

№4 (96), 2011 г.

Информационно-технический
журнал

Учредитель – ООО «КОМПЭЛ»

Издается с 2005 г.

Свидетельство о регистрации:
ПИ № ФС77-43993

Редактор:

Геннадий Каневский
vesti@compel.ru

Выпускающий редактор:

Анна Заславская

Редакционная коллегия:

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

Дизайн, графика, верстка:

Елена Георгадзе
Евгений Торочков

Распространение:

Анна Заславская

Электронная подписка:

www.compeljournal.ru

Отпечатано:

«Гран При»
г. Рыбинск

Тираж – 1500 экз.

© «Новости электроники»

Подписано в печать:

28 апреля 2011 г.

СОДЕРЖАНИЕ

БРЕНД НОМЕРА: *TEXAS INSTRUMENTS*

• Texas Instruments – каждую неделю что-то новое! <i>Александр Григорьев</i>	3
• Датчик движения на MSP430G2131 – средство экономии электроэнергии в освещении <i>Алексей Пантелейчук</i>	4
• MSP430 Value Line – 16 бит по цене 8 бит <i>Роман Иванов</i>	7
• Беспроводные приложения: план действий, компоненты Texas Instruments – и вперед! <i>Александр Калачев</i>	12
• Беспроводное управление LED-освещением? – простое решение на CC1110 и CC2510 <i>Михаил Чигарев</i>	20
• Гальваническая развязка – новые рецепты от Texas Instruments <i>Сергей Игнатов</i>	25
• SWIFT – управляем питанием по-новому <i>Михаил Чигарев</i>	29



TEXAS INSTRUMENTS

ВСЕ О СЧЕТЧИКАХ – В НОМЕРЕ 5:

- Специализированные микроконтроллеры для счетчиков;
- Элементная база;
- Практические решения;
- Организация беспроводного обмена данными в сети счетчиков;
и другие материалы.

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

ОТ РЕДАКТОРА



Уважаемые читатели!

Вряд ли среди вас есть тот, кто не помнит с детства английскую детскую песенку в переводе Маршака про дом, который построил Джек. И все помнят цепочку событий, началом которой послужила постройка этого самого дома.

На здании исследовательского центра компании **Texas Instruments**, носящего имя Джека Килби (фото здания – на обложке этого номера), висит баннер со словами “The Chip that Jack Built Changed the World” («Микросхема, которую построил Джек, изменила мир»). Отсылка к известной песенке налицо. В 1958 году инженер-исследователь Texas Instruments Джек Килби представил руководству компании **первый образец интегральной микросхемы**. Сначала идея монолитного полупроводника активно критиковалась, но ситуация быстро изменилась благодаря двум приоритетным военным программам 1960-х годов – подготовке полета корабля «Аполлон» на Луну и разработке ракеты «Минитмен». (Сыграла свою роль давняя связь Texas Instruments с американским оборонным ведомством – во время войны компания, которая тогда занималась сейсмографией и ра-

диофизикой, была крупным разработчиком радаров для авиации и флота). Но в то время Джек Килби, скорее всего, и сам не предполагал, какими быстрыми темпами начнет развиваться его изобретение. И одним из главных инноваторов в области полупроводников стала именно компания TI, предоставившая свою исследовательскую базу для изобретения Килби.

В 1974 году Texas Instruments представила первый в мире однокристалльный микрокомпьютер **TMS1000**.

В 1982 году – первый однокристалльный цифровой сигнальный процессор **TMS320**.

В 1991 году – первый оптрон с использованием кремния и арсенида галлия.

В 1999 году – самый малопотребляющий 16-разрядный RISC-контроллер **MSP430**.

А в 2000 году изобретатель микросхемы Джек Килби был удостоен Нобелевской премии по физике. И хоть к этому времени он уже не работал в компании Texas Instruments (оставаясь почетным консультантом ее Совета директоров), в своей нобелевской речи он отдал должное компании, которая единственная из всех в 1958 году предоставила ему свободу для исследований на условиях полной занятости.

Не забыл он упомянуть и своего тогдашнего начальника Уиллиса Адкока, первым оценившего перспективы изобретения и способствовавшего его продвижению.

Компания Texas Instruments остается крупнейшей инновационной компанией в полупроводниковой отрасли. Этот номер журнала целиком посвящен новинкам TI и их практическому применению. Обзор основных новинок вы найдете в статье Александра Григорьева. А бизнес-команда КОМПЭЛ по продукции TI готова ответить на любые ваши вопросы. (Компания КОМПЭЛ – официальный дистрибьютор продукции Texas Instruments с 2001 года). Призываем вас также следить за рекламой встреч и семинаров, организуемых TI совместно с КОМПЭЛ – Texas Instruments славится интересными инженерными мероприятиями и Road Show.

С уважением,
Геннадий Каневский

Александр Григорьев (КОМПЭЛ)

TEXAS INSTRUMENTS – КАЖДУЮ НЕДЕЛЮ ЧТО-ТО НОВОЕ!



*Со времени выпуска первого в мире промышленного образца микросхемы компания **Texas Instruments** имеет стабильную репутацию крупнейшего инноватора в полупроводниковой отрасли. **Новинки 2010 и 2011 годов подтверждают этот статус.***

Мало кто верил в начале 2010 года в то, что рынок микроэлектроники сможет восстановиться достаточно быстро. Мировой финансовый кризис 2009 года, и, в частности, кризис в электронной индустрии вынуждали нас быть сдержанными в прогнозах. И только компания Texas Instruments смотрела вперед с оптимизмом. 2009 год компания закончила с прибылью. Были сделаны стратегические инвестиции в области **микроконтроллеров** и **MOSFET** – приобретение компаний **Luminary Micro** и **CICLON Semiconductor Device**. Первые результаты 2010 года уже показали правильность этого подхода. В частности, именно в микроконтроллерах и MOSFET был зафиксирован значительный рост.

Для бизнес-команды TI в КОМПЭЛ 2010 год стал самым успешным и самым трудным одновременно. Особый приоритет был отдан микроконтроллерам. Была значительно расширена продуктовая линейка. Улучшилась доступность бесплатных образцов и отладочных наборов. В пяти российских городах были проведены уже знаменитые **Road Show «От аналога к цифре с TI»**, позволившие нам лучше понять потребности разработчиков.

Не забывали мы и об аналоговой продукции, и начало 2011 года принесло новости именно из этой области. В конце марта Texas Instruments объявил о приобретении компании **National Semiconductor**. И несмотря на то, что на юридическое оформление сделки понадобится еще значительное время, сомневаться в правильности этого шага не приходится. Теперь мало кто сможет сравниться с TI в аналоговой продукции и Power Management. Линейка продукции TI настолько широка, что на ее основе можно полностью создать практически любое устройство.

2011 год группа КОМПЭЛ по продукции Texas Instruments объявляет годом инноваций. Мы ожидаем в этом году появление еще большего количества устройств, ориентированных на российский рынок, таких, как микроконтроллеры **MSP430G2xx**. Они станут хорошей альтернативой столь популярным в России дешевым 8-битным контроллерам, так как сравнимы с ними по цене, но при этом имеют 16-битную производительность. Также мы возлагаем большие надежды на скорый выход семейства микроконтроллеров **MSP430F51xx** с выводами, толерантными 5 В, что весьма востребовано российскими разработчиками.

Прошедший 2010 год ознаменовался ростом направления полупроводниковой светотехники. Настало время увеличения эффективности и интеллектуального управления освещением. О том, как с помощью компонентов TI организовать беспроводное управление светодиодным светильником, и об экономии электроэнергии при освещении с помощью датчика присутствия читайте в материалах этого номера.

TI традиционно имеет сильные позиции в изделиях для учета ресурсов, таких как счетчики электроэнергии, газа, воды и тепла. Во многом это обеспечено самыми малопотребляющими микроконтроллерами **MSP430**, а также аналоговой продукцией с микропотреблением. На момент выхода журнала появилось новое **решение для счетчиков электроэнергии – MSP430AFE2xx**, новый микроконтроллер с 24-битным АЦП, способный вытеснить традиционные аналоговые фронт-энды.

Для систем промышленной автоматизации мы предлагаем уникальные решения управления питанием, такие, как семейство DC/DC-преобразователей **TPS54x60** с входным напряжением до 60 В, что позволяет использовать их с

пинами питания 12, 24 и 48 В. Буквально накануне выхода этого номера появился новый линейный регулятор с входным напряжением до 100 В – **TPS7A4001**.

Традиционно сильной стороной являются решения для аналоговых сигнальных цепей. Причем даже в популярной и устойчивой группе операционных усилителей появляются новинки, например, сверхмаломощный **OPA2209**. Постоянно развивается направление сигма-дельта АЦП. Из новинок наиболее запрашиваемые позиции – **ADS1115** для мостовых датчиков температуры, **ADS1248** и **ADS1278** для систем многоканального мониторинга.


Отдельно следует отметить интерфейсы. В линейке TI представлены решения для реализации всех популярных промышленных интерфейсов: RS-485, RS-232, CAN, Ethernet и др. Развивается направления цифровых изоляторов интерфейсов, появились первые микросхемы гальванической развязки интерфейсов с изоляцией 5 кВ – **ISO7520** и **ISO7521**.

TI не перестает совершенствовать свое семейство процессов **DaVinci** для систем видеонаблюдения, в этом году вышла очередная новинка **TMS320DM8168**.

Для пожарно-охранных систем, различного рода датчиков весьма кстати придется бюджетное семейство микроконтроллеров **MSP430G2xx**.

Одними из самых массовых устройств в навигационной тематике, безусловно, являются различные трекеры. Поскольку это устройства с батарейным питанием, то малопотребляющие решения TI и решения для управления питанием как нельзя кстати придется и здесь.

Все перечисленное выше будет развиваться, в том числе, и с применением беспроводных технологий, и гарантия этого – беспроводные трансиверы и системы-на-кристалле от Texas Instruments.

Вывод прост – если ваша разработка претендует на то, чтобы быть действительно инновационной, вам следует обратить самое пристальное внимание на продукцию Texas Instruments. 

Алексей Пантелейчук (Texas Instruments)

ДАТЧИК ДВИЖЕНИЯ НА MSP430G2131 – СРЕДСТВО ЭКОНОМИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ОСВЕЩЕНИИ



«Кнопки коснется рукой – сам зажигается свет,» – фантазировали участники петербургского «Цеха поэтов» в 20-е годы прошлого века в коллективной пародии на античные переводы. Технический прогресс и требования экономии электроэнергии привели к распространению датчиков движения – отныне, чтобы свет зажегся, достаточно было войти в комнату. В статье рассматриваются принципы построения датчика движения/присутствия с использованием микроконтроллеров семейства MSP430G2xx компании Texas Instruments. Такой датчик отличается низкой ценой и энергопотреблением, в результате чего может быть использован в системах освещения и безопасности вместо решений на базе дискретных компонентов. При этом увеличивается функциональность и интеллектуальность системы.

В настоящее время мы наблюдаем тенденции сокращения энергопотребления во многих сферах жизнедеятельности. Вопросы экономии энергии все чаще поднимаются на уровне правительства и нередко решаются путем наложения санкций на энергозатратные устройства и принятием законов, обязывающих использовать системы учета энергии ресурсов. Таким образом, при выборе элементной базы для разрабатываемого устройства энергоэкономичность все чаще становится определяющим фактором. Все это как нельзя лучше проявляется в системах освещения.

Снизить затраты на освещение можно различными способами. Первое, что как раз сейчас у всех на слуху – переход на летнее/зимнее время. К моменту выхода этой статьи в России стрелки часов в последний раз будут переведены на час вперед. Об эффективности таких переходов с точки зрения энергопотребления и здоровья населения в этой статье мы распространяться не будем. Второй способ – переход на светодиодное освещение. То, что светодиоды значительно экономичнее по энергопотреблению и безопаснее для окружающей среды, ни для кого не секрет. Но массовый переход пока сдерживает фактор стоимости, несмотря на то, что вложения в конечном итоге себя оправдают. Снизить затраты на освещение можно также административно. Например, выкрутив в офисе каждую вторую лампочку. Некоторое время назад автор сам побывал в такой ситуации. Несмотря на то,

что такой подход позволяет очень быстро и без особых усилий снизить затраты вдвое, актуальным становится вопрос здоровья и лояльности сотрудников. Третий способ – воспитание культурных качеств человека за счет расклеивания рядом с выключателями бумажек с

призывами погасить свет при выходе из помещения. Опять же, мы часто можем увидеть горящий свет в пустом помещении с такими предупреждениями. Как быть? Идеальным решением было бы использование таких интеллектуальных систем освещения, которые были бы построены на энергоэффективных компонентах, регулировали бы свою яркость в зависимости от внешней освещенности, включались бы только при необходимости и при всем этом имели бы низкую стоимость. С развитием технологий производства светодиодов, увеличением объемов их производства, а также за счет интеграции микроконтроллеров в системы освещения, все это становится реальным.

В статье мы рассмотрим пример построения датчика движения/присутствия для систем освещения с использованием микроконтроллеров семейства

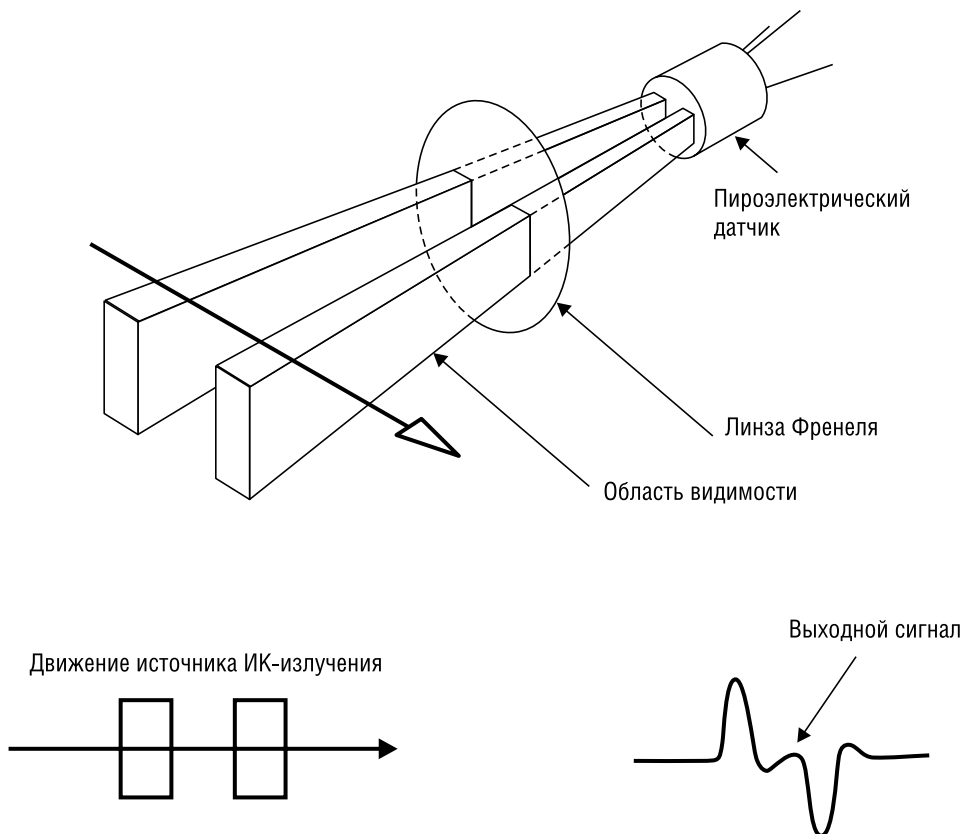


Рис. 1. Принцип действия пирозлектрического датчика

Таблица 1. Варианты микроконтроллеров MSP430 для датчика движения

Микроконтроллер	Flash	АЦП	Цена на сайте
MSP430F2003	1 кбайт	16 бит	от \$1,50
MSP430G2131	1 кбайт	10 бит	от \$0,70
MSP430G2001	0,5 кбайт	компаратор	от \$0,45

Таблица 2. Варианты операционных усилителей для пирозлектрического датчика движения

ОУ	Число каналов	Iq для одного канала, мкА	Напряжение питания, В	Цена на 1 тыс. штук, USD
LM358	2	600	от 3 до 32	от 0,13
LM2904	2	600	от 3 до 26	от 0,13
OPA2348	2	65	от 2,1 до 5,5	от 0,60

MSP430G2xx. О самом семействе MSP430G2xx, отличительных особенностях его представителей, уникальности средств разработки можно узнать из других статей этого номера. Здесь же следует отметить, что за счет очень низкой цены, но при этом — высокой функциональности и экономичности, эти микроконтроллеры позволяют заменить решения на основе дискретных компонентов, что интересно не только для систем освещения, но и других приложений с использованием датчиков движения, например, для систем безопасности.

Датчик движения/присутствия может строиться на различных принципах. Самое простое — определять присутствие человека (либо другого живого существа) по звуку. Для этого используется микрофон, выходной сигнал которого сравнивается с заданным уровнем, при превышении которого принимается решение о наличии человека в помещении. На этом принципе работает большинство датчиков присутствия систем освещения ЖКХ, которые мы уже часто можем увидеть на лестничных площадках новых домов. За счет того, что звук, переотражаясь от стен, легко достигает датчика, такие решения не критичны к месту установки и их монтаж не требует высокой квалификации персонала. Но для офисных светильников, а также для коридоров гостиниц, где пол обит ковролином, «звуковой» датчик присутствия — не самый лучший выбор. Чтобы не вынуждать присутствующих в этом случае специально шуметь перед лам-

пой, дабы она включилась, для таких систем освещения целесообразно использовать датчик движения, основанный на другом принципе — пирозлектрическом.

Датчик движения/присутствия, основанный на пирозлектрическом принципе, отслеживает уровень инфракрасного излучения в поле зрения датчика. Сигнал на выходе пирозлектрического датчика зависит от уровня ИК-излучения. При появлении человека или другого объекта с температурой большей, чем температура фона, на выходе пирозлектрического датчика повышается напряжение. Для того чтобы определить, движется ли объект, в датчике используется линза Френеля, фокусирующая ИК-излучение на область чувствительности. При перемещении объекта, инфракрасное излучение от него улавливается и фокусируется разными сегментами линзы, что формирует несколько последовательных импульсов на выходе пирозлектрического датчика. Выходной сигнал пирозлектрического датчика имеет уровень несколько милливольт, следовательно, для его последующей обработки требуется микроконтроллер с АЦП высокой точности, либо использование предварительного каскада усиления. Микроконтроллер **MSP430F2013**, применение которого в датчике движения подробно описывается в документе SLAA273A (доступен на сайте Texas Instruments), имеет встроенный 16-битный сигма-дельта АЦП, что позволяет подключать пирозлектрический датчик непосредственно к микроконтроллеру, уменьшив тем самым

габаритные размеры устройства. Однако, с точки зрения цены, для рассматриваемого приложения выгоднее использовать микроконтроллеры MSP430G2xx в паре с операционным усилителем. В таблице 1 приведены варианты микроконтроллеров MSP430 для использования в датчике движения/присутствия.

Пирозлектрические датчики могут содержать сразу две чувствительные области, причем при воздействии на одну из областей напряжение на выходе датчика увеличивается, а при воздействии на вторую — уменьшается (рисунок 1). Применение сдвоенного пирозлектрического датчика предоставляет возможность не только детектировать появление объекта инфракрасного излучения, но также и определять направление его движения. Кроме этого, при воздействии на обе области одновременно, выходной сигнал пирозлектрического датчика не меняется, то есть снижается вероятность ложных срабатываний (появление солнца из-за туч, изменение температуры в помещении). В свою очередь, применение датчика с одной чувствительной зоной позволяет по изменению среднего уровня выходного сигнала косвенно определить уровень освещенности в помещении, избавившись, таким образом, от дополнительного фотодиода или фоторезистора в приложении.

В этой статье в качестве примера мы рассмотрим применение сдвоенного пирозлектрического датчика, хотя схема может быть легко адаптирована под другой тип. Принципиальная схема подключения показана на рисунке 2. Выходной сигнал пирозлектрического датчика усиливается с помощью двух каскадов операционных усилителей. Для уменьшения стоимости и занимаемого места на плате лучше использовать сдвоенный усилитель, например, **LM358**, **LM2904** или **OPA2348** (таблица 2). При этом, если необходимо оптимизировать решение по цене, и энергопотребление не критично, преимущество имеют LM358 и LM2904. Но если датчик движения имеет батарейное питание, следует обратить внимание на OPA2348.

Пирозлектрический датчик долго стабилизируется (типичное значение — около 5 с), поэтому он остается включенным все время, в то время как на операционные усилители питание может быть подано (с вывода микроконтроллера) непосредственно перед запуском АЦП микроконтроллера.

Блок-схема алгоритма работы микроконтроллера в датчике движения приведена на рисунке 3. Микроконтроллер большую часть времени находится в режиме сниженного энергопотребления LPM3, время от времени «просыпаясь» для осуществления аналого-цифрового преобразования выходного сигнала пирозлектрического датчика,

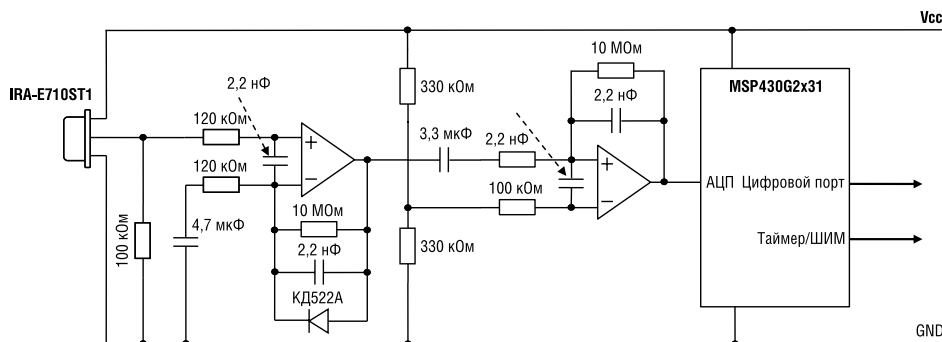


Рис. 2. Принципиальная схема датчика движения

вычисления разницы между текущим и предыдущим значением АЦП, принятия решения. Таймер, остающийся включенным в режиме LPM3, отмеряет интервал между включениями АЦП. Так как при этом высокой точности тактового сигнала не требуется, в качестве источника синхросигнала для таймера используется встроенный низкочастотный осциллятор VLO микроконтроллера. Номинальная частота осциллятора составляет 12 кГц, а потребление микроконтроллера MSP430G2131 в режиме LPM3 с включенным VLO находится в границах от 0,5 до 0,7 мкА. При переходе в активный режим включается встроенный высокочастотный осциллятор DCO, стабилизирующийся за 1 мкс. Энергопотребление в активном режиме возрастает до 220 мкА/МГц.

Микроконтроллер MSP430F2131 содержит 10-битный АЦП со скоростью преобразования 200 тысяч выборок в секунду. Этот АЦП, ADC10, имеет встроенный генератор опорного напряжения 1,5/2,5 В, но для того, чтобы снизить энергопотребление (потребляемый генератором ток составляет около 400 мкА), в нашем случае целесообразно в качестве опорного сигнала использовать напряжение питания микроконтроллера. Если же для приложения энергопотребление не критично, активировав генератор опорного напряжения, можно увеличить точность преобразования. АЦП микроконтроллера MSP430F2131 имеет десять мультиплексированных входных каналов, восемь из которых выведены наружу, два внутренних канала используются для подключения к встроенному температурному датчику и резистивному делителю напряжения питания. Таким образом, функциональности и производительности ADC10 достаточно для подключения, помимо пирозлектрического датчика, еще и микрофона, фотодиода или фоторезистора, чтобы получить комбинированное решение.

Таймер Timer_A микроконтроллера имеет 16-битный счетчик и два регистра захвата/сравнения для реализации различных режимов работы, таких как генерация ШИМ-сигнала (в том числе — с зоной перекрытия), вычисление длительности внешних импульсов. В нашем примере таймер задействован для отсчета интервалов между включениями АЦП. В действительности, производительности и функциональности таймера достаточно для формирования управляющих сигналов для источника питания системы освещения (плавная регулировка светового потока). Кроме таймера Timer_A микроконтроллер MSP430F2131 содержит сторожевой таймер WDT+, поддерживающий работу в режиме интервального таймера. Таким образом, при реализации сложных ШИМ-алгоритмов на базе Timer_A, всю нагрузку по отсче-

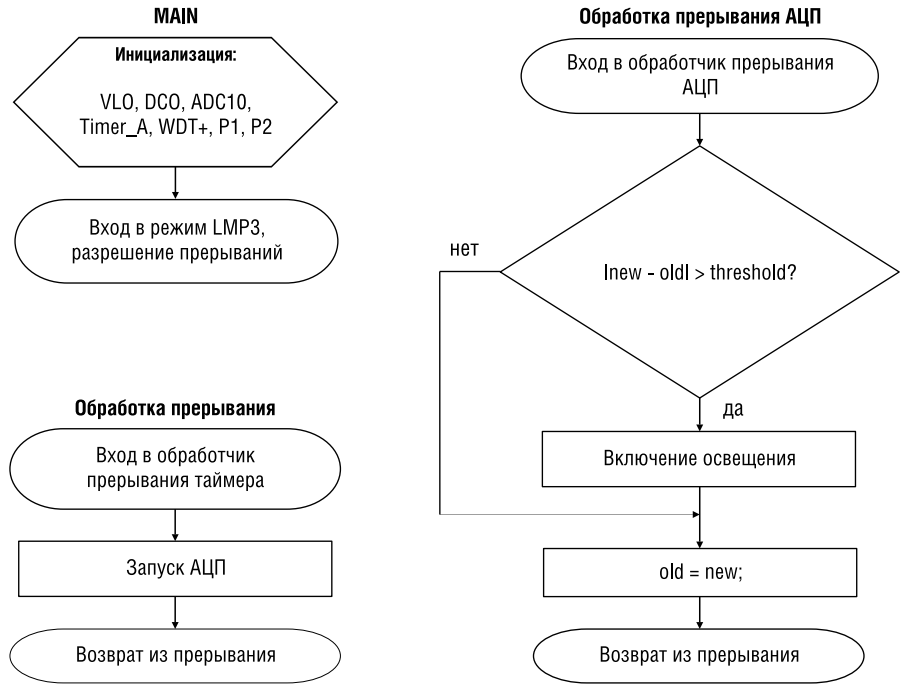


Рис. 3. Блок-схема алгоритма работы микроконтроллера в датчике движения

ту интервалов между включениями АЦП можно перевести на WDT+.

Ядро микроконтроллера задействуется только для вычисления разницы между полученным результатом АЦП и предыдущим значением ($new - old$), сравнения этой разницы с заданным порогом и принятия решения при превышении порога ($threshold$). Если порог превышен, микроконтроллер либо просто меняет состояние одного из выводов, к которому подключено реле, либо генерирует управляющий ШИМ-сигнал для источника питания светильника таким образом, чтобы светильник увеличил свою яркость до нужного уровня. Кроме этого, с помощью таймера микроконтроллера (либо сторожевого таймера) может быть организована задержка выключения освещения.

В настоящей статье мы рассмотрели только несколько основных принципов построения систем управления включением освещения. Некоторые вопросы были только озвучены, но не рассмотрены под-

робно, так как это невозможно осуществить в одной статье. В любом случае, использование микроконтроллера в таких приложениях увеличивает на порядок функциональность устройства, а выбор MSP430G2xx еще и сокращает цену и энергопотребление самих компонентов.

Литература

1. MSP430x2xx Family User's Guide (SLAU144).
2. MSP430G2131 Mixed Signal Microcontroller Data Sheet (SLAS694E).
3. "Infrared Parts Manual: PIR325 & FL65", GLOLAB Corporation, www.globlab.com.
4. Pyroelectric Infrared Sensors Catalog, Murata Manufacturing Co., Ltd, www.murata.com.
5. www.wikipedia.org.

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

TPS782xx и TPS78330

Оптимальное решение для питания MSP430

Собственное потребление: 500 нА

Роман Иванов (г. Санкт-Петербург)

MSP430 VALUE LINE: 16 БИТ ПО ЦЕНЕ 8 БИТ!



*Семейство **MSP430 Value Line** предоставляет разработчику производительность **16-битного микроконтроллера** по цене **восьмибитного**; в результате получаем мощный инструмент для работы с аналоговыми и цифровыми сигналами при сверхнизком потреблении и с широким набором встроенных периферийных модулей: **I²C, SPI и UART**.*

В 1999 году компания Texas Instruments (TI) представила первый микроконтроллер серии **MSP430**. При создании семейства основной упор был сделан на низкое энергопотребление, являющееся основополагающим фактором при выборе микроконтроллера для устройств с батарейным питанием. Ключевым отличием семейства MSP430 является возможность тактировать любой модуль периферии асинхронно от ядра, что позволяет гибко управлять скоростью (а значит и потреблением) каждого модуля.

В настоящий момент Texas Instruments серийно выпускает семейство микроконтроллеров MSP430, которое способно удовлетворить требования самого взыскательного разработчика. Применяя микроконтроллеры MSP430, разработчики получают мощный инструмент для работы с аналоговыми и цифровыми сигналами при сверхнизком потреблении энергии батареи. Энергии литиевой батареи достаточно для питания прибора в течение пяти лет.

Value Line

Для продвижения MSP430 в сегмент рынка 8-битных микроконтроллеров компания TI в 2010 году представила новую линейку микроконтроллеров **Value Line**, которые сочетают в себе производительность 16-битного контроллера и лучшие характеристики энергопотребления при цене, сопоставимой с ценой недорогих 8-битных решений. При стартовой цене 34 цента микроконтроллеры Value Line позволяют пользователям 8-битных контроллеров отказаться от необходимости жертвовать производительностью, энергоэффективностью или масштабируемостью ради минимизации цены изделия.

Микроконтроллеры полностью совместимы по коду со всем семейством

MSP430, что позволит портировать имеющийся код.

Рынок 8-битных микроконтроллеров весьма обширен. Многие производители контроллеров имеют в своих активах 8-битные решения. Основные конкуренты MSP430 Value Line:

- Atmel: MegaAVR, TinyAVR, 8051 Microcontroller Devices;
- Microchip: PIC10, PIC12, PIC16, PIC18;
- Freescale: RS08, HCS08, HC11, HC08, HC05;
- Renesas: RL78, 78K, R8C.

Линейка микроконтроллеров MSP430 Value Line условно поделена на три подгруппы: **G2xx1, G2xx2 и G2xx3** (табл. 1). Для заказа в настоящий момент доступны контроллеры G2xx1 и G2xx2. Выпуск микроконтроллеров G2xx3 планируется в ближайшее время.

Архитектура микроконтроллера

Микроконтроллеры имеют стандартную архитектуру MSP430 (рис. 1) и могут работать на частоте до 16 МГц (реальная производительность до 16 MIPS). Объем встроенной Flash-памяти достигает 16 Кбайт, а SRAM — до 512 байт.

16-разрядная архитектура позволяет получить до 50% выше плотность кода по сравнению с 8-битными устройствами аналогичной стоимости, в результате чего предоставляется возможность реализовывать более сложные алгоритмы и увеличивается общее быстродействие системы за счет меньшего количества команд на одну и ту же операцию. Например, если требуется выполнение 16-разрядной математики, то MSP430 осуществит вычисления в несколько раз быстрее, чем 8-разрядный микроконтроллер: большинство 8-разрядных микроконтроллеров имеют один рабочий регистр (аккумулятор), при помощи которого производятся вычисления, и по-

требуется в несколько раз больше обращений к нему, чем в случае, если бы он был 16-разрядным.

Еще одним преимуществом MSP430 является то, что один машинный цикл ядра занимает один временной такт. В таблице 1 приведены коэффициенты деления частоты задающего генератора для формирования сигналов синхронизации вычислительного ядра MSP430 и 8-битных микроконтроллеров. Как видно из таблицы 2, при одинаковой частоте тактового генератора быстродействие MSP430 будет значительно выше, чем, например, быстродействие очень популярного микроконтроллера 8051 от Atmel.

Цифровые входы/выходы

Общее количество цифровых входов/выходов варьируется от 10 в семействе G2xx1 до 24 в семействе G2xx3. Входы/выходы сгруппированы в 8-битные порты. Каждый вывод индивидуально конфигурируется как вход или выход, и каждая линия ввода/вывода может быть индивидуально считана или записана.

Порты P1 и P2 имеют возможность вызывать прерывание. Для каждой линии ввода/вывода портов P1 и P2 можно индивидуально разрешить прерывания и сконфигурировать их так, чтобы они происходили по фронту или спаду входного сигнала. Все линии ввода/вывода порта P1 являются источником одного вектора прерывания, а все линии ввода/вывода порта P2 — источником другого вектора прерывания.

Отличительной особенностью нового семейства является наличие емкостных сенсорных устройств ввода/вывода — к обычным модулям GPIO добавлены дополнительные цепи для создания колебаний на контактах. Это позволяет разработчику отказаться от использования внешних компонентов, необходимых для создания колебаний. Появляется возможность прямого подключения емкостного датчика.

Данная особенность микроконтроллеров Value Line позволяет создавать на их основе недорогие устройства с сенсорным интерфейсом управления.

Таблица 1. Линейка микроконтроллеров MSP430 Value Line

Серия	Идентификатор	Flash, кбайт	SRAM, байт	I/O (max)	Таймеры	Таймер Watchdog	USI (I ² C/SPI)	USI (I ² C/SPI/UART)	АЦП (Кан./Разр.)	Комп. А+	Темпер. сенсор	Особенности	Корпус
G2xx1	MSP430G2001	0,5	128	10	1	+	–	–	–	–	–	–	14PW,N; 16RSA
	MSP430G2101	1	128	10	1	+	–	–	–	–	–	–	14PW,N; 16RSA
	MSP430G2121	1	128	10	1	+	+	–	–	–	–	–	14PW,N; 16RSA
	MSP430G2201	2	128	10	1	+	–	–	–	–	–	–	14PW,N; 16RSA
	MSP430G2221	2	128	10	1	+	+	–	–	–	–	–	14PW,N; 16RSA
	MSP430G2111	1	128	10	1	+	–	–	–	+	–	–	14PW,N; 16RSA
	MSP430G2211	2	128	10	1	+	–	–	–	+	–	–	14PW,N; 16RSA
	MSP430G2131	1	128	10	1	+	+	–	8/10	–	+	–	14PW,N; 16RSA
	MSP430G2231	2	128	10	1	+	+	–	8/10	–	+	–	14PW,N; 16RSA
G2xx2	MSP430G2102	1	256	16	1	+	+	–	–	–	–	Емкостные I/O	14PW; 20PW,N; 16RSA
	MSP430G2202	2	256	16	1	+	+	–	–	–	–	Емкостные I/O	14PW; 20PW,N; 16RSA
	MSP430G2302	4	256	16	1	+	+	–	–	–	–	Емкостные I/O	14PW; 20PW,N; 16RSA
	MSP430G2402	8	256	16	1	+	+	–	–	–	–	Емкостные I/O	14PW; 20PW,N; 16RSA
	MSP430G2112	1	256	16	1	+	+	–	–	+	–	Емкостные I/O	14PW; 20PW,N; 16RSA
	MSP430G2212	2	256	16	1	+	+	–	–	+	–	Емкостные I/O	14PW; 20PW,N; 16RSA
	MSP430G2312	4	256	16	1	+	+	–	–	+	–	Емкостные I/O	14PW; 20PW,N; 16RSA
	MSP430G2412	8	256	16	1	+	+	–	–	+	–	Емкостные I/O	14PW; 20PW,N; 16RSA
	MSP430G2132	1	256	16	1	+	+	–	8/10	–	+	Емкостные I/O	14PW; 20PW,N; 16RSA
	MSP430G2232	2	256	16	1	+	+	–	8/10	–	+	Емкостные I/O	14PW; 20PW,N; 16RSA
	MSP430G2332	4	256	16	1	+	+	–	8/10	–	+	Емкостные I/O	14PW; 20PW,N; 16RSA
	MSP430G2432	8	256	16	1	+	+	–	8/10	–	+	Емкостные I/O	14PW; 20PW,N; 16RSA
	MSP430G2152	1	256	16	1	+	+	–	8/10	+	+	Емкостные I/O	14PW; 20PW,N; 16RSA
	MSP430G2252	2	256	16	1	+	+	–	8/10	+	+	Емкостные I/O	14PW; 20PW,N; 16RSA
	MSP430G2352	4	256	16	1	+	+	–	8/10	+	+	Емкостные I/O	14PW; 20PW,N; 16RSA
MSP430G2452	8	256	16	1	+	+	–	8/10	+	+	Емкостные I/O	14PW; 20PW,N; 16RSA	

Таблица 1. Линейка микроконтроллеров MSP430 Value Line (окончание)

G2xx3	MSP430G2203	2	256	24	2	+	–	+	–	–	–	Емкостные I/O	20PW, N; 28PW; 32QFN
	MSP430G2303	4	256	24	2	+	–	+	–	–	–	Емкостные I/O	20PW, N; 28PW; 32QFN
	MSP430G2403	8	512	24	2	+	–	+	–	–	–	Емкостные I/O	20PW, N; 28PW; 32QFN
	MSP430G2213	2	256	24	2	+	–	+	–	+	–	Емкостные I/O	20PW, N; 28PW; 32QFN
	MSP430G2313	4	256	24	2	+	–	+	–	+	–	Емкостные I/O	20PW, N; 28PW; 32QFN
	MSP430G2413	8	512	24	2	+	–	+	–	+	–	Емкостные I/O	20PW, N; 28PW; 32QFN
	MSP430G2513	16	512	24	2	+	–	+	–	+	–	Емкостные I/O	20PW, N; 28PW; 32QFN
	MSP430G2133	1	256	24	2	+	–	+	8/10	–	+	Емкостные I/O	20PW, N; 28PW; 32QFN
	MSP430G2233	2	256	24	2	+	–	+	8/10	–	+	Емкостные I/O	20PW, N; 28PW; 32QFN
	MSP430G2333	4	256	24	2	+	–	+	8/10	–	+	Емкостные I/O	20PW, N; 28PW; 32QFN
	MSP430G2433	8	512	24	2	+	–	+	8/10	–	+	Емкостные I/O	20PW, N; 28PW; 32QFN
	MSP430G2533	16	512	24	2	+	–	+	8/10	–	+	Емкостные I/O	20PW, N; 28PW; 32QFN
	MSP430G2153	1	256	24	2	+	–	+	8/10	+	+	Емкостные I/O	20PW, N; 28PW; 32QFN
	MSP430G2253	2	256	24	2	+	–	+	8/10	+	+	Емкостные I/O	20PW, N; 28PW; 32QFN
	MSP430G2353	4	256	24	2	+	–	+	8/10	+	+	Емкостные I/O	20PW, N; 28PW; 32QFN
	MSP430G2453	8	512	24	2	+	–	+	8/10	+	+	Емкостные I/O	20PW, N; 28PW; 32QFN
MSP430G2553	16	512	24	2	+	–	+	8/10	+	+	Емкостные I/O	20PW, N; 28PW; 32QFN	

АЦП

Для работы с аналоговыми сигналами микроконтроллер содержит встроенный 10-разрядный аналого-цифровой преобразователь на 8 каналов. Максимальная скорость преобразования достигает 200 ksps. Возможно использование как внутреннего, так и внешнего источника опорного напряжения. АЦП может работать в нескольких режимах: одноканальный, повторный одноканальный, последовательный и повторно-последовательный режимы преобразования.

Для автоматического переноса данных преобразования и сохранения их в памяти встроен контроллер передачи

данных (DTC). Он позволяет обрабатывать отсчеты АЦП, не нагружая ядро микроконтроллера. ЦПУ остается свободным и может решать другие задачи (рис. 2). Меньшее время, проводимое в активном режиме, позволяет MSP430 значительно экономить энергию.

DTC дает MSP430 серьезное конкурентное преимущество перед 8-разрядными контроллерами других производителей, которые требуют использования ЦПУ для каждого преобразования и передачи загруженных данных (рис. 3).

Для контроля температуры окружающей среды можно использовать встроенный температурный сенсор. На его выходе формируется напряжение в за-

висимости от окружающей температуры. Выход сенсора через мультиплексор подключается к АЦП. При использовании температурного датчика период выборки должен быть больше 30 мкс. Ошибка смещения температурного датчика может быть довольно большой, и для большинства приложений потребуется калибровка.

Коммуникационные интерфейсы

Для реализации связи с внешними устройствами имеются стандартные коммуникационные интерфейсы: I²C, SPI и UART. Распределение интерфейсов по сериям микроконтроллеров представлено в табл. 1.

Таблица 2. Значения коэффициентов деления частоты задающего генератора для формирования сигналов синхронизации

Микроконтроллер	Коэффициент
MSP430	1
ATmega8	1
PIC18	4
8051	12

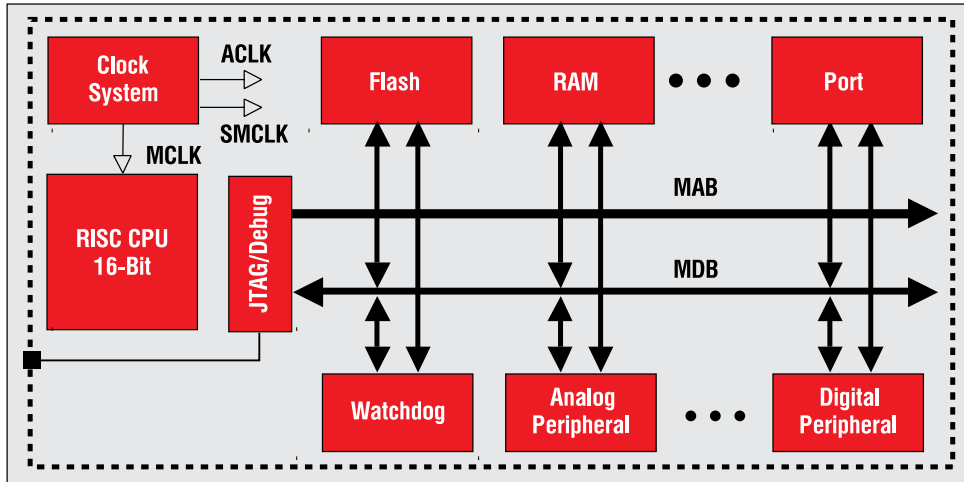


Рис. 1. Архитектура микроконтроллера MSP430

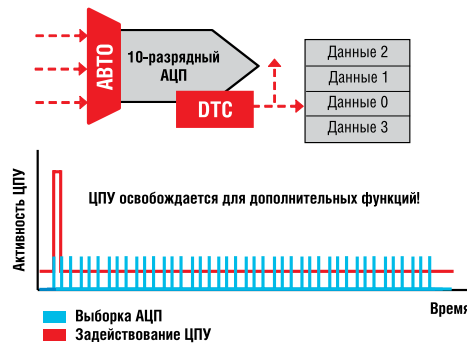


Рис. 2. Активность ЦПУ со встроенным DTC

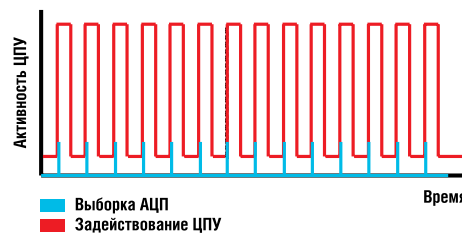


Рис. 3. Активность ЦПУ без встроенного DTC

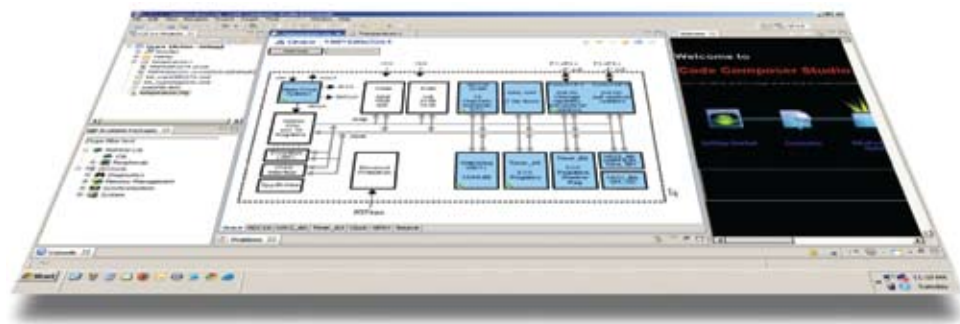


Рис. 4. Бесплатный визуальный подключаемый модуль на базе платформы Grace

UART (*Universal Asynchronous Receiver Transmitter*) – один из самых распространенных интерфейсов. UART представлен в семействе G2xx3. Это самый простой способ связи микроконтроллера с компьютером. Для передачи данных в компьютер по UART используют обычный COM-порт.

I²C (*Inter-Integrated Circuit*) представлен в семействе G2xx1 и G2xx2. I²C позволяет подключать к микроконтроллеру различного рода микросхемы (запоминающие устройства, такие, как EEPROM; Flash-память; часы реального времени; АЦП/ЦАП; другие микроконтроллеры и т.д.). Модуль I²C мо-

жет работать в режиме «Master» или «Slave».

SPI (*Serial Peripheral Interface*) представлен в семействе G2xx1 и G2xx2. Вместе с I²C он относится к наиболее широко используемым интерфейсам для соединения микросхем. Модуль SPI может работать в режиме «Master» или «Slave».

Питание микроконтроллера

Линейка микроконтроллеров MSP430 Value Line, как и все семейство MSP430, оптимизирована для приложений с ультранизким потреблением мощности и имеет различные режимы работы. Для уменьшения потребления существует пять режимов пониженного энергопотребления: LPM0...LPM4. Минимально возможное потребление достигается в режиме LPM4 и составляет порядка 0,1 мкА.

Питающее напряжение микроконтроллера находится в широком диапазоне: 1,8...3,6 В. Потребление в активном режиме работы не превышает 300 мкА (1 МГц, 3 В).

Отладочные средства

Выбор средств разработки достаточно велик. Микроконтроллеры Value Line поддерживаются в самых популярных средах, например, Keil и IAR. Кроме уже привычных сред можно использовать собственную среду разработки компании TI – **Code Composer Studio (CCStudio)**.

Интегральная среда разработки CCStudio включает в себя все необходимые разработчику инструменты: редактор исходных текстов, компилятор, линковщик, отладчик, симулятор, средства визуализации и целый ряд других вспомогательных инструментов. Это единый графический пользовательский интерфейс, позволяющий производить пошаговую разработку и отладку программного кода. Все инструменты интуитивно понятны и позволяют пользователям быстро начать свою разработку.

CCStudio базируется на программном обеспечении с открытым исходным кодом Eclipse. Использование этого продукта обосновано тем, что Eclipse обеспечивает очень хорошую структуру программного обеспечения, которую поддерживают многие продавцы встраиваемых решений. В CCStudio совмещаются преимущества Eclipse и лучшие решения от TI, что позволяет реализовать удобную и многофункциональную среду проектирования.

На сайте компании TI можно свободно скачать и ознакомиться с оценочной версией **CCStudio v4.x**.

Приятным бонусом к CCStudio является бесплатный визуальный подключаемый модуль на базе платформы Grace (рис. 4).

Программное обеспечение Grace легко интегрируется в цепочку инструментов и процесс разработки приложений, полностью совместимо со всеми устройствами **MSP430G2xx** и большей частью модулей **eZ430**, комплектом разработчика **LaunchPad**.

Визуальный модуль Grace позволяет разработчикам очень быстро запускать и настраивать периферийные устройства микроконтроллеров MSP430 с помощью графического интерфейса. Используя это ПО, разработчики получают готовый С-код, который автоматически устанавливает параметры регистров в АЦП, таймерах, модулях последовательной связи и других периферийных устройствах.

Упрощая процесс настройки периферийных устройств, ПО Grace позволяет разработчикам ускорить процесс разработки и избежать ошибок при конфигурировании периферии микроконтроллера.

В настоящий момент на сайте компании TI доступна для скачивания Beta-версия Grace.

Для оценки возможностей новых микроконтроллеров Value Line доступно несколько демонстрационных и отладочных комплектов.

Наиболее доступным и функциональным является набор разработчика «LaunchPad» (рис. 5).

Набор включает все аппаратные и программные средства, необходимые для начала разработки проектов на основе MSP430 Value Line.

Основные особенности и преимущества набора LaunchPad:

- DIP-панель, поддерживающая устройства с числом выводов до 20, обеспечивает возможность смены типа микроконтроллера в процессе разработки и позволяет извлекать и устанавливать запрограммированные MCUs на целевую плату или макетную плату.

- Два микроконтроллера MSP430G2xx в комплекте: MSP430G2211 и MSP430G223. На каждом МК предустановлена демонстрационная программа.

- Благодаря выведенным на контрольные точки портам микроконтроллера разработчики могут использовать кнопки, светодиоды и подключать внешние компоненты.

- Встроенный эмулятор с питанием от USB дает возможность программировать Flash-память, отлаживать программы и осуществлять последовательную передачу данных без необходимости использования внешнего эмулятора.

- Бесплатно предоставляются компиляторы и отладчики без ограничения функциональности, в том числе Code Composer Studio и IAR Embedded Workbench.



Рис. 5. Набор разработчика «LaunchPad»

Для оценки емкостных сенсорных устройств ввода/вывода предусмотрено подключение емкостного тачпада (рис. 6).

Заключение

В 2010 году компания TI вывела на рынок свое новое семейство микроконтроллеров MSP430 – Value Line. Пользователи получили высокопроизводительное 16-разрядное ядро RISC MSP430 и сверхнизкое энергопотребление по цене недорогих восьмиразрядных контроллеров.

Рынок восьмиразрядных микроконтроллеров весьма обширен и на нем работает довольно много производителей. Завоевание своей ниши на этом рынке не будет простым для микроконтроллеров Value Line. Но у MSP430 Value Line есть несколько существенных преимуществ:

- 16-разрядная архитектура и более высокая эффективность программного кода предоставляют больше места для



Рис. 6. Емкостной тачпад

новых функций и повышают вычислительные возможности.

- Сверхнизкое энергопотребление позволяет снижать затраты на обслуживание и увеличивает срок службы продукта.

- Интегрированный интеллектуальный 10-разрядный АЦП идеально подходит для систем сбора данных, обеспечивая более точную настройку и меньшее время отклика.

Эти преимущества позволят серии MSP430 Value Line обеспечить новые возможности для традиционных экономических восьмиразрядных систем.

Микроконтроллеры найдут применение в самых разнообразных устройствах: бытовая электроника, системы безопасности, сенсорные панели, интеллектуальные датчики.

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

TEXAS INSTRUMENTS

Низкому энергопотреблению – низкая цена

Начни разработку прямо сейчас с LaunchPAD

MSP430G2xxx Value Line MCUs

MSP430G2xxx Value Line MCUs

MSP430G2xxx Value Line MCUs

Александр Калачев (г. Барнаул)

БЕСПРОВОДНЫЕ ПРИЛОЖЕНИЯ: ПЛАН ДЕЙСТВИЙ, КОМПОНЕНТЫ TEXAS INSTRUMENTS – И ВПЕРЕДИ!



Для вашего проекта необходимо беспроводное решение? – Вам нужно только определить нужную скорость передачи данных, частотный диапазон, топологию сети и количество узлов. Все остальное предоставит компания **Texas Instruments: программные решения** – стеки протоколов, средства разработки; **аппаратные решения** для различных частотных диапазонов, а также **средства поддержки разработчика**. Как все это выбрать? – читайте в статье.

Успехи в области полупроводниковой электроники, позволяющие интегрировать на одном кристалле большое количество разнообразных устройств (в том числе аналоговых и цифровых схем), и достижения в технологии производства интегральных схем (снижение стоимости производства) способствуют проникновению в повседневную жизнь различных электронных устройств и систем. Часто они становятся повседневными и незаметными, однако за каждой из них стоит труд множества людей и сложнейшие технологии. Особенно интенсивно идет развитие в сфере встраиваемых систем и портативных устройств, использующих радиоканал. Они окружают нас в обычной жизни и работают в условиях различных ограничений.

Такие устройства относят к классу маломощных радиоустройств.

Количество узлов и топология сети

Каждая область применения беспроводных систем характеризуется наличием характерного количества узлов и предназначена для решения определенного класса задач или предоставления пользователям соответствующих сервисов. Количество узлов сети может варьироваться от двух до нескольких тысяч.

Каждая из топологий требует поддержки в виде сетевого приложения или протокола (таблица 1) [2-6].

Скорость передачи данных и расстояние между узлами сети

Одним из основных факторов, влияющих на топологию сети и выбор протокола передачи данных, является предельное расстояние, на которое можно разнести узлы в сети при сохранении устойчивой связи и требуемой скорости обмена данными.

Расстояние между узлами можно оценить, исходя из сведений о выходной мощности передатчика, чувствительности приемника и характеристиках антенн с учетом эмпирических сведений [1, 2].

Для теоретических оценок используется формула Фриза для свободного пространства:

$$P_r = P_t + G_t + G_r + 20 \log\left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right) - 20 \log d \quad (1)$$

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi d)^2};$$

$$d = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{P_t G_t G_r}{P_r}}; \quad (2)$$

где P_t – мощность передатчика; P_r – чувствительность приемника; G_t ,

G_r – коэффициенты усиления передающей или приемной антенн соответственно; d – расстояние между узлами; λ – длина волны.

Формула (1) носит еще название энергетического бюджета канала связи (или просто бюджета канала).

В реальной ситуации рассчитанная дальность передачи будет несколько ниже из-за различных эффектов распространения сигнала (рассеяние, дисперсия, многолучевое распространение и др.). Поскольку учесть все или хотя бы часть эффектов практически нереально, пользуются эмпирическими правилами (правила приближенного счета), позволяющими провести необходимые оценки.

Наиболее важными факторами для узлов сети являются характеристики антенны – коэффициент усиления, диаграмма направленности, чувствительность к предметам в ближней зоне и др. Большое значение также имеет реализация передачи данных в различных сетевых технологиях (рис. 1, рис. 2).

Энергопотребление

Энергопотребление узлов сети играет не последнюю роль для систем с автономным питанием, кроме того надо помнить об общей тенденции к переходу на энергосберегающие технологии. Texas Instruments является одним из лидеров в области низкопотребляющих цифровых и аналоговых схем [2, 8, 10].

Кроме технических характеристик микросхем приемопередатчиков, микроконтроллеров и других узлов беспроводных модулей на энергопотребление существенно влияет режим работы сетевого приложения, интенсивность обмена данными.

Таблица 1. Решения TI для различных сетевых топологий

Показатель сети	Платформа, сетевой протокол или стек протоколов				
	Любой радиointерфейс + собственное ПО	SimpliciTI	802.15.4 TIMAC	RF4CE	ZigBee
Топология	Любая	Точка-точка Звезда	Звезда	Звезда	Ячеистая
Размер кода	Переменный	<8 кбайт	<32 кбайт	<64 кбайт	>64 кбайт
Сложность	Переменная	Низкая	Низкая	Низкая	Средняя

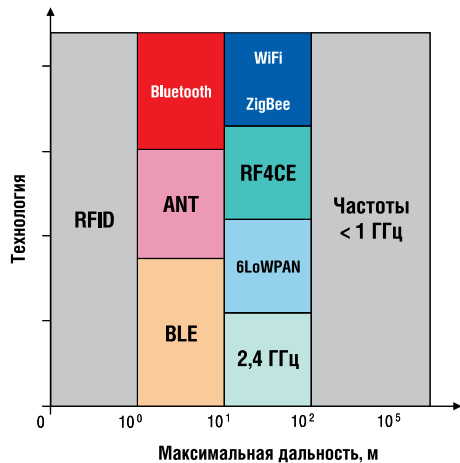


Рис. 1. Дальность связи, обеспечиваемая различными беспроводными технологиями

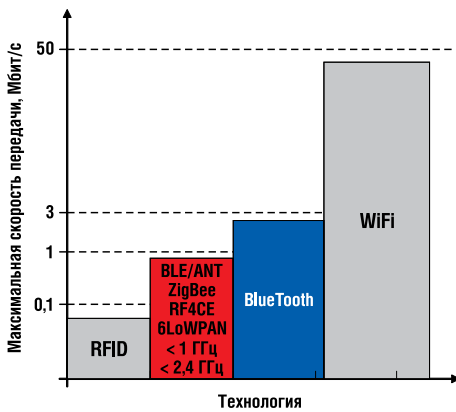


Рис. 2. Диапазон скоростей передачи данных в беспроводных технологиях



Рис. 3. Пример профиля энергопотребления беспроводного узла

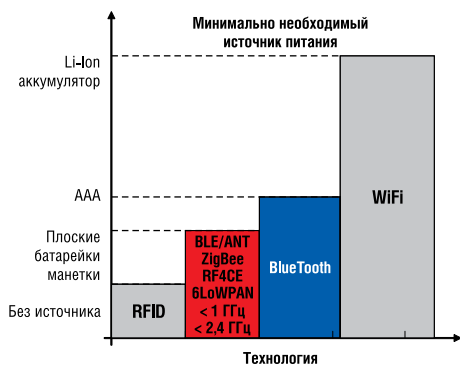


Рис. 4. Минимальные требования к источникам питания беспроводных узлов различных технологий

требления микросхем датчиков, микроконтроллеров и приемопередатчиков.

Типичный профиль энергопотребления беспроводного узла представлен на рисунке 3 (абсолютные величины приведены для устройства диапазона менее 1 ГГц; для устройств диапазона 2,4 ГГц токи потребления будут примерно в два раза выше) [2]. При этом относительный уровень потребления устройств, отличающихся по технологиям реализации, можно оценить по рисунку 4 [8].

TI предлагает несколько линеек продуктов с низким энергопотреблением для беспроводных систем со всем необходимым программным и аппаратным обеспечением, фактически избавляя разработчиков от необходимости применения специализированных протоколов для снижения энергопотребления — эта часть проблемы решается на уровне компонентов.

Выбор технологии реализации

Беспроводные решения TI позволяют реализовать любую стратегию развития продукта, выбранную разработчиком. Карта предлагаемых программных и аппаратных решений TI для различных уровней представлена в таблице 2.

В качестве программных платформ TI предлагает несколько фирменных протоколов и стандартизованных стеков протоколов [3-6].

SimpliciTI

SimpliciTI™ представляет собой несложный протокол с открытым исходным кодом для небольших беспроводных сетей с низкой интенсивностью обмена данными в диапазонах до 1 ГГц, 2,4 ГГц и диапазонах стандарта IEEE 802.15.4 [5] (рис. 5). Разработан для сетей преимущественно с автономным батарейным питанием на основе систем-на-кристалле (например, **CC430**, **CC1110/2510**) или на основе связки низкопотребляющих контроллеров серии **MSP430** и любого из приемопередатчиков, предлагаемых TI (**MSP430 + CC1XXX/CC25XX**).

SimpliciTI поддерживает все беспроводные трансиверы и системы-на-кристалле TI, а также большинство аппаратных платформ для отладки беспроводных приложений. При этом обеспечивается максимально простой пе-




Выделяют режимы работы с интенсивным рабочим циклом и с малой интенсивностью обмена. В приложениях с интенсивным рабочим циклом основная доля энергопотребления приходится на радиоинтерфейс — прием/передача пакетов, синхронизация и автоподстройка частоты. При этом в случае преобладания в трафике длинных пакетов доминирует потребление приемопередатчика, а в случае преимущественной передачи коротких пакетов на первый план выходит потребление схем инициализации радиочасти и автокалибровки частоты.

В приложениях с малой интенсивностью обмена начинают играть роль такие показатели, как наличие и эффективность режимов пониженного энергопо-

Таблица 2. Программные и аппаратные решения TI для различных уровней

Уровень / приложение	Целевая разработка	SimpliciTI	IEEE 802.15.4	RF4CE	ZigBee
Прикладной	—	—	—	—	—
Протокол высокого уровня	—	—	—	Remo TI	Z-Stack + API
Протокол нижнего уровня	—	SimpliciTI	TI MAC	TI MAC	TI MAC
Физический уровень	Любой беспроводной модуль	CC111x, CC251x, MSP430+CC1101, CC2500	CC2530, MSP430+CC2520	CC2530, CC2533	CC2530
Частотный диапазон	<1 ГГц, 2,4 ГГц	<1 ГГц, 2,4 ГГц	2,4 ГГц	2,4 ГГц	2,4 ГГц

Таблица 3. Ненаправленные антенны с одной точкой подключения диапазона 2,4 ГГц

Тип	Инвертированная F-антенна	Меандровая инвертированная F-антенна	Меандровый монополь
Внешний вид			
Эффективность	80% EB 94% SA	68% EB	76% EB 87% SA
Ширина полосы пропускания, МГц	280	101	400
Размеры, мм	26x8	15x6	39x25

ренос приложения с одного чипа на другой, например, с CC1110 на CC2510, для смены частотного диапазона.

Ключевые свойства:

- Является протоколом, разработанным TI для минимизации энергопотребления с поддержкой спящего режима узлов сети;

- Низкие системные требования: < 8 кбайт Flash-памяти и менее 1 кбайта RAM для работы в зависимости от конфигурации;

- Поддержка топологий точка-точка, звезда (с расширителями радиуса действия – до четырех промежуточных узлов);

- Легок в применении с точки зрения программиста – небольшой набор API-функций;

- Большой выбор поддерживаемых платформ.

Типовые приложения:

- Сигнализация и системы охраны (датчики проникновения, датчики света, СО-датчики, датчики разбития стекла);

- Пожарная сигнализация – датчики дыма;

- Системы учета (счетчики воды, газа, электроэнергии);

- Приложения RFID с активными метками.

TIMAC

TIMAC является свободно распространяемым программным обеспечением для приемопередатчиков и систем на кристалле TI, ориентированных на стандарт IEEE 802.15.4 [4]. Предоставляется в виде объектных кодов без авторских или патентных отчислений за его использование.

Сертифицирован как стандарт, поддерживающий IEEE 802.15.4, легок в применении. Поддерживает несколько аппаратных платформ: система-на-кристалле CC2530; MSP430F5438 + CC2520; MSP430F2618 + CC2520.

Применение TIMAC оправдано в случаях:

- Организации беспроводных сетей типа точка-точка, точка-множество точек (например, связь нескольких сенсоров с центральным узлом);

- Необходимости стандартизованного протокола;

- Использования узлов с батарейным питанием;

- Необходимости поддержки подтверждения приема или ретрансляция пакетов;

- Использования низких скоростей передачи данных (порядка 100 кбит/сек).

RemoTI

Для задач дистанционного управления устройствами Texas Instruments предлагает протокол RemoTI™, поддерживаемый соответствующими беспроводными устройствами, отвечающий спецификации ZigBee® RF4CE (рис. 6) [6].

Протокол RemoTI основывается на стандарте IEEE 802.15.4 с добавлением к нему уровня сетевого взаимодействия и набора базовых команд управления. Включает в себя: поддержку нескольких каналов; безопасные транзакции; режимы энергосбережения; простой механизм объединения устройств для совместной работы.

Z-Stack

Для организации сложных сетей TI предлагает стек протоколов Z-Stack™, один из линейки программных продуктов, ориентированных на стандарт IEEE 802.15.4 [3].

Z-Stack™ совместим со стандартами ZigBee (ZigBee и ZigBee PRO) и позволяет реализовывать функционал, заложенный в данных стандартах на платформах TI: CC2530, MSP430+CC2520, Stellaris LM3S9B96+CC2520, CC2591. Более того, Z-Stack™ поддерживает профили ZigBee – Smart Energy и Home Automation.

Основные возможности:

- Полная поддержка стандарта ZigBee PRO;

- Возможность обновления прошивки узлов сети по радиоканалу;

- Наличие набора API, уменьшающего время разработки приложения (до-

полнительно предоставляются примеры программ).

Сеть, построенная на базе Z-Stack™, обладает следующими свойствами:

- Самоорганизация сети (топология Mesh);

- Низкая стоимость установки узлов;

- Низкая стоимость узлов сети;

- Поддержка больших сетей (сотни узлов);

- Применение для приложений контроля и мониторинга систем и объектов;

- Использование стандартизованных протоколов.

Z-Stack тестировался и разрабатывался с применением компиляторов компании IAR (www.iar.com). При покупке отладочных комплектов TI пользователь получает 30-дневную ознакомительную версию IAR EW без ограничения по объему компилируемого кода. Для компиляции Z-Stack под различные платформы необходимы соответствующие версии кросс-компиляторов:

- CC2530: IAR EW8051 7.60;

- CC2520+MSP430: IAR EW MSP 5.10;

- CC2520+LM3S9B96: IAR EW ARM 5.50.5.

BLEStack

Стек протоколов TI's Bluetooth® low energy (BLE) предоставляет все необходимое программное обеспечение для разработки приложений Bluetooth® low energy на базе системы-на-кристалле CC2540 [8]. BLEStack включает в себя объектный код самого стека протоколов BLE, примеры программных проектов и приложений с исходными текстами, приложение для ПК VTools для тестирования BLE-приложений, техническую документацию, включая пособие разработчика и справочник по API-функциям BLE.

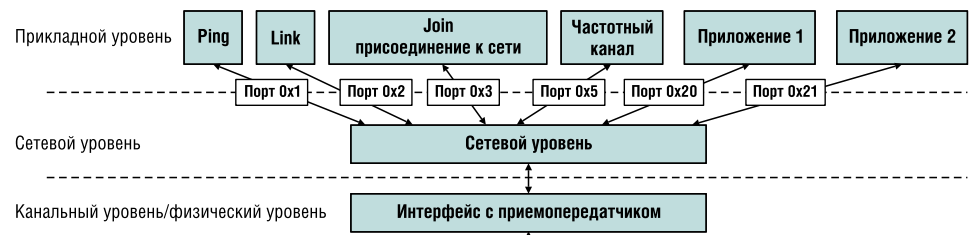


Рис. 5. Структура стека протоколов SimpliciTI

Основные возможности BLEstack:

- Отвечает требованиям спецификации Bluetooth specification version 4.0;
- Имеет режим хост-устройства, контроллера;
- Поддерживает специализированные профили устройств;
- Имеет поддержку режимов мастера и подчиненного устройства, поддержку совмещенного режима;
- Имеет небольшой объем кода;
- Обладает высокой энергоэффективностью.

Объектный код оптимизирован для CC2540; не требуется каких-либо авторских или патентных отчислений.

К областям применения можно отнести: аксессуары для мобильных телефонов; приборы для занятий спортом, отдыха, бытовые медицинские приборы; игровые консоли, интерфейсные устройства, устройства удаленного управления; возможно применение в системах безопасности.

ANT™

ANT™ предлагается как простое и недорогое энергоэффективное решение для организации простых сетей типа точка-точка, звезда [8]. Применяемая во многих приложениях технология ANT на сегодняшний день является признанной технологией для сбора, автоматической передачи и отслеживания данных датчиков при занятиях спортом, оздоровительных процедурах, мониторинге состояния здоровья в домашних условиях.

Основные области применения: спорт/фитнес; бытовая медицинская аппаратура; аксессуары для мобильных телефонов; беспроводные сенсорные сети.

PurePath™ Wireless Audio

PurePath™ Wireless Audio – уникальная технология, разработанная Texas Instruments для беспроводной передачи потокового аудио в «CD-качестве» на небольшие расстояния в диапазоне 2,4 ГГц, вылившаяся в серию однокристалльных устройств **CC85xx** [8]. Два или более устройства CC85xx составляют сеть аудиоустройств. Особое внимание было уделено вопросам поддержания непрерывной связи между устройствами в условиях различного окружения и совместимости с другими

беспроводными устройствами, работающими в диапазоне 2,4 ГГц.

Большинство приложений с использованием PurePath™ Wireless Audio могут быть реализованы без разработки ПО. CC85xx просто подключается к источнику внешнего аудио сигнала (аудио-кодек, интерфейс S/PDIF, усилитель класса D) с парой кнопок или светодиодов в качестве интерфейса с пользователем. В более сложных случаях возможно подключение внешнего хост-процессора или DSP для прямого управления аудио-потокком или для контроля сетевых операций.

Преимущества данной технологии:

- Сниженная стоимость разработки;
- Удвоенное время работы по сравнению с обычными решениями (порядка 22 часов с батареей емкостью 465 мА·ч);
- Хорошо подходит для высококачественных аудио-устройств.

Для настройки функциональности и обновления прошивки используется ПК-приложение **PurePath Wireless Configurator**. Все устройства семейства CC85xx напрямую могут взаимодействовать с расширителем диапазона **CC2590** для более широкого охвата территории и повышения надежности связи.

Встроенный протокол передачи аудио использует несколько технологий для обеспечения нужного качества передачи данных и совместимости с другими устройствами:

- Адаптивная схема переключения частот;
- Коррекция ошибок передачи;
- Буферизация и ретрансляция данных;
- Маскировка ошибок;
- Эффективные алгоритмы сжатия;
- Скорость передачи данных 5 Мбит/с;
- Выходная мощность до 4 дБм;
- Чувствительность -83 дБм;
- Несжатый канал CD-качества (44,1/48 кГц, 16/24 бит);
- Задержка аудиосигнала менее 20 мс.

Некоторые интерфейсные функции CC85xx, например, управление питанием, выбор аудиоканала, управление уровнем, могут быть отображены на линии ввода-вывода.

Приложения: беспроводные наушники, гарнитуры; беспроводные микро-

фоны; замена кабеля; беспроводной домашний кинотеатр.

6LoWPAN

6LoWPAN – это открытый стандарт IETF (*Internet Engineering Task Force*) (RFC 4944), определяющий реализацию протокола IPv6 поверх маломощных недорогих беспроводных сетей [8].

Технология 6LoWPAN обеспечивает поддержку адресов IPv6 для всех узлов беспроводной сети с поддержкой ячеистой технологии для организации масштабируемых сетей, поддержкой маршрутизации и самовосстановления в случае выхода каких-либо узлов из сети. 6LoWPAN может поддерживать несколько физических уровней (PHY), в частности поддиапазон до 1 ГГц и диапазон 2,4 ГГц, работая поверх протоколов стандарта IEEE 802.15.4.

Решение TI для 6LoWPAN основывается на аппаратуре TI и программном обеспечении Sensinode Ltd – одного из лидеров в области программных продуктов для 6LoWPAN.

В качестве аппаратных платформ для 6LoWPAN TI предлагается приемопередатчик CC1110 и система-на-кристалле CC430.

Выбор частотного диапазона

Для обмена данными во всем мире предоставляются нелицензируемые радиочастотные диапазоны. В РФ на основании Решения Государственной комиссии по радиочастотам (ГКРЧ) № 08-24-01-001 от 28.04.2008 и № 07-20-03-001 от 07.05.2007 для этих целей выделены частотные диапазоны 433.075...434,750 МГц и 868,7...869,2 МГц, 2,45 ГГц. Эти частоты могут использоваться без оформления специального разрешения ГКРЧ и совершенно бесплатно при условии соблюдения требований по ширине полосы, излучаемой мощности (до 10 мВт в районе частоты 434 МГц и до 25 мВт в районе частоты 868 МГц, до 100 мВт в диапазоне 2,4 ГГц) и назначению радиопередающего изделия.

Помимо законодательных критериев, при выборе частотного диапазона следует учитывать и технические факторы.

Для диапазона 2,400...2,4835 ГГц доступны большее количество частотных каналов, более высокие скорости передачи, возможен непрерывный режим работы (для радиочасти), более компактные антенны. С другой стороны, устойчивая работа реализуется на более коротких расстояниях, возрастает влияние различных помех (интерференционные, многолучевое распространение, препятствия) [2].

Для частот менее 1 ГГц разрешенные частотные диапазоны в различных странах могут отличаться, и не всегда возможно использовать одну и ту же элементную базу. Также не везде раз-



Рис. 6. Структура стека протоколов RemoTI

Таблица 4. Дифференциальные антенны диапазона 2,4 ГГц

Тип	Петлевой диполь для CC25xx	Петлевой диполь для CC24xx
Внешний вид		
Эффективность, % EB	80	80
Ширина полосы пропускания, МГц	100	80
Размеры, мм	26x8	15x6

решена непрерывная активность радиоустройства. Преимущества касаются лучшей дальности устойчивой работы по сравнению с частотами 2,4 ГГц диапазона при одинаковой выходной мощности передатчика, уменьшения влияния препятствий на прохождение сигнала (особенно актуально для работы внутри зданий и офисных помещений).

Оценка времени и ресурсов на разработку

На данный момент существуют два пути реализации аппаратных решений для беспроводных приложений.

Первый путь заключается в разработке собственной платы устройства с учетом рекомендаций и схем включения элементов.

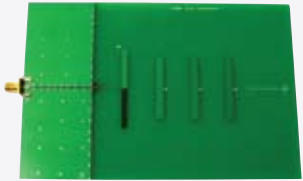
Типичный перечень элементов включает в себя:

- Микросхему беспроводного приемопередатчика и микроконтроллер или однокристальное устройство;
- Компоненты радиотракта — антенна (печатная/чип/внешняя), разъемы для подключения внешней антенны, пассивные компоненты для согласования антенны и входа приемопередатчика, в некоторых случаях — антенный усилитель;
- Стабилизатор питания или батареи питания.

Второй путь заключается в использовании готовых модулей и микросборок, интегрирующих на платах для поверхностного или мезонинного монтажа все элементы радиотракта, включая приемопередающие элементы.

В случае использования фирменных беспроводных модулей разработчик получает возможность сократить время выхода конечного продукта на рынок,

Таблица 5. Направленные антенны диапазона 2,4 ГГц

Тип	Антенна Удо-Йаги
Внешний вид	
Эффективность, % SA	72
Ширина полосы пропускания, МГц	497
Размеры, мм	150x100

избавиться от разработки топологии печатной платы для высокочастотной части, т.к. все компоненты радиотракта согласованы между собой, и весь модуль в целом имеет согласованные параметры по температурному диапазону, мощности радиосигнала и др.

При небольших партиях изделий использование готовых модулей приводит к сокращению затрат на единицу продукции. При крупносерийном производстве выгодно использовать не готовый модуль, а собственное решение.

Разработка беспроводного решения включает в себя изучение документации на выбранные электронные компоненты, разработку антенны, печатной платы и программного обеспечения.

Примером пространства для выбора аппаратной платформы Texas Instruments может служить рисунок 7 [2, 8].

Антенные решения TI

Важным элементом любой беспроводной системы или узла сети является антенна. Все характеристики антенн приводятся относительно изотропной — теоретической модели, излучающей одинаково во всех направлениях. В мало-

мощных беспроводных системах чаще всего используются дипольные или штыревые антенны [9].

По типу подключения выделяют две разновидности антенн: антенны с одной точкой подключения и дифференциальные антенны (рис. 8).




Антенны с одной точкой подключения:

- Обычно имеют сопротивление 50 Ом;
- Требуют пассивной схемы согласования для подключения к некоторым типам микросхем;
- Легко анализируются при помощи сетевых анализаторов;
- Легко можно достичь высокой производительности.

Дифференциальные антенны:

- Напрямую подключаются к дифференциальным выходам микросхем;
- Позволяют уменьшить число внешних компонентов;
- Для достижения нужных показателей в некоторых случаях необходима симуляция работы;
- Трудноизмеримый импеданс;
- Возможно достижение производительности, сравнимой с антеннами с одной точкой подключения.

Таблица 6. Печатные антенны диапазона 868/915/955 МГц

Тип	Меандровый монополяр	Меандровая инвертированная F-антенна	Нагруженная штыревая антенна
Внешний вид			
Эффективность	64% EB 91% SA	80% EB	64% EB
Ширина полосы пропускания, МГц	46	40	56
Размеры, мм	39 x 25	43 x 20	48 x 8

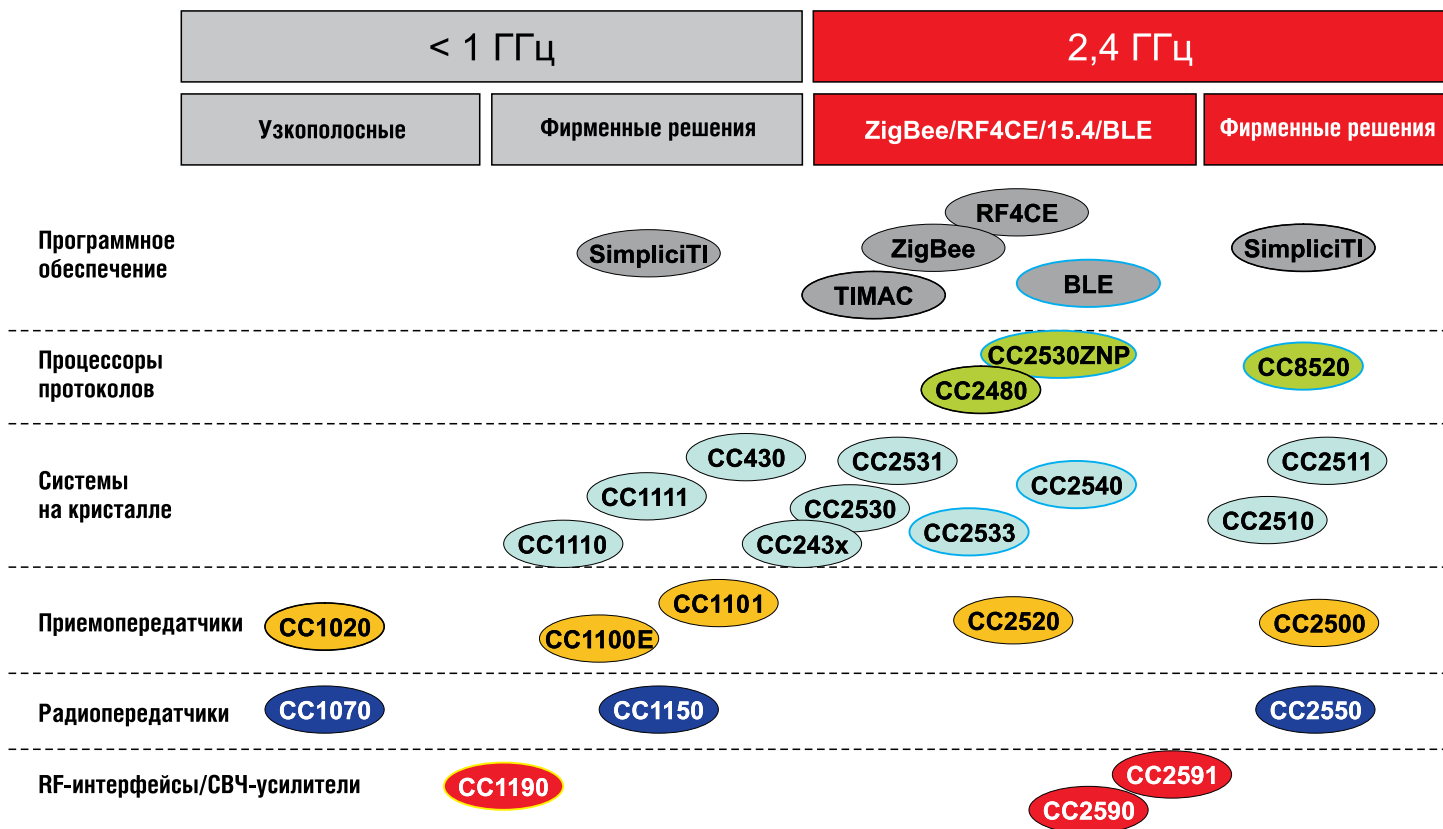


Рис. 7. Спектр аппаратных решений TI

По способу физической реализации выделяют: печатные, штыревые и чип-антенны.

Печатные антенны:

- Не повышают стоимость решения;
- Требуют больше пространства на печатной плате;
- Имеют значительные размеры на низких частотах;
- Имеют широкий диапазон;
- Для реализации необходимо специализированное ПО.

Штыревые антенны:

- Наилучшее совпадение реальных характеристик с теоретическими;
- Меньшее влияние размера антенны на размеры конечного устройства.

Чип-антенны:

- Менее дорогие;
- Меньший диапазон.

Texas Instruments предлагает несколько решений для реализации печатных антенн с рабочими размерами, РСВ-файлами и рекомендациями по применению [7-9].

В качестве средств разработчика предлагается набор антенн CC-Antenna-DK, содержащий 13 разнотипных антенн (диапазоны от 136 МГц до 2,48 ГГц).

Краткие сведения о печатных антеннах, предлагаемых TI для различных диапазонов представлены ниже (таблицы 3-6).

Также для диапазона 868/915/955 МГц применяются спиральные и чип-антенны, каждая из которых обладает своими преимуществами. Спиральные антенны достаточно просты в изготовлении, а чип-антенны имеют весьма компактные размеры.

Для более длинноволновых диапазонов (315 МГц) применяются в основном спиральные антенны, но существуют и чип-решения.

Рекомендованный TI путь выбора антенны состоит из нескольких шагов (рис. 9): обзор возможных решений на основе краткого справочника и более полной технической информации; изучение характеристик антенн (диаграмма направленности, влияние окружения); полевые испытания; изучение технических чертежей, шаблонов антенн, технологии их реализации и особенностей размещения на печатной плате и рекомендаций по конфигурации печатной платы [9].

Рекомендации по топологии печатной платы

При создании печатной платы для беспроводного узла принято следовать определенным рекомендациям, позволяющим получить хорошее решение без проведения большой вычислительной работы по моделированию поведения платы в условиях высокочастотных сигналов.

Необходимо стремиться к снижению индуктивности переходов и межслойных соединений – обычно это сводится к увеличению размеров переходных отверстий или созданию большого количества параллельных рядом лежащих переходов.

Размеры земли верхнего слоя должны быть как можно больше, это касает-

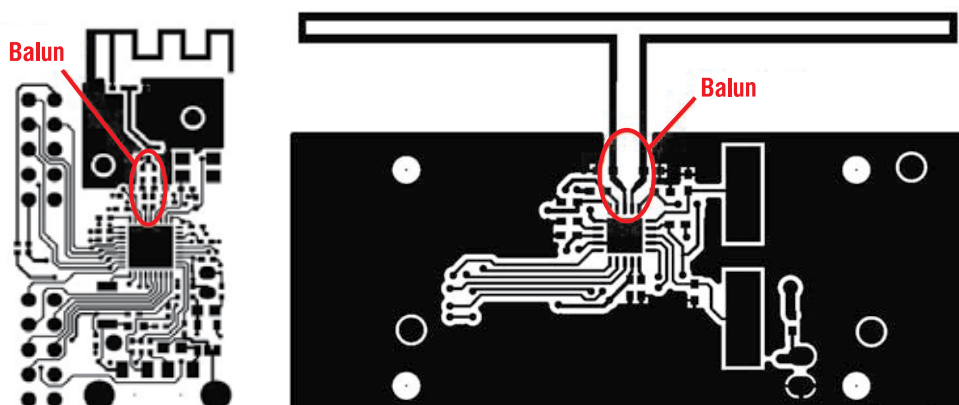


Рис. 8. Способы подключения антенн к беспроводным модулям

ся и нижнего слоя. Количество возвратных линий токов для цифровых линий и линий радиосигналов должно быть одинаковым, чтобы снизить влияние импульсных токов цифровой части схемы на аналоговую радиочасть. Предпочтительными являются более компактные линии с радиосигналами и компактным расположением, но при сохранении достаточной степени электромагнитной изоляции между ними.

Слой медного покрытия сохраняется для использования в качестве нулевого (земли), следует избегать разрывов в слоях заземления (в ряде случаев они могут работать, как щелевые антенны). Соединения до источников питания минимизируются. Предпочтительнее использовать компоненты поверхностного монтажа типа **SMT 402**, поскольку они имеют меньшую паразитную емкость и более высокие резонансные частоты, а также независимые линии отрицательного питания (общего провода) для всех компонентов устройства (особенно для радиочасти и цифровых микросхем), при этом надо избегать образования петель. Для повышения частоты собственного резонанса схемы (в идеале — выше, чем основная частота сигналов) сигнальные линии и расстояния между компонентами должны быть больше 0,012 дюйма (0,3 мм), а размеры переходных отверстий — более 0,0145 дюйма (0,37 мм) при расстоянии между ними более 5,2 от их диаметра.

Длина линии схемы, по возможности, должна быть менее 1/4 длины вол-

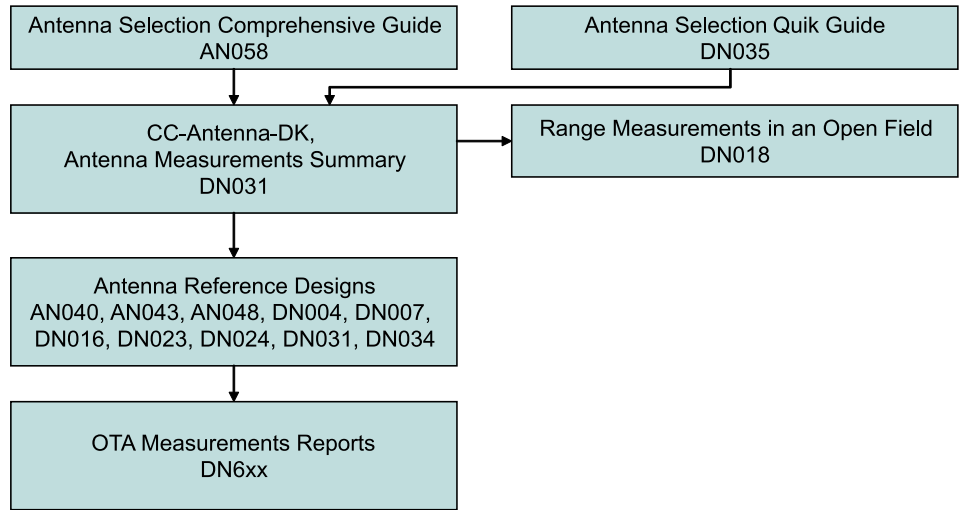


Рис. 9. Документационное обеспечение TI при выборе антенны

ны. Геометрия линий не должна содержать прямых узлов и острых изгибов.

При самостоятельной разработке узлов рекомендуется следовать типовой конфигурации печатной платы (приводимой в специализированных руководствах или в документации на микросхемы), особенно в радиочасти — антенна, развязывающие конденсаторы, печатная антенна, обвязка частотных генераторов.

Средства разработки

Средства разработки, предлагаемые TI, включают набор аппаратных и программных средств — отладочные модули, отладочные платы, средства разра-

ботки. Отладочные модули — небольшие платы, содержащие только беспроводную микросхему, необходимую обвязку и разъемы для подключения питания, периферийных узлов, антенны.

Отладочные платы имеют разъемы для подключения отладочных модулей и являются платформой для тестирования работы беспроводных элементов и отладки программного обеспечения.

Средства разработки позволяют подключать отладочные платы к персональному компьютеру для тестирования работы как аппаратной, так и программной частей сетевых приложений.

Для тестирования и отладки сетевого приложения предлагается несколько

Таблица 7. Аппаратные средства разработки

Устройство	Описание	Отладочные модули	Отладочные комплекты
CC1020 CC1070	Узкополосный приемопередатчик	CC1020-CC1070DK433 CC1020-CC1070DK868	CC1020EMK433 / CC1020EMK868 / CC1070EMK433 / CC1070EMK868
CC1101	Приемопередатчик <1 ГГц	CC1101DK433 CC1101DK868	CC1101EMK433 / CC1101EMK868
CC1110 CC1111	МК 8051 + <1 ГГц приемопередатчик МК 8051 + <1 ГГц приемопередатчик + USB	CC1110-CC1111DK CC1110DK-MINI-868	CC1110EMK433 / CC1110EMK868 / CC1111EMK868
CC2500	Приемопередатчик диапазона 2,4 ГГц	CC2500-CC2550DK	CC2500EMK
CC2510 CC2511	МК 8051 + 2,4 ГГц приемопередатчик	CC2510-CC2511DK CC2510DK-MINI	CC2510EMK / CC2511EMK
CC2520	IEEE 802.15.4 совместимый приемопередатчик	CC2520DK	CC2520EMK
CC2530 CC2531	МК 8051 + IEEE 802.15.4 совместимый приемопередатчик МК 8051 + IEEE 802.15.4 совместимый приемопередатчик + USB	CC2530DK CC2530ZDK RemoTI-CC2530DK	CC2530EMK CC2531EMK
CC1190	Маломощный СВЧ-усилитель	—	CC1190EMK-915
CC2591	Маломощный СВЧ-усилитель	—	CC2591EMK, CC2430-CC2591EMK CC2520-CC2591EMK, CC2530- CC2591EMK
CC2590	Маломощный СВЧ-усилитель	—	CC2590EMK, CC2430-CC2590EMK
CC2560-PAN1325	Bluetooth v2.1 + EDR-приемопередатчик	—	PAN1315
CC2567-PAN1327	Bluetooth v2.1 + EDR и ANT двухрежимный приемопередатчик	CC2567-PAN1327ANT-BTkit	—
CC85xx	PurePath Wireless Audio	CC85xxDK CC85xxDK-MINI	—

видов наборов аппаратных средств [8] (таблица 7).

Наборы разработчика содержат все необходимое аппаратное обеспечение для начала разработки. Как правило, они состоят из двух отладочных плат, двух отладочных модулей, антенн и кабелей.

Мини-наборы разработчика содержат необходимое оборудование для разработки небольших демонстрационных приложений.

Наборы отладочных модулей содержат два беспроводных модуля и антенны, могут быть использованы для расширения возможностей других отладочных комплектов.

USB-устройства – небольшие отладочные платы, имеющие возможность подключения к USB-портам ПК, содержащие чип- или печатную антенну. Чаще всего строятся на базе систем-на-кристалле.

Наборы ZigBee – ZigBee Development Kit (ZDK) – имеют все возможности отладочных наборов, но содержат дополнительные беспроводные узлы для обеспечения тестирования ячеистых сетей ZigBee. В данных наборах узлы имеют предустановленное тестовое приложение.

Программные средства разработки

Кроме стеков протоколов TI предоставляет ряд программных инструментов разработчика, предназначенных для конфигурирования устройств, анализа их работоспособности, а также наборы программных библиотек для встроенных микроконтроллеров [11-14].

SmartRF™ Studio – приложение для ПК, позволяющее пользователю выставить необходимые настройки для выбранного устройства: частота передачи данных, канал, скорость передачи, выходная мощность и ряд других. При подключении отладочных модулей возможна удаленная установка параметров. Кроме этого приложение предоставляет простые инструменты тестирования беспроводного канала – проверку возможности приема-передачи данных, пакетов, измерение качества канала связи (количество ошибок связи).

SmartRF™ Packet Sniffer – анализатор пакетов для стандартных и фирменных сетевых протоколов: SimpliciTI, TIMAC, ZigBee, RemoTI. Работает совместно с любыми беспроводными модулями и отладочными платами TI, позволяет прослушивать сеть на выбранной частоте и частотном канале. Имеет графический интерфейс для облегчения разбора и анализа пакетов.

SmartRF Flash Programmer используется для обновления прошивки от-

ладочных модулей, программирования Flash-памяти систем-на-кристалле.

Примеры библиотек – содержат основные функции, необходимые для осуществления сетевого взаимодействия между узлами сети.

USB Libraries – библиотеки, реализующие USB-интерфейс для систем-на-кристалле и модулей (CC2511, CC1111, CC2531).

MSP430 Code Library – библиотека программ и функций для МК MSP430 для систем-на-кристалле серий CC1100/2500.

PurePath™ Wireless Configurator – приложение для ПК с графическим интерфейсом для настройки параметров CC85xx.

Заключение

Texas Instruments предлагает широкий спектр беспроводных продуктов для самых различных областей применения:

- Охранно-пожарные системы;
- Дистанционное управление;
- Беспроводные аудио системы;
- Бытовые медицинские приборы;
- Периферийные устройства (HID);
- Системы домашней автоматизации, управления освещением;
- Системы сбора данных и др.

Одна из ключевых особенностей политики компании – всесторонняя поддержка разработчика: документация, свободные средства настройки и тестирования, форумы разработчиков.

Литература

1. Tor-Inge Kvaksrud. Range Measurements in an Open Field Environment. <http://focus.ti.com/lit/an/swra169a/swra169a.pdf>
2. TI Low Power RF. Designer's Guide to LPRF <http://focus.ti.com/lit/sg/slya020a/slya020a.pdf>
3. Z-Stack – ZigBee Protocol Stack – Z-STACK – TI Software Folder http://focus.ti.com/docs/toolsw/folders/print/z-stack.html?DCMP=HPA_

RFIC_General&HQS=Other+OT+z-stack

4. IEEE802_15_4 Medium Access control (MAC) software stack – TIMAC – TI Software Folder http://focus.ti.com/docs/toolsw/folders/print/timac.html?DCMP=HPA_RFIC_General&HQS=Other+OT+timac

5. SimpliciTI™ – RF software protocol http://www.ti.com/corp/docs/landing/simpliciTI/index.htm?DCMP=hpa_rf_general&HQS=NotApplicable+OT+simplici

6. ZigBee RF4CE – Change Infrared to RF with RemoTI™ from Texas Instruments http://www.ti.com/corp/docs/landing/RF4CE/index.htm?DCMP=hpa_rfi_rf4ce&HQS=Other+OT+rf4ce

7. Siri Johnsrud. Porting SimpliciTI to the SmartRF CCxx10 Target Board. DN118 – <http://focus.ti.com/lit/an/swra311/swra311.pdf>

8. Wireless Connectivity Guide. <http://focus.ti.com/lit/sg/slab056/slab056.pdf>

9. Richard Wallace. Antenna Selection Guide. <http://focus.ti.com/lit/an/swra161b/swra161b.pdf>

10. Low Power Wireless RF Solutions, ZigBee, RFID, RF-IF – TI.com. www.ti.com/lpw

11. SmartRF Studio – SMARTRF™ STUDIO – TI Tool Folder. www.ti.com/smartrfstudio

12. SmartRF Protocol Packet Sniffer – PACKET-SNIFFER – TI Tool Folder. www.ti.com/packetsniffer

13. Software for CC1100-CC2500 and MSP430 – Examples and Function Library. www.ti.com/ccmsplib

14. PurePath Wireless Configurator – PUREPATH-WL-CFG – TI Tool Folder. www.ti.com/ppwc

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

TEXAS INSTRUMENTS

**Отладочный набор
CC2530ZDK-ZNP-MINI**

Быстрый старт сети ZigBee

Михаил Чигарев (КОМПЭЛ)

БЕСПРОВОДНОЕ УПРАВЛЕНИЕ LED-ОСВЕЩЕНИЕМ? – ПРОСТОЕ РЕШЕНИЕ НА CC1110 И CC2510



Радиочастотные системы на кристалле CC1110 и CC2510 давно известны на российском рынке. Сочетание великолепных характеристик радиотракта, распространенного микроконтроллерного ядра 8051 и невысокой стоимости делает их весьма привлекательными для применения в дистанционном управлении светодиодным освещением посредством радиоканала. Статья – практическое руководство по реализации такого управления.

Единственным отличием **CC1110** от **CC2510** является то, что в **CC1110** используется радиочастотный приемопередатчик диапазона до 1 ГГц (для России используются безлицензионные диапазоны 433 или 866 МГц), а в **CC2510** – диапазона 2,4 ГГц (также не требующий лицензирования). Первый вопрос, который встает перед разработчиком при выборе того или иного радиочастотного решения – какой диапазон использовать. Оптимальной с точки зрения дальности и качества связи системой является **CC1110**, настроенная на работу в диапазоне 868 МГц. Теоретически, большую дальность связи можно получить и на 433 МГц, но этот частотный диапазон слишком активно используется для самых различных применений – от автосигнализаций до пожарно-охранных систем, и здесь встает вопрос об обеспечении более высокой помехоустойчивости. Основные преимущества использования **CC2510** и диапазона 2,4 ГГц – возможность передачи более широкополосных сигналов и более компактные размеры антенны, соответственно. Для задач дистанционного управления передача широкополосных сигналов не является приоритетом, а вот компактные размеры антенны могут пригодиться в ряде применений.

Тем не менее, перенос кода с **CC1110** на **CC2510** или обратно не составляет каких-либо проблем, поэтому всегда можно перейти с одной системы на другую. В данной статье будем отталкиваться от максимальной дальности связи, и основной упор сделаем на **CC1110**; в любом случае, исходные проекты доступны как для **CC1110**, так и для **CC2510**.

Краткий обзор CC1110

CC1110 – это совмещенные на одном кристалле радиочастотный приемопередатчик и микроконтроллер с усовершенствованным ядром 8051 (однотактное выполнение инструкций), а также с необходимым для решения различного рода задач набором периферийных модулей. Версия **CC1110** с поддержкой интерфейса **USB2.0 Full Speed** называется **CC1111** (аналогично для **CC2510** – **CC2511**). Основные составляющие системы на кристалле **CC1110** представлены на рисунке 1.

По своему функционалу **CC1110** – весьма оптимизированное решение. На-

личие встроенной Flash-памяти объемом до 32 кбайт позволяет использовать встроенный микроконтроллер как для обеспечения беспроводного протокола, так и для решения пользовательских задач с использованием периферийных модулей. Наличие интерфейсов **I²S**, **UART** и **SPI** позволяет организовать беспроводной последовательный канал передачи данных, а с помощью 8-канального АЦП можно реализовать подключение датчиков, кнопок, потенциометров и т.п. Наличие аппаратного модуля шифрования **AES128** упрощает задачу кодирования передаваемых данных. Помимо перечисленных периферийных модулей также доступны: 19 линий ввода/вывода (**GPIO**), сторожевой таймер, генератор случайных чисел, пять таймеров общего назначения.

Следует отметить, что данная микросхема сбалансирована по энергопотреблению.

Что касается радиочасти, то она представляет собой интегрированный и также хорошо известный приемопе-

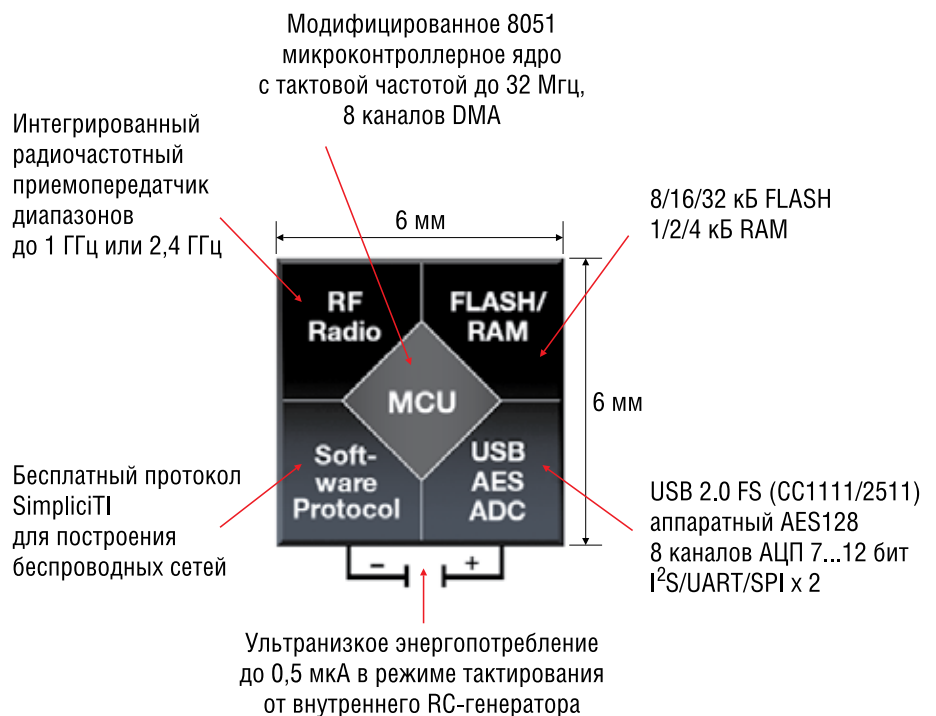


Рис. 1. Система на кристалле **CC1110/1111/2510/2511**

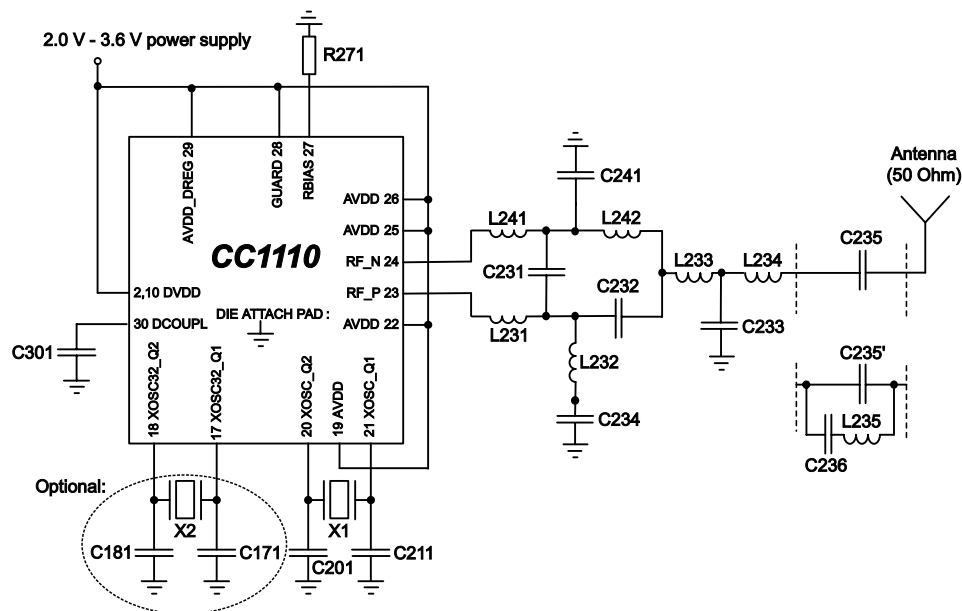


Рис. 2. Упрощенная схема включения CC1110

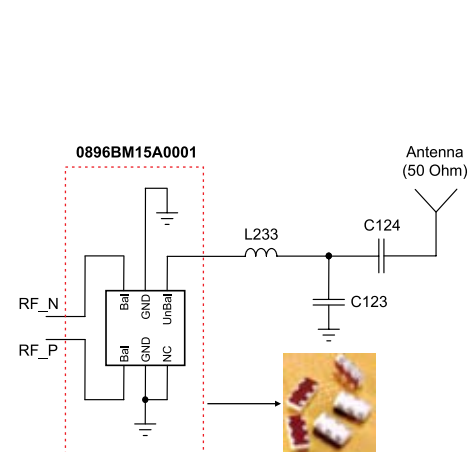


Рис. 3. Схема согласования CC1110 с помощью 0896BM15A0001

редатчик CC1101 (CC2500 в микросхеме CC2510), который аппаратно поддерживает пакетную передачу данных, а также автоматическое CRC-кодирование/декодирование. При проектировании платы, особенно при разводке радиочасти, следует ориентироваться на так называемые «стандарт-

ные разработки» (*reference designs*), предлагаемые Texas Instruments. Например, для работы CC1110 на частоте 868 МГц следует воспользоваться примером **CC1110EM868-915_REFDES**, который доступен по ссылке http://focus.ti.com/docs/toolsw/folders/print/cc1110em868-915_refdes.html

и содержит схему, разводку платы, гербер-файлы и перечень компонентов. Упрощенная схема включения CC1110 показана на рисунке 2. Для разработчиков, которых смущает количество пассивных компонентов цепочки согласования, компания Johanson Technology предлагает готовый согласующий трансформатор (balun) **0896BM15A0001**, значительно упрощающий схему (рисунок 3).

Поскольку мы обсуждаем применение CC1110 в светодиодном приложении, необходимо заметить, что следует внимательно относиться к выбору высокочастотного кварцевого резонатора с точки зрения температурной стабильности. При установке одной части радиосистемы внутри светильника кварцевый резонатор будет нагреваться от светодиодов и источника питания. Если это уличный светильник, то в выключенном состоянии зимой кварцевый резонатор будет охлаждаться до минусовых температур. Все это приводит к тому, что резонаторы, установленные в управляющей части и светильнике, находятся в разных температурных условиях. В свою очередь это приводит к разному уходу частоты гетеродина, а следовательно к ухудшению чувствительности приемника и уменьшению дальности связи. Поэтому не стоит экономить на кварцевом резонаторе.

Бесплатный беспроводной протокол SimpliCI

Для решения задачи построения беспроводной сети Texas Instruments предлагает бесплатный протокол **SimpliCI**. Он поддерживает абсолютно все беспроводные решения компании и позволяет реализовать структуру сети, подобную показанной на рисунке 4. Скачать

- Точка доступа
- Расширитель дальности
- Конечное устройство
- Примеры передаваемых сообщений
- Обмен сообщениями между равноправными устройствами
- Сообщение к точке доступа
- Ретранслированное сообщение расширителями дальности

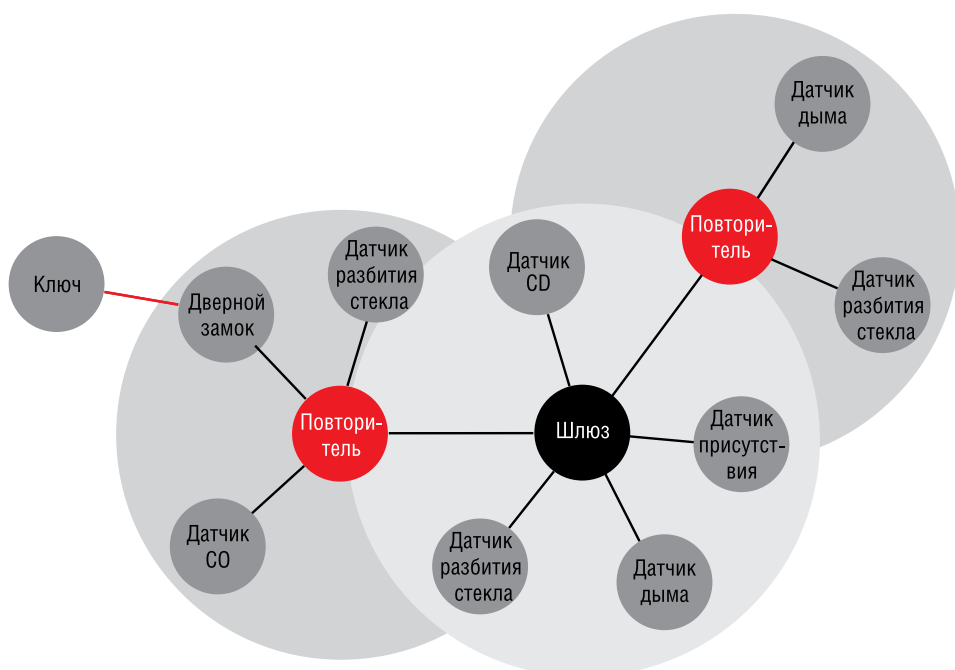


Рис. 4. Структура сети SimpliCI

SimpliciTI можно на сайте TI по ссылке www.ti.com/simpliciti. Протокол доступен для сред разработки: IAR EW для ядер 8051 и MSP430, Code Composer Studio для MSP430.

Для быстрого старта в состав пакета включены готовые приложения (проекты), в которых реализованы примеры связи базовых узлов сети (точек доступа, ретрансляторов и конечных устройств). Для понимания работы этих приложений и сети в целом следует ознакомиться с документом под названием «SimpliciTI Sample Application User's Guide», который можно найти в папке установки SimpliciTI, например, C:\Texas Instruments\SimpliciTI-IAR-1.1.1\Documents. Разумеется, на базе этих приложений можно создать собственную сеть, именно так и построено приложение для управления светодиодным светильником, описанное ниже.

Следует отметить, что в Texas Instruments постарались максимально упростить для разработчиков работу непосредственно с радиочастотным передатчиком. Для простого конфигурирования радиочасти (или изменения конфигурации в готовом проекте) TI предлагает программное обеспечение **SmartRF Studio** (рисунок 5) — www.ti.com/smartrf. Эта программа позволяет с помощью простого и понятного графического интерфейса сконфигурировать регистры передатчика и экспортировать, например, ассемблерный код, который можно использовать в своем проекте. Для протокола SimpliciTI есть более удобный вариант — экспорт заголовочного (*.h) файла, который достаточно вставить в готовую программу. Подробно процесс экспортирования конфигурации для SimpliciTI описан в Application Note AN093 «Modifying Radio Register Parameters for SimpliciTI Applications» <http://focus.ti.com/lit/an/swra352/swra352.pdf>.

Реализация беспроводного управления LED-светильником

Для реализации беспроводного управления светодиодным светильником потребуются:

- Среда разработки IAR Embedded Workbench® for 8051 — 30-дневная пробная версия, которая доступна по ссылке <http://iar.com/webseite1/1.0.1.0/244/1>;

- Готовые проекты для беспроводного управления LED-светильником на базе CC1110/2510 <http://focus.ti.com/lit/an/swra305/swra305.zip>;

- Руководство пользователя (Application Note AN080) для проектов управления LED-светильником <http://focus.ti.com/lit/an/swra305/swra305.pdf>;

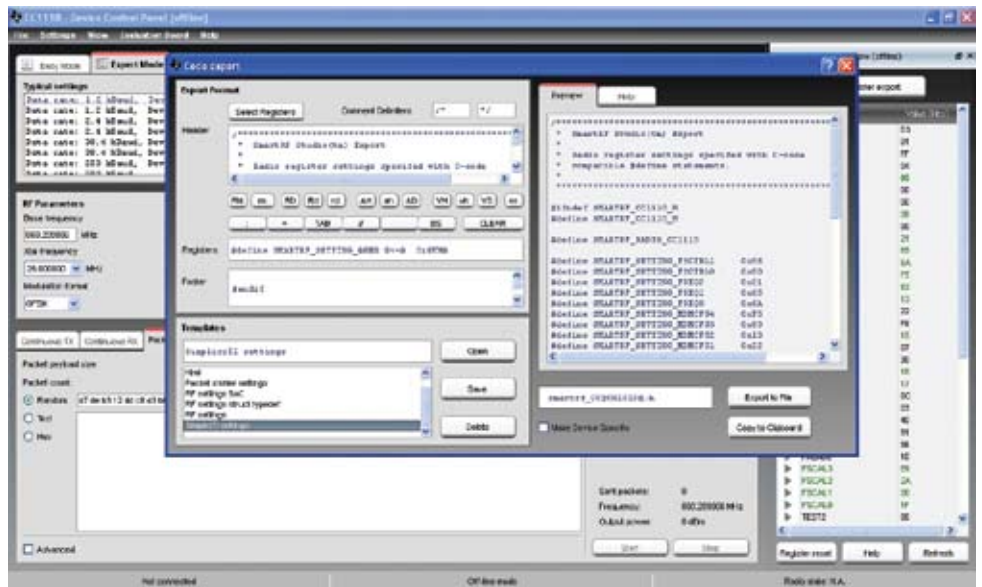


Рис. 5. SmartRF Studio 7

- Описание отладочной платы TPS40211EVM-352 <http://focus.ti.com/lit/ug/sluiu351/sluiu351.pdf>;

- Описание отладочного набора CC1110-CC1111DK <http://focus.ti.com/lit/ug/swru134a/swru134a.pdf>;

- Описание отладочного набора CC1110DK-MINI-868 <http://focus.ti.com/lit/ug/swru236a/swru236a.pdf>.

Исходные проекты предназначены для использования совместно с отладочным набором **CC1110-CC1111DK** (рисунок 6). В качестве источника питания светодиодов, которым предстоит управлять, предлагается использовать отладочную плату **TPS40211EVM-352** (рисунок 7).

TPS40211EVM-352 представляет собой повышающий DC/DC-драйвер светодиодов с диапазоном входного напряжения 8...18 В и выходным током 700 мА при выходном напряжении 20...35 В. На этой отладочной плате реализован вход для ШИМ-димминга, который и предполагается использовать в качестве управляющего.

Выбор отладочной платы источника питания является вполне оптимальным для нашего проекта. А вот отладочный набор для беспроводных модулей получается излишне функциональным и дорогим. При желании можно использовать для реализации этого проекта другой набор. В большинстве случаев

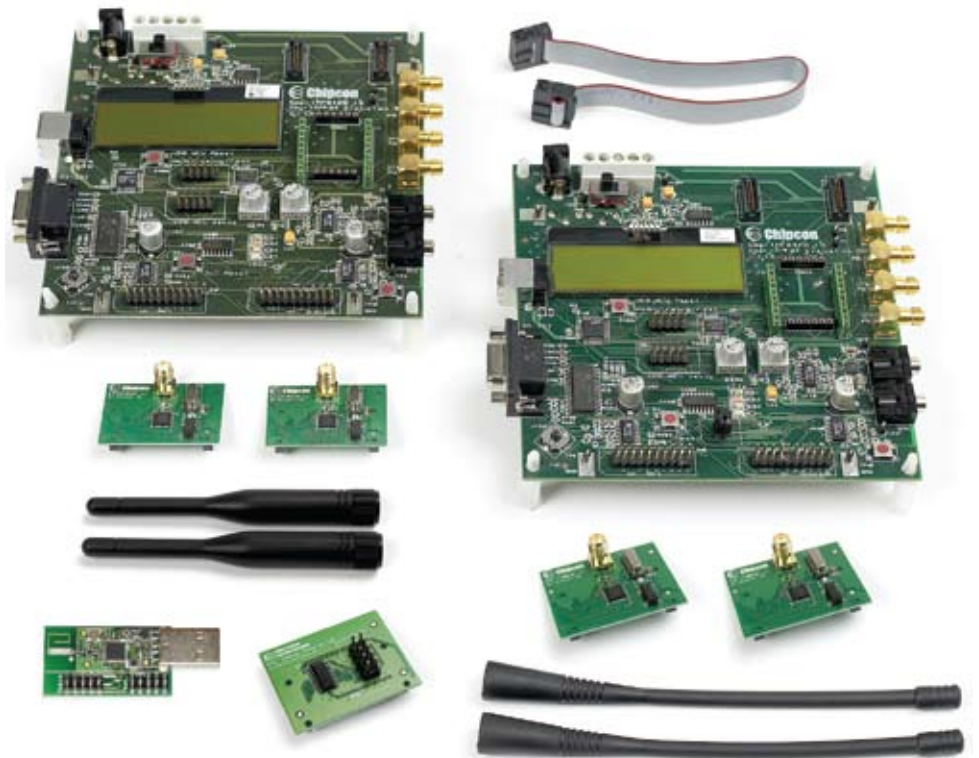


Рис. 6. Отладочный набор CC1110-CC1111DK

оптимальным выбором для старта проекта на базе CC1110 является отладочный набор **CC1110DK-MINI-868** (рисунок 8). В состав этого набора входят две отладочные платы, на которых установлены две кнопки, два светодиода, контактные площадки, на которые выведены порты ввода/вывода CC1110, и отсек для батареек. Также в состав этого набора входит программатор-эмулятор **CC-DEBUGGER** для всех беспроводных систем на кристалле от TI с ядром 8051.

Следует учесть, что при использовании готового проекта на наборе CC1110DK-MINI-868 необходимо произвести некоторые доработки. В частности, подключить одну плату к TPS40211EVM-352 согласно схеме на странице 9 описания AN080. Ко второй плате подключить кнопку и джойстик согласно схеме на странице 29 описания отладочного набора CC1110-CC1111DK. Сигнал от джойстика поступает на вход АЦП CC1110, вывод порта P0.6; кнопка подключена к P0.1. В любом случае, выбрать ли готовый, но излишне функциональный набор или самому собрать схему из кнопок, пары операционных усилителей, пассивных компонентов и подключить ее к CC1110DK-MINI-868 – решать вам.

Для открытия рабочего пространства (*workspace*) IAR со всеми исходными проектами следует распаковать архив swra305.zip, например, на диск C. Запускаем IAR Embedded Workbench и открываем готовый «workspace» следующим образом: File/Open/Workspace... Путь к необходимому файлу «led_lighting.eww» в случае распаковки архива на диск C – «C:\LED_lighting\ide». При открытии файла в рабочую область IAR загружаются четыре проекта (рисунок 9). «Led – led_cc1110» и «Led – led_2510» – проекты для платы, управляющей источником питания для CC1110 и CC2510, соответственно. «Remote – srf04_cc1110» и «Remote – srf04_cc2510» – проекты для «дистанционного пульта».

Для прошивки готового проекта в целевое устройство следует выбрать в выпадающем меню активный проект, скомпилировать его (Project/Rebuild All) и запустить на отладку (Project/Download & Debug). Соответственно, для целевого устройства выбираем в качестве активного проект «Led» и компилируем/прошиваем, для дистанционного пульта с джойстиком и кнопкой – «Remote».

Проект для «пульта дистанционного управления» сделан на базе примера «Peer-to-Peer» LinkTo протокола SimpliciTI (основной файл: «peer applications → application → main_LinkTo_Remote.c»). Вначале инициализируется BSP (Board Support Package), то есть работа с периферией, необходимой для конкретной отладочной пла-

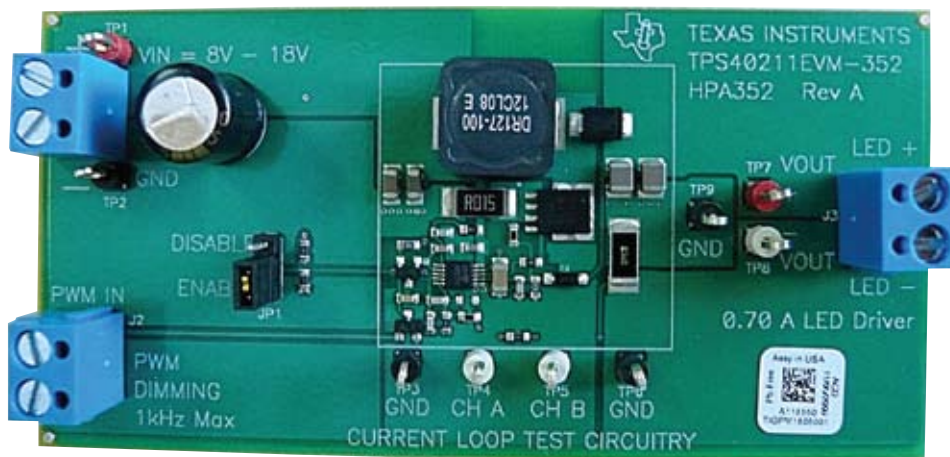


Рис. 7. Отладочная плата TPS40211EVM-352



Рис. 8. Отладочный набор CC1110DK-MINI-868

ты (джойстик, кнопки). Реализация с джойстиком находится в файле «bsp_extended.c». Затем инициализируется стек SimpliciTI.

Проект для платы управления источником питания сделан на базе «Peer-to-Peer» LinkListen примера SimpliciTI (основной файл: «peer applications → application → main_LinkListen_LED.c»). В BSP включена инициализация ШИМ на таймере 1 для реализации димминга, таймер 4 используется для реализации функции мигания светодиодами. Более подробно с использованием таймера 1 в качестве ШИМ для управления диммингом можно ознакомиться в документе «Using PWM for Dimmer Function in LED Lighting» <http://focus.ti.com/lit/an/swru227/swru227.pdf>. Полный список всех «Design Notes» (рекомендаций по применению беспроводных компонентов TI) можно найти в DN000:

<http://focus.ti.com/lit/an/swra120r/swra120r.pdf>.

Для установления соединения между пультом и целевым устройством (также как и в «Peer-to-Peer» приложении SimpliciTI) необходимо: нажать кнопку S1 на целевом устройстве для перевода его в режим ожидания команды от пульта управления (LinkListen); зажать на 3 секунды кнопку S1 на пульте дистанционного управления (отправка команды LinkTo).

Далее можно с помощью джойстика управлять диммингом (влево/вправо 16 шагов). С помощью кнопки S1 осуществляется включение и выключение. Нажатием джойстика вверх/вниз выбирается несколько режимов мигания светодиодов.

Поскольку данный пример сделан на базе стандартного приложения SimpliciTI, дальнейшими шагами в освоении беспро-

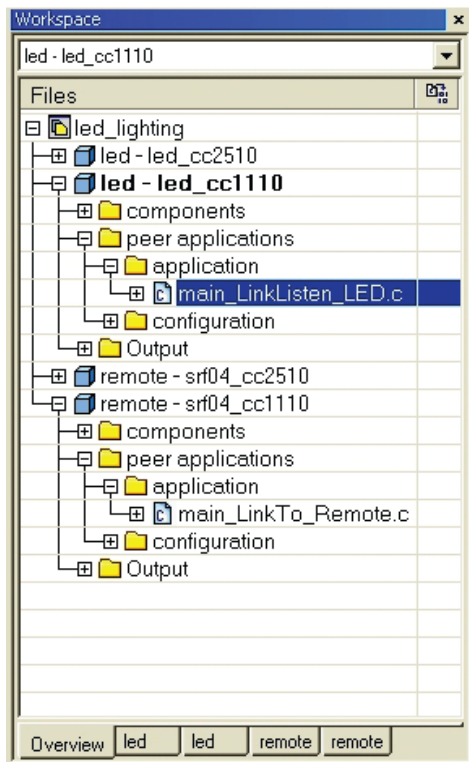



Рис. 9. Проекты в IAR Embedded Workbench

водного управления освещением может быть переложение этого варианта на другие способы построения сети SimpliCI TI (передача данных через ретранслятор, обмен данными с точкой доступа). В этом случае необходимо обратить внимание на то, что в сети SimpliCI TI любое устройство, вне зависимости от выполняемой функции, должно иметь свой уникальный адрес. Этот адрес находится в файле «smp1_config.dat», необходимая строка в этом файле имеет вид: `-DTHIS_DEVICE_ADDRESS={0x79, 0x56, 0x34, 0x12}`» (рисунок 10).

Для изменения адреса устройства в сети достаточно поменять первое значение: например, 0x79 на 0x80.

Заключение

Безусловно, данная статья не претендует на полное руководство по организации управления светодиодным освещением. Основная цель — дать стартовые знания и собрать в одном месте набор ссылок на документацию, программное обеспечение и отладочные средства, которые понадобятся для освоения применения радиоканала в дистанционном управлении LED-освещением. 

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

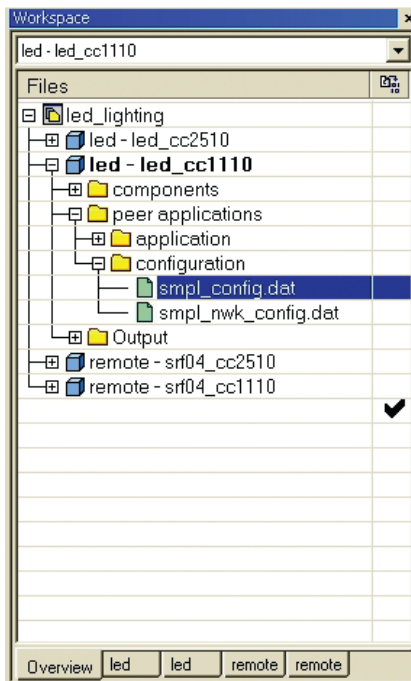


Рис. 10. Файл с адресом устройства сети SimpliCI TI


```

/* This device's address. The first byte is used as
 * radios so THE FIRST BYTE MUST NOT BE either 0x00
 * on End Devices the first byte should be the least
 * is maximally effective. Otherwise the frame has t
 * is recognized as not intended for the device. APs
 * the filtering is not done. This macro initializes
 * characters of length NET_ADDR_SIZE (found in nwk_
 * necessary below unless the spaces are removed.
 */
-DTHIS_DEVICE_ADDRESS="{0x79, 0x56, 0x34, 0x12}"

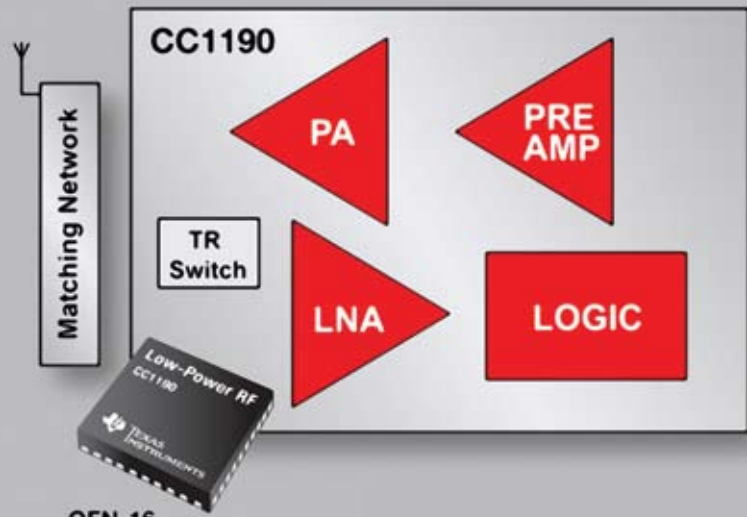
/* device type */
-DEND_DEVICE

/* For polling End Devices we need to specify that t
 * macro definition below if this is a polling devic
 * by the Access Point to know whether to reserve st
 * for the polling End Device during the Join exchan
 */
-DRX_POLLS */

```


CC1190 для увеличения дальности связи


Аналоговый Front End 850...958 МГц



QFN-16

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

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



www.compel.ru

Сергей Игнатов (КОМПЭЛ)

ГАЛЬВАНИЧЕСКАЯ РАЗВЯЗКА – НОВЫЕ РЕЦЕПТЫ ОТ TEXAS INSTRUMENTS



При обилии разнонаправленных потоков информации не обойтись без микросхем, предназначенных для гальванической развязки цифровых сигналов и интерфейсов. В статье рассматриваются номенклатура и основные параметры этих изделий от компании Texas Instruments, в том числе – новинки: ISO7420FE, ISO7520 и ISO7521, ISO1050DW, ISO35T, ISO1176T.

Бурно развивающаяся отрасль производства электронной аппаратуры диктует свои правила: уменьшение объемов изделия, увеличение интеграции, энергосбережение, обеспечение надеж-

ного уровня безопасности. Соответственно, растут требования и к компонентам разрабатываемых устройств. Texas Instruments (TI) предлагает практически всю номенклатуру производства электронной аппаратуры и

в каждом сегменте является одним из лидеров.

Мы уже не раз писали в нашем журнале о микросхемах TI для гальванической развязки цифровых сигналов (изоляторы ISO). В этой статье мы обсудим новые продукты данной категории в свете постоянно меняющихся требований к электронным устройствам.

Микросхемы для гальванической развязки цифровых сигналов (изоляторы)

TI предлагает широкую линейку микросхем, предназначенных для раз-

Таблица 1. Линейка изолированных трансиверов промышленных стандартов

Наименование	Напр. пит., В	Напряжение изоляции, В RMS за 1 минуту	Темп. диап., °С	ESD-защита, кВ	Скорость передачи, Мбит/сек	Корпус	Описание
ISO1050 DW/DUB	5	5000/DW 2500/DUB	от -55 до 105	8	1	16SOI, 8SOP	Изолированный 5 В CAN трансивер
ISO1176	5	2500	от -40 до 85	16	40	16SOIC	Изолированный PROFIBUS RS-485 трансивер
ISO1176T	5	2500	от -40 до 85	10	40	16SOIC	Изолированный PROFIBUS RS-485 трансивер с интегрированным драйвером для трансформатора
ISO15D, ISO15M	3,3	2500	D от -40 до 85 M от -55 до 125	16	1	16SOIC	Изолированный 3,3 В полудуплексный RS-485 трансивер
ISO150	5	1500	от -40 до 85		80	12SOP	Сдвоенный, изолированный, двунаправленный цифровой изолятор
ISO3080	5	2500	от -40 до 85	16	0,2	16SOIC	Изолированный 5 В полно/полудуплексный RS-485 трансивер
ISO3082	5	2500	от -40 до 85	16	0,2	16SOIC	Изолированный 5 В полудуплексный RS-485 трансивер
ISO3086	5	2500	от -40 до 85	16	20	16SOIC	Изолированный 5 В полно/полудуплексный RS-485 трансивер
ISO3086T	5	2500	от -40 до 85	11	20	16SOIC	Изолированный RS-485 Трансивер с интегрированным драйвером для трансформатора
ISO3088	5	2500	от -40 до 85	16	20	16SOIC	Изолированный 5 В полудуплексный RS-485 трансивер
ISO35	3,3	2500	от -40 до 85	16	1	16SOIC	Изолированный 3,3 В полно/полудуплексный RS-485 трансивер
ISO35T	3,3	2500	от -40 до 85	16	1	16SOIC	Изолированный 3,3 В полно/полудуплексный RS-485 трансивер с интегрированным драйвером для трансформатора

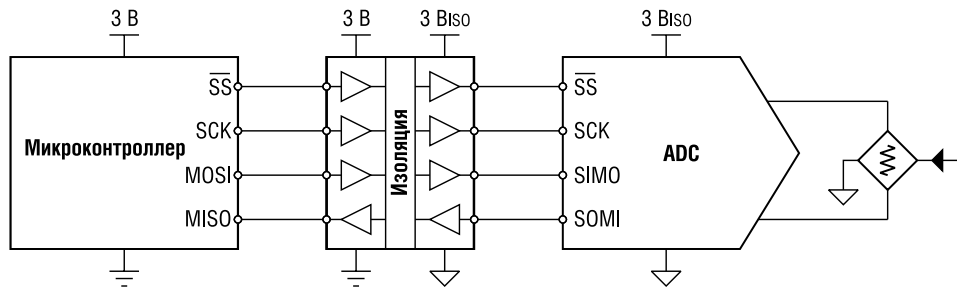


Рис. 1. Структура изолятора ISO7241

вязки цифровых сигналов различных скоростей (от постоянного сигнала до 150 Мбит/с), выпускаются одно- и двунаправленные модификации, содержа-

щие от одного до четырех каналов (таблица 2). За счет повышения уровня интеграции многоканальные изоляторы позволяют сэкономить место на плате.

Микросхемы могут применяться в распространенных цифровых интерфейсах в различных промышленных приложениях. Все изоляторы имеют однополярное питание 3/5 В, логические КМОП-уровни переключения. Номинальное напряжение питания находится в диапазоне 3,3...5,0 В как для VCC1, так и для VCC2. Возможна различная их комбинация.

Все микросхемы с тремя цифрами в наименовании являются одноканальными (**ISO721**). В изоляторах с четырьмя цифрами две первые означают серию, предпоследняя говорит о количестве каналов, а последняя – о каналах с обратным направлением передачи данных.

Таблица 2. Линейка микросхем, предназначенных для развязки цифровых сигналов

Тип	Наименование	Напряжение изоляции 1 минута, В RMS	Скорость передачи данных, Мбит/с	Диапазон температур, °С	Конфигур. каналов, направление	Корпус		
Одноканальные	ISO721	2500	100	от -40 до 125	1/0	8SOIC, 8SOP		
	ISO721-Q1		100	от -40 до 125	1/0	8SOIC		
	ISO721M	1500	150	от -40 до 125	1/0	8SOIC		
	ISO721M-EP		150	от -55 до 125	1/0	8SOIC		
	ISO722		100	от -40 до 125	1/0	8SOIC		
Двухканальные	ISO7220A	2500	1	от -40 до 125	2/0	8SOIC		
	ISO7220A-Q1		1	от -40 до 125	2/0	8SOIC		
	ISO7220B		5	от -40 до 125	2/0	8SOIC		
	ISO7220C		25	от -40 до 125	2/0	8SOIC		
	ISO7220M		150	от -40 до 125	2/0	8SOIC		
	ISO7221A		1	от -40 до 125	1/1	8SOIC		
	ISO7221A-Q1		1	от -40 до 125	1/1	8SOIC		
	ISO7221B		5	от -40 до 125	2/0	8SOIC		
	ISO7221C		25	от -40 до 125	1/1	8SOIC		
	ISO7221C-Q1		25	от -40 до 125	1/1	8SOIC		
	ISO7221M		150	от -40 до 125	1/1	8SOIC		
	ISO722M		150	от -40 до 125	1/0	8SOIC		
	Трехканальные		ISO7230A	2500	1	от -40 до 125	3/0	16SOIC
			ISO7230C		25	от -40 до 125	3/0	16SOIC
ISO7230M		150	от -40 до 125		3/0	16SOIC		
ISO7231A		1	от -40 до 125		2/1	16SOIC		
ISO7231C		25	от -40 до 125		2/1	16SOIC		
ISO7231M		150	от -40 до 125		2/1	16SOIC		
Четырехканальные	ISO7240A	2500	1	от -40 до 125	4/0	16SOIC		
	ISO7240C		25	от -40 до 125	4/0	16SOIC		
	ISO7240CF		25	от -40 до 125	4/0	16SOIC		
	ISO7240CF-Q1		25	от -40 до 125	4/0	16SOIC		
	ISO7240M		150	от -40 до 125	4/0	16SOIC		
	ISO7241A		1	от -40 до 125	3/1	16SOIC		
	ISO7241A-EP		1	от -55 до 125	3/1	16SOIC		
	ISO7241C		25	от -40 до 125	3/1	16SOIC		
	ISO7241C-Q1		25	от -40 до 125	3/1	16SOIC		
	ISO7241M		150	от -40 до 125	3/1	16SOIC		
	ISO7242A		1	от -40 до 125	2/2	16SOIC		
	ISO7242C		25	от -40 до 125	2/2	16SOIC		
ISO7242M	150	от -40 до 125	2/2	16SOIC				
Двухканальные	ISO7420	5000	1	от -40 до 105	2/0	8SOIC		
	ISO7420FE		50	от -40 до 125	2/0	8SOIC		
	ISO7420M		1	от -55 до 125	2/0	8SOIC		
	ISO7421		1	от -40 до 105	1/1	8SOIC		
	ISO7520C		1	от -40 до 105	2/0	16SOIC		
	ISO7521C		1	от -40 до 105	1/1	16SOIC		

Примечание: Все микросхемы имеют: напряжение питания 3,3 В и 5 В

Например, **ISO7241** часто применяется для гальванической развязки SPI-интерфейса и имеет четыре канала: передачи данных, приема, тактирования, и выбора устройства (рис. 1).

Для развязки цепей передачи данных в микросхемах TI используется емкостной барьер с изолятором из диоксида кремния (SiO_2). Технология характеризуется высокой степенью надежности, низкими задержками времени распространения сигнала (от 7 нс), малыми искажениями сигнала и задержками «канал-канал» (от 1 нс), высокой устойчивостью к электромагнитному полю, а также широким температурным диапазоном работы ($-55...125^\circ\text{C}$).

Индекс EP (**ISO721M-EP**, **ISO7241A-EP**) указывает на расширенный температурный диапазон работы $-55...125^\circ\text{C}$, большинство остальных микросхем имеют диапазон $-40...125^\circ\text{C}$. В ближайшем будущем в продаже появятся **ISO7221-HT**; индекс HT означает высокотемпературное и высоконадежное применение в жестких температурных условиях, например, в нефтедобывающей отрасли. Эти изделия будут изготовлены из высокотемпературного пластика, способного выдерживать температуры $-55...175^\circ\text{C}$.

Стоит обратить отдельное внимание на новое семейство двухканальных развязок для применений с малым энергопотреблением **ISO7420/7421** — семейство развязок с потреблением тока порядка 1,5 мА на канал. В продаже появилась **ISO7420FE**, суффикс F означает, что в случае аварийного состояния входных линий, выход будет переведен в положение с низким уровнем, защищая, таким образом, выходные цепи.

Вслед за Европой в России в скором времени планируется ужесточение требований безопасности для ответственных применений. Например, в Европейских странах действует постановление о двукратном запасе по напряжению пробоя изоляции для медицинских применений; таким образом, устройство должно выдерживать пробой напряжением до 5000 В RMS в течении минуты. Texas Instruments выпустила двухканальные изоляторы **ISO7520** и **ISO7521** с напряжением пробоя 5000 В RMS, отличающихся друг от друга направлением передачи данных второго канала.

Изоляторы с интегрированными трансиверами

Следующий шаг в сторону повышения интеграции и, соответственно, уменьшения размеров конечных устройств компания сделала, выпустив широкую линейку изолированных трансиверов для передачи данных большинства промышленных стандартов с напряжением пробоя изоляции не менее 2500 В RMS (таблица 1). В этой линейке TI также представила микросхему с двойным изо-

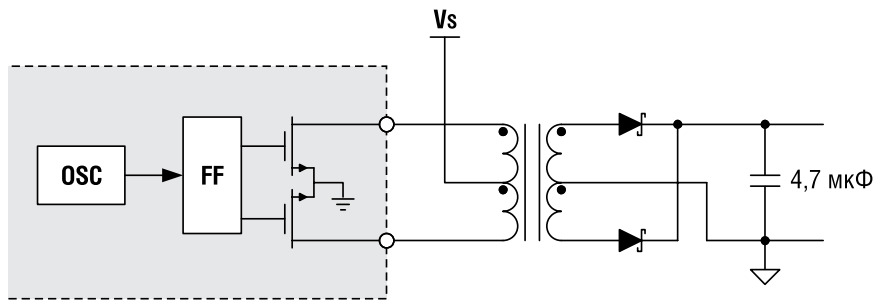


Рис. 2. Упрощенная схема трансформаторного драйвера

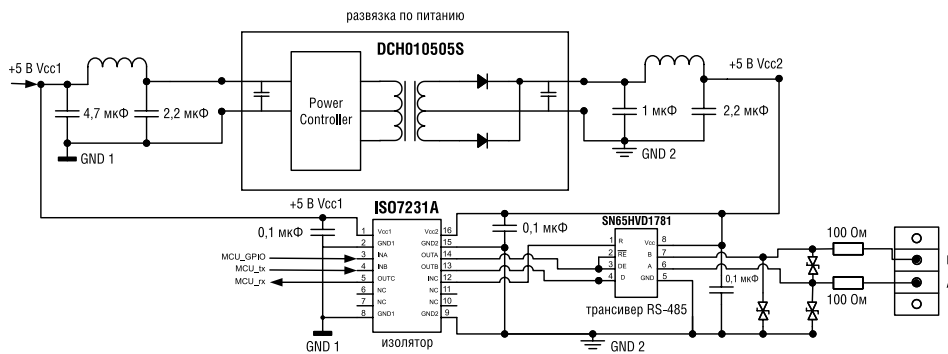


Рис. 3. Классическая схема реализации RS-485

лирующим барьером с напряжением пробоя 5000 В RMS и интегрированным CAN-трансивером **ISO1050DW**.

Особый интерес у разработчиков проявляется к новым сериям микросхем гальванической развязки со встроенными трансиверами RS-485/Profibus и драйверами для трансформатора — это микросхемы **ISO1176T**, **ISO35T** и готовящаяся к продаже в ближайшее время **ISO3086T**.

Устройства отличаются от описанных в НЭ №8/2010 индексом T, свидетельствующем о том, что микросхемы имеют выход драйвера преобразователя, состоящего из генератора и мультивибратора генерирующего комплементарную

пару импульсов прямоугольной формы с 50% коэффициентом заполнения. Эти два сигнала управляют силовыми N-канальными транзисторами (рис. 2). Драйвер обеспечивает ток до 200 мА, чего более чем достаточно для питания линий передачи RS-485 и пары вспомогательных микросхем.

Для того чтобы понять преимущества новых микросхем, вернемся к классической схеме (рис. 3) реализации RS-485, рассмотренной в НЭ №8/2010.

Питание в схеме организовано на базе высокоэффективного модуля **DCH010505D** компании Texas Instruments, имеющего гальваническую развязку 3 кВ в стандартном SIP-7 корпусе.

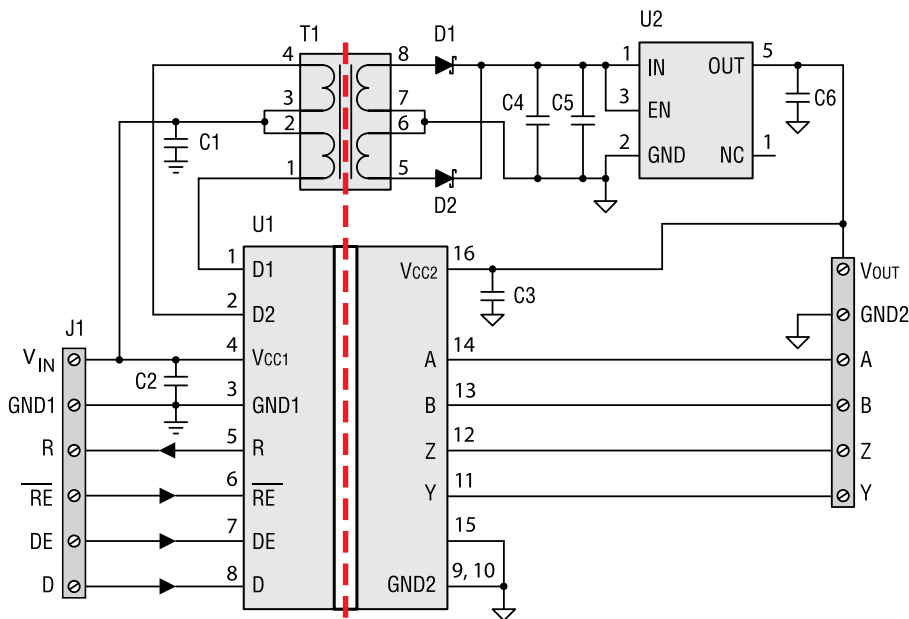


Рис. 4. Дуплексный изолированный 1 Мбит RS-485

Для развязки линий передач использован цифровой изолятор **ISO7231A**, имеющий скорость передачи данных 1 Мбит, емкостную развязку 2,5 кВ RMS и наименьшие среди аналогов других производителей задержки. Трансивер **RS-485** без развязки **SN65HVD1781** от TI тоже выбран не случайно, он является одним из самых надежных в отрасли (см. НЭ №8/2010).

Теперь посмотрим, что получится, если решать такую задачу с помощью **ISO35T** (рис. 4).

Такое решение позволяет сэкономить на дорогостоящих DC/DC-изолированных источниках питания, которые используются для подачи питания на сторону линий передачи данных трансивера (в нашем случае – DCH010505D), а также сократить занимаемую компонентами площадь на плате, что ведет к уменьшению объемов изделия и снижению стоимости производства самой печатной платы. Решение состоит из:

- Микросхемы **ISO35T**;
- Трансформатора **SUMIDA** серии **CER95** (цена в КОМПЭЛе от 1,3\$ при заказе от 1000 шт.);
- Двух выпрямительных диодов **MBR0520LT3G** (ON Semiconductor) или **STPS0520Z** от ST Microelectronics (цена в КОМПЭЛе от 0,05\$ при заказе от 1000 шт.);
- Микросхемы **TPS76333** (LDO 3,3 В) или **TPS76350** (LDO 5 В) в кор-

пусе **SOT23** (цена в КОМПЭЛе от 0,35\$ при заказе от 1000 шт.);

- Одного танталового конденсатора, желательно с низким (ESR) 0,3...10 Ом, например, Vishay (цена в КОМПЭЛе от 0,25\$ при заказе от 1000 шт.);
- Четырех керамических конденсаторов.

Итоговая цена изолированного DC/DC-преобразователя в такой схеме вышла около 2\$. Для сравнения цена на DCH010505D составляет порядка 5\$.


Все изолированные трансиверы разработаны для возможности передачи данных на большие расстояния, так как контур «земляной петли», наводящей помехи, разорван, и становится возможным использование намного большего диапазона напряжений в схеме без опасения пробоя. Изоляторы в течение минуты проходят тестирование на обеспечение 2,5 кВ RMS между трансивером и входной логикой.

ISO1176T – изолированный трансивер, полностью соответствующий стандартам ProfiBus, с напряжением изоляции 2500 В, скоростью передачи до 40 Мбит/с, с драйвером трансформатора DC/DC-преобразователя.

Для изделий **ISO1176T**, **ISO35T** и **ISO3086T** существует универсальный отладочный набор **ISO1176T,35T,3086T EVM**, подходящий для пробного использования любого из этих устройств, с установленным на плате трансформатором, диодами, линейным стабилизатором и разъемами для подключения.

Отдельно стоит отметить такое, казалось бы, простое устройство, используемое в изоляторах TI, как супервизор питания. По сути это некоторый гистерезис по порогам питающего напряжения, который не позволяет передавать данные в момент подачи и снятия напряжения питания. Отсутствие такого модуля в бюджетных решениях конкурентов приводит к непредсказуемому дрейбзгу на выходе микросхемы изолятора, что в лучшем случае приводит к искажению пакета данных, а в худшем – к аварийной ситуации.

Заключение

Любые линии передачи могут быть подвержены воздействию помех, созданных переходными процессами от различных источников. Эти помехи при условии большой амплитуды и длительности могут повредить трансивер и ухудшить безопасность изделия. Развязка позволяет значительно увеличить защиту и уменьшить риск повреждения. А новые решения от Texas Instruments позволяют удешевить и уменьшить изделие не только не в ущерб безопасности, но где-то даже и повышая ее. 

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

TEXAS INSTRUMENTS **МИКРОСХЕМЫ ГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ РАЗВЯЗКИ И ИЗОЛИРОВАННЫЕ ТРАНСИВЕРЫ**

Гальваническая развязка



КЛЮЧЕВЫЕ ОСОБЕННОСТИ:

- $U_{\text{пробоя}}$ в течении минуты до 5 кВ
- ESD-защита от статических напряжений до 16 кВ
- Расширенный температурный диапазон -55...125°C
- Скорость передачи данных до 150 Мбит/с
- Полное соответствие стандартам: RS-485, ProfiBus, CAN
- Встроенный супервизор против «дребзга» при подачи питания

ISO35T, ISO1176T, ISO7520/7521, ISO7420FE, ISO1050DW

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

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



Компэл
www.compel.ru

Михаил Чигарев (КОМПЭЛ)

SWIFT™ – УПРАВЛЯЕМ ПИТАНИЕМ ПО-НОВОМУ



Импульсные понижающие DC/DC-преобразователи с интегрированным MOSFET-транзистором – одно из самых популярных решений для управления питанием. Высокий КПД, широкий диапазон входного напряжения, высокий выходной ток и компактные размеры источника питания – все это можно реализовать с помощью семейства преобразователей SWIFT™ компании Texas Instruments.

Выбор данного семейства преобразователей в качестве темы обсуждения обусловлен тем, что они подходят для широкого круга применений – от устройств с батарейным питанием до систем промышленной автоматизации и телекоммуникационных устройств. Еще одной причиной выбора достаточно узкой тематики является то, что охватить все DC/DC-преобразователи в рамках одной статьи практически невозможно, на данный момент их у TI более 600! Мы попытаемся осветить общие критерии выбора того или иного преобразователя, некоторые проблемы, которые встают перед разработчиком при проектировании DC/DC-источника питания, показать интересные варианты их применения и технические особенности, которые отличают решения TI от решений других производителей.

Эволюция современных DC/DC-преобразователей идет по пути уменьшения габаритов конечного источника питания и повышения его эффективности. Требования по габаритам приводят к тому, что на рынке появляется все больше и больше преобразователей с высокой частотой преобразования (свыше 1 МГц) и MOSFET-ключом, расположенным на одном кристалле с контроллером. В первую очередь повышение частоты позволяет уменьшить габариты дросселя, однако при этом приходится ответственно подойти к выбору этого дросселя.

На практике на частотах преобразования свыше 300 кГц уже встает необходимость применения дросселей с особыми техническими характеристиками для обеспечения работы на высоких частотах. Компания Sumida, например, в своей линейке дросселей CDEP использует плоский провод с прямоугольным се-

чением для уменьшения скин-эффекта на высоких частотах. Отличным выбором высокочастотного дросселя является серия IHLP от компании Vishay, благодаря применению в них специальных неферритовых материалов удалось расширить диапазон рабочих частот до 5 МГц!

Тема высокочастотных дросселей затронута не случайно – это, пожалуй, самый частый вопрос, задаваемый нам разработчиками, которые решили применить продвинутый DC/DC-контроллер в своем изделии. Для выбора дросселя можно зайти на наш

сайт и воспользоваться параметрическим поиском в разделе «Индуктивности» <http://catalog.compel.ru/inductor/list>. Дроссели от Sumida и Vishay на данный момент доступны на нашем складе в Москве.

Для обеспечения высокой эффективности источника питания Texas Instruments применяет ряд технических решений. Во-первых, это использование встроенного MOSFET-транзистора с низким значением сопротивления «сток-исток» в открытом состоянии $R_{ds(on)}$ и малым значением суммарного заряда затвора (Q_g). Во-вторых, для приложений, где требуется высокий ток нагрузки и малое значение выходного напряжения, TI предлагает преобразователи с синхронным выпрямлением. В-третьих, для сохранения высокой эффективности на малых токах нагрузки в ряде преобразователей предусмотрен режим Eco-mode™ – при сохранении постоянной тактовой частоты в режиме

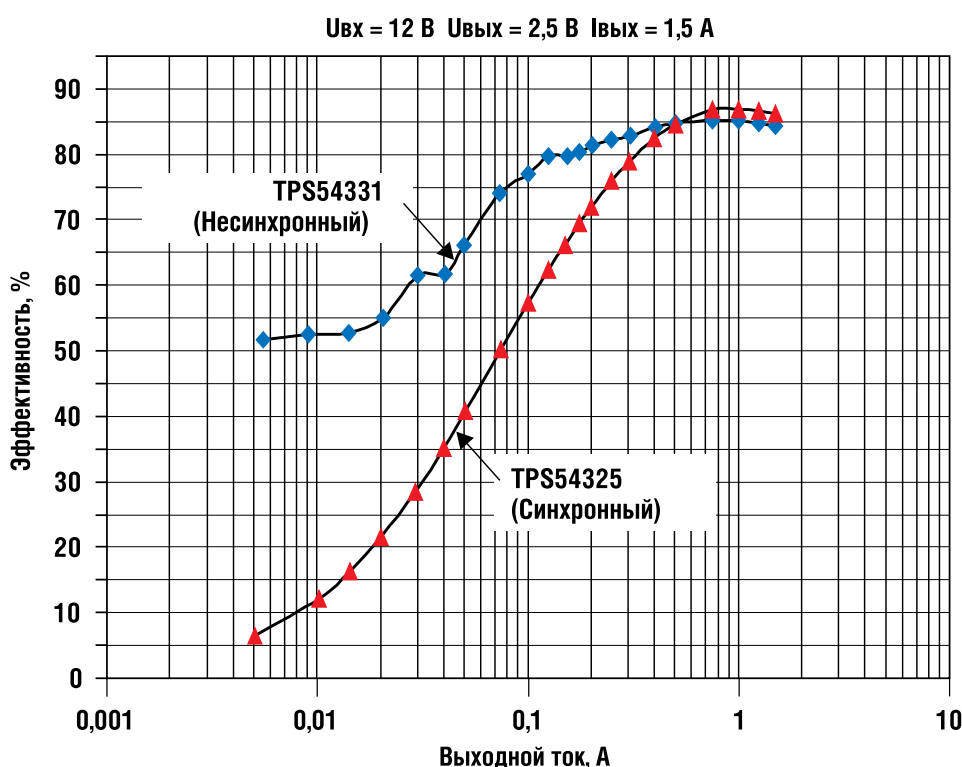


Рис. 1. Сравнение эффективности TPS54331 и TPS54325 при U_{вых} = 2,5 В

Таблица 1. Семейство преобразователей SWIFT™

Наименование	Увх., В	Увых., В	Ивых., А	Исобств., мА	Синхр. выпр.	Граб., кГц	Eco-mode™	Корпус
TPS5401/54040	3,5...42	0,8...39	0,5	0,116	—	100...2500	+	10MSOP PowerPAD
TPS54140/240	3,5...42	0,8...39	1,5/2,5	0,116/0,138	—	300...2500	+	10MSOP PowerPAD
TPS54060	3,5...60	0,8...57	0,5	0,116	—	100...2500	+	10MSOP PowerPAD, 10SON
TPS54160/260	3,5...60	0,8...57	1,5/2,5	0,116/0,138	—	300...2500	+	10MSOP PowerPAD, 10SON
TPS5410/20/30/50	5,5...36	1,23...31	1/2/3/5	3	—	500	—	8SOIC/8SO PowerPAD
TPS54225/325/425	4,5...18	0,76...5,5	2/3/4	0,8/0,85/0,85	+	700	—	14HTSSOP
TPS54226/326/426	4,5...18	0,76...5,5	2/3/4	0,8/0,85/0,85	+	700	+	14HTSSOP, 14QFN
TPS54320	4,5...17	0,8...15	3	0,6	+	200...1200	—	14QFN
TPS54620	4,5...17	0,8...15	6	0,6	+	200...1600	—	14QFN
TPS54327	4,5...18	0,76...7	3	0,85	+	700	—	8SO PowerPAD
TPS54328	4,5...18	0,76...7	3	0,85	+	700	+	8SO PowerPAD
TPS54350/550	4,5...20	0,9...12	3/6	5/9	+	250...700	—	16HTSSOP
TPS54521	4,5...17	0,8...15	5	0,6	+	200...900	—	14QFN
TPS54233	3,5...28	0,8...25	2	0,11	—	300	+	8SOIC
TPS54231/331	3,5...28	0,8...25	2/3	0,11	—	570	+	8SOIC
TPS54232/332	3,5...28	0,8...25	2/3,5	0,11	—	1000	+	8SOIC/8HSOIC PowerPAD
TPS56121/221	4,5 -14	0,6...12	15/25	2,5	+	300...1000	—	22SON
TPS54283/286	4,5...28	0,8...25,2	2 + 2*	1,8	—	300/600	—	14HTSSOP
TPS54383/386	4,5...28	0,8...25,2	3 + 3*	1,8	—	300/600	—	14HTSSOP
TPS55383/386	4,5...28	0,8...25,5	3 + 3*	1,8	—	300/600	—	16HTSSOP
TPS5429x	4,5...28	0,8...25,5	2,5 + 1,5*	1,65	—	300, 600, 1200	—	16HTSSOP
TPS54110/310	3...6	0,9...4,5	1,5/3	4,2/6,2	+	280...700	—	20HTSSOP
TPS54610	3...6	0,9...4,5	6	11	+	280...700	—	28HTSSOP
TPS54218/318/418/618	2,95...6	0,8...4,5	2/3/4/6	0,35	+	200...2000	—	16QFN
TPS54317/337	3...6	0,9...3,3	3	6,2	+	280...1600	—	24VQFN
TPS54010	2,2...4	0,9...2,5	14	13	+	280...700	—	28HTSSOP
TPS54610	3...6	0,9...4,5	6	11	+	280...700	—	28HTSSOP
TPS54810	4...6	0,9...3,3	8	11	+	280...700	—	28HTSSOP
TPS54910	3...4	0,9...2,5	9	11	+	280...700	—	28HTSSOP
TPS54319	2,95...6	0,82...4,5	3	0,36	+	300...2000	—	16QFN
TPS54617/917	3...6/4	0,9...3,3/2,5	6/9	11	+	280...1600	—	34VQFN
TPS84620	4,5...14,5	1,2...5,5	6		+	480...780	—	BQFN

* — два выходных канала.

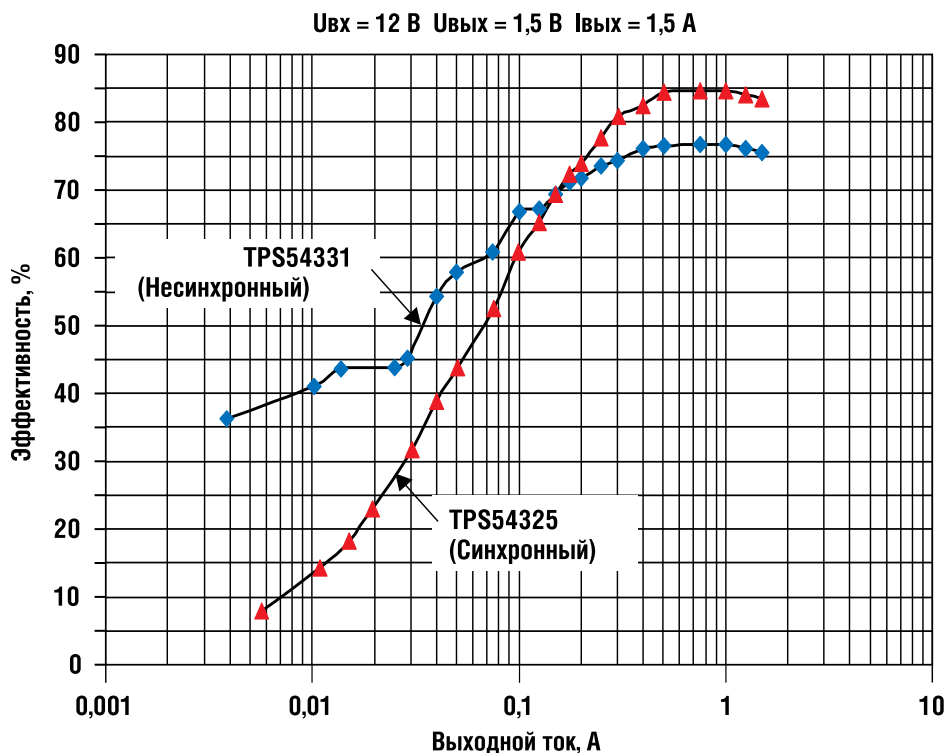


Рис. 2. Сравнение эффективности TPS54331 и TPS54325 при Увых = 1,5 В

малой нагрузки преобразователь «пропускает» часть управляющих импульсов (*pulse skipping*). Еще одной важной составляющей эффективности DC/DC-источника питания, которой уделяют внимание многие производители, в том числе и TI, является собственное потребление микросхемы преобразователя.

Графическое сравнение эффективности преобразователей с синхронным и несинхронным выпрямлением представлено на рисунках 1 и 2. В качестве примера приведены TPS54331 (несинхронное выпрямление) и TPS54325 (синхронное выпрямление). Разница в эффективности на малых токах нагрузки связана, прежде всего, с большим влиянием потерь на переключение в синхронном преобразователе, а также с тем, что на малых нагрузках TPS54331 переходит в режим Eco-mode™ (рисунок 1). На больших токах преобразователь с синхронным выпрямлением имеет более высокий КПД при малых значениях выходного напряжения (рисунок 2) в силу того, что у несинхронного прямое падение напряжения на ди-

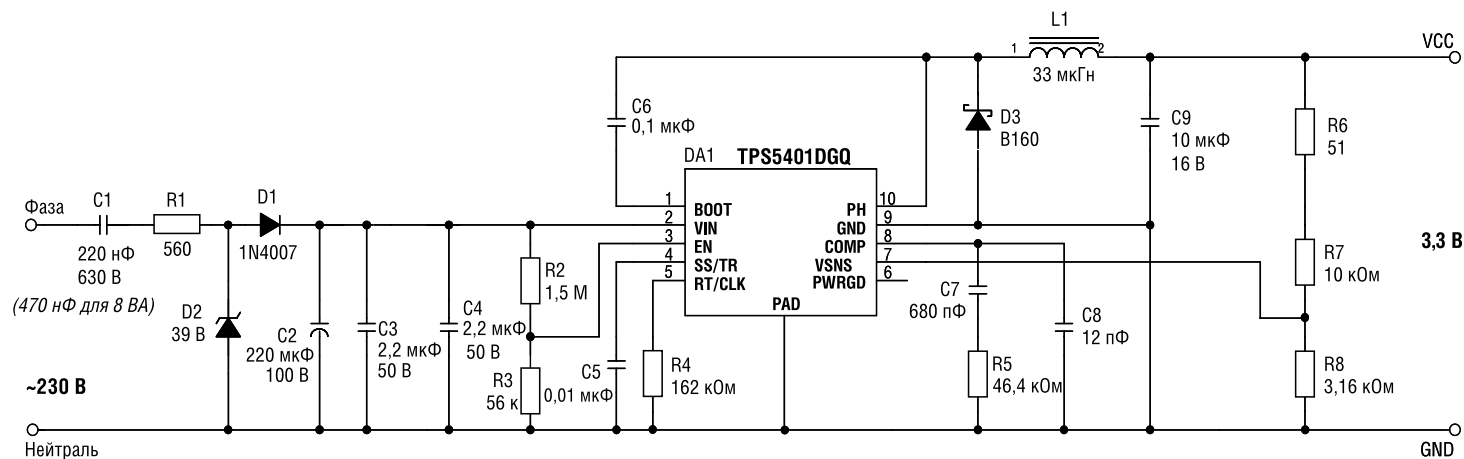


Рис. 3. Схема для увеличения выходного тока преобразователя на гасящем конденсаторе

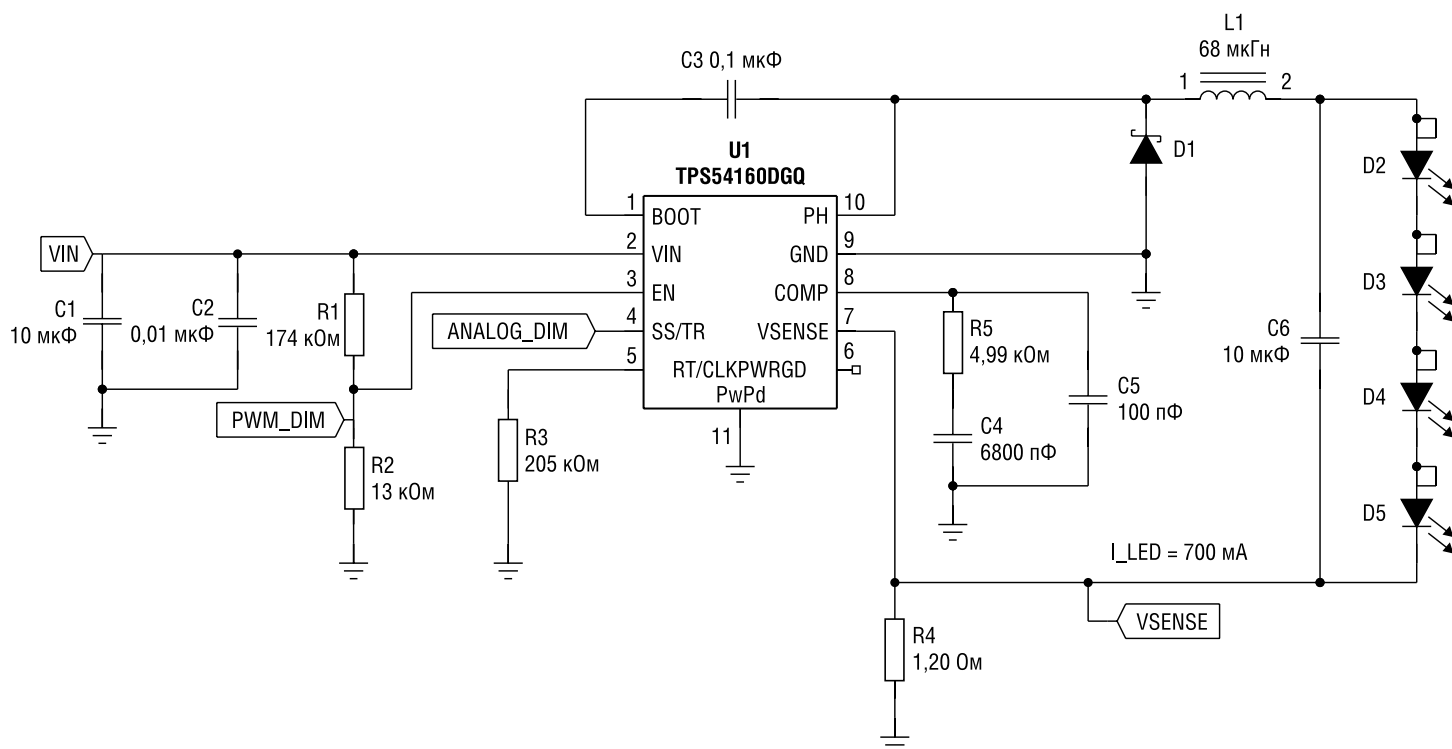


Рис. 4. Понижающий драйвер светодиодов на TPS54160

оде становится сравнимо со значением выходного напряжения.

Резюмируя вышесказанное, можно сделать вывод, что при выборе типа преобразователя следует сначала оценить характер нагрузки. Характеристики эффективности в зависимости от тока нагрузки, входного и выходного напряжений приведены в документации на любой преобразователь TI.

Семейство преобразователей SWIFT™ представлено в таблице 1. Остановимся на описании наиболее интересных новинок. **TPS5401** и **TPS54060/160/260** в первую очередь выделяются очень широким диапазоном входного напряжения от 3,5 до 60 В и выходным током до 2,5 А у TPS54260. Частоту преобразования можно установить в диапазоне от 100 кГц до 2,5 МГц с помощью внешнего резистора. Не секрет, что

многие производители (ST, ONS и другие) расширяют свои линейки DC/DC-преобразователей за счет выпуска микросхем со все более широким входным диапазоном напряжения и высоким выходным током, но TPS54260 на данный момент является безусловным лидером по соотношению этих параметров.

Эти выдающиеся характеристики использованы в полной мере в схеме на рисунке 3. Данная схема позволяет увеличить ток нагрузки емкостного преобразователя напряжения, который очень часто используется в счетчиках электро-

энергии, при этом такое решение привлекательно низкой себестоимостью. Повышение допустимого тока нагрузки особенно актуально в современных счетчиках, в которых применяются продвинутое интерфейсы (например, радиоканал).

Коротко поясним суть этой схемы. Полная мощность в вольт-амперах $P (B \cdot A) = U_{RMS} \times I_{RMS}$. Для выполнения требований по ограничению собственного потребления счетчика 4 В·А при напряжении сети 220 В I_{RMS} необходимо ограничить значением 17,4 мА.

Таблица 2. Сравнение линейного и импульсных регуляторов в схеме с гасящим конденсатором

Параметры	Ивых(max), мА (лин. рег.)	Ивых(max), мА TPS5401	Ивых(max), мА TPS54060
Рвых. < 4 В·А	8	35	49
Рвых. < 8 В·А	16	109	137

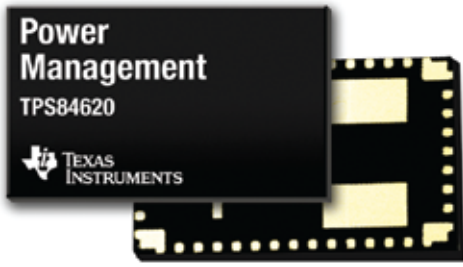


Рис. 5. Внешний вид TPS84620

При этом входная емкость вычисляется по формуле: $C1 = I_{RMS} / (U_{RMS} \times 2\pi f)$. При частоте сети 50 Гц: $C1 \geq 240$ нФ. Постоянный ток на входе DC/DC-преобразователя после однополупериодного выпрямителя: $I_{вхDC} = (I_{AC} \times \sqrt{2}) / \pi$. При $I_{RMS} = 17,4$ мА: $I_{вхDC} = 7,8$ мА. Для линейного стабилизатора $I_{вхDC} = I_{вхDC}$, поэтому такой вариант источника питания может использоваться только для простейших счетчиков, у которых максимальный ток потребления находится в пределах 8 мА.

Для импульсного преобразователя: $I_{вхDC} = P_{вх} / U_{вх}$, $P_{вх} = P_{вх} \times \eta$, $P_{вх} = U_{вхDC} \times I_{вхDC}$.

Таким образом, при использовании импульсного DC/DC-преобразователя выходной ток $I_{вхDC}$ является функцией, зависящей от $U_{вхDC}$ и КПД. Собственно говоря, для большего выходного тока необходимо большее входное напряжение. На практике мы имеем результаты, показанные в таблице 2. Поскольку TPS5401 имеет максимальное входное рабочее напряжение 42 В, а TPS54060 – 60 В, то при использовании последнего можно получить более высокое значение выходного тока.

Еще одним интересным вариантом применения DC/DC-преобразователя серии SWIFT™ является источник питания мощных светодиодов с возможностью аналогового и ШИМ-димминга на базе TPS54160 (рисунок 4).

Данная схема примечательна прежде всего малым количеством элементов обвязки и возможностью использовать только керамические конденсаторы, отказавшись от электролитов. Схема рассчитана на входное напряжение 24 В и номинальное выходное напряжение 14,8 В при токе 700 мА. Таким образом, возможно подключение одной линейки из четырех светодиодов последовательно в режиме 700 мА или двух линеек по 350 мА параллельно (например, светодиоды серий MX6 и MX3 от CREE, соответственно). Подробное описание можно найти по ссылке <http://focus.ti.com/lit/an/slva374/slva374.pdf>.

Для удобства расчета собственного источника питания светодиодов на базе TPS54x60 TI предлагает программу, ре-

ализованную в виде excel-файла, которая доступна по ссылке: <http://focus.ti.com/docs/toolsw/folders/print/leddriver60vsswift-calc.html>.

Описанные выше примеры показывают, насколько разнообразными могут быть варианты применения одного и того же DC/DC-преобразователя вообще и семейства SWIFT™ в частности. В заключительной части статьи хотелось бы обратить внимание на позиции, обладающие впечатляющими характеристиками по величине выходного тока.

TPS54620 – выходной ток до 6 А, при достаточно широком входном и выходном диапазонах напряжений и максимальной частоте преобразования до 1,6 МГц.

TPS56221 – выходной ток до 25 А! Выпускается в корпусе 22SON. Выход этой микросхемы стал возможен в связи с приобретением Texas Instruments компании Ciclon Semiconductor, которая являлась производителем MOSFET-транзисторов по технологии NexFET™ с самыми низкими значениями суммарного заряда затвора и сопротивления «сток-исток». Эти транзисторы интегрированы на кристалле преобразователя.

На данный момент финальным аккордом в эволюции DC/DC-преобразователей TI становится **TPS84620**. Фактически это микросхемодуль, в которой интегрированы: контроллер с синхронным выпрямлением + MOSFET-транзисторы (по сути TPS54620), дроссель и часть остальной пассивной обвязки. Этот модуль обеспечивает выходной ток до 6 А, и все это в компактном корпусе BQFN (рисунок 5).

Полезные ссылки

Для расчета DC/DC-источников питания TI предлагает программу SwitcherPro™, которую можно скачать по ссылке www.ti.com/switcherpro. Программа постоянно обновляется (добавляются новые позиции) и является хорошей отправной точкой в разработке

своего DC/DC-преобразователя. Помимо расчета схемы и получения списка компонентов (BOM), можно получить рекомендации по расположению компонентов на плате.

TINA-TI – бесплатный Spice-симулятор от Texas Instruments: www.ti.com/tina-ti.

Для подбора дросселя можно воспользоваться функционалом нашего сайта www.compel.ru. В разделе «Калькуляторы» появился простой расчет, позволяющий подобрать необходимый дроссель при регулируемом выходном напряжении и разных типах нагрузки. Примечателен данный «калькулятор» и тем, что по результатам расчета выводится предложение из складских позиций, подходящих под расчетные параметры. Прямая ссылка <http://catalog.compel.ru/blog/fordesigners/calculators/stepdown/>.

При выборе дросселя серии IHLP от Vishay может пригодиться калькулятор потерь: <http://www.vishay.com/inductors/calculator/calculator/>.

Литература

1. «Efficiency of synchronous versus nonsynchronous buck converters», Rich Nowakowski, Ning Tang. Texas Instruments «Analog Applications Journal» 4Q2009. (SLYT358)
2. «TPS5401 Increases Output Current of Cap-Drop Power Supply», Sankar Sadasivam, Harmeet Singh, Michael Gilbert. Texas Instruments «Power Solution of the Month» December 2010.
3. «TPS54160 60-V, Step-Down LED Driver Design Guide», Daniel Acevedo, John Tucker. Application Report SLVA374
4. «Using IHLP's in Automotive Applications», Vishay Application Note.

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