

№7 (119), 2013 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:
Снежана Холодова

Редакционная коллегия:

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

Дизайн, графика, верстка:

Елена Георгадзе
Екатерина Беляева
Евгений Торочков

Распространение:

Снежана Холодова

Электронная подписка:
www.compeljournal.ru

Отпечатано:

«Гран При»
г. Рыбинск

Распространяется бесплатно

Тираж — 1500 экз.
© «Новости электроники»

Подписано в печать:
2 октября 2013 г.

СОДЕРЖАНИЕ

БРЕНД НОМЕРА: *TEXAS INSTRUMENTS*

- Передача данных в жестких условиях: обзор промышленных интерфейсов TI
Вячеслав Гавриков 4
- Миниатюрное решение для изолированного DC/DC-преобразователя
Алексей Пазюк 11
- Больше пози-TIVA на ядре Cortex™-M
Вячеслав Прокопий 17
- Промышленная коммуникация с микропроцессорами Sitara
Константин Кузьминов 24
- Связь без проводов: решения от компании TI
Александр Калачев, Алексей Пазюк 31
- Реализация «умных» сетей на базе компонентов PLC от Texas Instruments
Константин Кузьминов 39
- Коктейль из электропитания и данных: Power-over-Ethernet-решения
от Texas Instruments
Вячеслав Прокопий 46



TEXAS INSTRUMENTS

В СЛЕДУЮЩЕМ НОМЕРЕ: МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ ОТ STMICROELECTRONICS – СВЕРХДЕШЕВАЯ СВЕРХПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ

- STM32F0 – 32 бита за полдоллара
- Новое поколение STM32F4 с поддержкой контроллера TFT
- Субгигагерцовый беспроводной трансивер Spirit1

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.



Уважаемые читатели!

Технологии меняются на глазах, хоть и не столь стремительными темпами, как, например, в 60-е годы прошлого века. Однако нынешние изменения, не столь явные внешне, не менее революционны.

Скажем, понятие **Connectivity**, вынесенное на обложку этого номера журнала, посвященного продукции **Texas Instruments (TI)**. Ему трудно подобрать аналог в русском языке, поэтому мы и оставили его без перевода. Речь идет о способности того или иного прибора/гаджета/другого электронного изделия вступать в соединение с прочими изделиями, с глобальными или локальными информационными сетями, вообще — с окружающим миром, передавая собранную информацию или получая данные, необходимые для его работы. Я бы сравнил этот термин со знакомым уже несколько лет всем, работающим в области оптимизации Интернет-ресурсов, словом «юзабилити» (usability), столь же трудно поддающимся адекватному переводу. Похоже, connectivity становится таким же базовым понятием для любого нового изделия электроники, претендующего на конкурентоспособность.

И здесь мы плавно переходим к конкуренции на рынке интерфейсных устройств. В эпоху, когда бал в индустрии правили проводные интерфейсы, TI был, скорее, на вторых ролях, усту-

пая тогдашнему мировому лидеру в области этой продукции, компании Maxim. Одно время в номенклатуре TI были и приемопередатчики Maxim, произведенные по лицензии и узнаваемые по характерному префиксу MAX.

Ныне беспроводная передача данных в промышленности быстрыми темпами догоняет бытовую сферу с ее «гаджет-революцией». И Texas Instruments с опытом работы в области беспроводной передачи данных, с большой, но гибкой бизнес-структурой, выходит на первый план. В портфолио компании есть решения практически для всех беспроводных стандартов, для обмена данными как в сфере ближних коммуникаций, так и на значительных расстояниях. А в последнее время компания активно разрабатывает программные продукты для платформ Android и iOS, позволяющие организовать обмен данными в промышленности, науке и медицине на базе распространенных мобильных устройств и наборов Texas Instruments, включающих датчики различного типа. Слово **connectivity**, о котором шла речь выше, компания TI сделала одним из своих ключевых принципов, организовав отдельный департамент исследований и разработок в этой области.

Перспективы connectivity в России благоприятны. Оставим в стороне компьютерный и телекоммуникационный секторы (кстати, и в мире процент продаж интерфейсной продукции для этих секто-

ров несколько снижается). Сосредоточимся на промышленности и ЖКХ. Что касается промышленности, переоборудование отечественных производств в соответствии с современными технологиями — насущная задача. Без организации обмена данными по беспроводным каналам здесь не обойтись. В сфере добычи и транспортировки энергоресурсов такой обмен уже активно внедряется. В области ЖКХ сейчас у всех на устах грядущее введение социальных норм потребления электроэнергии (с 2014) и воды (с 2015 года). Грядет повсеместная установка современных счетчиков электроэнергии и воды — электронных, с возможностями гибкой тарификации, с современной организацией передачи данных (технология SmartGrid) и, не в последнюю очередь, с информированием потребителя о том, что он приближается к «красной» зоне, и необходимо экономить. И там, и там разработчикам следует обратить внимание на надежную и разнообразную продукцию Texas Instruments и обратиться за технической поддержкой к инженерам крупнейшего в России дистрибьютора TI — компании КОМПЭЛ.

С уважением,
Геннадий Каневский

CONNECTIVITY от Texas Instruments

На складе и под заказ от КОМПЭЛ

ИНТЕРФЕЙСЫ, ИЗЮЛЯТОРЫ		МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ, МИКРОПРОЦЕССОРЫ	
RS-485	SN65HVD308xE	до 20 Мб/с, защита от аварий	стр. 7
	SN65HVD2x	синф. напр -20...+25 В, эквалайзер	стр. 7
	SN65HVD178x	защита линий до ±70 В, синф. напр -20...+25 В,	стр. 8
	SN65HVD485	миниаторный корпус, недорогое решение	
	ISO308x (T)	5 В, до 20 Мб/с, изоляция 2.5 кВ RMS, (T) – с драйвером трансформатора	стр. 7
CAN	SN65HVD25x	TurboCAN, синф. напр -27...+40 В	стр. 9
	ISO1050	изоляция 5 кВ RMS	стр. 10
Сериалайзер	SN65HVS885	SPI, 8 дискретных входов напряжением до 34 В	
Драйвер 4-20 мА	XTR300	вывод тока ±20 мА, напряжения ±10 В	
ЦАП 4-20 мА	DAC161S997	ΣΔ, SPI, 16 бит, вход HART	
Изоляторы	ISO71xx	до 4 каналов, изоляция 2,5 кВ RMS, до 50 мБ/с, миниаторный корпус	
	ISO5500	изолированный драйвер затвора IGBT/MOSFET	
	ISO76xx	4,2 кВ RMS, до 150 мБ/с	
	ISO1541	для изоляции I ² C	стр. 16
	SN6501	миниаторный драйвер для изолированного питания	стр. 16
	TPS76350	LDO для использования с SN6501	стр. 16
	TPS55010	Изолированный DC/DC-преобразователь, 2 Вт	стр. 16
	LP2985-50	LDO для изолированного питания, 150 мА, 5 В	стр. 16
	REF5040	прецизионный источник опорного напряжения для драйвера токовой петли	стр. 16
		ПИТАНИЕ	
	UCC28700	PWM AC/DC, до 25 Вт, точность 5%	стр. 42
	UCC28610	PWM AC/DC, до 65 Вт, датчик тока, точность 1%	стр. 42
	TPS2375	PD-контроллер, 13 Вт	стр. 47
	TPS2384	PSE-контроллер, 15,4 Вт	стр. 48
	TPS23753A	PD-контроллер, встроенный DC/DC, 13 Вт	стр. 49
PoE	LM5072	PD-контроллер, 25 Вт	стр. 49
	AFE03x	SPI, G3, PRIME, P1901.2, I2U-G.lnem	стр. 40
PLC-AFE	TMS320F28PLCxx	контроллер для реализации PLC-систем	стр. 40
		БЕСПРОВОДНЫЕ РЕШЕНИЯ	
		стр. 31	
		стр. 32	
		стр. 31	
		стр. 31	
		стр. 32	
		стр. 31	

Вячеслав Гавриков (г. Смоленск)

ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ В ЖЕСТКИХ УСЛОВИЯХ: ОБЗОР ПРОМЫШЛЕННЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ TI



Выбор промышленного интерфейса является важной задачей, требующей анализа не только стандартных параметров (топологии сети, скорости передачи, числа узлов), но и специфичных: наличия гальванической изоляции, уровня энергопотребления, защиты от статики, выбросов напряжения и многих других. Компания **Texas Instruments** предлагает широчайший выбор приемопередатчиков для реализации промышленных интерфейсов, в частности — **RS-485** и **CAN**, позволяющих реализовывать устройства, работающие в самых жестких условиях промышленного производства.

Современная жизнь невозможна без использования различных цифровых устройств. Обработка цифровых данных, их передача являются повсеместно распространенными и необходимыми. Они прочно вошли во все сферы жизни: от быта и автомобильной сферы до промышленной автоматизации. Однако очевидно, что разница между бытовыми и промышленными интерфейсами достаточно велика. Это связано с тем, что цена ошибки при передаче данных существенно отличается: потерянный байт при передаче документа по офисной сети не приведет к тяжелым последствиям, потеря же байта на промышленном объекте может привести к последствиям катастрофическим. Именно поэтому следует уделять внимание каждому уровню реализации интерфейса: конструктивному, программному, схемотехническому.

- Конструктивная реализация промышленных интерфейсов подразумевает защиту от пыли, влаги, вибрации и ударов, увеличенную прочность кабеля, резервирование каналов связи в особенно важных приложениях.

- Схемотехническая реализация определяется такими требованиями к передатчикам как широкий диапазон рабочих температур, высокая устойчивость к воздействию электромагнитных помех, работа с длинными (до нескольких километров) линиями связи.

- Программная реализация протоколов верхнего уровня требует временной детерминированности передачи данных (определение максимально допустимого времени передачи пакета), возможности работы в реальном времени.

Разнообразие существующих интерфейсов

Типовая схема обработки/передачи данных промышленного предприятия (рисунок 1), подразумевает наличие нескольких уровней иерархии. На самом низком уровне работают устройства непосредственного управления (контроллеры двигателей, драйверы устройств) и датчики. В общем случае интенсивность обмена данными здесь невелика, но зато именно здесь присутствуют максимальные механические и электромагнитные воздействия. Основная задача — защитить передаваемые данные. На этом уровне, как правило, применяются прямые связи, а не сети. Основными интерфейсами являются HART, IO-LINK, RS-485, RS-232.

Более высокий уровень — уровень управления. На нем производится сбор

и обработка данных, получаемых от устройств нижнего уровня. Для передачи данных здесь, как правило, используются сетевые интерфейсы. При этом объем передаваемых данных значительно возрастает, а уровень электромагнитных и механических воздействий несколько ниже, чем на предыдущем уровне. Основными интерфейсами являются сетевые RS-485, CAN, Industrial Ethernet.

Самый высший уровень — представительский. Через каналы передачи данных (сеть) этого уровня происходит передача максимального объема информации, поэтому основное требование к каналу связи — высокая пропускная способность. Как правило, уровень помех здесь невелик и могут применяться обычные интерфейсы, офисные сетевые технологии (в основном, Ethernet).

Анализ уровней передачи данных показывает, что невозможно иметь всего один универсальный интерфейс передачи данных, так как требования на каждом уровне свои. На низком уровне можно обойтись простейшими сетевыми низкоскоростными интерфейсами, которые обладают высокой надежностью передачи данных и высокой защищенностью от электромагнитных помех. Уровень управления

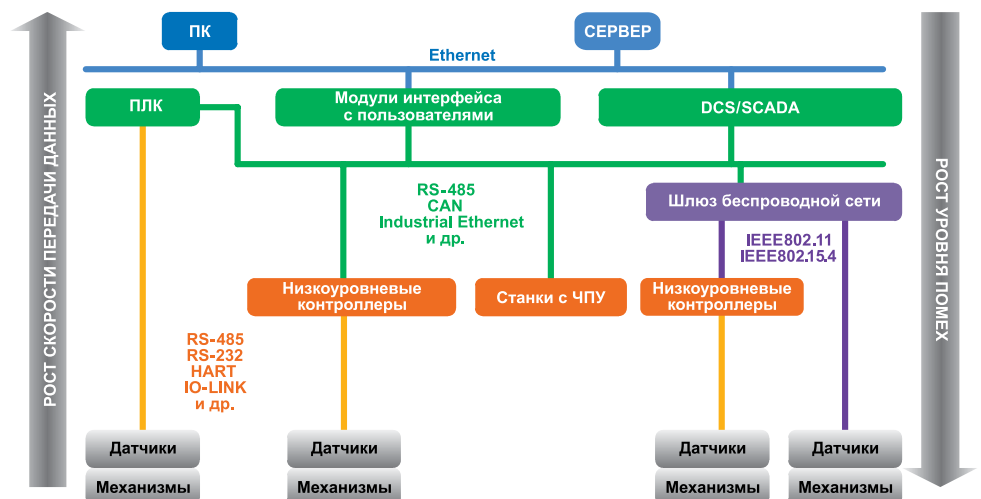


Рис. 1. Модель обработки/передачи данных в промышленных приложениях

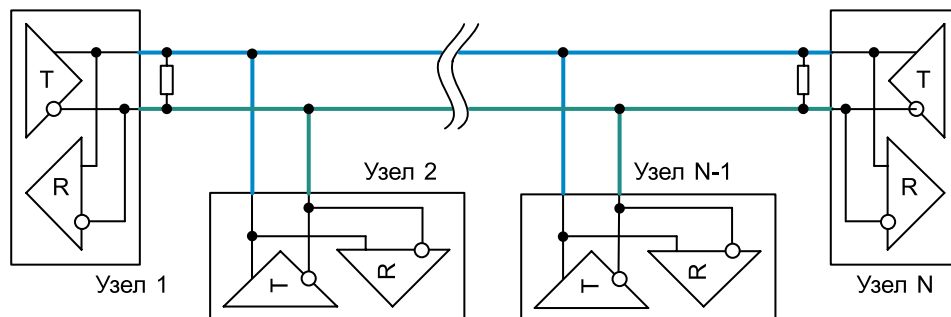


Рис. 2. Применения интерфейса RS-485 для построения сети

5B	HVD3082E	HVD3085E	HVD3088E	Минимальное потребление, миниатюрные	HVD3080E	HVD3083E	HVD3086E
	HVD20	HVD21	HVD22	Синфазное напряжение от -20В до 25В			
	HVD23		HVD24	Синфазное напряжение от -20В до 25В, Эквалайзер			
	HVD1785	HVD1786	HVD1787	Защита от КЗ на линии до ±70В Синфазное напряжение от -20В до 25В	HVD1791	HVD1792	HVD1793
	HVD82			Улучшенная защита от статики			
	LBC184			Защита от бросков при переходных процессах, Защита от статики			
	HVD1176			PROFIBUS			
	HVD96			Защита от «переключивания» сигнальных линий			
	ISO3082	ISO3088		Гальваническая изоляция 4кВ	ISO3080	ISO3086	ISO3086T
	ISO1176	ISO1176T		Гальваническая изоляция 4кВ PROFIBUS			
3,3B 5B	HVD08			Широкий диапазон питания 3,3B-5B			
	HVD1780	HVD1781	HVD1782	Защита от КЗ на линии до ±70В Широкий диапазон питания 3,3B-5B			
3,3B	HVD10	HVD11	HVD12	Улучшенная защита от статики			
				Инвертированный вход разрешения	HVD30	HVD31	HVD32
				Вход разрешения	HVD33	HVD34	HVD35
				Минимальное потребление	HVD37		
	HVD72	HVD75	HVD78	Улучшенная защита от статики			
	ISO15	ISO15M		Гальваническая изоляция 4кВ	ISO35	ISO35M	ISO35T
	Полудуплекс			Особенности	Дуплекс		

Рис. 3. Решения RS-485 производства компании Texas Instruments

подразумевает использование только сетевых интерфейсов с большей скоростью передачи данных.

Помимо чисто технических предпосылок разнообразия промышленных интерфейсов, существуют экономические и исторические. Во второй половине XX века практически каждый производитель промышленных контроллеров пытался создать свои интерфейсы, многие из них не прижились, однако многие стали общепринятыми. Большое количество устройств, выпущенных для

каждого из таких интерфейсов, значительный объем программного обеспечения для них не позволяют отказаться от их использования.

Анализ требований к промышленным интерфейсам

При выборе конкретного интерфейса разработчику приходится проводить тщательные анализы для соблюдения предъявляемых требований.

- **Анализ совместимости.** Подразумевает определение совместимости про-

ектируемого устройства с требованиями выбранного протокола, с уже существующими устройствами (и сетями) и будущими разработками.

- **Анализ пропускной способности выбранного интерфейса.** Необходимо учитывать такие параметры, как скорость передачи данных и рабочая частота интерфейса.

- **Анализ реализации топологии интерфейса.** Определение таких параметров, как возможные топологии соединения узлов сети, максимальная длина линии связи, число узлов в сети.

- **Анализ мощности и уровней питания.** Включает в себя определение уровней питающих напряжений, мощности потребления, необходимость наличия режимов низкого потребления.

- **Анализ защищенности передачи данных.** Включает в себя определение таких параметров, как защищенность от шумов, собственная генерация шумов, возможность обнаружения аварийных ситуаций и восстановление после сбоев.

- **Анализ электрической защиты интерфейса.** Защита от статического электричества и электромагнитных помех, определение необходимости гальванической развязки.

- **Анализ необходимой защищенности** (от влаги, пыли, ударов, вибрации, других механических химических и температурных воздействий непосредственно на линии связи). Критичным является выбор разъемов и кабелей.

- **Анализ стоимости.** Включает в себя не только стоимость элементной базы, но и стоимость внедрения.

Обзор интерфейса RS-485

RS-485 (EIA-485 или TIA/EIA-485) представляет собой наиболее распространенный интерфейс, обладающий рядом особенностей: прост в реализации, является сетевым интерфейсом, способен работать с линиями связи до 1200 м, максимальная скорость передачи может достигать 50 Мбит/с.

Информация в RS-485 передается в виде дифференциального сигнала (рисунк 2). Для повышения помехозащи-

Таблица 1. Семейство малопотребляющих RS-485 приемопередатчиков SN65HVD308xE

Наименование	Описание	Упит, В	Скорость (макс), Мб/с	Синфазное напряжение, В	Перенапряжения, В	Исс, макс, мА	Корпус
<u>SN65HVD3080E</u>	Малопотребляющий полный дуплексный приемопередатчик	5	0,2	-7...12	-9...14	0,75	10VSSOP
<u>SN65HVD3083E</u>		5	1	-7...12	-9...14	0,75	10VSSOP
<u>SN65HVD3086E</u>		5	20	-7...12	-9...14	0,75	10VSSOP, 14SOIC
<u>SN65HVD37</u>		3,3	20	-7...12	-13...13	0,8	14SOIC
<u>SN65HVD37</u>		3,3	20	-7...12	-13...13	0,8	14SOIC
<u>SN65HVD3082E</u>	Малопотребляющий дуплексный приемопередатчик	5	0,2	-7...12	-9...14	0,9	8PDIP, 8SOIC, 8VSSOP
<u>SN65HVD3085E</u>		5	1	-7...12	-9...14	0,9	8SOIC, 8VSSOP
<u>SN65HVD3088E</u>		5	20	-7...12	-9...14	0,9	8SOIC, 8VSSOP

Таблица 2. Приемопередатчики RS-485 с дополнительными защитными функциями

Наименование	Описание	Упит, В	Скорость (макс), Мб/с	Синфазное напряжение, В	Перенапряжения, В	Исс, макс, мА	Корпус
<u>SN65HVD20</u>	Приемопередатчики с расширенным диапазоном синфазного напряжения	5	25	-20...25	-27...27	9	8PDIP, 8SOIC
<u>SN65HVD21</u>		5	5	-20...25	-27...27	12	8PDIP, 8SOIC
<u>SN65HVD21A</u>		5	6	-20...25	-27...27	12	8SOIC
<u>SN65HVD22</u>		5	0,5	-20...25	-27...27	9	8PDIP, 8SOIC
<u>SN65HVD21M-EP</u>	Расширенный температурный диапазон	5	5	-20...25	-27...27	12	8SOIC
<u>SN65HVD23</u>	Приемопередатчики с расширенным диапазоном синфазного напряжения, эквалайзер	5	25	-20...25	-27...27	11	8PDIP, 8SOIC
<u>SN65HVD24</u>		5	3	-20...25	-27...27	14	8PDIP, 8SOIC
<u>SN65HVD1782</u>	Защита от ± 30 В	3,3, 5	10	-7...12	-30...30	6	8PDIP, 8SOIC
<u>SN65HVD1787</u>	Защита от ± 30 В, расширенный диапазон синфазного напряжения	5	1	-20...25	-30...30	6	14SOIC
<u>SN65HVD1793</u>		5	10	-20...25	-30...30	6	14SOIC
<u>SN65HVD1780</u>	Защита от ± 70 В	3,3, 5	0,115	-7...12	-70...70	6	8PDIP, 8SOIC
<u>SN65HVD1781</u>		3,3, 5	1	-7...12	-70...70	6	8PDIP, 8SOIC
<u>SN65HVD1781-Q1</u>		3,3, 5	1	-7...12	-70...70	6	8SOIC
<u>SN65HVD1785</u>	Защита от ± 70 В, расширенный диапазон синфазного напряжения	5	0,115	-20...25	-70...70	6	8PDIP, 8SOIC
<u>SN65HVD1786</u>		5	1	-20...25	-70...70	6	8PDIP, 8SOIC
<u>SN65HVD1792</u>		5	10	-20...25	-70...70	6	8PDIP, 8SOIC
<u>SN65HVD1791</u>		5	0,115	-20...25	-70...70	6	14SOIC
<u>SN65HVD1794</u>		5	0,115	-20...25	-70... 70	6	8PDIP, 8SOIC
<u>SN65HVD82</u>	Повышенная защита от статики	5	0,25	-7...12	-18 до 18	0,9	8SOIC
<u>SN65HVD10</u>		3,3	32	-7...12	-9 до 14	15,5	8PDIP, 8SOIC
<u>SN65HVD10-EP</u>		3,3	25	-7...12	-9 до 14	15,5	8SOIC
<u>SN65HVD11</u>		3,3	10	-7...12	-9 до 14	15,5	8PDIP, 8SOIC
<u>SN65HVD11-HT</u>		3,3	10	-7...12	-9 до 14	18	0XCEPT, 8CDIP SB, 8CFP, 8SOIC
<u>SN65HVD12</u>		3,3	1	-7...12	-9 до 14	15,5	8PDIP, 8SOIC
<u>SN65HVD12-EP</u>		3,3	1	-7...12	-9 до 14	15,5	8SOIC
<u>SN75HVD10</u>		3,3	32	-7...12	-9 до 14	15,5	8PDIP, 8SOIC
<u>SN75HVD11</u>		3,3	10	-7...12	-9 до 14	15,5	8PDIP, 8SOIC
<u>SN75HVD12</u>		3,3	1	-7...12	-9 до 14	15,5	8PDIP, 8SOIC
<u>SN65HVD78</u>	Повышенная защита от статики	3,3	50	-7...12	-8 до 18	0,95	8SOIC, 8SON, 8VSSOP
<u>SN65HVD72</u>		3,3	0,25	-7...12	-8 до 18	0,95	8SOIC, 8SON, 8VSSOP
<u>SN65HVD75</u>		3,3	20	-7...12	-8 до 18	0,95	8SOIC, 8SON, 8VSSOP
<u>SN65LBC184</u>	Защита от бросков напряжения при переходных процессах	5	0,25	-7...12	-15 до 15	25	8PDIP, 8SOIC
<u>SN75LBC184</u>		5	0,25	-7...12	-15 до 15	25	8PDIP, 8SOIC
<u>SN65HVD96</u>	Защита от перекручивания	5	5	-7...12	-35 до 40	20	8SOIC
<u>SN65HVD888</u>	Защита от перекручивания	5	0,25	-7...12	-18 до 18	0,9	8SOIC

ценности канала используется витая пара. Основной топологией интерфейса RS-485 является общая шина.

На основе интерфейса RS-485 реализовано большое количество протоколов: MODBUS, PROFIBUS и др.

Данные протоколы применяются в различных областях: в измерительной технике, автоматизации зданий, про-

мышленной автоматизации, управлении двигателями, охранных системах

Выбрав RS-485, необходимо определиться с рядом параметров:

- Выбор гальванически изолированного или неизолированного варианта исполнения.
- Выбор режима передачи данных: дуплекс или полудуплекс.

- Выбор напряжения питания микросхем приемопередатчиков (3,3 или 5 В).

- Определение максимальной скорости передачи данных.
- Определение дополнительных требований: необходимость защиты от повышенных синфазных напряжений, защиты от перенапряжений, статического

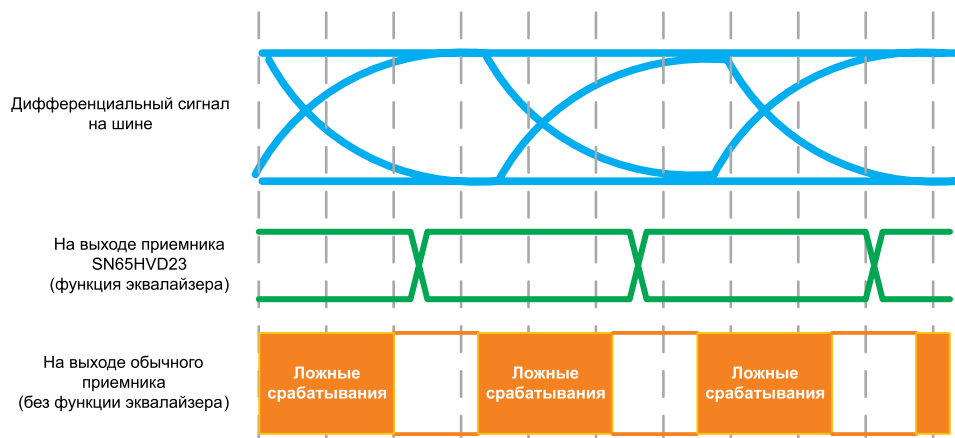


Рис. 4. Реализация функции эквалайзера в SN65HVD23

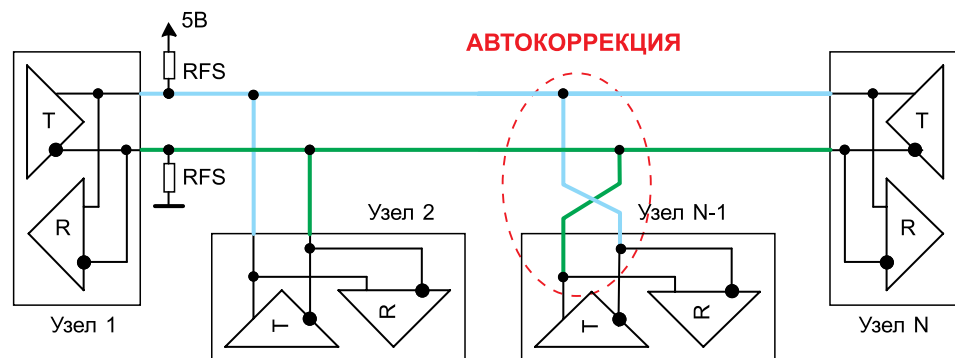


Рис. 6. Автокоррекция полярности при неправильном подключении к шине

электричества, неверного подключения сигнальных проводов, необходимость функции энергосбережения и малого потребления.

Решения для RS-485 производства компании TI

Texas Instruments представляет широкий выбор микросхем приемопередатчиков RS-485 (рисунок 3), позволяющий удовлетворить все вышеперечисленные требования. Доступны приемопередатчики с различными питающими напряжениями (3,3 или 5 В), с минимальным энергопотреблением, встроенной защитой от статики и перенапряжений, изолированные и неизолированные, с дополнительными защитными механизмами.

Рассмотрим подробнее особенности новых микросхем приемопередатчиков RS-485 производства TI.

Семейство с малым потреблением SN65HV308xE

Семейство **SN65HVD308xE** (таблица 1) представляет собой 5 В микросхемы малопотребляющих приемопередатчиков RS-485. Типовой ток потребления при активном приемнике и работающем передатчике составляет не более 0,4 мА, типовое потребление в неактивном режиме составляет всего 2 нА. Максимальный ток не превышает 1 мА.

Скорость передачи достигает 20 Мб/с (**SN65HVD3088E**). Максимальное количество передатчиков в сети — 256, при этом допустимо «горячее» включение узлов, так как реализована функция защиты информационных выходов от бросков напряжения при включении/выключении питания. Приемник устойчив к аварийным состояниям, которые могут быть вызваны:

- обрывом шины (например, при отключении разъема);
- коротким замыканием сигнальных линий (например, при перетирании/разрыве витой пары);
- Состоянием Idle на шине (при отсутствии активных передатчиков на шине).

При любом из таких аварийных состояний дифференциальные входы переводятся в одинаковое состояние (High State), в результате логический выход принимает значение логического нуля, а не является неопределенным.

Рабочий диапазон температур составляет -40...85°C.

Основной областью применения для этого семейства, помимо промышленных портативных устройств с батарейным питанием, могут стать и другие приборы и устройства промышленной автоматизации, системы автоматизации зданий, терминалы оплаты, телекоммуникационное оборудование.

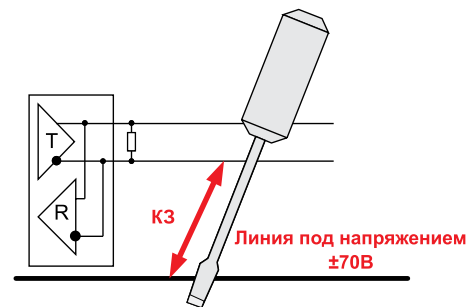


Рис. 5. Короткое замыкание на высоковольтный проводник

Приемопередатчики RS-485 с дополнительными защитными функциями

В условиях промышленного предприятия существует значительная опасность повреждения электроники при различных электрических и механических воздействиях. Texas Instruments предлагает широкий спектр микросхем с дополнительными защитными функциями (таблица 2). Эти микросхемы можно разделить на следующие группы: приемопередатчики с расширенным диапазоном синфазного напряжения, с защитой от повышенных уровней перенапряжения, с улучшенной защитой от статики, с защитой от перекручивания. Рассмотрим подробнее каждую группу.

Микросхемы с широким диапазоном синфазных напряжений. Анализ показывает, что многие защищенные микросхемы TI (таблица 2) имеют повышенную стойкость к уровню синфазного напряжения (стандартное значение синфазного напряжения по стандарту TIA/EIA-485 составляет -7...12 В).

Базовым семейством можно считать **SN65HVD2x**. Основной особенностью этого семейства является возможность работать при синфазном напряжении -20...+25 В, что в два раза больше, чем требует стандарт TIA/EIA-485. Кроме того, гистерезис приемника составляет 100 мВ, что значительно больше типовых значений (50...70 мВ). Такие характеристики позволяют улучшить помехозащищенность и увеличить длину линий связи. Так **SN65HVD22**, при скорости передачи данных до 500 кб/с позволяет использовать линию связи длиной 1200 м.

Микросхемы **SN65HVD23/24** имеют дополнительную функцию эквалайзера. Как известно, для увеличения длины канала связи при неизменной скорости передачи данных необходимо увеличивать чувствительность приемника, однако при этом чувствительность к шумам возрастает. В данных микросхемах применен активный фильтр, подавляющий шумы и дребезг, предотвра-

Таблица 3. Изолированные приемопередатчики RS-485

Наименование	Описание	Упит, В	Скорость (макс), Мб/с	Синфазное напряжение, В	Перенапряжения, В	Исс, макс, мА	Корпус
ISO3080	Изолированный дуплексный приемопередатчик	5	0,2	-7...12	-9...14	15	16SOIC
ISO3086		5	20	-7...12	-9...14	15	16SOIC
ISO3082	Изолированный полудуплексный приемопередатчик	5	0,2	-7...12	-9...14	15	16SOIC
ISO3088		5	20	-7...12	-9...14	15	16SOIC
ISO1176	Изолированный PROFIBUS	5	40	-7...12	-9...14	75	16SOIC
ISO15	Изолированный полудуплексный приемопередатчик	3,3	1	-7...12	-9...14	21	16SOIC
ISO15M		5	1	-7...12	-9...14	20	16SOIC
ISO35	Изолированный дуплексный приемопередатчик	3,3	1	-7...12	-9...14	21	16SOIC
ISO35M		5	1	-7...12	-9...14	20	16SOIC
ISO3086T	Изолированный с драйвером для трансформатора	5	20	-7...12	-9...14	15	16SOIC
ISO35T		3,3	1	-7...12	-9...14	27	16SOIC
ISO1176T	Изолированный с драйвером для трансформатора PROFIBUS	5	40	-7...12	-9...14	29	16SOIC

щая тем самым ложные переключения (рисунок 4.).

Рабочий диапазон температур составляет -40...85°C. **SN65HVD21M-EP** имеет расширенный температурный диапазон -55...125°C.

Идеальным применением для данного семейства являются протяженные сетевые каналы связи с повышенным уровнем помех на промышленных объектах, в охранных системах и системах автоматизации зданий. Кроме того, возможно их применение в промышленных контроллерах и авиации.

Микросхемы с повышенной защитой от перенапряжения. Рядом с сигнальными линиями могут находиться силовые высоковольтные проводники. Для защиты от короткого замыкания

(рисунок 5.) Texas Instruments предлагает использовать приемопередатчики с защитой от перенапряжений.

К таким приемопередатчикам относятся семейства **SN65HVD178x** и **SN65HVD179x**. Они сохраняют работоспособность в условиях больших перенапряжений, вызванных короткими замыканиями на питающие линии, ошибками подключения проводников, ошибками включения разъемов, разрывами кабеля. Кроме того, они устойчивы к статическим разрядам до 16 кВ (HBM).

Приемопередатчики включают в себя микросхемы с защитой от перенапряжений до ± 30 В (**SN65HVD1782**, **SN65HVD1787**, **SN65HVD1793**), и ± 70 В (остальные микросхемы).

Особо стоит отметить приемопередатчики **SN65HVD1785**, **SN65HVD1786**, **SN65HVD1791**, **SN65HVD1792**, **SN65HVD1794**. Они, помимо устойчивости к перенапряжениям до ± 70 В, имеют защиту от повышенного синфазного напряжения (-20...+25 В).

Идеальной областью применения для данных микросхем является непосредственная связь с исполнительными устройствами и другие приложения, в которых есть потенциальная возможность КЗ на линии с напряжением до 70 В.

Микросхемы с повышенной устойчивостью к статическим разрядам. Статическое напряжение — неизменный спутник вращающихся и трущихся механизмов. Устойчивость к нему зачастую может стать определяющим фактором в выборе микросхемы. Микросхемы семейств **SN65HVD1x**, **SN65HVD7x** и **SN65HVD82** предлагают защиту от статического электричества.

Микросхемы **SN65HVD82** — 5 В приемопередатчик, обладающий повышенной защитой от статического электричества: ± 16 кВ (HBM), ± 12 кВ (IEC61000-4-2 Contact Discharge), ± 4 кВ (IEC61000-4-4 Fast Transient Burst). Гистерезис приемника составля-

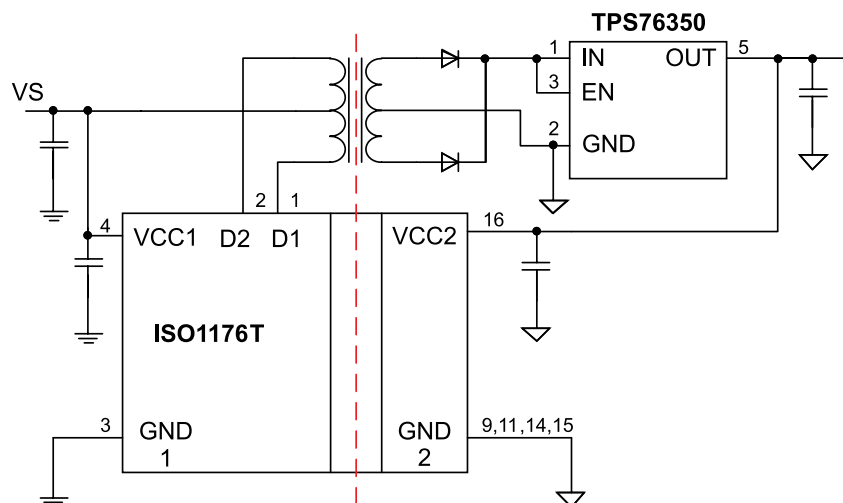


Рис. 7. Организация питания приемопередатчика на основе ISO3086T/ISO35T/ISO1176T

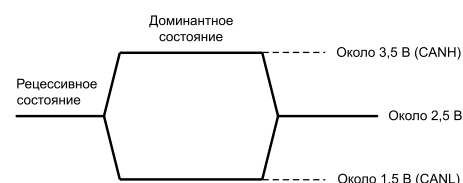


Рис. 8. Определение логического состояния шины CAN

Таблица 4. Приемопередатчики SN65HVD25x

Наименование	Особенности	Перенапряжения, В	Исс, макс, мА	Упит, В	Корпус
SN65HVD257	Turbo CAN, функция диагностики аварийных ситуаций	-27...40	85	4,5...5,5	8SOIC
SN65HVD256	Turbo CAN, дополнительный вход питания VRXD для выходного буфера приемника	-27...40	85	4,5...5,5 2,8...5,5	8SOIC
SN65HVD255	Turbo CAN	-27...40	85	4,5...5,5	8SOIC

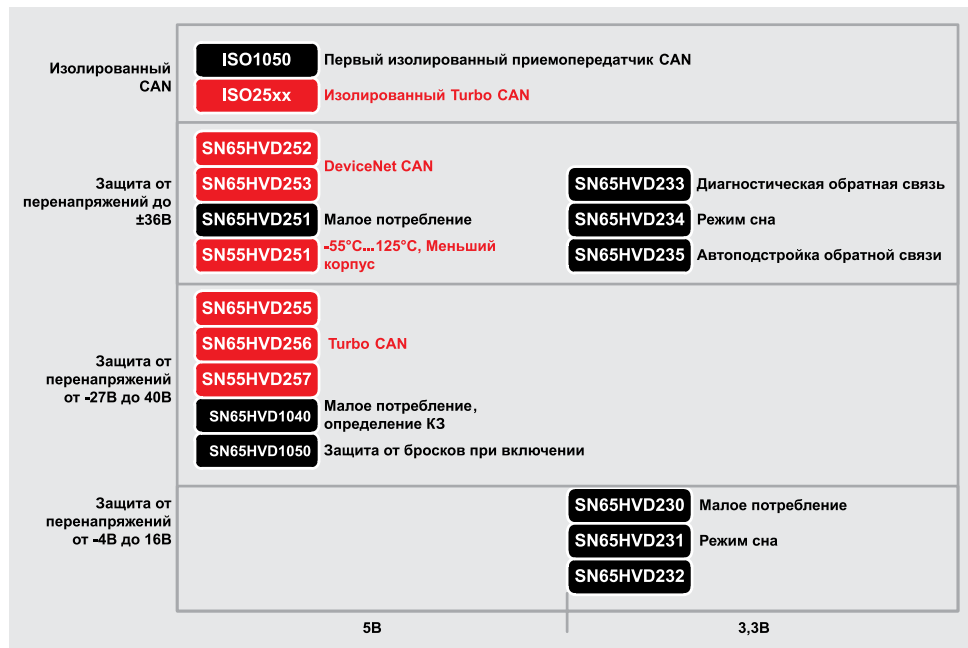


Рис. 9. Решения для CAN-интерфейса от TI

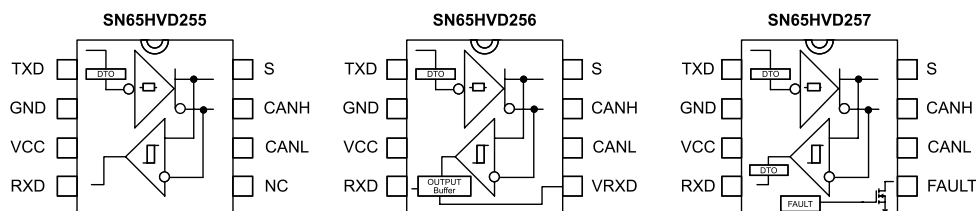


Рис. 10. Расположение выводов SN65HVD25x

ет 60 мВ. Ток потребления — 1 мА в активном режиме и 1 мкА в режиме покоя. Скорость передачи до 250 кб/с.

Семейство SN65HVD1x представляет собой 3,3 В приемопередатчики с защитой от 16 кВ (HBM) и скоростью передачи данных до 10 Мб/с.

SN65HVD7x — 3,3 В приемопередатчики с защитой от 16 кВ (HBM) и скоростью передачи данных до 50 Мб/с.

Высокая устойчивость к статике позволяет применять данные приемопередатчики для измерительной техники, для промышленной автоматики и автоматизации зданий, кроме того — в охранных системах.

Микросхемы с повышенной устойчивостью к выбросам при переходных процессах. Приемопередатчики **SN65LBC184/SN75LBC184** обладают повышенной защищенностью как к статическим разрядам (± 15 кВ (JEDEC HBM), ± 30 кВ (IEC61000-4-2 Contact

Discharge), ± 15 кВ (IEC61000-4-2 Air Gap Discharge)), так и к мощным выбросам до 400 Вт (по IEC61000-4-5), возникающим при переходных процессах.

Хотя максимальная скорость передачи данных невелика (до 250 кб/с), но высокая устойчивость позволяет применять их в непосредственной близости от мощных источников электромагнитных помех.

Микросхемы приемопередатчиков с защитой от неверного подключения сигнальных проводников. Микросхема **SN65HVD96** способна работать даже в том случае, когда при подключении (к шине или к другому передатчику) перепутаны сигнальные провода. Кроме того, имеется встроенная защита от перенапряжений -35...40 В.

Стоит отметить, что данный приемопередатчик совместим по выводам с остальными приемопередатчиками, то

есть может заменять их даже в существующих устройствах.

Особенностью приемопередатчика являются расширенный гистерезис приемника (150 мВ) и ограничение выходного тока передатчика.

Еще одним представителем приемопередатчиков с автокоррекцией подключения является **SN65HVD888**. Данная микросхема способна обнаружить неверное подключение и скорректировать свою работу за 76 мс. Однако для обнаружения неверного подключения должен быть выполнен ряд условий (рисунок 6.):

- Должна быть реализована защитная резистивная цепочка (RFS).
- SN65HVD888 должен находиться в режиме приемника, его передатчик должен быть отключен ($RE = DE = Low$).
- На шине должно сохраняться состояние Idle в течение времени коррекции (до 76 мс).

Отличительной особенностью **SN65HVD888** является повышенная стойкость к статическим разрядам ± 16 кВ (HBM), ± 12 кВ (IEC61000-4-2), $+4$ кВ (IEC61000-4-4).

Стоит отметить также очень низкий уровень собственного потребления, который составляет всего 0,9 мА.

Областями применения микросхемы **SN65HVD888** являются измерительная техника, системы управления микроклиматом, DMX512-сети. Низкое потребление позволяет применять данный приемопередатчик в устройствах с батарейным питанием.

Изолированные решения

Texas Instruments предлагает широкий выбор изолированных приемопередатчиков (таблица 3).

Семейство **ISO308x** представляет собой 5 В, гальванически изолированные приемопередатчики, позволяющие передавать данные со скоростью до 20 Мб/с (**ISO3086**, **ISO3088**). Параметры гальванической изоляции — 4 кВП-П и 2500 В ср.кв. Таким образом, полностью соответствуя требованиям TIA/EIA-485, данное семейство позволяет работать в условиях высокого уровня электромагнитных помех в длинных линиях. Основными областями применения таких микросхем является работа в составе приводов, мощных инверторов, в измерительных приборах и других устройствах промышленной автоматики.

Микросхемы **ISO15/15M**, **ISO35/35M** представляют собой 3,3 В гальванически изолированные приемопередатчики. Аналогичны по уровню защиты ISO308х, но работают только со скоростью до 1 Мб/с. ISO15/ ISO15M являются полудуплексными, а ISO35/ ISO35M работают в режиме полного дуплекса.

Микросхема **ISO1176** — гальванически изолированный и оптимизированный для PROFIBUS приемопередатчик. Максимальная скорость составляет 40 Мб/с, максимальное число узлов в сети —160 (при емкости до 10 пФ). Параметры гальванической изоляции — 4 кВП-II и 2500 В ср.кв.

Микросхемы **ISO3086T/ISO35T/ISO1176T** являются версиями вышеприведенных микросхем приемопередатчиков со встроенным драйвером трансформатора, что позволяет наиболее просто реализовывать источник питания для вторичной стороны (рисунок 7.).

Обзор интерфейса CAN

Интерфейс **CAN** великолепно зарекомендовал себя в таких областях, как промышленная автоматика, автомобильная электроника, медицинская техника. Основное его предназначение — построение сетей контроллеров и датчиков для передачи данных со скоростью до 1 Мб/с. Для передачи данных используется две сигнальные линии CANH и CANL (рисунок 8).

На основе шины CAN реализовано множество протоколов: CANaerospace (протокол для аэрокосмической отрасли), DeviceNet (промышленные сети), MilCAN, ISO11898-х и многие другие.

Если для реализации выбран CAN-интерфейс, то необходимо определить ряд параметров:

- определить, требуется ли гальваническая изоляция CAN;
- определить параметры питания (уровень питающего напряжения и потребляемой мощности).
- определить уровень защищенности от аварийных ситуаций;
- определить дополнительные требования: наличие функции обратной связи, наличие энергосберегающих режимов и др.;
- определить особые требования выбранного протокола (DeviceNet, CANopen, ISO11783 и др.).

Существующий портфель решений TI для CAN-интерфейса и основные преимущества

Компания Texas Instruments предлагает большой выбор микросхем приемопередатчиков CAN, позволяющий выбрать микросхему, отвечающую всем вышеперечисленным требованиям. Имеются как 5 В, так и 3,3 В микросхемы, микросхемы с гальванической изоляци-

ей, с широким диапазоном рабочих температур (рисунок 9).

SN65HVD25x Turbo CAN

Texas Instruments представил новое семейство приемопередатчиков CAN — **SN65HVD25x** (таблица 4). Это 5 В микросхемы, полностью соответствующие требованиям ISO 11898-2 и выполненные в корпусе SOIC8 со стандартным расположением выводов (рисунок 10). Они являются развитием предыдущих семейств CAN-трансиверов и способны заменить микросхемы **SN65HVD252**, **SN65HVD253** и **SN65HVD1050/1040** в уже готовых устройствах.

Главной особенностью семейства является новая технология “Turbo” CAN, предлагающая сразу несколько преимуществ:

- обеспечивает минимально возможные временные задержки, даже в случае емкостной нагрузки (в больших сетях) и максимальную скорость сигнала, передающего данные со скоростью, превышающей 1 Мб/с;
- имеет сбалансированную структуру, позволяющую добиваться низких уровней собственных помех;
- готовность к работе в составе CAN FD (CAN with Flexible Data-Rate) со скоростями более 1 Мб/с;
- еще одной особенностью является практически полное отсутствие потребления в случае, когда не происходит питания микросхемы («Ideal Passive»);
- микросхемы имеют высокую степень защиты;
- защита от статического электричества ± 12 кВ (HBM), ± 8 кВ (IEC61000-4-2);
- соответствие требованиям автомобильного стандарта ISO7637: Pulse 1 (-100 В), Pulse 2 (+75 В), Pulse 3a (-150 В), Pulse 3b (+100 В);
- защита сигнальных линий от напряжений -27...40 В;
- защита от аварийных ситуаций на линиях: от постоянного доминантного состояния и постоянного рецессивного (в обоих случаях скорость ограничивается 9,4 кб/с);

Диапазон рабочих температур составляет -40...125°C.

Изолированные решения CAN — ISO1050

Микросхема **ISO1050** (рисунок 11) была первым изолированным приемопередатчиком и за время своего существования проявила себя исключительно с хорошей стороны. Полностью соответствуя требованиям ISO 11898-2, данный приемопередатчик использует интегрированную SiO₂-изоляцию, электрическая прочность которой составляет 2500 В ср.кв (**ISO1050** в корпусе 8SOP и **ISO1050L** в корпусе 16SOIC,) или 5000 В ср.кв (**ISO1050** в корпусе 16SOIC,).

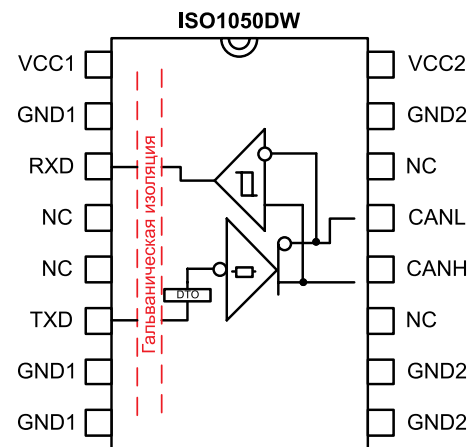


Рис. 11. Расположение выводов ISO1050

Микросхема устойчива к статическим разрядам до ± 4 кВ (HBM) и способна выдерживать броски напряжения при переходных процессах, равные -27...40 В.

Рабочий диапазон температур составляет -55...105°C.

Производитель заявляет, что при работе в рамках рекомендованных параметров средний срок службы приемопередатчика составляет 25 лет.

Заключение

Компания Texas Instruments предлагает широчайший выбор приемопередатчиков RS-485 для различных напряжений питания (3,3 и 5 В), с малым энергопотреблением, гальванической изоляцией, высочайшей степенью защиты как от статических помех, так и от выбросов напряжения вплоть до ± 70 В. Такой выбор позволяет выбрать микросхему с учетом требований конкретного приложения. Новое семейство CAN-трансиверов SN65HVD25x реализует технологию Turbo CAN, позволяющую передавать данные со скоростями, превышающими 1 Мб/с.

Литература

1. RS-485 Reference Guide. Texas Instruments, 2012.
2. CAN Reference Guide. Texas Instruments, 2012.
3. SLLU173B User's Guide RS-485 Half-Duplex Evaluation Module, 2012—Revised June 2013.
4. Презентация INDUSTRIAL INTERFACE. Texas Instruments.
5. Документация на компоненты взята с www.ti.com.

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

Алексей Пазюк (КОМПЭЛ)

МИНИАТЮРНОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ ИЗОЛИРОВАННОГО DC/DC-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ



Один из насущных вопросов разработчика — как обеспечить интерфейсы **SPI**, **RS-485**, **CAN** гальванически развязанным питанием, сохраняя при этом минимально возможные габариты. Одним из наиболее простых и экономичных решений данной задачи является использование двухтактного драйвера трансформатора **SN6501** или драйвера **TPS55010** от **Texas Instruments**.

При построении любого типа промышленных интерфейсов одним из вопросов, решаемых разработчиками, является вопрос о необходимости применения гальванической развязки. И в большинстве случаев ответ на данный вопрос зависит от необходимости решения таких задач, как повышение электробезопасности, уменьшение влияния синфазных помех, защита от высоковольтных воздействий, реализация разрыва «земляной» петли и т.п. Следующий вопрос, который приходится решать после того, как выяснена необходимость реализации гальванической развязки и выбраны элементы для реализации изолированного интерфейса — как обеспечить питание сигнальной линии. На сегодняшний день для реализации изолированных DC/DC-преобразователей существует множество решений, но, в большинстве своем, для построения изолированного интерфейса необходимо бюджетное малогабаритное решение. Для такого применения **Texas Instruments** предлагает драйверы **SN6501** и **TPS55010**. По применению микросхемы условно можно разделить по мощности нагрузки: **SN6501** предназначена для мощностей менее 0,5 Вт, а **TPS55010** — для мощностей менее 2 Вт. Отличия в выходной мощности определяются корпусом и внутренней схемой,

так **SN6501** выполнена по схеме двухтактного преобразователя в корпусе SOT23, а **TPS55010** представляет собой драйвер трансформатора для реализации Flybuck-архитектуры и выполнена в 16-выводном QFN-корпусе (3x3 мм).

Общие сведения об SN6501

SN6501 — это драйвер трансформатора, разработанный для бюджетных малогабаритных изолированных DC/DC-преобразователей и реализующий двухтактную схему управления. Данный драйвер выполнен в корпусе SOT23-5. В состав микросхемы входят тактовый генератор, схема управления транзисторами и два N-канальных МОП-транзистора. Схема управления транзисторами включает частотный делитель и логическую схему, которая обеспечивает выходные комплементарные сигналы без перекрытия временных интервалов (рисунок 1).

Выходная частота генератора подается на асинхронный делитель, который обеспечивает два комплементарных выходных сигнала S и $\bar{S}$ пониженной частоты со скважностью 50%. Последующая логика добавляет «мертвую зону» между высокими уровнями двух сигналов. Полученные в результате сигналы G_1 и G_2 представляют собой сигналы управления затворами выходных тран-

зисторов Q_1 и Q_2 . Как показано на рисунке 2, перед тем, как на любой из затворов подается управляющий сигнал (G_1 , G_2) с уровнем логической единицы, в него добавляется короткий интервал, на протяжении которого оба сигнала находятся в «низком» состоянии, а оба транзистора, соответственно, в высокоимпедансном. Этот короткий период необходим для предотвращения замыкания между выводами первичной обмотки и обеспечивает режим работы без перекрытия временных интервалов.

Общие сведения о TPS55010

TPS55010 представляет собой драйвер трансформатора, предназначенный для работы по оригинальной Flybuck-топологии. Микросхема выполнена в малогабаритном корпусе QFN с термопадом. Внутренняя схема включает в себя регулируемый генератор (0,100...2 МГц), с возможностью синхронизации от внешнего сигнала, схему ШИМ, полумост, температурную защиту, защиту по напряжению (рисунок 3). Для установки выходного напряжения используется встроенный полумост с токовым управлением. Также в схеме предусмотрена возможность плавного запуска, что обеспечивается подсоединением конденсатора к выводу SS.

При включении **TPS55010** по топологии Flybuck трансформатор подключается так же, как в обратноходовом преобразователе, в то время как соотношение между входным и выходным напряжением определяется как у обычного понижающего трансформатора/преобразователя. Т.е. выходное напряжение определяется напряжением первичной цепи, и нет необходимости в

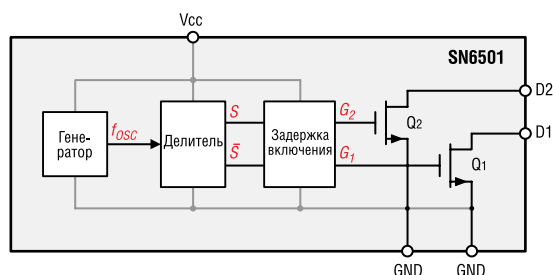


Рис. 1. Блок-схема и временные диаграммы выходных сигналов **SN6501**

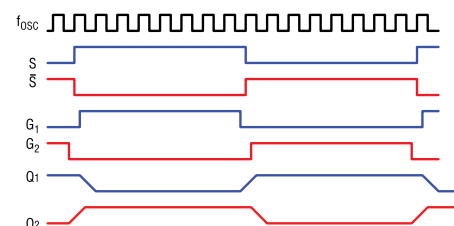
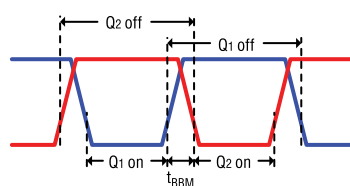


Рис. 2. Форма выходных сигналов

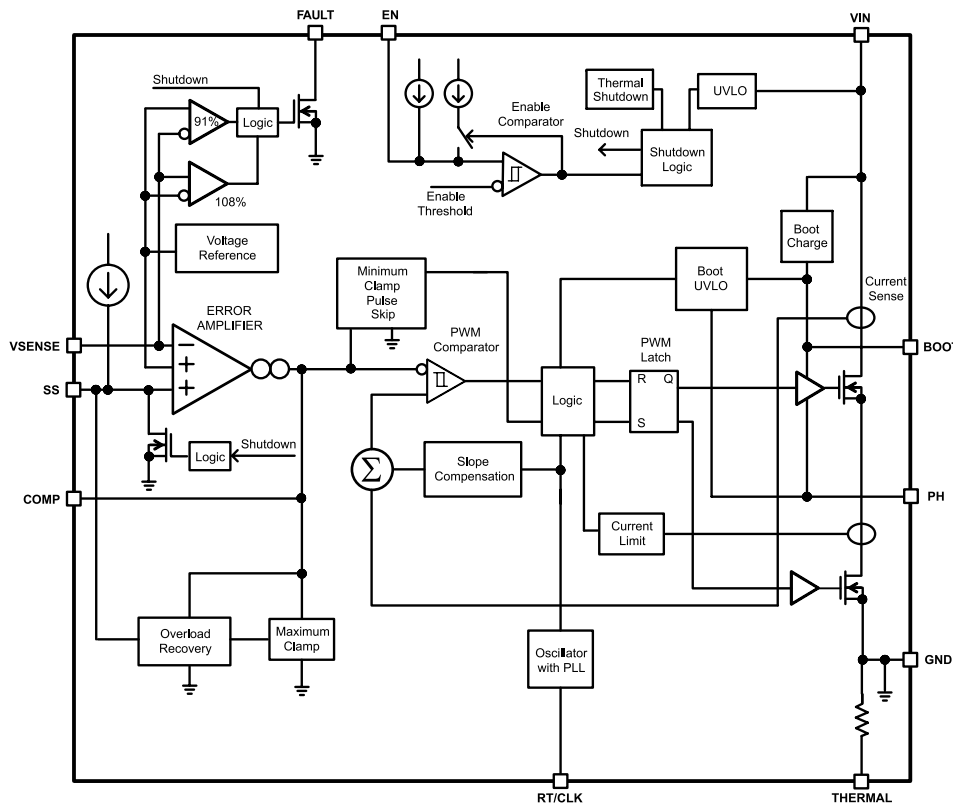


Рис. 3. Структурная схема TPS55010

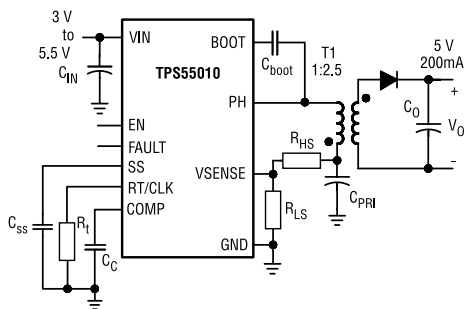


Рис. 4. Типовая схема включения TPS55010

использовании дополнительной опто-развязки (рисунок 4). Высокая эффективность преобразователя (более 80%) определяется использованием встроенных MOSFET-транзисторов для реализации полумоста.

С целью упрощения разработки для совместной работы с микросхемой TPS55010 доступны готовые трансформаторы, выпускаемые фирмой **Würth** (#750311880 с коэффициентом трансформации 1:2,5 и гальванической раз-

вязкой 2,5 кВ, #750311780 с коэффициентом трансформации 1:8, биполярным выходом и гальванической развязкой 2 кВ).

Далее более подробно рассмотрим принцип работы двухтактного преобразователя, использующегося в SN6501, и особенности выбора компонентов.

Принцип работы двухтактного преобразователя

Одним из способов передачи напряжения с первичной во вторичную цепь в DC/DC-преобразователях является использование двухтактного преобразователя совместно с трансформатором с выводом от средней точки.

Принцип работы двухтактного преобразователя проиллюстрирован на рисунке 5. В первой фазе, когда Q_1 замкнут, напряжение V_{IN} создает условие для прохождения тока через нижнюю часть первичной обмотки, тем самым создавая негативное напряжение относительно средней точки. В тоже вре-

мя, на верхней половине первичной обмотки напряжение положительно относительно средней точки и удерживает предыдущее значение тока через Q_2 , который в текущем состоянии разомкнут. Таким образом, два источника напряжения, каждый из которых имеет напряжение V_{IN} , включены последовательно и создают потенциал, равный $2 V_{IN}$ относительно земли. Напряжение той же полярности, что в первичной обмотке, будет и во вторичной. Следовательно, диод CR_1 будет смещен в прямом направлении положительным потенциалом верхней части вторичной обмотки. Ток вторичной обмотки будет протекать через диод CR_1 , заряжать конденсатор и возвращаться на заземленную среднюю точку через нагрузку R_L .

Во второй фазе (рисунок 5), когда Q_2 замкнут, Q_1 переключается в высокоимпедансное состояние, и полярность напряжений в первичной и вторичной обмотках меняется. В данном случае нижний конец первичной обмотки находится под потенциалом $2 V_{IN}$ относительно земли. Теперь CR_2 смещен в прямом направлении, тогда как CR_1 обратно смещен, и ток протекает с нижнего конца вторичной обмотки, заряжая емкость через диод CR_2 , и возвращается через нагрузку к центральному выводу.

Эффект намагничивания сердечника

Для уменьшения потерь источника питания в магнитном материале необходимо учитывать эффект намагничивания сердечника. На рисунке 6 показана кривая идеального намагничивания для двухтактного преобразователя, где B — плотность магнитного потока, а H — сила магнитного поля. Когда Q_1 находится в проводящем состоянии, магнитный поток меняется от A к A' , а когда Q_2 замыкается — поток возвращается обратно от A' к A . Разница в потоке, а, соответственно, и плотность, пропорциональны произведению напряжения первичной обмотки V_P на время t_{ON} , в течение которого оно было приложено: $B \approx V_P \times t_{ON}$.

Данное произведение важно, так как определяет намагниченность сердечника во время каждого цикла переключения. Если произведение напряжения и времени для двух фаз работы преобразователя не является идентичным, то несимметричность плотности потока приведет к смещению B - H -кривой относительно начального положения. Если баланс не восстановить, то смещение будет увеличиваться с каждым последующим циклом, и постепенно трансформатор перейдет в область насыщения.

Однако, благодаря положительно-му температурному коэффициенту сопротивления канала МОП-транзистора, выходной транзистор SN6501 саморегулирует разбаланс " $V \times t$ ". В случае

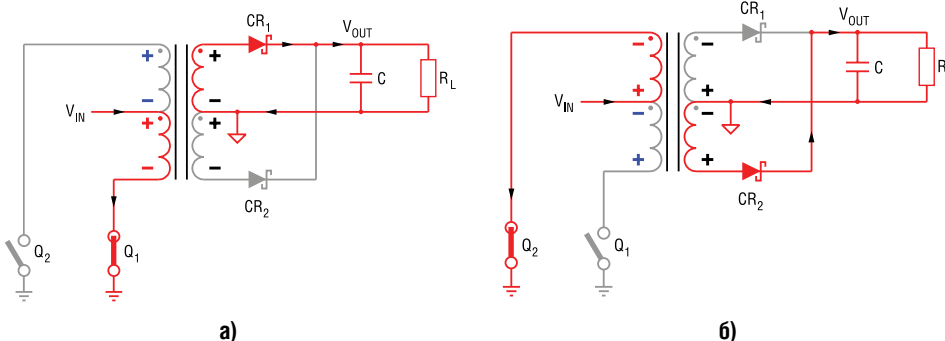


Рис. 5. Фазы переключения двухтактного преобразователя

Таблица 1. Требуемые максимальные значения входных напряжений LDO для различных конфигураций двухтактного преобразователя

Двухтактный преобразователь				LDO
Конфигурация	V_{INmax} , В	Коэффициент трансформации	V_{Smax} , В	V_{Imax} , В
3,3 В V_{IN} /3,3 В V_{OUT}	3,6	1,5 $\pm 3\%$	5,6	6...10
3,3 В V_{IN} /5 В V_{OUT}	3,6	2,2 $\pm 3\%$	8,2	10
5 В V_{IN} /5 В V_{OUT}	5,5	1,5 $\pm 3\%$	8,5	10

большого времени t_{on} протекающий ток постепенно нагревает транзистор, что ведет к увеличению R_{DSon} . Большее сопротивление приводит к увеличению V_{DS} . А так как напряжение первичной обмотки является разницей между постоянным входным напряжением V_{IN} и падением напряжения на МОП-транзисторе, $V_p = V_{IN} - V_{DS}$, напряжение V_p постепенно уменьшается, тем самым восстанавливая баланс.

Рекомендации по разработке DC/DC-преобразователя

Ниже приведены рекомендации по выбору компонентов для разработки эффективного двухтактного преобразователя с высокой токовой нагрузкой.

Следует отметить, что, в противоположность популярному убеждению, выходное напряжение (V_{OUT}) нерегулируемого преобразователя значительно уменьшается при большом изменении тока нагрузки. Разница между V_{OUT} при минимальной нагрузке и V_{OUT} при максимальной нагрузке может превышать диапазон напряжения питания подключаемых микросхем. Поэтому для обеспечения стабильного, не зависящего от нагрузки, питания при сохранении максимально возможной эффективности рекомендуется совместно с двухтактным преобразователем использовать линейный регулятор с малым падением напряжения. Примеры схем преобразователя показаны на рисунках 8-13.

Выбор линейного LDO-регулятора

При выборе линейного регулятора напряжения необходимо учитывать следующие требования:

- Токковая нагрузочная способность регулятора должна немного превышать специфицированный ток нагрузки в изделии. Как пример — для тока нагрузки 100 мА необходимо выбрать регулятор с токовой способностью 100...150 мА. Хотя регулятор с большими токами также возможно использовать, однако это приведет к меньшей эффективности, так как обычно такие регуляторы имеют большее падение напряжения.

- Для получения максимальной эффективности внутреннее падение напряжения регулятора (V_{DO}) на рабочем токе нагрузки должно быть минимальным. Для бюджетных 150 мА-регуляторов оно обычно равно ~150 мВ на 100 мА. При этом следует обратить внимание на то,

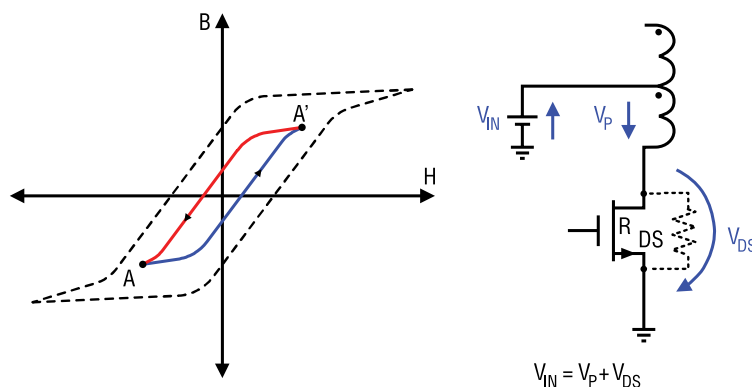


Рис. 6. Кривая намагничивания сердечника и эффект саморегуляции положительным температурным коэффициентом «RDS-on»

для каких условий дано это значение, поскольку такое низкое значение, как правило, специфицируется при комнатной температуре и может увеличиваться в несколько раз при изменении температуры, что, в свою очередь, увеличивает требования к входному напряжению.

Минимальное входное напряжение, достаточное для поддержания работоспособности регулятора, определяется следующим образом: $V_{imin} = V_{DOmax} + V_{OUTmax}$. То есть, чтобы определить требуемое в худшем случае V_p , мы должны взять максимальные значения V_{DO} и V_{OUT} , специфицированные для данного регулятора на заданном токе и сложить их вместе. Также следует убедиться, что выходное напряжение выпрямителя на заданную токовую нагрузку равняется или превышает V_{imin} . В противном случае любое изменение на входе регулятора будет передаваться без изменений на выход, так как регулятор не сможет обеспечить стабилизацию и будет вести себя как обычный проводник.

Максимальное входное напряжение регулятора должно быть больше, чем напряжение на выходе выпрямителя без нагрузки. При соблюдении данного условия нет отражения тока в первичную обмотку, таким образом, нивелируется влияние падения напряжения на R_{DSon} и достигается максимальное напряжение на первичной обмотке. Тем самым достигается максимальное напряжение на вторичной обмотке: $V_{Smax} = V_{INmax} \times n$, где V_{INmax} — максимальное входное напряжение преобразователя, а n — коэффициент трансформации. Таким образом, чтобы

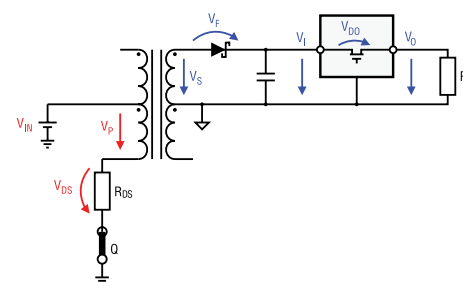


Рис. 7. Схема к расчету минимального коэффициента трансформации

предотвратить возможное повреждение регулятора, его максимальное входное напряжение должно быть выше V_{Smax} . В таблице 1 показаны максимальные значения напряжения вторичной обмотки при различных коэффициентах трансформации, широко используемых в двухтактных преобразователях с выходным током 100 мА.

Выбор выпрямительного диода

Для обеспечения максимально возможного напряжения на выходе преобразователя, выпрямительный диод должен обладать малым прямым падением напряжения. Также, когда диод используется в режиме переключения с высокой частотой, например, для **SN6501** — с частотой 450 кГц, он должен обеспечивать быстрое время восстановления. Диоды Шоттки обладают обоими этими свойствами, поэтому рекомендуется использовать их в устройствах двухтактного преобразователя. Примером такого диода может быть **MBR0520L** либо **STP0520Z** с типовым падением 300 мВ при токе 100 мА. Для больших выходных напряжений, таких как ± 10 В и

Таблица 2. Трансформаторы для использования с SN6501

Коэффициент трансформации	V·T, В·мкс	Гальваническая развязка, В (rms)	Применение, В	Использование LDO	Наименование
1...1,3	11	2500	5...5; 3,3...3,3	Да	760390014
1...1,5	34,4	2500	5...5; 3,3...3,3	Да	DA2303-AL
1...2,2	21,5	2500	3,3...5	Да	DA2304-AL

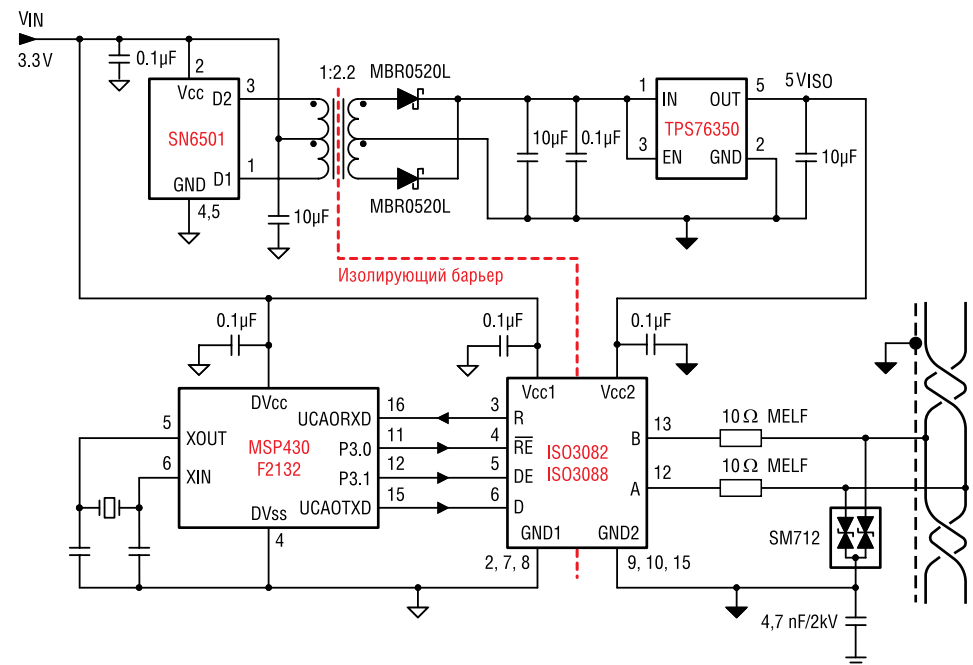


Рис. 8. Изолированный RS-485-интерфейс с питанием линии на SN6501

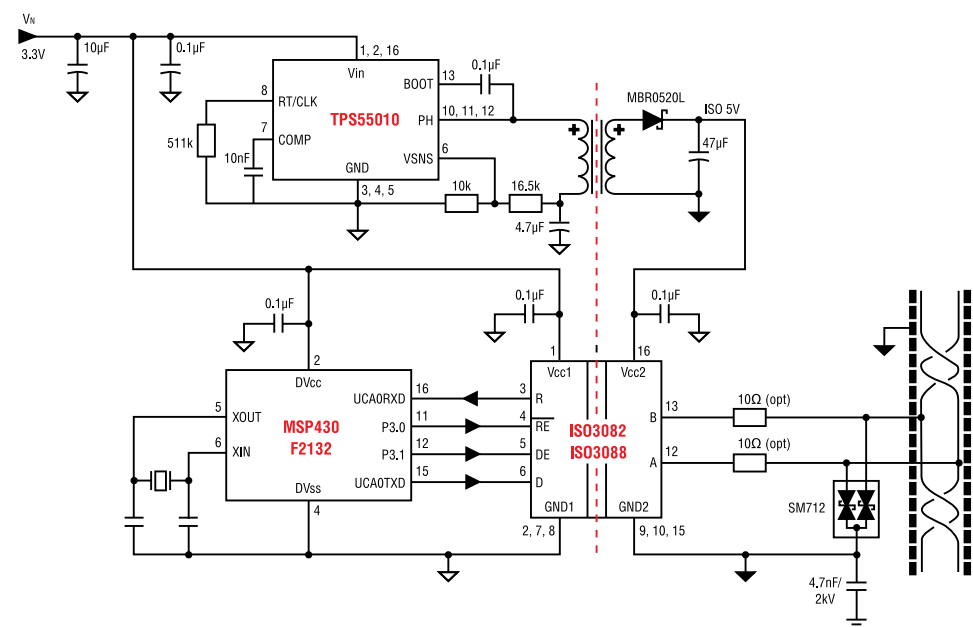


Рис. 9. Изолированный RS-485-интерфейс с питанием линии, реализованным на базе TPS55010

выше, подойдет **MBR0530**, обеспечивающий работу при напряжениях 30 В.

Выбор конденсатора

В представленных ниже схемах (рисунки 8...13), все емкости являются конденсаторами с многослойной керамикой (MLCC). В качестве развязывающего конденсатора по питанию используется

емкость в диапазоне 10...100 нФ. Входной сглаживающий конденсатор, присоединенный к центральному выводу первичной обмотки, поддерживает в ней рабочие токи во время переключения. Для обеспечения минимальных выбросов этот конденсатор должен быть номиналом 10...22 мкФ. При двухсторонней разводке печатной платы со специально

предусмотренной земляной шиной этот конденсатор должен располагаться рядом с центральным выводом обмотки, что обеспечит минимальную индуктивность проводника. При четырехслойной печатной плате с отдельными слоями «земли» и V_{IN} , конденсатор может быть установлен в точке подачи питания на плату. В этом случае, чтобы обеспечить минимальную индуктивность проводника при подключении конденсатора к слоям питания, необходимо использовать как минимум два параллельных переходных отверстия в каждой точке перехода.

Сглаживающий конденсатор на выходе выпрямителя обеспечивает минимальные выбросы выходного напряжения. Величина данного конденсатора должна быть порядка 10...22 мкФ. Конденсатор на входе регулятора является необязательным, хотя, исходя из практики аналоговых схем, использование малого номинала ~47...100 нФ позволяет улучшить подавление шумов и стабильность работы схемы при переходных процессах.

Выбор конденсатора на выходе регулятора зависит от требований к стабильности регулятора при заданной нагрузке. Данный конденсатор стабилизирует внутреннюю цепь управления и указывается в паспорте микросхемы. В большинстве случаев будет достаточно применение керамического конденсатора емкостью 4,7...10 мкФ с малым эффективным сопротивлением. Так для семейства **TPS763xx** достаточно использовать конденсатор 4,7 мкФ.

Выбор трансформатора

Одним из критериев выбора трансформатора изолированного DC/DC-преобразователя является произведение $V \cdot t$. Правильно выбранная величина данного параметра позволит предотвратить насыщение катушки трансформатора. Для этого произведение $V \cdot t$ трансформатора должно быть больше, чем максимальное произведение $V \cdot t$, прикладываемое драйвером. Максимальное напряжение, выдаваемое **SN6501**, это номинальное напряжение входа +10%. Максимальное время, в течение которого данное напряжение прикладывается к первичной обмотке драйвером **SN6501** — это полупериод минимально возможной частоты при заданном входном напряжении. Таким образом, минимальные требования к произведению

$V \cdot t$ трансформатора определяются следующим соотношением:

$$V \cdot t_{\min} \geq V_{\text{Inmax}} \times \frac{T_{\max}}{2} = \frac{V_{\text{Inmax}}}{2 \times f_{\min}}$$

Применительно к использованию драйвера SN6501, получаем:

$$V \cdot t_{\min} \geq \frac{3,6V}{2 \times 250kHz} = 7,2V \cdot \mu\text{sec}$$

для напряжения питания 3,3 В и

$$V \cdot t_{\min} \geq \frac{5,5V}{2 \times 350kHz} = 9,2V \cdot \mu\text{sec}$$

для напряжения питания 5 В.

Для большинства маломощных трансформаторов с выводом средней точки значения параметра $V \cdot t$ находятся в диапазоне 22...150 В мкс при типовых размерах 10x12 мм. В то же время трансформаторы, разработанные специально для PCMCIA, обеспечивают наименьшие значения 11 В мкс и поставляются в значительно уменьшенном размере 6x6 мм.

Несмотря на то, что большинство доступных трансформаторов удовлетворяют требованиям к $V \cdot t$ и могут использоваться совместно с SN6501, перед окончательным выбором трансформатора в разрабатываемый источник следует также учесть другие важные параметры, такие как напряжение изоляции, мощность трансформатора, коэффициент трансформации.

В зависимости от требований изделия к величине гальванической развязки выбирается трансформатор, обеспечивающий необходимую изоляцию в диапазоне 0,5...6 кВ.

Также трансформатор должен обладать коэффициентом трансформации, который позволит разрабатываемому преобразователю работать при необходимых токах нагрузки и во всем диапазоне температур.

Минимальный коэффициент трансформации определяется отношением минимального напряжения во вторичной обмотке к минимальному напряжению в первичной обмотке, умноженному на корректирующий коэффициент, который учитывает эффективность трансформатора:

$$n_{\min} = 1,031 \times \frac{V_{\text{Smin}}}{V_{\text{Pmin}}}$$

Значение V_{Smin} (рисунок 7) должно быть таким, чтобы при максимальном падении на диоде V_{Fmax} обеспечить достаточное напряжение на входе регулятора для его дальнейшей работы. Используя данные из предыдущего раздела для вычисления минимального входного напряжения регулятора и добавляя к этому значению

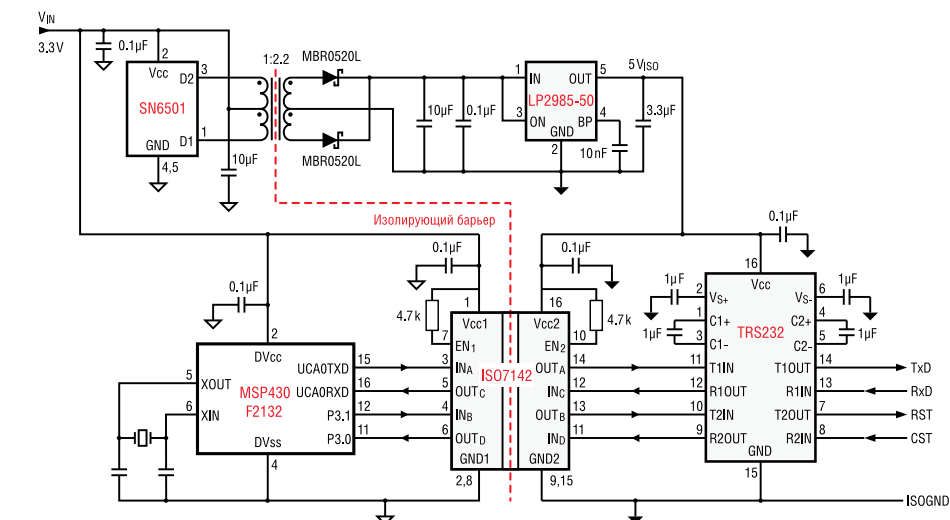


Рис. 10. Изолированный RS-232-интерфейс

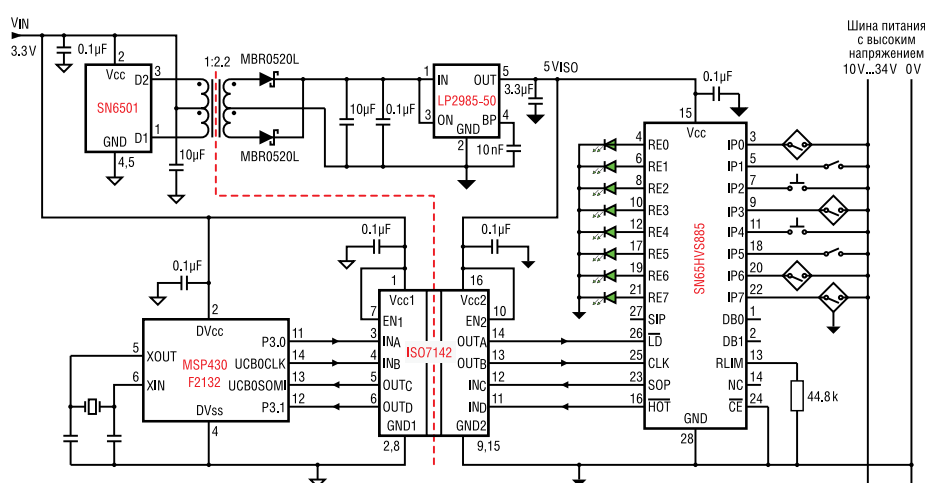


Рис. 11. Изолированный цифровой интерфейс

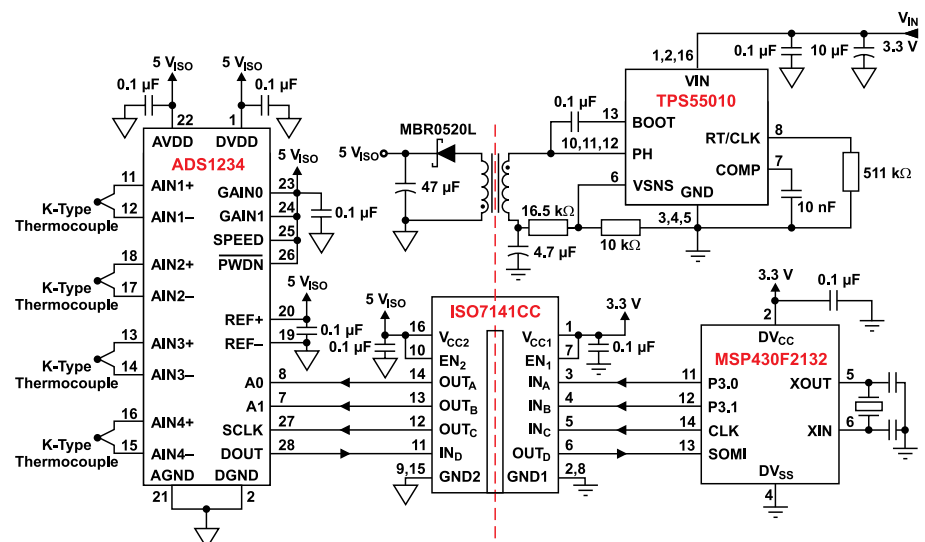


Рис. 12. Система измерения температуры с изолированным SPI-интерфейсом

V_{Fmax} , получаем минимально необходимое напряжение вторичной обмотки.

$$V_{\text{Smin}} = V_{\text{Fmax}} + V_{\text{DOmax}} + V_{\text{OUTmax}}$$

Для расчета минимального напряжения в первичной обмотке V_{Pmin} необходимо вычесть максимально возможное

напряжение «сток-исток» транзисторного ключа V_{DSmax} , из минимально возможного напряжения на центральном выводе V_{INmin} . В то же время следует учесть, что V_{DSmax} является произведением максимального значения R_{DSon} и I_{D} для заданного напряжения питания.

Таким образом, получаем:

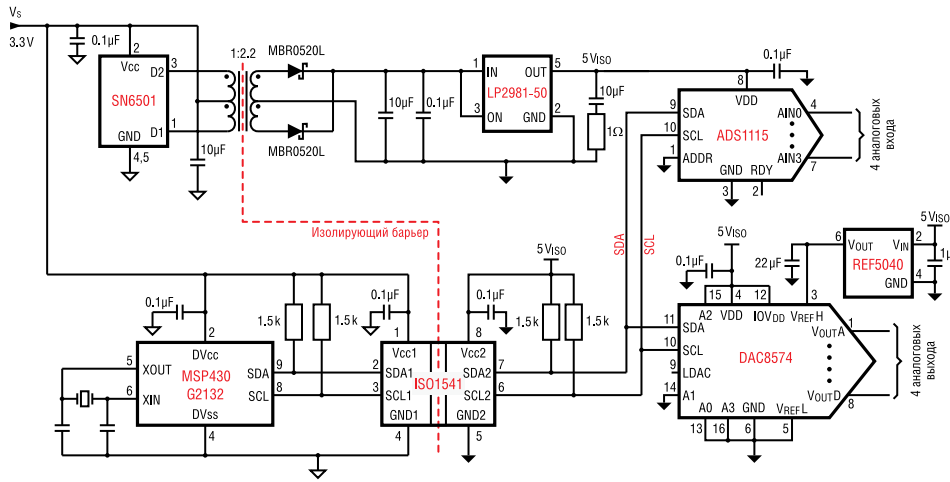


Рис. 13. Изолированный I²C-интерфейс для реализации системы сбора информации с 4 входами и 4 выходами

$$V_{Pmin} = V_{INmin} - R_{DSmax} \times I_{Dmax}$$

Используя выражения для V_{Pmin} и V_{Smin} , получаем выражение для расчета минимального коэффициента трансформации:

$$n_{min} = 1,031 \times \frac{V_{Fmax} + V_{DOmax} + V_{OUTmax}}{V_{INmin} - R_{DSmax} \times I_{Dmax}}$$

Как пример расчета минимального коэффициента трансформации возьмем схему преобразователя с входным напряжением $V_{IN} = 3,3$ В и выходным напряжением $V_{OUT} = 5$ В. В качестве

остальных элементов схемы выберем выпрямительный диод **MBR0520L** и линейный стабилизатор **TPS76350**. Из спецификаций на устройства для нагрузки 100 мА и температуры 85°C° получаем следующие значения: $V_{Fmax} = 0,2$ В, $V_{DOmax} = 0,2$ В, $V_{OUTmax} = 5,175$ В. Так как напряжения питания SN6501 — 3,3 В, получаем $V_{INmin} = 3,234$ В, также из спецификации на SN6501 берем значения $R_{DSmax} = 3$ Ом и $I_{Dmax} = 150$ мА. Подставляя вышеперечисленные данные в формулу для коэффициента трансформации, получаем минимальное значение:

$$n_{min} = 1,031 \times \frac{0,2 + 0,2 + 5,175}{3,234 - 3 \times 0,15} = 2,1$$

Большинство доступных коммерческих трансформаторов для двухтактных преобразователей из 3...5 В имеют коэффициент трансформации 2,0...2,3, с точностью $\pm 3\%$

Примеры готовых трансформаторов приведены в таблице 2.

Примеры готовых решений

На рисунках 8...13 приведены схемы применения SN6501 и TPS55010 для реализации изолированных интерфейсов в системах с напряжением питания 3,3 В. Для систем с 5 В-питанием необходимо будет только изменить коэффициент трансформации и подобрать нужный регулятор там, где это требуется.

Примеры реализации изолированных интерфейсов **RS-485** для коммуникации с контроллером **MSP430**, построенных на базе трансиверов **ISO3082/88**, показаны на рисунках 8 и 9. Более подробную информацию о трансиверах для реализации промышленных интерфейсов вы найдете в отдельной статье номера.

На рисунках 10...13 показаны примеры реализации коммуникации с контроллерами **MSP430** при помощи микросхем цифровых изоляторов **ISO7242**, **ISO7641**, **ISO1541**.

В приведенных примерах для стабилизации изолированного выходного напряжения 5 В используются различные типы линейных регуляторов **TPS76350**, **LP2985-50**, **LP2981-50**, принципы выбора которых описаны в статье ранее. Следует также отметить использование источников прецизионного опорного напряжения **REF5025** и **REF5040** (рисунки 12, 13), использование которых совместно с ЦАП/АЦП позволяет разрабатывать высокоточные системы измерения.

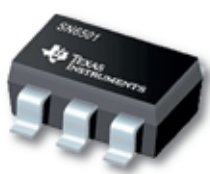
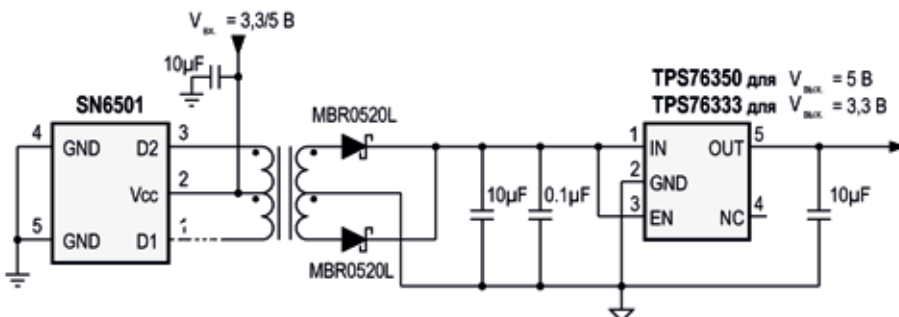
Выводы

Использование компактных драйверов **SN6501**(SOT23-5) и **TPS55010** (QFN16) совместно с доступными низковольтными трансформаторами позволяет реализовать простое малогабаритное решение гальванически развязанного источника питания. Такое решение успешно используется для обеспечения питания различного типа промышленных интерфейсов (**CAN**, **RS-485**, **SPI** и т.д.). Для обеспечения быстрой разработки гальванически развязанных интерфейсов и проверки функциональности данного решения Texas Instruments предоставляет как образцы самих драйверов, так и типовые проекты и отладочные платы.



Питание изолированного интерфейса

SN6501 – драйвер трансформатора питания для изолированных интерфейсов



- Драйвер трансформатора **SN6501**
- Трансформатор: Coilcraft **DA2303** (из 5 В в 5 В или из 3,3 В в 3,3 В), **DA2304** (из 3,3 В в 5 В), Sumida **I1304042101**, Würth **760390014**
- Два выпрямительных диода: **MBR0520LT3G** (ONS) или **STPS0520Z** от (ST)
- Линейный стабилизатор в корпусе SOT23: **TPS76333** (3,3 В) или **TPS76350** (5 В)
- Танталовый конденсатор и керамические конденсаторы

Поддержка разработчиков:
E-mail: ti@compel.ru
www.compel.ru/projects-support

Компэл
www.compel.ru

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

Вячеслав Прокопий (КОМПЭЛ)

БОЛЬШЕ ПОЗИ-TIVA НА ЯДРЕ CORTEX™-M



Сегодня в популярной линейке **32-разрядных RISC-ядер** микроконтроллеров **Cortex™** существует 4 семейства: M0, M0+, M1, M3. По лицензии компании ARM, микроконтроллеры на этих типах ядер выпускают такие компании как **Texas Instruments**, STMicroelectronics, NXP, Energy Micro, Atmel и другие. Статья посвящена новому поколению микроконтроллеров от компании Texas Instruments с инновационным ядром **Cortex™-M4** компании ARM, которые объединены в одном семействе с названием **TIVA**.

Как известно, компания ARM не имеет собственных мощностей производства, а занимается только лицензированием топологии ядра собственной разработки. Ведущим решением в приложениях управления и обмена данными являются микроконтроллеры различных производителей, реализованные на базе ядра Cortex™. Наличие унифицированного типа ядра позволяет разработчику без особых потерь в производительности перейти от контроллера одного производителя к другому, в зависимости от необходимой периферии, существующих отладочных модулей и среды разработки приложений. На сегодняшний день новейшим решением являются микроконтроллеры на ядре Cortex™-M4.

Общая концепция ядра Cortex™-M4

Ядро Cortex™-M4 является логическим продолжением ядра M3 и разработано для рынка приложений, сочетающих в себе функции управления и цифровой обработки сигналов. Основной особенностью ядра M4 является аппаратная поддержка DSP-инструкций, что сокращает время вычислений при цифровой обработке сигналов. Опционально ядро может содержать модуль вычислений с плавающей точкой, в этом случае ядро называется **Cortex™-M4F**.

Структура ядра Cortex™-M4 представлена на рисунке 1.

Концепция микроконтроллеров семейства TIVA производства компании TI

Производство микроконтроллеров семейства TIVA компании Texas Instruments уходит корнями в то время, когда на рынок был выпущен первый микроконтроллер с архитектурой ARM Cortex™-M, которая быстро ста-

ла де-факто стандартом в отрасли микроконтроллеров. С тех пор продукты Texas Instruments, основанные на этой архитектуре ядра, остались верны своей изначальной цели — предоставлению широкой линейки недорогих и легких в использовании 32-разрядных микроконтроллеров.

Эти изделия сочетают в себе два главных преимущества: новейшее процессорное ядро Cortex™-M4 и передовые технологии разработки и производства Texas Instruments. В результате получаем 32-разрядную платформу с более эффективной производительностью, с интегрированными модулями обработки сигнала и встроенной flash-памятью низкого энергопотребления. Эти качества, несомненно, расширяют круг приложений, в которых могут быть использованы микроконтроллеры TIVA, и позволяют создавать системы с высокой степенью интерфейсной коммуникации, реализация которых на одном контроллере ранее была невозможна. Структура микроконтроллеров TIVA-C изображена на рисунке 2.

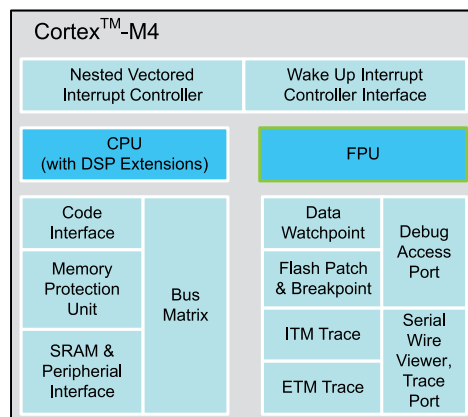


Рис. 1. Структура ядра Cortex™-M4

Новая серия C семейства TIVA пополняет широкое портфолио микроконтроллеров Texas Instruments изделиями с улучшенной производительностью, предназначенными для коннективности приложений. Коннективити — новое слово, характеризующее коммуникационную способность контроллера. Как правило, она заключается в большом количестве интерфейсов для подключения периферийных устройств и взаимодействия с другими системами посредством передачи информации. Из общепринятых типов последовательных интерфейсов микроконтроллеры серии C семейства TIVA имеют на борту 8 модулей UART, до 6 модулей I²C и 4 модуля SPI/SSI. В дополнение к этому, имеется FullSpeed USB-интерфейс и до 2 CAN-контроллеров.

ARM Cortex™-M4: увеличенная производительность

Платформа TIVA-C использует наиболее продвинутое на сегодняшний день архитектуру ядра Cortex™-M4. 32-разрядная архитектура Cortex™-M использует более универсальные команды, чем 8- или даже 16-разрядные архитектуры, и способна с легкостью обрабатывать 32-разрядные данные. Долгая

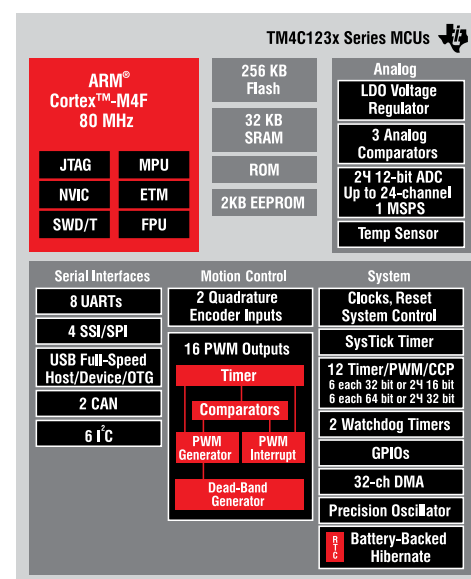


Рис. 2. Структура контроллеров семейства TIVA

Таблица 1. Соответствие наименований микроконтроллеров на базе ядра ARM Cortex™-M4F

Старое наименование	Актуальное наименование
LX4F232H5QCFIB0	<u>TM4C123GH6PZI</u>
LX4F232H5QDFIB0	<u>TM4C123GH6PGEI</u>
LX4F232H5BBFIB0	<u>TM4C123GH6ZRB1</u>
LX4F231H5QRFIGB0	<u>TM4C123FH6PMI</u>
LX4F230H5QRFIGB0	<u>TM4C123FH6PMI</u>
LM4F232H5QCFIG	<u>TM4C123GH6PZI</u>
LM4F232H5QDFIG	<u>TM4C123GH6PGEI</u>
LX4F230H5QRFIGA1	<u>TM4C123GH6PMI</u>
LX4F230H5QRFIGB0	<u>TM4C123GH6PMI</u>
LX4F231H5QRFIGA1	<u>TM4C123FH6PMI</u>
LX4F232H5QCFIGA1	<u>TM4C123GH6PZI</u>
LX4F232H5QDFIGA1	<u>TM4C123GH6PGEI</u>

и успешная история ARM-архитектуры во встраиваемых приложениях позволяет выбрать уже отлаженные аппаратные и программные инструменты, такие как стеки различных протоколов и операционные системы реального времени (RTOS).

Семейство Stellaris — предыдущее поколение микроконтроллеров компании Texas Instruments на базе ARM — использовало ядро архитектуры Cortex™-M3. Семейство TIVA является его продолжением. Если быть точным, то переименование Stellaris в TIVA произошло уже в процессе производства контроллеров на базе Cortex™-M4F. Поэтому во многих информационных ресурсах можно встретить старые названия контроллеров. В таблице 1 приведены старые наименования контроллеров и соответствующие им новые, уже общепринятые, названия.

Набор инструкций Thumb-2®, использовавшийся в семействе Stellaris, является оптимизированным набором команд высокой плотности, под-

ходящим для использования в различных приложениях обработки данных и управления. Cortex™-M3 Thumb-2® включает в себя стандартные для многих контроллеров команды, такие как арифметические, логические, битовые, а также — операции перехода и переноса данных. В набор входят и более продвинутые команды умножения, манипуляции с битовыми полями и команды обработки 8-, 16- и 32-разрядных данных. Cortex™-M3 стал стандартом для современных 32-разрядных микроконтроллеров.

Новое ядро Cortex™-M4 расширяет набор инструкций ядра Cortex™-M3 пакетом команд цифровой обработки сигнала (DSP — *Digital Signal Processing*), и командами обработки множества данных одной инструкцией (SIMD — *Single Instruction Multiple Data*). Все контроллеры TIVA серии C поддерживают вычисления с плавающей точкой. DSP-инструкции включают команды 32-разрядного или двойного 16-разрядного умножения с накоплением (MAC —

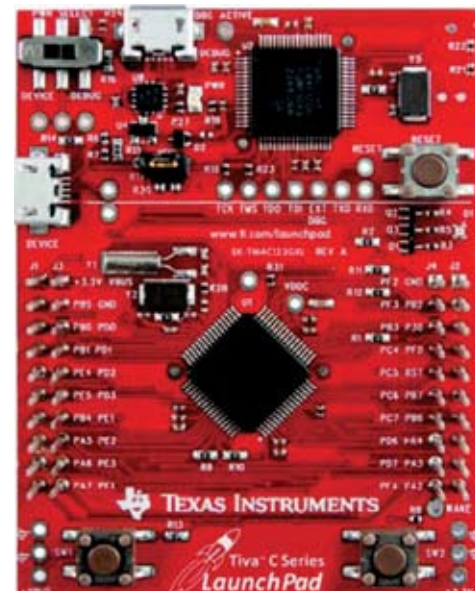


Рис. 3. Модуль EK-TM4C123GXL Launchpad

Multiply-Accumulate) за один такт и команды арифметического насыщения. Оптимизированные SIMD-инструкции могут выполнять четыре 8-битные или две 16-битные арифметические операции за один цикл и поэтому являются весьма эффективными при выполнении арифметических операций с большими объемами данных. Операция деления выполняется аппаратной логикой за 2...12 тактов системы. В совокупности эти команды добавляют ядру конкурентоспособную DSP-производительность. Команды вычислений с плавающей точкой одинарной точности отвечают стандарту IEEE 754 и включают в себя такие операции, как взятие квадратного корня и fused-MAC, обеспечивающую более высокую точность. Доступны многочисленные операции преобразования данных, ускоряющие их передачу между доменами.

Помимо значительного увеличения производительности интенсивных математических вычислений, поддержка плавающей точки значительно упроща-

Таблица 2. Режимы работы микроконтроллеров TIVA серии C

Параметр	Режим					
	Активный	Сон	Глубокий сон	Гибернация (VDD3ON)	Гибернация (RTC)	Гибернация (без RTC)
I _{DD} , мА	30*	4,5	0,6**	0,005	0,0017	0,0016
V _{DD} , В	3,3	3,3	3,3	3,3 (для поддержания GPIO)	0	0
V _{BAT} , В	Не используется	Не используется	Не используется	3	3	3
Тактирующий генератор, МГц	80 с ФАПЧ	16 без ФАПЧ	0,3	Отключен	Отключен	Отключен
Ядро	Включено	Включено	Включено	Отключено	Отключено	Отключено
	Тактируется	Не тактируется	Не тактируется	Не тактируется	Не тактируется	Не тактируется
Периферия	Отключена	Отключена	Отключена	Отключена	Отключена	Отключена

* — номинальное значение при выполнении кода из Flash-памяти.

** — предварительное значение, может быть изменено.

ет реализацию и написание функций. Широко известна ситуация, когда разработчик тратит приблизительно неделю на синтез цифрового фильтра в приложении MATLAB®, а потом месяц — на преобразование модели фильтра под математику с фиксированной точкой, с выполнением всех проверок на стабильную работу. Такое значительное время разработки не требуется, если программист имеет возможность реализовать алгоритм фильтра в устройстве с аппаратной поддержкой плавающей точки.

Интегрированные технологии Texas Instruments

Новые микроконтроллеры серии C семейства TIVA интегрируют все преимущества технологий, которые были доведены до совершенства в проприетарных семействах контроллеров MSP и C2000™. В некоторых случаях, таких, как обработка смешанных сигналов и структурирование памяти, были разработаны уникальные схемные решения. С другой стороны, агрессивная политика в области технологии производства привела к уменьшению потребления энергии по всем направлениям. В результате TIVA представляет собой итог накопленных функциональных усовершенствований и улучшений технологий.

Прецизионный аналоговый модуль. При разработке серии C контроллеров TIVA была проведена отдельная работа по реализации высококачественного аналого-цифрового преобразователя высокого разрешения. Результатом стал встроенный 12-битный АЦП, работающий с максимальной частотой 1 млн выборок/с. На данной частоте выборки сохраняются полное разрешение и точность преобразования, в отличие от многих других контроллеров, в которых с увеличением скорости работы АЦП показатели качества падают. В чип встроено два таких преобразователя, входной сигнал на которые может быть подан с 24 независимых входных пинов.

Для увеличения точности в качестве опорного может быть подключен внешний источник напряжения. АЦП может формировать системное прерывание как по окончании преобразования, так и по совпадению преобразованного значения со значением на одном из восьми цифровых компараторов. Результаты преобразования могут быть выстроены в очередь, взвешены и усреднены внутри модуля АЦП. Встроенный контроллер прямого доступа к памяти (μDMA) может быть использован для считывания данных из FIFO-буфера модуля АЦП и передавать их в память или в другие периферийные модули без прерывания ARM-ядра. Также в чип встроены три аналоговых компаратора. Компараторы могут использовать программируемый источник опорного напряжения,

что позволяет отследить пересечение входным сигналом определенного порогового значения. Аналоговые компараторы, совместно с цифровыми, устраняют необходимость постоянной проверки результатов аналого-цифрового преобразования и освобождают ядро для работы над задачами реального времени.

Надежность памяти. Применение новой 65-нанометровой технологии Texas Instruments в микроконтроллерах TIVA поднимает продукт на новый уровень надежности и интеграции. Позаимствовав технологии, разработанные компанией для применения в автомобильной продукции, микроконтроллеры TIVA получили повышенную надежность памяти, на порядок превосходящую показатели конкурентов. Минимальное количество циклов стирания-перезаписи составляет 100 000. Для большинства приложений данный прорыв устраняет заботы о памяти, связанные с перепрограммированием, сбором данных, параметрами настройки или изменением рабочей программы.

Больше объема высоконадежной памяти доступно для пользовательского кода, так как драйвера библиотеки TivaWare™ записаны наинтегрированное в чип ПЗУ. Все контроллеры серии C семейства TIVA имеют ПЗУ, в котором записаны драйвера периферии, процедуры внутрисистемного программирования, вспомогательные инструменты, такие как проверка контрольной суммы (CRC), таблицы симметричного алгоритма блочного шифрования (AES). Данные интерфейсы прикладного программирования (API) позволяют программисту в полной мере воспользоваться хорошо зарекомендовавшими себя процедурами, таблицами и функциями, оставляя flash-память свободной для специфического пользовательского приложения.

Отдельного внимания заслуживает новый тип памяти. Контроллеры серии C семейства TIVA содержат 2 килобайта защищенной EEPROM-памяти. EEPROM, как правило, используется для хранения долгосрочных переменных, которые должны быть сохранены при перебоях питания или разряде батарей. Используя систему прерываний, контроллер может производить выполнение кода основной программы с одновременной записью в EEPROM. Данная память выполнена по специальной износостойкой технологии, которая гарантирует изменение содержимого до 500 000 раз. Даже если перезаписывать данные по 100 раз в день, срок службы EEPROM составит более 13 лет!

Энергосберегающие режимы продлевают жизнь батареи питания. Вопросы энергопотребления продолжают быть одними из ключевых при разработке встраиваемых систем. Значительная часть таких устройств использует



Рис. 4. Модули BoosterPack



Рис. 5. Модуль Sensor Hub BoosterPack

батарейное питание, поэтому длительное время автономной работы может быть конкурентным преимуществом. Даже питающиеся от сети устройства зачастую имеют рамки по потребляемой мощности. Как пример, множество новых продуктов, получающих питание по USB-интерфейсу, должно иметь ограниченный спецификацией USB 2.0 ток потребления не более 500 мА.

Первый шаг уменьшения энергопотребления заключается в применении проприетарного 65-нанометрового технологического процесса. Данная технология производства понижает потребление энергии микроконтроллера без снижения высокого уровня производительности, которым обладает ядро ARM Cortex™-M4.

Вторым шагом является наличие нескольких тактовых генераторов и доменов питания, которые могут быть настроены необходимым образом для управления энергопотреблением. Например, если модуль вычислений с плавающей точкой не используется, либо один из периферийных узлов просто простаивает, то тактирование этих модулей может быть отключено в целях оптимизации энергопотребления. Микроконтроллеры серии C семейства TIVA предоставляют режим сна (sleep), глубокого сна (deep-sleep) и гибернации (HIB) для сбережения энергии, когда требуется минимальный функционал устройства. В режиме гибернации пи-

Таблица 3. Микроконтроллеры серии C семейства TIVA

Наименование	Память				Ядро			Таймеры							
	Flash, кБайт	SRAM, кБайт	EEPROM, Байт	DMA	Макс. скорость, МГц	Встроенный генератор	MPU	Системный (24-битный)	Общего назначения (всего)	Часы реального времени (RTC)	Сторожевой	Управление движением			
												Выводов ШИМ	PWM Fault	ССР (всего)	Каналов QEI
TM4C1231C3PM	32	12	2K	+	80	+	+	+	12	+	2	0	0	24	0
TM4C1231D5PM	64	24	2K	+	80	+	+	+	12	+	2	0	0	24	0
TM4C1231E6PM	128	32	2K	+	80	+	+	+	12	+	2	0	0	24	0
TM4C1231H6PM	256	32	2K	+	80	+	+	+	12	+	2	0	0	24	0
TM4C1230C3PM	32	12	2K	+	80	+	+	+	12	+	2	0	0	24	0
TM4C1230D5PM	64	24	2K	+	80	+	+	+	12	+	2	0	0	24	0
TM4C1230E6PM	128	32	2K	+	80	+	+	+	12	+	2	0	0	24	0
TM4C1230H6PM	256	32	2K	+	80	+	+	+	12	+	2	0	0	24	0
TM4C1231D5PZ	64	24	2K	+	80	+	+	+	12	+	2	0	0	24	0
TM4C1231E6PZ	128	32	2K	+	80	+	+	+	12	+	2	0	0	24	0
TM4C1231H6PZ	256	32	2K	+	80	+	+	+	12	+	2	0	0	24	0
TM4C1231H6PGE	256	32	2K	+	80	+	+	+	12	+	2	0	0	24	0
TM4C1233C3PM	32	12	2K	+	80	+	+	+	12	+	2	0	0	24	0
TM4C1233D5PM	64	24	2K	+	80	+	+	+	12	+	2	0	0	24	0
TM4C1233E6PM	128	32	2K	+	80	+	+	+	12	+	2	0	0	24	0
TM4C1233H6PM	256	32	2K	+	80	+	+	+	12	+	2	0	0	24	0
TM4C1232C3PM	32	12	2K	+	80	+	+	+	12	+	2	0	0	24	0
TM4C1232D5PM	64	24	2K	+	80	+	+	+	12	+	2	0	0	24	0
TM4C1232E6PM	128	32	2K	+	80	+	+	+	12	+	2	0	0	24	0
TM4C1232H6PM	256	32	2K	+	80	+	+	+	12	+	2	0	0	24	0
TM4C1232D5PZ	64	24	2K	+	80	+	+	+	12	+	2	0	0	24	0
TM4C1233E6PZ	128	32	2K	+	80	+	+	+	12	+	2	0	0	24	0
TM4C1233H6PZ	256	32	2K	+	80	+	+	+	12	+	2	0	0	24	0
TM4C1233H6PGE	256	32	2K	+	80	+	+	+	12	+	2	0	0	24	0
TM4C1237D5PM	64	24	2K	+	80	+	+	+	12	+	2	0	0	24	0
TM4C1237E6PM	128	32	2K	+	80	+	+	+	12	+	2	0	0	24	0
TM4C1237H6PM	256	32	2K	+	80	+	+	+	12	+	2	0	0	24	0
TM4C1236D5PM	64	24	2K	+	80	+	+	+	12	+	2	0	0	24	0
TM4C1236E6PM	128	32	2K	+	80	+	+	+	12	+	2	0	0	24	0
TM4C1236H6PM	256	32	2K	+	80	+	+	+	12	+	2	0	0	24	0
TM4C1237D5PZ	64	24	2K	+	80	+	+	+	12	+	2	0	0	24	0
TM4C1237E6PZ	128	32	2K	+	80	+	+	+	12	+	2	0	0	24	0
TM4C1237H6PZ	256	32	2K	+	80	+	+	+	12	+	2	0	0	24	0
TM4C1237H6PGE	256	32	2K	+	80	+	+	+	12	+	2	0	0	24	0
TM4C123BE6PM	128	32	2K	+	80	+	+	+	12	+	2	16	2	24	2
TM4C123BH6PM	256	32	2K	+	80	+	+	+	12	+	2	16	2	24	2
TM4C123AE6PM	128	32	2K	+	80	+	+	+	12	+	2	16	6	24	2
TM4C123AH6PM	256	32	2K	+	80	+	+	+	12	+	2	16	6	24	2
TM4C123BE6PZ	128	32	2K	+	80	+	+	+	12	+	2	16	8	24	2
TM4C123BH6ZRB	256	32	2K	+	80	+	+	+	12	+	2	16	8	24	2
TM4C123BH6PZ	256	32	2K	+	80	+	+	+	12	+	2	16	8	24	2
TM4C123BH6PGE	256	32	2K	+	80	+	+	+	12	+	2	16	8	24	2
TM4C123GE6PM	128	32	2K	+	80	+	+	+	12	+	2	16	2	24	2
TM4C123GH6PM	256	32	2K	+	80	+	+	+	12	+	2	16	2	24	2
TM4C123FE6PM	128	32	2K	+	80	+	+	+	12	+	2	16	6	24	2
TM4C123FH6PM	256	32	2K	+	80	+	+	+	12	+	2	16	6	24	2
TM4C123GE6PZ	128	32	2K	+	80	+	+	+	12	+	2	16	8	24	2
TM4C123GH6ZRB	256	32	2K	+	80	+	+	+	12	+	2	16	8	24	2
TM4C123GH6PZ	256	32	2K	+	80	+	+	+	12	+	2	16	8	24	2
TM4C123GH6PGE	256	32	2K	+	80	+	+	+	12	+	2	16	8	24	2

Последовательные интерфейсы					Аналоговая периферия							Выводов GPIO	Battery-Backed Hibernation	Регулятор напряжения LDO	Тип корпуса
CAN MAC	USB D, H, O	UART	I²C	SSI / SPI	АЦП				Внешнее опорное напряжение	Встроенный термодатчик	Аналоговых / цифровых компараторов				
					Кол-во	Разрешение, Бит	Каналов	Скорость, сэмп./сек							
1	—	8	4	4	2	12	12	1М	—	+	2/16	43	+	+	64LQFP
1	—	8	4	4	2	12	12	1М	—	+	2/16	43	+	+	64LQFP
1	—	8	4	4	2	12	12	1М	—	+	2/16	43	+	+	64LQFP
1	—	8	4	4	2	12	12	1М	—	+	2/16	43	+	+	64LQFP
1	—	8	6	4	2	12	12	1М	—	+	2/16	49	—	+	64LQFP
1	—	8	6	4	2	12	12	1М	—	+	2/16	49	—	+	64LQFP
1	—	8	6	4	2	12	12	1М	—	+	2/16	49	—	+	64LQFP
1	—	8	6	4	2	12	12	1М	—	+	2/16	49	—	+	64LQFP
1	—	8	6	4	2	12	22	1М	+	+	3/16	69	+	+	100LQFP
1	—	8	6	4	2	12	22	1М	+	+	3/16	69	+	+	100LQFP
1	—	8	6	4	2	12	22	1М	+	+	3/16	69	+	+	100LQFP
1	—	8	6	4	2	12	24	1М	+	+	3/16	105	+	+	144LQFP
1	D	8	4	4	2	12	12	1М	—	+	2/16	43	+	+	64LQFP
1	D	8	4	4	2	12	12	1М	—	+	2/16	43	+	+	64LQFP
1	D	8	4	4	2	12	12	1М	—	+	2/16	43	+	+	64LQFP
1	D	8	4	4	2	12	12	1М	—	+	2/16	43	+	+	64LQFP
1	D	8	6	4	2	12	12	1М	—	+	2/16	49	—	+	64LQFP
1	D	8	6	4	2	12	12	1М	—	+	2/16	49	—	+	64LQFP
1	D	8	6	4	2	12	12	1М	—	+	2/16	49	—	+	64LQFP
1	D	8	6	4	2	12	12	1М	—	+	2/16	49	—	+	64LQFP
1	D	8	6	4	2	12	22	1М	+	+	3/16	69	+	+	100LQFP
1	D	8	6	4	2	12	22	1М	+	+	3/16	69	+	+	100LQFP
1	D	8	6	4	2	12	22	1М	+	+	3/16	69	+	+	100LQFP
1	D	8	6	4	2	12	24	1М	+	+	3/16	105	+	+	144LQFP
1	0	8	4	4	2	12	12	1М	—	+	2/16	43	+	+	64LQFP
1	0	8	4	4	2	12	12	1М	—	+	2/16	43	+	+	64LQFP
1	0	8	4	4	2	12	12	1М	—	+	2/16	43	+	+	64LQFP
1	0	8	6	4	2	12	12	1М	—	+	2/16	49	—	+	64LQFP
1	0	8	6	4	2	12	12	1М	—	+	2/16	49	—	+	64LQFP
1	0	8	6	4	2	12	12	1М	—	+	2/16	49	—	+	64LQFP
1	0	8	6	4	2	12	22	1М	+	+	3/16	69	+	+	100LQFP
1	0	8	6	4	2	12	22	1М	+	+	3/16	69	+	+	100LQFP
1	0	8	6	4	2	12	22	1М	+	+	3/16	69	+	+	100LQFP
1	0	8	6	4	2	12	24	1М	+	+	3/16	105	+	+	144LQFP
2	—	8	4	4	2	12	12	1М	—	+	2/16	43	+	+	64LQFP
2	—	8	4	4	2	12	12	1М	—	+	2/16	43	+	+	64LQFP
2	—	8	6	4	2	12	12	1М	—	+	2/16	49	—	+	64LQFP
2	—	8	6	4	2	12	12	1М	—	+	2/16	49	—	+	64LQFP
2	—	8	6	4	2	12	22	1М	+	+	3/16	69	+	+	100LQFP
2	—	8	6	4	2	12	24	1М	+	+	3/16	120	+	+	157BGA
2	—	8	6	4	2	12	22	1М	+	+	3/16	69	+	+	100LQFP
2	—	8	6	4	2	12	24	1М	+	+	3/16	105	+	+	144LQFP
2	0	8	4	4	2	12	12	1М	—	+	2/16	43	+	+	64LQFP
2	0	8	4	4	2	12	12	1М	—	+	2/16	43	+	+	64LQFP
2	0	8	6	4	2	12	12	1М	—	+	2/16	49	—	+	64LQFP
2	0	8	6	4	2	12	12	1М	—	+	2/16	49	—	+	64LQFP
2	0	8	6	4	2	12	22	1М	+	+	3/16	69	+	+	100LQFP
2	0	8	6	4	2	12	24	1М	+	+	3/16	120	+	+	157BGA
2	0	8	6	4	2	12	22	1М	+	+	3/16	69	+	+	100LQFP
2	0	8	6	4	2	12	24	1М	+	+	3/16	105	+	+	144LOFP

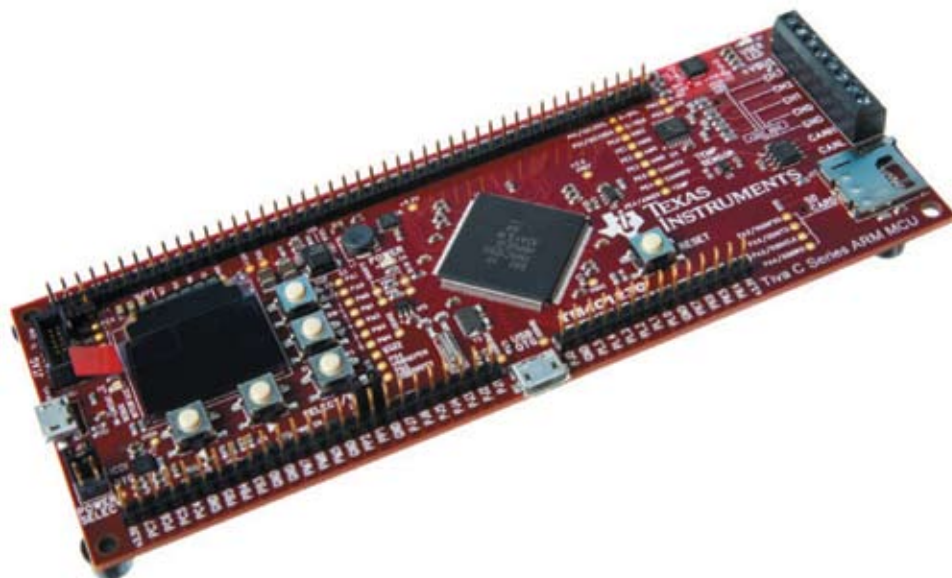


Рис. 6. Набор разработчика DK-TM4C123G

тание всего контроллера, за исключением блока HIB, отключено, и контроллер находится в состоянии, из которого он может быть возвращен в нормальный режим работы по запросу. Блок HIB включает в себя схему тактового генератора на 32 кГц, модуль часов реального времени (RTC), схему контроля напряжения батареи и шестнадцать 32-разрядных слов SRAM-памяти. Минимальный функциональный набор блока HIB позволяет снизить энергопотребление в режиме гибернации до 1,6 мкА. Контроллер серии C семейства TIVA может быть выведен из режима гибернации модулем RTC, внешним сигналом или от схемы обнаружения пониженного напряжения. Могут пройти минуты, часы или даже дни между выводами контроллера из режима гибернации. Чем дольше продолжительность и меньше уровень энергопотребления в режиме гибернации, тем дольше устройство сможет проработать без зарядки или замены батарей. Дополнительно состояние всех выводов GPIO может быть зафиксировано на время пребывания контроллера в режиме гибернации. Пробуждение контроллера и начало выполнения программы осуществляется менее чем за 500 мкс. Типовое значение тока потребления микроконтроллера серии C семейства TIVA в режиме полноценной работы на тактовой частоте 80 МГц составляет 30 мА. Полное описание режимов питания приведено в таблице 2.

Средства разработки EK-TM4C123GXL LaunchPad и BoosterPacks

Для оценки возможностей устройств, производимых уже сейчас, Texas Instruments предлагает разработчикам модуль **EK-TM4C123GXL Launchpad Evaluation Kit** (рисунок 3), который включает в себя все необходимое, что-

бы менее чем за 10 минут начать новую разработку.

Известные сегодня многим разработчикам модули BoosterPack (рисунок 4), предназначенные для расширения базового функционала лончпадов, также могут использоваться с TIVA C Series LaunchPad. Данные дополнительные решения позволяют легко исследовать использование контроллеров в различных приложениях, расширяя базовую функциональность микроконтроллеров.

Для использования с EK-TM4C123GXL LaunchPad доступен новый модуль **Sensor Hub BoosterPack** (рисунок 5). Данный модуль содержит девятиосевой MEMS-датчик движения, датчики давления и освещенности, инфракрасный датчик для бесконтактного измерения температуры. Данный BoosterPack совместим также с лаунчпадами на базе **MSP430** и **C2000**.

DK-TM4C123G

Набор разработчика **DK-TM4C123G** (рисунок 6) представляет собой компактный и многофункциональный инструмент на базе TM4C123G. К ключевым особенностям данного отладочного средства можно отнести цветной OLED-дисплей, USB On-the-Go, слот для подключения microSD-карты, компактную батарею питания для использования в режимах пониженного энергопотребления, датчик температуры и трехосевой акселерометр для определения направления движения. Все доступные ножки контроллера для удобства пользователя выведены в металлизированные переходные отверстия по краям платы.

Пакет программного обеспечения TIVAWare™

Для микроконтроллеров семейства TIVA компания Texas Instruments предоставляет набор бесплатных и нели-

цензируемых программ и библиотек, которые собраны в одном пакете под названием TIVAWare. TIVAWare может быть использован разработчиками для сокращения времени выхода продукта на рынок и снижения себестоимости программного обеспечения. Библиотека TIVAWare оптимизирована для использования с любым из пяти возможных компиляторов: GNU, Keil, Mentor Embedded и IAR.

Состав пакета TIVAWare:

- Библиотеки и примеры исходного кода

Библиотека драйверов периферии представляет собой набор функций, лицензируемых по бесплатной BSD-лицензии для управления периферийными устройствами микроконтроллеров TIVA серии C.

- Библиотека USB

Полностью бесплатный USB-стек позволяет реализовать USB-устройство, работающее в любом из вариантов: host, device или on-the-go.

- Графическая библиотека

Бесплатный набор графических примитивов и виджетов для создания собственных приложений пользовательского интерфейса.

- Библиотека Sensor Hub

Библиотека Sensor Hub для микроконтроллеров TIVA серии C предоставляет разработчику продвинутые алгоритмы обработки сигнала и поддерживает широкий диапазон датчиков различных типов.

- Библиотека CMSIS DSP

Полная поддержка стандартной для микроконтроллеров на ядре Cortex™ ARM® библиотеки интерфейсов CMSIS – Cortex™ Microcontroller Software Interface Standard

- Библиотека беспроводных приложений

Многочисленные примеры кода для работы таких беспроводных приложений, как ZigBee®, Bluetooth® и WiFi®

Среда разработки программного обеспечения

В качестве основной среды разработки приложений для микроконтроллеров семейства TIVA Texas Instruments рекомендует использовать Code Composer Studio™. Данная интегрированная среда разработки используется для всех контроллеров и процессоров производства Texas Instruments и содержит полный набор инструментов для разработки и отладки программного обеспечения.

Для настройки выводов портов GPIO может быть использована бесплатная утилита PinMux. Данное приложение имеет интуитивно понятный интерфейс и позволяет формировать header-файлы на языке C, которые потом могут быть использованы в проекте Code Composer

Studio. PinMux автоматически проверяет и решает конфликты в назначении выводов.

Микроконтроллеры TIVA поддерживают применение операционных систем реального времени (RTOS) как производства Texas Instruments — TI-RTOS, так и сторонние: FreeRTOS, Mentor Embedded и Micrium.

Заключение

Сегодня на стадии производства находится более 50 моделей микроконтроллеров серии C семейства TIVA, основные параметры которых сведены в таблицу 3. Серия **TM4C123x** представляет первое поколение микроконтроллеров на базе ядра Cortex™-M4, реализованных компанией Texas Instruments.

Основные ключевые особенности данных контроллеров освещены выше. Это производительность вычислений с плавающей точкой, встроенные аналоговые узлы, встроенная память и низкое энергопотребление. Многие из этих преимуществ являются результатом объединения новейшего микропроцессорного ядра ARM Cortex™-M4 с опытом разработок компании Texas Instruments и использованием новой 65-нанометровой технологии производства.

В будущем запланировано пополнение линейки устройств на базе Cortex™-M4 новыми, более произво-

дительными и интегрированными в области коннективности представителями. Разработчики, которые переходят на микроконтроллеры серии C семейства TIVA, получают преимущество, заключающееся в балансе между производительностью вычислений с плавающей точкой, которая необходима для создания высокоточных приложений обработки сигналов и низкопотребляющей архитектурой, которая необходима для удовлетворения все более жестких требований по потреблению энергии.

Литература

1. <http://www.arm.com/products/processors/cortex-m/cortex-m4-processor.php>
2. Miguel Morales "An introduction to the Tiva C Series platform of microcontrollers" (<http://www.ti.com/lit/wp/spmy010/spmy010.pdf>)
3. Tiva™ C Series ARM® Microcontrollers (<http://www.ti.com/lit/sg/spmt285/spmt285.pdf>).

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


**TEXAS
INSTRUMENTS**

Универсальное питание для Cortex-M




Ультранизкое входное напряжение  TPS61201 1,2 A Повышающий Фикс. U _{вых} 3,3 В • Входное напряжение от 0,3 В • Автоматическое переключение между режимами повышающего и понижающего преобразователя • Режимы энергосбережения на малой нагрузке	Широкий диапазон входного напряжения  TPS63001 1,2 A Повышающий-понижающий DC/DC-конвертор • Диапазон входного напряжения: 1,8 – 5,5 В • До 96% КПД • Режимы энергосбережения на малой нагрузке
Широкий диапазон входного напряжения  TPS54231 2,0 A DC/DC-конвертор Фикс. U _{вых} 3,3 В • Диапазон входного напряжения: 3,5 – 28 В • Расширенный температурный диапазон: 150°C • Режимы энергосбережения на малой нагрузке	Простейшее решение  TPS7A8001 1,0 A LDO Настр. U _{вых} • Лучший в индустрии PSRR • Достаточно конденсатора 4,7 мкФ • Корпус 3x3-мм SON-8

Поддержка разработчиков:
E-mail: ti@compel.ru
www.compel.ru/projects-support


Компэл
www.compel.ru

Новый модуль управления питанием со сверхнизким собственным током потребления

Компания **Texas Instruments** представила мультирежимный модуль управления питанием, позволяющий снизить собственный ток потребления всей системы до значения 100 нА. Это ведет к снижению энергопотребления в таких микроконтроллерных промышленных приложениях с батарейным питанием, как счетчики расхода воды и газа. Модуль **TPS65290** управляет всем энергопотреблением системы с токами нагрузки от 100 нА до 500 мА.

Модуль содержит три постоянно включенных источника питания с фабричными установками для поддержания «спящего» режима микроконтроллера и автоматический ключ для выбора в качестве питания входного напряжения или выхода понижающего преобразователя. Помимо этого, TPS65290 идеально работает в паре со сверхмалопотребляющими микроконтроллерами от TI из линейки MSP430, такими как MSP430F5328.

Основные характеристики и преимущества TPS65290:

- Увеличение жизни батарей: разработчики могут добиться продолжительности работы новых приложений до 10 лет от одной батареи за счет использования интегрированных в новый модуль трех постоянно включенных источников питания для «спящего» режима микроконтроллера:
 - 10 мА, 100 нА ток собственного потребления (IDDQ) в «спящем» режиме, контроллер тока смещения нулевой утечки с предварительно установленным значением напряжения;
 - 10 мА, 400 нА IDDQ, LDO-регулятор
 - 30 мА, 300 нА IDDQ, понижающий преобразователь
- Минимизация места на плате, количества компонентов и стоимости: интегрирует buck boost-преобразователь 500 мА, LDO-регулятор 150 мА, восемь ключей распределения питания, компаратор восстановления входного напряжения, автомат состояний и фабрично предустановленный интерфейс SPI/I²C в одном корпусе площадью 20 мм²;
- Возможность сконфигурировать модуль для различных приложений.

Константин Кузьминов (г. Санкт-Петербург)

ПРОМЫШЛЕННАЯ КОММУНИКАЦИЯ С МИКРОПРОЦЕССОРАМИ SITARA



Микропроцессоры семейства Sitara производства компании **Texas Instruments** — это сочетание минимального энергопотребления, высочайшей на рынке производительности и поддержки большинства существующих протоколов промышленной передачи данных. В статье рассмотрены три линейки микропроцессоров: **AM18xx** с тактовой частотой до 450 МГц, **AM35xx** с тактовой частотой до 600 МГц, **AM37xx** с тактовой частотой до 1 ГГц и **AM335x** с наилучшими возможностями промышленной коммуникации.

Технологии TI дают много новых возможностей для разработчиков систем промышленной автоматизации, позволяя успешно решать коммуникационные задачи, реализовывая промышленные протоколы связи и отвечая строгим требованиям надежности.

В 1993 году компания Texas Instruments стала первым среди крупнейших компаний-производителей лицензиатом ARM, а через десять лет, в 2003 г. — первым лицензиатом ARM Cortex™-A8, ставшего основным ядром микроконтроллеров линейки Sitara.

Появление микропроцессоров семейства Sitara™, отличающихся высокой производительностью при очень низком энергопотреблении, позволило разработчикам создавать устройства с поддержкой промышленных протоколов EtherCAT, Ethernet/IP, PROFIBUS, PROFINET, POWERLINK, SERCOS и др. на одном кристалле.

Микропроцессор Sitara ARM Cortex-A8 компании TI является самым высокопроизводительным одноплатным микропроцессором на рынке, и достигает на тактовой частоте 1,56 ГГц производительности в 3000 DMIPS.

Микропроцессоры семейства Sitara построены на ядрах Cortex-A8 и ARM9, их тактовые частоты находятся в диапазоне от 300 МГц до 1,56 ГГц. Используя возможности технологии ARM, а также встроенного набора стандартных периферийных модулей, разработчики могут создавать решения с легко переносимым кодом как внутри семейства процессоров, так и в пределах всего ассортимента ARM-продуктов компании TI. Семейство содержит широкий набор устройств, различающихся такто-

вой частотой, наличием акселератора 3D-графики, вариантами корпусов, диапазоном рабочих температур. Все это позволяет разработчикам выбрать решение, оптимально подходящее по

необходимым параметрам, стоимости и энергопотреблению. Программная, а также аппаратная совместимость (pin-to-pin) внутри серий позволяют расширять или изменять существующий проект без дополнительных затрат.

Компания TI предоставляет значительное количество недорогих инструментов разработки, а также операционные системы Neutrino, Integrity, Windows Embedded CE, Linux, VXWorks, Android в качестве возможной базы для устройств, что позволяет ускорить разработку как аппаратной, так и программной части нового устройства.

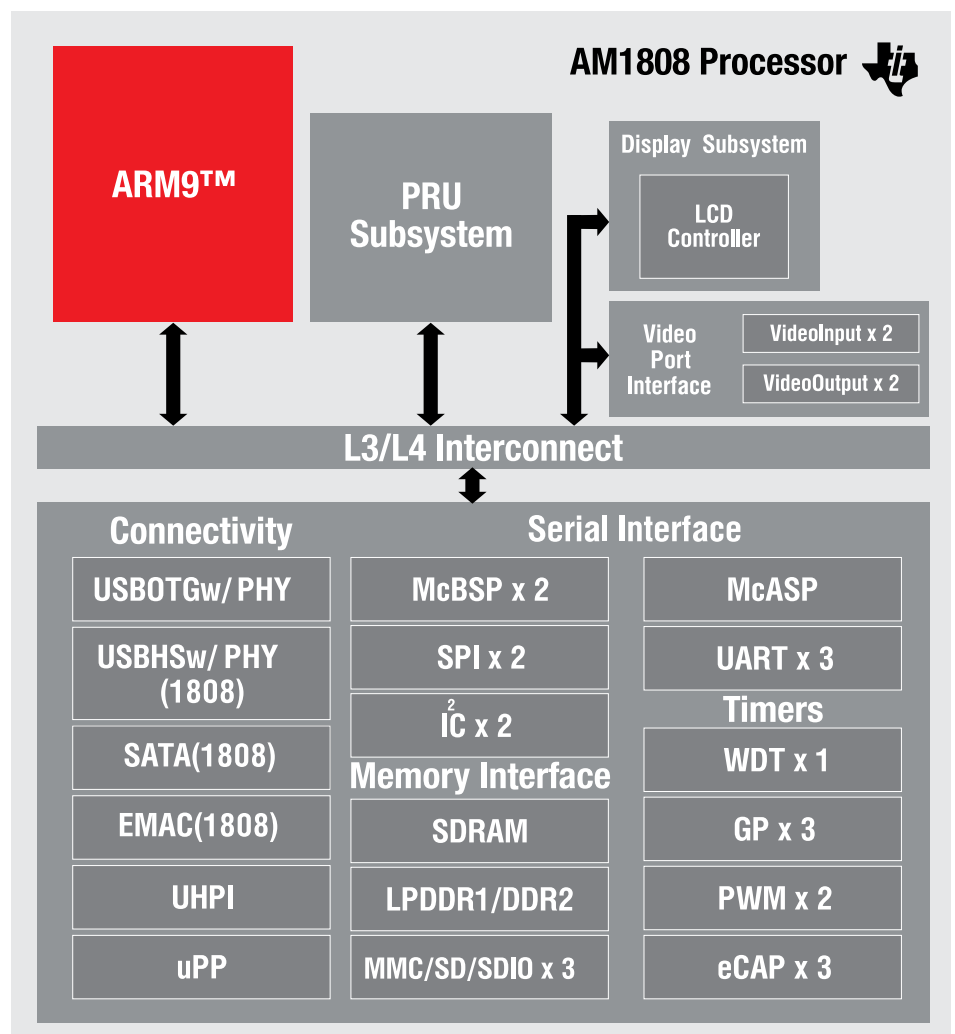


Рис. 1. Блок-схема микропроцессора AM1808

Таблица 1. Сравнительные характеристики серии AM18x

Параметры	Наименование			
	AM1802	AM1806	AM1808	AM1810
Рабочая частота, МГц	300	375...456		
L1, кбайт	32			
L2, кбайт	32	128		
Дисплей	—	LCD		
DRAM, бит	16 (DDR2/LPDDR) SDRAM			
USB	1	1	2	2
Ethernet	10/100	—	10/100	10/100
SATA	—	—	1	1
MMC/SD	1	2	2	2
UART (SCI)	3			
PWM (Ch)	—	2	2	-
I²C	1	2	2	2
uPP	1			
McBSP	—	2	2	2
McASP	1			
SPI	2			
DMA (Ch)	32-Ch EDMA			

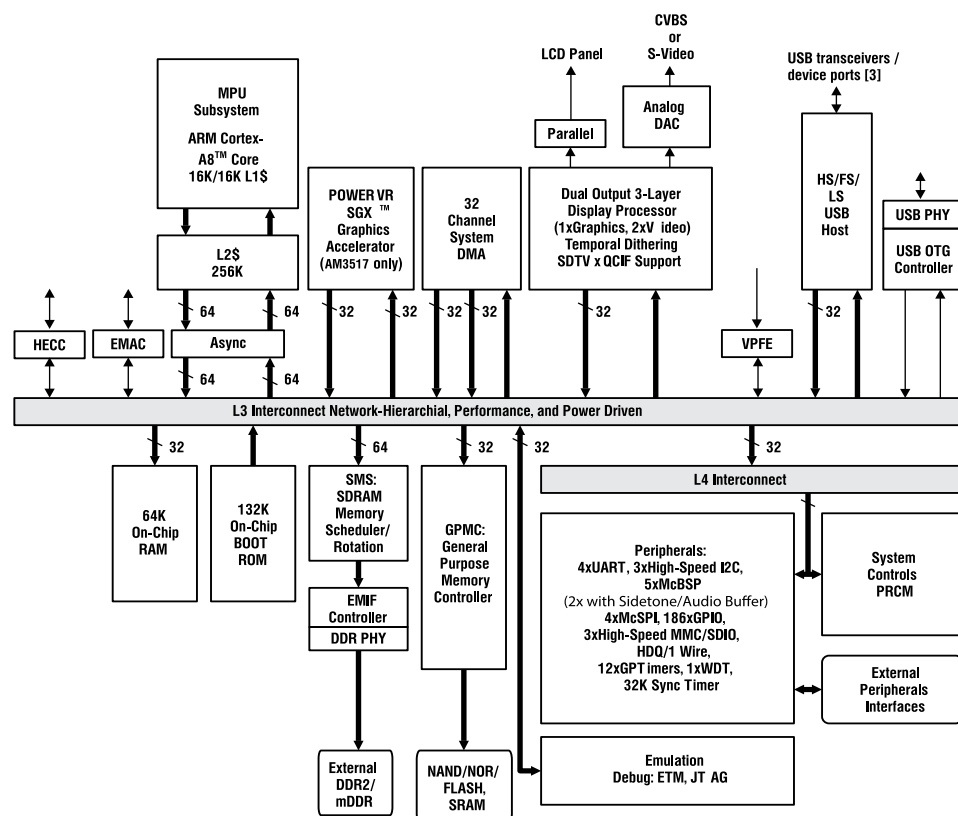


Рис. 2. Блок-схема микропроцессоров AM3517/05

Дополнительные услуги доступны через широкую сеть партнерских компаний (third-party network). Отладочные модули (EVM), содержащие полный набор аппаратных и программных средств и документации, доступны для приобретения у самой компании; немало бюджетных плат и инструментов разрабатывается и поставляется независимыми поставщиками.

Основные свойства ARM-процессоров семейства Sitara:

- Cortex- и ARM9-решения могут быть легко портированы на программно-совместимые микропроцессоры линеек Integra™ и DaVinci™.
- Интеграция основных периферийных модулей.
- Программируемый модуль реального времени PRU (real-time unit) для обеспечения работы с дополнительными периферийными устройствами.
- Мощные опции работы с графикой (в том числе и 3D).
- Оптимизация для низкого энергопотребления (менее 1 Вт на 1 ГГц), что исключает необходимость применения как активного, так и пассивного охлаждения и позволяет создавать бесшумные и герметично закрытые приборы.

• Бесплатные для использования порты операционных систем Android, Linux и Windows CE.

Микропроцессоры Sitara AM18x

Микропроцессоры серии AM18x представлены четырьмя вариантами: **AM1802**, **AM1806**, **AM1808** и **AM1810**. Отличительные особенности этой серии (рисунок 1) — широкий набор интерфейсов и коммуникационных портов и оптимизация для создания графически богатых интуитивных пользовательских интерфейсов.

В основе микропроцессора — ядро ARM9. Микропроцессоры имеют физический интерфейс USB OTG, USB HOST (High-, Full-, и Low-Speed), Ethernet MAC (кроме AM1806) с возможностью подключения к РЧУ по интерфейсам MII и RII, способны работать с видеокамерой (кроме AM1802), RTC, PROFIBUS (только в AM1810), со звуком (AC97) — все это позволяет использовать их для построения промышленной и бытовой автоматики, измерительной техники, портативных терминалов доступа к данным, одно- и многоплатных компьютеров, цифровых весов и др.

Некоторые сравнительные характеристики приведены в таблице 1.

Микропроцессоры работают при питании 1,8...3,3 В. Температурный режим, в зависимости от исполнения — от -40 до 105°C (AM1802 — до 90°C). Корпус — 361 PBGA.

Микропроцессоры Sitara AM35x

Эта серия представлена двумя вариантами: **AM3505** и **AM3517** (рисунок 2). Основное различие между этими микропроцессорами — наличие 3D-акселератора у AM3517.

Микропроцессоры выполнены на ядре ARM Cortex-A8 с тактовой частотой до 600 МГц. Высокая производительность (до 1200 MIPS) обеспечена наличием подсистемы MPU, построенной на сопроцессорах NEON™ SIMD и Vector floating point, имеют широкий спектр интерфейсов: USB 2.0 (OTG), Ethernet MAC и High-End Can Controller (HECC).

Основные характеристики этой серии:

- 3xUSB 2.0 Host;
- 1xUSB 2.0 OTG;
- 1xEthernet MAC 10/100;
- 1xCAN;
- 4xUART (SCI);
- 3xI²C;
- 4xSPI;
- 5xMcBSP;
- 3xMMC/SD;
- Crypto HW Accelerators;
- 32 KB On-Chip L1 Cache (16 KB instruction cache + 16 KB data cache)
- 256 KB On-Chip L2 Cache;

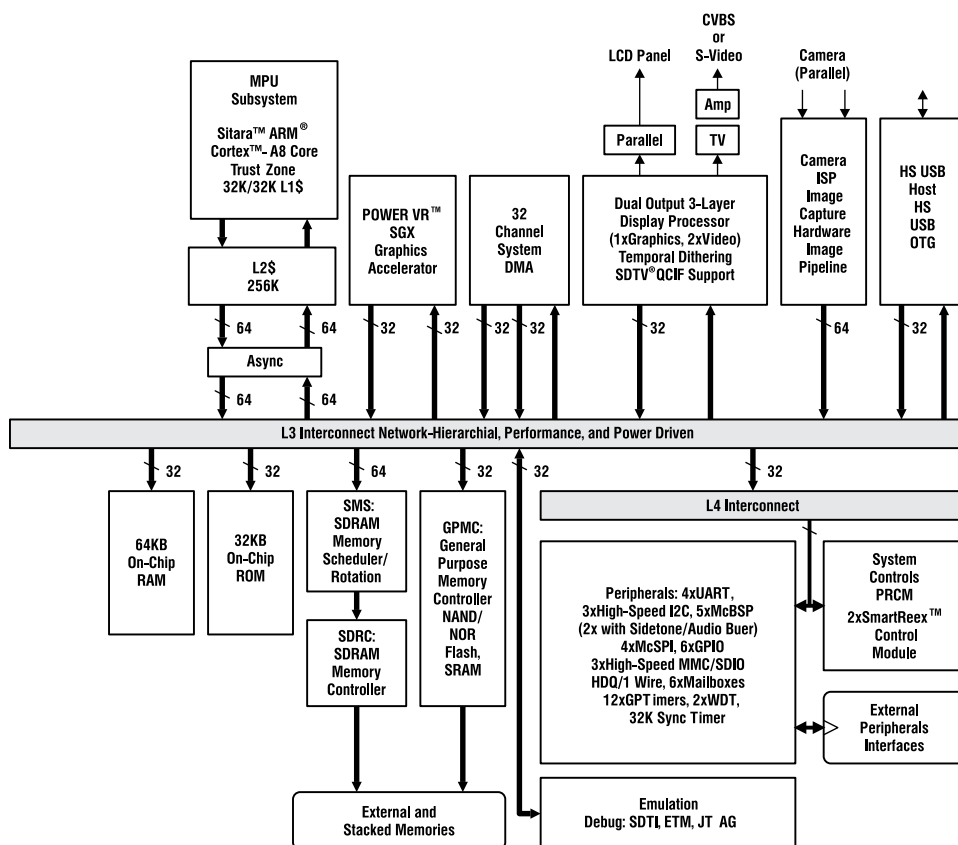


Рис. 3. Блок-схема микропроцессоров AM3715/03

- General Purpose Memory: 1x16-bit GPMC, 1x32-bit (SDRC, Async SRAM, NAND flash, NOR flash, OneNAND flash);
- DRAM: LPDDR1, DDR2;
- 32 Ch SDMA.

Выполненный на ядре Mentor, контроллер USB способен работать в режимах HS/FS/LS и поддерживает протоколы OTG, SRP и HNP.

Связь модуля Ethernet MAC с PHY осуществляется через RMII.

CAN-контроллер доступен в двух различных реализациях, которые полностью соответствуют требованиям протокола CAN версии 2.0B (различие — только в контроллерах сообщений).

В состав модуля CAN входят:

- Common CAN protocol kernel (CPK) для выполнения задач протокола;
- Standard CAN controller (SCC) для стандартных CAN-приложений (16 фильтруемых сообщений);
- High-end CAN controller (HECC) для сложных приложений (32 сообщений).

AM35x работают при питании 1,8...3,3 В. Температурный режим, в зависимости от исполнения — от -40 до 105°C и от 0 до 90°C). Доступны в двух корпусах: 484 BGA и 491 NFBGA.

Микропроцессоры Sitara AM37x

Следующая серия микропроцессоров ARM компании TI представлена, так же, как и предыдущая (AM35x), двумя вари-

антами **AM3703** и **AM3715** (рисунок 3). И точно так же есть одно основное различие: 3D-акселератор у AM3715.

Серия AM37x построена на ядре ARM Cortex-A8 с тактовой частотой до 1 ГГц (но может работать и на более низких частотах: 300, 600 и 800 МГц). Производительность 2000 MIPS.

Основные характеристики этой серии:

- 4xUSB 2.0
- 4xUART (SCI);
- 4xI²C;
- 4xSPI;
- 5xMcBSP;
- 3xMMC/SD;
- 64 KB On-Chip L1 Cache (32 KB instruction cache + 32 KB data cache)
- 256 KB On-Chip L2 Cache;
- General Purpose Memory: 1x16-bit GPMC, 1x32-bit (SDRC, Async SRAM, NAND flash, NOR flash, OneNAND flash);
- DRAM: LPDDR;
- 32 Ch SDMA.

Как видно, в отличие от AM35x, у этой серии отсутствуют порты Ethernet и CAN, однако увеличено число портов USB и I²C. Кроме того, серия AM37x имеет порт подключения видеокамеры (параллельный). В целом, микропроцессоры серии AM37x ориентированы на устройства, требовательные к возможностям мультимедиа.

Микропроцессоры доступны в двух корпусах (423FCBGA и 515POP-FCBGA) с тремя температурными ре-

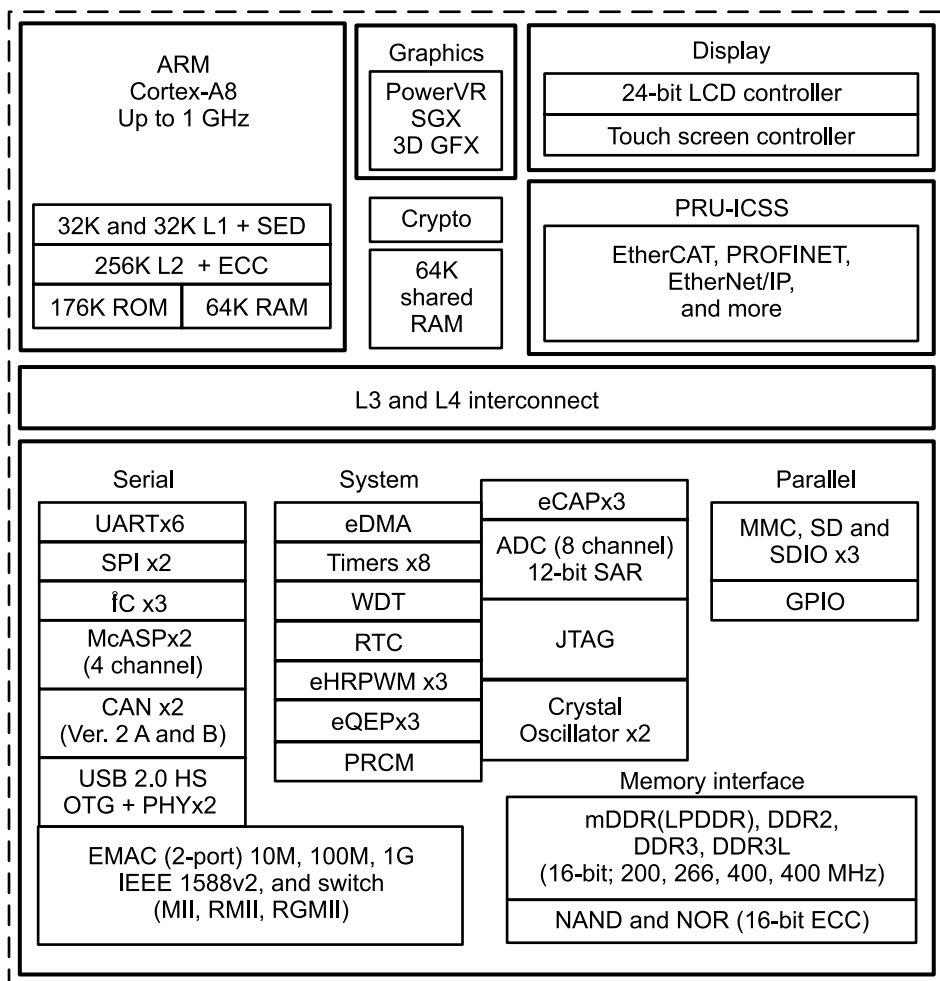


Рис. 4. Блок-схема микропроцессоров АМ335х

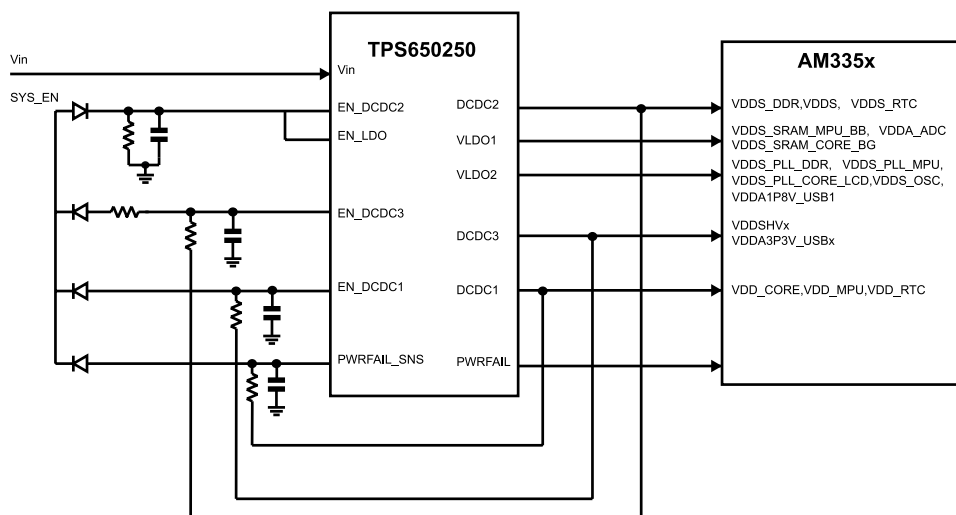


Рис. 5. Типовая схема подключения контроллера питания TPS650250

жимами: $-40 \dots 105^{\circ}\text{C}$, $-40 \dots 90^{\circ}\text{C}$ и $0 \dots 90^{\circ}\text{C}$).

Микропроцессоры Sitara AM335x

Серия АМ335х, представленная шестью вариантами (три из которых — с 3D акселератором), в наибольшей степени ориентирована на использование различных коммуникационных протоколов благодаря наличию подсистемы индустриальных

интерфейсов PRU-ICSS (о которой более подробно будет описано ниже). Блок-схема серии AM335x представлена на рисунке 4.

MPU AM335x построен на одном 32-разрядном ядре ARM Cortex-A8.

Основные характеристики:

- тактовая частота процессора и производительность:
 - **АМ3356/7** – 300, 600, 800 МГц, 1600 MIPS;

- **AM3352** – 300, 600, 800, 1000 МГц, 2000 MIPS;
- **AM3354/8** – 600, 800, 1000 МГц, 2000 MIPS;
- **AM3359** – 800 МГц, 1600 MIPS;
- NEON SIMD-сопроцессор;
- кэш:
 - L1 – 32 кбайт инструкций и 32 кбайт данных с Single-Error Detection (parity);
 - L2 – 256 кбайт с Error Correcting Code (ECC);
 - L3 – 64 кбайт On-Chip Memory Controller (OCMC) RAM доступная всем периферии с режимом «мастер» и с поддержкой сохранения данных для быстрого Wake-Up;
- 176 кбайт On-Chip Boot ROM;
- 3D графический акселератор SGX530 v AM3354/8/9.

Внешняя память обеспечена интерфейсами 16-бит mDDR(LPDDR-400), DDR2-532, DDR3-800, DDR3L и NAND, NOR, SRAM (16-бит ECC);

Микропроцессор содержит модуль управления LCD (макс. 2048x2048) с контроллером Touch screen, часы реального времени (RTC) с внутренним 32.768-кГц резонатором, многоканальный аудиопорт, три порта MMC SD.

Коммуникационные возможности обеспечены следующими интерфейсами:

- подсистема PRU-ICSS;
- два физических интерфейса USB 2.0 High-Speed OTG;
- два интерфейса Industrial Gigabit Ethernet MAC:
 - 10, 100, 1000 Mbps;
 - встроенный коммутатор;
 - каждый MAC поддерживает MII, RMII, RGMII, Domain Switch-Off Sequencing, Wake-Up, MDIO;
 - интерфейсы Ethernet MAC и коммутатор могут работать независимо от других функций;
 - IEEE 1588v2 Precision Time Protocol (PTP);
- два порта CAN (CAN Version 2 Parts A and B);
- шесть портов UART (UART1 имеет полную модемную реализацию);
- 2x McSPI 48 МГц;
- 3x I²C (100, 400 кГц);

Работа с внешними устройствами и обработка сигналов достигается наличием трех модулей Enhanced Capture (eCAP), трех модулей Enhanced High-Resolution PWM (eHRPWM), трех 32-битных модулей Enhanced Quadrature Encoder Pulse (eQEP), 12-битным Successive Approximation Register (SAR) ADC и четырьмя банками GPIO (32 GPIO и два внешних прерывания на каждый банк).

Для осуществления питания ТП предлагает несколько исполнений контроллеров питания: **TPS65910A**, **TPS65217** и **TPS650250**. Микросхема TPS650250 имеет три понижающих конверте-

ра, три LDO-регулятора и супервизор напряжения. Реализация питания AM335x с помощью предлагаемых решений позволяет достичь высокой степени интеграции и экономичности по энергопотреблению конечного устройства. Типовая схема подключения отображена на рисунке 5.

Программируемый модуль реального времени для промышленных коммуникаций (PRUSS)

Большинство микропроцессоров семейства Sitara имеет модуль PRUSS (*Programmable Real-time Unit SubSystem*), который позволяет реализовать промышленные стандарты передачи данных, такие как PROFIBUS, Modbus, CAN, EtherCAT, PROFINET, Ethernet/IP, SERCOS III, PowerLink; при этом передача данных происходит без затрат мощностей основного ядра.

Серия AM18x (за исключением AM1802) содержит PRUSS, состоящий из: двух модулей PRU0 и PRU1, выполненных по архитектуре 32-Bit Load-Store RISC с RAM 4 кбайт инструкций и 512 байт данных для каждого модуля; контроллера прерываний, позволяющего генерировать события для основного процессора; коммутатора ресурсов (SCR) для подключения внешних и внутренних интерфейсов к ресурсам PRUSS.

Оба модуля могут работать как совместно, так и независимо друг от друга. При необходимости, PRUx могут работать совместно с центральным ядром. Модули оптимизированы для выполнения встроенных задач, которые требуют манипуляций с упакованными структурами данных, обработки системных событий с жесткими ограничениями для систем реального времени. PRU программируются на ассемблере, содержат небольшой, детерминированный набор команд, большинство из которых выполняется за один цикл без кэширования (при частоте ядра модуля 200 МГц время выполнения цикла — 5 нс). Блок-схема модуля PRU показана на рисунке 6.

Серия AM335x содержит модуль PRU-ICSS, представляющий собой второе поколение PRUSS. Его блок-схема представлена на рисунке 7.

Так же, как и модуль предыдущего поколения, PRU-ICSS состоит из двух 32-разрядных модулей PRU. Тактовая частота ядра PRU — 200 МГц. В сравнении с модулем PRUSS AM18x, этот модуль имеет ряд преимуществ:

- память данных увеличена до 8 кбайт (вместо 512 байт);
- память инструкций — 8 кбайт (вместо 4 кбайт);
- 12 кбайт общей RAM;
- Enhanced GPIO (EGPIO) с 16 выходами и 17 входами общего назна-

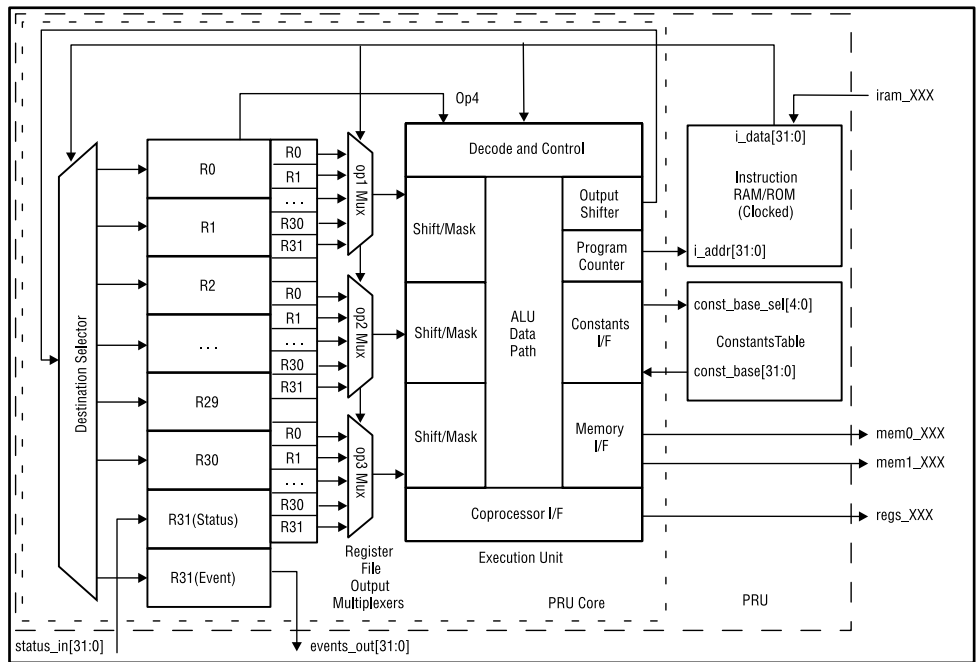


Рис. 6. Блок-схема модуля PRUSS

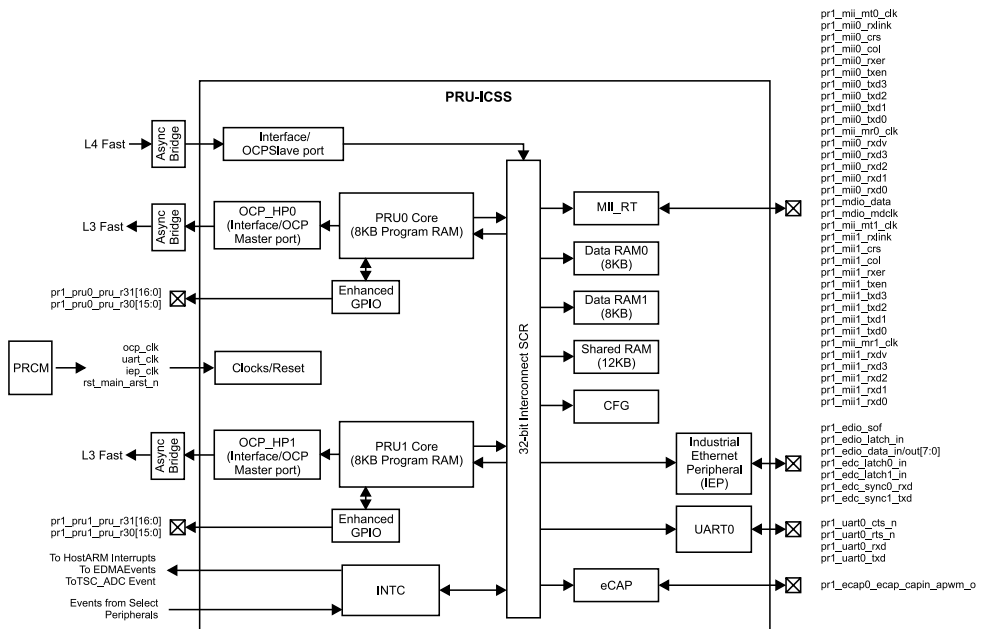


Рис. 7. Блок-схема модуля PRU-ICSS

чения, захват serial-, parallel- и MII-данных с портов PRU;

- Внутренние периферийные модули (UART, eCAP, MII_RT, MDIO, and IEP)

Как и в предыдущем поколении, модули PRU имеют доступ ко всем ресурсам SoC через Interface/OCF Master port (у каждого PRU — свой), а центральный процессор и устройства могут получить доступ к ресурсам PRU-ICSS через Interface/OCF Slave port.

Коммутатор ресурсов SCR (*Switched Central Resource*) осуществляет соединение ресурсов внутренних модулей PRU-ICSS и обеспечивает доступ внешних модулей к ресурсам PRU-ICSS.

Контроллер прерываний INTCC управляет событиями ввода и генерирует события для устройств центрального процессора. В ближайшее время TI планирует поддержку программирования PRUSS и PRU-ICSS на языке «C».

Наличие у PRU-ICSS двух физических портов позволяет аппаратно реализовывать индустриальные протоколы EtherCAT и PROFIBUS. Аппаратная реализация EtherCat возможна не во всех представителях сериях AM335x, в этом случае TI предлагает следующие решения физического интерфейса 10/100: TLK100, TLK105, TLK106 и DP83848. TLK100 имеет интерфейс MII; TLK105, TLK106 — MII, RMII; DP83848 — MII, RMII, SNI.

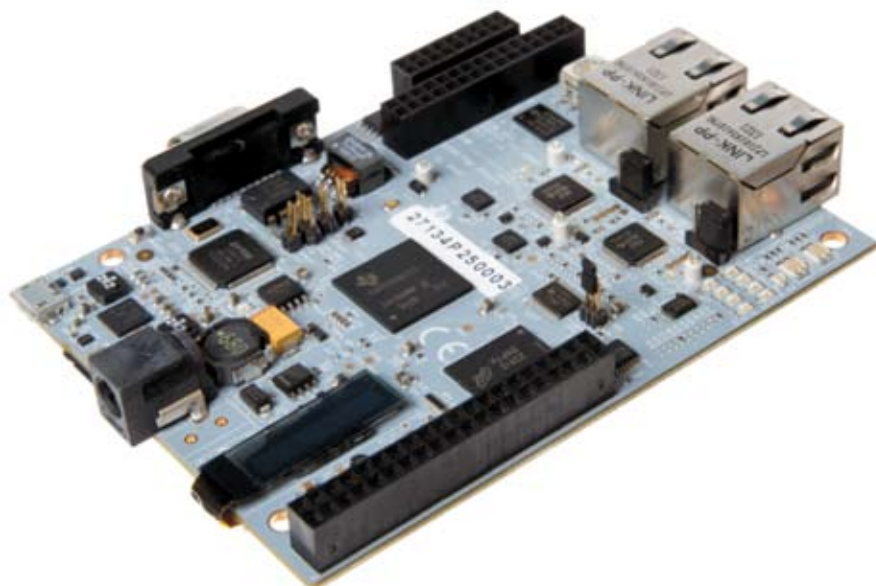


Рис. 8. Отладочная плата TMD5ICE3359

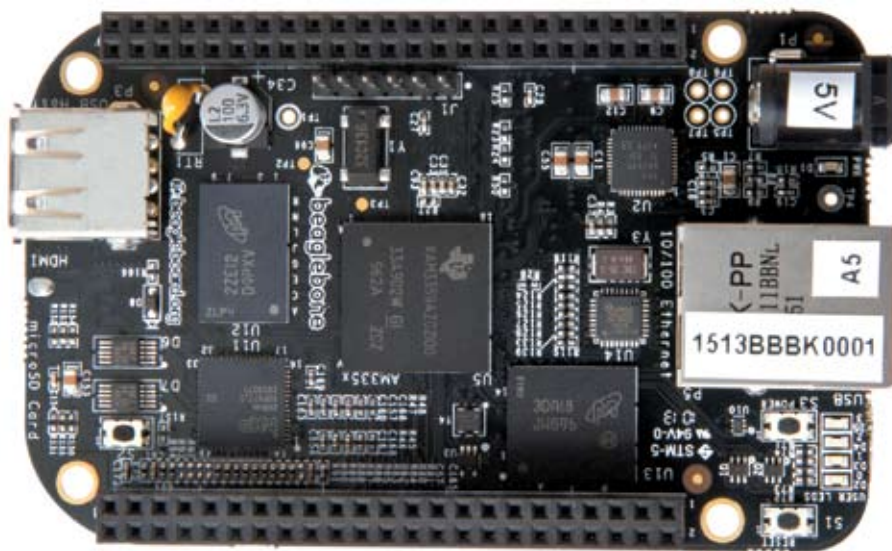


Рис. 9. Отладочная плата TMD5SK3358

Благодаря достаточной документированности и готовым примерам программ на веб-сайте компании TI работа с модулем PRU-ICSS не займет много времени, в то время как сам модуль сократит время разработки устройств с дискретной реализацией и сделает их применение максимально гибким.

Средства разработки и отладки

Для ускорения разработки решений, связанных с промышленными коммуникационными протоколами, компания TI предлагает различные варианты аппаратных средств, одно из которых — **TMD5ICE3359**.

Плата TMD5ICE3359 (ICE — Industrial Communications Engine) (рисунок 8) предназначена для разработки систем, которые позволят использовать все возможности промышленных коммуникаций процессоров Sitara ARM® Cortex AM335x™-A8.

Основанная на микропроцессоре **AM3359** ARM Cortex-A8 с модулем PRU, данная плата позволяет реализовать множество протоколов коммуникаций, используемых в промышленной автоматике. **TMD5ICE3359** имеет два переключаемых порта PRU — GbE, OLED-дисплей, интерфейсы для работы с памятью DDR3. Помимо установленной флэш-памяти, имеется возможность работы с более емкой NOR Flash.

В комплект поставки входит необходимое программное обеспечение SYS/BIOS, оптимизированное для поддержки промышленных протоколов связи в реальном времени, таких как EtherCAT, PROFIBUS, Ethernet/IP и других.

Кроме официальных отладочных инструментов от TI, существуют и решения сторонних производителей, выгодно отличающиеся, в первую очередь, по стоимости. **BeagleBone Black** — один из таких инструментов (рисунок 9). Это уже

вторая версия данного одноплатного компьютера сообщества beagleboard.org. Являясь открытой отладочной платформой, она дает широкие возможности для разработчиков.

Характеристики BeagleBone Black:

- AM335x 1GHz ARM® Cortex-A8
- 512 MB DDR3 RAM
- 2 GB 8-bit eMMC on-board flash storage

• USB client for power & communications

- USB host
- Ethernet
- HDMI
- 2x46 pin headers
- Ångström Linux, Android, Ubuntu, Cloud9 IDE on Node.js w/ BoneScript library

• +5V

Функциональные возможности BeagleBone Black могут быть улучшены с помощью дополнительных плат расширения.

Немаловажная особенность платы BeagleBone — легкость приобретения. BeagleBone можно приобрести без предварительного заказа в большинстве магазинов средств разработки, например в **Терраэлектронике**. Это может существенно сократить срок разработки. Кроме того, поддержка этой платы осуществляется сообществом, что иногда помогает найти более оригинальное решение задачи.

Программные средства

Компания Texas Instruments предлагает большой выбор программных средств, благодаря которым можно оптимально подойти к разработке необходимого решения. Наличие SDK (*Software Development Kit*) нескольких вариантов операционных систем (Linux, Android, SYS/BIOS, Windows Embedded CE и др.) позволяет сразу же начать работу с аппаратной платформой и разрабатывать собственные приложения. В случае, когда операционная система не требуется, компания TI предоставляет пакет StarterWare (Windows и Linux), поддерживающий портируемость программных блоков для работы с периферией на различных процессорах, компиляторов GCC и IAR, и содержащий инструментарий для C-кода, графическую библиотеку, USB-стек.

Необходимую информационную помощь разработчик может легко получить на ресурсе <http://processors.wiki.ti.com/index.php/Sitara>.

Данный ресурс сделан максимально удобным для оперативного доступа к необходимой информации и программному обеспечению для серий микропроцессоров AM335x, AM37x, AM35x и AM18x.

Заключение

Имея уникальное низкое потребление мощности (менее 1 Вт), высокую

производительность, широкую периферию и возможность работы с промышленными стандартами передачи данных, семейство микропроцессоров ARM Sitara с ядром Cortex-A8 по праву занимает лидирующее положение в своем классе. Поддержка TI своих процессоров, в том числе в mainstream Linux, позволяет быть уверенным в своевременном выходе патчей и драйверов периферии, что уменьшает сроки вывода продуктов, разрабатываемых на базе данных процессоров, на рынок.

Невысокая стоимость, полная информационная поддержка производителя, наличие аппаратных и программных решений от сторонних компаний и легкость программного переноса позволяют в кратчайшие сроки осуществить переход с более старых версий ARM, создавая устройства, отвечающие современным требованиям.

Литература

1. <http://www.ti.com/ww/ru/embedded/arm/>
2. Алексей Бойков Sitara aM335X — недорогая замена ARM 9 для систем автоматизации «Новости электроники» № 10, 2012
3. <http://beagleboard.org>

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

TM4C123GH6PZI — новый контроллер на базе ядра Cortex-M4

Компания **Texas Instruments** представила новое семейство микроконтроллеров на базе ядра ARM Cortex M4 — **TIVA**. Данное семейство высокопроизводительных контроллеров с поддержкой вычислений с плавающей точкой реализовано по 65-нм технологии, которая обеспечивает оптимальный баланс между высокой производительностью и низким энергопотреблением. Серия C семейства Tiva позволяет разработчикам увеличить уровень возможных подключений к одному контроллеру, не влияя на производительность, потребление энергии и стоимость. Микроконтроллер **TM4C123GH6PZI** является первым представителем семейства TIVA. Контроллер содержит 256 Кбайт Flash-памяти, 32 Кбайта SRAM и 2 Кбайта EEPROM. Максимальная частота тактирования ядра — 80 МГц. Имеется поддержка энергосберегающих режимов, находящихся в которых, контроллер потребляет не более 1,6 мкА. 16 выводов ШИМ-модулей, большое количество последовательных интерфейсов, модуль Full Speed USB

on-the-go и два CAN-контроллера делают семейство контроллеров TIVA идеальным базовым вариантом для реализации различных приложений. Процессор поддерживается операционной системой реального времени TI-RTOS.

Технические характеристики

- Ядро: ARM Cortex-M4, 80 МГц.
 - Память: 256 Кбайт Flash, 32 Кбайт SRAM, 2 Кбайт EEPROM, модуль защиты памяти, загрузчик и библиотека функций в ПЗУ.
 - Встроенные часы реального времени.
 - 2 сторожевых таймера.
 - Встроенный LDO-стабилизатор.
 - ШИМ: 16 выводов (2 модуля, 4 генератора).
 - Коммуникационные возможности: GPIO: 69 выводов (5 V tolerant); UART: 8 каналов; SPI/SSI: 4 канала; CAN MAC: 2 канала; шина I²C: 6 каналов; USB: OTG;
 - Аналоговая периферия: АЦП: 12 бит, 1 MSPS, 22 канала (2 модуля); компаратор: 16 каналов (3 модуля); датчик температуры: 1;
 - Корпус: LQFP-100.
 - Диапазон рабочих температур: -40...85°C.
- Наличие на складе, подробности на сайте www.compel.ru

Компания КОМПЭЛ и Российское представительство STMicroelectronics объявляют о проведении «Дней ST» в октябре-ноябре 2013 года

Октябрь							Ноябрь						
пн	вт	ср	чт	пт	сб	вс	пн	вт	ср	чт	пт	сб	вс
30	1	2	3	4	5	6	28	29	30	31	1	2	3
7	8	9	10	11	12	13	4	5	6	7	8	9	10
14	15	16	17	18	19	20	11	12	13	14	15	16	17
21	22	23	24	25	26	27	18	19	20	21	22	23	24
28	29	30	31	1	2	3	25	26	27	28	29	30	1
4	5	6	7	8	9	10	2	3	4	5	6	7	8

14-15 октября, г. Новосибирск

29 октября, г. Санкт-Петербург

31 октября, г. Москва

12 ноября, г. Москва

14 ноября, г. Санкт-Петербург

«Дни ST» — это серия теоретических и практических семинаров в разных городах России, посвященных современным электронным компонентам. На семинары приглашаются инженеры-разработчики и технические руководители, нацеленные на создание современных конкурентноспособных электронных изделий, построенных на передовых технологиях и компонентах. Вы познакомитесь с новыми решениями STMicroelectronics, которые формируют будущее мировой электроники.

В рамках **Дней ST** на сайте КОМПЭЛ будет работать прямая линия технической поддержки — на ваши вопросы будут отвечать инженеры ST из Москвы и Праги.

Программа и регистрация на сайте: www.compel.ru/stdays



Александр Калачев (г. Барнаул), Алексей Пазюк (КОМПЭЛ)

СВЯЗЬ БЕЗ ПРОВОДОВ: РЕШЕНИЯ ОТ КОМПАНИИ TI

Решения **субгигагерцового диапазона** для систем охранно-пожарной сигнализации и автоматизированных систем контроля и учета энергоресурсов; микросхемы для стандарта **Wireless M-Bus**, применяемого в беспроводных системах сбора данных; системы на кристалле для сетей **ZigBee, ZigBee Light Link, ZigBee Smart Energy, 6LoWPAN, Bluetooth Low Energy; Bluetooth- и WiFi-решения** – все это входит в портфолио компании **Texas Instruments** по беспроводной передаче данных.

Беспроводные системы и технологии прочно вошли в повседневную жизнь, и дело тут совсем не в моде, хотя она в потребительском сегменте рынка играет не последнюю роль.

Сферы применения беспроводных систем разнообразны:

- системы сбора данных (телеметрия, мониторинг состояния объектов);
- промышленная автоматика;
- системы автоматизации зданий и площадей;
- идентификация автотранспорта и отслеживание грузов;
- системы связи и передачи данных;
- периферийные устройства, терминалы и пульты управления.

Более того, сфера применения беспроводных устройств и систем на их основе постоянно растет – как качественно (появляются новые области), так и количественно (растет число устройств, использующих радиоканал, увеличивается плотность узлов и сетей). Это вынуждает производителей беспроводных микросхем и разработчиков систем и программного обеспечения постоянно искать новые решения проблем взаимодействия узлов и систем, совместимости сетей.

Для работы беспроводных устройств в нелицензируемых диапазонах существует множество стандартов и спецификаций.

Выбор конкретной технологии для решения той или иной задачи может быть обоснован как минимум двумя соображениями:

- данный тип приложений традиционно использует данный частотный диапазон;
- разработчик должен взвесить все аспекты работы приложения и уже по-

сле этого сделать выбор в пользу того или иного частотного диапазона, протокола и аппаратных средств (рисунок 1).

Так, субгигагерцевый диапазон обеспечивает наибольшую дальность связи между узлами, Wi-Fi обладает наибольшей скоростью передачи данных, субгигагерцевые приложения и технология BLE обеспечивают наименьшее потребление энергии, стандарт ZigBee и ряд проприетарных решений позволяют

строить самоорганизующиеся сети достаточно сложной топологии.

Texas Instruments является одним из признанных лидеров в области производства низкопотребляющих беспроводных приемопередатчиков и однокристалльных беспроводных контроллеров для встраиваемых систем ISM-диапазонов, как для субгигагерцевого диапазона (<1 ГГц), так и для диапазона 2,4 ГГц. Компания предоставляет стандартизированные решения, а также – целый ряд уникальных проприетарных решений (таблица 1) [1].

Решения Low Power RF

Решения TI для диапазона <1 ГГц основываются на популярной и успешной архитектуре приемопередатчиков серии **CC1101** и их дальнейших модификаций [2]. Приемопередатчики CC1101

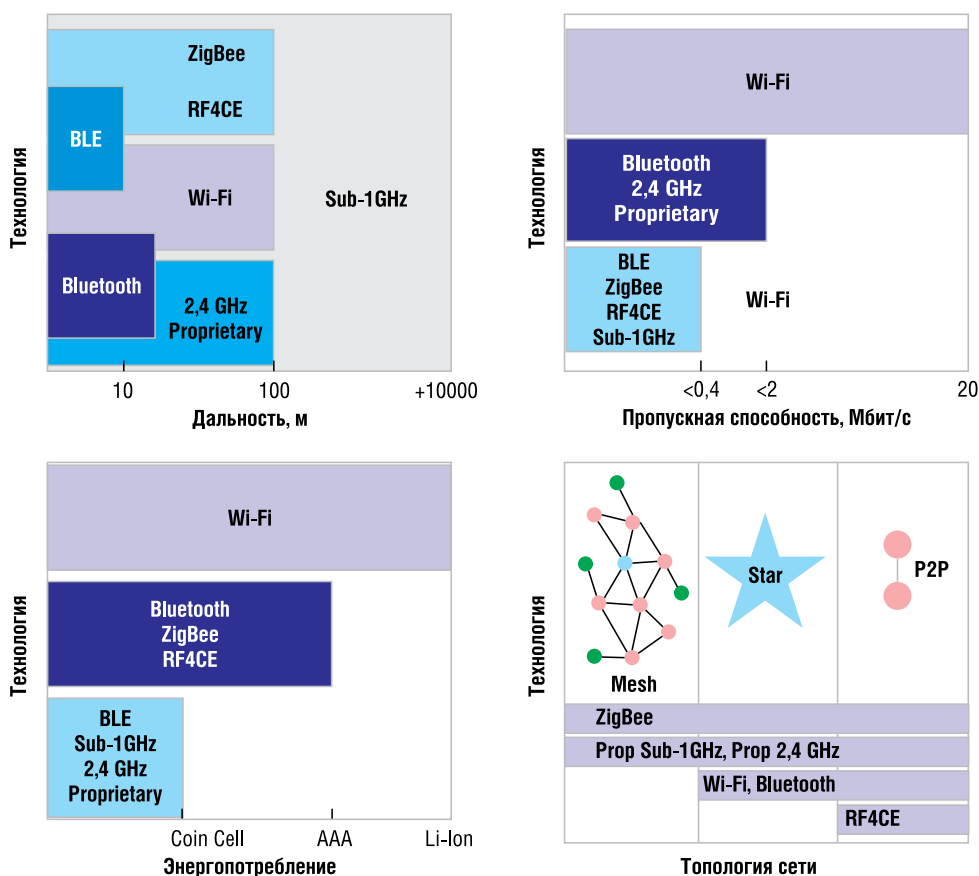


Рис. 1. Сравнение возможностей различных технологий и стандартов ISM-диапазона

Таблица 1. Решения компании Texas Instruments для ISM-диапазона

Частотный диапазон	Поддерживаемые протоколы, стандарты	Серии
0,0134...13,56 МГц	RFID, NFC, ISO14443A/B, ISO15693	TMS37157, TRF796x, TRF7970
<1 ГГц	SimpliciTI, 6LoWPAN, WM-Bus	CC1110, CC1190, CC11xL, CC430, CC112X, CC120X, CC1180*
2,4...5 ГГц	SimpliciTI, PurePath Wireless	CC2500, CC2543/44/45, CC2590/91, CC8520/21, CC2530/31
	ZigBee®, 6LoWPAN, RF4CE	CC2530, CC2530ZNP*, CC2531, CC2533, CC2538, CC2520
	Bluetooth® technology, Bluetooth® low energy, ANT	CC2560/7, CC2540/1, CC2570/1*
	WiFi	WL1271/3, CC3000*
Системы навигации	GPS	CC4000*

* — микросхемы семейства SimpleLink, т.н. сетевые процессоры с предустановленными сетевыми протоколами.

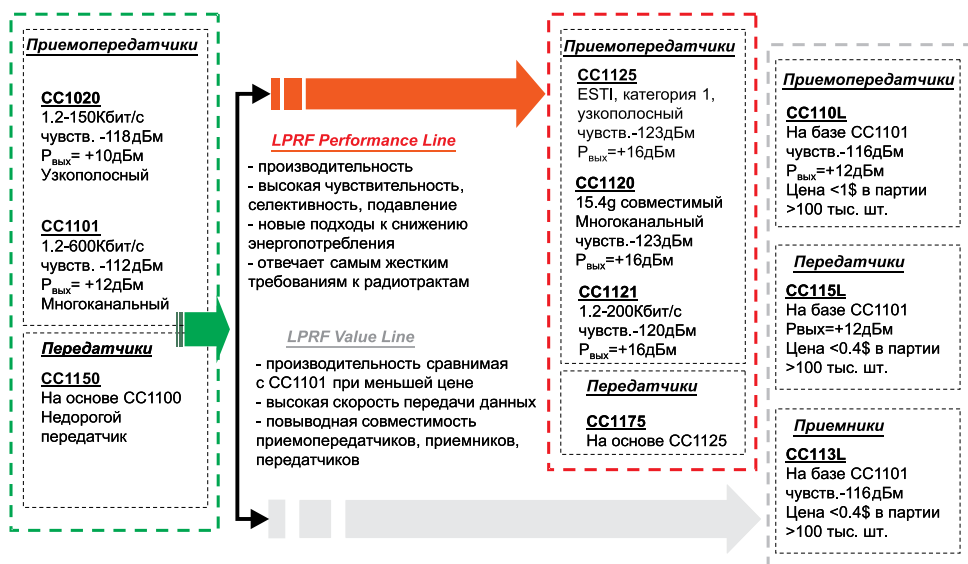


Рис. 2. Беспроводные микросхемы Texas Instruments для диапазона <1 ГГц

сочетают в себе компактные размеры, низкое энергопотребление, низкопрофильный корпус. Благодаря уникальной схемотехнике на базе приемопередатчиков данной серии можно строить беспроводные приемопередатчики практически для всего частотного субгигагерцевого диапазона 300...960 МГц. Типичные области применения:

- системы охранно-пожарной сигнализации;
- автоматизированные системы контроля и учета энергоресурсов;
- дистанционное управление.

В 2011 году в рамках развития и совершенствования архитектуры CC1101 TI представила две линейки продуктов — **LPRF Performance Line** и **LPRF Value Line**.

Линейка LPRF Value Line [2] представлена сериями недорогих устройств, рассчитанных на массовое применение. В нее вошли приемопередатчик **CC1101L** и отдельные микросхемы приемников **CC113L** и передатчиков **CC1115L**. Это бюджетные микросхемы (цена единицы в крупной партии менее \$1), совместимые с приемопередатчиками CC1101.

Целевая аудитория LPRF Performance Line [3] — приложения с высокой производительностью, требующие широкого спектра аппаратных возможностей,

а также — приложения для работы в условиях зашумленной или плотно занятой частотной полосы. В линейке Performance представлены узкополосные (6...50 кГц) многоканальные приемопередатчики **CC1120/CC1121/CC1125**, высокопроизводительный передатчик CC1175 (рисунок 2).

Особенности линейки LPRF Performance Line

Усилия специалистов Texas Instruments по увеличению производительности воплотились в жизнь в новой линейке LPRF Performance Line. В основу беспроводных приборов линейки LPRF Performance Line легла архитектура приемопередатчиков CC1101.

Линейка беспроводных устройств от Texas Instruments LPRF Performance Line демонстрирует замечательные характеристики, позволяющие ей занять особую нишу на рынке беспроводных низкопотребляющих систем.

Высокая избирательность цифровых фильтров наряду с высокой чувствительностью и плавной регулировкой выходной мощности позволяет устройствам этой линейки уверенно работать в самых трудных радиоусловиях: при высоком уровне канальных помех, плотного размещения узлов. Узкая полоса канала пе-

редатчика также способствует успешной совместной работе с другими устройствами, использующими радиоканал.

Новый режим прослушивания канала RF Sniff Mode существенно снижает энергопотребление в режиме приема, особенно на низких скоростях передачи данных, а также в режиме Wake-on-Radio. Более низкий ток потребления означает и большее время работы от автономного источника питания, а следовательно — и меньшие затраты на обслуживание узла.

Расширен список поддерживаемых методов модуляции (2-FSK, 4-FSK, 2-GFSK, 2-GFSK, MSK, OOK, ASK, аналоговая частотная модуляция), что позволяет добиться лучшей совместимости с предшествующими беспроводными системами или выбрать наиболее оптимальный для данных условий метод модуляции.

Микросхемы линейки Value Line также способны работать в любом из диапазонов: 300...348 МГц, 387...464 МГц, и 779...928 МГц. Характеристиками производительности радиотракта они сходны с серией CC1101. Линейка Value Line имеет аппаратную поддержку обработки пакетов (детектирование синхрослова, автоматический подсчет контрольной суммы), буферизации данных (FIFO-буферы по 64 байта на прием и передачу), непрерывной передачи больших объемов данных. Наилучшие показатели чувствительности -116 дБм при скорости передачи данных 0,6 кбит/с. Скорость передачи данных варьируется в пределах 0,6...600 кбит/с.

Поддерживаются частотная (2-FSK, 4-FSK, GFSK) и амплитудная (OOK) модуляции сигнала. Время выхода из режима низкого энергопотребления (ток потребления ~200 нА) в режим приема или передачи порядка 240 мкс. Отсутствие режима пробуждения по наличию радиосигнала (Wake-on-Radio — WOR) и блока коррекции ошибок (Forwarding Error Correction — FEC) несколько снижает функциональность устройств линейки Value Line, но зато положительно сказывается на их цене.

Некоторые сравнительные характеристики микросхем серий CC1101,

Таблица 2. Сравнительные характеристики приборов линеек Value Line, Performance Line и серии CC1101

Параметр	Наименование						
	<u>CC1101</u>	<u>CC110L</u>	<u>CC1020</u>	<u>CC1121</u>	<u>CC1120</u>	<u>CC1125</u>	<u>CC1175</u>
Чувствительность, дБм	-116	-116	-118	-120	-123	-124	—
Подавление соседнего канала (± 100 кГц), дБм	37	35	41	48	52	>60	—
Максимальная выходная мощность, дБм	12	10...12	5...10	14...16	14...16	14...16	14...16
Частотные диапазоны, МГц	300...348, 387...464, 779...928, (470...510, 950...960 — CC1100E)	300...348, 387...464, 779...928	402...480, 804...960	164...192, 410...480, 820...960	164...192, 410...480, 820...960	164...192, 410...480, 820...960, (136...170, 205...240, 273...320 — образцы)	164...192, 410...480, 820...960
Минимальная ширина канала, кГц	50	50	12,5	50	12,5	6,25	—
Максимальная ширина канала, кГц	800	800	200	250	250	250	—
Максимальная скорость передачи, кбит/сек	600	600	153,6	200	200	200	200
Режимы модуляции	2-FSK, 4-FSK, GFSK, MSK, OOK, ASK	2-FSK, 4-FSK, GFSK, OOK	FSK, OOK, GFSK, 4-FSK	2-FSK, 4-FSK, 2-GFSK, 2-GFSK, MSK, OOK, ASK, FM	2-FSK, 4-FSK, 2-GFSK, 2-GFSK, MSK, OOK, ASK, FM	FSK, OOK, GFSK, 4-FSK, 4-GFSK	FSK, OOK, GFSK, 4-FSK, 4-GFSK
Режимы работы приемника	Обычный, Wake-on-Radio	Обычный	Обычный	Обычный, Wake-on-Radio, Sniff Mode	Обычный, Wake-on-Radio, Sniff Mode	Обычный, Wake-on-Radio, Sniff Mode	—
Фазовый шум 10/100/1000 кГц, дБн/Гц	-90/-92/-107	-90/-92/-107	-90/-110/-114	-109/-111/-130	-109/-111/-130	—	-109/-111/-130

Таблица 3. Некоторые сравнительные характеристики беспроводных СнК производства Texas Instruments

Параметр	Наименование				
	<u>CC430</u>	<u>CC111x</u>	<u>CC2510/CC2511</u>	<u>CC2530/CC2531/CC2533</u>	<u>CC2538</u>
Тип процессорного ядра	MSP430, 16 бит	8051, 8 бит	8051, 8 бит	8051, 8 бит	ARM Cortex-M3, 32 бита
Максимальные рабочие частоты контроллера, МГц	25	26	26	32	32
Объем встроенной памяти, байт ОЗУ/флеш	2К-4К/8К-32К	1К-4К/8К-32К	1К-4К/8К-16К	8К/32К-256К	32К/128К-512К
Напряжение питания, В	2...3,6	2...3,6	2...3,6/4,8	2...3,6/6,5	2...3,6/13
Тип корпуса	VQFN48, VQFN64	QFN36	QFN36	QFN40	QFN56
Чувствительность приемника, дБм	-117/-111	-112	-103	-97	-97
Выходная мощность передатчика, дБм	<13	-30...+10	-30...+1	-27,5...+4,5	-24...+7
Максимальные скорости передачи данных, кбит/с	500	500	500	250	250
Поддерживаемые виды модуляции сигнала	2-FSK, GFSK, MSK, OOK, ASK	2-FSK, GFSK, MSK, OOK, ASK	DSSS	DSSS	DSSS
Потребляемый ток: Передача/прием, мА (режимы пониженного потребления, мкА)	17...36/15 (1)	17...36/16 (0,3...1)	16...23/17,1 (0,4...1)	29/24 (0,4...1)	24/23 (0,5...1,3)
Частотные диапазоны, МГц	300...348, 387...464, 779...928	300...348, 387...464, 779...928	2400	2400	2400

Value Line и Performance Line представлены в таблице 2.

Решения для WM-BUS

Стандарт Wireless M-Bus (EN13757-4 2005 и 2012) регламентирует беспроводной обмен в системах сбора данных,

счетчиках воды, газа, электроэнергии. Особенно широко распространен в Европе в приложениях интеллектуального учета потребления ресурсов (Advanced Metering Infrastructure (AMI)). Изначально предназначался для диапазона 868 МГц, обеспечивающего оптимальное

сочетание размеров антенны и дальности связи. Позже был расширен на частотные диапазоны 169 и 433 МГц, обеспечивающие более высокие показатели по дальности, чем диапазон 868 МГц.

Для данного стандарта компанией TI предлагаются беспроводные микросхемы

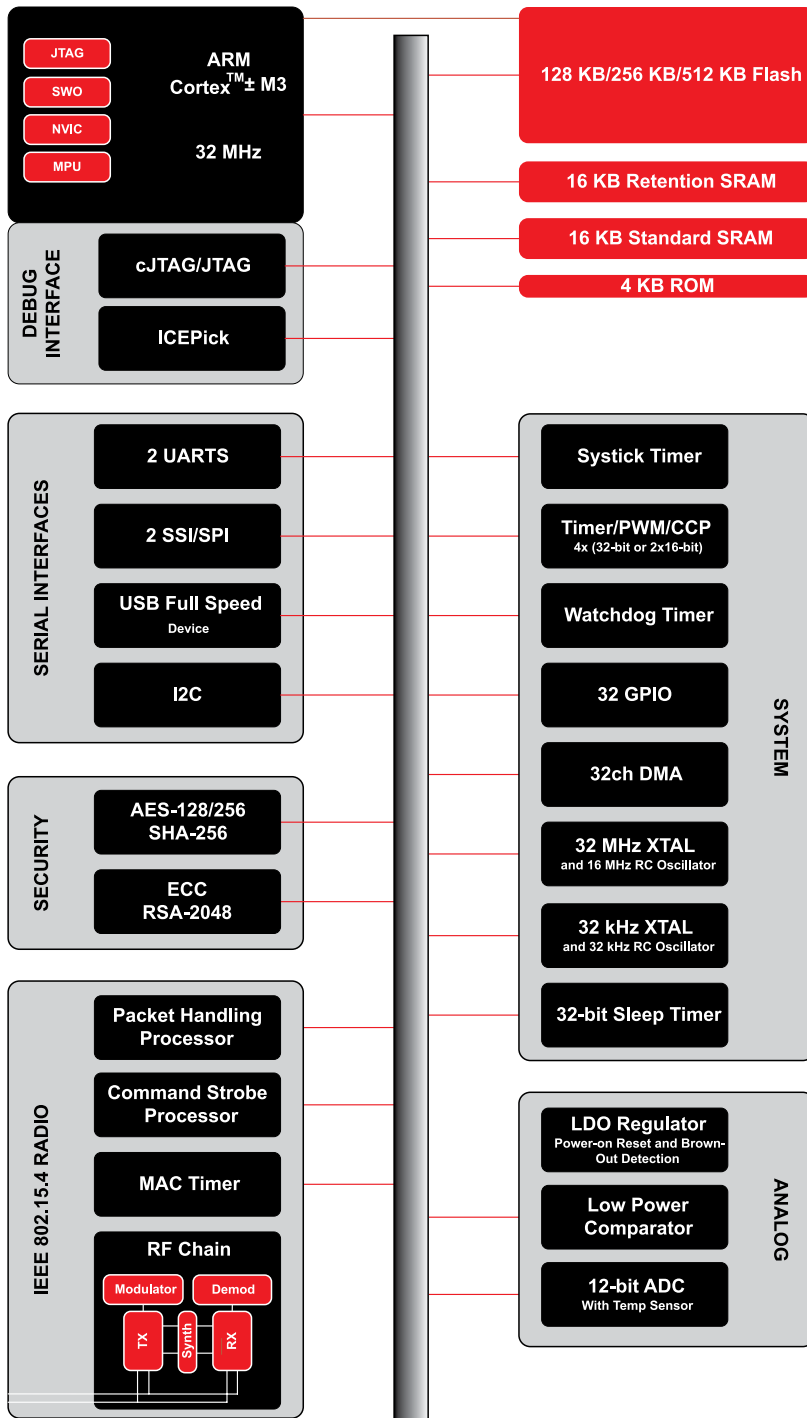


Рис. 3. Система-на-кристалле стандарта 802.15.4g с поддержкой профиля ZigBee Smart Energy 2.0 CC2538

линеек Value Line и Performance Line, а также система-на-кристалле **CC430**, интегрирующая в себе ядро контроллера **MSP430** и приемопередатчик CC1101 [4].

Разработчикам доступны также исходные коды для режимов S-, T- стандарта WM-Bus для отладочных средств EXP430FG4618, CC1101EM-868, TRXEB + CC1120EM-868MHz.

Также компания TI предоставляет OMS-совместимый стек протоколов WM-Bus, поддерживающий различные аппаратные платформы:

- связку контроллеров серии **MSP430** с одним из приемопередатчиков серий **CC110x**, **CC112x** и **CC120x**;

- систему-на-кристалле **CC430**.

Texas Instruments для сетей ZigBee

Texas Instruments является давним и активным членом альянса ZigBee и играет ощутимую роль в формировании и развитии стандартов альянса.

Компанией предлагается широкий спектр аппаратных и программных решений для создания беспроводных систем, использующих протоколы стандартов ZigBee частотных диапазонов <1 ГГц и 2,4 ГГц [5]:

- однокристалльные системы;
- стеки протоколов;
- сетевые процессоры.

Для организации сложных сетей ZigBee компания TI предлагает стек протоколов Z-Stack™, совместимый со стандартами ZigBee (ZigBee и ZigBee PRO).

Z-Stack™ поддерживает профили ZigBee — Smart Energy, Light Link, Home Automation.

Основные возможности:

- полная поддержка стандарта ZigBee PRO;
- возможность обновления прошивки узлов сети по радиоканалу;
- набор API, уменьшающих время разработки приложения (дополнительно предоставляются примеры программ).

Однокристалльные системы для сетей ZigBee

Однокристалльные беспроводные контроллеры производства компании TI (таблица 3) основываются на микроконтроллерных ядрах **MSP430** и **8051**, приемопередатчиках CC1101 для суб-гигагерцевого диапазона и **CC2500** для диапазона 2,4 ГГц [5].

TI для Smart Energy — система-на-кристалле (СнК) CC2538

Новинкой в семействе CC25xx является **CC2538** [6] — радиочастотная система-на-кристалле стандарта 802.15.4g с поддержкой профиля ZigBee Smart Energy 2.0. Профиль ZigBee Smart Energy стандартизует функции устройств, предназначенных для мониторинга, управления и автоматизации доставки, распределения и потребления энергии и воды.

Планируется, что однокристалльное решение CC2538 избавит от необходимости использовать дополнительный микропроцессор, упростит и удешевит разработку приложений Smart Grid и удаленных беспроводных сенсоров для интеллектуальных приборов учета.

СнК CC2538 интегрирует трансивер стандарта 802.15.4g, процессор ARM Cortex-M3, специализированный модуль аппаратного ускорения функций безопасности профиля ZigBee Smart Energy 2.0 и достаточный объем встроенной памяти для запуска стека протокола ZigBee IP и профиля Smart Energy 2.0.

CC2538 (рисунок 3) поддерживает стек ZigBee протокола Z-Stack, который обеспечивает полную функциональность Smart Energy 1.1.

Профиль Smart Energy 2.0 (рисунок 4) разработан с целью взаимодействия с несколькими устройствами физического уровня (PHY) и создает основу для разработки SE 2.0-продуктов, которые смогут одновременно поддерживать сети ZigBee, Wi-Fi или коммуникации посредством силовых линий (PLC — Power Line Communication), включая ZigBee процессор (**CC253x**) и

решения WiLink 6.0 (**WL127x**). Профиль позволит пользователям использовать ZigBee или Wi-Fi для подключения к существующим или новым инфраструктурам, или же использовать Wi-Fi в качестве моста для подключения по ZigBee к сети Интернет.

Управление светом производства компании TI — система для ZigBee Light Link

Texas Instruments является одним из инициаторов и разработчиков нового ZigBee-стандарта — профиля Light Link, регламентирующего взаимодействие устройств управления освещением, осветительных приборов между собой, а также их взаимодействие с сетями ZigBee (в частности, с профилями Home Automation и Building Automation). Предполагается, что устройства на базе стандарта Light Link будут так же просты в использовании, как и обычные домашние регуляторы освещения. Энергосберегающие лампы, светодиодные светильники, датчики, таймеры и пульты управления, выполненные с использованием ZigBee Light Link, будут подключаться в единую сеть без применения каких-либо специальных координирующих устройств, что позволит потребителям легко дополнять свои сети освещения новыми приборами.

Основные функции устройств освещения в сетях ZigBee Light Link — установка требуемого уровня освещенности или яркости, корректировка цвета, переключение эффектов или сцен (предварительно заданных конфигураций уровней освещенности и цвета).

Поскольку Light Link ориентирован прежде всего на полупроводниковые светильники (светодиодные), то основными низкоуровневыми функциями регулировки режима работы светильника будут включение/выключение, а также ШИМ-регулирование одного или более каналов. С этим справится, например, беспроводной контроллер с необходимым набором периферийных

устройств. Для диапазона 2,4 ГГц, регламентированного в стандарте, такими контроллерами могут быть SnK серий **CC2530/31** — в данных контроллерах доступно до четырех ШИМ-каналов с разрешением 16 бит [7]. Кроме того, верхний предел рабочих температур данных серий составляет 125°C, что позволяет применять их в одном корпусе со светодиодным источником света и светодиодным драйвером.

6LoWPAN

Архитектура сетей **6LoWPAN** несколько отличается от традиционных архитектур IP-сетей (наличие специализированного коммутационного оборудования, маршрутизаторов, медиа-конверторов), и от сложившихся архитектур беспроводных сетей сбора данных. Ближе всего к ней находится архитектура Wi-Fi-сетей, хотя и от нее есть ряд отличий.

Прежде всего, сети 6LoWPAN являются подсетями IPv6-сетей, т.е. они могут взаимодействовать с другими сетями и узлами IP-сети, но не являются транзитными для их сетевого трафика.

Выделяют три типа сетей 6LoWPAN: ad-hoc, простая 6LoWPAN-сеть, расширенная 6LoWPAN-сеть.

Взаимодействие между узлами сети 6LoWPAN, а также взаимодействие с внешними узлами осуществляется как и в обычной IP-сети. Каждый узел имеет свой уникальный IPv6-адрес и может принимать и передавать пакеты IPv6. Упрощенная, в сравнении со стеками TCP/IP и ZigBee, структура стека протоколов 6LoWPAN представлена на рисунке 5. Обычно узлы имеют поддержку протокола ICMPv6 и UDP. Прикладные протоколы чаще всего используют бинарный формат данных при работе по UDP-протоколу в сетях 6LoWPAN. В отличие от TCP/IP-стека, в 6LoWPAN нет поддержки протокола транспортного уровня TCP. Из-за больших накладных расходов на формирование пакетов и из-за особен-

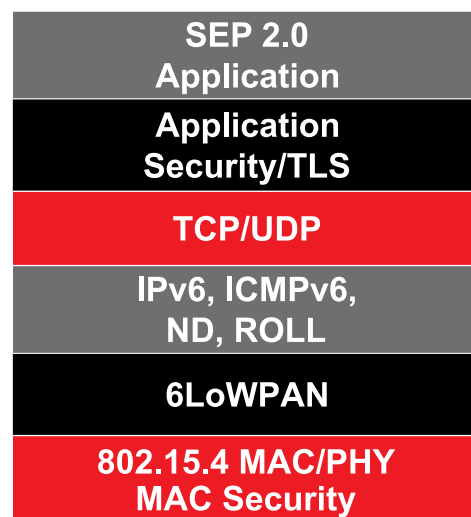


Рис. 4. Структура стека протоколов профиля ZigBee SmartEnergy 2.0

ностей работы протокола, которые существенно затрудняют его применение в сенсорных беспроводных сетях, подтверждение пакетов, установление/разрыв соединения требуют частой работы приемопередатчика узла, и, как следствие, происходит повышенное потребление энергии.

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

Решения компании Texas Instruments для 6LoWPAN основываются на собственных аппаратных решениях и программном обеспечении компании-партнера **Sensinode Ltd** — одного из лидеров в области программных продуктов для 6LoWPAN [8]. Одним из таких решений является сетевой процессор **CC1180**.

Сетевой процессор CC1180 является системой-на-кристалле **CC110F32**, поставляющейся с прошитым стеком протоколов NanoStack 2.0 Lite. CC1180

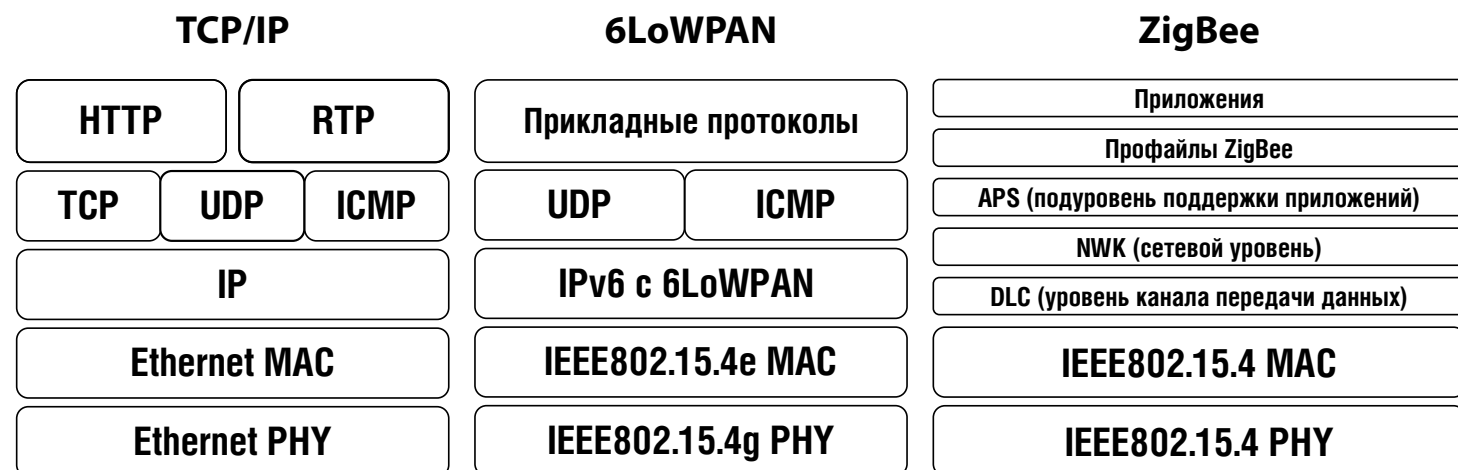


Рис. 5. Сравнительная структура стеков TCP/IP, 6LoWPAN, ZigBee

Таблица 4. Понижающие преобразователи TPS62xxx

Серия	Выходной ток					
	300...500 мА	600 мА	1...1,2 А	1,6...2 А	3 А	4 А
1-е поколение (L = 4,7...10 мкГн)	TPS62200, TPS62220	TPS62000, TPS62020	TPS62040	—	—	—
2-е поколение (L = 1,0...2,2 мкГн)	TPS62240, TPS62270	TPS62260	TPS62290	TPS62060, TPS62065	—	—
DCS-Control™ (L=1,0...2,2 мкГн; Cout до 100 мкФ)	TPS62230	—	TPS62080	—	TPS62090	—
Value Line	—	TPS62560	TPS62590, TLV62080	TLV62065	TLV62090	TLV62095

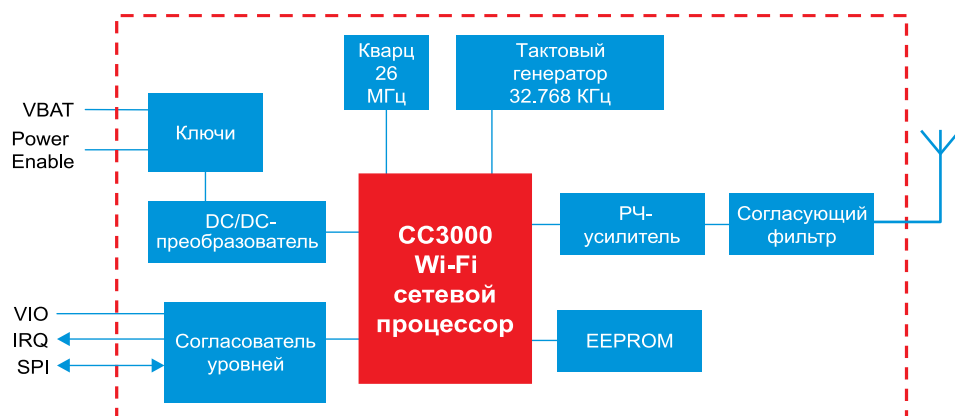


Рис. 6. Структура Wi-Fi-модуля CC3000

выполняет все критически важные и ресурсоемкие процессы, связанные с работой сетевых протоколов, экономя ресурсы внешнего микроконтроллера для решения прикладных задач. Взаимодействие с внешним контроллером (часто называемым прикладным контроллером или контроллером приложений) осуществляется по интерфейсу UART с протоколом обмена NAP. Например, возможно использование микроконтроллеров серии **MSP430** или любых других. Сетевой процессор позволяет легко расширить функциональность создаваемой или существующей системы за счет подключения к 6LoWPAN-сети.

Ключевые особенности:

- простая интеграция в сеть 6LoWPAN;
- распространенный UART-интерфейс;
- простой и функциональный протокол взаимодействия;
- обновление прошивки через радио (при условии, что у узла достаточно памяти для временного хранения образа);
- большой выбор возможных диапазонов частот — 315/433/868/915 МГц;
- выходная мощность радиосигнала -30...+10 дБм;
- скорости передачи данных 50, 100, 150, 200 кбит/с;
- AES-шифрование в пределах подсети;
- диапазон напряжений питания 2...3,6 В;

- компактные размеры — корпус QFN36 6x6 мм.

Bluetooth Low Energy — BLE

Технология Bluetooth Low Energy (BLE) — Bluetooth 4.0 является технологией беспроводной связи для ближних коммуникаций, разработанной группой **Bluetooth Special Interest Group (SIG)**. В отличие от предыдущих стандартов — Bluetooth 2.0, Bluetooth 2.1 + EDR, Bluetooth 3.0, — стандарт BLE изначально ориентирован на применение в системах сбора данных, мониторинга с автономным питанием. В отличие от технологий сенсорных сетей, таких как ZigBee, 6LoWPAN или Z-Wave, ориентированных на разветвленные распределенные сети с многочисленными передатчиками данных между узлами сети, Bluetooth Low Energy ориентирован на топологии типа «точка-точка» и «звезда». Основными областями применения BLE являются устройства обеспечения безопасности, управления электроприборами и отображения показаний, датчики с батарейным питанием, домашние медицинские приборы, спортивные тренажеры.

Несмотря на то, что некоторые функции BLE заимствованы у классического Bluetooth, они не совместимы между собой, т.е. устройство, поддерживающее только BLE (однорежимное устройство single-mode device), не сможет взаимодействовать с устройством, поддерживающим только Bluetooth 2.x/3.0. Для осуществления взаимодействия между

ними хотя бы одно из устройств должно поддерживать оба стека протоколов (двухрежимное устройство dual-mode device).

Компания Texas Instruments предлагает микросхемы одно- (**CC254x**) и двухрежимных (**CC2564**, **WLink 128x**) устройств, поддерживающих стандарт BLE, а также стандарт Bluetooth (**CC2560**). Кроме того, TI предоставляет сам стек протоколов BLE/Bluetooth:

- соответствие спецификации Bluetooth 4.0;
- режим хост-устройства, контроллера;
- поддержка специализированных профилей устройств;
- небольшой объем кода;
- высокая энергоэффективность.

CC2540 [9] представляет собой высокоинтегрированную систему на кристалле для приложений Bluetooth low energy, требует небольшого числа внешних дополнительных компонентов. SNK может работать в режимах подчиненного устройства и мастера, включает в себя популярный процессорное ядро **8051**, 8 кбайт ОЗУ, периферийные устройства и беспроводной приемопередатчик диапазона 2,4 ГГц. Благодаря наличию режимов пониженного энергопотребления и малому времени перехода между ними, CC2540 подходит для устройств с батарейным питанием.

CC2541 аналогична CC2540, и даже повысительно совместима с ней при соблюдении определенных условий. Так, в CC2541 отсутствует USB-интерфейс — он заменен на интерфейс I²C. CC2541 обладает меньшей выходной мощностью передатчика по сравнению с CC2540, но благодаря этому обладает меньшим энергопотреблением.

Коммуникационные решения

Множество приложений требуют достаточно больших объемов или скоростей передаваемых данных. Одними из типовых решений в данном случае являются решения на основе стандартов Bluetooth или WiFi.

TI's Bluetooth

Серия устройств CC256x [10] является законченным решением с поддерж-

кой стандартов BR/EDR/LE HCI, которое позволяет существенно сократить затраты на разработку и внедрение систем на их основе. CC256x основывается на седьмом поколении протоколов Bluetooth от TI, полностью поддерживает стандарт Bluetooth 4.0 (протоколы BR/EDR/LE).

При работе в паре с хост-контроллером CC256x предоставляют одни из лучших показателей производительности в таких приложениях, как:

- аксессуары для мобильных телефонов;
- аксессуары для занятий фитнесом или спортом;
- аудиоприложения;
- устройства управления;
- игровые устройства.

Сочетая в себе достаточную выходную мощность и высокую чувствительность приемника, CC256x представляет собой перспективное решение для сетей BLE. Это касается и стека протоколов, предоставляемого TI — он подходит как для устройств на базе MSP430, так и на базе контроллеров с ядром ARM® M4.

Ключевые особенности:

- выходная мощность передатчика до +9,5 дБм;
- чувствительность приемника до -92 дБм;
- поддержка технологий Bluetooth, ANT;
- типовой ток потребления ~140...150 мкА;
- подстройка выходной мощности в процессе обмена.

Wi-Fi

Не обойден вниманием компании TI популярный стандарт высокоскоростного обмена данными и организации беспроводных сетей 802.11, чаще называемый Wi-Fi.

На данный момент компанией TI предлагается беспроводной модуль, входящий в группу устройств TI «Simple Link» — **CC3000**, позволяющий при минимальных затратах осуществить подключение устройства к Wi-Fi-сети.

CC3000 [11] является сетевым процессором, предназначенным для подключения устройств к TCP/IP-сети через Wi-Fi. Аналогично 6LoWPAN-процессору CC1180, CC3000 берет на себя выполнение стека сетевых протоколов. Подключение к хост-процессору осуществляется посредством SPI-интерфейса (рисунок 6).

Основные возможности:

- поддерживает стандарты IEEE 802.11 b/g;
- встроенный стек протоколов TCP/IP (IPv4);
- выходная мощность +18 дБм (при 11 Мбит/с, CCK-модуляция);

- чувствительность приемника -88 дБм (8% PER, 11 Мбит/с, CCK-модуляция);
- встроенная система управления питанием и тактированием;
- рабочий диапазон температур -20...70°C.

Для разработчика доступны справочные руководства, справочник API-функций, примеры приложений и схем включения.

Питание радиочастотных микросхем

Так как в большинстве радиочастотных микросхем используются совместно с батарейным питанием, такие параметры как малый ток потребления и возможность реализации минимального потребления в ждущем режиме являются ключевыми. Помимо требований к самим радиочастотным микросхемам, эти же требования предъявляются к питанию микросхем.

В линейке DC/DC-преобразователей Texas Instruments для реализации подобных решений (**TPS61/62/63xxx**) существует широкий перечень необходимых приборов. Данная линейка объединяет в себе набор преобразователей для любого применения: TPS61xxx — повышающий преобразователь; TPS62xxx — понижающий преобразователь (таблица 4); TPS63xxx — повышающе-понижающий преобразователь. Отличительной возможностью данных микросхем является малый ток собственного потребления и малый ток в режиме ожидания.

Для применений, требующих использования аккумуляторов, Texas Instruments также предлагает широкий выбор решений для заряда и контроля уровня заряда (**BQ24xxx/27xxx**).

Понижающие преобразователи данной серии имеют малый собственный

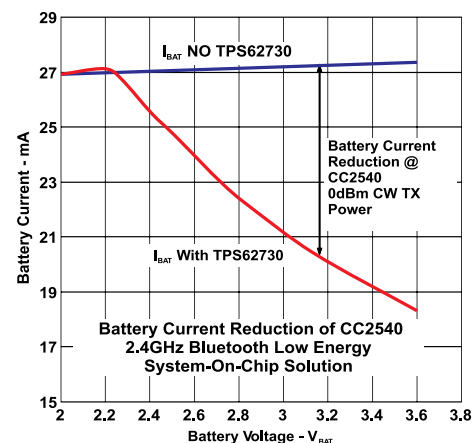


Рис. 7. Ток потребления с использованием TPS62730

ток потребления, позволяют получить малую площадь преобразователя на плате менее 12 мм² (TPS62230) и высокий КПД — 95% (TPS62290).

Отдельно стоит отметить популярный преобразователь **TPS62730**, который широко используется совместно с радиочастотными микросхемами Texas Instruments. TPS62730 позволяет увеличить время работы от батарейки на 20...35%, что достигается за счет примененных в микросхеме режимов bypass, выключения и синхронного преобразования с DCS-схемой управления (рисунок 7).

В режиме низкого потребления в преобразователе TPS62730 используется функция bypass, при которой выход устройства V_{OUT} подключается непосредственно к V_{IN} через внутренний ключ. В данном режиме понижающий преобразователь выключен и потребляет менее 30 нА. Как только устройство переходит из режима с низким потре-

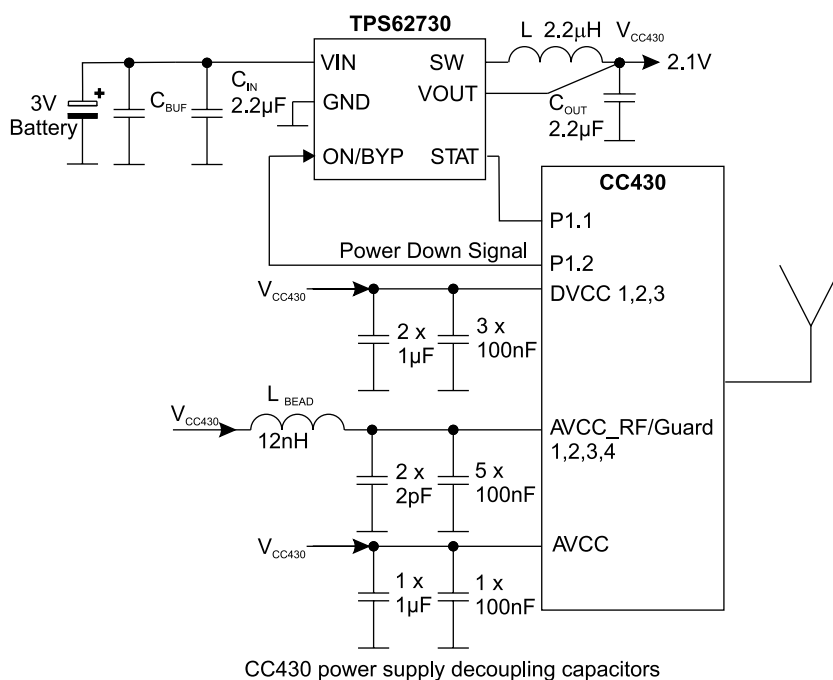


Рис. 8. Пример использования TPS62730 совместно с CC430

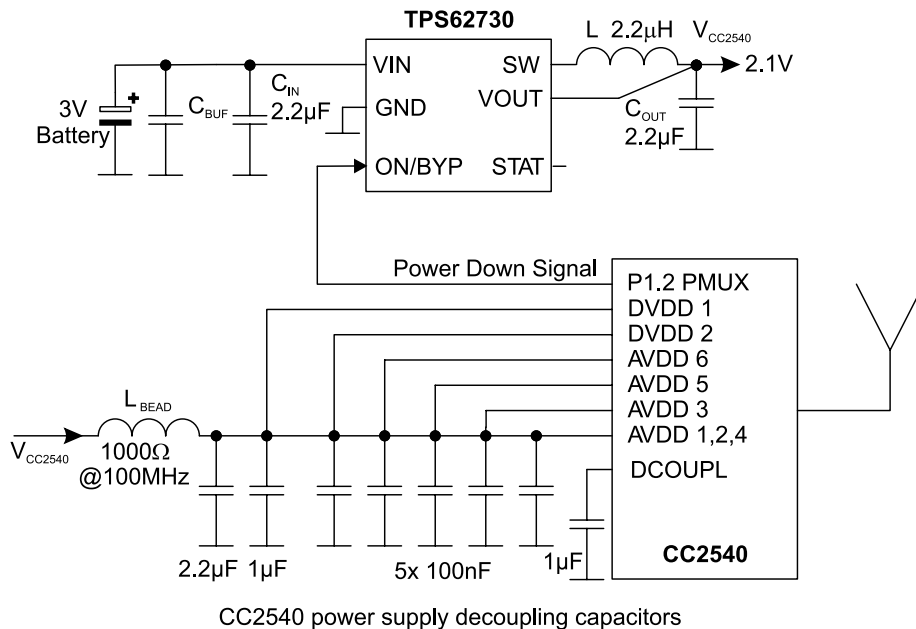


Рис. 9. Пример использования TPS62730 для реализации BLE

блением в режим понижающего преобразователя, все внутренние схемы активируются за 50 мкс. На протяжении всего времени включения внутренний ключ обеспечивает подсоединение V_{OUT} к V_{IN} . Как только все переходные процессы закончены и готовы к работе, внутренний ключ выключается, и питание обеспечивается через выходной конденсатор и прочие развязывающие

конденсаторы. Преобразователь запускается сразу же, как только напряжение на V_{OUT} уменьшится до номинального значения. Пример использования TPS62730 дан на рисунках 8, 9.

Заключение

Компанией Texas Instruments предлагается несколько линеек продуктов с низким энергопотреблением для бес-

проводных систем со всем необходимым программным и аппаратным обеспечением. Фактически, это избавляет разработчиков от необходимости применения специализированных протоколов для снижения энергопотребления — эта часть проблемы решается на уровне компонентов. Беспроводные решения TI позволяют реализовать любую стратегию развития продукта, выбранную разработчиком, и охватывают практически весь спектр приложений во всем ISM-диапазоне

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

Литература

1. Overview — Wireless Connectivity — TI.com // <http://focus.ti.com/wireless/docs/wirelessoverview.tsp?familyId=2003§ionId=646&tabId=2735&DCMP=embeddedrf&HQS=wireless-intsearch>
2. Sub-1 & 2.4GHz RF Value Line Low-cost device family based on low-power RF technology // http://www.ti.com/w/en/analog/sub_1_GHz_low_power_rf_ic/index.shtml?DCMP=rfvalueline&HQS=Other+OT+rfvalueline
3. Sub-1 GHz Performance Line — TI.com // http://www.ti.com/w/en/analog/sub_1_GHz_performance_line_rf_ic/index.shtml
4. Wireless M-Bus protocol software — WMBUS // <http://www.ti.com/tool/wmbus>
5. ZigBee Solutions — TI.com // <http://www.ti.com/lids/ti/analog/zigbee.page>
6. Mesh and IP Networks — ZigBee IEEE 802.15.4 — CC2538 — TI.com
7. CC2530ZDK-ZLL — CC2530 ZigBee Light Link Development Kit // <https://estore.ti.com/CC2530ZDK-ZLL-CC2530-ZigBee-Light-Link-Development-Kit-P4539.aspx>
8. Mesh and IP Networks — 6LoWPAN — CC1180 — TI.com // <http://www.ti.com/product/cc1180>
9. Personal Area Networks — Bluetooth Low Energy Technology — CC2540 — TI.com // <http://www.ti.com/product/cc2540>
10. Personal Area Networks — Bluetooth technology — CC2560 — TI.com // <http://www.ti.com/product/cc2560>
11. Mesh and IP Networks — Wi-Fi (IEEE 802.11 WLAN) — CC3000 — TI.com // <http://www.ti.com/product/cc3000>

Wi-Fi - это просто!

с модулем CC3000

это возможно с 16-битным микроконтроллером

CC3000MOD
со склада в Москве

Поддержка разработчиков:

E-mail: ti@compel.ru

www.compel.ru/projects-support

Компэл

www.compel.ru

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

Константин Кузьминов (г. Санкт-Петербург)

РЕАЛИЗАЦИЯ «УМНЫХ» СЕТЕЙ НА БАЗЕ КОМПОНЕНТОВ PLC ОТ TEXAS INSTRUMENTS



PLC-модем на базе микроконтроллера из семейства Sitara, Stellaris или MSP430, микросхемы аналогового фронт-энда и, при необходимости, беспроводного приемопередатчика (все перечисленное — производства Texas Instruments) — идеальное решение для передачи данных по электросети в системах «умный дом», а также в системах автоматизации малого и среднего бизнеса.

Технология передачи данных по сетям электропитания (PLC — power line communications) позволяет ввести автоматизированную систему управления в новую или уже существующую инфраструктуру, минимизируя затраты как при разработке проекта инфраструктуры, так и при прокладке дополнительных сетей передачи данных.

Идея PLC ведет начало с 1838 года, когда Эдвард Дэйви предложил использовать подобную технологию для дистанционного измерения уровней напряжения батарей на Ливерпульской телеграфной системе. Однако, лишь с появлением современных компонентов, позволяющих бюджетно реализовать необходимую вычислительную мощность (OFDM, о котором будет сказано ниже, достаточно долго «пылился на полке» из-за сложности реализации), технология PLC действительно стала актуальной и доступной в промышленном и в домашнем секторах, обеспечив необхо-

димую надежность, скорость и простоту развертывания.

В настоящее время PLC используется, в основном, в системах энергоучета, простой автоматизации (освещение, приводы механизмов). Реже — это «последняя миля» в сетях передачи данных (Интернет), в голосовой связи. Развитие технологии сделало возможным использование не только в сетях переменного тока. Отсутствие дополнительных проводов оказалось настолько привлекательным, что сейчас осуществляется интеграция PLC даже в системы электропроводки автомобилей.

Технология

Основа PLC — модуляция фазы силовой линии, использование ее как несущей. Вариантов модуляции четыре: частотная (FSK — Frequency Shift Keying), частотная с разнесенными частотами (S-FSK — Spread Frequency Shift Keying), двоичная фазовая (BPSK — Binary Phase Shift

Keying) и ортогональное мультиплексирование с частотным разделением каналов (OFDM — Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Выбор варианта определяется двумя критериями — эффективностью использования полосы частот и сложностью реализации, что, в свою очередь, определяет скорость передачи данных и помехоустойчивость. OFDM — наиболее скоростной и помехоустойчивый, но сложен в реализации, так как требователен к вычислительным ресурсам, в то время как BPSK и FSK легко реализуются, но обеспечивают лишь низкие скорости. Для FSK требуется синхронизация при переходе фазы через ноль, что ограничивает его использование только сетями переменного тока.

Кроме того, PLC-системы реализуются с учетом требований стандартов (IEC 61334, PRIME, G3 и других) или местных регуляторных требований (CENELEC, FCC и т.д.).

В таблицах 1 и 2 показаны сравнительные характеристики основных вариантов модуляции, стандартов и требований.

PRIME

Альянс PRIME разработал стандарт с возможностью адаптации к параметрам физической среды передачи. Экспериментальным методом было об-

Таблица 1. Основные стандарты для PLC, поддерживаемые компанией TI

Стандарт	Модуляция	Диапазон частот, кГц	Количество поднесущих	Максимальная скорость обмена данными, кБод
IEC 61334	SFSK	60...76	2	1,2...2,4
PRIME	OFDM	42...90	97	128
G3	OFDM	35...90	36	34
G3-FCC	OFDM	145...314	36	206
		314...478	36	206
		145...478	72	289
P1901.2	OFDM	35...90	36	34
P1901.2-FCC	OFDM	145...314	36	217
		314...478	36	217
		145...478	72	290
PLC-Lite	OFDM	35...90	49	21

Таблица 2. Регуляторные инструкции

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

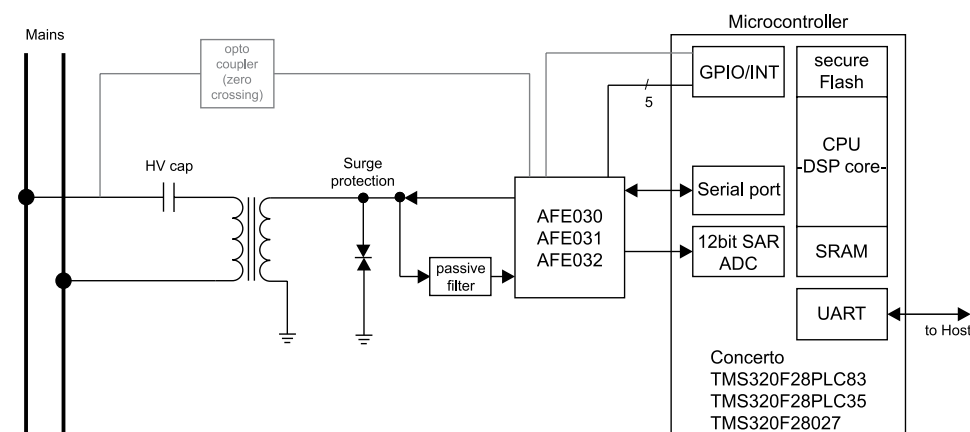


Рис. 1. Стандартный PLC-модем от TI

наружено, что для достижения оптимальных результатов передачи данных необходимо 96 поднесущих. Топология сети — древовидная, с двумя типами узлов — базовым (корень дерева сети) и сервисными. Сервисные узлы способны работать в двух режимах — терминала и коммутатора, причем, переключение между режимами возможно в любой момент, в зависимости от требований сети, а режим коммутатора совмещает в себе режим терминала. Всего в сети может быть 1200 узлов, 32 из которых могут находиться в режиме коммутатора, и осуществляется адресация до 3600 соединений.

Основное преимущество данного стандарта в открытости технологии, высокой скорости передачи данных и поддержке огромным числом производителей, что обеспечивает взаимозаменяемость оборудования, а также — возможность работы в режиме SFSK, обеспечивая совместимость с более старым оборудованием.

G3

В отличие от PRIME, изначально стандарт G3 разрабатывался компанией Maxim Integrated для французской компании ERDF, и лишь позже произошло объединение более десяти компаний в G3-PLC Alliance, что сделало G3 открытым.

G3 имеет более сложную систему кодирования (код Рида-Соломона), топологию ячеистой сети с максимальным количеством узлов — 1024. Стандарт более помехоустойчив, чем PRIME, но

скорость передачи данных существенно ниже.

Помимо топологии и скорости, у G3 имеются два серьезных преимущества перед PRIME: первый — это возможность осуществлять связь через трансформаторы. Учитывая, что дальность связи без повторителей может достигать 10 км, данная особенность снижает количество концентраторов до максимально эффективного числа, что уменьшает общую стоимость проекта.

Вторая особенность — наличие 6LoWPAN-уровня, что позволяет осуществлять передачу IPv6-пакетов для интеграции с сетью Интернет.

G3 не поддерживает устройства SFSK, но допускает параллельную работу с ними на одной линии.

PLC-Lite

Помимо международных стандартов, существуют иные решения. Компания Texas Instruments предлагает собственный стандарт PLC-Lite.

Преимущество этого стандарта — более гибкий подход к реализации PLC, разработчики оборудования могут оптимизировать характеристики для улучшения передачи данных, и там, где G3 и PRIME испытывают затруднения из-за помех, PLC-Lite успешно справится. Кроме того, реализация PLC-Lite имеет низкую стоимость, что позволяет использовать его в недорогих проектах.

Существует еще одно важное свойство PLC-Lite: для небольших задач предусмотрено использование микроконтроллера PLC-модема, что позво-

ляет обойтись от использования хост-контроллера. Это настолько упрощает разработку устройств и снижает стоимость, что становится экономически возможной интеграция PLC-модемов в сеть на бытовом уровне «выключатель — лампочка». Ниже будет описан один из проектов, показывающий эффективность такого решения.

Аппаратная реализация

Для реализации данной технологии используются PLC-модемы, которые условно можно разделить на три составляющие: согласующий модуль с силовой сетью, аналоговая и цифровая части. Реализация модемов разнообразна — существуют как одночиповые решения, так и многоэлементные. На рисунке 1 показана типичная схема PLC-модема для OFDM (для FSK и G3 дополнительно потребуется детектор перехода фазы через ноль (Zero-Cross detector)).

Для обеспечения обработки аналогового сигнала компания TI предлагает микросхемы **AFE030**, **AFE031** и **AFE032**, которые отличаются величиной выходной токовой нагрузки передатчика, количеством детекторов перехода фазы через ноль (два — у AFE030 и AFE031, три — у AFE032) и возможностью программирования фильтра (AFE032). Эти микросхемы позволяют реализовать FSK-, SFSK- и OFDM-модуляцию в соответствии с требованиями CENELEC. Блок-схема микросхем на примере AFE031 представлена на рисунке 2, а подробная функциональность и особенности описаны в нашем журнале ранее: *НЭ №10/2012: «Любой протокол — по проводам: решения Texas Instruments для PLC-систем передачи данных»* и *НЭ №7/2011: «Концерт для счетчика и сети: PLC-модемы компании Texas Instruments»*.

«Мозгом» модема является микроконтроллер семейства C2000 компании TI, оптимизированный для работы в PLC-модемах в качестве DSP. В настоящий момент компания TI предлагает несколько решений, базирующихся на региональных требованиях и стандартах и учитывающих оптимальность требуемых параметров. К примеру, если требуется разветвленная сеть системы сбора данных энергоучета в соответ-

Таблица 3. Решения PLC-модемов от TI

Особенности	F28PLC35/ <u>AFE030</u> (PLC-Lite)	F28PLC83/ <u>AFE031</u> (CEN-A/BCD)	F28M35/ <u>AFE032</u> (FCC)
Региональный диапазон частот	CELENEC A, CENELEC BCD half band	CENELEC A, B, C, D with Tone Masks	CENELEC A,B,C,D, FCC, ARIB
Стандарт	FlexOFDM	PRIME/G3/IEC 61334/FlexOFDM	P1901.2/G3-FCC
Скорость передачи данных, кБод	21	64...128	200
Стоимость	очень низкая	низкая	средняя
CPU, МГц	60	90 (VCU-I)	150 (VCU-I)
Преимущества	низкая стоимость надежность OFDM гибкий выбор диапазона высокая производительность NBI CLA для приложений CSMA/CA MAC	множество стандартов сертифицированный SW улучшенный алгоритм приема простой пользовательский интерфейс	множество стандартов высокая производительность дополнительные методы надежности Adaptive Tone Mask проверен практикой
Использование	In-Home Display (IHD) Home Area Network (HAN)	Automatic Meter Reading (AMR) Advanced Metering Infrastructure (AMI) In-Home Display (IHD) (Home Area Network) HAN Energy Gateway	Automatic Meter Reading (AMR) Advanced Metering Infrastructure (AMI) Electric Vehicle Supply Equipment (EVSE) In-Home Display (IHD) (Home Area Network) HAN Energy Gateway

ствии с CENELEC и стандартами G3 и/или PRIME, то идеальным решением будет PLC-модем, построенный на базе **F28PLC83** в связке с аналоговым блоком **AFE031**, это же решение с использованием FlexOFDM (PLC-Lite) позволит осуществить связь в условиях сильных помех. Если же требуется относительно простая система на уровне «точка-точка», то пара **F28PLC35/AFE030** стандарта PLC-Lite подойдет наилучшим образом. В частности, F28PLC35/AFE030 идеально подходит для построения связей внутри одного объекта, например, для управления/автоматизации освещения, водоснабжения и прочих систем.

Разумеется, решения можно использовать комплексно, например, недорогой F28PLC35/AFE030 может использоваться для передачи данных от энергосчетчика к домашнему дисплею и к коллектору данных, более мощный — от коллектора к дата-центру.

В таблице 3 приведены сравнительные характеристики вышеуказанных решений.

Практическое применение

Способность легкой интеграции технологии PLC практически везде, где есть силовые сети, открыла широкие возможности для энергосбытовых компаний, позволив реализовать управление потребителем и обратную связь с потребителем. Оснащение приборов учета PLC-модемами позволит:

- упростить фискальность;
- осуществлять сбор статистики по качеству и количеству энергоснабжения с очень точной привязкой ко времени;
- прогнозировать энергопоставки;
- оценивать состояние линий;

- оперативно вмешиваться в текущее состояние, например, осуществлять приоритетное подключение потребителей в аварийных ситуациях;

- снизить вероятность возникновения аварийных ситуаций за счет «направленной превентивности» в обслуживании линий энергопередачи.

На данный момент существует потребность в счетчиках для ЖКХ различного типа. Компания TI готова предложить различные варианты решений (в том числе — программно-отладочные

средства), позволяющие построить «умную» сеть практически под любые требования (рисунок 3). Рассмотрим практический пример энергоучета на базе этих решений.

Обычно в домах присутствует как минимум три счетчика — счетчик электроэнергии и два счетчика водоснабжения. Однако, их может быть гораздо больше: существуют проекты домов, где есть газоснабжение, водоснабжение подводится дважды, что требует наличия уже четырех счетчиков. И, если с

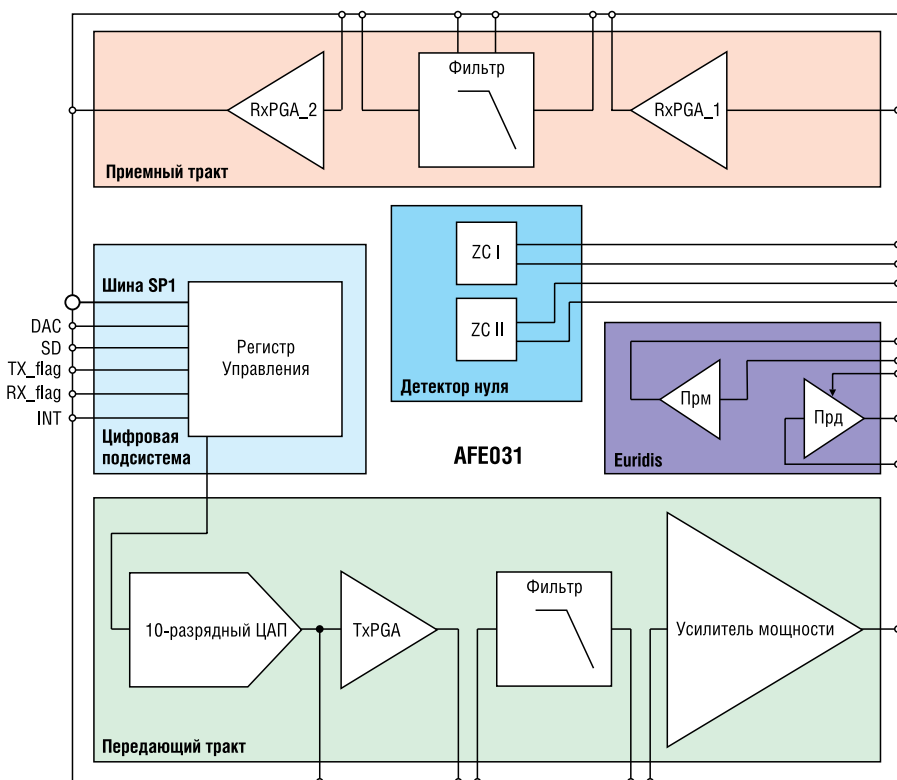


Рис. 2. Блок-схема AFE031 – аналоговой части PLC-модема

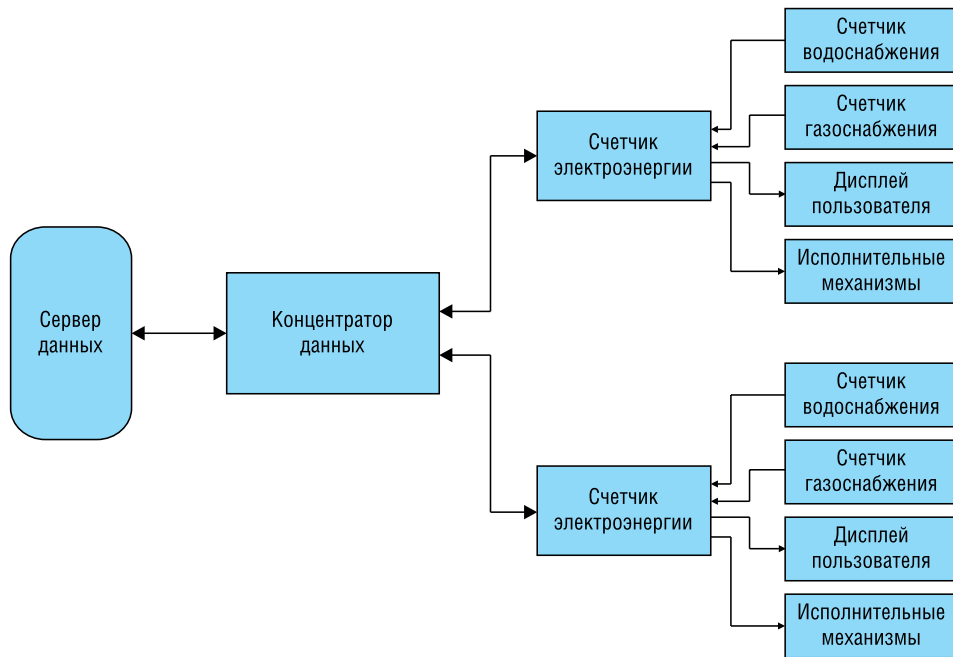


Рис. 3. Блок-схема автоматической системы измерения

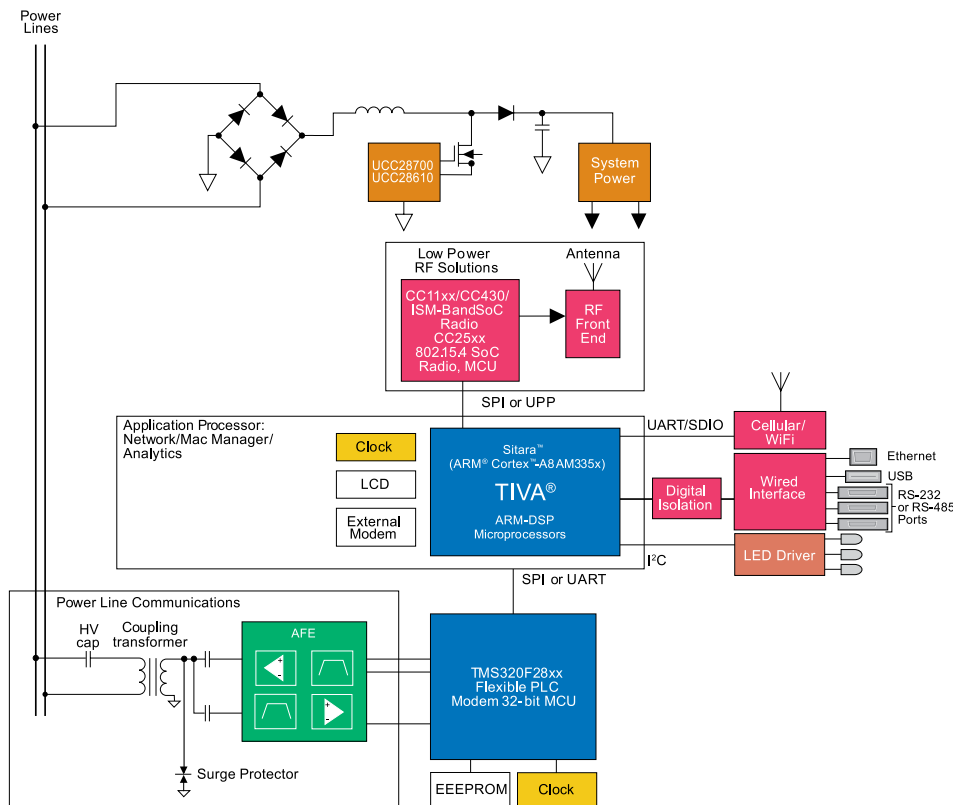


Рис. 4. Пример концентратора данных от TI

электросчетчиком особых проблем нет, то с остальными необходимо осуществить достоверную связь с помощью иного интерфейса. Да и существование в сети каждого счетчика индивидуально не представляется практичным. Добавим необходимость аварийного отключения систем энергоснабжения (а за рубежом — еще и отключение по окончанию оплаты) — это потребует дополнительных датчиков и исполнительных механизмов. Кроме того, конечному пользователю крайне любопытно, сколько, где,

когда и чего потрачено, а возможности «умной» сети сообщить ему такую информацию гораздо выше, чем у простого счетчика. Значит, необходим модуль отображения информации. А теперь давайте умножим все это на некоторое число квартир в доме, районе...

Поэтому в автоматизированной измерительной инфраструктуре (AMI) присутствует важный элемент — концентратор данных (рисунок 4).

Условно модуль концентратора можно разделить на четыре части: основной

процессор приложений, модуль связи с сервером данных (и с некоторыми счетчиками) на базе PLC-модема, блок питания и интерфейсные модули для связи со счетчиками и пользователями по множеству различных интерфейсов.

Основой концентратора служит процессор TI семейства **Sitar* AM335x** (ARM Cortex-A8) или семейства **Stellaris** (Cortex-M4) или ARM-DSP, что позволяет разработчику выбрать оптимальное по стоимости решение в зависимости от технических условий.

Большое количество интерфейсов у концентратора данных позволит собрать данные со счетчиков или обеспечить связь с сервером там, где применение технологии PLC по каким-либо причинам оказалось невозможным.

Благодаря возможности процессора PLC-модема от TI выполнять пользовательские приложения, схема автоматизированной системы измерения становится достаточно проста, а ее построение весьма гибко: электросчетчик совместно с PLC-модемом и дополнительными интерфейсами способен осуществлять сбор данных с других счетчиков, управлять исполнительными механизмами и отображать информацию для пользователя. На рисунке 5 показано типовое решение электросчетчика, рассчитанного на широкую универсальность.

Типовые решения счетчиков газо- и водоснабжения выполнены на базе микроконтроллеров TI серии **MSP430**, отличающихся низким потреблением тока, что делает возможным батарейное питание. На рисунке 6 и 7 видно, что, помимо основных систем измерения, отображения и связи, присутствует RFID-модуль, который обеспечивает режим авансовой оплаты услуг газо- и водоснабжения.

Помимо возможности контроля показаний непосредственно на счетчиках, в «умной» сети присутствует In-Home Display — центральный информационный дисплей (рисунок 8), благодаря которому нет необходимости проверять каждый счетчик по отдельности, все можно увидеть сразу. Это позволяет монтировать счетчики более удобно и/или не нарушать дизайн дома — как правило, в обычных случаях либо доступ к счетчику затруднен, и считывание показаний становится проблемой для пользователя, либо счетчик становится несимпатичной частью интерьера.

Оснащение ЖКХ системами такого рода позволяет получить множество положительных моментов:

- централизованный сбор информации о количестве потребленной энергии от всех пользователей сети позволяет своевременно выставлять счета с указанием точной суммы, вводить различные системы тарификации и осу-

ществлять предупредительные и ограничительные меры при превышении лимита или нарушении правил энергопотребления;

- более грамотное распределение средств на модернизацию и ремонт систем на основе информации о сбоях в системах энергопотребления и потребностях на отдельных участках;
- возможность оперативно локализовывать и решать аварийные ситуации.

Кроме того, система настолько гибка, что позволяет вносить существенные дополнения без какого-либо глобального перестроения. Например, интеграция в систему датчиков утечек газа позволит внести превентивные меры по обеспечению безопасности.

К сожалению, для внедрения такой системы требуется решение серьезных организационных вопросов (и некоторые капиталовложения) со стороны энергосбытовых компаний и ЖКХ. Однако, такая система вполне оправдывает свое существование ради удобства пользователя.

Автоматизация измерений — лишь одно из направлений применения технологии PLC. Немаловажная часть — возможность автоматизированного управления различными системами, такими как освещение, вентиляция, электроприводы ворот и жалюзи, системы альтернативного электропитания (рисунок 9).

Благодаря широким возможностям микроконтроллера концентратора данных TI осуществляется целый ряд удобных, а иногда и необходимых возможностей управления:

- контроль и управление всеми системами;
- удаленное подключение через интернет;
- автоматическое включение освещения по календарю или датчику;
- автоматическое подключение аварийного источника питания с «умным» подключением потребителей;
- выборочное или общее отключение систем при аварийных ситуациях;
- дистанционное управление с пульта (например, открывание ворот гаража).

Разумеется, существуют альтернативные решения: собственные решения производителей освещения, электроприводов ворот и проч. Преимущество же решения на базе PLC-компонентов от TI — в возможности интеграции в уже существующий объект без каких-либо значительных изменений, а также — в универсальности.

В конечном итоге, единое управление намного проще, надежнее и удобнее (неплохим примером могут служить два варианта аудио-видео техники: одного производителя с единым пультом управления и нескольких разных,

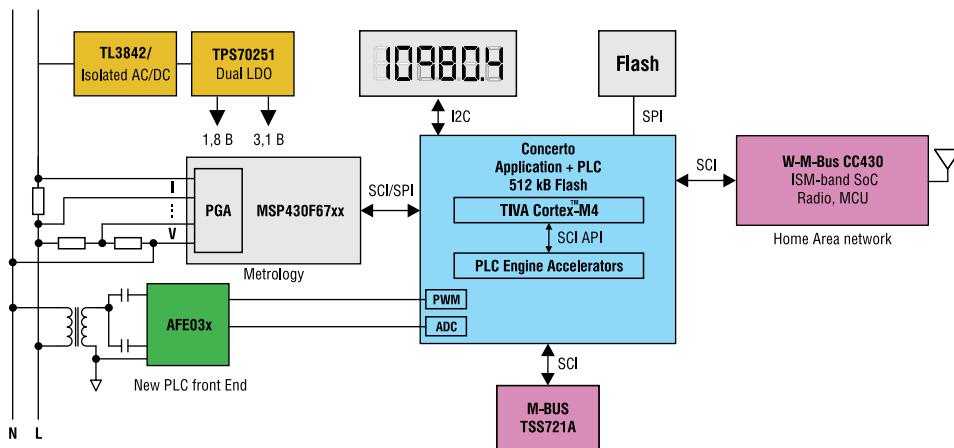


Рис. 5. Пример электросчетчика на базе компонентов TI

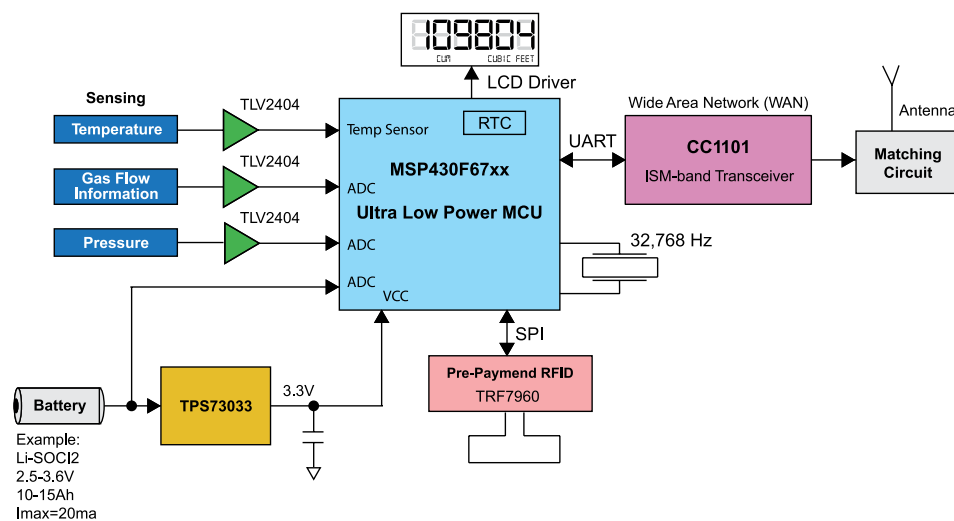


Рис. 6. Пример счетчика газоснабжения на базе компонентов TI

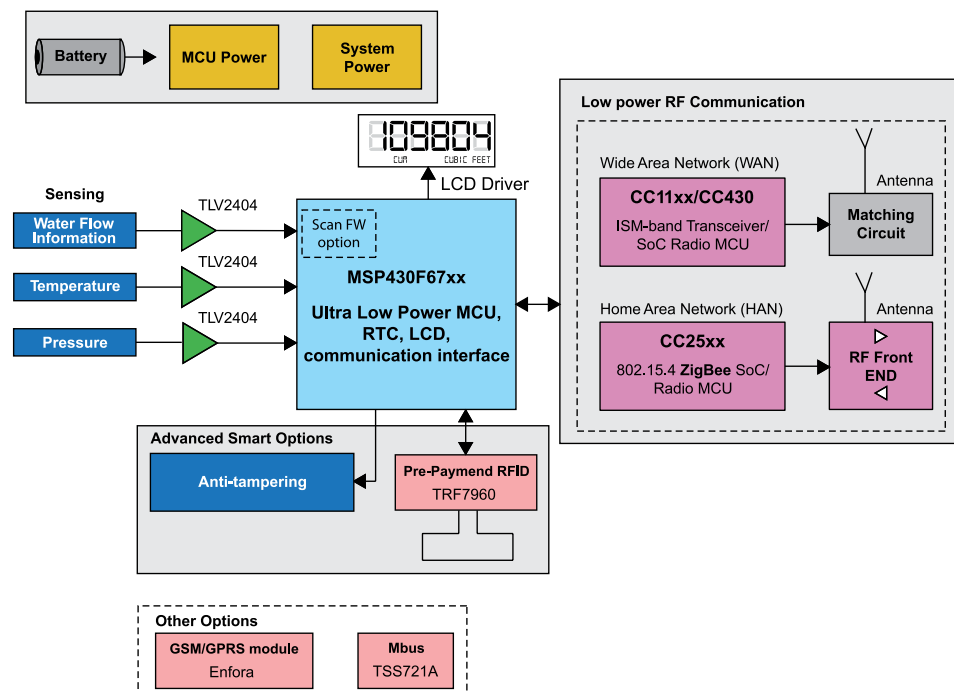


Рис. 7. Пример счетчика водоснабжения на базе компонентов TI

с соответствующим количеством пультов), и дает возможность легкого расширения системы.

В некоторых случаях использование PLC-модемов может вообще быть единственным простым и экономиче-

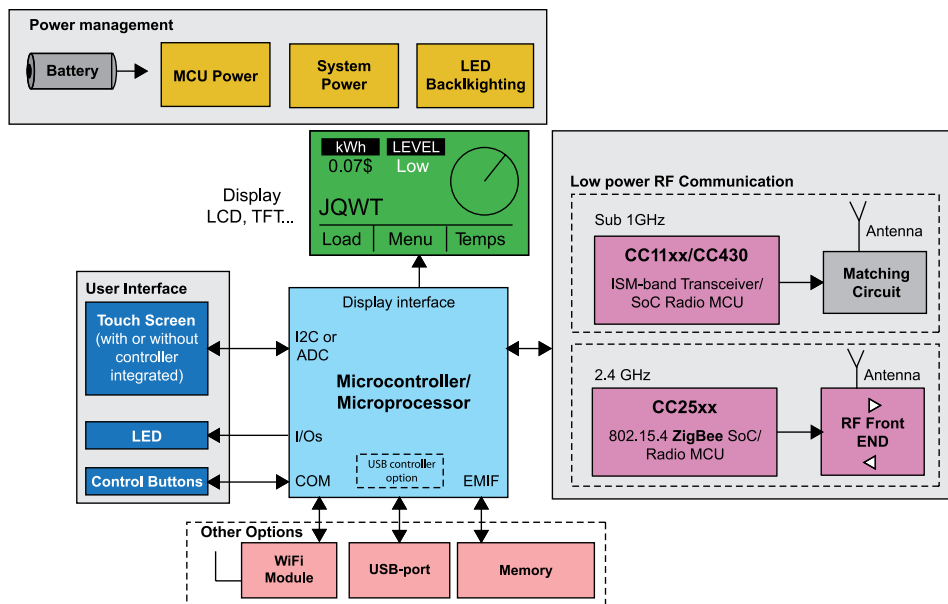


Рис. 8. Информационный дисплей

ски выгодным решением. Рассмотрим следующий типовой пример: коттедж, гостиная с четырьмя точками входа (улица, двор, лестница на второй этаж, кухня). Включение освещения в гостиной становится проблематичным — дешёвое решение (один выключатель) просто неудобно. Удобно наличие четырёх перекрестных (проходных) выключателей, по одному в каждой точке входа. Это позволит управлять освещением с любой точки, не делая лишних движений (при выключении — в темноте). Но для реализации необходимо к двум выключателям провести три провода, а еще к двум — четыре.

И ведь это управление одной лампой. Если же в люстре две и более групп ламп, количество проводов резко возрастает. Стоимость двухклавишного перекрестного выключателя даже без учета стоимости проводов уже сравнима со стоимостью PLC-модема. Стоимость работ по монтажу такой системы также достаточно высока. Попробуем создать такую же систему с возможностью регулировки яркости, и придется интегрировать что-то дистанционное непосредственно в лампу.

Применение PLC-модема производства компании TI избавляет от необходимости прокладки дополнительных кабелей, более того, заставляет несколько по-иному взглянуть на классическую систему: PLC-модем в роли выключателя и регулятора может быть интегрирован не только в точку подключения выключателя, но и в линию розеток. Подключение ламп также упрощается (не требуется разводки с выключателями). Количество и характер управления лампами становится несущественным. Дизайн выключателей (регуляторов) получает безграничные возможности. Кроме того, объединение в общую «умную» сеть позволяет реализовать систему аварийного освещения, не прокладывая ни единого дополнительного кабеля.

Отладочные средства производства TI

Для разработки систем на базе технологии PLC компания TI предлагает следующее:

- MODEM DEVELOPER'S KIT **TMSPLCKIT-V3**
- Data Concentrator Evaluation Module **TMSDC3359**

Набор **TMSPLCKIT-V3** включает в себя два PLC-модема, две управляющие карты на базе **TMS320F28069**, имеет встроенный USB-JTAG-эмулятор и все необходимые кабели. Также прилагается программное обеспечение для PLC, поддерживающее стандарты OFDM (PRIME, G3 и FlexOFDM) и S-FSK, и среда разработки Code Composer Studio v4.x с ограничением размера исполняемого кода 32 кбайт. Используемая микросхема аналоговой обработки сигнала — **AFE031**. Внешний вид одного из модемов показан на рисунке 10.

Data Concentrator Evaluation Module **TMSDC3359** (рис. 11). Этот продукт позволяет отладить системы на базе концентратора данных. Построен на процессоре **AM335x** семейства Sitara ARM Cortex-A8 с ОС Linux BSP. Плата имеет широкую периферию:

- 2x USB;
- 2x Ethernet;
- 2x RS-232;
- 3x RS-485;
- инфракрасный приемопередатчик;
- температурный датчик;
- Sub-1 ГГц и 2,4 ГГц RF; AM335x.

Есть возможность подключения модуля для коммуникации по трехфазным сетям. Импульсный блок питания встроен.

Поддерживаемые стандарты — G3, PRIME.

Заключение

Использование технологии PLC для передачи данных обладает множеством преимуществ, позволяя в кратчайшие сроки и с минимальными затратами развернуть «умную» сеть, способную быстро адаптироваться под требуемые задачи, а благодаря возможностям стандартов G3 и PRIME — под среду передачи данных.

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

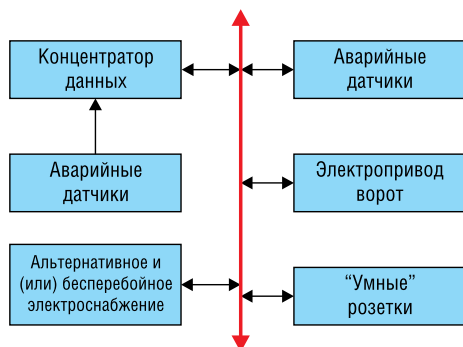


Рис. 9. Блок-схема автоматизированной системы управления



Рис. 10. TMSPLCKIT-V3



Рис. 11. Data Concentrator Evaluation Module TMSDC3359

и удовлетворяет возможные требования регуляторных инструкций.

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

Литература

1. http://www.prime-alliance.org/wp-content/uploads/2013/03/MAC_Spec_white_paper_1_0_080721.pdf

2. <http://www.maximintegrated.com/products/powerline/pdfs/G3-PLC-Physical-Layer-Specification.pdf>

3. http://www.ti.com/lscs/ti/apps/smartgrid/end_equipment.page

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

5. Алексей Пазюк. Любимый протокол — по проводам: решения Texas Instruments для PLC-систем передачи данных // Новости Электроники №10/2012. **5**

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

Приложение Bluetooth Smart SensorTag от TI облегчает разработку Bluetooth-приложений в устройствах на Android™ 4.3

Компания **Texas Instruments** объявила о выходе на рынок приложения для ОС Android под названием **Bluetooth Smart SensorTag**, последовавшем за интеграцией поддержки приложения Bluetooth Smart Ready в ОС Android 4.3 "Jelly Bean". Новый продукт, доступный для бесплатного скачивания по адресу www.ti.com/sensortag-app-android-eu, устраняет препятствия для разработчиков приложений, желающих воспользоваться преимуществами миллионов смартфонов и планшетов на ОС Android, которые вскоре будут оснащены Bluetooth Smart Ready. Разработка блока приложений Bluetooth Smart, поддерживаемых теперь ОС Android и iOS, стала проще и быстрее при помощи набора разработчика **Sensor Tag** на базе **CC2541**. В набор входят шесть датчиков широкого применения, размещенных на одной плате для быстрой оценки и демонстрации. Дополнительная

информация о наборе Sensor Tag размещена по адресу www.ti.com/lprf-stdroid-pr-eu.

Набор Sensor Tag не требует знаний в области программного или аппаратного обеспечения, чтобы быстро запустить приложения Bluetooth Smart на смартфоне или планшете. Разработчики делятся своими достижениями, сделанными при помощи Sensor Tag, на странице Texas Wiki (http://processors.wiki.ti.com/index.php/Bluetooth_SensorTag?DCMP=lprf-stdroid-eu&HQS=lprf-stdroid-pr-wikit-eu) и в Твиттере по хештэгу #SensorTag.

Шесть встроенных датчиков набора Sensor Tag, включая бесконтактный инфракрасный температурный датчик **TMP006** от TI, помогают разработать многочисленные приложения в таких областях, как здравоохранение и образование, а также создавать новые аксессуары для мобильных устройств. С набором работает бесплатное, обновляемое «по воздуху», ПО BLE-Stack™ от TI. Набор Sensor Tag на базе CC2541 служит дополнением к другим решениям от TI — двухрежимному Bluetooth на базе CC2564 и WiLink™.



Решение для передачи данных по электросети PLC



КЛЮЧЕВЫЕ ОСОБЕННОСТИ:

- Сигнальный контроллер **TMS320F28069**
- Аналоговый Front-End **AFE031**
- Процессор для LINUX-концентратора **AM3359** NEW

TMDSDC3359 — отладочная плата для LINUX-концентратора

TMDSPCKIT-V3 — отладочная плата для PLC-модема

➔ ЗАКАЗ И ПОСТАВКА ОБРАЗЦОВ **УЖЕ СЕЙЧАС** СО СКЛАДА В МОСКВЕ

Поддержка разработчиков:
E-mail: ti@compel.ru
www.compel.ru/projects-support

Компэл
www.compel.ru

Вячеслав Прокопий (КОМПЭЛ)

КОКТЕЙЛЬ ИЗ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ И ДАННЫХ: POWER-OVER-ETHERNET-РЕШЕНИЯ ОТ TEXAS INSTRUMENTS



Концепция передачи информационных данных по каналу электропитания так же стара, как традиционная телефонная сеть. Однако официальный стандарт был принят лишь летом 2009 года. Основное распространение технология Power-over-Ethernet получила в системах безопасности и видеонаблюдения, IP-телефонии и беспроводных точках доступа. Texas Instruments предлагает полный спектр технических решений для реализации устройств подобного рода, включающий интегральные хосты и конечные устройства с поддержкой PoE, а также промежуточные питающие устройства.

Основная идея технологии Power-over-Ethernet заключается в передаче постоянного тока для питания конечного устройства по витой паре проводников в кабеле, использующемся для передачи данных. Причем, питающий ток может передаваться как по свободной паре проводников, так и по паре, используемой для передачи данных [1]. Во втором случае источник питания активного устройства (*Power Source Equipment — PSE*), формирующий стандартное значение напряжения 48 В, подключается к средним точкам вторичных обмоток двух развязывающих трансформаторов хост-устройства. На приемной стороне, в запитываемом устройстве (*Powered Device — PD*), питающий ток снимается также со средних точек развязывающих трансформаторов. Такой вариант реализации позволяет не только отказаться от использования внешнего AC/DC-адаптера для конечного устройства, но и более эффективно использовать линии кабеля связи. Следует отметить, что стандарт PoE предполагает полную совместимость с уже существующими устройствами, не поддерживающими технологию PoE.

Варианты реализации сети с PoE-устройствами

Существует три возможных варианта реализации сети обмена данными с участием устройств, поддерживающих технологию Power-over-Ethernet. Структурная схема такой сети представлена на рисунке 1. Рассмотрим основные особенности реализации каждого из вариантов.

• **Вариант 1:** Хост с поддержкой PoE — устройство без поддержки PoE.

При подключении любого устройства к PSE подача питающего тока производится не сразу. Сначала PSE иницирует процедуру проверки конечного устройства, состоящую из нескольких этапов [2]. подача питающего тока в сеть происходит, если подключенное устройство относится к классу PD-устройств, то есть имеет необходимые функциональные узлы для принятия и преобразования питающей энергии. Эта проверка реализуется посредством измерения входных сопротивлений и емкости конечного устройства. В случае подключения устройства без поддержки PoE питающий ток не будет подан хостом, происходит только обмен данными. В этом случае предполагается, что конечное устройство имеет собственный источник питания.

• **Вариант 2:** Оба устройства поддерживают PoE.

Данный вариант является самым оптимальным, так как не содержит дополнительных промежуточных устройств. В этом случае после того, как PSE определит, что к нему подключено PD-устройство, происходит классификация устройства. Во вре-

мя классификации PSE определяет класс мощности PD. После классификации PSE производит подачу питающей энергии в PD и на протяжении всего срока работы контролирует ее параметры. В случае отключения PD-устройства или потребления им большей мощности, чем было установлено на этапе классификации, PSE прекращает подачу питающего тока. Данный вариант реализации сети содержит минимальное количество узлов: хост и конечное устройство, питающееся от хоста через Ethernet-кабель.

• **Вариант 3:** Хост без поддержки PoE — Конечное устройство с поддержкой PoE

Устройство типа PD может быть использовано не только с PSE, но и с хостом без поддержки PoE. Для этого требуется дополнительное промежуточное устройство с собственным источником питания, которое позволит обеспечить питанием PD-устройство по линиям Ethernet. В этом случае схема питания в конечном устройстве должна обеспечить соответствующую защиту от возможных перегрузок и контроль параметров поступающей энергии.

Компоненты для реализации устройств с поддержкой PoE, предлагаемые компанией Texas Instruments, по функциональному назначению делятся на две основные группы: для реализации PSE и для реализации PD. Внутри каждой функциональной группы происходит деление по уровню передаваемой и принимаемой из сети Ethernet мощности на два стандарта: StandartPower — до 15,4 Вт и Hi-Power — до 25,5 Вт.

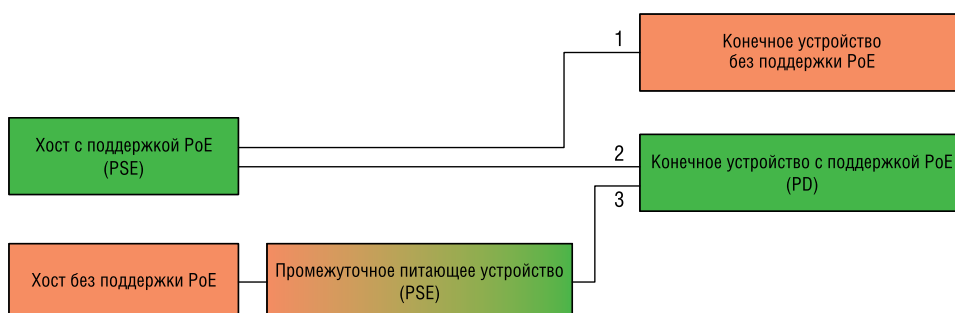


Рис. 1. Три возможных варианта реализации PoE-сети

Таблица 1. Параметры PSE-контроллеров Texas Instruments

Параметр	Наименование		
	TPS2384	TPS23841	TPS23851
Поддерживаемый стандарт	IEEE 802.3af	IEEE 802.3af	IEEE 802.3at
Особенности	Встроенный FET	Встроенный FET, сообщение о перегрузке по току и перегреве	Встроенный FET, сообщение о перегрузке по току и перегреве
Количество портов	4	4	4
Настраиваемый порог тока (min), мА	350	570	52
V _{in} (мин), В	44	34	-70
V _{in} (макс), В	57	57	0,3
Сопротивление порта, Ом	1,3	1,3	—
Корпус	64HTQFP	64HTQFP	36SSOP
Температурный диапазон, °С	-40...125	-40...125	-20...125

Реализация системы питания PSE

PSE-контроллеры от Texas Instruments могут работать в одном из нескольких режимов. Это справедливо как для компонентов класса StandartPower, так и для Hi-Power.

В режиме AutoMode контроллер обнаруживает нагрузку и определяет ее тип, а затем производит подачу в порт питающего тока автономно, без использования внешнего микроконтроллера.

В режиме Semi-AutoMode работа производится аналогично автоматическому режиму. Однако в этом режиме статусные регистры и регистры АЦП доступны для считывания пользовате-

лем с помощью последовательного интерфейса I²C. Все регистры управления доступны пользователю для ограниченного управления портами. Наличие полуавтоматического режима позволяет пользователю частично участвовать в процессе управления питанием.

Режим PowerManagmentMode предоставляет полную свободу действий в процессе управления питанием. В этом режиме функционирование программируется и управляется через регистры чтения\записи. Для реализации режима полного управления питанием необходим дополнительный внешний микроконтроллер. Для реализации данного

режима Texas Instruments предлагает программное обеспечение для микроконтроллеров семейства **MSP430**.

Основные параметры PSE-контроллеров для наглядности и сравнения сведены в таблицу 1.

Standart Power

Для реализации PSE-устройств, совместимых со стандартом 802.3af, предназначены микросхемы **TPS2384** и **TPS23841**.

TPS2384 представляет собой решение для системы управления питанием четырех портов Ethernet [3]. Типовая реализация сети PoE на базе TPS2384 совместно с TPS2375 представлена на рисунке 2. Значение питающего тока каждого из портов может достигать 570 мА в диапазоне температур -40...125°С. Каждый порт может быть запитан напряжением 21,5...57 В.

Интегрированный выходной каскад микросхемы TPS2384 одновременно обеспечивает передачу энергии в порт и контроль выходных напряжений и тока. Встроенная схема содержит FET-транзистор и измерительный шунт, что позволяет избежать использования дополнительных внешних элементов. В TPS2384 поддерживается АС-метод определения отключения нагрузки. Выходной каскад выдерживает переходные процессы с пиковым напряжением до 100 В. Четыре встроенных 15-разрядных АЦП используются для измерения входного сопротивления питаемого устройства, напряжения, тока и температуры кристалла, позволяя реализовать простое и надежное PSE-решение. TPS2384 поставляется со специальным программным обеспечением, которое позволяет реализовать ядро PoE-системы.

TPS2384 содержит три встроенных источника питания (10; 6,3 и 3,3 В). Данные источники используются для питания цифровой и аналоговой части микросхемы. Источник напряжением 3,3 В может быть использован для питания внешних нагрузок до 2 мА. При подаче питания на TPS2384 внутренняя

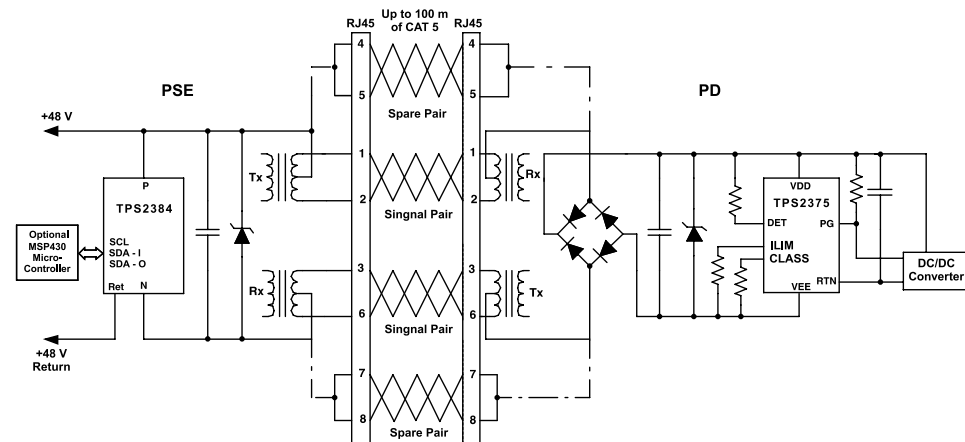


Рис. 2. Типовая реализация сети PoE на базе TPS2384 совместно с TPS2375

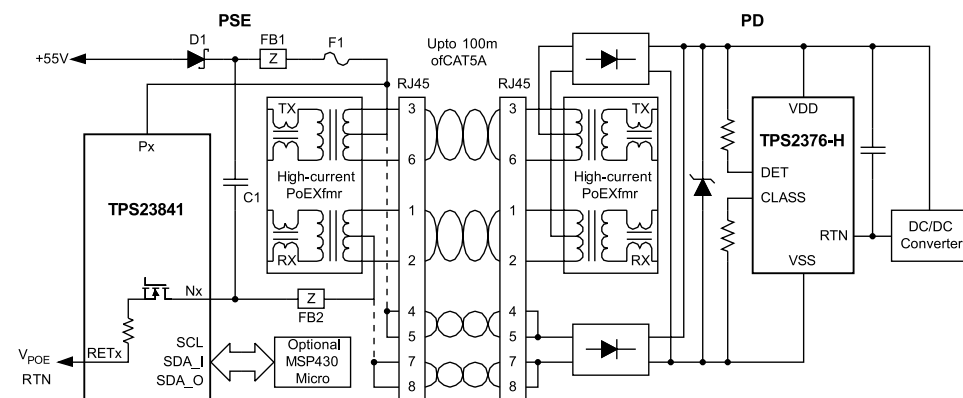


Рис. 3. Типовая реализация сети PoE на базе TPS23841 совместно с TPS2376

схема сброса Power-on-Reset сбрасывает значение всех регистров и устанавливает значения всех портов в отключенное состояние для гарантии включения микросхемы в безопасном режиме.

TPS2384 и TPS23841 могут работать в одном из трех возможных режимов: автоматическом (*AutoMode*), полув автоматическом (*Semi-AutoMode*) и режиме полного управления питанием (*PowerManagementMode*).

Если значение входного питающего напряжения выходит за пределы диапазона 44...57 В, поддерживаемого микросхемой TPS2384, тогда для реализации PSE-устройства предлагается использовать микросхему **TPS23841**. Типовая реализация сети PoE на базе TPS23841 представлена на рисунке 3. Данное решение имеет аналогичный TPS2384 набор функциональных возможностей с расширенным диапазоном входных напряжений и большей мощностью. Основные отличия параметров этих микросхем сведены в таблицу 2.

Hi-Power

Микросхема **TPS23851** предназначена для обеспечения питанием четырех портов по стандарту 802.3at[4]. Типовая схема реализации питания одного порта на основе TPS23851 представлена на рисунке 4. Данный контроллер питания определяет наличие подключенного поддерживаемого PD-устройства, определяет требуемую PD-устройством мощность в соответствии с классификацией и обеспечивает контроль питания PD-устройства. TPS23851 работает с внешним N-канальным MOSFET-ключом. Функционал микросхемы не ограничивается стандартом 802.3at-2009 и может работать с оборудованием другого стандарта. Уровень защиты по току может быть установлен в соответствии с требованиями стандарта 802.3-2005 (802.3af) либо запрограммирован на значение до 720 мА для использования с классификационным стеком LLDP в рамках стандарта 802.3 at.

TPS23851 поддерживает AC- и DC-методы определения отключения нагрузки. AC-метод реализован на основе встроенного прецизионного осциллятора с частотой 110 Гц. Данный контроллер также содержит четыре АЦП с разрешением 14 бит для постоянного мониторинга напряжения и тока каждого порта. Доступ к данным измерений для реализации режима расширенного управления питанием может быть осуществлен по шине I²C.

Реализация системы питания PD

Texas Instruments предлагает два типа микросхем для реализации питания на стороне конечного устройства. Первый тип микросхем представляет собой отдельный PD-контроллер. PD-контроллер выполняет все необходимые

Таблица 2. Основные отличия параметров TPS2384 и TPS23841

Параметр	Наименование	
	TPS2384	TPS23841
Входное напряжение, В	48	48
Порог перегрузки по току, мА	350...400	570...665
Максимальный выходной ток, мА	400...450	600...700

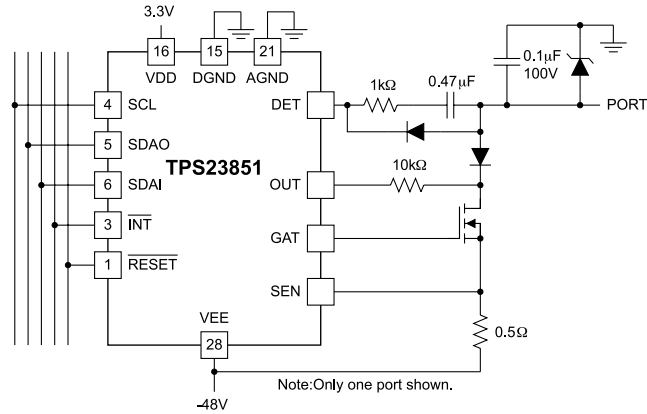


Рис. 4. Типовая схема реализации питания одного порта на основе TPS23851

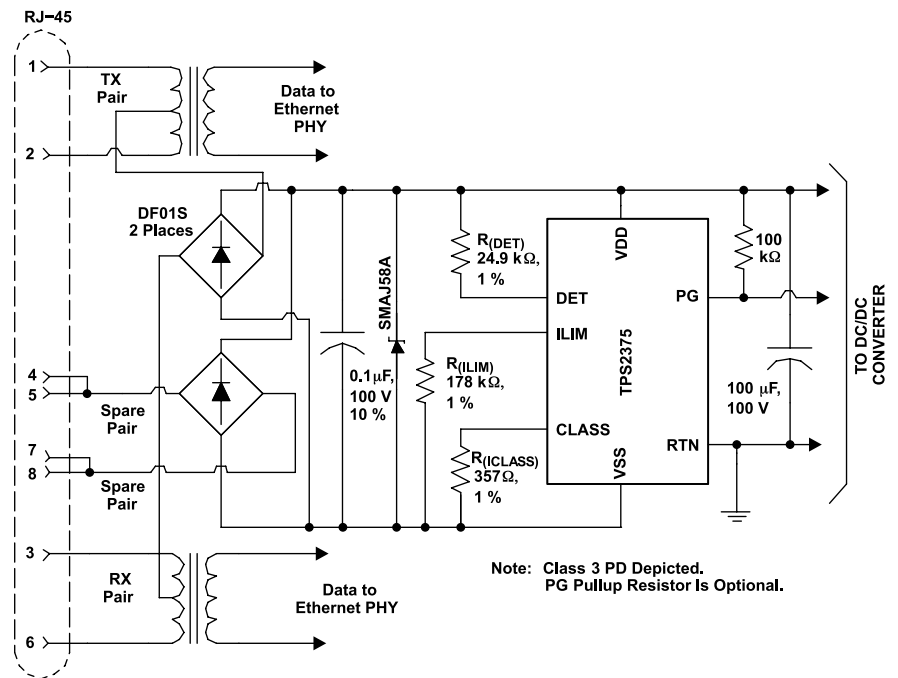


Рис. 5. Типовая схема применения TPS2375

коммуникации с PSE-устройством в соответствии со стандартом, а также обеспечивает функцию горячего подключения, гарантируя безопасную передачу энергии в устройство и защищая его от бросков напряжения и тока.

Второй тип микросхем — PD-контроллер (PDC) со встроенным DC/DC-преобразователем для получения регулируемых напряжения и тока для непосредственного питания узлов системы.

PD-контроллеры TPS2375, TPS2376-H, LM5073

Микросхема **TPS2375** является простым 8-выводным решением, содержащим в себе весь необходимый функ-

ционал для реализации PD-устройств, соответствующих стандарту IEEE 802.3af[5]. Типовая схема применения TPS2375 приведена на рисунке 5. Это второе поколение PD-контроллеров содержит вывод PowerGood (открытый исток полевого транзистора) и поддерживает защиту от переходных процессов напряжением до 100 В. В дополнение к стандартным функциям обнаружения и классификации нагрузки, блокировки пониженного напряжения, данный контроллер содержит функцию настраиваемого порога ограничения пускового тока.

TPS2376-H используется для реализации PD-устройств, соответствующих

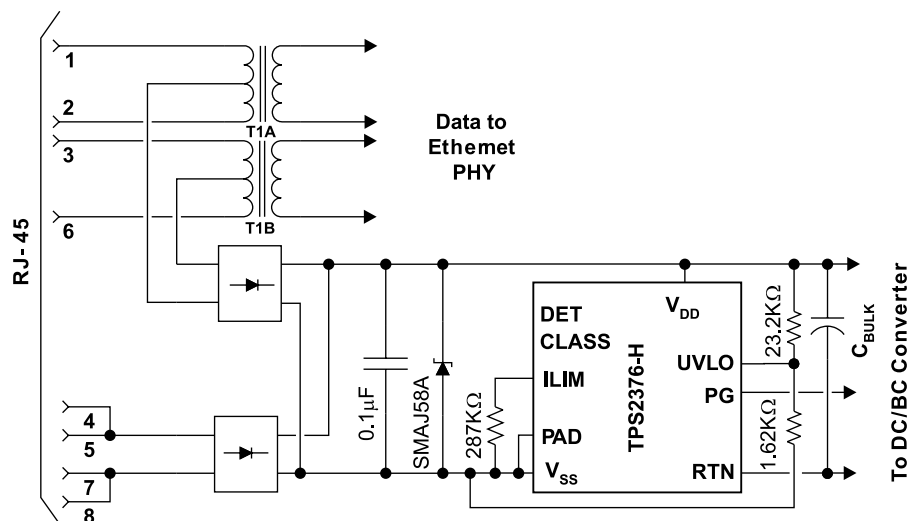


Рис. 6. Типовая схема применения TPS2376-H

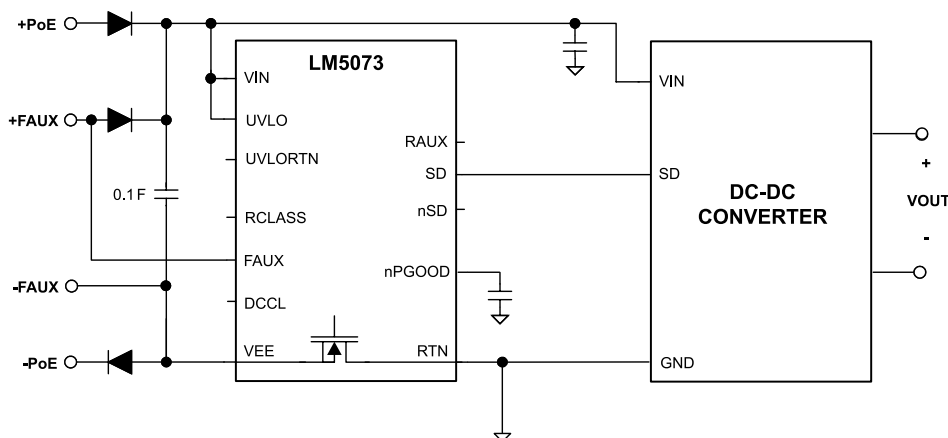


Рис. 7. Упрощенная схема применения LM5073

стандарту IEEE 802.3af [6]. Данная микросхема обладает самым высоким токовым порогом и максимальной теплоотводяющей способностью среди всех представителей семейства **TPS237x**. Типовая схема применения TPS2376-H приведена на рисунке 6. На базе данной микросхемы может быть реализовано нестандартное PoE-совместимое устройство, мощность потребления которого

может быть больше указанной в стандарте. PD-устройство мощностью 26 Вт может быть реализовано при условии работы от PSE-устройства напряжением 52 В с использованием не более 100 м кабеля витой пары категории CAT-5. В TPS2376-H встроена защита от перенапряжений до 100 В, настраиваемый уровень токоограничения, защита от ошибок с автоматическим переподключением и сигнал PowerGood (открытый исток полевого транзистора).

Минимальное значение порога ограничения тока TPS2376-H составляет 625 мА, что находится выше минимального выходного тока TPS23841 600 мА. Это позволяет PD-устройству использовать максимальное значение доступной мощности.

LM5073 представляет собой высокопроизводительное решение, соответствующее стандарту IEEE 802.3af [7]. Отличительной особенностью является возможность дополнительного подключения в качестве источника питания нерегулируемых источников напряжения, таких как AC-адаптеры и солнечные батареи различных конфигураций. Упрощенная схема применения LM5073 приведена на рисунке 7.

Основные параметры PD-контроллеров сведены в таблицу 3.

Standard Power PDC + DC/DC: TPS23750, TPS23753A, TPS23757, LM5070/1, LM5072

TPS23750 включает в себя функционал TPS2375 с дополнением ШИМ-контроллера для реализации DC/DC-преобразователя. Данная микросхема позволяет разработчику реализовать комплексный источник питания для PD-устройства с использованием минимального количества внешних компонентов [8]. Типовая схема применения TPS23750 приведена на рисунке 8.

Поддерживаются все операции, требующиеся по стандарту 802.3af: определение, классификация, блокировка пониженного напряжения и управляемое токоограничение. Блок DC/DC-контроллера поддерживает такие топологии понижающих преобразователей, как обратноходовый, прямоходовый и асинхронный с ключом нижнего плеча. Использование внешнего MOSFET-транзистора и токоизмерительного резистора дают разработчику свободу действий в выборе топологии печатной платы, уровня мощности источ-

Таблица 3. Параметры PD-контроллеров Texas Instruments

Параметр	Наименование		
	TPS2375	TPS2376-H	LM5073
Поддерживаемый PoE-стандарт	802.3at type1	802.3at type1 (большой ток)	802.3af
Мощность PD-устройства, Вт	13	25	25
Порог пускового тока (typ), мА	Программируемый	Программируемый	150
Уровень ограничения рабочего тока (min), мА	405	625	800
Напряжение включения, В	802.3af	Программируемый	IEEE
Сопrotивление порта, Ом	0,58	0,58	0,7
Реакция на ошибку	Защелкивание	Автоповтор	Термоотключение
Поддержка внешнего источника питания	Внешняя схема	Внешняя схема	Встроенная
Auxiliary Power Rails Supported	N/A	N/A	9-100 V
Pin/Package	8SOIC, 8TSSOP	8SO PowerPAD	14HTSSOP

ника и порога токоограничения. DC/DC-контроллер поддерживает программируемую функцию плавного запуска, программируемую частоту переключения, установку максимальной скважности управляющего сигнала 50%, усилитель ошибки с выходом по напряжению.

TPS23753A представляет комбинированное решение для цепи питания PD-устройства, которое реализует PoE-интерфейс и содержит встроенный DC/DC-контроллер с токовым режимом работы. Базовая схема применения TPS23753A приведена на рисунке 9. Микросхема TPS23753A оптимизирована для применения в изолированных приложениях и поддерживает функцию переключения между несколькими входными источниками напряжения [9]. Используемый внешний источник может быть выбран по максимальному значению напряжения, также предпочтение может быть отдано конкретному источнику питания. Уровень потребления мощности PD-устройства, определяющийся при классификации устройства, задается одним внешним резистором.

В DC/DC-контроллере реализован механизм начальной загрузки с коммутацией внутреннего источника тока. Это предоставляет преимущества циклической защиты от перегрузки по току без потерь мощности на подтягивающем резисторе. Программируемый тактовый генератор может быть синхронизирован более высокой частотой внешнего тактирующего источника.

TPS23757 — комбинированное решение для реализации интерфейса PoE для PD-устройства со встроенным DC/DC-контроллером. Оптимизировано для реализации изолированных преобразователей мощностью до 13 Вт [10]. Схема высокоэффективного преобразователя на базе TPS23757 приведена на рисунке 10. Данная микросхема поддерживает несколько источников входного напряжения с функцией переключения между ними. В качестве основного входного источника может использоваться источник с наибольшим напряжением, либо может быть отдано предпочтение конкретному источнику в случае одновременного присутствия нескольких. Имеется специальный флаговый сигнал, свидетельствующий о наличии напряжения от дополнительного источника питания.

DC/DC-контроллер содержит два комплементарных драйвера затвора с программируемым временем «мертвой зоны». Это упрощает разработку высокоэффективных обратноходовых и прямоходовых преобразователей на основе топологии active clamp. Один из драйверов может быть отключен, если предполагается использование топологии с одним MOSFET. Контроллер также содержит встроенную схему плавного пу-

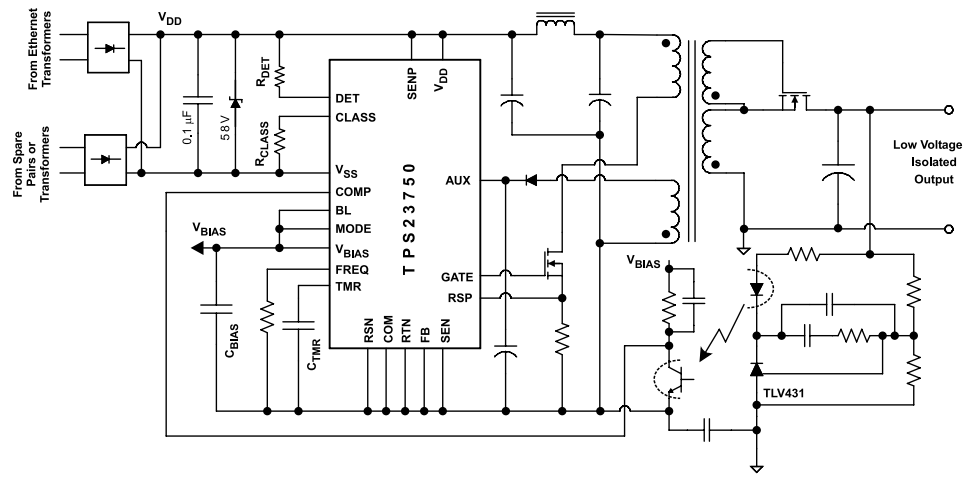


Рис. 8. Типовая схема применения TPS23750

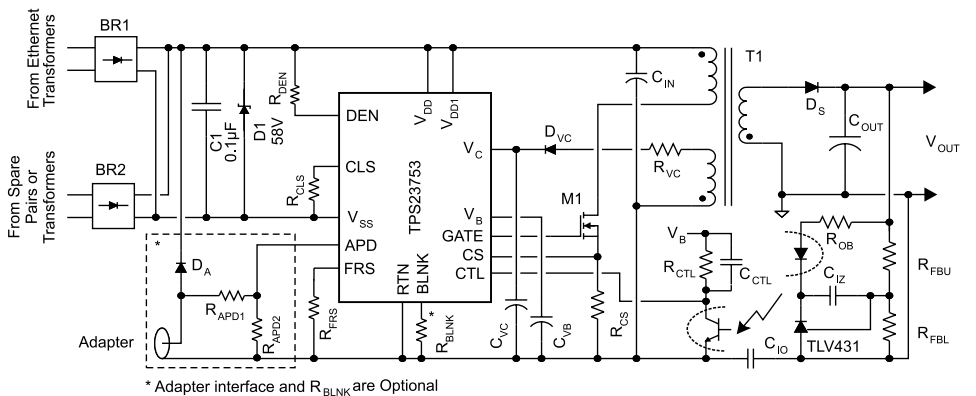


Рис. 9. Базовая схема применения TPS23753A

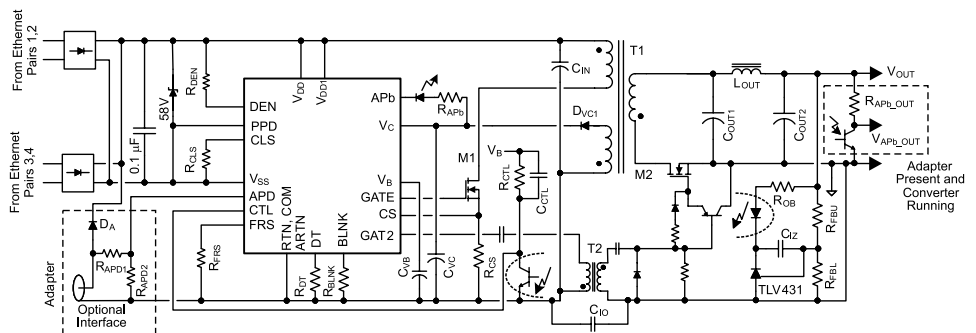


Рис. 10. Схема высокоэффективного преобразователя на базе TPS23757

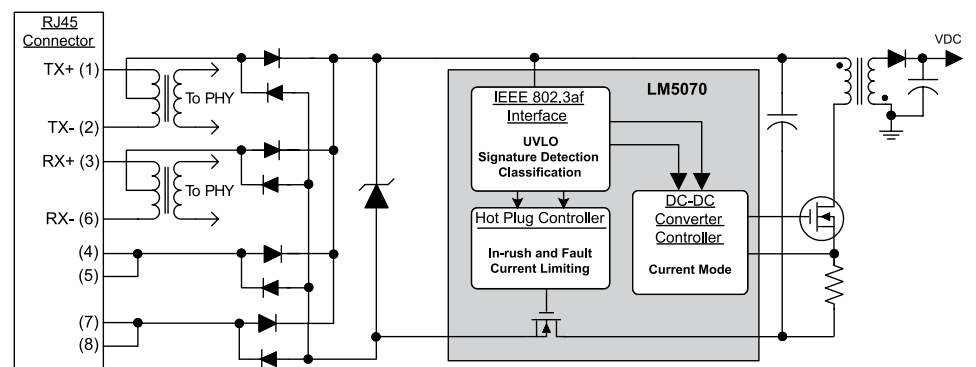


Рис. 11. Применение LM5070

ска, источник тока запуска, компенсацию токового режима и максимальный коэффициент заполнения, равный 78%. Настраиваемый и синхронизируемый

тактовый генератор позволяет оптимизировать дизайн и использовать контроллер для модернизации существующих источников питания.

Таблица 4. Параметры PD-контроллеров Texas Instruments с интегрированным DC/DC-преобразователем

Параметр	Наименование							
	TPS23750	TPS23753A	TPS23757	LM5070	LM5071	LM5072	TPS23754	TPS23756
РoE-стандарт	802.3at type1	802.3at type1	802.3at type1	802.3af	802.3af	802.3af	802.3at type1,2	802.3at type1,2
Мощность, Вт	13	13	13	13	13	25	25	25
Порог пускового тока (typ), мА	140	140	140	Программируемый	100	Программируемый	140	140
Уровень ограничения рабочего тока (min), мА	405	405	400	390	390	800	850	850
Напряжение включения, В	30,5	35	35	Программируемый	Программируемый	36	35	35
Сопротивление порта, Ом	0,6	0,7	0,43	1	1	0,7	0,43	0,43
Реакция на ошибку	Автоповтор	Автоповтор	Автоповтор	Термоотключение	Термоотключение	Термоотключение	Автоповтор	Автоповтор
Усилитель ошибки	Есть	Нет	Нет	Есть	Есть	Есть	Нет	Нет
Поддержка внешнего источника питания	Внешняя схема	Программируемая	Программируемая	Нет	Внешняя схема	Есть	Программируемая	Программируемая
Напряжение внешнего источника питания, В	24...57	12...57	12...57	N/A	10...57	9...100	24...57	12...57
Два драйвера затвора	Нет	Нет	Есть	Нет	Нет	Нет	Есть	Есть
Коэффициент заполнения, %	50	78	78	80	80	80	78	78
Тактовый генератор	Программируемый	Программируемый, синхронизируемый	Программируемый, синхронизируемый	Программируемый, синхронизируемый	Программируемый, синхронизируемый	Программируемый, синхронизируемый	Программируемый, синхронизируемый	Программируемый, синхронизируемый
Корпус	20HTSSOP	14TSSOP	20TSSOP	16TSSOP, 16WSO	16TSSOP	16HTSSOP	20HTSSOP	20HTSSOP

LM5070 — интегрированное решение, объединяющее в себе PoE-интерфейс и ШИМ-контроллер. LM5070 отвечает требованиям стандарта IEEE 802.3af. Упрощенная схема применения приведена на рисунке 11. Данная микросхема содержит встроенный ключ коммутации линии питания на 80 В и 400 мА [11]. Доступны версии микросхем с суффиксами **-80** и **-50**. Версия «80» позволяет получить максимальный коэффициент заполнения, равный 80% с

компенсацией наклона пилы, а версия «50» — коэффициент заполнения 50% без компенсации.

LM5071 была разработана для реализации PD-устройств, которые должны получать питание от внешних источников, таких как AC-адаптеры [12]. Интерфейс внешнего питания запускает работу ШИМ-контроллера при отсутствии доступного питания в сети PoE и наличии питания от сетевого адаптера. Блок-схема LM5071 приведена на рисунке 12.

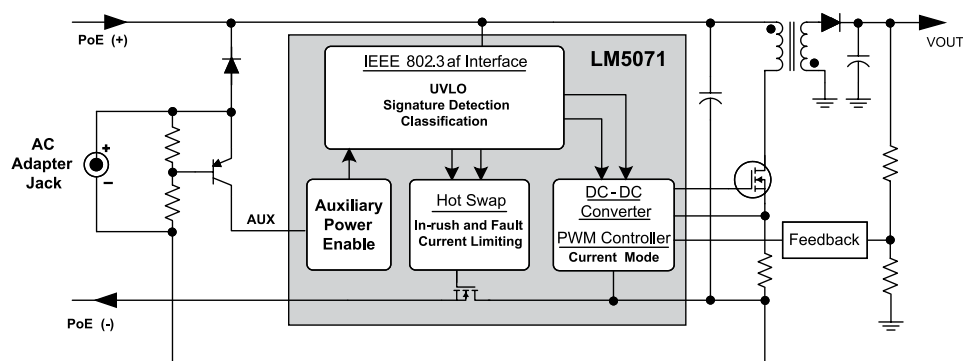


Рис. 12. Блок-схема LM5071

Контроллер **LM5072** включает в себя все функции, необходимые для реализации интерфейса PD-устройства и DC/DC-преобразователя с минимальным количеством внешних компонентов [13]. Схема применения LM5072 приведена на рисунке 13. Данное решение поддерживает подключение внешнего источника питания. Низкое сопротивление MOSFET горячего подключения и программируемый порог ограничения тока позволяют получить вдвое большую мощность, чем требуется по стандарту 802.3af, что значительно расширяет круг возможных применений данной микросхемы.

Встроенный ШИМ-контроллер позволяет реализовать топологии преобразователей с использованием одного силового ключа, такие как прямоходовый, обратноходовый и асинхронный понижающий преобразователь. ШИМ-контроллер работает по пиковому току (*Peak Current Mode*), что дает такие преимущества, как циклическое токоограничение и более простая цепь компенсации петли обратной связи. LM5072

доступна в двух версиях: с суффиксами -80 и -50, аналогично LM5070/1.

Hi-Power PDC + DC/DC: TPS23754, TPS23756

TPS23754 и **TPS23756** представляют комбинированное решение для реализации PD-устройств со встроенным DC/DC-контроллером [14]. Функционально эти устройства аналогичны TPS23757, но разработаны для поддержки нового стандарта PoE. Интерфейс PoE поддерживает расширенную аппаратную классификацию, необходимую для удовлетворения стандарта IEEE 802.3at. Класс потребления устройства устанавливается внешним резистором. Схема преобразователя на базе TPS23754 приведена на рисунке 14.

Каждая из микросхем поддерживает несколько источников входного напряжения, основным из которых можно установить либо больший по значению напряжения, либо PoE, либо внешний источник. Данная особенность позволяет разработчику установить, какой из источников будет обеспечивать питание нагрузки при любых обстоятельствах. DC/DC-контроллер содержит два комплементарных драйвера затвора с возможностью программирования времени «мертвой зоны» и отключения одного из драйверов.

TPS23754 и TPS23756 имеют разные напряжения запуска работы DC/DC-контроллера. У TPS23754 это напряжение составляет 15 В, а у TPS23756 — 9 В.

Основные параметры PD-контроллеров с интегрированным DC/DC-преобразователем представлены в таблице 4.

Заключение

Использование технологии Power-over-Ethernet при разработке новых устройств для разветвленных сетей передачи данных в различных секторах промышленности позволяет получить ряд преимуществ:

- экономичность;
- гибкость установки;
- надежность;
- безопасность.

Себестоимость конечных изделий, получающих питание по технологии PoE, может оказаться существенно ниже, чем разработка аналогичных решений с классическим питанием от сети. И дело здесь не только в отсутствии дополнительного внешнего AC/DC-адаптера, но и в сокращении расходов на установку готового продукта у потребителя. Использование технологии PoE позволяет отказаться от реализации дополнительного питающего канала, стоимость которого в некоторых особенно крупных сетях может оказаться значительной. В этом случае необхо-

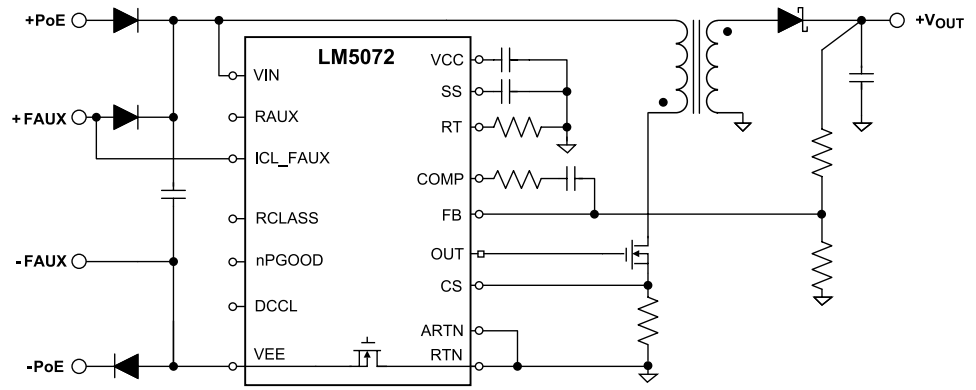


Рис. 13. Упрощенная схема применения LM5072

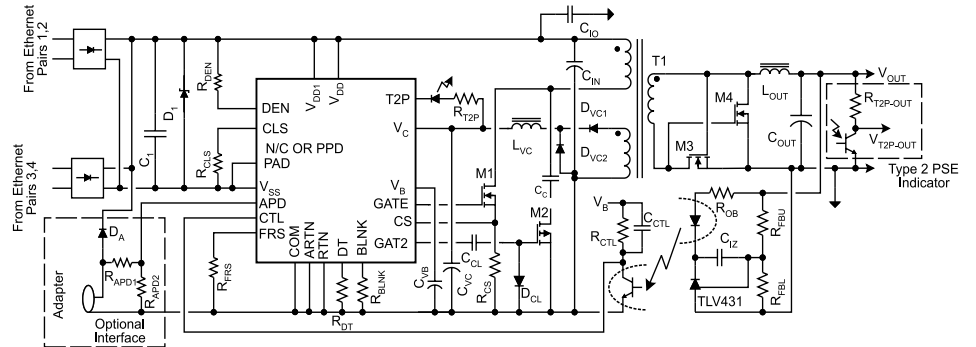


Рис. 14. Преобразователь на базе TPS23754

дим всего один Ethernet-кабель, позволяющий реализовать информационный обмен и питание устройства, не имеющего доступа к сети питания. Устройства, питаемые посредством PoE, могут быть установлены где угодно. Их расположение не обуславливается доступом к сети питания. Отвязка от сети общего питания повышает надежность таких устройств. Работа изделия не зависит от помех и бросков напряжения в электрической сети общего пользования, и будет продолжаться даже в случае ее отключения. Отсутствие подключения к питающей сети общего пользования обеспечивает безопасность эксплуатации изделий с PoE, которая обуславливается значением питающего напряжения — 48 В постоянного тока.

Texas Instruments предлагает решения для реализации PoE-устройств любого типа. На базе микросхем **TPS2384**, **TPS23841** и **TPS23851** можно реализовать как источник питания для хост-устройства, так и промежуточные инжекторы питающей энергии для использования уже существующих хостов без поддержки PoE-технологии с PD-устройствами. Для реализации источников питания PD-устройств предлагается целый ряд микросхем как со встроенными DC/DC-контроллерами, так и без них.

Литература

1. Андрей Никитин «Компоненты Power-Over-Ethernet компании Texas

Instruments в системах безопасности», Новости электроники 2010 №2

2. IEEE Std 802.3TM-2008 (Revision of IEEE Std 802.3-2005)// документ IEEE 802.3-2008_section3.pdf

3. <http://www.ti.com/lit/ds/slus634d/slus634d.pdf>

4. <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps23851.pdf>

5. <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps2375.pdf>

6. <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps2376-h.pdf>

7. <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm5073.pdf>

8. <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps23750.pdf>

9. <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps23753a.pdf>

10. <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps23757.pdf>

11. <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm5070.pdf>

12. <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm5071.pdf>

13. <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm5072.pdf>

14. <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps23756.pdf>

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