	80
MSP430F5500	8	4+2*	√	—	48
MSP430F5501	16	4+2*	√	—	48
MSP430F5502	24	4+2*	√	—	48
MSP430F5503	32	4+2*	√	—	48
MSP430F5504	8	4+2*	√	до 8 / 10	48
MSP430F5505	16	4+2*	√	4 / 10	48
MSP430F5506	24	4+2*	√	4 / 10	48
MSP430F5507	32	4+2*	√	4 / 10	48
MSP430F5508	16	4+2*	√	до 8 / 10	48, 64
MSP430F5509	24	4+2*	√	до 8 / 10	48, 64
MSP430F5510	32	4+2*	√	до 8 / 10	48, 64
MSP430F5513	32	4+2*	√	—	64, 80
MSP430F5514	64	4+2*	√	—	64, 80
MSP430F5515	64	4+2*	√	—	80
MSP430F5517	96	6+2*	√	—	80
MSP430F5519	128	8+2*	√	—	80
MSP430F5521	32	6+2*	√	16 / 12	80
MSP430F5522	32	8+2*	√	16 / 12	64, 80
MSP430F5524	64	4+2*	√	16 / 12	64, 80
MSP430F5525	64	4+2*	√	16 / 12	80
MSP430F5526	96	6+2*	√	16 / 12	64, 80
MSP430F5527	96	6+2*	√	16 / 12	80
MSP430F5528	128	8+2*	√	16 / 12	64, 80
MSP430F5529	128	8+2*	√	16 / 12	80

\*Дополнительные 2 КБ памяти, доступные, если USB не используется.

добавить только USB-коннектор и несколько дискретных компонентов (рисунок 2), а в программный код включить API-стеки, предлагаемые компанией-производителем и реализующие три наиболее популярных класса устройств.

Стеки API-функций берут на себя всю черновую работу по обработке процедур USB, являются интуитивно понятными для разработчика, позволяют значительно ускорить процесс разработки и выход нового устройства на рынок. Исходные коды стеков полностью

открыты, бесплатны и доступны для скачивания на сайте компании Texas Instruments. Для каждого стека есть полноценное руководство пользователя с описанием каждой API-функции.

Кроме всего перечисленного, компания Texas Instruments разработала так называемый «MSP430 USB Descriptor Tool». Это средство представляет собой панель управления для быстрой конфигурации API-стеков. Оно автоматически создает дескрипторы, которые каждое USB устройство должно передавать

хосту, что значительно экономит время разработчика и придает уверенность, что дескрипторы написаны правильно.

По своей природе, MSP430 оптимизированы для работы с низким энергопотреблением. Эта тенденция сохраняется и в новых микроконтроллерах, независимо от того, используется USB-интерфейс или нет. MSP430 имеет пять режимов энергопотребления. В активном режиме, при максимальной производительности, ток потребления составляет всего 160 мкА/МГц. В режиме ожидания это значение снижается до 1,5 мкА, причем переход в активный режим занимает 5 мкс. Значительного сокращения энергопотребления можно также добиться за счет использования контроллера прямого доступа к памяти.

Одним из преимуществ использования USB в портативных приложениях является возможность подачи напряжения питания через интерфейс. В идеальном случае, когда устройство подключено к хосту, оно вообще не расходует заряд батареи. Через USB-протокол подается напряжение 5 В, для его снижения до 3,3 В требуется преобразователь. Благодаря наличию LDO, MSP430 прекрасно справляется с этой задачей, сокращая тем самым число внешних компонентов и размеры устройства.

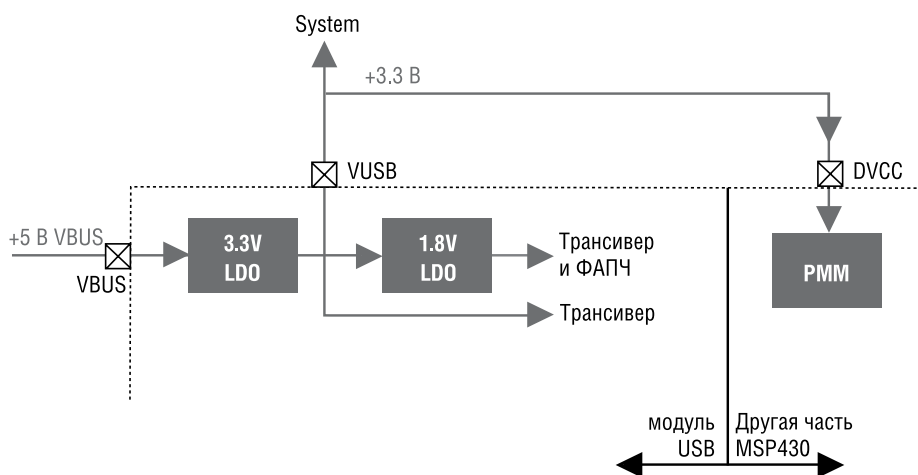


Рис. 3. Подача напряжения питания от USB через MSP430 (до 12 мА)

В тех случаях, когда в системе не требуется ток более 12 мА, LDO микроконтроллера может обеспечивать напряжение питания для всей системы (рисунок 3). Если требуется ток более 12 мА, либо в случае необходимости работы приложения от батареи в моменты подключения к USB-интерфейсу, MSP430 может работать в обход встроенного LDO (рисунок 4). TI предлагает множество внешних регуляторов для бюджетных (TPS73033), энергоэкономичных (TPS67233), мощных (TPS73433/735) и малошумящих (TPS1733) приложений.

Напряжение от USB-интерфейса, кроме всего прочего, может использоваться для подзарядки батареи (рисунок 5). Семейство зарядных устройств BQ2407x/3x было специально разработано для таких целей.

Для начала работы с микроконтроллерами нового семейства и подробного изучения на практике новой архитектуры TI предлагает использовать экспериментальные платы. Эти платы, кроме самого микроконтроллера, содержат дополнительное аппаратное обеспечение, необходимое для оценки работы микроконтроллера и создания прототипа устройства.

Экспериментальная плата MSP-EXP430F5438 служит платформой для разработки приложений с использованием микроконтроллеров MSP430F543x. Плата содержит ZIP-сокет, в который можно помещать MSP430F5438 и другие микроконтроллеры в корпусах TQFP100. Эта возможность позволяет оптимизировать устройство на этапе разработки путем замены микроконтроллера в зависимости от требуемого объема памяти, производительности и набора периферийных устройств. Экспериментальная плата совместима со многими беспроводными отладочными модулями компании TI, как, например, CC2520EMK. Для подключения платы MSP-EXP430F5438 к компьютеру используется стандартный JTAG-программатор.

**Отличительные характеристики MSP-EXP430F5438:**

- 100-выводной сокет для MSP430F5438;
- Питание от USB, программатора или двух AA батареек;
- Flash Memory (MSP430F5438): 256 кБ;
- RAM (MSP430F5438): 16 кБ;
- Clock Speed (MSP430F5438): 18 МГц;
- Интерфейсы (MSP430F5438):
  - 4x UART/LIN/IrDA/SPI
  - 4x I<sup>2</sup>C/SPI
- 5-позиционный джойстик (вверх, вниз, влево, вправо, нажатие);
- Две кнопки;
- Два светодиода;
- 138x110 ЖКИ с точечной матрицей (с градацией серого);

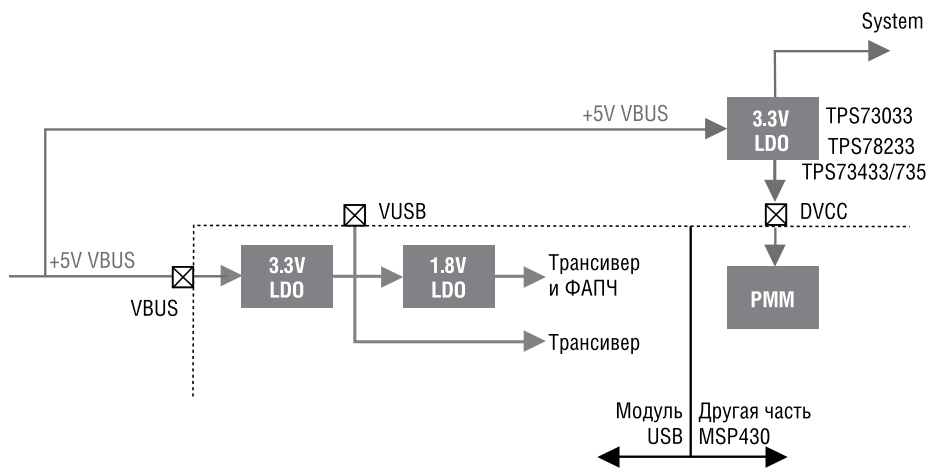


Рис. 4. Работа MSP430 в обход встроенного LDO (ток более 12 мА)

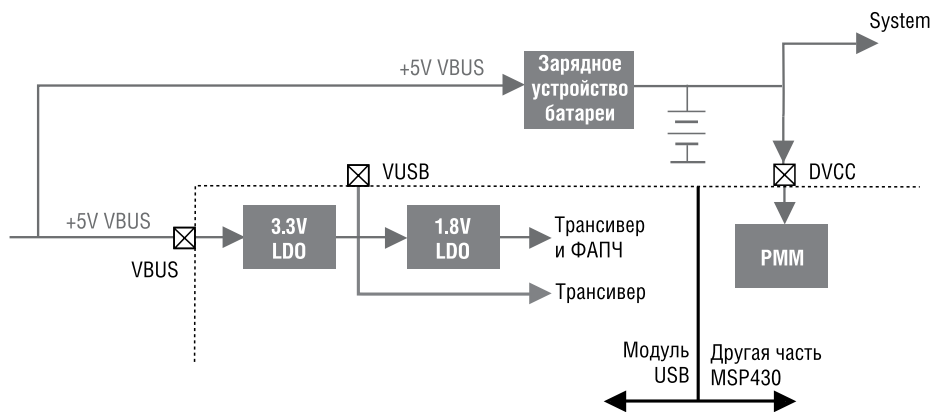


Рис. 5. Подзарядка батареи от USB-интерфейса

- Трехосевой акселерометр (ADXL330);
- Микрофон (сигнал усиливается с помощью TLV2760);
- 3,5 мм аудио выход (используется усилитель ТРА301);
- На данный момент поддерживаются следующие беспроводные модули:
  - eZ430-RF2500T;
  - CC1100/CC1101EMK – До 1 ГГц
  - CC2500EMK – 2,4 ГГц
  - CC2420/CC2430EMK – 2,4 ГГц 802.15.4
  - CC2520/CC2530EMK – 2,4 ГГц 802.15.4
- Интерфейс USB для передачи данных;
- Интерфейс JTAG для внутрисхемного программирования в реальном времени.

Непосредственно для MSP430F552x в корпусе LQFP доступна плата MSP-TS430PN80USB с 80-выводной ZIP-колоткой для программирования и отладки микроконтроллеров в корпусах TQFP через JTAG- или Spy-Bi-Wire-интерфейс. Среда разработки и JTAG-программатор могут поставляться в комплекте или отдельно.

Для программирования микроконтроллеров MSP430F5xx в 100-выводных корпусах TQFP можно использовать набор MSP-FET430U5X100. В набор вхо-



Рис. 6. Экспериментальная плата MSP-EXP430F5438

дит USB-JTAG программатор и плата MSP430PZX100 с ZIF-колоткой.

В качестве программной среды разработки для всех микроконтроллеров MSP430 предлагается использовать Code Composer Essentials либо IAR Embedded Workbench, в которые входит Си-компилятор, ассемблер, компоновщик, редактор и множество других модулей, облегчающих написание программного кода и его отладки. Среди JTAG-программаторов наибольшей популярностью пользуется MSP-FET430UIF.

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

Константин Староверов

## STELLARIS – СЕМЕЙСТВО МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ НА ЯДРЕ CORTEX-M3



*Микроконтроллеры Stellaris компании Texas Instruments вошли в историю как первые микроконтроллеры с интегрированным 32-битным процессором ARM Cortex-M3 и, несмотря на появление многих конкурирующих решений, остаются лидерами по ряду особенностей, о которых и пойдет речь в данной статье.*

Линейка микроконтроллеров (МК) Stellaris изначально была создана компанией Luminary Micro, которая, несмотря на свое сравнительно непродолжительное существование в качестве самостоятельной компании, оставила заметный след в мировой электронике, став первым производителем общедоступных микроконтроллеров с интегрированным процессором ARM Cortex-M3. В этом, 2009, году Luminary Micro была поглощена гигантом полупроводниковой индустрии – компанией Texas Instruments, которая таким образом смогла в одиночку дополнить цепочку выпускаемых семейств микроконтроллеров недостающим и очень перспективным звеном. В конечном счете, компания Texas Instruments получила возможность предложить рынку самый обширный ассортимент микроконтроллеров Cortex-M3, который насчитывает 138 позиций и охватывает все наиболее массовые области применения МК. Среди областей применения – бытовая техника, автоматизированный электропривод, системы мониторинга, HVAC-системы, автоматизация зданий, преобразовательная техника, преобразователи интерфейсов, торговые терминалы, контрольно-измерительное оборудование, медицинская техника, игровые устройства и многое другое.

Несмотря на то, что процессор Cortex-M3 формально входит в семейство ARM Cortex и является одним из профилей архитектуры ARMv7 [1], с прикладной точки зрения его более правильно рассматривать как наследника процессора ARM7TDMI, который нашел широкое применение в качестве основы для построения многих других 32-битных МК. Для достижения преимущества Cortex-M3 по сравнению с ARM7TDMI предельно следующее:

- устранены все известные узкие места, присущие процессору ARM7TDMI, в том числе
  - применен новый набор инструкций Thumb-2, который обеспечивает большую плотность кода, чем 16-битный набор инструкций Thumb процессора ARM7TDMI;
  - улучшена эффективность исполнения инструкций (предсказание переходов, однотактное умножение, деление на аппаратном уровне), что позволило повысить производительность процессора до 1,25 DMIPS/МГц (против 0,95 DMIPS/МГц процессора ARM7TDMI в режиме ARM);
  - до 12 циклов (против 24..42 циклов процессора ARM7TDMI) снижена

- интегрированы элементы, используемые операционными системами реального времени (ОСРВ), в том числе системный таймер и блок защиты памяти;
  - реализована поддержка экономичных режимов работы;
  - применено стандартизованное распределение адресного пространства памяти;
  - реализована более простая модель программирования, избавляющая от необходимости написания какого-либо ассемблерного кода, глубокого изучения процессора и его набора регистров. Кроме того, предусмотрена стандартизация программирования всех МК Cortex-M3 (стандарт CMSIS, см. [www.onarm.com](http://www.onarm.com)). Если придерживаться данного стандарта, можно добиться простоты портирования проектов между МК разных производителей.
- Кроме того, архитектура процессора Cortex-M3 оптимизирована по стоимости, благодаря чему созданные на его основе МК способны конкурировать по

К числу уникальных черт микроконтроллеров Stellaris относятся:

- доступность 28-выводных МК, способных конкурировать с 8- и 16-битными контроллерами;
- интеграция во многие МК модуля Ethernet, причем не только со встроенным MAC-контроллером, но и со встроенным трансивером;
- интеграция в некоторые МК ПЗУ со встроенной прошивкой программной библиотеки StellarisWare, которая содержит драйверы встроенных модулей ввода-вывода, функции для программирования Flash-памяти, криптографические таблицы по стандарту AES, а также функции обнаружения ошибок CRC.

задержка реагирования на прерывания за счет выполнения операций над стекком на аппаратном уровне;

- до 0,19 мВт/МГц (против 0,28 мВт/МГц процессора ARM7TDMI) снижено удельное электропотребление;
- улучшена эффективность размещения данных в памяти и выполнения операций битовой обработки;
- повышена степень интеграции и стандартизации системных ресурсов:

цене с 16-битными и даже некоторыми 8-битными МК.

Наследовав перечисленные преимущества процессора Cortex-M3, МК Stellaris были дополнены оригинальной рецептурой встроенных модулей ввода-вывода во множестве типоразмеров, благодаря чему они приобрели ряд уникальных и порой беспрецедентных среди всех выпускаемых МК Cortex-M3 черт. К числу таковых относятся:

- доступность 28-выводных МК, способных конкурировать с 8- и 16-битными контроллерами;

- интеграция во многие МК модуля Ethernet, причем не только со встроенным MAC-контроллером, но и со встроенным трансивером;

- интеграция в некоторые МК ПЗУ со встроенной прошивкой программной библиотеки StellarisWare, которая содержит драйверы встроенных модулей ввода-вывода, функции для программирования Flash-памяти, криптографические таблицы по стандарту AES, а также функции обнаружения ошибок CRC.

К числу других важных преимуществ МК Stellaris также можно отнести наличие исполнения с расширенным до 105°C температурным диапазоном; доступность бесплатной библиотеки с реализованными тестами по классу Б стандарта IEC 60730 (в РФ действует его аутентичная версия ГОСТ Р МЭК 60730-1-2002), которая существенно облегчает получение сертификата на соответствие уровня безопасности и надежности бытовой техники класса Б; наличие МК, модуль Ethernet которых поддерживает стандарт IEEE1588, позволяющий на наносекундном уровне синхронизировать удаленные контроллеры.

МК Stellaris организованы в виде серий и подсерий. Сведения по ним представлены в таблице 1. В колонке «Описание» даны лишь главные классификационные признаки серий. Общие отличия подсерий можно оценить по приведенным характеристикам максимального быстродействия ЦПУ (FCPU), объема встроенной памяти, а также типам корпусов и предельным возможностям дискретного ввода-вывода. Помимо этого, внутри подсерий МК отличаются по степени интеграции аналоговых и цифровых модулей ввода-вывода. Пользователь может рассчитывать на доступность следующих модулей ввода-вывода:

- 32-битные таймеры (до четырех каналов) с каналами захвата/сравнения (до восьми каналов);

- ШИМ-контроллер, в том числе для задач управления движением (до восьми каналов);

- интерфейс квадратурного энкодера, облегчающего введение обратных связей по положению, направлению, скорости (до двух каналов);

- 10-битный АЦП (до 16 мультиплексированных каналов, частота дискретизации 0,25, 0,5 или 1 МГц);

- последовательные интерфейсы UART, I<sup>2</sup>C, SSI (SPI) и I<sup>2</sup>S;

- аналоговые компараторы (до трех каналов);

- датчик температуры.

Кроме того, МК Stellaris оснащены всеми необходимыми системными ресурсами, облегчающими их применение.

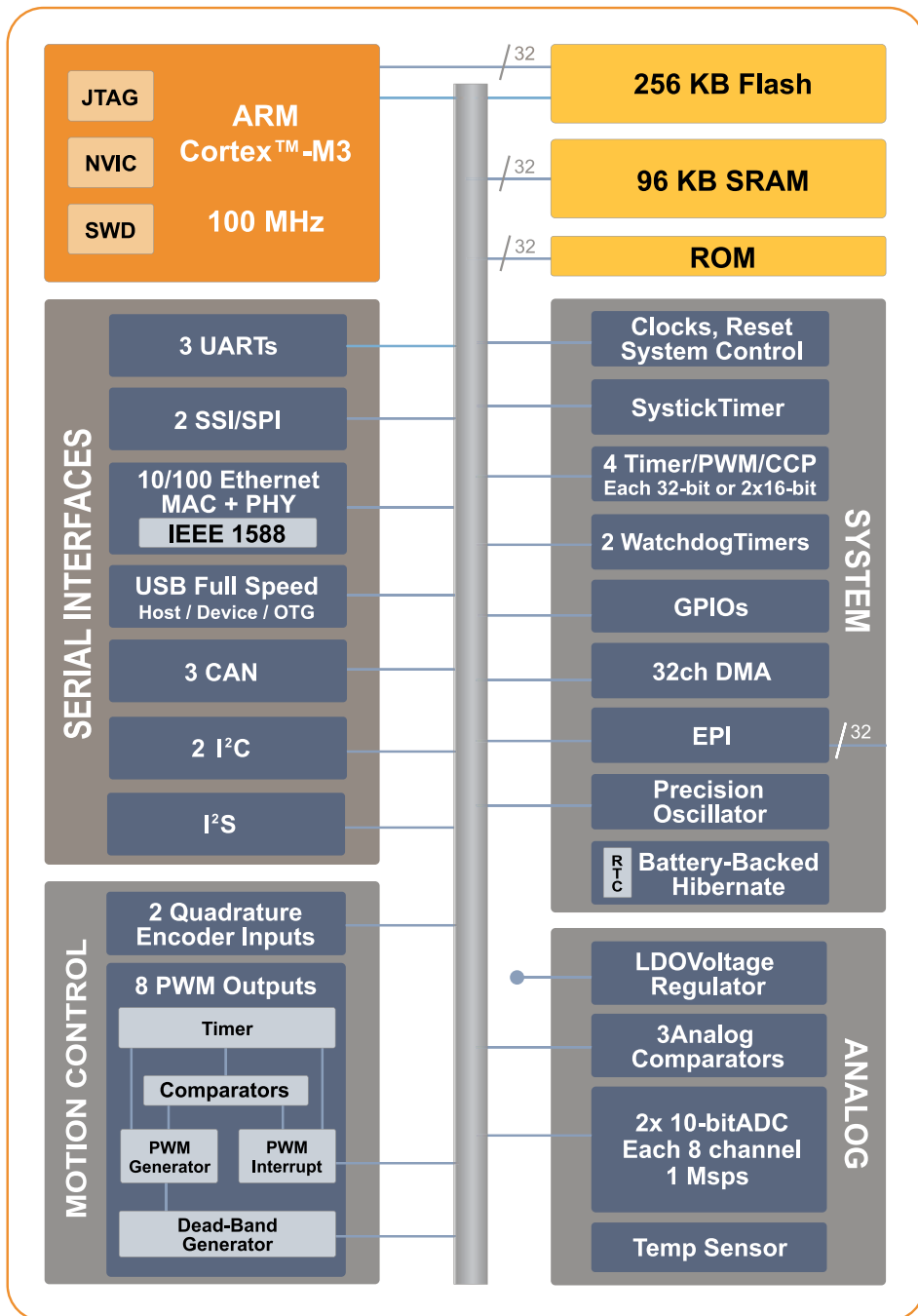


Рис. 1. Обобщенная структура микроконтроллеров Stellaris

В их число входят блок управления синхронизацией и сбросом (позволяет оптимизировать энергопотребление и исключить внешние компоненты для управления сбросом), стабилизатор напряжения LDO-типа (дает возможность питать МК одним напряжением 3,3 ±0,3 В), опциональный блок прямого доступа к памяти (DMA; минимизирует участие ЦПУ в процессах передачи данных между модулями ввода-вывода и памятью) и встроенный в новые МК RC-генератор с улучшенной до 1% точностью (исключает внешние компоненты для синхронизации МК). Рассмотренные особенности структуры МК Stellaris обобщены на рисунке 1.

Еще одно немаловажное преимущество рассматриваемых МК – высокий

уровень предлагаемой технической поддержки. Пользователю доступно множество программных и аппаратных инструментов, направленных на ускорение проектирования как устройств общего назначения, так и ориентированных на конкретные области применения. Например, использование бесплатного микропрограммного обеспечения (МПО) StellarisWare существенно упрощает программирование МК. Данное МПО состоит из нескольких библиотек и примеров их использования. Использование этих библиотек избавит пользователя от необходимости написания драйверов модулей ввода-вывода, упростит работу с интерфейсом USB, ускорит создание графических интерфейсов, добавит поддержку внутрисистемно-

Таблица 1. Обзор серий и подсерий МК Stellaris

Серия	Подсерии	FCPU, МГц	Flash-память, кбайт	SRAM, кбайт	Макс. кол-во линий в/в	Корпус*	Описание
LM3S9000	LM3S9B00	80, 100	256	128	65	LQFP100	Коммуникационные интерфейсы 10/100 Ethernet, USB с функциональностью On-The-Go, Host и Device и CAN; интерфейс для расширения памяти (поддержка SDRAM, SRAM/Flash-памяти и др.), интерфейс I <sup>2</sup> S, АЦП с возможностями одновременного преобразования в двух каналах, второй сторожевой таймер с независимой синхронизацией для критичных к безопасности применений (IEC60730) и программно-подстраиваемый прецизионный 1%-ый генератор частоты 16 МГц.
	LM3S9700	80	128	64	60, 65	LQFP100	
LM3S8000	LM3S8900	50	256	64	34...46	LQFP100	Первая серия МК ARM, в которых одновременно стали доступными интерфейсы CAN (до 3 каналов) и 10/100 Mbps Ethernet.
	LM3S8700	50	128	64	32...38	LQFP100	
	LM3S8600	50	128	32	31	LQFP100	
	LM3S8500	50	96	64	35, 36	LQFP100	
LM3S6000	LM3S6900	50	256	64	38...46	LQFP100	Первая серия МК ARM со встроенным интерфейсом 10/100 Mbps Ethernet, в т.ч. MAC-контроллер и трансивер.
	LM3S6700	50	128	64	41,46	LQFP100	
	LM3S6600	25, 50	128	32	38...46	LQFP100	
	LM3S6500	50	96	64	41	LQFP100	
	LM3S6400	25, 50	96	32	43, 46	LQFP100	
LM3S5000	LM3S6100	25	64	16	30, 35	LQFP100	Серия МК, предназначенных для работы с сетями CAN и дополненных полноскоростным интерфейсом USB 2.0 с функциональностью On-The-Go или Host/Device.
	LM3S5B00	80	256	96	71	LQFP100	
	LM3S5700	50, 80	128	128	33...71	LQFP100 LQFP64	
LM3S300	LM3S5600	50	64	32	33	LQFP64	Серия МК со встроенным полноскоростным интерфейсом USB 2.0 с функциональностью On-The-Go или Host/Device.
	LM3S3700	50	128	64	61	LQFP100	
LM3S2000	LM3S3600	50	128	32	33	LQFP64	Серия МК, предназначенных для работы с сетями CAN.
	LM3S2B00	80	256	96	60	LQFP100	
	LM3S2900	50	256	64	52...60	LQFP100	
	LM3S2700	50, 80	128	64	33...60	LQFP100 LQFP64	
	LM3S2600	25, 50	128	32	33...60	LQFP100 LQFP64	
	LM3S2500	50	96	64	48	LQFP100	
	LM3S2400	25, 50	96	32	34...60	LQFP100	
	LM3S2200	50	64	32	33	LQFP64	
LM3S1000	LM3S2100	50	64	16	40,56	LQFP100	Серия МК для работы в системах с батарейным резервированием питания. Содержат специальный модуль HIBERNATION, питание которого организовано независимо от других каскадов МК. В состав данного модуля входят часы реального времени, 256 байт ОЗУ для энергонезависимого хранения данных (за счет резервного батарейного питания), схема контроля батарейного напряжения и сигнализации о его недопустимом снижении и вход внешнего прерывания. Модулем поддерживается специальный экономичный режим HIBERNATE, выход из которого возможен по условию совпадения в часах реального времени и внешнему прерыванию. Потребляемый модулем ток составляет порядка 16 мкА и, таким образом, при питании МК от стандартной литиевой батарейки CR2032 и его нахождении в режиме HIBERNATE он способен проработать более 3 лет.
	LM3S1900	50	256	64	52...60	LQFP100	
	LM3S1800	50	256	32	56	LQFP100	
	LM3S1700	50	128	64	33, 56	LQFP100 LQFP64	
	LM3S1600	25, 50	128	32	33...60	LQFP100	
	LM3S1500	25, 50	96	64	43, 58	LQFP100	
	LM3S1400	50	96	32	46, 52	LQFP100	
LM3S1300	50	96	16	57	LQFP100		
LM3S1100	25, 50	64	16	41...52	LQFP100		
LM3S800	—	50	64	8	28...36	LQFP48	Серии 48-выводных МК, различающихся по объему памяти и быстродействию ЦПУ. Внутри серий доступен выбор МК с различной степенью интеграции аналоговых и цифровых модулей, в т.ч. 10-битный АЦП (до 8 каналов, частота дискретизации 0,25/0,5/1 МГц); модули для решения задач управления движением: ШИМ-контроллер (до 6 каналов) и квадратурный энкодер; интерфейсные модули UART (до 2 каналов), SSI, I <sup>2</sup> C; аналоговые компараторы (до 3 каналов). МК идеальны для недорогих встраиваемых применений, где требуется реализация алгоритмов управления повышенной сложности.
LM3S600	—	50	32	8	28...36	LQFP48	
LM3S300	—	25	16	4, 2	28...36	LQFP48	Серия самых простых МК в 28-выводном корпусе; интегрируют модули UART, I <sup>2</sup> C, SSI, таймеры с каналами захвата, 1 или 2 аналоговых компаратора; предоставляют самый дешевый доступ к освоению возможностей процессора Cortex-M3; идеальны для замены 8/16-битных МК в простых встраиваемых применениях.
LM3S100	—	20	8	2	18	SOIC28	

Примечание: \* МК, доступные в корпусе LQFP100, также доступны в корпусе BGA108.

Таблица 2. Обзор инструментальных средств для проектирования

Наименование	Описание
<b>1. Оценочные наборы</b>	
EK-LM3S9B92	Состоит из платы с МК LM3S9B92 (порты 10/100 Ethernet и USB-OTG, разъем подключения к портам ввода-вывода (ПВВ)) и дополнительной платы отладочного интерфейса BD-ICDI.
EK-LM3S9B90	то же, но для МК LM3S9B90.
EK-LM3S8962	Плата с МК LM3S8962 (порты 10/100 Ethernet и CAN, графический OLED-дисплей 128x96, динамик, коммутационные элементы, разъем подключения к ПВВ).
EK-LM3S8965	Плата с МК LM3S8965 (порт 10/100 Ethernet, графический OLED-дисплей 128x64, динамик, коммутационные элементы, разъем подключения к ПВВ, разъем карты памяти MicroSD)
EK-LM3S3748	Плата с МК LM3S3748 (прошит программой 2-канального осциллографа, порты USB host и device, цветной LCD-дисплей 128x128, динамик, коммутационные элементы, разъем MicroSD, разъем подключения к ПВВ) и отдельный модуль USB-stick
EK-LM3S2965	Плата с МК LM3S2965 (Host-порт CAN, графический OLED-дисплей 128x64, динамик, коммутационные элементы, разъем подключения к ПВВ, порт USB для питания и отладки) и плата с МК LM3S2110 (Device-порт CAN, питание через шину CAN, коммутационные элементы, разъем подключения к ПВВ).
EK-LM3S1968	Плата с МК LM3S1968 с 256 кбайт Flash-памяти, 64 кбайт SRAM, 8 каналами АЦП, 52 ПВВ и поддержкой режима hibernate (графический OLED-дисплей 128x96, коммутационные элементы, динамик, разъем подключения к ПВВ, разъем с установленной в него 3-вольтовой батареей).
EK-LM3S811	Плата с МК LM3S811 (OLED-дисплей 96x16, коммутационные элементы, потенциометр на входе АЦП, отладка через USB).
<b>2. Наборы для проектирования</b>	
DK-LM3S9B96	Плата для проектирования устройств с интерфейсами Ethernet, CAN и USB OTG/Host/Device (МК LM3S9B96, 3.5" QVGA LCD-дисплей с сенсорной поверхностью, навигационный POT-переключатель, кнопки, интерфейс I2S, модуль SDR SDRAM объемом 8 Мбайт, разъем MicroSD, разъем для подключения к ПВВ, карта памяти MicroSD объемом 1 Гбайт, USB Flash-диск объемом 128 Мбайт).
DK-LM3S8xx/6xx/3xx/1xx	Содержит все аппаратные и программные компоненты, необходимые для разработки и макетирования встраиваемых применений. Набор состоит из платы для проектирования, программного обеспечения, кабелей и перемычек, документации в электронном виде. Доступные для заказа наборы: DK-LM3S101, DK-LM3S102, DK-LM3S301, DK-LM3S801, DK-LM3S811, DK-LM3S815, DK-LM3S817, DK-LM3S818, DK-LM3S828.
Дочерние платы	Дочерние платы предназначены для добавления поддержки требуемого МК в составе уже приобретенного набора для проектирования. Доступные для заказа дочерние платы: DB-LM3S101, DB-LM3S102, DB-LM3S301, DB-LM3S801, DB-LM3S811, DB-LM3S815, DB-LM3S817, DB-LM3S818, DB-LM3S828.
<b>3. Наборы завершенных устройств</b>	
RDK-Stepper	Аппаратные и программные компоненты для разработки, модернизации и интеграции устройств управления шаговым двигателем. Силовой каскад выполнен на основе драйверов и MOSFET-транзисторов Fairchild Semiconductor. Состоит из основной платы управления, шагового двигателя NEMA23, сетевого источника питания с выходом 24 В, USB-кабеля, Windows-программы графического интерфейса.
RDK-ACIM	То же, но для управления асинхронным электродвигателем, находящий широкое применение в бытовой технике. Укомплектован 3-фазным двигателем Selni (0-20000 об./мин.).
RDK-BLDC	То же, но для управления безщеточным двигателем постоянного тока (BLDC).
RDK-BDC	Модуль управления щеточным двигателем постоянного тока (12 В, 40 А) и оценочный набор EK-LM3S2965 в качестве консоли управления через шину CAN. В комплект входит двигатель RS-555PH-3255 (Mabuchi; 5000 об./мин, 12В, 3А).
RDK-S2E	Набор основан на миниатюрном модуле MDL-S2E, который предназначен для интеграции в систему в качестве преобразователя протоколов UART/RS-232-Ethernet. Дополнен кабелями Ethernet, DB9 и USB, а также документацией на CD.
RDK-IDM	Набор для разработки интеллектуальных графических интерфейсов. Основан на модуле цветного ЖК-дисплея (2.8», QVGA, 240x320) с сенсорной поверхностью (модуль MDL-IDM), который поддерживает технологию электропитания Power-over-Ethernet (PoE). В наборе этот модуль дополнен источником питания с выходом 24В, кабелем Ethernet, адаптером отладочной системы и документацией на CD.
RDK-IDM-L35	Аналогичного назначения набор, но выполненный на основе другого модуля цветного ЖК-дисплея (3.5», QVGA, 320x240) с сенсорной поверхностью (MDL-IDM-L35). Питание организовано через входящий в комплект кабель USB-TTL, который также соединен с UART0, установленного на плате МК LM3S1958.
RDK-IDM-SBC	Аналогичного назначения набор и тем же 3,5-дюймовым дисплеем, но уже в составе другого модуля MDL-IDM-SBC. Этот модуль выполнен на основе более высокоуровневого МК LM3S9B92. Модуль представляет собой готовый одноплатный компьютер с графическим интерфейсом. В комплект также входят модуль MDL-ADA2, USB flash-диск (128 Мбайт), источник питания с выходом 24 В, кабель Ethernet, динамик, документация на CD.
<b>4. Модули</b>	
MDL-STEPPER, MDL-ACIM, MDL-BLDC, MDL-BDC, MDL-S2E, MDL-IDM, MDL-IDM28, MDL-IDM-L35	Отдельно взятые модули из соответствующих наборов завершенных устройств.
MDL-ADA2	Модуль адаптера 10-выводного (mini-JTAG) и 20-выводного портов JTAG, выполненный на основе гибкого шлейфа.

го программирования, а также обеспечит совместимость со стандартом IEC 60730. МПО совместимо со средами для проектирования компаний Keil (MDK-ARM), IAR (Embedded Workbench), Code Red Technologies (RedSuite), Code Sourcery (SourceryG++), а также GNU-инструментами для проектирования. Выпускаемые аппаратные средства поддержки проектирования разделяются на четыре группы: оценочные наборы, наборы для проектирования, наборы завершенных устройств и модули. Их обзор представлен в таблице 2.

**Заключение**

Семейство Stellaris составляет множество микроконтроллеров, выполненных на основе процессора ARM Cortex-M3 с передовыми для своего класса характеристиками. Семейство разделено на серии и подсерии, в которые входят МК различного класса и отличающиеся по степени интеграции.


Используемые в МК встроенные модули ввода-вывода делают возможным их применение в разнообразных по уровню сложности приложениях: от простых, которые обычно выполнялись на основе продвинутых 8-битных МК, до высококачественных встраиваемых систем с широкими коммуникационными возможностями (Ethernet, CAN,

USB) и интеллектуальным пользовательским интерфейсом.

Все МК Stellaris, оснащенные интерфейсом Ethernet, интегрируют не только MAC-контроллер, но и трансивер. Данное предложение является беспрецедентным для всей группы МК Cortex-M3 (кроме Texas Instruments МК Cortex-M3 выпускает еще пять производителей) и достаточно редким среди других выпускаемых МК.

МК поддерживаются обширным набором аппаратных и программных инструментов, способствующих ускорению освоения как конкретной модели МК, так и определенного применения. В число таких применений входят управление электродвигателями, интеллектуальные графические интерфейсы и преобразователи UART-Ethernet.

**Литература**

1. Староверов К.С. Микроконтроллеры на основе ядра ARM Cortex M3// Новости электроники, №1, 2008. — С. 9-15. 

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

**TI анонсирует новый изолированный CAN-трансивер ISO1050**

Компания **Texas Instruments** объявила о выпуске первого изолированного трансивера с интерфейсом CAN. Устройство **ISO1050** объединяет в себе интерфейс CAN и технологии изоляции TI, что помогает сократить число необходимых компонентов и упрощает проектирование плат для промышленной автоматики, управления электродвигателями и медицинского оборудования. Время задержки в петле сокращено на 34%, что дает разработчикам возможность использовать более длинные сетевые кабели, чем в обычных решениях для интерфейса CAN с изоляцией. Устройство ISO1050 снижает потребление мощности на уровне системы на 38% по сравнению с решениями для оптронной развязки. Корпус шириной 6,1 мм сокращает площадь монтажа на плате на 30%, что крайне важно для высоковольтных приложений, требующих минимального зазора. В дополнение к этому сверхнизкий уровень электромагнитного излучения (ЕМЕ) позволяет использовать устройство в чувствительных аналоговых приложениях, например, промышленных датчиках.

**Дополнительные функциональные возможности и преимущества**

- Емкостная технология изоляторов TI обеспечивает гальваническую развязку при напряжении до 4000 В и прогнозируемый срок службы более 25 лет
  - Отвечает требованиям стандарта ISO 11898
  - Отвечает требованиям по синхронизации для стандартов DeviceNet и CAN
  - Широкий температурный диапазон от -55°C до 105°C отвечает требованиям разнообразных промышленных применений
  - Заказчики могут сократить сроки выхода изделий на рынок, используя совместимые устройства компании TI, в том числе для развязки по цепям питания DCR010505, а также микроконтроллеры серий Piccolo™, Delfino™ и Stellaris®
- ISO1050** в настоящее время поставляется в 8-контактном корпусе DUB; 16-контактный корпус SOIC будет доступен в конце 4-го квартала 2009 года.



**TEXAS INSTRUMENTS** **EKI-LM3S9B92**

**Отладочный модуль для микроконтроллеров Stellaris**

- Микроконтроллерная плата с Ethernet-, USB OTG- и CAN-интерфейсами
- Плата отладочного интерфейса VD-ICPI

**Имеется на складе КОМПЭЛ в Москве**

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

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

**Компэл**  
www.compel.ru

Андрей Никитин

# НОВЫЕ ПРИКЛАДНЫЕ ПРОЦЕССОРЫ OMAP-L1X ДЛЯ ПРИЛОЖЕНИЙ С НИЗКИМ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕМ



*Платформа прикладных процессоров OMAP (Open Multimedia Applications Platform) создавалась компанией Texas Instruments, чтобы удовлетворить довольно противоречивые требования рынка мобильных устройств: необходимость в высокой вычислительной мощности — с одной стороны, и минимальное энергопотребление (и, как следствие, максимально возможное время работы устройства без перезарядки аккумуляторной батареи) — с другой.*

Какие функциональные критерии позволяют отнести то или иное вычислительное устройство к категории прикладных процессоров (или процессоров приложений)? Во-первых, изделие должно представлять собой «систему на кристалле» (System-on-Crystal — SoC). Вероятно, можно предложить достаточное количество других критериев, но применительно к изделиям TI вторым основным критерием является следующий: система должна быть многоядерной, то есть, содержать, по крайней мере, два процессорных ядра.

Система на кристалле — это электронная схема, выполняющая функции законченного высокопроизводительного вычислительного устройства и размещенная на одной интегральной схеме. Она включает в себя: одно или несколько процессорных ядер (микроконтроллеров, микропроцессоров, процессоров цифровой обработки сигналов), банк памяти (модули ПЗУ, ОЗУ, Flash), источники опорной частоты (генераторы, схемы фазовой синхронизации), стандартные интерфейсы для внешних коммуникаций (USB, Ethernet, USART) и периферийные модули (функциональное назначение которых определяется назначением системы). Подключение внешних модулей возможно, но и без них на микросхеме собрана законченная система, пусть и в минимальной конфигурации. Отметим, что наличие на одной микросхеме участков, выполненных по различной технологии (цифровые и аналоговые узлы, массивы программируемой логики) не является необходимым атрибутом SoC. Критичным является именно функциональная законченность системы.

Прикладные процессоры TI содержат, как минимум два ядра: ядро циф-

рового сигнального процессора и ядро ARM-процессора (в различных модификациях). Кроме них, дополнительно могут присутствовать, например, ядра сопроцессоров различного назначения, графические акселераторы.

## Прикладные процессоры Texas Instruments

В линейке прикладных процессоров TI можно выделить два основных направления:

1. Прикладные процессоры для работы в приложениях беспроводной телефонии.
2. Прикладные процессоры для портативных приложений, не связанных с телефонией.

К первому направлению относятся семейства OMAP1™, OMAP2™, OMAP3™ (точнее, OMAP34x и OMAP36x) и OMAP4™. Ориентированность на приложения беспроводной связи определяется наличием средств поддержки

Семейство процессоров OMAP-L1x компании Texas Instruments включает на данный момент два изделия: L137 и L138. Процессоры двухъядерные и содержат 32-разрядное универсальное ARM-ядро ARM926EJ-S и ядро цифрового сигнального процессора TMS320C674x.

сотовой связи, а также (не всегда) технологии Bluetooth®, GPS-приемников, беспроводных сетевых соединений WLAN. Безусловно, большинство изделий этого направления включает весьма разнообразные периферийные модули и обладает мощными мультимедиа средствами. Но критерием отнесения к этому направлению является поддержка сотовой связи.

Ко второму направлению относятся семейства OMAP35x и OMAP-L1x.

Несколько слов о семействе OMAP35x. Вычислительной основой является ARM-ядро процессора Cortex™-A8 и ядро сигнального процессора с фиксированной точкой TMS320C64x+™. Последний используется в качестве видео- и графического акселератора. Процессоры OMAP35x содержат подсистему управления ЖК-дисплеем, контроллер интерфейса цифровой камеры, а также мощную периферийную подсистему. В нее входят многоканальные буферизованные последовательные порты (McBSP), четырехканальный контроллер интерфейса SPI, три контроллера интерфейса I<sup>2</sup>C, три универсальных асинхронных приемопередатчика (UART), один из которых предназначен для работы с инфракрасным каналом (IrDA). Подключения к внешним интерфейсам представлены двумя хост-контроллерами USB, контроллером USB 2.0 HS OTG, контроллером однопроводного интерфейса 1-Wire. Помимо этого в состав периферии входят три контроллера карт памяти MMC/SD, двенадцать универсальных таймеров и два сторожевых. Производитель определяет такие области применения семейства OMAP35x™: портативные устройства (медиаплееры, цифровые фото- и видеокамеры, PDA, игровые приставки), медицинская электроника, торговые и кассовые терминалы.

## Предшественники прикладных процессоров OMAP-L1x

Семейство OMAP-L1x включает на данный момент два изделия L137 и L138. Процессоры двухъядерные и содержат 32-разрядное ядро универсального процессора из семейства ARM9E — ARM926EJ-S и ядро цифрового сигнального процессора семейства TMS320C674x.

Семейство DSP-процессоров TMS320C674x включает в настоя-

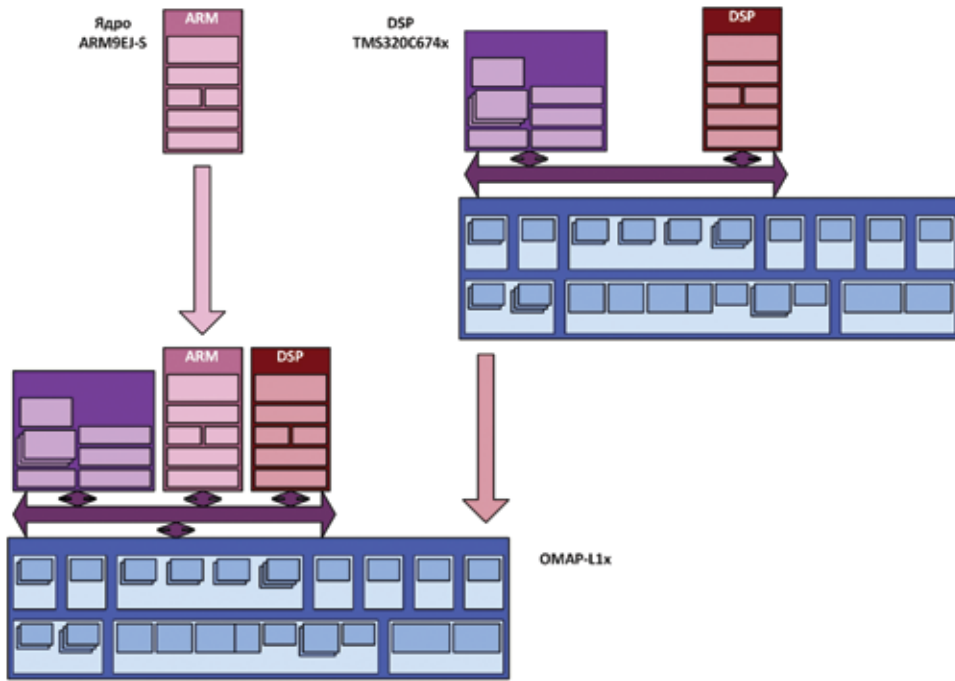


Рис. 1. Взаимосвязь ARM926EJ-S, TMS320C674x и OMAP-L1x

еще шесть микросхем: C6742, C6743, C6745, C6746, C6747 и C6748. Две последние и являются предшественниками OMAP-L137 и L138, соответственно. Более того, пара C6747 и L137 (так же как и C6748 и L138) полностью совместима по выводам, а их архитектуры идентичны в части подсистем DSP, управляющей и периферийных систем. Различие — в OMAP-L1x добавлено ARM-ядро, не имеющее выхода на внешние выводы. Взаимосвязь ядра ARM926EJ-S, сигнальных процессоров TMS320C674x и прикладных процессоров OMAP-L1x иллюстрируется рисунком 1.

Не углубляясь в родословную TMS320C674x, отметим и его предше-

ственников: сигнальные процессоры с фиксированной точкой TMS320C64xx и плавающей точкой — TMS320C67xx. Обратим внимание, только с фиксированной и, соответственно, только с плавающей. Процессоры TMS320C674x работают с данными и первого и второго типов.

Что дает добавление ARM-ядра? Цифровые сигнальные процессоры оптимизированы для выполнения алгоритмов цифровой обработки сигналов, в которых значительные массивы однотипных данных (отсчеты сигналов, пиксели изображений) обрабатываются по одним и тем же процедурам, причем, в подавляющем большинстве случаев, эти

процедуры (или их фрагменты) могут выполняться одновременно, то есть параллельно. Процессоры ARM, являясь процессорами общего назначения, обрабатывают данные только с фиксированной точкой, но более приспособлены для решения задач управления. Таким образом, добавление ARM-ядра позволяет разбить алгоритм на фрагменты, для эффективного выполнения которых есть наиболее подходящий инструмент. Другим существенным преимуществом является простота адаптации изделия для работы под управлением операционных систем реального времени (Windows CE, Linux, VxWorks).

### Архитектура прикладных процессоров OMAP-L1x

Архитектура процессоров OMAP-L137 и L138 представлена на рисунках 2 и 3, соответственно. Рассмотрим более подробно входящие в них составные части.

#### Подсистема ARM

Подсистема ARM состоит из следующих составляющих:

- 32-разрядный RISC-процессор ARM926EJ-S с модулем управления памятью (MMU), работающий на частоте 300 МГц.
- Кэш-память команд на 16 Кбайт.
- Кэш-память данных на 16 Кбайт.
- Внутренняя память ARM, в том числе: оперативную память 8 Кбайт (используемая как таблица векторов) и ПЗУ объемом 64 Кбайт (данные для начальной загрузки).
- Встроенный буфер трассировки (ETB).

Процессор ARM926EJ-S ориентирован на применение в многозадачных приложениях, для которых существенное значение имеют эффективное управление памятью, высокая эффективность и малая потребляемая мощность.

Дополнительные возможности процессора обозначены суффиксами E, J и S в его наименовании. Суффикс E указывает на автоматическое наличие функций T, D, M, I. Рассмотрим эти функции подробнее:

Суффикс T указывает на поддержку процессором набора инструкций Thumb. Первоначально система команд ARM содержала только 32-разрядные инструкции. Необходимо отметить, что программы, подготовленные для 32-разрядной системы команд, требуют значительного объема памяти, что, в свою очередь, приводит к росту общей стоимости системы, поскольку Flash-память является одним из ее наиболее дорогостоящих компонентов. Технология Thumb предлагает следующее решение — из всего набора 32-разрядных инструкций отобраны наиболее часто используемые и перекодированы в

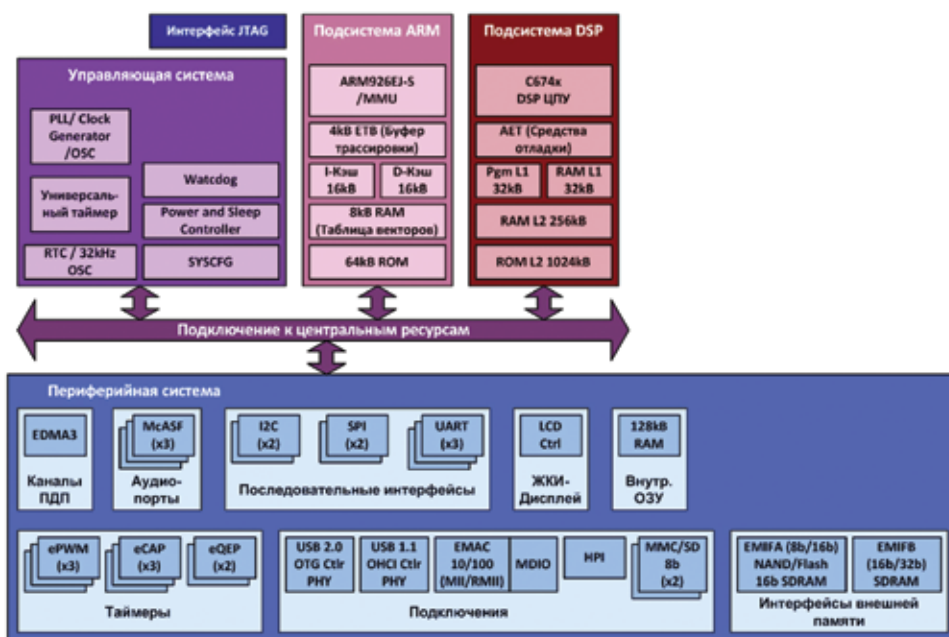


Рис. 2. Архитектура прикладного процессора OMAP-L137

16-разрядные коды. При выборке такой инструкции аппаратным образом восстанавливается истинный 32-разрядный код, который и выполняется процессором. Программист имеет возможность переключать процессор между наборами ARM и Thumb, используя команду BX. Таким образом, можно найти компромисс между размером кода и производительностью, подготавливая критичные к размеру фрагменты в коде Thumb и критичные к производительности – в кодах ARM. Этот подход обеспечивает весьма высокую плотность кода. По оценкам компании TI, размер программного кода при использовании набора Thumb снижается на 35%, если сравнивать с программами, использующими только набор инструкций ARM. При этом производительность примерно на 60% выше, чем у системы, в которой эквивалентный 32-разрядный процессор работает с 16-разрядной памятью.

Суффикс D указывает на возможность использования порта JTAG для отладки системы.

Суффикс M указывает на наличие встроенного умножителя (MAC), реализующего операцию «умножение/аккумуляция» за один цикл.

Суффикс I указывает на наличие встроенного внутрисхемного эмулятора (в данном случае – EmbeddedICE-RT™) для отладки в реальном времени.

Функция E указывает на наличие дополнительных инструкций в системе команд, которые расширяют арифметические возможности процессора.

Суффикс J указывает на поддержку Java-инструкций. Технология Jazelle, используемая в ряде ARM-процессоров, предназначена для приложений с поддержкой языка программирования Java. Эта технология дает возможность ARM-процессору выполнять Java-код на аппаратном уровне. В этом случае помимо двух наборов инструкций ARM и Thumb добавляется третий набор инструкций – Java, который активизируется в новом Java-режиме. Таким образом, разработчики имеют возможность эффективно использовать Java-приложения, в том числе – операционные системы и прикладной код, на одном процессоре.

И, наконец, суффикс S указывает на тот факт, что в данном изделии применена синтезируемая версия, то есть поставляемая производителю кристалла в виде исходного текста, требующего компиляции (синтеза). В отличие от синтезируемых, фиксированные версии имеют заданную (фиксированную) топологию, переносимую производителем на кристалл без изменений.

### Подсистема DSP

Подсистема DSP включает в себя:

- Процессорное ядро TMS320C674x, работающее на частоте 300 МГц.

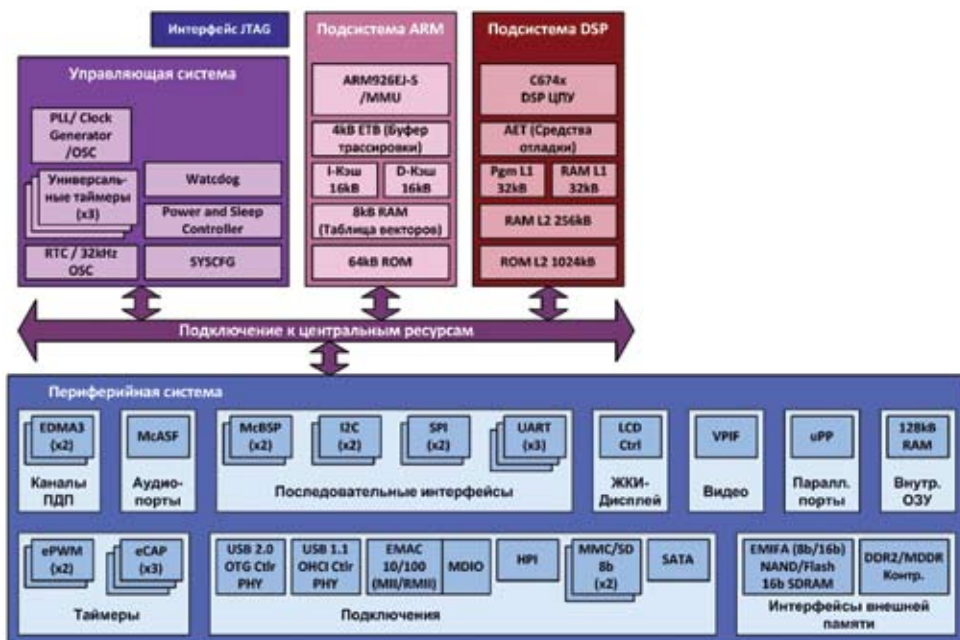


Рис. 3. Архитектура прикладного процессора OMAP-L138

- Кэш-память L1P команд на 32 Кбайт.
- Кэш-память L1D данных на 32 Кбайт.
- Оперативную память L2 объемом 256 Кбайт.
- Постоянную память L2 программ на 1024 Кбайт.
- Встроенные средства отладки (Advanced Event Triggering – AET).

Ядро C674x состоит из восьми функциональных блоков, двух файлов и двух информационных каналов. Два регистровых файла содержат по 32 32-разрядных регистра, то есть в общей сложности 64 регистра. Регистры используются либо для хранения данных, либо для хранения указателей адреса данных. Поддерживаются следующие типы данных:

- упакованные 8-разрядные данные,
- упакованные 16-разрядные данные,
- 32-разрядные данные,
- 40-разрядные данные,
- 64-разрядные данные.

Восемь функциональных блоков (M1, L1, D1, S1, M2, L2, D2, и S2) могут выполнять одну команду за один тактовый цикл. Функциональные блоки M выполняют все операции умножения. Модули S и L выполняют общий набор арифметических и логических операций, а также функции перехода. Модули D загружают данные из памяти в регистровый файл и записывают результаты из регистрового файла в память. Каждая четверка модулей связана со своим регистровым файлом, взаимодействие которых осуществляется через блоки D. Рассмотрим подробнее модуль M.

Каждый модуль M ядра C674x за один тактовый цикл может выполнить:

- одно умножение 32x32 бита,
- два умножения 16x32 бита,
- два умножения 16x16 битов (в том числе, с возможностью накопления),
- четыре умножения 8x8 битов (в том числе, с возможностью накопления),

Кроме того, модуль M поддерживает умножение комплексных величин, которое применяется во многих алгоритмах цифровой обработки сигналов (например, в быстром преобразовании Фурье). Команда комплексного умножения в качестве входных данных использует два 32-разрядных числа (по 16 разрядов для действительной и мнимой частей) и получает в результате 64-разрядное число (по 32 разряда в каждой части). Комплексное умножение с округлением формирует результат в виде 32-разрядного числа (по 16 разрядов в каждой части).

Ядро C674x использует двухуровневую архитектуру кэш-памяти. Первый уровень кэш-памяти команд (L1P) является прямым отображенным кэшем размером 32 Кбайт. Первый уровень кэш-памяти данных (L1D) является ассоциативным кэшем объемом 32 Кбайт с двумя каналами доступа. Предусмотрена возможность независимо варьировать размер кэш-памяти, как команд, так и данных, выбирая одно из значений: 0К (то есть, отключать соответствующий кэш), 4К, 8К, 16К или 32К.

Память второго уровня (L2) состоит из пространства памяти размером 256 Кбайт, разделяемого между памятью данных и команд. Память L2 может быть конфигурирована как расширенная память, кэш или их комбинация.

Встроенные средства отладки (AET) могут использоваться как непосредственно для отладки программ, так и

для оценки показателей производительности пользовательских приложений.

**Периферийная система**

Периферийная система включает в себя набор функциональных модулей многократного применения (то есть, виртуальных компонентов, входящих в различные изделия компании TI без каких-либо изменений). В него входят:

- Контроллеры прямого доступа к памяти с расширенными функциями (EDMA3) — один в OMAP-L137 и два в OMAP-L138.
- Многоканальные последовательные аудио-порты (McASP) — три в L137 и один в L138.
- Контроллеры последовательных интерфейсов:
  - Два многоканальных буферизованных последовательных порта (McBSP) — только в L138.
  - Два контроллера интерфейса I<sup>2</sup>C,
  - Два контроллера последовательного периферийного интерфейса (SPI),
  - Три универсальных асинхронных приемопередатчика (UART),
- Контроллер жидкокристаллического дисплея (LCD Ctrl).
- Интерфейс видеопорта (VPIF) — только в L138.
- Универсальный параллельный порт (uPP) — только в L138.
- Разделяемая память объемом 128 Кбайт.
- Управляющие таймеры:

- Генераторы ШИМ-сигналов с расширенными функциями (ePWM) — три в L137 и два в L138,
- Три модуля захвата с расширенными функциями (eCAP),
- Два модуля кодера квадратурного датчика положения с расширенными функциями (eQEP) — только в L137.
- Контроллеры коммуникаций:
  - Хост-контроллер универсальной последовательной шины USB 1.1 OHCI,
  - Порт универсальной последовательной шины USB 2.0 OTG,
  - Ethernet-контроллер медиадоступа 10/100 Мб/с (EMAC),
  - Контроллер интерфейса NPI,
  - Контроллер карт памяти MMC и SD (MMC/SD),
  - Контроллер интерфейса Serial ATA (SATA) — только в L137.
- Контроллеры интерфейса подключения внешней памяти:
  - Контроллер подключения модулей памяти SDRAM (шина данных — 16 бит), NAND и NOR (8 или 16 бит) объемом до 128 Мбайт (EMIF A),
  - Контроллер подключения модулей памяти SDRAM (16 или 32 бит) объемом до 256 Мбайт (EMIF B) — только в L137,
  - Контроллер модулей памяти DDR2 и MobileDDR (DDR2/mDDR).
- Порт ввода вывода общего назначения GPIO, включающий девять независимых 16-разрядных регистров.

**Управляющая система**

- Управляющая система включает:
- Модуль синхронизации (PLL/Clock Generator). В качестве основного задающего генератора может использоваться либо кварцевый резонатор, либо внешний синхросигнал. Частота входного синхросигнала — от 20 до 30 МГц. На схеме фазовой автоподстройки (PLL) входная частота умножается до частоты 600 МГц, из которой формируется ряд вторичных синхросигналов различных частот для синхронизации компонентов системы.
  - Часы реального времени (RTC). В качестве задающего генератора используется кварцевый резонатор часовой частоты 32 кГц.
  - Контроллер электропитания (Power and Sleep Controller). Контроллер управляет включением и выключением питания и синхронизации отдельных модулей, а также формированием сигналов сброса устройств и модулей. Позволяет обеспечить оптимальное регулирование потребляемой процессором мощности в зависимости от выполняемой в конкретный момент времени задачи.
  - сторожевой 64-разрядный таймер (Watchdog) и универсальные 64-разрядные таймеры — один в L137 и три в L138.
  - Модуль конфигурации системы (SYSCFG). Модуль обеспечивает конфигурирование системы, а именно: управляет подключением входов и выходов периферийных модулей на внешние выводы микросхемы, назначением приоритетов периферийных модулей, устанавливает размеры буферных областей различного назначения и т.д.

Подробнее стоит остановиться на проблеме подключения выводов периферийных модулей. Число периферийных модулей, как было сказано выше, достаточно велико. Число внешних выводов микросхем ограничено (L137 размещен в 256-выводном, а L138 — в 361-выводном корпусе). Как следствие, в L137 альтернативные функции выполняются 129 выводов, а в L138 — 155 выводов. Кроме того, ряд выводов не имеет альтернативных функций, но могут не использоваться и находиться в «третьем» состоянии. После запуска процессора должно быть однозначно определено функциональное назначение этих выводов путем записи соответствующих значений в управляющие регистры PINMUX0...19.

Из сказанного вытекает следствие: не все модули из периферийной системы могут быть использованы одновременно — если один тот же внешний вывод задействован в двух модулях, то приходится выбирать один из них. Компания TI предлагает специальную утилиту для визуализации подобных коллизий — PinSetup. На рисунке 4

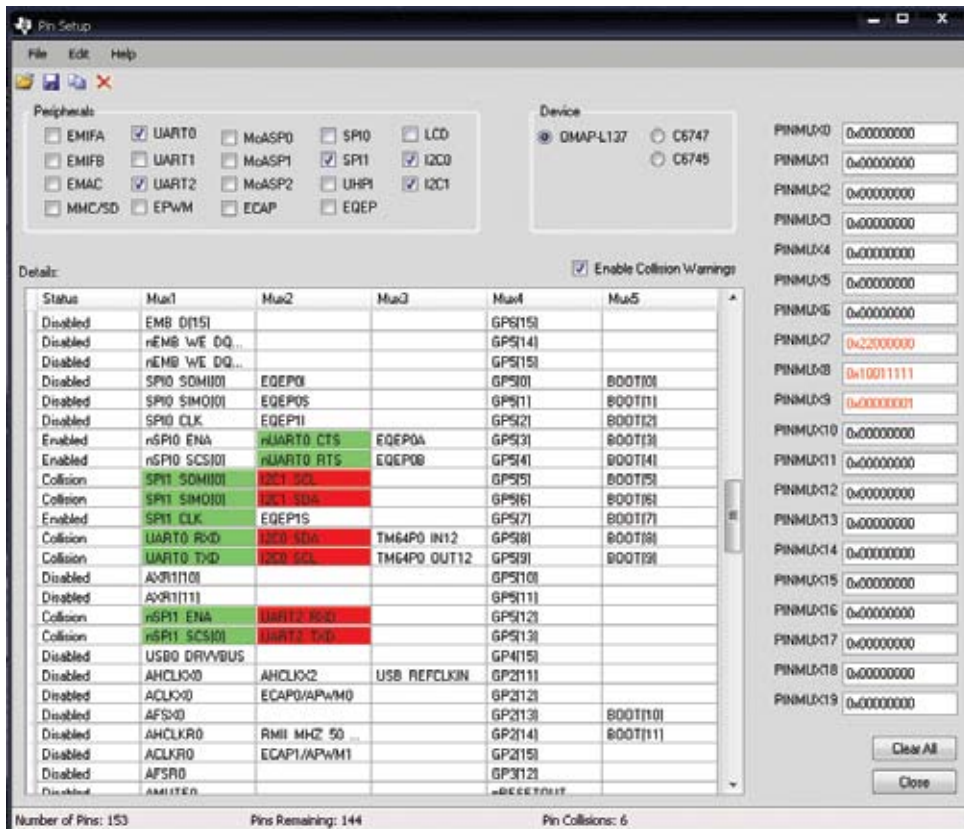


Рис. 4. Утилита PinSetup

приведен скриншот этой утилиты для процессора L137. Из него следует, например, что назначение модуля UART0 не дает возможности использовать модуль I<sup>2</sup>C0, а использование модуля SPI1 не позволит использовать UART2 и I<sup>2</sup>C1.

### Основные области применения

Компания TI определяет следующие основные направления для применения процессоров OMAP-L1x:

- Портативные приборы и устройства: аудио, измерительные, потребительского назначения.
- Профессиональная аудиоаппаратура: микшеры, аудиосинтезаторы, аппаратура для широкополосной связи и звуковой конференц-связи.
- Автоматизация производства: программируемые контроллеры, тестовое и измерительное оборудование.
- Применение в SDR (Software-Defined Radio).
- Медицинская техника, в том числе портативная.

Рассмотрим, что делает эти изделия привлекательным для данных направлений.

Для коммерческого успеха изделия на рынке портативных устройств наиболее существенными являются следующие факторы:

- Потребляемая мощность;
- Производительность и уровень интеграции;
- Время выхода на рынок;
- Цена.

**Потребляемая мощность.** Повышенная продолжительность автономной работы портативных изделий — большой плюс с точки зрения потребителя. Существуют также устройства с определенным лимитом энергопотребления, например изделия с питанием от порта USB или электроника с питанием от автомобильного аккумулятора.

В процессорах OMAP-L1x реализованы передовые технологии минимизации потребляемой энергии в активном режиме, а именно:

- Динамическая коммутация питания — в этом методе определяется момент, когда потребность в компоненте, который выполнил текущие задачи, временно отсутствует, после чего он переводится в состояние с низким энергопотреблением.
- Динамическое масштабирование напряжения и частоты — тактовая частота и напряжение понижаются командами управляющей программы в зависимости от производительности конкретного приложения. Выше отмечалось, что на выходе PLL-схемы формируется основная последовательность синхросигналов с частотой 600 МГц. Однако программным образом можно установить значения 400 или 450 МГц.

**Производительность и уровень интеграции.** Этот критерий важен, поскольку повышенная производительность при сравнимом энергопотреблении предоставляет конечному пользователю большее количество новых функций за ту же цену и в тех же габаритах. Процессоры OMAP-L1x соответствуют этому критерию в полной мере — на кристалле интегрированы ядра DSP и ARM, а также широкий набор периферийных модулей, способных на определенных этапах работать автономно.

**Время выхода на рынок.** Этот аспект становится все важнее, поскольку скорость обновления портативных устройств продолжает возрастать, а их жизненный цикл сокращается с нескольких лет до нескольких месяцев. Не успеет новое устройство появиться на рынке, как спустя несколько месяцев конкурент предлагает товар с более привлекательными функциями. Время выхода на рынок тесно связано с уровнем интеграции. Очевидно, что чем большее количество компонентов встроено в микросхему, тем меньше времени и усилий потребуются на разработку и отладку, поскольку отсутствует потребность в координировании работы нескольких микросхем. Еще один аспект заключается в том, что устройства с плавающей точкой (и процессоры OMAP-L1x в их числе) менее сложны в программировании, что соответственно снижает затраты на разработку программного обеспечения.

**Цена.** Фактор цены особенно критичен в бытовых приложениях, но именно они составляют значительную часть портативных устройств. Необходимо принимать во внимание не столько цену на процессорное устройство в отдельности, сколько общую стоимость всего перечня электронных компонентов. В этом смысле процессоры OMAP-L1x достаточно привлекательны, поскольку значительная экономия в масштабах системы достигается за счет интегрированных в систему памяти и периферийных модулей.

В приложениях профессиональной аудиоаппаратуры востребованы возможности обработки данных с плавающей точкой, что обеспечивает точность вычислений и широкий динамический диапазон. Встроенное в микросхему процессорное ядро ARM9E берет на себя задачи, выполняемые вне режима реального времени, что позволяет пользоваться преимуществами DSP в процессах, требующих интенсивных вычислений. Ядро ARM упрощает адаптацию устройств для работы с операционными системами высокого уровня. Широкий спектр периферийных модулей позволяет создавать конечные продукты с расширенными функциями, включающими в себя реализацию графических пользовательских интерфейсов (GUI), возможность подключения к внешним коммуникационным интерфейсам.

Отметим возможности процессоров OMAP-L1x применительно к приложениям промышленной автоматизации. Мощная «таймерная» группа (ePWM, eCAP, eQEP) позволяет эффективно управлять исполнительными устройствами и обрабатывать сигналы датчиков. Наличие плавающей арифметики упрощает реализацию достаточно сложных в вычислительном отношении систем автоматического управления. Модуль Ethernet позволяет интегрировать аппаратуру в локальные сети, а наличие контроллера SATA — подключать внешние накопители информации большой емкости. Возможности внешних коммуникаций и реализации GUI-интерфейсов рассматривались выше.

Рассматриваемые процессоры находят применение и в SDR-радиосвязи. Software-defined radio (SDR) — системы радиосвязи, в которых программное обеспечение используется как для модуляции, так и для демодуляции радиосигналов. При использовании SDR практически весь объем работ по обработке сигнала перекладывается на программное обеспечение цифровых сигнальных процессоров. Цель такого подхода — создать систему, которая может принимать и передавать практически любые радиосигналы с помощью программного обеспечения, являющегося, по определению, гибким и адаптивным. В настоящее время SDR-системы широко применяются в спецсвязи и сотовой связи, где требуется поддержка разнообразных изменяющихся радиопrotocolов в реальном времени. В режиме приема SDR может обеспечить более высокую эффективность, чем при использовании традиционных аналоговых методов, поскольку при цифровой обработке сигналов качество фильтрации близко к идеальному. Кроме того, с помощью программных алгоритмов могут быть реализованы функции, которые очень сложно получить при аналоговой обработке. При применении процессоров OMAP-L1x в этой области, ядро ARM и мощная периферийная система расширяют пользовательские возможности изделий, сохраняя высокую производительность «математики», характерную для DSP с плавающей точкой.

Компания Texas Instruments уделяет большое внимание применению своей продукции в медицинской технике. Высокопроизводительные процессоры востребованы в следующих направлениях:

- Портативная медицинская аппаратура, в том числе потребительского назначения.
- Диагностическая аппаратура, средства мониторинга состояния пациента и терапевтическое оборудование.
- Аппаратура для обработки и визуализации медицинских изображений (рентгеновских, ультразвуковых, томография).

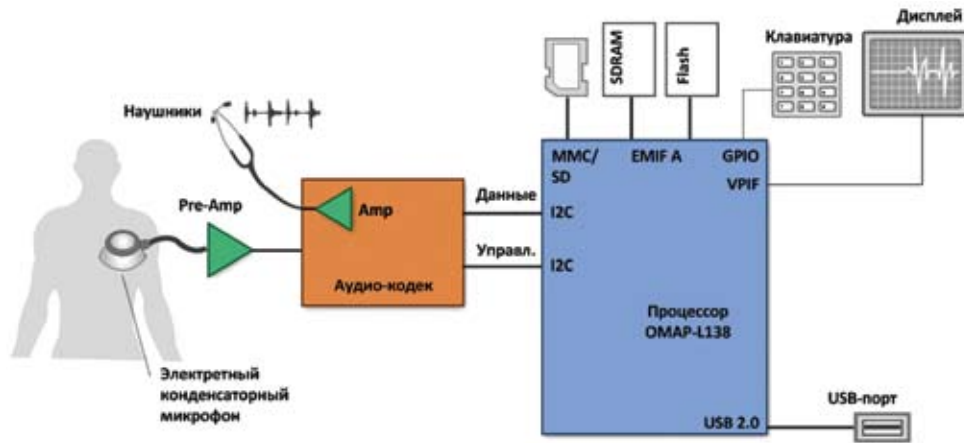


Рис. 6. Блок-схема цифрового стетоскопа

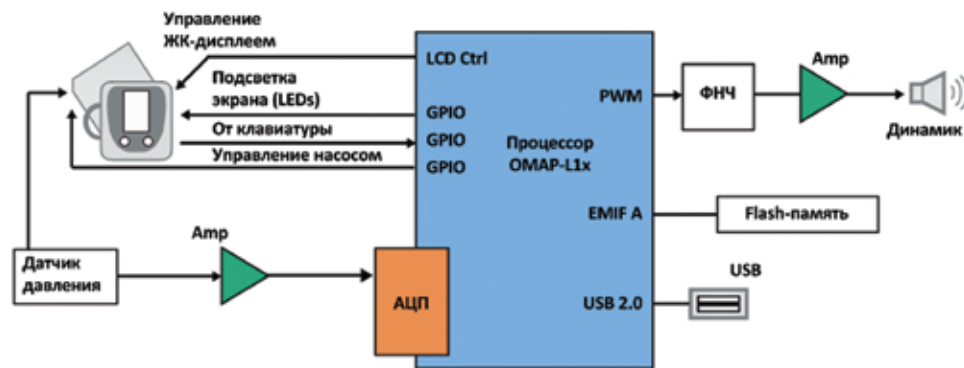


Рис. 5. Блок-схема портативного измерителя артериального давления

• Коммуникационные задачи для медицины.

Рассмотрим два примера медицинских применений прикладных процессоров.

На рисунке 5 приведена блок-схема портативного измерителя артериального давления. В данных устройствах используются сдвигивающая манжета, насос и преобразователь, измеряющий артериальное давление и частоту сердечных сокращений в трех фазах: накачивание, измерение и выкачивание. Процессор управляет накачиванием и выкачиванием манжеты. Сигнал с датчика усиливается инструментальным усилителем и оцифровывается аналого-цифровым преобразователем. Процессор осуществляет обработку полученных данных.

Результаты измерения сохраняются во Flash-памяти как файл данных, который может быть выгружен в компьютер через USB-порт. Потребитель управляет процессом измерения с клавишной панели и просматривает результаты на жидкокристаллическом дисплее.

В качестве примера диагностического оборудования на рисунке 6 приведена блок-схема цифрового стетоскопа.

Элементы цифрового стетоскопа: датчик — электретный конденсаторный микрофон, который фиксирует звуки сердца и легких (процесс выслушивания), преобразователь сигналов с датчика в цифровую форму, процессор, пользовательский интерфейс (клавиатура и жидкокристаллический дисплей), средства

коммуникации (USB-порт и карта памяти MMC/SD), источник питания.

Задачи, выполняемые прикладным процессором: функции шумоподавления и фильтрации входного сигнала, трансляция обработанного сигнала на аудиовыход, алгоритмы детектирования частоты сердечных сокращений, анализ данных, визуализация данных на дисплее, управление коммуникациями.

### Средства разработки

Компания TI поддерживает свои изделия комплексом программных и аппаратных средств разработки. Стартовый набор **OMAP-L137/TMS320C6747 Floating Point Starter Kit**, является недорогой платформой, спроектированной для ускорения разработки приложений, основанных на прикладных процессорах приложений OMAP-L137 и сигнальных процессорах TMS320C674x (TMS320C6747, TMS320C6745 и TMS320C6743).

Аппаратная часть представляет собой плату **TMDXOSKL137BET**, разработанную совместно с компанией Spectrum Digital, которая подключается к персональному компьютеру через USB-порт.

Программное обеспечение включает пакет инструментальных средств **eXpressDSP™**, а именно: мощную интегрированную среду разработки Code Composer Studio™ IDE, масштабируемое ядро реального времени (DSP/BIOS™), а также eXpressDSP-совместимые алгоритмы (написанные в соответствии со стандартом eXpressDSP Algorithm Interface).

### Заключение

С точки зрения составных частей, входящих в процессоры OMAP-L1x, ничего нового как будто нет: ядро ARM926EJ является стандартным компонентом, не первый раз используемым TI в своих изделиях, ядро DSP, управляющая и периферийная системы не претерпели изменений — это сигнальные процессоры TMS320C6747 или C6748.

Плюсы заключены в интеграции этих компонентов в рамках одной микросхемы. Это увеличение производительности (в сравнении с ARM-ядром), масштабирование приложений и простота адаптации к операционным системам Windows CE и Linux (в сравнении с DSP), улучшение потребительских свойств конечного изделия за счет развитой периферийной системы и, наконец, возможность снижения времени выхода изделия на рынок за счет преемственности с предыдущими разработками.



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

Владимир Бродин, Игорь Булатов (Терраэлектроника)

# ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ МОДУЛИ НА МИКРОКОНТРОЛЛЕРАХ PICCOLO™ И DELFINO™ КОМПАНИИ TEXAS INSTRUMENTS

В статье представлены **встраиваемые модули TE-TMX320F28027 и TE-TMS320F28335** компании Терраэлектроника, выполненные на основе **сигнальных микроконтроллеров Texas Instruments**. Первый модуль реализует возможности самого бюджетного из 32-разрядных микроконтроллеров компании. Второй модуль предоставляет разработчику преимущества сигнального микроконтроллера с процессорным ядром, работающим на частотах до 150 МГц и имеющего сопроцессор арифметики с плавающей точкой. Оба модуля являются завершенными решениями, готовыми для установки в изделия.

Современные технологии микроэлектроники существенно снизили цены и увеличили возможности 32-разрядных микроконтроллеров. Ниша этих микроконтроллеров быстро расширяется, с одной стороны — в направлении бюджетных приложений, с другой — в направлении все более высокопроизводительных и дорогостоящих моделей. В последнее время увеличение функциональных возможностей микроконтроллеров привело к качественному скачку, и появился новый класс этих микросхем — 32-разрядные сигнальные микроконтроллеры. Эти приборы соединяют производительное ядро, быстро выполняющее операции типа умножение/аккумуляция, с развитым набором периферийных модулей, в числе которых АЦП, блоки формирования ШИМ-сигналов, последовательные интерфейсы.

Компания Texas Instruments недавно представила на рынок две модели сигнальных микроконтроллеров — **TMX320F28027** из бюджетного семейства **Piccolo™** и **TMS320F28335** из семейства **Delfino™**. Последний является высокопроизводительным устройством с процессорным ядром, работающим на частотах до 150 МГц и имеющим сопроцессор арифметики с плавающей точкой.

Микроконтроллер **TMX320F28027** интегрирует на кристалле процессорное ядро C28x с тактовой частотой 60 МГц и выполнением 32-разрядных MAC-операций за один цикл, 64 кбайта флэш-памяти программ, 12 кбайт RAM-памяти, 12-разрядный АЦП (13 каналов), интерфейсы UART, SPI, I<sup>2</sup>C, 32-разряд-

ный таймер, блок ШИМ (8 каналов, разрешение 150 ps). Структурная схема микроконтроллера **TMX320F28027** приведена на рис. 1.

Структура микроконтроллера **TMS320F28335** (рис. 2) включает ядро C28x+FPU с тактовой частотой 150 МГц и сопроцессором арифметики с плавающей точкой, 512 кбайт флэш-памяти программ, 68 кбайт RAM-памяти, 12-разрядный АЦП (16 каналов), 3x UART, SPI, I<sup>2</sup>C, 2x CAN, блок ШИМ.

Компания «Терраэлектроника» в рамках программы создания собственных микроконтроллерных средств разработала на основе микроконтроллеров **Piccolo™** и **Delfino™** встраиваемые модули **TE-TMX320F28027** и **TE-TMS320F28335**. При реализации программы проектируются многоцелевого

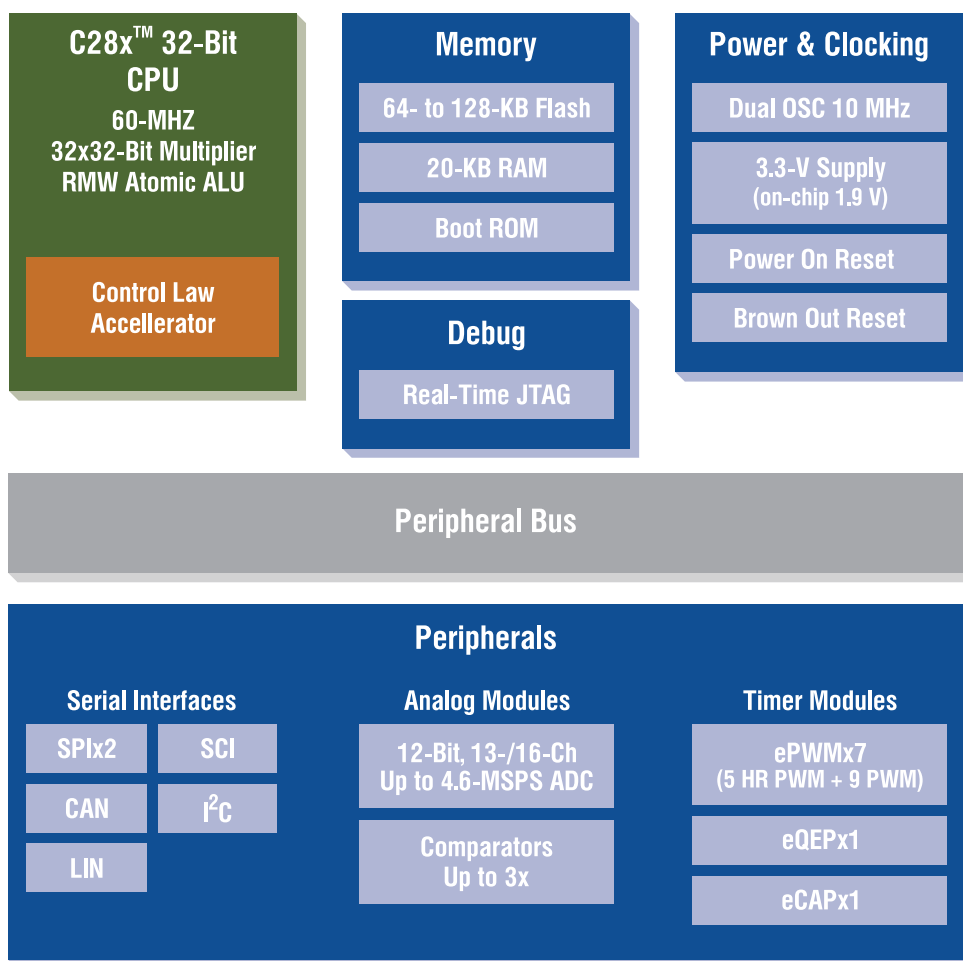


Рис. 1. Структура сигнальных микроконтроллеров Piccolo™

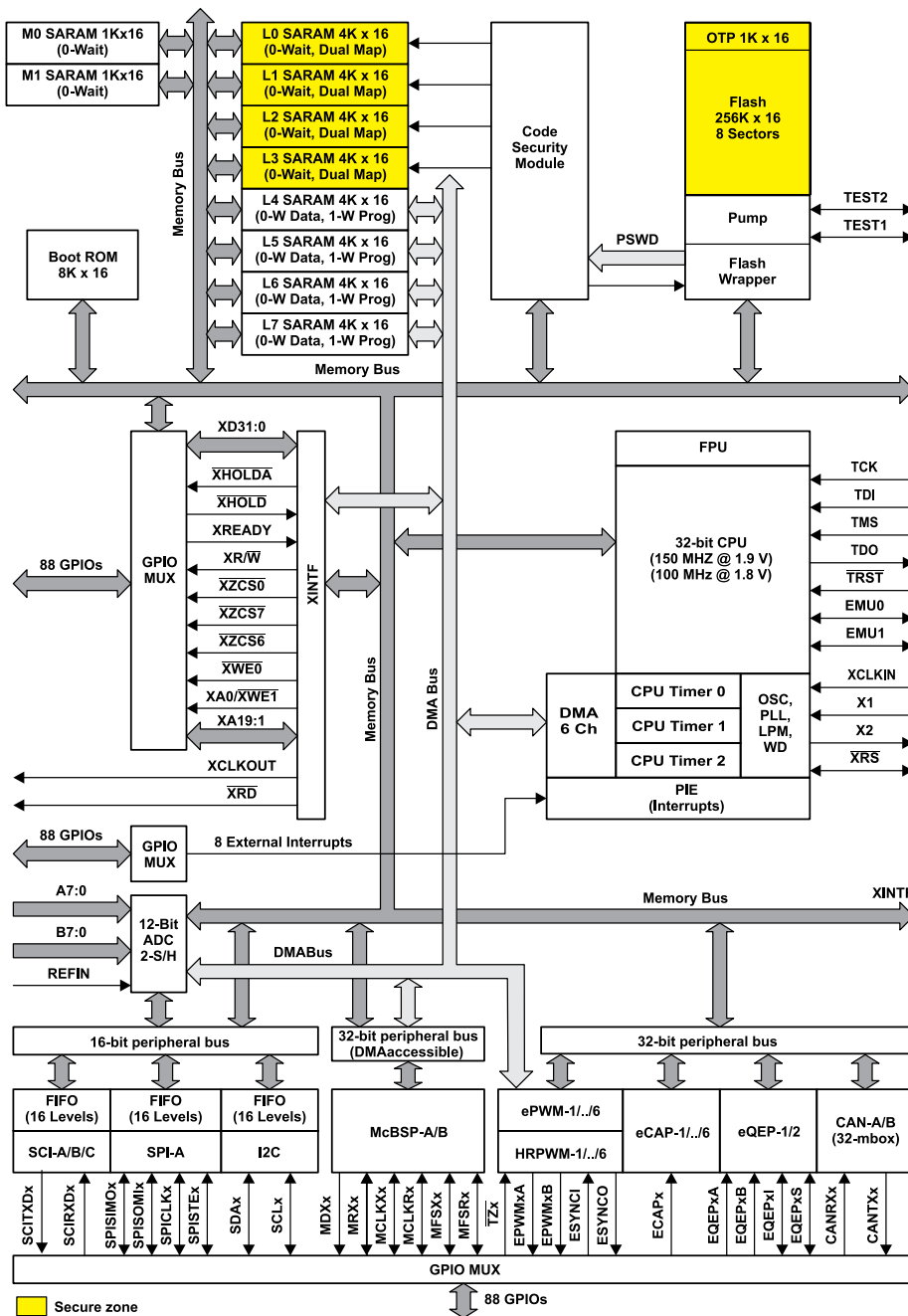


Рис. 2. Структура микроконтроллера TMS320F28335 Delfino™

средства, способные функционировать в разном качестве в составе различных конфигураций аппаратуры. Основные типы применения модулей следующие:

1. Встраиваемый модуль на основе 32-разрядного сигнального микроконтроллера с оптимальным набором интерфейсов, являющийся ядром системы обработки сигналов и управления целевого устройства;

2. Компонент с функциями отладки при макетировании встраиваемых систем. Наличие интерфейса разъема JTAG позволяет модифицировать и отлаживать программу модуля, уже встроенного в изделие;

3. Учебно-демонстрационное средство для освоения 32-разрядных микроконтроллеров. Небольшая цена, доступность всех портов микроконтроллера на контактных

площадках, расширяемый набор демопрограмм являются весомыми аргументами для выбора модулей TE-xxx в качестве платформы для перехода на современные производительные микроконтроллеры.

Встраиваемый модуль TE-TMX320F28027 разработан компанией

- микроконтроллер TMX320F28027 (LQFP-48);
- SPI флэш-память AT45DB161D (16 Мбит);
- разъем miniUSB и мост USB-UART на микросхеме FTDI232RL;
- разъем JTAG (2x7 выводов) для загрузки и отладки программ;
- разъем и стабилизатор питания +5 В.

Порты микроконтроллера (32 линии) выведены на контактные площадки, на которых доступны интерфейсы UART, SPI, I<sup>2</sup>C, а также входы АЦП. В отверстия этих контактных площадок можно установить штыревые разъемы для подключения плат расширения.

Модуль ориентирован на использование в промышленных системах управления: восемь линий портов микроконтроллера имеют защиту от статики, мост USB-UART гальванически развязан от микроконтроллера ядра. Кроме того, на плате реализован воздушный защитный барьер моста USB-UART.

Модуль TE-TMX320F28027 реализует оптимальный для многих приложений набор функций, опираясь на преимущества самого бюджетного 32-разрядного сигнального микроконтроллера от Texas Instruments.

Встраиваемый модуль TE-TMS320F28335 разработан компанией Терраэлектроника на базе сигнального микроконтроллера TMS320F28335 Delfino™. На плате модуля (рис. 4.) установлены:

- микроконтроллер TMS320F28335 (LQFP-176);
- SPI флэш-память AT45DB161D (16 Мбит);
- разъем miniUSB и мост USB-UART на микросхеме FTDI232RL (развязка на ASO7221);
- разъем DRB9FA и интерфейс RS-485 (развязка на ISO15);
- разъем DRB9FA и интерфейс CAN (развязка на ASO7221);
- разъем JTAG (2x7 выводов) для загрузки и отладки программ;
- разъем и стабилизатор питания +5 В.

Порты микроконтроллера (88 линий) и входы АЦП (16 линий) выведены на контактные площадки, на которых доступны также интерфейсы UART, SPI, I<sup>2</sup>C, CAN.

**Модуль TE-TMX320F28027** реализует оптимальный для многих приложений набор функций, опираясь на преимущества самого бюджетного 32-разрядного сигнального микроконтроллера от Texas Instruments.

Терраэлектроника на базе сигнального микроконтроллера TMX320F28027 Piccolo™. На плате модуля (рис. 3.) установлены:

Модуль ориентирован на использование в промышленных системах управления: восемь линий портов микроконтроллера имеют защиту от стати-

ки; четыре линии портов, а также мост USB-UART, интерфейсы RS-485 и CAN имеют гальваническую развязку.

Проверенная схемотехника ядра встраиваемой системы, оптимизированная топология платы с воздушным барьером, наличие защиты и гальванической развязки входных и выходных цепей позволяют использовать модуль TE-TMS320F28335 как на этапе разработки, так и в составе серийной промышленной системы управления.

Для работы с модулями TE-TMX320F28027 и TE-TMS320F28335 мы рекомендуем использовать бюджетный эмулятор TMS320-JTAG-USB (XDS100) от компании OLIMEX. Полный комплект аппаратного и программного обеспечения (Code Composer Studio for C2000 с лицензией) предоставляет набор BH-USB-200-BNDL компании Blackhawk.

Приобрести модули TE-TMX320F28027 и TE-TMS320F28335, схемные эмуляторы и другие средства отладки, получить техническую информацию и консультации можно в компании Терраэлектроника ([www.terraelectronica.ru](http://www.terraelectronica.ru)).

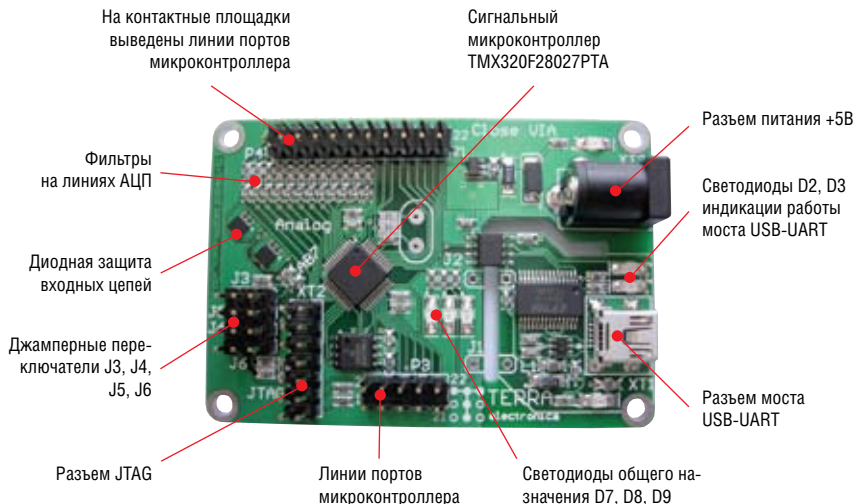


Рис. 3. Размещение элементов на верхней стороне платы TE-TMX320F28027

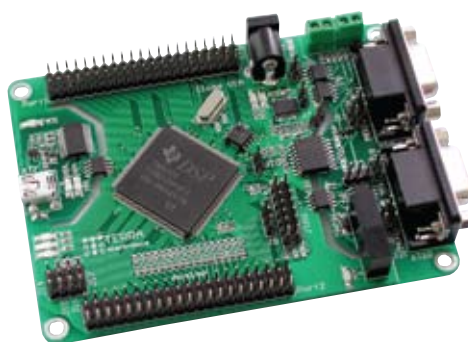


Рис. 4. Размещение элементов на верхней стороне платы TE-TMS320F28335

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

# TMS320C2834x Delfino

## ДЛЯ ПРИЛОЖЕНИЙ УПРАВЛЕНИЯ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

**ПРИМЕНЯЕТСЯ В:**

- СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ПРИВОДАМИ
- ИСТОЧНИКАХ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ПИТАНИЯ
- СИСТЕМАХ КОНТРОЛЯ ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ
- АВТОМОБИЛЬНОЙ АВТОМАТИКЕ

**Delfino™**  
C2834x

Москва  
Тел.: (495) 995-0901  
Факс: (495) 995-0902  
E-mail: [mск@compel.ru](mailto:mск@compel.ru)

Санкт-Петербург  
Тел.: (812) 327-9404  
Факс: (812) 327-9403  
E-mail: [spб@compel.ru](mailto:spб@compel.ru)

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

Филипп Пишо, Кристофер Грейвс (Texas Instruments)

## СТАНДАРТНЫЕ КОМПОНЕНТЫ ОТ TI: АНАЛОГОВЫЕ КОММУТАТОРЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

В статье инженеров компании **Texas Instruments** рассматривается проблема выбора **аналоговых коммутаторов** для различных электронных разработок в промышленности, бытовой технике и сетевом оборудовании. Приведены технические характеристики рекомендуемых компанией аналоговых коммутаторов **TS12A4516**, **TS5A3159**, **TS3USB221** и **TS2PCIE2212**.

**А**налоговые коммутаторы все чаще применяются в различном конечном оборудовании, включая бытовую электронику (оборудование мобильной связи и аудиосистемы), промышленные системы и сетевое оборудование. Каждая область применения устанавливает особые требования, что осложняет задачу разработчиков при выборе оптимального коммутатора. Оптимизации разработки с применением аналогового коммутатора способствует правильный выбор сочетания сопротивления коммутатора во включенном состоянии ( $R_{DS(ON)}$ ) и его емкости во включенном состоянии ( $C_{ON}$ ).

Современные аналоговые коммутаторы состоят либо из транзистора с каналом n-типа и транзистора с каналом p-типа, либо из транзистора с каналом n-типа и генератора подкачки заряда. В реальных условиях изменение выходного сигнала обусловлено паразитным эффектом коммутатора. Результатом может быть снижение амплитуды, искажение сигнала, фазовый сдвиг, возникновение помех и подавление частот.

Параметры, способствующие возникновению неидеальных характеристик:

- $R_{DS(ON)}$  — сопротивление в открытом состоянии от стока к истоку полевого транзистора
- $C_{ON}/C_{OFF}$  — емкость в состоянии «ВКЛ» и «ВЫКЛ»
- $R_{ONFLAT}$  — равномерность сопротивления в состоянии «вкл»
- $Q_C$  — инжекция заряда
- Перекрестные помехи/развязка в состоянии «выкл»

Все эти характеристики обладают сильной взаимозависимостью. Следовательно, разработчик должен с особым вниманием относиться к выбору компромиссных решений для каждого отдель-

ного случая с учетом особенностей применения.

Как упоминалось ранее, существуют две основных структуры аналоговых коммутаторов (рис. 1). Для обеих этих КМОП-структур сопротивление и емкость коммутатора во включенном состоянии будут определяться характеристиками канала. Сопротивление и емкость по мере усложнения процесса будут снижаться за счет наибольшего рабочего напряжения из-за более тонкого слоя подзатворного оксида. О компромиссе можно говорить в том случае, когда ширина транзистора в коммутаторе увеличивается для снижения сопротивления  $R_{DS(ON)}$ . Однако это приводит к увеличению емкости  $C_{ON}/C_{OFF}$ .

Чаще всего применяются аналоговые коммутаторы с параллельными МОП-транзистором с каналом p-типа и МОП-транзистором с каналом n-типа, так как это обеспечивает двунаправленный путь с низким сопротивлением для любого входного сигнала в диапазоне от  $V_{DD}$  до  $V_{SS}$ . Альтернативой является МОП-

Если по условиям разработки для определенного процесса допускается воздействие достаточно высокого напряжения генератора подкачки заряда на целостность оксидного слоя затвора, то кривую зависимости  $R_{DS(ON)}$  от входного сигнала для коммутатора с генератором подкачки заряда можно сдвинуть вниз и сделать более плоской, как показано на рис. 2. Самый большой недостаток коммутатора с генератором подкачки заряда — невозможность его использования в портативных устройствах, обусловленная тем, что внутренний генератор и генератор подкачки заряда обычно потребляют около 100 мкА.

Теперь мы знаем, что при рассмотрении конструкции аналоговых коммутаторов основное внимание должно уделяться сопротивлению и емкости во включенном состоянии. Так как кремниевый коммутатор не является идеальным, сигнал, который проходит через коммутатор, изменяется благодаря его внутреннему сопротивлению ( $R$ ) и емкости ( $C$ ). Основной мерой сбоев сигнала являются вносимые потери. По существу, это снижение максимальной мощности, которое может произойти при размещении коммутатора на пути прохождения сигнала. Как правило, измерение вносимых потерь осуществляется при входном сопротивлении осциллографа 50 Ом, как показано на рис. 3,

Оптимизации разработки с применением аналогового коммутатора способствует правильный выбор сочетания сопротивления коммутатора во включенном состоянии ( $R_{DS(ON)}$ ) и его емкости во включенном состоянии ( $C_{ON}$ ).

транзистор с каналом n-типа, где уровень напряжения на затворе превышает значение  $V_{DD}$  вследствие воздействия генератора подкачки заряда. Это позволяет сохранять низкое сопротивление канала для всего диапазона входных сигналов. Дополнительным преимуществом является отсутствие транзистора с каналом p-типа, который снижает общую емкость аналогового коммутатора.

что приводит к снижению амплитуды сигнала.

На рисунке показаны кривые вносимых потерь для трех аналоговых коммутаторов с различными характеристиками сопротивления ( $R_{DS(ON)}$ ) и емкости ( $C_{ON}$ ). По причине взаимозависимости сопротивления и емкости во включенном состоянии, частотная характеристика кривой вносимых потерь будет

определяться полным сопротивлением коммутатора. Далее приводятся характеристики трех коммутаторов:

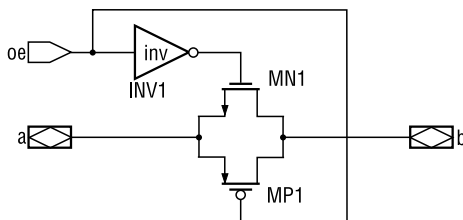
- Коммутатор 1 –  $R_{DS(ON)} = 1,1 \text{ Ом}$ ,  
 $C_{ON} = 84 \text{ пФ}$
- Коммутатор 2 –  $R_{DS(ON)} = 6 \text{ Ом}$ ,  
 $C_{ON} = 6 \text{ пФ}$
- Коммутатор 3 –  $R_{DS(ON)} = 14 \text{ Ом}$ ,  
 $C_{ON} = 4 \text{ пФ}$

Ясно видно, что вносимые потери на низких частотах обусловлены значением сопротивления  $R_{dson}$ . Емкость выглядит как обрыв и лишь в незначительной степени влияет на полное сопротивление коммутатора. Тем не менее, по мере увеличения частоты, емкость коммутатора ( $C_{ON}$ ) начинает оказывать все большее влияние во вносимые потери. Вторым параметром аналогового коммутатора, который может быть определен по данной диаграмме – ширина полосы пропускания. Для коммутатора ширина полосы пропускания рассчитывается путем определения частоты, в которой вносимые потери снижаются на 3 дБ с начальной НЧ-точки. В большинстве случаев ширина полосы пропускания -3 дБ будет увеличиваться по мере снижения емкости во включенном состоянии независимо от сопротивления коммутатора. Несмотря на это, для областей применения, в которых используются частоты сигнала в диапазоне 100...500 МГц, лучше использовать коммутатор 2, так как он имеет более низкие вносимые потери, чем коммутатор 3, что объясняется более низким сопротивлением в открытом состоянии.

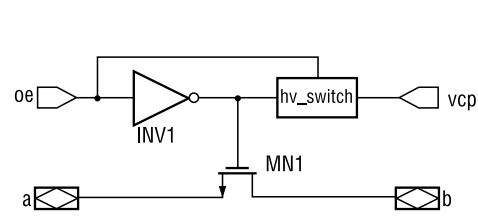
Сопротивление и емкость аналогового коммутатора воздействуют не только на амплитуду проходящего сигнала, но и на его качество. Для повышения качества сигнала в системе следует свести к минимуму суммарный коэффициент гармонических искажений (THD). Как следует из названия, суммарный коэффициент гармонических искажений имеет непосредственное отношение к звуковым системам при низких частотах. Следовательно, сопротивление коммутатора будет основным фактором при определении характеристики системы, как это следует из уравнения, приведенного ниже:

$$THD \sim R_{FLAT} / R_{LOAD}$$

В данном случае,  $R_{FLAT}$  – это изменение  $R_{DS(ON)}$  по всему диапазону входного сигнала, а  $R_{LOAD}$  – полное сопротивление (импеданс) нагрузки, например, наушников или динамика. По мере снижения сопротивления коммутатора кривая зависимости  $R_{DS(ON)}$  от входного сигнала будет становиться более плоской, и суммарный коэффициент гармонических искажений будет снижаться.



Параллельные МОП-транзистор с каналом р-типа и МОП-транзистор с каналом п-типа



МОП-транзистор с каналом п-типа и генератор подкачки заряда

Рис. 1. Основные структуры аналоговых коммутаторов

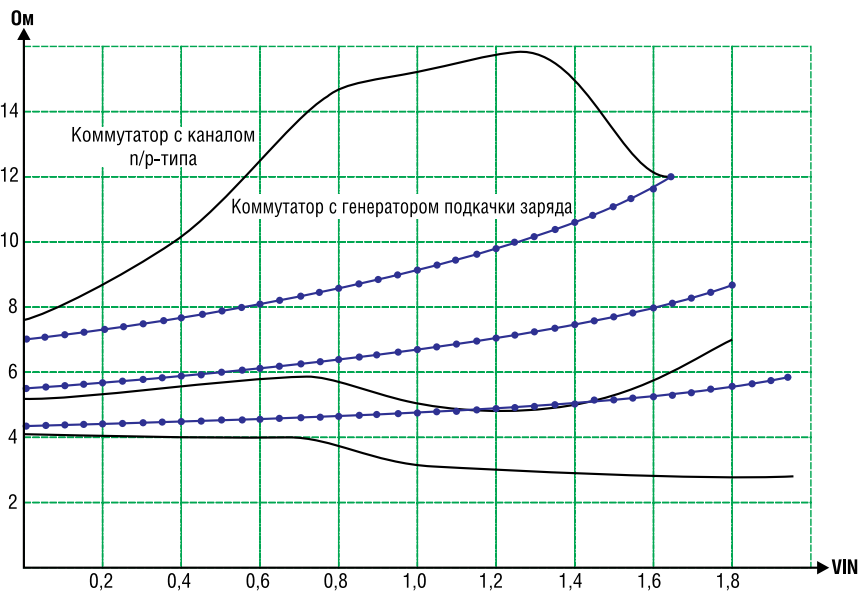


Рис. 2. Сравнение  $R_{DS(ON)}$  для коммутатора с каналом п-р-типа и коммутатора с генератором подкачки заряда

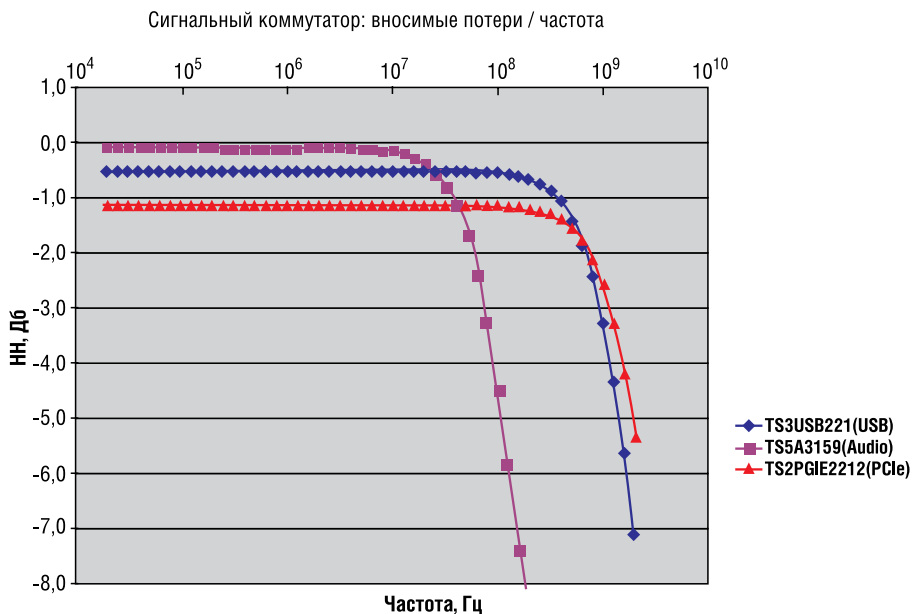


Рис. 3. Вносимые потери и кривые измерения ширины полосы пропускания

Подобным же образом на характеристике высокочастотной системы сильно влияет качество сигнала, который часто отображается на глазковой диаграмме. Для этих высокоскоростных систем ре-

шающее значение имеет большой раскрыв глазковой диаграммы. Изменение происходит по мере возрастания амплитуды сигнала и пограничных показателей. Оба этих параметра могут быть

Таблица 1. Характеристики аналоговых коммутаторов Texas Instruments

Варианты применения	Промышленность	Аудиосистемы	USB	Видеосистемы: PCI Express/HDMI
Пример	TS12A4516	TS5A3159	TS3USB221	TS2PCIE2212
Конфигурация	МОП-структуры с каналом n-/р-типа	МОП-структуры с каналом n-/р-типа	МОП-структуры с каналом n-типа + генератор подкачки заряда	МОП-структуры с каналом n-типа + генератор подкачки заряда
$R_{DS(ON)}$ , Ом	25	1,1	6	14
$C_{ON}$ , пФ	16	84	6	4
$R_{DS(ON)}$ Flat, Ом	3	0,15	1	5
$V_{in\ min}$ , В	-5,5/+5,5	0/+5,5	0/+5,5	0/+1,9
BW, ГГц	0,45	0,1	1,1	2,5
Инжекция заряда, пКл	13	36	нет	нет
Перекрестные помехи, дБ	нет	-65	-41	-39
Iss, мкА	70	0,1	30	160

TS5A23157 при 208 МГц      TS3DS 26227 при 208 МГц

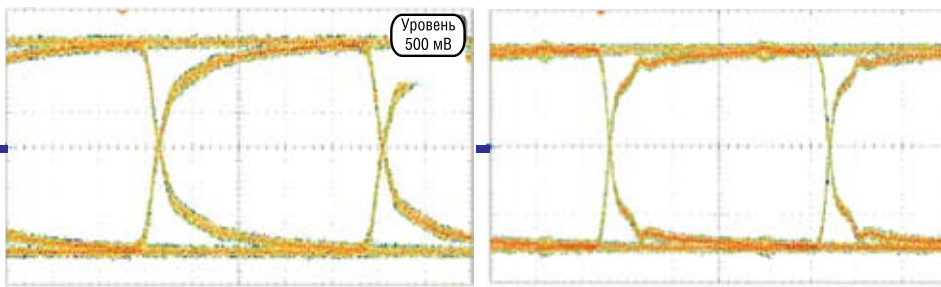


Рис. 4. Глазковые диаграммы

оптимизированы путем снижения емкости коммутатора в открытом состоянии в интересующем диапазоне входного сигнала. На рис. 4 представлены две глазковые диаграммы при скорости передачи сигналов 208 МГц. Слева представлена глазковая диаграмма для TS5A23157, емкость в открытом состоянии ( $C_{ON}$ ) которого составляет 18 пФ. Справа представлена глазковая диаграмма для TS3DS26227, емкость в открытом состоянии ( $C_{ON}$ ) которого ниже и составляет 10,5 пФ. Результатом является позитивное изменение раскрыва глазковой диаграммы с более крутым фронтом.

Как было сказано выше, значения  $R_{DS(ON)}$  и  $C_{ON}$  обладают высокой взаимозависимостью и зависят от структуры коммутатора. Поэтому очень важно выбрать коммутатор, подходящий именно для данной области применения.

Например, разработчику, который хочет переключить звуковые сигналы (различные варианты применения: телефонная трубка, бытовая электроника, профессиональные аудиосистемы и т.д.) следует крайне тщательно выбирать коммутатор с отличными характеристиками сопротивления во включенном состоянии  $R_{DS(ON)}$  (сопротивление 0,5...1,5 Ома, равномерность сопротивления 0,15 Ом), так как это повлияет на искажение сигнала, тогда как ширина полосы пропускания, а, следовательно, и емкость во включенном состоянии

( $C_{ON}$ ), не играют большой роли (допустимое значение > 50 пФ). Для областей применения со средней скоростью, как, например, передача данных через USB, следует найти надлежащий компромисс между скоростью (а, следовательно, и значением  $C_{ON}$ ) и ослаблением сигнала. В этом случае пользователь должен рассмотреть возможность высокой скорости (до 1,1 ГГц) с сохранением надлежащих характеристик  $R_{DS(ON)}$  (5...6 Ом), чтобы удерживать ослабление сигнала на как можно более низком уровне. И, наконец, для видеосистем (PCI Express или HDMI) необходимо подобрать самый быстрый коммутатор для поддержки скорости потока видеоданных. Скорее всего, предпочтение будет отдано комму-

татору с МОП-структурой «транзистор с каналом n-типа/генератор подкачки заряда», который демонстрирует лучшие характеристики  $C_{ON}$ . Однако следует учесть, что это происходит за счет более высокого значения  $R_{DS(ON)}$  и более значительного потребления энергии.

Дополнительные возможности применения, например, в промышленности (регулировка усиления, предварительное формирование и преобразование сигнала) соотносятся с другими основными требованиями, в частности, диапазоном входного сигнала и способностью использовать двойное напряжение питания. При выборе коммутатора следует рассматривать и другие параметры, в том числе инжекцию заряда, перекрестные помехи, ток в рабочей точке и изоляцию в закрытом состоянии.

В заключение приводятся характеристики четырех коммутаторов (табл. 1) для четырех различных вариантов применения. Таблица может помочь в поиске компромиссного решения с учетом области применения и структуры коммутатора.

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



Михаил Чигарев (КОМПЭЛ)

# АНАЛОГОВЫЕ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛИ ВИДЕОСИГНАЛОВ ОТ TEXAS INSTRUMENTS



*Аналоговые видеокоммутаторы являются основой для построения систем распределения как композитных, так и RGB-видеосигналов. Представленные в статье переключатели производства Texas Instruments обладают достаточно широкой полосой пропускания и хорошей изоляцией коммутируемых каналов, чтобы найти применение в системах, где требуется с минимальными потерями и искажениями распределить упомянутые выше и другие высокочастотные сигналы.*

Многие мировые производители ИС предлагают свои решения для построения систем коммутации видеосигналов. Это и элементарные ключи, и «активные» переключатели с интегрированными усилителями и даже «crosspoint»-переключатели, которые позволяют подключать любой из входов микросхемы к любому из выходов. Кроме того, предлагаются различные способы управления ключами, как простейшая логика, так и управление по интерфейсам SPI, I<sup>2</sup>C. К сожалению, расширение функциональности переключателя далеко не всегда приводит к улучшению его технических характеристик, а даже совсем наоборот. К тому же, очевидно, что более высокая интеграция и сложность этих устройств ведет и к увеличению цены, как самих микросхем, так и конечных устройств на их основе. В сложившейся ситуации предложения Texas Instruments могут быть весьма интересны разработчикам, так как сочетают в себе отличные технические характеристики и крайне невысокую стоимость.

Линейка аналоговых видеопереключателей Texas Instruments (TI) представлена всего четырьмя решениями. Это счетверенные SPDT-переключатели, которые к тому же имеют pin-to-pin-совместимость (за исключением значений напряжения питания). Несмотря на такой не слишком широкий выбор, предложения TI в этой области вполне заслуживают внимания.

Наиболее сбалансированным переключателем, безусловно, является **TS3V330**, который обеспечивает коммутацию сигналов в широкой полосе частот (до 300 МГц), имеет высокую скорость переключения (2,5 нс) и обладает лучшей в линейке изоляцией перекрестных помех. Если разработчику требуется более широкополосный переключатель, то в этом случае следует обратить внимание на **TS3V340** с полосой пропускания до 500 МГц. К сожа-

лению, имея самую широкую полосу в линейке, этот переключатель отличается и самым большим потреблением тока в статичном режиме — 1500 мкА против 10 мкА у TS3V330. Главной отличительной особенностью переключателей TS5V330 и TS5V330C является питающее напряжение. В отличие от TS3V330 и TS3V340 с трехвольтовым питанием и управляющей логикой, TS5V330 и TS5V330C — это переключатели для работы от источника 5 В и значением высокого логического уровня управляющих сигналов, лежащим в пределах от 2 до 5,5 В.

Постараемся облегчить разработчику непростой выбор наиболее подходящего переключателя. Одними из наиболее важных параметров видеоключей являются:

- собственное сопротивление ключа  $R_{on}$ ;
- нестабильность сопротивления  $R_{on(flat)}$ ;
- полоса пропускания;
- изоляция перекрестных помех (crosstalk);
- изоляция вход-выход (off isolation);
- время переключения;
- максимальная амплитуда входного/выходного сигнала.

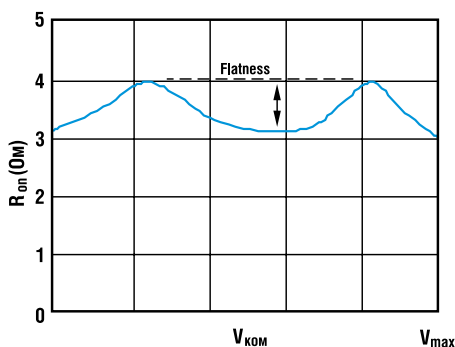


Рис. 1. Зависимость  $R_{on}$  от коммутируемого напряжения

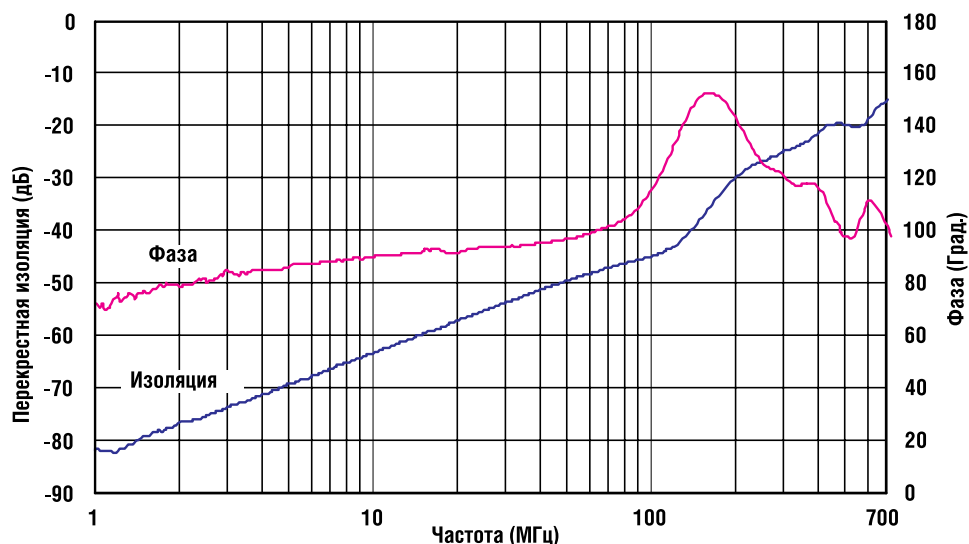


Рис. 2. Перекрестная изоляция и фаза

Подробнее остановимся на некоторых параметрах, которые, возможно требуют дополнительного пояснения.

Нестабильность сопротивления  $R_{on(Flat)}$  обусловлена тем, что собственное сопротивление ключа меняется (в известных пределах) в зависимости от уровня коммутируемого сигнала, лежащего в пределах напряжения питания (rail-to-rail). Пример типовой зависимости  $R_{on}$  от уровня проходящего через ключ сигнала показан на рисунке 1. Из рисунка становится понятно, почему в документации этот параметр называется «плоскостность»

(flatness). Типовое собственное сопротивление аналоговых видеопереклюателей от Texas Instruments составляет 3 Ом.

Изоляция перекрестных помех (crosstalk isolation) или иначе «изоляция между каналами» – это характеристика, которая показывает, насколько сигнал, проходящий через замкнутый ключ на один из выходов переключателя, проникает на выход другого канала, в котором ключ разомкнут.

Изоляция между каналами ухудшается с увеличением частоты проходящего через ключ сигнала. Поэтому,

следует внимательно относиться к характеристике межканальной изоляции переключателя при его выборе. На рисунке 2 представлена зависимость уровня изоляции перекрестных помех от частоты коммутируемого сигнала переключателя TS3V340, а на рисунке 3 его АЧХ и ФЧХ.

Помимо межканальной изоляции важна и характеристика изоляции выхода от входа при разомкнутом ключе. Поскольку любой полупроводниковый ключ не является идеальным (механическим) ключом, то он имеет свою характеристику ослабления входного сигнала на «отключенном» выходе. Эта характеристика, как и характеристика перекрестной изоляции, ухудшается с увеличением частоты коммутируемого сигнала (рисунок 4).

Максимальная амплитуда сигналов, пропускаемая видео переключателями Texas Instruments, ограничена напряжением питания. На случай, если входной сигнал превысит допустимое значение, все «порты» переключателей защищены ограничительными диодами.

Довольно часто в видеосистемах приходится изменять конфигурацию распределения сигналов и многократно коммутировать различные устройства. Поэтому еще одной особенностью является то, что все представленные ключи сохраняют высокоимпеданное состояние между входами и выходами при выключении питания. Это исключительно важное свойство, которое обеспечивает защиту от попадания на входы устройств в видеосистемах нежелательных сигналов, которые могут повредить оборудование (например, статическое электричество).

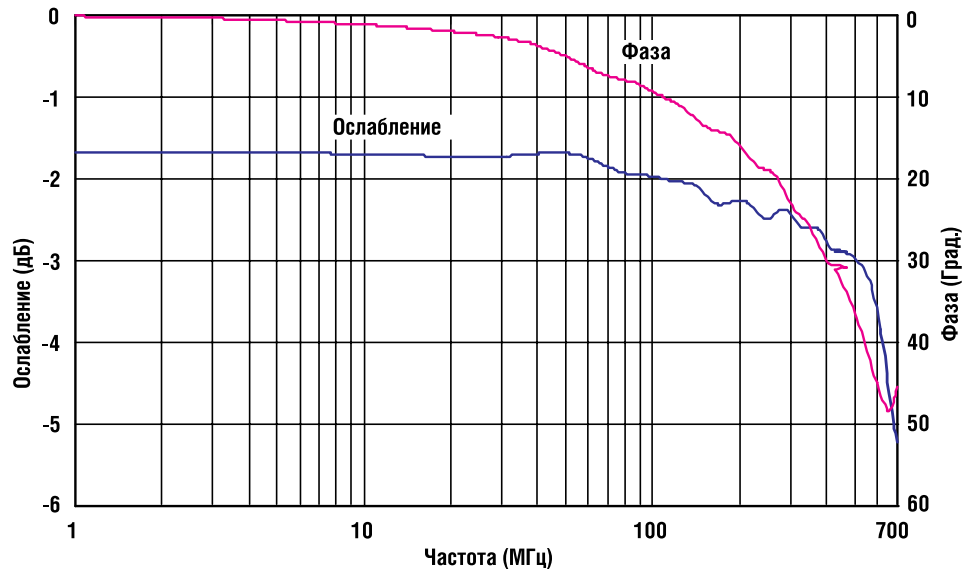


Рис. 3. Передаточная и фазовая характеристики

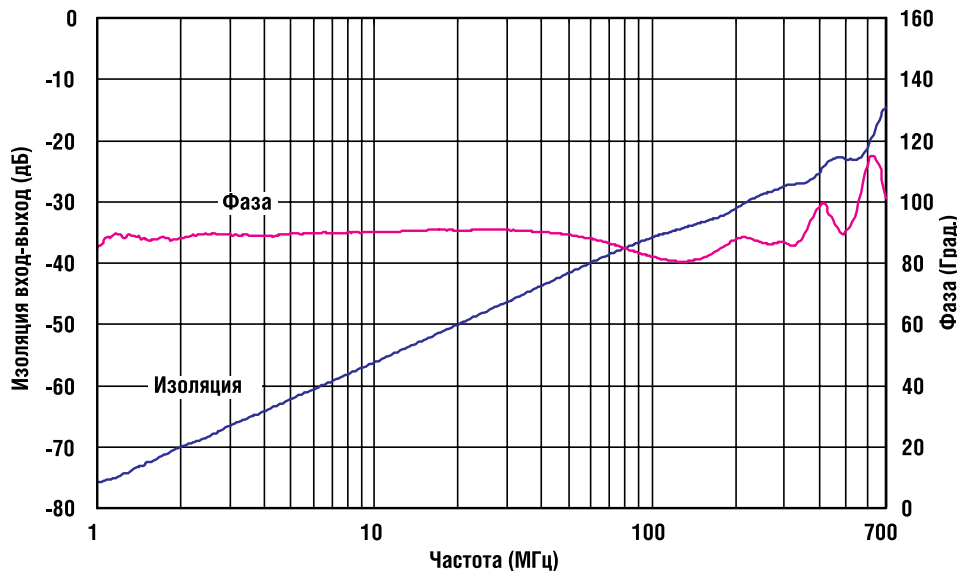


Рис. 4. Изоляция разомкнутого ключа

Таблица 1. Логика переключения ключей

Входы		Вход/Выход	Функция
EN	IN	D	
L	L	S1	D порт = S1 порт
L	H	S2	D порт = S2 порт
H	X	Z	Разомкнут

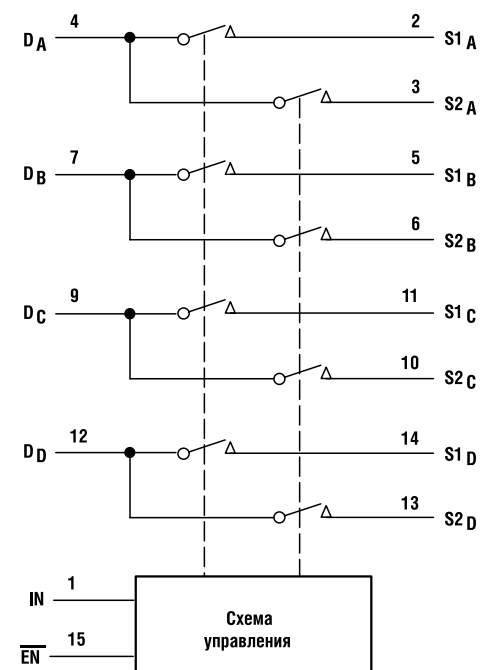


Рис. 5. Функциональная диаграмма

Таблица 2. Характеристики переключателей

Наименование	Конфигурация	Упит. min, В	Упит. max, В	R <sub>оп</sub> (max), Ом	Полоса, МГц	Изоляция между каналами на частоте 10 МГц, дБ	Изоляция вход-выход на частоте 10 МГц, дБ	Потребляемый ток, мкА	t <sub>вкл./t<sub>выкл.</sub></sub> , нс	Управляющие напряжения (V <sub>LO</sub> /V <sub>HI</sub> ), В
TS3V330	4xSPDT	3	3,6	10	300	-80	-50	10	2,5/1,1	0-0,8/2-V <sub>cc</sub>
TS3V340	4xSPDT	3	3,6	6	500	-63	-56	1500	4/2	0-0,8/2-5,5
TS5V330	4xSPDT	4	5,5	10	300	-63	-60	3	2,5/1,1	0-0,8/2-5,5
TS5V330C	4xSPDT	4	5,5	10	250	-47	-55	3	1,5...6	0-0,8/2-5,5

Texas Instruments предлагает достаточно сбалансированные решения для применения в видеосистемах. Баланс заключается в оптимальных, часто — взаимозависящих, технических характеристиках ключей. Например, при достаточно низком сопротивлении во включенном состоянии также обеспечивается очень высокая скорость переключения.

Кстати, высокая скорость переключения, а также задержки сигналов управления могут теоретически приводить к ситуациям, когда одновременно замкнуты несколько ключей в многоканальной схеме. Как и многие производители, Texas Instruments внутрисхемно обеспечивает невозможность одновременного включения двух и более каналов, вводя гарантированную задержку.

Следует отметить то, что все четыре переключателя являются pin-to-pin-заменой друг другу (за исключением того что TS3V и TS5V имеют разные напряжения питания) и выпускаются в широком ряде 16-ти выводных корпусов от SOIC до QFN. Это означает, что можно предельно просто изменять характеристики конечного изделия. Например, при необходимости расширить полосу пропускания системы на базе TS3V330 можно просто поставить на то же посадочное место TS3V340, или, при изменении напряжения питания, произвести замену TS5V330 на TS3V330. На рисунке 5 представлена функциональная диаграмма переключателей и нумерация выводов микросхем.

Логика работы переключателей предельно проста (таблица 1). Фактически это четырехбитные мультиплексоры/демультиплексоры из одного в два или из двух в один. Если на входе ~EN — низкий логический уровень, то порт D подключен к порту S. Если на входе ~EN — высокий логический уровень, то между портами D и S — состояние высокого импеданса. Вход IN обеспечивает выбор пути прохождения сигнала.

Наиболее важные характеристики описанных ключей представлены в таблице 2. За более подробной информацией следует обратиться к официальной технической документации.

Коротко представим несколько возможных применений представленных в статье переключателей. Простейший ва-

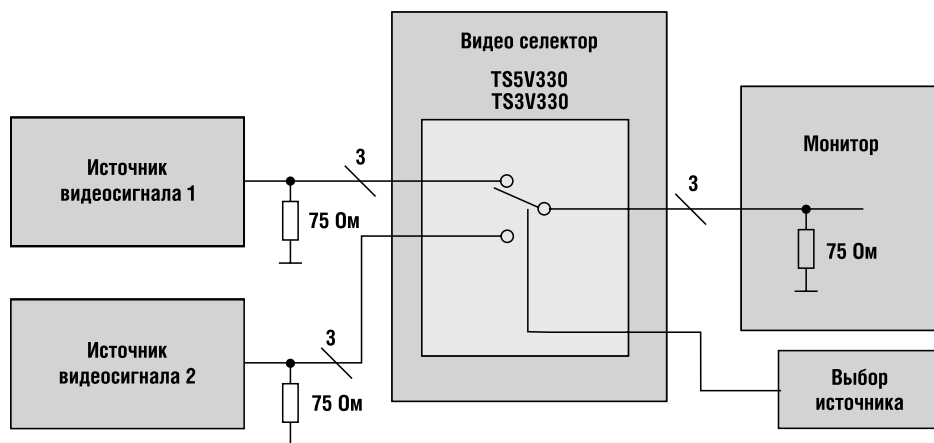


Рис. 6. Селектор источников видеосигнала

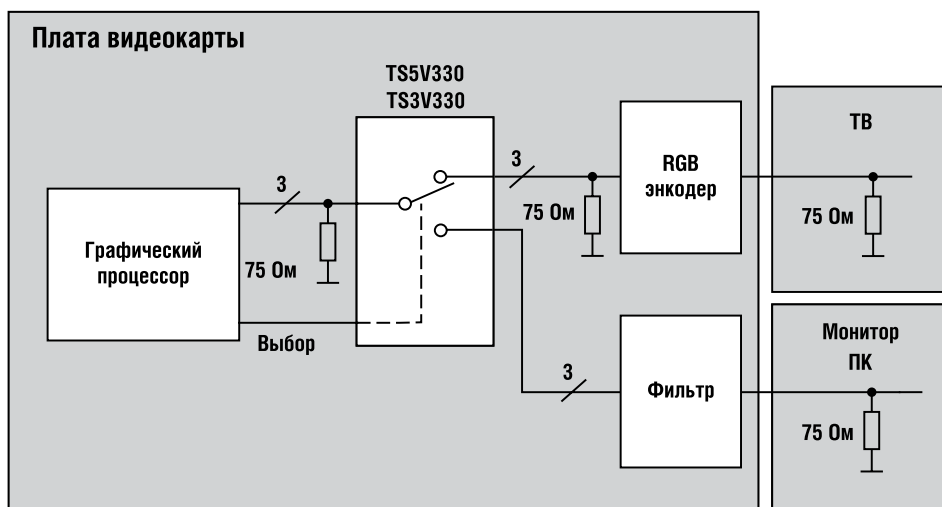


Рис. 7. Распределитель сигналов

риант использования — переключение между несколькими источниками видеосигнала (например, камерами наблюдения) и вывод выбранного изображения на монитор. Наличие четырех ключей в одном корпусе позволяет переключать и RGB-сигналы (рисунок 6).

Еще одно возможное использование переключателя — в качестве «распределителя» видеосигнала — представлено на рисунке 7.

**Заключение**

Представленные в статье видеопереключатели имеют широкую полосу пропускания, отличную межканальную

изоляция, низкое собственное сопротивление и что немаловажно — удобство и простоту управления. Решения Texas Instruments в области переключения аналоговых видеосигналов являются, по сути, базой для построения более сложных переключателей или целых систем распределения видеосигналов.

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

Павел Ильин, Андрей Соколов (КОМПЭЛ)

# РАЗРАБОТКА ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ ДЛЯ УЛИЧНОГО СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

В статье рассмотрен пример построения однокаскадного источника питания для уличных светодиодных светильников общего назначения. Этот импульсный преобразователь напряжения, построенный по топологии SEPIC на базе микросхемы UCC28810 компании Texas Instruments, предназначен для применения в составе уличного светильника. Его максимальная выходная мощность около 80 Вт. Он вырабатывает стабильный выходной ток 350 мА и питается от сети переменного тока с номинальным напряжением 220 В.

В данном материале описан один из возможных подходов к вопросу питания светодиодных источников света общего назначения. Источник такого типа часто называют светодиодной лампой или светодиодным светильником.

К такому источнику предъявляется ряд требований. Чаще других применяют следующие: непосредственное питание светодиодов, минимальная себестоимость источника, совместимость с питающими сетями, защита от аварийных режимов работы. Данный список может быть расширен, однако, перечисленные требования применимы в большинстве случаев. Рассмотрим эти требования подробнее.

**Непосредственное питание светодиодов.** Для источника питания полезной нагрузкой является массив светодиодов. Как известно, светодиоды обладают относительно низким дифференциальным сопротивлением, или, как

иногда говорят, жесткой вольтамперной характеристикой. Питая их рекомендуется от источника постоянного тока. Ток должен быть стабилен, и источник должен иметь соответствующую максимальную мощность или максимальное выходное напряжение. Такой источник может питать светодиоды при непосредственном подключении без применения какого-либо пассивного, активного или реактивного балласта.

**Минимальная себестоимость источника.** Это требование очевидно. Отметим, что одной из слабых сторон современных светодиодных светильников является их относительно высокая себестоимость, поэтому, производители стремятся снизить ее всеми доступными средствами, в том числе, снижая стоимость источника питания.

**Совместимость с питающими сетями.** Как известно, имеющиеся электрические сети наиболее эффективны при использовании с резистивной

нагрузкой. Например, электронагревательные приборы, лампы накаливания. Другие типы нагрузки, такие как электронное оборудование, газоразрядные лампы, требуют применения специальных источников питания. Одной из основных характеристик источника, наравне с максимальной выходной мощностью и КПД, является коэффициент мощности. Фактически этот коэффициент показывает степень подобия потребителя обычному резистору с точки зрения поставщика электроэнергии. Коэффициент мощности, равный единице, означает, что поставщик энергии не отличит данного потребителя от обычной резистивной нагрузки, например, лампы накаливания.

**Защита от аварийных режимов.** Такое требование применимо практически к любым источникам питания. Однако в нашем случае оно имеет определенную специфику. Обычно предполагается, что источник питания может работать на холостом ходу и на нагрузку до максимального допустимого тока включительно. Источник надо защищать теми или иными средствами от работы на низкоомную нагрузку и от работы на короткое замыкание. Особенность источника с токовым выходом состоит в том, что он может работать относительно безболезненно на короткое замыкание и на нагрузку с импедансом до максимального допустимого значения. От работы на высокоомную нагрузку и от обрыва нагрузки такой источник также надо защищать. Действительно, источник тока с обрывом в цепи нагрузки должен выработать бесконечно большую мощность, чтобы поддерживать заданный ток при неограниченно высоком напряжении на выходе. Что, очевидно, невозможно и приведет к той или иной аварии в системе питания, если только не применены специальные средства защиты, ограничивающие выходное напряжение источника и, следовательно, его мощность в аварийном режиме.

## Топология источника питания

Как обычно, при построении источника питания одной из первых решается задача выбора архитектуры устройства.

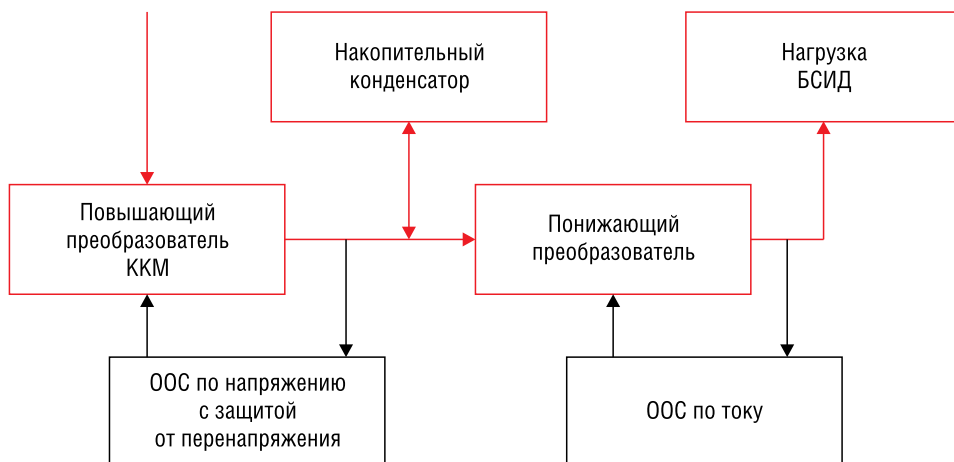


Рис. 1. Структура двухкаскадного преобразователя

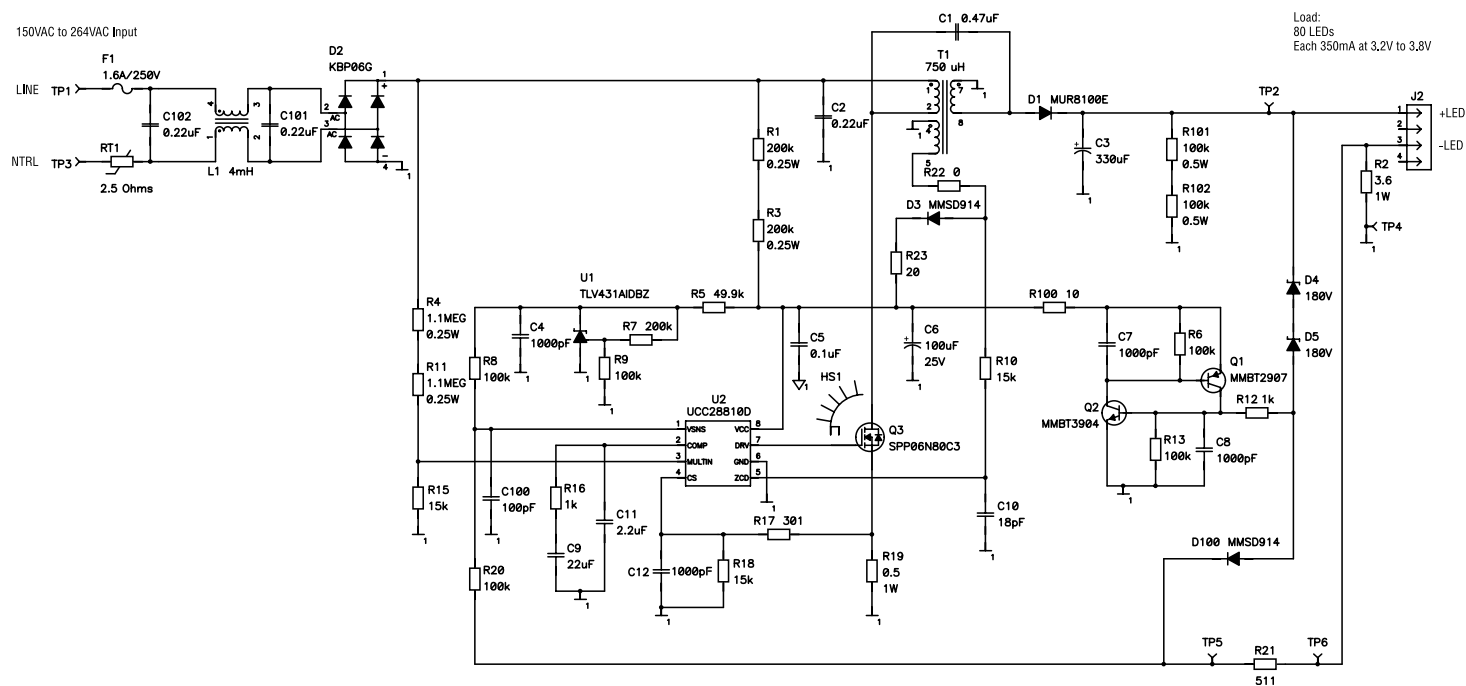


Рис. 2. Электрическая схема источника питания для уличного светодиодного светильника

Поскольку перед разработчиком стоит сразу несколько задач, логично выбрать архитектуру с несколькими этапами преобразования энергии и распределить решаемые задачи по отдельным каскадам. Один из наиболее распространенных подходов предполагает использование двух силовых контуров (рис. 1).

Первый силовой контур обеспечивает повышение напряжения выше мгновенного входного напряжения, при этом на него возложена функция корректора коэффициента мощности (ККМ). ККМ охвачен отрицательной обратной связью (ООС) по напряжению. Дополнительно реализована защита от перенапряжения, которая отключает повышающий преобразователь, если напряжение на его выходе достигло максимального разрешен-

ного уровня. Напряжение после ККМ фильтруется на главном и практически единственном накопительном конденсаторе большой емкости. Далее высокое постоянное напряжение подается на понижающий преобразователь. Особенность этого преобразователя — его обратная связь. Благодаря ООС по току, а не по напряжению, как в большинстве преобразователей, он стабилизирует на своем выходе именно ток, которым питаются светодиоды.

Такая архитектура двухкаскадного источника питания с корректором коэффициента мощности и токовым выходом хорошо известна, часто и успешно применяется. При ряде положительных свойств она обладает относительной сложностью, так как содержит два силовых каскада. Вторым ее недостатком — относительно низкий КПД, так при типичном КПД каждого каскада 90% результирующий КПД устройства составит только 81%, что не всегда приемлемо.

Альтернативную архитектуру однокаскадного корректора коэффициента мощности с токовым выходом рассмотрим на практическом примере.

### Пример построения источника питания для светодиодных светильников общего назначения

Рассмотрим источник питания для уличного светодиодного светильника на примере проекта **RMP3976**. Принципиальная схема источника приведена на рисунке 2.

Как следует из названия, этот источник питания предназначен для применения в составе уличного светильника. Его максимальная выходная мощность около 80 Вт. Он вырабатывает стабильный выходной ток 350 мА и питается от сети переменного тока с номинальным напряжением 220 В. Как видно из схемы, это импульсный преобразователь напряжения, он построен по топологии SEPIC и, следовательно, не имеет гальванической изоляции между входом и выходом. Это вполне допустимо для уличных светильников, но требует исключительной осторожности при лабораторных испытаниях. Несмотря на очевидную простоту схемы, данный источник содержит корректор коэффициента мощности. Его работа видна на рисунке 3, где представлены следующие эпюры: входное синусоидальное напря-

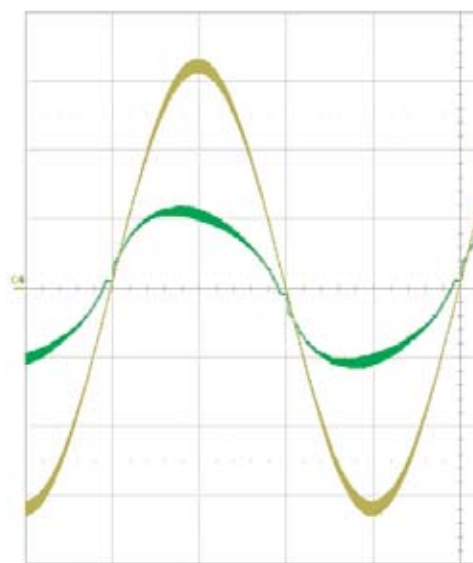


Рис. 3. Входное напряжение и потребляемый ток

Таблица 1. Результаты лабораторных исследований

Ток нагрузки, А	Выходное напряжение, В	Входное напряжение, В	Коэффициент мощности,	КПД, %
0,349	245,5	150,4	0,983	89,7
0,349	245,5	202,6	0,979	91,3
0,350	245,5	248,4	0,969	89,4
0,350	245,5	265,7	0,962	88,9

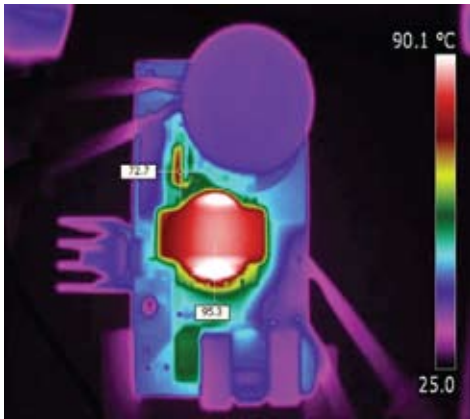


Рис. 4. Термофотография действующего макета источника питания

жение питания источника и почти синусоидальный потребляемый ток.

Как видно из рисунка, форма тока несколько отличается от идеальной синусоиды, поэтому коэффициент мощности меньше единицы, что, впрочем, характерно для любого реального корректора коэффициента мощности. В таблице 1 приведены результаты лабораторных испытаний, которые проводились в диапазоне входных напряжений и при фиксированной нагрузке.

Из этих измерений следует, что коэффициент мощности всегда выше 90% и, следовательно, удовлетворяет самым строгим европейским требованиям. При этом КПД преобразователя в целом невелик и колеблется около 90%. Это обусловлено применением относительно малогабаритного импульсного трансформатора, который работает в тяжелом температурном режиме и рассеивает значительную мощность. Это видно на приведенной ниже термофотографии действующей платы макета преобразователя (рис. 4).

Если позволяют требования к размеру преобразователя, то для облегчения температурного режима источника и повышения его КПД можно применить импульсный трансформатор большего габарита.

Внешний вид источника приведен на рисунке 5.

Как уже упоминалось ранее, этот источник построен с применением корректора коэффициента мощности. Поэтому после выпрямительного моста не установлен электролитический конденсатор большой емкости. Фильтрация помех с удвоенной частотой сети происходит во вторичной цепи благодаря конденсатору преобразователя с относительно большой емкостью, подключенному непосредственно к выходу. Этот конденсатор хорошо виден на фотографии макета преобразователя. Габариты и емкость этого элемента достаточно велики, что снижает удельную нагрузку на



Рис. 5. Внешний вид источника питания

него. Как видно на термофотографии, он практически не рассеивает активной мощности, что продлевает его срок службы.

Такой способ фильтрации не является идеальным и на выходе устройства присутствуют пульсации тока с удвоенной частотой сети, что видно на рисунке 6.

Величина этих пульсаций составляет около  $\pm 8\%$  от постоянной составляющей выходного тока, что следует признать приемлемым значением для большинства применений.

Дополнительно отметим, что данный источник оборудован схемой защиты, построенной на транзисторах Q1 и Q2. Эта схема распознает повышенное напряжение на выходе преобразователя, которое может возникнуть, например, при обрыве или отключении нагрузки. Далее происходит принудительное выключение преобразователя и его последующий перезапуск. Поскольку перезапуск преобразователя происходит достаточно медленно и занимает несколько секунд, у выходного конденсатора есть время, чтобы частично разрядиться через резистивную нагрузку холостого хода.

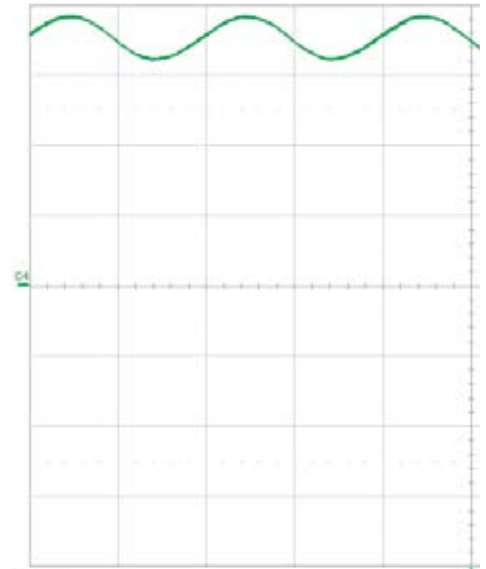


Рис. 6. Пульсации выходного тока

### Заключение

В этой статье показан лишь один пример построения источника питания — для уличного светодиодного светильника, хотя область применения контроллера UCC28810 значительно шире. В частности, его также можно использовать при построении источников питания светодиодных ламп для освещения жилых и коммерческих помещений, архитектурной подсветки и инфраструктурного освещения.

Использование оценочных модулей UCC28810EVM-002 и UCC28810EVM-001, реализующих изолированный сетевой источник питания с ККМ на 100 Вт и изолированный сетевой источник тока с ККМ и функцией димминга на 25 Вт, соответственно, может значительно сократить сроки разработки подобных устройств.

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

Контроллер сверхъярких светодиодов **UCC28810**

**Особенности:**

- Встроенная функция коррекции мощности
- Быстрое время реакции в петле обратной связи
- Интерфейс для управления яркостью
- Встроенный опорный источник тока
- Защиты UVLO, OVP, разрыва обратной связи
- Малый ток запуска и потребления