

# Компоненты

БЮЛЛЕТЕНЬ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ  
ПОЛНЫЙ СПЕКТР ПРИМЕНЕНИЙ

1/2016

- Самые помехоустойчивые микроконтроллеры MSP430™ с памятью FRAM и технологией CapTivate™ стр. 1
- Вопросы проектирования беспроводной связи для промышленного интернета вещей (IoT) стр. 26
- Переход на цифровое питание с целью повышения энергоэффективности при сокращении затрат стр. 34

## Прикоснись к революции и ты!

Touch The Revolution  
MSP MCUs Featuring CapTivate™ Technology

**MCU MSP430FR2633 с технологией CapTivate**



БЮЛЛЕТЕНЬ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ  
ИНФОРМАЦИИ

ПОЛНЫЙ  
СПЕКТР  
ПРИМЕНЕНИЙ

■ **Главный редактор**  
Соловьёв Д.О.

■ **Редакционная коллегия**  
Брызгалин А. О.  
Белозор Л. В.

Совместный проект  
ООО „Сканти”  
и Texas Instruments, Inc.

■ Ответственность за содержание  
рекламы несёт рекламодатель

■ Полное или частичное  
воспроизведение материалов  
допускается только  
с разрешения ООО „Сканти”

### ■ Процессоры | Микроконтроллеры | Системы на кристалле

Прикоснись к революции! Самые помехоустойчивые микроконтроллеры для емкостных сенсоров. Первое решение сертифицированное IEC 61000-4-6..... 1

#### **Мекре Месганав (Mekre Mesganaw) и Крайпасагар Венкат (Kripasagar Venkat)**

Реализация трёхфазных электронных счётчиков электроэнергии на основе MSP430F677x. Часть 1. (SLAA577) ..... 3

TI выпустила первую систему на кристалле (SoC) для управления промышленным приводом с поддержкой цифровых и аналоговых датчиков положения ..... 10

### ■ Интерфейсы и стандартная логика

AN-1519. Ethernet без трансформаторов. Как работает трансивер DP83848 PHYTER (SNLA088A) ..... 12

#### **Артём Рогачев (Artem Rogachev)**

Создание надёжных систем горячего резервирования. Окончание (SLVA673A) ..... 19

### ■ Беспроводные коммуникации

Большее расстояние с меньшим энергопотреблением. Новые микроконтроллеры CC1310 с технологией SimpleLink™ ..... 25

#### **Оливер Монье (Olivier Monnier), Эран Зигман (Eran Zigman), Арнит Хаммер (Amit Hammer)**

Вопросы проектирования беспроводной связи для промышленного интернета вещей (IoT) ..... 26

Новейшее семейство Wi-Fi® + Bluetooth® /BLE-трансиверов WiLink 8 от TI ..... 32

### ■ Управление питанием

#### **Бретт Новак (Brett Novak), Жен Ю (Zhen Yu)**

Упрощение перехода на цифровое питание с целью повышения энергоэффективности при сокращении затрат (SPRY170) ..... 34

### ■ Встраиваемые системы и SOM-модули

Компания Сканти стала официальным дистрибьютором компании Innodisk ..... 43



### ■ Реклама

Оценочный комплект и набор для разработчика встраиваемых систем от компании SECO ..... 42



### От редакции:

Все вопросы и пожелания можно адресовать на наш сайт [www.scanti.com](http://www.scanti.com) в разделе «Бюллетень «Компоненты TI» или прислать по адресу [bulletin@scanti.com](mailto:bulletin@scanti.com)

# Прикоснись к революции! Самые помехоустойчивые микроконтроллеры для емкостных сенсоров. Первое решение сертифицированное IEC 61000-4-6

*Возможность создавать сенсоры на металлической поверхности, слайдеры с высоким разрешением и трёхмерное (3D) управление посредством жестов благодаря микроконтроллерам (MCU) MSP430™ с самым низким энергопотреблением, памятью FRAM и технологией CapTIvate™*



Корпорация Texas Instruments объявила о выпуске микроконтроллеров (MCU) MSP430™ с памятью FRAM и технологией CapTIvate™. Новые MCU MSP430FR2633 с технологией CapTIvate™ предлагают комплексные программно-аппаратные функции для повышения надёжности работы в условиях помех таких приложений, как электронное управление доступом, бытовые приборы, персональная электроника, промышленные панели управления и другие. Расширяя перечень 16-разрядных микроконтроллеров с памятью FRAM, MCU MSP430FR2633 с технологией CapTIvate™ позволяет разработчикам любой квалификации создавать надёжные человеко-машинные интерфейсы (HMI) с емкостными кнопками, ползунковыми и поворотными сенсорами и датчиками приближения (BSWP). Это также облегчает разработку функции множественного касания с пластмассовыми, стеклянными и металлическими покрытиями различной толщины. Разработчики могут быстро создавать современные решения с новым центром разработки CapTIvate™, графическим интер-

фейсом пользователя (GUI), который позволяет перетаскивать и устанавливать сенсоры для быстрого конфигурирования системы и начала настройки рабочих характеристик в течение пяти минут.

## Почувствуйте отличие в низком энергопотреблении с технологией FRAM и CapTIvate™

Аппаратная функция микроконтроллера Wake-on-touch (Пробуждение прикосновением)

может непрерывно сканировать до 4 электродов в то время, пока CPU находится в отключённом состоянии. Это даёт возможность непрерывной работы до 15 лет от одного дискового элемента питания благодаря чрезвычайно низкому потребляемому току от 0,9 мкА на одну кнопку в спящем режиме. Самый обширный в отрасли перечень сверхмалопотребляющих микроконтроллеров с FRAM-памятью (ферроэлектрическая память с произвольной выборкой) характеризуется энергонезависимостью, большим числом циклов перезаписи и до 100 крат большей скоростью записи, позволяя системам пробуждаться из режимов ожидания с самым низким энергопотреблением в кратчайшее время. Память FRAM также предоставляет возможность сохранения и восстановления состояния кнопки при нарушении энергопитания и отсутствии резервной батареи.

Микроконтроллер MSP430FR2633 с технологией CapTIvate™ предлагает разработчикам большую гибкость проектирования, не подвергаясь риску. В системах контроля доступа датчик приближения может понадобиться для подсветки экрана и матрицы кнопок, чтобы помочь



пользователю ввести информацию. Собственная ёмкость обеспечивает более высокую чувствительность для зондирования приближения, в то время как взаимная ёмкость учитывается при большом числе близко расположенных кнопок для уменьшения перекрёстных помех. Технология CapTivate™ обеспечивает гибкость для одновременной поддержки собственной ёмкости и взаимной ёмкости для усовершенствованных системных решений. Микроконтроллер MSP430FR2633 может поддерживать режимы 16 кнопок с собственной ёмкостью и 64 кнопки с взаимной ёмкостью.

Новая технология от TI CapTivate™, впервые предложенная в MCU MSP430FR2633, даёт расширенные аппаратные функции, такие как выделенный регулятор напряжения, скачкообразная перестройка частоты, синхронизация с переходом через нуль и алгоритмы обработки сигнала, что предотвращает появление ошибок в условиях помех.

Кроме того, синхронизация в широком спектре уменьшает электромагнитные излучения в цепи системы.

Дополнительные особенности и преимущества MCUs



MSP430FR2633, характеризующие технологию CapTivate™:

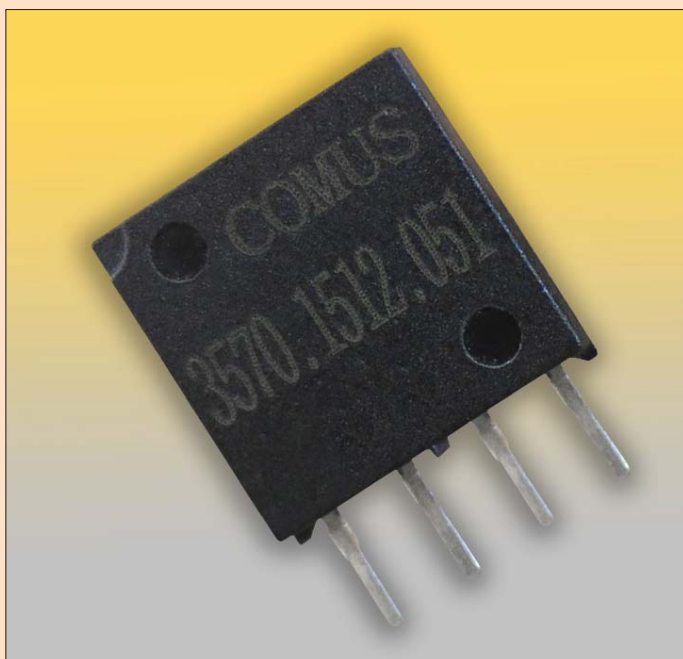
- MCUs MSP430FR2633 может применяться в соответствии со стандартами IEC-4-x с помехоустойчивостью к наведённым помехам до 10 Vrms, ESD и EFT до 4 кВ пикового напряжения.
- Позволяет проектировать интеллектуальные человеко-машинные интерфейсы (HMI) с низким энергопотреблением для регистрации данных, не жертвуя сроком службы или энергопотреблением изделия.
- Полный набор разработки MCU MSP430FR2633 доступен для быстрой оценки технических

решений с использованием собственной ёмкости, взаимной ёмкости и датчиков приближения. Предоставлены примеры проектов и программного кода для анализа помехоустойчивости и снижения действия влажности, для быстрой разработки и ускорения вывода изделия на рынок.

- Тактильные решения от TI работают с пьезоэлектрическими, линейными резонансными приводами (LRA) и приводами из эксцентрично-вращающейся массы (ERM). Это позволяет создавать реалистичные и согласованные тактильные эффекты.

[www.ti.com](http://www.ti.com)

## Микро-мини SIP-реле серии 1512 мощностью 15 Вт от компании Comus International



Компания Comus International, европейский производитель герконов, реле и различных датчиков, разработала микро-мини SIP-реле мощностью 15 Вт. Индустриальным стандартом на реле в SIP-корпусах является 10 Вт, таким образом, не просто уменьшены размеры, а еще и увеличена на 50% допустимая мощность.

Реле 1512-й серии содержит новый геркон повышенной мощности RI-69, разработанный полгода назад. Также в корпус встроено магнитное экранирование, соответственно, допустима плотная упаковка многих реле на одной плате. Серия ориентирована на использование в PCI/PCX тестовом оборудовании.

Доступны модели с напряжением катушки 5 и 12 В, с шунтирующим диодом и без. Номера для заказов:

- 3570.1512.051 — 5 В без диода
- 3570.1512.053 — 5 В с диодом
- 3570.1512.121 — 12 В без диода
- 3570.1512.123 — 12 В с диодом

По вопросам приобретения или для консультаций обращайтесь в компанию «Сканти».

[www.scanti.com](http://www.scanti.com)

# Реализация трёхфазных электронных счётчиков электроэнергии на основе MSP430F677х

1 часть

В статье описывается реализация трёхфазного счётчика электроэнергии с использованием микроконтроллера MSP430F677х, разработанного Texas Instruments специально для приборов учёта. Здесь содержится необходимая информация, касающаяся метрологического программного обеспечения и порядка настройки аппаратного обеспечения этого однокристалльного устройства.

## Введение

Микросхемы MSP430F677х представляют собой новейшие устройства типа «система на кристалле» (SOC) для учёта, которые относятся к семейству MSP430F67хх. Это семейство, в свою очередь, является частью мощной 16-разрядной платформы MSP430F6хх, которая реализует множество новых функций и обеспечивает универсальность, необходимую для поддержки надёжных многофазных метрологических решений. Такие устройства находят применение в об-

ласти измерения потребления энергии и обладают необходимой для этого архитектурой.

Устройства F677х имеют мощный ЦП с тактовой частотой 25 МГц и архитектурой MSP430CPUх. Аналоговый входной каскад включает в себя до семи независимых 24-разрядных  $\Sigma\Delta$  аналого-цифровых преобразователей (АЦП), имеющих в основе архитектуру сигма-дельта второго порядка, которая поддерживает дифференциальные входные сигналы. Сигма-дельта АЦП ( $\Sigma\Delta 24\_V$ ) работают независимо

и способны выдавать результат преобразования с разрешением 24 бита. Они могут быть сгруппированы для одновременного снятия отсчётов напряжений и токов по одному и тому же сигналу запуска. Кроме того, имеется также встроенный усилительный каскад, обеспечивающий коэффициенты усиления до 128, для усиления сигналов от датчиков с низким уровнем выходного сигнала. Аппаратный умножитель  $32 \times 32$  бита, реализованный на этом кристалле, можно использовать для ещё большего ускорения выполнения сложных математических операций при энергетических расчётах. Библиотека программного обеспечения для учёта энергии поддерживает расчёт различных параметров при измерениях энергии в фазах (до трёх фаз). При энергетических измерениях рассчитываются следующие ключевые параметры: действующие значения токов и напряжений, активная и реактивная мощности и энергии, коэффициент мощности и частота. Указанная библиотека также обеспечивает возможность получения необработанных отсчётов напряжений и токов для формирования учётных данных с более глубоким анализом, таким как анализ содержания гармоник и определение общего коэффициента нелинейных искажений (THD). В замечаниях по применению имеется полный исходный текст метрологической программы в виде zip-файла.

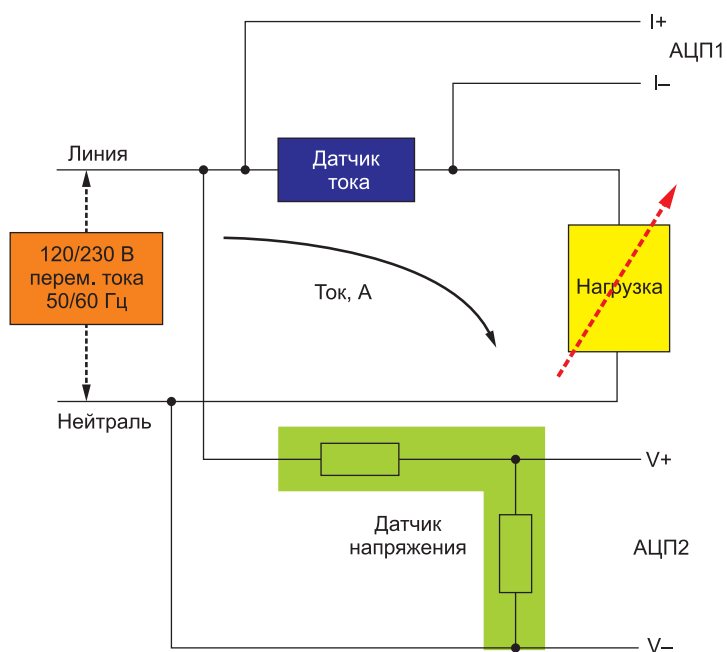


Рисунок 1. Типовая внутренняя структура электронного счётчика для одной фазы

## Схемы применения

На рисунке 1 показано типовое включение однофазных электронных счётчиков электричества

(электроэнергии), применяемое на практике. В случае многофазных счётчиков подключение дублируется для каждой фазы. Поддерживаются напряжения переменного тока 120/230 В при частоте 50/60 Гц с соответствующими токами. Маркировки «Линия» (L) и «Нейтраль» (N) взаимозаменяемы и указывают источник напряжения сети переменного тока, поступающего от системы электроснабжения.

В следующих разделах подробнее рассматриваются датчики тока и напряжения, АЦП и т. д.

На рисунке 2 приведена блок-схема, на которой показаны взаимосвязи высокого уровня, используемые в трёхфазном счётчике электроэнергии на основе устройства F677x. В данном случае показана 3-фазная 4-проводная схема подключения к сети переменного тока — «звезда». Датчики тока подключены к каждому из токовых каналов, а для измерения соответствующих фазных напряжений используется простой делитель напряжения. Трансформатор тока (ТТ) имеет связанный с ним балластный резистор, который должен быть подключён обязательно для защиты измерительного устройства. ТТ и балластный резистор выбираются исходя из рекомендаций изготовителя и диапазона токов, который требуется для измерений электроэнергии. Трансформаторы тока можно легко заменить поясами Роговского, при этом изменения входного каскада будут минимальными. Выбор резисторов делителя напряжения для канала напряжения осуществляется таким образом, чтобы обеспечить деление напряжения до уровня, соответствующего штатному диапазону входных напряжений АЦП  $\Sigma\Delta 24$ . Эти значения описаны в руководстве пользователя по семейству MSP430x5xx и MSP430x6xx (SLAU208), а также в справочной литературе конкретных устройств.

Другими сигналами на рисунке 2, которые представляют интерес, являются сигналы светодиодов импульсов. Они используются для передачи импульсов активной и реактивной энергии, которые нужны для точного измерения и калибровки. Кроме того, эти импульсы используются для

передачи активной мощности, потребляемой в каждой отдельной фазе.

## Аппаратная реализация

В данном разделе описываются различные узлы, образующие аппаратную часть рабочего 3-фазного счётчика электроэнергии на основе устройства F677x.

### Источник питания

Семейство устройств MSP430™ представляет собой микроконтроллеры со сверхнизким потреблением энергии от Texas Instruments. Эти устройства поддерживают ряд режимов низкого энергопотребления и, кроме того, обладают малым потреблением энергии в активном режиме, когда работает ЦП и периферийные устройства. Низкое энерго-

потребление устройств этого семейства позволяет использовать источники питания, имеющие очень простую и недорогую конструкцию. Источник питания позволяет питать счётчик электроэнергии непосредственно от сети. В следующих ниже подразделах рассматриваются различные варианты исполнения источника питания, которые пользователи могут применять в своих разработках.

### Резистивно-емкостной (RC) источник питания

На рисунке 3 показан простой емкостной источник питания, обеспечивающий единственное выходное напряжение 3,3 В, получаемое непосредственно от сети переменного тока с действующим значением напряжения 120/230 В и частотой 50/60 Гц.

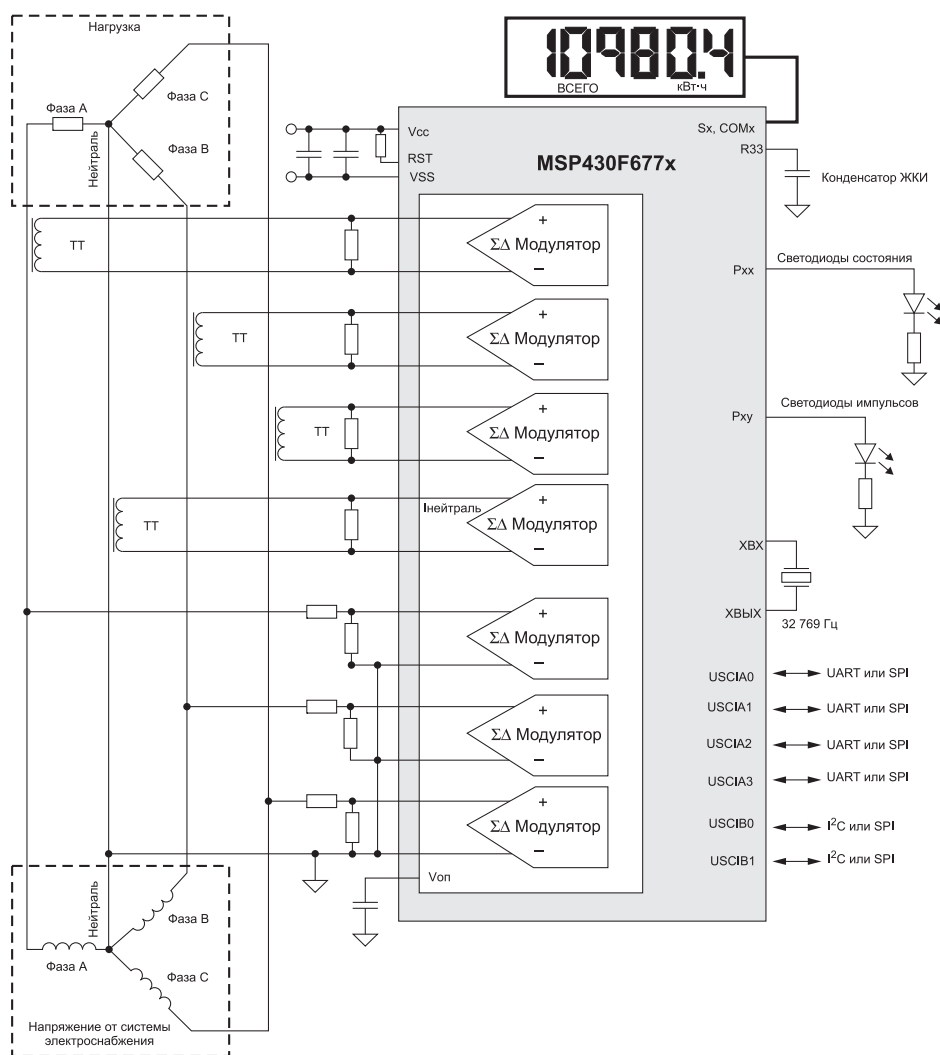


Рисунок 2. 3-фазное 4-проводное подключение «звезда» с использованием MSP430F677x

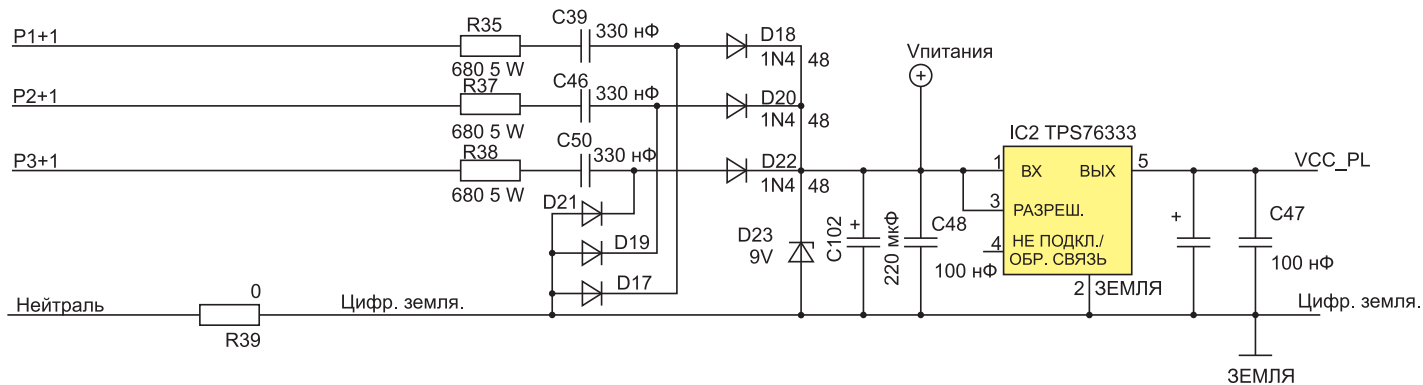


Рисунок 3. Простой емкостной источник питания для счётчика электроэнергии на MSP430

Соответствующие значения сопротивления резисторов (R35, R37 и R38) и ёмкостей конденсаторов (C39, C46 и C50) выбираются исходя из требуемого выходного тока источника питания. Напряжение сети подаётся непосредственно на RC-цепочки, за которыми установлены выпрямительные цепи, обеспечивающие напряжение постоянного тока, необходимое для работы MSP430.

Это напряжение регулируется так, чтобы оно составляло 3,3 В, что необходимо для работы MSP430 с максимальной скоростью. В приведённой выше схеме ток в каждой фазе составляет приблизительно 20 мА. Выражения для расчёта источника питания приведены в разделе «Ёмкостные источники питания» документа SLAA024. Приведённая конфигурация позволяет обеспечить для всех трёх фаз требуемый ток питания, который должен быть втрое выше тока каждой фазы. Если возникает необходимость слегка увеличить выходной ток (> 20 мА), можно увеличить значение ёмкости конденса-

тора C28. Если требуется больший выходной ток, особенно для питания РЧ-систем, дополнительно можно использовать выходной буфер на NPN-транзисторе или трансформаторный/импульсный источник питания.

#### Импульсный источник питания

На рисунке 4 показан импульсный источник питания, обеспечивающий единственное выходное напряжение 3,3 В, получаемое непосредственно от сети переменного тока с действующим значением напряжения 100–240 В. В приведённой конфигурации счётчик получает питание, пока напряжение сети переменного тока подключено к фазе, которая соответствует «ЛИНИИ 1». Внутренние цепи импульсного источника питания в этой статье не рассматриваются. Выходной ток источника питания смотрите в документации по используемому импульсному источнику питания.

#### Аналоговые входы

Аналоговый входной каскад MSP430, который состоит из  $\Sigma\Delta$

АЦП, является дифференциальным и требует, чтобы входные напряжения на выводах не превышали  $\pm 930$  мВ ( $K_U=1$ ). Чтобы удовлетворить этим требованиям, входные сигналы тока и напряжения необходимо делить. Кроме того,  $\Sigma\Delta 24$  допускают максимальное отрицательное напряжение  $-1$  В.

Поэтому сигналы переменного тока от сети могут восприниматься непосредственно, без необходимости использования цепей сдвига уровня. В этом подразделе описывается аналоговый входной каскад, используемый для каналов тока и напряжения.

#### Входы напряжения

Напряжение сети обычно составляет 230 или 110 В, и его требуется понизить до уровня 930 мВ.

Аналоговый входной каскад для сигналов напряжения содержит варисторы для защиты от выбросов напряжения, после которых установлен простой делитель напряжения и RC-фильтр нижних частот, работающий в качестве заграждающего фильтра для подавления нежелательных спектральных составляющих.

На рисунке 5 показан аналоговый входной каскад для входов напряжения при напряжении сети 230 В. Напряжение снижается примерно до 626 мВ действующего значения, что соответствует 884 мВ пикового значения, и подаётся на положительный вход, имея величину, находящуюся в допустимых пределах для аналоговых  $\Sigma\Delta$ -входов MSP430. Синфазное напряжение нуля может быть подключено к отрицательному входу  $\Sigma\Delta$  АЦП.

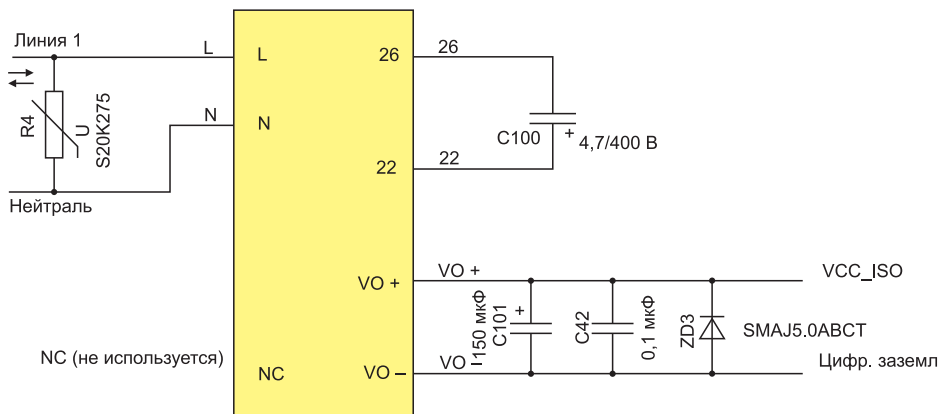


Рисунок 4. Импульсный источник питания для счётчика электроэнергии MSP430

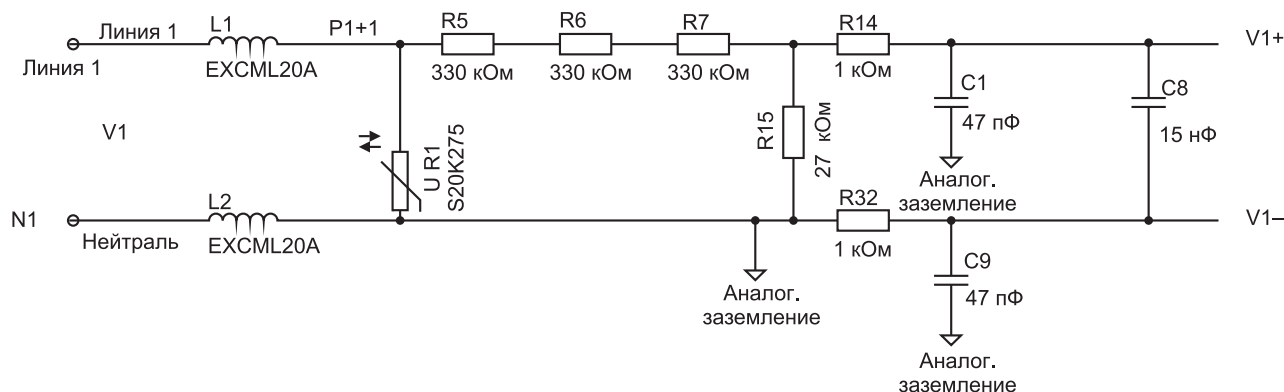


Рисунок 5. Аналоговый входной каскад для входов напряжения

### Входы тока

Аналоговый входной каскад для входов тока несколько отличается от аналогового входного каскада для входов напряжения.

На рисунке 6 показан аналоговый входной каскад, используемый для канала тока.

Резистор R21 является балластным и выбирается исходя из используемого диапазона токов и коэффициента трансформации ТТ. Значение сопротивления балластного резистора в данной схеме примерно 13 Ом. После балластного резистора следует цепь заграждающего фильтра, состоящая из резисторов и конденсаторов. Входной сигнал преобразователя представляет собой полностью дифференциальный вход с максимальным размахом по напряжению  $\pm 930$  мВ, когда коэффициент усиления преобразователя установлен равным 1.

Аналогично каналам напряжения, в качестве синфазного напряжения

выбирается или аналоговая земля (AGND), или внутренний источник опорного напряжения канала, подключённый к I1+ и I1-.

### Реализация программного обеспечения

В данном разделе рассмотрим программное обеспечение для реализации 3-фазного измерительного устройства. В первом подразделе приведена настройка различных периферийных устройств MSP430. Затем описывается всё метрологическое программное обеспечение в виде двух основных процессов: приоритетного и фонового.

### Настройка периферийных устройств

К основным периферийным устройствам относятся 24-разрядный сигма-дельта АЦП ( $\Sigma\Delta 24\_B$ ), система

синхронизации, таймер, ЖКИ и сторожевой таймер (WDT).

### Настройка АЦП SD24

Устройства семейства F677x имеют до семи независимых сигма-дельта преобразователей данных. В случае трёхфазной системы по крайней мере шесть  $\Sigma\Delta$ -преобразователей необходимы для того, чтобы независимо измерять напряжение и токи трёх фаз. Код программы, прилагаемый к данной статье ([www.ti.com/lit/zip/slaa577](http://www.ti.com/lit/zip/slaa577)), реализует измерения для 3-фазной системы; здесь также уделяется некоторое внимание мерам противодействия несанкционированному доступу – программа поддерживает измерение тока нейтрали. Сигнал синхронизации, подаваемый в  $\Sigma\Delta 24$  ( $f_M$ ), формируется на основе сигнала синхронизации системы, сконфигурированной для работы с тактовой частотой 16 МГц.

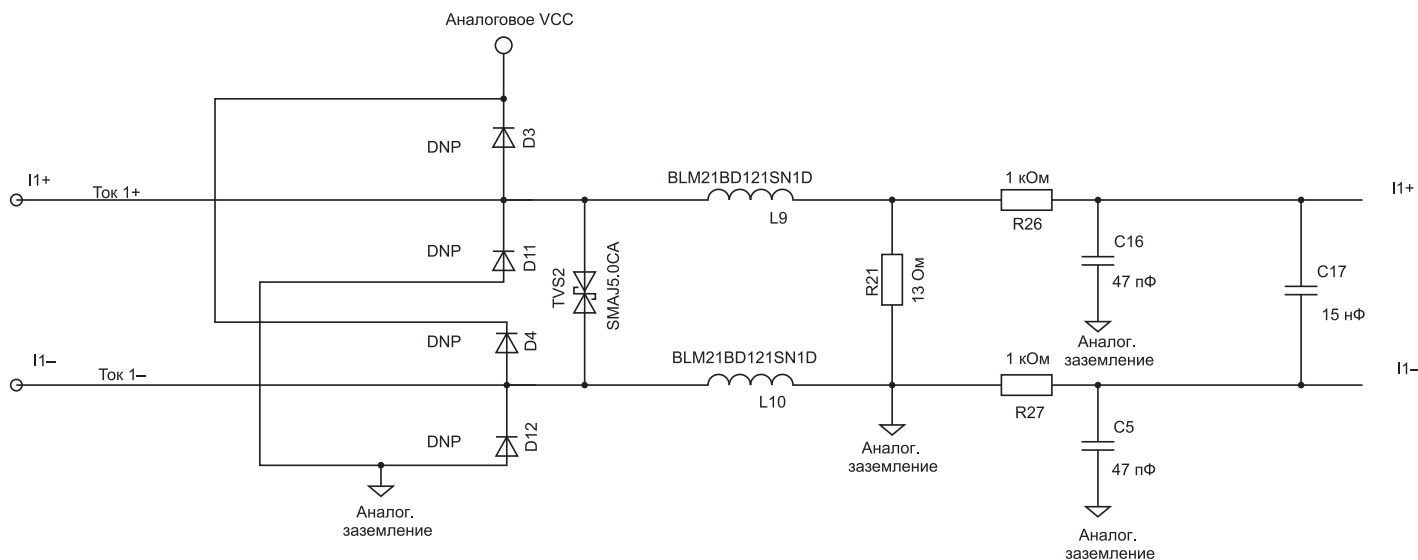


Рисунок 6. Аналоговый входной каскад для входов тока



Частота дискретизации определяется как  $f_s = f_M / OSR$ , где значение OSR выбирается равным 256, а частота модуляции,  $f_M$ , выбирается равной 1,048576 МГц, что даёт частоту дискретизации 4,096 тыс. отсчётов в секунду. Преобразователи  $\Sigma\Delta 24$  сконфигурированы для формирования регулярных прерываний в каждый момент взятия отсчёта.

Ниже указано назначение каналов  $\Sigma\Delta$ -преобразователей:

A0.0+ и A0.0- → Напряжение V1

A1.0+ и A1.0- → Напряжение V2

A2.0+ и A2.0- → Напряжение V3

A4.0+ и A4.0- → Ток I1

A5.0+ и A5.0- → Ток I2

A6.0+ и A6.0- → Ток I3

Дополнительный канал нейтрали может обрабатываться с помощью канала A3.0+ и A3.0-.

### Часы реального времени (RTC\_C)

RTC\_C – это модуль часов реального времени, который сконфигурирован для формирования точных 1-секундных прерываний. На основе этих односекундных прерываний при необходимости в программном обеспечении обновляются дата и время.

### Контроллер ЖКИ

Контроллер ЖКИ в MSP430F677X может поддерживать до 320 сегментов с мультиплексом до 8. Он также оснащён встроенным умножителем напряжения с накачкой заряда, который можно использовать для улучшения контрастности. В описываемом решении контроллер ЖКИ сконфигурирован для работы в режиме с мультиплексом 4 и с использованием 160 сегментов при частоте обновления информации ACLK/64, что составляет 512 Гц. Параметры, выводимые на индикацию на ЖКИ, будут рассмотрены во второй части данной статьи (раздел «Просмотр результатов на ЖКИ»).

### Приоритетный процесс

Приоритетный процесс предусматривает начальную настройку аппаратной и программной частей MSP430 непосредственно после сброса устройства. На рисунке 7 показана блок-схема этого процесса.

Подпрограммы инициализации включают в себя настройку аналогоцифрового преобразователя, системы синхронизации, контроллера ЖКИ, выводов ввода/вывода (порта) общего назначения, модуля RTC для выполнения функций синхронизации, ЖКИ и универсального последовательного интерфейса связи (USCI\_A0) для работы в режиме UART. Кроме того, если включена связь ZigBee, конфигурируется USCI\_A3. После того как аппаратное обеспечение настроено, приоритетный процесс ожидает, когда фоновый процесс уведомит его о том, что нужно рассчитывать новые параметры учёта. Это уведомление осуществляется с помощью флага состояния, который устанавливается всякий раз, когда имеется кадр данных для обработки. Кадр данных состоит из обработанных значений тока, напряжения, активной и реактивной мощности, накопленных за одну секунду. Это эквивалентно накоплению 50 или 60 циклов данных, синхронизированных с поступающим сигналом напряжения. Кроме того, счётчик отсчётов продолжает отслеживать, сколько отсчётов было накоплено за этот период кадра. Это число может меняться, так как программное

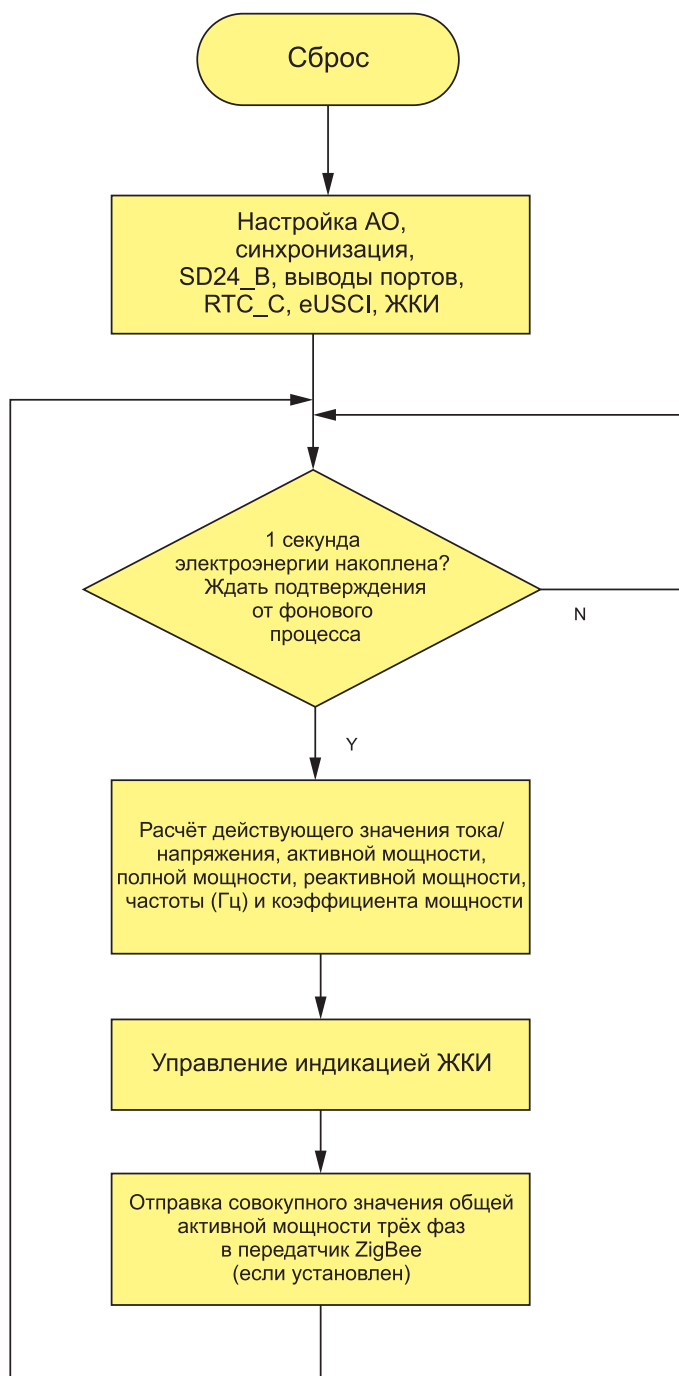


Рисунок 7. Блок-схема приоритетного процесса

обеспечение осуществляет синхронизацию с частотой поступающего напряжения сети.

Набор отсчётов состоит из обработанных значений тока, напряжения, активной и реактивной мощности. Обработанные значения напряжения накапливаются в 48-разрядных регистрах. В отличие от них, обработанные значения тока, активной и реактивной мощности накапливаются в отдельных 64-разрядных регистрах для дальнейшей обработки и получения действующих и средних значений. На основании значений активной и реактивной мощностей, рассчитанных приоритетным процессом, вычисляется полная мощность. Частота (в герцах) и коэффициент мощности также рассчитываются с помощью параметров, вычисленных фоновым процессом и по формулам, приведённым в разделе «Формулы для расчёта».

### Формулы для расчёта

В этом разделе кратко описываются выражения, используемые для расчёта напряжения, тока и количества электроэнергии.

### Напряжение и ток

Как уже было отмечено выше, отсчёты напряжения и тока одновременно получают от семи независимых  $\Sigma\Delta$ -преобразователей с частотой дискретизации 4096 Гц. Серия отсчётов, полученных за 1 секунду, сохраняется и используется для получения действующих (среднеквадратических) значений напряжения и тока каждой из фаз.

Действующие значения рассчитываются по следующим формулам (1):

$$V_{RMS,ph} = K_{v,ph} \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^{Sample\ count} v_{ph}(n) \times v_{ph}(n)}{Sample\ Count}}, \quad (1)$$

$$I_{RMS,ph} = K_{i,ph} \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^{Sample\ count} i_{ph}(n) \times i_{ph}(n)}{Sample\ Count}}$$

где  $ph$  – фаза, параметры которой рассчитываются, то есть Фаза A(=1), B(=2) или C(=3),  $v_{ph}(n)$  – отсчёт напряжения в момент взятия отсчёта  $n$ ,  $i_{ph}(n)$  – отсчёт тока в момент взятия

отсчёта  $n$ ,  $Sample\ count$  – количество отсчётов в течение одной секунды,  $K_{v,ph}$  – коэффициент масштабирования для напряжения,  $K_{i,ph}$  – коэффициент масштабирования для тока.

### Мощность и электроэнергия

Мощность и электроэнергия рассчитываются для значений отсчётов активной и реактивной мощности в кадре. Эти отсчёты корректируются по фазе и передаются в приоритетный процесс, использующий число отсчётов ( $sample\ count$ ) и приведённые формулы (2) для расчёта суммарной активной и реактивной мощностей:

$$P_{ACT,ph} = K_{ACT,ph} \frac{\sum_{n=1}^{Sample\ count} v(n) \times i_{ph}(n)}{Sample\ Count}, \quad (2)$$

$$P_{REACT,ph} = K_{REACT,ph} \frac{\sum_{n=1}^{Sample\ count} v_{90}(n) \times i_{ph}(n)}{Sample\ Count},$$

где  $v_{90,ph}(n)$  – отсчёт напряжения в момент взятия отсчёта  $n$ , сдвинутый на 90 градусов, а  $K_{ACT,ph}$  – коэффициент масштабирования для активной мощности,  $K_{REACT,ph}$  – коэффициент масштабирования для реактивной мощности.

Активная энергия рассчитывается на основании активной мощности по следующему выражению (3):

$$E_{ACT,ph} = P_{ACT,ph} \times Sample\ Count$$

$$E_{REACT,ph} = P_{REACT,ph} \times Sample\ Count \quad (3)$$

Для расчёта реактивной энергии используется метод расчёта с фазовым сдвигом на 90°, что обусловлено двумя причинами:

1. Это позволяет точно измерить реактивную мощность при очень маленьких токах.
2. Это соответствует международно принятому способу измерения.

Рассчитанная частота сети используется для вычисления отсчёта напряжения, сдвинутого на 90°. Поскольку частота сети изменяется, важно сначала точно измерить эту частоту,

чтобы соответствующим образом сдвинуть по фазе отсчёты напряжения (смотрите раздел «Измерение частоты и отслеживание периода»).

Фазовый сдвиг, реализуемый в устройстве, имеет целую и дробную части. Целая часть реализуется путём обеспечения задержки на  $N$  отсчётов. Дробная часть реализуется с помощью фильтра дробной задержки (смотрите раздел «Компенсация фазы»).

После вычисления активной и реактивной мощностей полная мощность каждой фазы рассчитывается по формуле (4):

$$P_{APP,ph} = \sqrt{P_{ACT,ph}^2 + P_{REACT,ph}^2} \quad (4)$$

Помимо расчёта активных и реактивных мощности и энергии по каждой фазе, общая сумма этих величин рассчитывается по следующей формуле:

$$P_{ACT,Cumulative} = \sum_{ph=1}^3 P_{ACT,ph}$$

$$P_{REACT,Cumulative} = \sum_{ph=1}^3 P_{REACT,ph}$$

$$E_{ACT,Cumulative} = \sum_{ph=1}^3 E_{ACT,ph}$$

$$E_{REACT,Cumulative} = \sum_{ph=1}^3 E_{REACT,ph}$$

### Частота (Гц)

Фоновый процесс рассчитывает частоту в виде количества отсчётов за период напряжения сети. Затем приоритетный процесс преобразует это значение в частоту в герцах по формуле (5):

$$Frequency(Hz) =$$

$$= \frac{SamplingRate(samples / second)}{Frequency(samples / cycle)} \quad (5)$$

### Коэффициент мощности

После того как получены значения активной и полной мощности, рассчитывается абсолютное значение коэффициента мощности. При внутренних расчётах в счётчике электроэнергии положительный коэффициент мощности соответствует ёмкостной нагрузке, а отрицательный коэффициент мощности – ин-

дуктивной нагрузке. Знак коэффициента мощности при его представлении внутри счётчика определяется тем, опережает ток напряжение или же ток запаздывает относительно

но напряжения, что определяется фоновым процессом. Поэтому для внутреннего представления коэффициент мощности рассчитывается по формуле (6):

Internal Representation of Power Factor =

$$= \begin{cases} \frac{P_{ACT}}{P_{Apparent}}, & \text{if capacitive load} \\ -\frac{P_{ACT}}{P_{Apparent}}, & \text{if inductive load} \end{cases} \quad (6)$$

**Фоновый процесс**

Фоновый процесс использует прерывание от ΣΔ АЦП в качестве запускающего сигнала для получения отсчётов напряжения и тока (всего семь значений). Эти отсчёты используются для расчёта промежуточных результатов. Так как используются 16-разрядные отсчёты напряжения, эти отсчёты далее обрабатываются и накапливаются в предназначенных для этого 48-разрядных регистрах. В отличие от напряжения, поскольку отсчёты тока 24-разрядные, эти отсчёты обрабатываются и накапливаются в выделенных для них 64-разрядных регистрах. Значения активной и реактивной мощностей каждой фазы также накапливаются в 64-разрядных регистрах.

Функции фонового процесса работают в основном с событиями, на обработку которых налагаются жёсткие ограничения по времени. Как только достаточное количество отсчётов (приблизительно столько, сколько получается за 1 секунду) накоплено, включается функция приоритетного процесса для расчёта окончательных значений  $V_{действ.}$ ,  $I_{действ.}$ , активной, реактивной и полной мощностей, активной и полной энергии, частоты и коэффициента мощности. Фоновый процесс также полностью отвечает за расчёт числа выходных импульсов, пропорционального потреблённой электроэнергии, расчёт частоты (в виде количества отсчётов за период) и определение опережения/запаздывания тока. На рисунке 8 показана блок-схема фонового процесса.

*Окончание следует.*

**Литература**

1. Implementation of a Three-Phase Electronic Watt-Hour Meter Using the MSP430F677x (SLAA577).

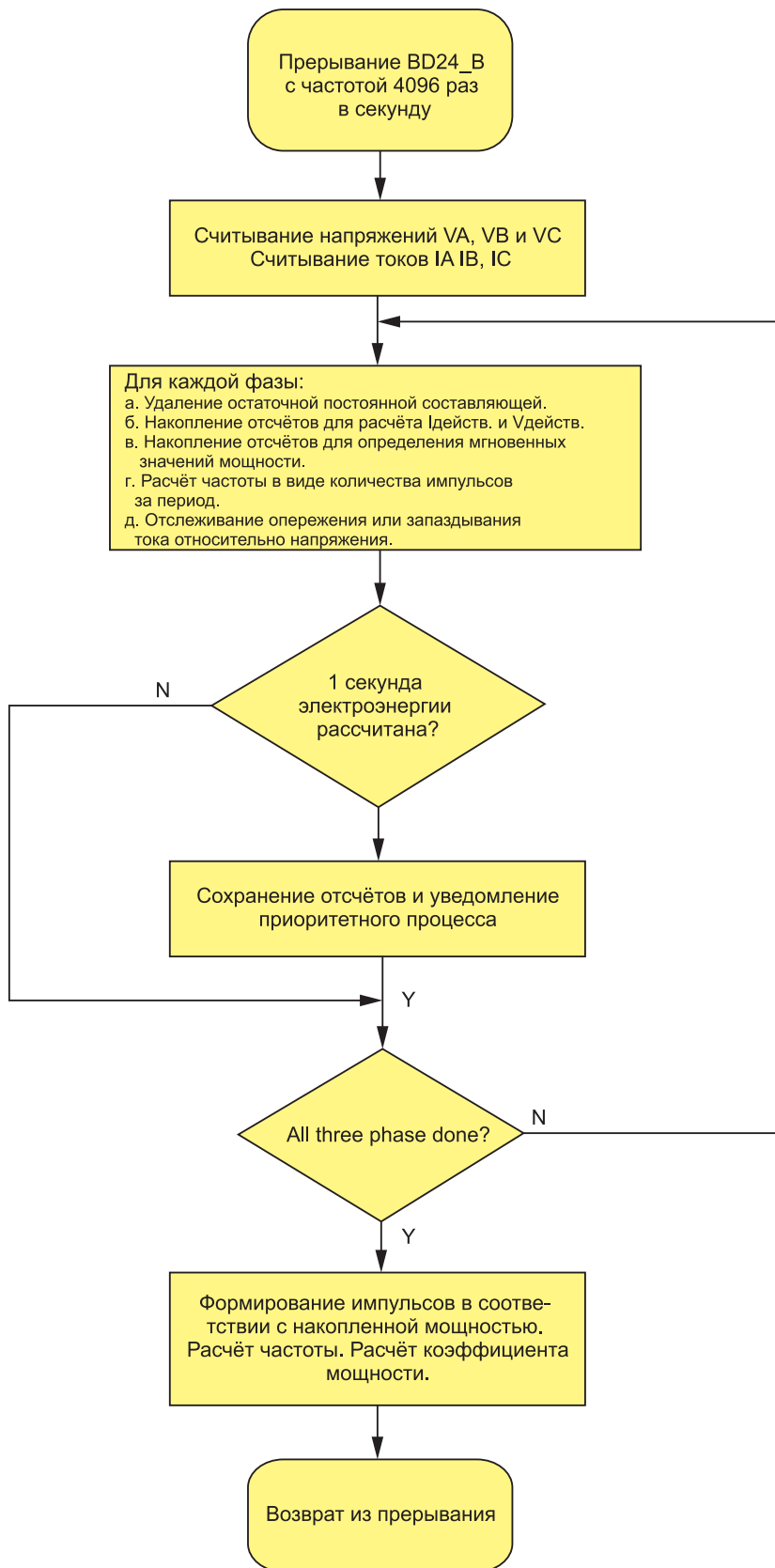
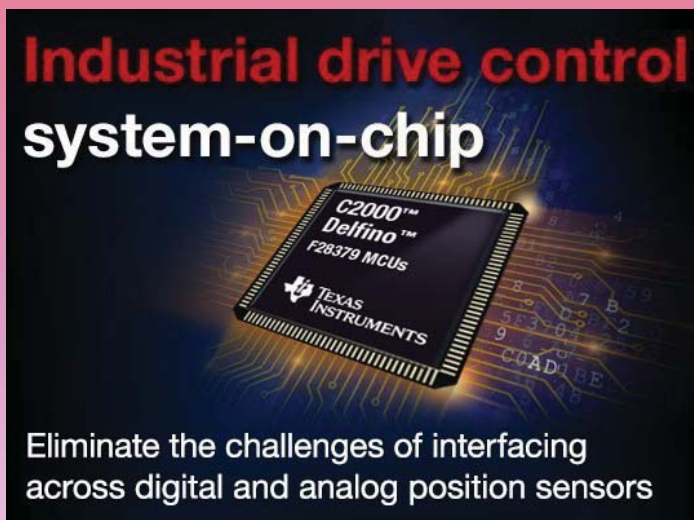


Рисунок 8. Блок-схема фонового процесса

# TI выпустила первую систему на кристалле (SoC) для управления промышленным приводом с поддержкой цифровых и аналоговых датчиков положения

*Новые MCU семейства C2000™ Delfino™ и технология позиционного управления DesignDRIVE устраняют трудности сопряжения с датчиками положения в промышленных сервоприводах и инверторах переменного (АС) тока*



Texas Instruments анонсировала первое в отрасли встроенное в кристалл микроконтроллера (on-chip) решение, поддерживающее аналоговые и цифровые датчики положения. Новые микроконтроллеры (MCUs) TMS320F28379D и TMS320F28379S являются расширением семейства C2000™ Delfino™ от TI и в сочетании с технологией позиционного управления приводом (управление приводом по положению) DesignDRIVE Position Manager делают возможным лёгкое сопряжение с датчиками положения. Это решение улучшает системные характеристики путём выполнения задач декодирования, встроенных в кристалл, и сокращения коммуникационной задержки, позволяя улучшить характеристики контура управления. Дополнительно это позволяет разработчикам снизить стоимость системы за счёт уменьшения площади печатной платы, необходимой в решениях на основе FPGA или ASIC. Позиционное управление предоставляет разработчикам доступ к базисной функциональности, требуемой для сопряжения с датчиками EnDat2.2, BiSS-C, преобразования координат (Resolver) и SIN/COS. Основанные на архитектуре управления в реальном времени MCU семейства C2000 от TI и платформа DesignDRIVE являются идеальными для разработки промышленных инверторов и сервоприводов, используемых в ро-

бототехнике, компьютерном числовом программном управлении, лифтах, перемещении материалов, транспортировке и других приложениях промышленного производства.

## Упрощение сложного этапа цикла разработки промышленных приводов

Технология DesignDRIVE является единой программно-аппаратной платформой, которая делает её удобной при разработке и оценке решений в многообразии топологий промышленного привода и сервомеханизмов. Позиционное управление – новое техническое средство в составе DesignDRIVE, позволяющее разработчикам легко осуществлять сопряжение с цифровыми и аналоговыми датчиками положения. Микроконтроллеры TMS320F28379D и TMS320F28379S являются первыми в семействе C2000, поддерживающими технологию позиционного управления “on-chip”. Как ключевая часть решений DesignDRIVE позиционное управление позволяет разработчикам системы промышленных приводов снижать инженерные усилия, необходимые для разработки и сопровождения FPGA или ASIC, требующихся для соединения с датчиками.

## Решение задач совместимости в интерфейсе с датчиками положения

Технология позиционного управления от TI является совместимой как с цифровыми, так и с аналоговыми датчиками положения, что позволяет одному микроконтроллеру семейства C2000™ Delfino™ поддерживать множество типов датчиков. Они включают EnDat 2.2, BiSS-C, Resolver, SIN/COS и инкрементальные энкодеры, содержащие протоколы Clockwise/Counterclockwise (CW/CCW). Корпорация TI является только поставщиком интегральных схем, которые поддерживают цифровые и аналоговые датчики положения для промышленных применений. Совместная работа TI с компанией HEIDENHAIN, ведущим разработчиком датчиков положения для тестирования “on-chip” решений с целью обеспечения совместимости.

«Мы одобряем успешную реализацию тестирования позиционного управления корпорацией Texas Instruments в соответствии с техническими требованиями EnDat, – сказал Herbert Reiter, старший менеджер по продукции компании HEIDENHAIN. Мы с нетерпением ожидаем продолжения работы с TI, поскольку это создаёт новые возможности EnDat для наших заказчиков».

## Быстрое начало работы с интегрированной поддержкой

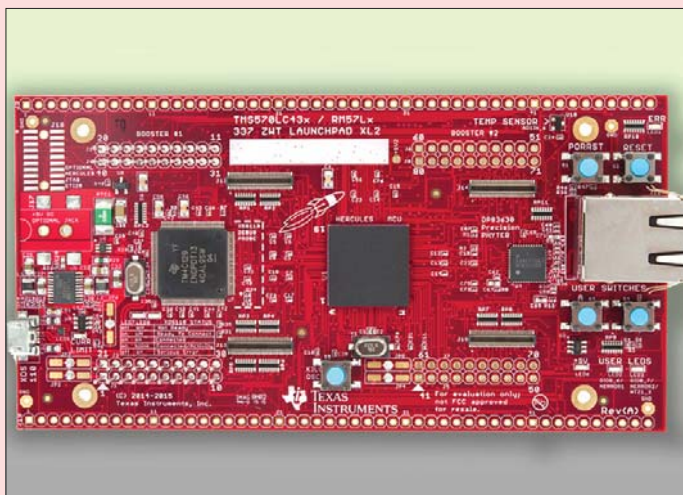
- Набор для разработки C2000 DesignDRIVE предлагает простой путь для начала изучения обширного многообразия топологий приводов двигателей, а также лёгкого развития при разработке с использованием коммуникаций реального времени Ethernet и топологий функциональной безопасности, позволяя создавать более комплексные интегрированные системные решения.
- Технология DesignDRIVE поддерживается пакетом C2000 controlSUITE™ от TI и включает конкретные примеры векторного управления двигателями, объединяющие контуры тока, скорости и положения, помогая начать оценку и разработку.

- Кроме того, пользователи могут загрузить интегрированную среду разработки (IDE) от TI, которая обеспечивает генерацию кода и возможности отладки.
- Для модель-ориентированного проектирования MCU F28379D и F28379S семейства C2000 совместимы с F28377D и F28377S, которые в настоящее время поддерживаются ПО Mathworks' MATLAB®, Simulink® и Embedded Coder®.
- Пользователи могут загрузить примеры проектов по интерфейсам и источникам питания для управления двигателями, чтобы использовать их непосредственно, или для модификации с учётом своих требований. Дополнительно с использованием технологии DesignDRIVE разработчики могут интегрировать новое семейство усиленных изолированных драйверов затворов транзисторов ISO5852S при разработке мощных каскадов промышленных приводов. Это семейство обеспечивает очень высокие рабочие напряжения до 1,5 kVrms, высочайшую устойчивость к воздействию синфазных помех (CMTI) от 100 кВ/мкс и прецизионное тактирование для эффективного управления высоким напряжением и быстрого переключения биполярных транзисторов с изолированным затвором (IGBT) и мощных ключей из карбида кремния (SiC).

[www.ti.com](http://www.ti.com)

## Сила Геркулеса в бюджетном исполнении. Отладочная плата LaunchPad от TI

*Оцените микропроцессоры Hercules™ для приложений со значительной производительностью с высокоэффективными отладочными платами LaunchPad от корпорации TI!*



TI представила две новые отладочные платы LaunchPad для приложений со встроенным интерфейсом Ethernet PHY, сложными алгоритмами, обработкой в режиме реального времени и плавающей запятой. Отладочные платы LaunchPad RM57Lx и TMS570LC43xs были разработаны для оценки микроконтроллеров Hercules™ от корпорации TI с самой большой производительностью и интерфейсов Precision PHYTER™ Ethernet PHY DP83630 с поддержкой IEEE 1588.

### Характеристики:

- Микроконтроллер на основе высокопродуктивного Cortex®-R5F с частотой процессора до 330 МГц.
- Улучшенная точность благодаря интерфейсу DP83630 Ethernet PHY от TI.
- Гибкость расширения до FPGA или SRAM с помощью расширительных головок EMIF.
- Демонстрационная версия для оценки защитных характеристик микроконтроллеров Hercules согласно стандартам ISO 26262 и IEC 61508.

[www.ti.com](http://www.ti.com)

# AN-1519. Ethernet без трансформаторов. Как работает трансивер DP83848 PHYTER

В статье описывается способ применения изделий Texas Instruments семейства PHYTER™, не требующий использования трансформаторов. Здесь содержатся рекомендации по конфигурированию бестрансформаторных систем. Приводится описание стандартной конфигурации сети, а также описание нестандартных бестрансформаторных конфигураций. Представлены рабочие данные устройств PHYTER, полученные на бестрансформаторной конфигурации.

## Введение

Трансиверы PHYTER™ рассчитаны на надёжную работу в широком спектре систем конечных пользователей. Нестандартные системы, для которых большое значение имеет стоимость и где используются короткие соединения между печатными платами, и даже системы, рабо-

тающие в суровых условиях окружающей среды, могут выиграть от работы без трансформаторов. К примерам таких систем относятся кабельные каналы связи на короткие расстояния, функционирующие в тяжёлых условиях окружающей среды, и системы объединительных плат.

## Рекомендации

В общем случае рекомендуется использовать в бестрансформаторных конфигурациях неполярные блокировочные конденсаторы с номинальными допустимыми напряжениями постоянного тока, отвечающими потребностям конкретных систем. Также рекомендуется, чтобы блокировочные конденсаторы имели минимальную ёмкость 33 нФ, чтобы выполнить технические требования IEEE 802.3 к импедансу, а максимальная их ёмкость ограничивается техническими требованиями

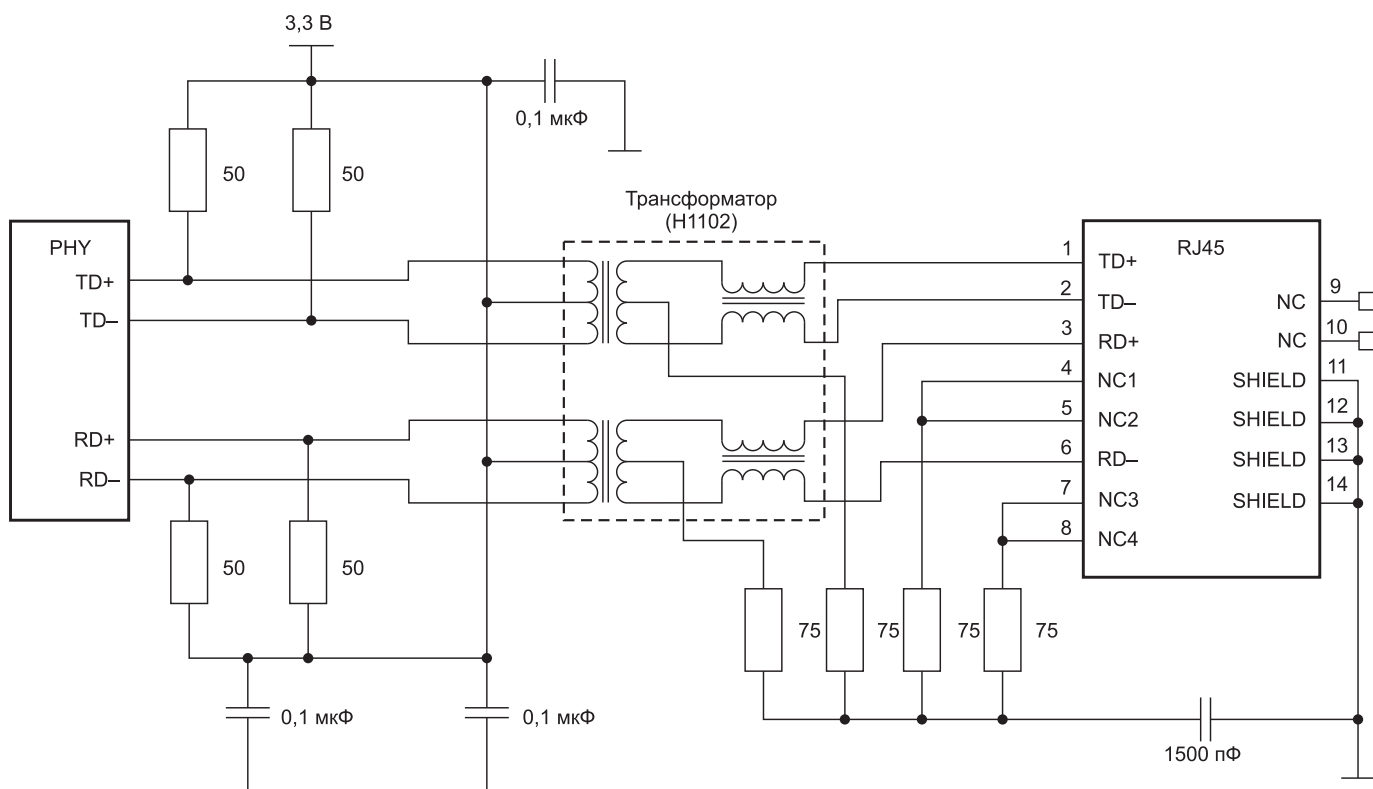


Рисунок 1. Стандартный интерфейс витой пары со скоростью передачи 10/100 Мбит/с

к блокированию постоянной составляющей в конкретной системе. Рекомендуется также использовать скорость 100 Мбит/с.

В целом сетевые соединения, сконфигурированные с использованием нестандартных топологий, могут вызывать определённые опасения, характерные для той или иной системы, особенно если длины соединений узлов превышают 1 метр. Поэтому проекты сетей, использующие нестандартные топологии, рекомендуется проверять на уровне конкретной системы.

## Стандартная конфигурация сети с использованием трансформаторной развязки

Для понимания ограничений при разработке нестандартных бестрансформаторных систем необходимо, во-первых, понять функции и параметры сигналов физической сети, а во-вторых, — функции, которые выполняют трансформаторы в стандартных системах.

Стандартная конфигурация сети состоит из двухточечного соединения между двумя устройствами физического уровня, реализованного с помощью кабеля. На рисунке 1 показана схема стандартного трансформаторного интерфейса. Передатчик и приёмник каждого узла развязаны с сетевым кабелем по постоянному току трансформаторами 1:1.

Типичная конфигурация сети обеспечивает выполнение функций автоматического согласования параметров при установлении соединения, Auto-MDIX (зависимый от среды интерфейс), — работы на скорости 10 Мбит/с или на скорости 100 Мбит/с. Автоматическое согласование параметров при установлении соединения — это функция, которая автоматически определяет оптимальную скорость работы сети. Auto-MDIX — это функция, которая позволяет использовать либо прямые, либо перекрёстные кабели.

Эта функция использует тестовые импульсы в канале связи для определения рабочего режима. Тестовые импульсы имеют вид дифференциальных сигналов с напряжением 2,5 В при наличии идеальной симметричной нагрузки 50 Ом. Данные, передаваемые со скоростью 100 Мбит/с, имеют вид дифференциальных сигналов +1, 0 и -1 В, а данные, передаваемые со скоростью 10 Мбит/с, имеют вид дифференциальных сигналов +2,5 и -2,5 В на идеальной нагрузке (рисунки 2–4).

Трансформаторы обеспечивают развязку с кабелем по постоянному току и смещение постоянного тока в устройстве физического уровня.

Развязка необходима для выполнения требований к развязке по переменному и постоянному току, установленных в IEEE 802.3 для конфигураций с кабельными каналами связи. Требования IEEE 802.3 к развязке описаны в разделе 14.3.1.1 спецификации и предусматривают способность выдерживать короткие замыкания в кабелях с напряжениями до 1500 В частоты 50 или 60 Гц или уровни напряжения 2250 В постоянного тока в течение 60 с.

Передатчики и приёмники трансиверов PHYTER имеют внутреннее смещение постоянного тока от центрального отвода трансформатора через нагрузочные резисторы номиналом 50 Ом, используемые в стандартных системах.

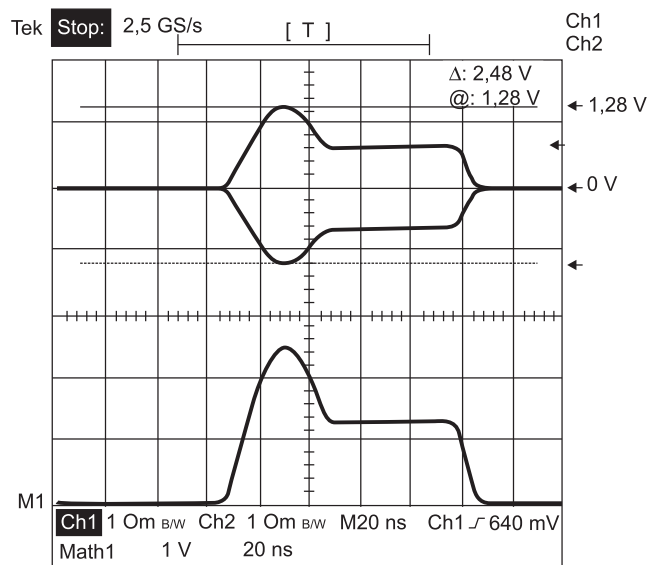


Рисунок 2. Пример тестового импульса в канале связи

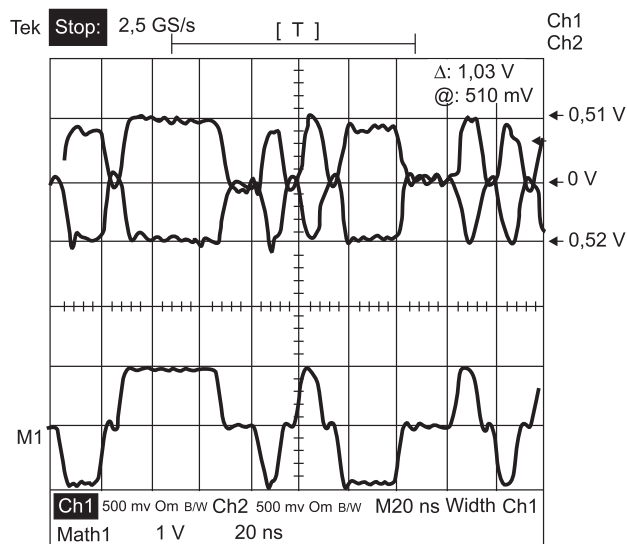


Рисунок 3. Пример сигнала, передаваемого со скоростью 100 Мбит/с (MLT-3)

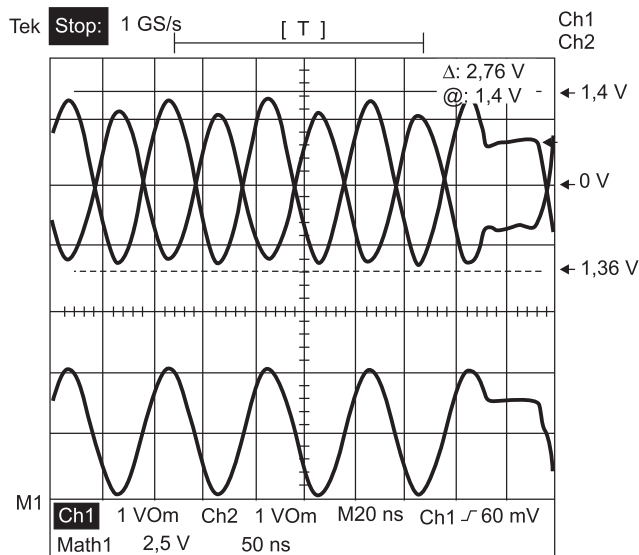


Рисунок 4. Пример сигнала, передаваемого со скоростью 10 Мбит/с

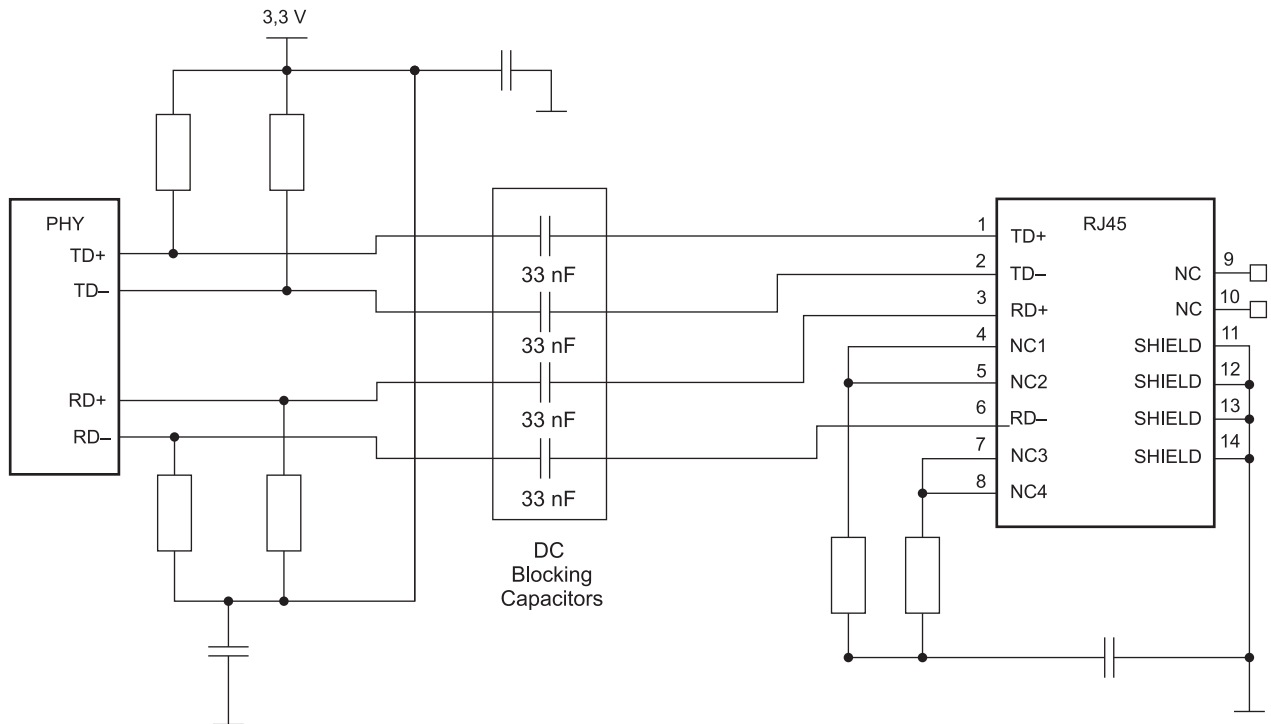


Рисунок 5. Бестрансформаторная конфигурация

### Бестрансформаторная конфигурация

Для того чтобы обеспечить рабочие характеристики нестандартных бестрансформатных сетей, необходимо выполнить несколько требований. Должны быть выполнены требования по разделению компонентов приёма и передачи физического уровня и требования к смещению, а также и развязка по постоянному току высокого напряжения должна отвечать конкретным требованиям к безопасности данной системы.

В случае нестандартных систем развязка, которую обеспечивает трансформатор в стандартных конфигурациях, может быть реализована с помощью неполярных конденсаторов (рисунок 5).

### Требования к передаче

Стандартная система на основе трансформаторов предполагает соединение центрального отвода трансформатора с линией  $V_{DD}$ . Сигналы в режиме 100 Мбит/с, которые являются локальными для драйвера, имеют вид сигналов с напряжением 2,8–3,8 В на трансформаторе с изменением полярности на противоположную, чтобы получить сигналы +1 и -1 В во вторичной обмотке трансформатора (рисунок 6). Сигналы в режиме 10 Мбит/с имеют вид сигналов с напряжением 2,05–4,55 В и являются локальными для драйвера с изменением полярности на противоположную, чтобы получить сигналы +2,5 и -2,5 В во вторичной обмотке трансформатора. Тестовые импульсы в канале связи выглядят аналогично сигналам режима 10 Мбит/с без переключения полярности (рисунок 7).

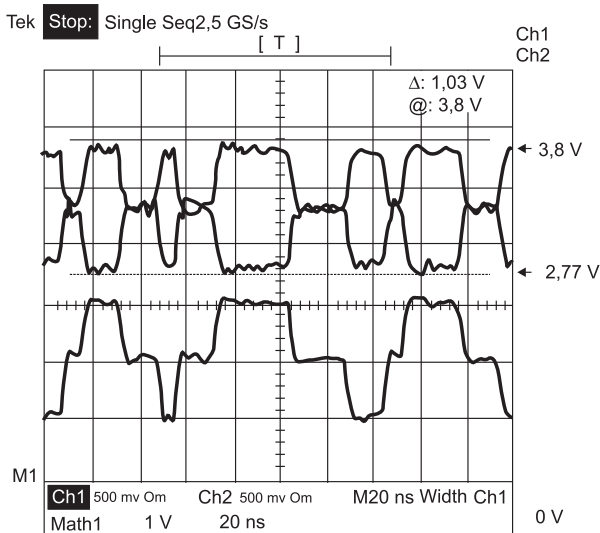


Рисунок 6. Пример сигнала, передаваемого со скоростью 100 Мбит/с

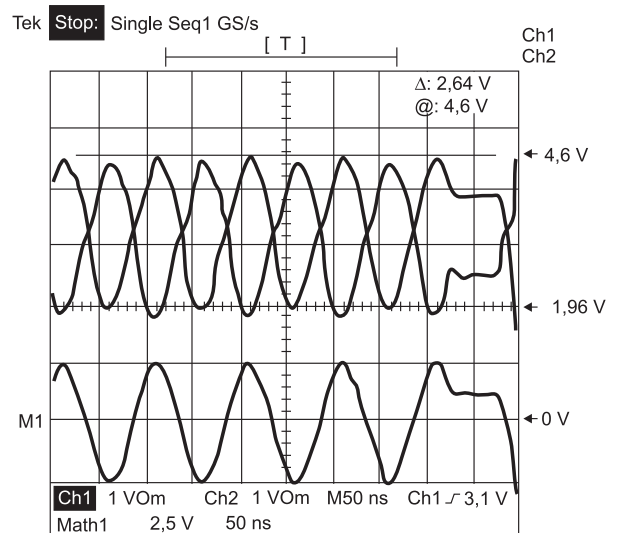


Рисунок 7. Пример сигнала, передаваемого со скоростью 10 Мбит/с



В режиме связи со скоростью 100 Мбит/с, сконфигурированном с использованием блокирующих конденсаторов, напряжение смещения постоянного тока при передаче сдвигается. «Нулевое» состояние при работе со скоростью 100 Мбит/с соответствует напряжению смещения постоянного тока около 2,3 В. Сигналы данных имеют вид 1,8–2,8 В в дифференциальной паре, это находится в пределах рабочего диапазона драйверов для скорости 100 Мбит/с. Изменение полярности на противоположную даёт сигналы +1 и –1 В на конденсаторах со стороны кабеля (рисунок 8).

В режиме связи со скоростью 10 Мбит/с дифференциальный драйвер имеет смещение на величину  $V_{DD}$ . В случае конфигурации с блокирующими конденсаторами каждая сторона дифференциальной пары работает самостоятельно, на каждой создаётся падение напряжения 2,5 В на дифференциальной нагрузке, при этом противоположный сигнал остаётся фиксированным на уровне  $V_{DD}$ . Таким образом, каждый сигнал переключается между уровнями 3,3 и 0,8 В, и система сигналов в режиме 10 Мбит/с – асимметрична (несимметрична). На конденсаторах со стороны кабеля сигнал имеет вид дифференциальных импульсов +2,5 и –2,5 В. Тестовые импульсы в канале связи имеют вид импульсов напряжения 2,5 В, которые не меняют полярность (рисунок 9).

Хотя система сигналов режима 10 Мбит/с может работать в пределах этих диапазонов напряжений сигналов, её работа не гарантируется. Конкретнее: не гарантируется нормальная работа в рабочей точке 0,8 В при всех условиях. Система дифференциальных сигналов режима 10 Мбит/с при бестрансформаторном режиме работы так же несимметрична, как и при использовании трансформаторов, поэтому имеется дополнительная опасность излучения ЭМП. Как следствие, рекомендуется ограничить работу бестрансформаторных конфигураций режимами принудительной связи со скоростью 100 Мбит/с при отключении функции автоматического согласования параметров при установлении соединения.

### Требования к приёму

Приёмники каналов со скоростями 100 и 10 Мбит/с устройства PHYTER™ имеют собственное смещение на  $V_{DD}$ , поэтому сигналы, появляющиеся на приёмной стороне блокирующих конденсаторов, такие же, как сигналы, которые имеют место при наличии трансформатора.

Поскольку автоматическая функция переключения MDIX имеет смещение при обнаружении принимаемого сигнала, использование блокирующих конденсаторов не сказывается отрицательно на функционировании MDIX.

### Выбор конденсаторов

Конденсаторы, используемые в бестрансформаторных системах, должны быть неполярными и отвечать конкретным требованиям системы к развязке по переменному и постоянному току. Для этого очень хорошо подходят многослойные высоковольтные керамические конденсаторы. В отношении выбора номинала блокирующих конденсаторов стандарт INCITS 263-1995 TP-PMD (на витые пары для кольцевых топологий с маркерным доступом, зависимые от физической среды) ANSI требует, чтобы физический уровень соответствовал стандартам на затухание несогласованности, как по амплитуде, так и по фазе. В случае неэкранированной витой пары затухание несогласованности должно быть больше 16 дБ при диапазоне импеданса ( $100 \pm 15$ ) Ом, номинально резистивными, с фазовым углом менее  $3^\circ$  в диапазоне частот 2–80 МГц.

Поскольку импеданс последовательно включённого конденсатора будет наибольшим на низких частотах, особый интерес представляет рабочая точка 2 МГц. Минимальная расчётная ёмкость, соответствующая стандарту на частоте 2 МГц, равна 30,42 нФ. Рекомендуемым значением является 33 нФ, потому что это ближайший стандартный номинал, и проверочные испытания дают основания утверждать, что это значение приемлемо.

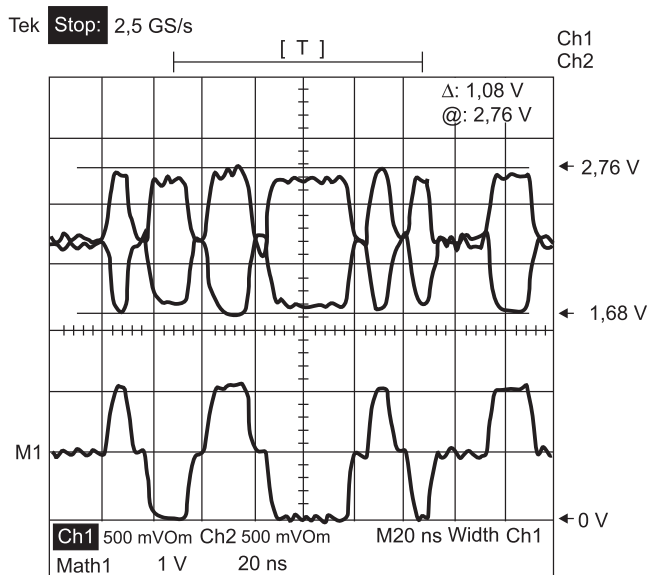


Рисунок 8. Пример сигнала, передаваемого со скоростью 100 Мбит/с, при отсутствии трансформатора

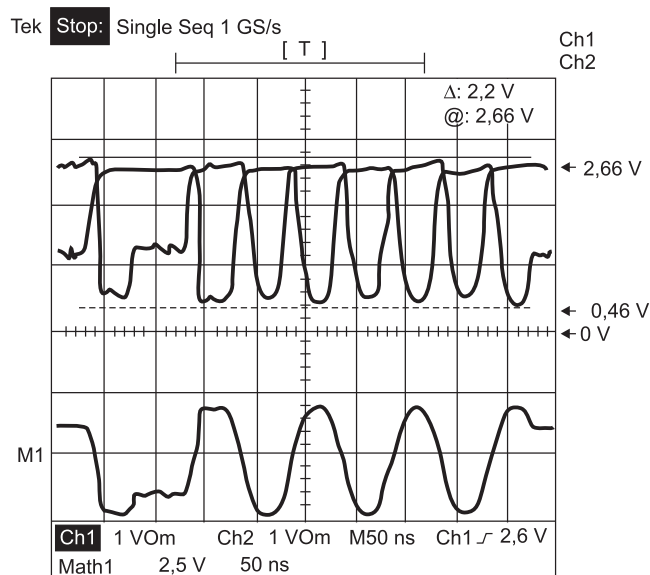
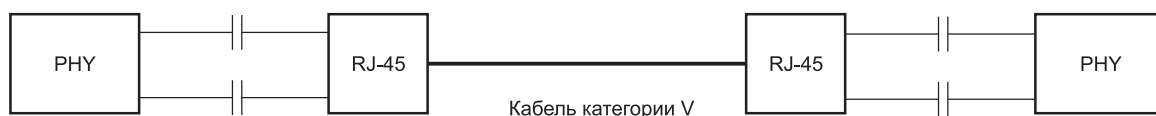


Рисунок 9. Пример сигнала, передаваемого со скоростью 10 Мбит/с, при отсутствии трансформатора



A: Топология соединения с кабельными конденсаторами на одном конце и трансформатором на другом конце



B: Топология соединения с кабельными конденсаторами на обоих концах



C: Топология с одним комплектом развязывающих конденсаторов в кабеле

**Рисунок 10.** Нестандартные топологии сетевых соединений

Хотя теоретического верхнего предела для ёмкости нет, характеристики развязки по постоянному току для неполярных конденсаторов имеют тенденцию к уменьшению при возрастании ёмкости.

## Особенности топологии

Типичная конфигурация сети состоит из двух узлов физического уровня, соединённых кабелем, с трансформаторами в каждом узле.

Можно соединить узел с емкостной развязкой как с узлом, имеющим емкостную развязку, так и с узлом, имеющим трансформаторную развязку, или даже с узлом вообще без развязки. Последний вариант подразумевает, что между двумя узлами будет только один комплект блокирующих конденсаторов (рисунок 10). Соединения можно выполнить с использованием 100-Ом кабелей в виде витой пары категории 5 или прямо на печатных платах, с помощью 50-Ом печатных проводников (как на объединительных платах).

Хотя любая из этих возможных топологий хорошо работает при длинах соединений менее 1 метра, каждая из них может создавать определённые риски для системы при увеличении длин соединений.

Поэтому сетевые соединения, сконфигурированные с использованием нестандартных топологий, необходимо проверять на уровне конкретной системы.

## Результаты проверки

Чтобы проверить работу бестрансформаторной системы, устройство DP83848 было сконфигурировано по схеме, показанной на рисунке 5, с использованием

конденсаторов номиналом 0,1 мкФ и 33 нФ. Было проведено стандартное тестирование на соответствие требованиям IEEE, а также проверка частоты появления битовых ошибок. Проверка частоты появления битовых ошибок проводилась как с традиционным устройством на другом конце канала связи, использующим трансформатор, так и с бестрансформаторным устройством.

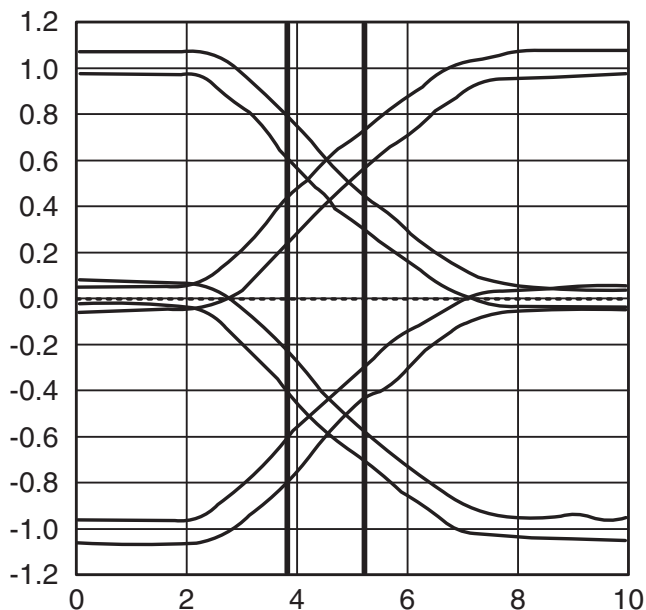
Испытание на соответствие требованиям IEEE проводилось на бестрансформаторном интерфейсе как с прямым, так и с перекрёстными кабелями. Результаты показали необходимое соответствие при критических параметрах режима передачи со скоростью 100 Мбит/с (дрожание, обратные потери при приёме/передаче,  $V_{\text{вых.дифф.}}$ ). Другие тесты IEEE, которые предполагают моделирование наихудшего случая нагрузки кабеля, пройдены не были, что говорит в поддержку рекомендации использовать нестандартные бестрансформаторные системы только в конфигурации с короткими длинами соединений.

В режиме связи со скоростью 10 Мбит/с, как и ожидалось, многие тесты показали несоответствие требованиям. При проведённых испытаниях на частоту появления битовых ошибок безошибочная работа бестрансформаторной схемы была получена при длинах соединений до 100 метров как в режиме 10 Мбит/с, так и в режиме 100 Мбит/с.

В каждом испытании параметры канала связи были сконфигурированы для работы в обоих режимах, 10 и 100 Мбит/с, а испытываемой схеме было позволено автоматически согласовывать параметры канала связи с устройством на другом конце.

Использовались следующие параметры испытания на частоту появления битовых ошибок:

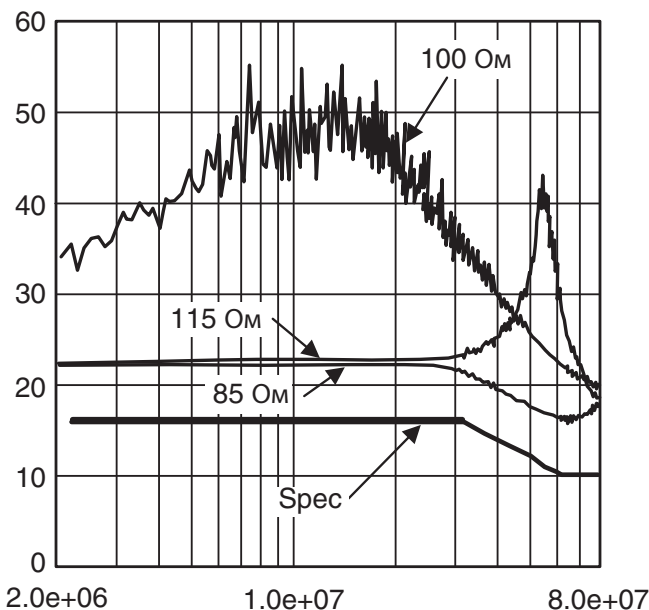
- Длины пакетов: 1514 байт (+CRC).



**Рисунок 11.** Дрожание в режиме 100 Мбит/с с блокирующими конденсаторами ёмкостью 33 нФ

- Минимальный межкадровый интервал (960 нс в режиме 100 Мбит/с, 9,6 мкс в режиме 10 Мбит/с).
- 10 млн отправленных пакетов (в режиме 100 Мбит/с).
- 1 млн отправленных пакетов (в режиме 10 Мбит/с).
- Полнодуплексный канал связи.
- Функция Auto-MDIX.
- Длины кабелей: до 100 м.
- Обнаружение энергии отключено (состояние, принятое по умолчанию).

Результаты проведённых испытаний с конденсаторами ёмкостью 0,1 мкФ и 33 нФ оказались похожими. На рисунках 11–14 представлены результаты прохождения испытаний в режиме 100 Мбит/с при использовании конденсаторов ёмкостью 33 нФ. На каждой диаграмме жирные вертикальные линии указывают границы прохождения/непрохождения испытаний.



**Рисунок 12.** Затухание несогласованности при приёме в режиме 100 Мбит/с с блокирующими конденсаторами ёмкостью 33 нФ

**Расчёт минимальной рекомендуемой ёмкости**

Минимальную последовательно включённую ёмкость можно рассчитать с помощью следующего выражения для обратных потерь (затухания несогласованности):

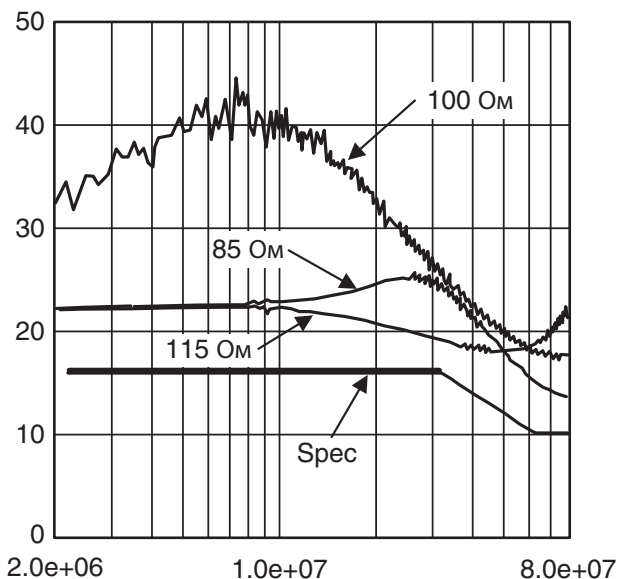
$$\text{Обратные потери} = -20 \text{ Log } |(Z_{\text{нагр}} - Z_0)| / |(Z_{\text{нагр}} + Z_0)|, \quad (1)$$

где: Обратные потери = 16 дБ,  $Z_0 = 100 \text{ Ом}$ ,  $Z_{\text{нагр}} = 100 + 1/j\omega C + 1/j\omega C \text{ Ом}$  (из схемы на рисунке 5).

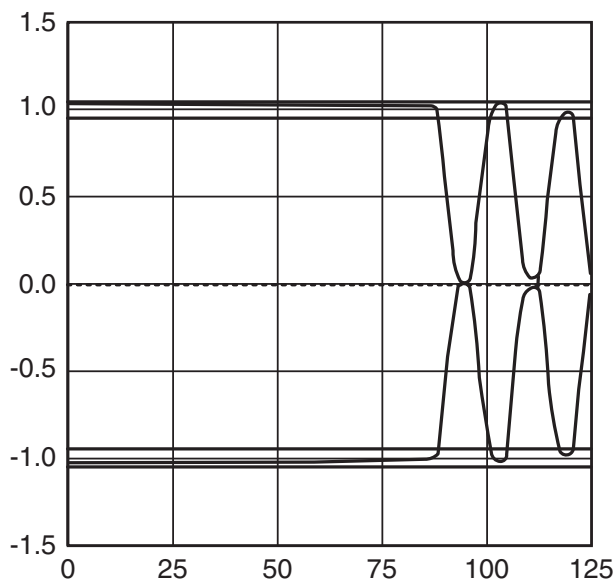
Подставляя вышеприведённые значения в выражение 1 и решая его, получаем:

$$C = 0,0622. \quad (2)$$

На частоте 2 МГц минимальное значение ёмкости последовательно включённого блокирующего конденсато-



**Рисунок 13.** Затухание несогласованности при передаче в режиме 100 Мбит/с с блокирующими конденсаторами ёмкостью 33 нФ



**Рисунок 14.** Выход дифф. в режиме 100 Мбит/с с блокирующими конденсаторами ёмкостью 33 нФ

ра на основании требования к обратным потерям должно быть 4,95 нФ.

Стандарт ANSI также устанавливает ограничение на фазовый угол нагрузки (максимум  $\pm 3^\circ$ ). Для расчёта фазы 100-Ом нагрузка при фазовом угле  $3^\circ$  представляет собой случай наихудшей ёмкости.

$$2 \times 1 / C = 100 \sin(s3^\circ) = 5,233. \quad (3)$$

Решая уравнение 3 для ёмкости при частоте 2 МГц, получаем 30,42 нФ, что представляет собой минимальное значение ёмкости конденсатора, которое требуется для выполнения требований к фазовому углу. Рекомендуемое значение 33 нФ является ближайшим стандартным номиналом, и проверочные испытания дают основания утверждать, что это значение приемлемо.

## Заключение

В заключение в данной статье были предложены рекомендации по конфигурированию устройств PHYTER в нестандартных бестрансформаторных сетевых системах. Рекомендации включали в себя использова-

ние неполярных конденсаторов ёмкостью 33 нФ или более для развязки по постоянному току с сетевым кабелем, при этом следует выбирать минимальный номинал развязки по постоянному току, отвечающий требованиям конкретной системы. Поскольку бестрансформаторная конфигурация даёт несимметричную систему сигналов в режиме 10 Мбит/с, которая выходит за рамки рекомендованного рабочего диапазона драйверов передачи со скоростью 10 Мбит/с, рекомендуется использовать работу в принудительном режиме со скоростью 100 Мбит/с.

В поддержку этих рекомендаций были представлены рабочие условия, которые требуются для функций приёма и передачи компонентов PHYTER. Представлены результаты испытаний, которые подтверждают частоту появления битовых ошибок устройств PHYTER и соответствие требованиям стандарта IEEE.

## Литература

1. Application Report SNLA088A—October 2006—Revised April 2013

## Легко разрабатывать и объединять интуитивные автомобильные информационные системы одним нажатием, используя NFC-транспондеры от TI



*Транспондер NFC позволяет одним нажатием объединять два устройства с идентификацией и интерфейсом для обслуживания*

TI объявила о выпуске первого в отрасли NFC-транспондера с активным двойным интерфейсом в соответствии с автомобильной квалификацией Q100.

Транспондер RF430CL330H-Q1 даёт возможность простого безопасного

объединения двух устройств, используя "Out of Band" (OOB) модель объединения для Bluetooth®, Bluetooth® Smart и Wi-Fi® между смартфоном, снабжённым NFC, или планшетом и автомобильной информационной системой. Объединение и связывание или выполнение NFC-доступной защищённой Wi-Fi® настройки (WPS) одним нажатием для конфигурирования специфических настроек драйвера при вхождении в автомобиль исключает сложные ручные процедуры.

Высоко оптимизированный NFC-интерфейс может также служить как безопасное конфигурирование служебного интерфейса для диагностических данных, поддерживая скорости передачи данных 106, 212, 424 и 848 кбод, что предоставляет максимальную коммуникационную гиб-

кость. Транспондер RF430CL330H-Q1 поддерживает I<sup>2</sup>C или последовательный периферийный интерфейс (SPI) для соединения с главным информационным процессором транспортного средства, включая DRA74x "Jacinto 6" или DRA72x "Jacinto 6 Eco" автомобильные системы на кристалле (SoCs) от TI.

### Стоимость и доступность

Транспондер NFC RF430CL330H-Q1 с активным сдвоенным интерфейсом доступен за \$0.62 USD при объемах 1000 штук (при покупке на сайте производителя). Разработчики могут начать оценку своих NFC проектов, используя активные транспондеры RF430CL330H-Q1 с помощью целевой платы RF430CL330HTB стоимостью \$19 USD. Также разработчики могут найти поддержку и обучающие материалы на сайте: [www.training.ti.com](http://www.training.ti.com).

Артём Рогачев (Artem Rogachev)

Окончание. Начало в №4-2015 бюллетеня «Компоненты TI»

# Создание надёжных систем горячего резервирования

2 часть

## Примеры схем с использованием LM5066I

В данном разделе приведены примеры решений на LM5066I для 48 В 10 А и 48 В 20 А. К обоим примерам применима схема, показанная на рисунке 13. Анализ показывает, что для схемы на 20 А необходима цепь  $dv/dt$ , а для схемы на 10 А она не обязательна.

### Надёжная схема горячей замены на 48 В 10 А с шиной управления питанием

#### Требования к конструкции

В таблице 2 приведены параметры конструкции, которые должны быть известны до начала разработки цепи горячей замены.

При заряде выходного конденсатора через МОП-транзистор горячей замены общее рассеивание энер-

гии полевым транзистором равно общей энергии, хранящейся в выходном конденсаторе ( $1/2CV^2$ ). Поэтому и входное напряжение, и выходная ёмкость будут определять перегрузку, испытываемую МОП-транзистором. Максимальный ток нагрузки определит ограничение тока и выбор резистора токового датчика. Кроме того, на выбор  $R_{DS(ON)}$  МОП-транзистора и количества используемых МОП-транзисторов будут влиять максимальный ток нагрузки, максимальная окружающая температура и тепловые свойства ПП ( $R_{\theta CA}$ ).  $R_{\theta CA}$  сильно зависит от компоновки платы и количества меди (теплоотвода), подключённой к стоку МОП-транзистора.

#### Процедура разработки

#### Выбор $R_{SNS}$ и настройка CL

LM5066I может использоваться с  $V_{CL}=26$  или 50 мВ. Обычно использование границы в 26 мВ приводит к бо-

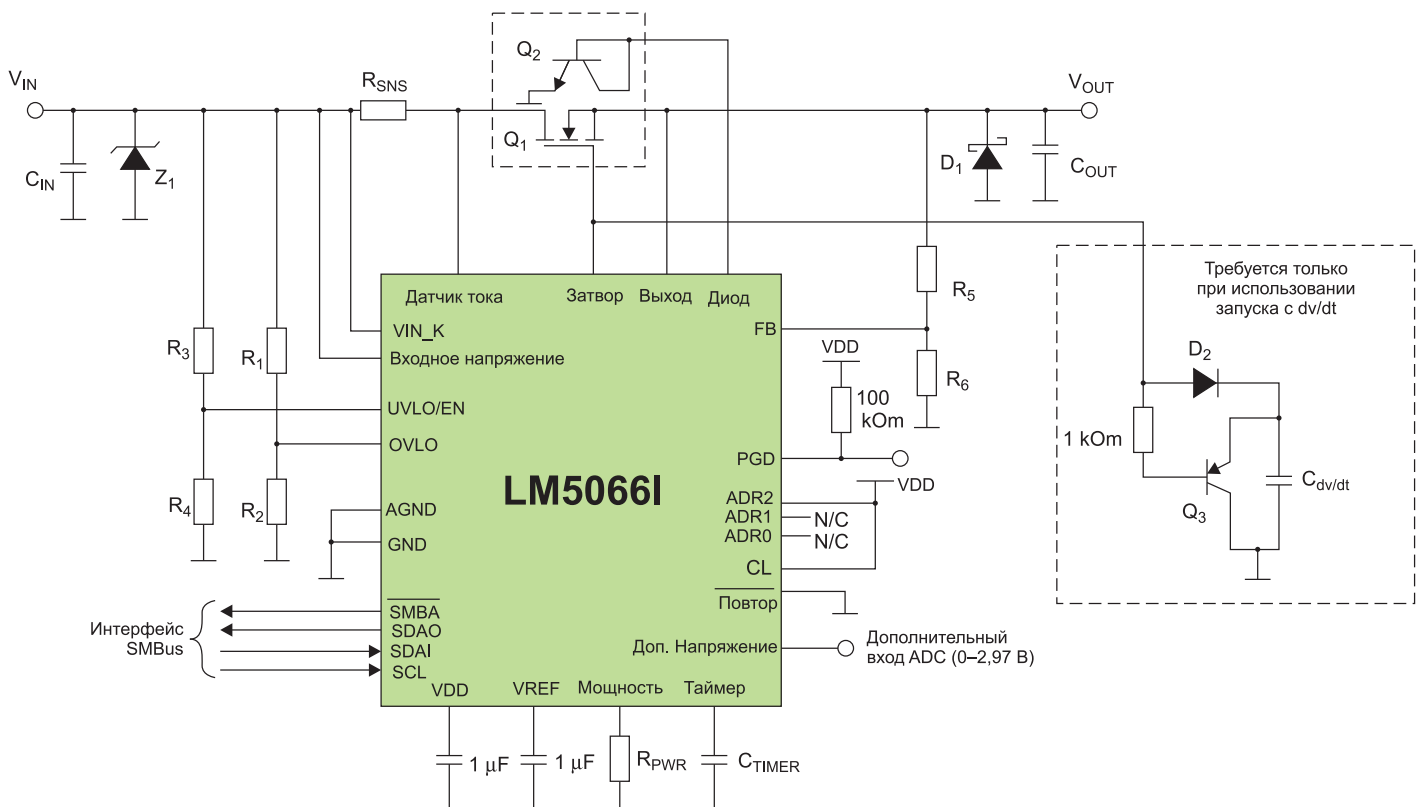


Рисунок 13. Схема применения LM5066I

лее низкому  $R_{SNS}$  и меньшим потерям  $I^2R$ . Этот вариант выбран в данной схеме подключением контакта CL напрямую к  $V_{DD}$ . Корпорация TI рекомендует рассчитывать на то, что ограничение тока будет хотя бы на 10% выше максимального тока нагрузки для учёта погрешности ограничения тока LM50661. При расчёте на ограничение в 11 А токочувствительный резистор можно рассчитать следующим образом:

$$R_{SNS,CLC} = \frac{I_{LIM}}{V_{CL}} = \frac{26 \text{ мВ}}{11 \text{ А}} = 2,36 \text{ мОм}. \quad (8)$$

Обратите внимание, что для многих применений может не потребоваться точное ограничение тока. В таком случае проще выбрать резистор датчика тока следующего меньшего номинала. Для данного применения для ограничения тока на уровне 13 А можно использовать резистор на 2 мОм.

### Выбор полевых транзисторов горячей замены

Чрезвычайно важно правильно выбрать МОП-транзистор для схемы горячей замены. Он должен отвечать следующим требованиям:

- Номинальное  $V_{DS}$  должно быть достаточным, чтобы работать с максимальным напряжением системы, а также переходным процессом в виде затухающих колебаний, вызванных импульсными помехами. Для большинства систем на 48 В хорошим выбором будет полевой транзистор на 100 В.
- Область безопасной работы (ОБР) полевого транзистора должна быть достаточной, чтобы он работал во всех возможных случаях использования: запуске, горячем запуске, запуске в короткое замыкание.
- $R_{DS(ON)}$  должно быть достаточно низким, чтобы поддерживать температуру перехода и корпуса ниже максимально допустимого значения полевого транзистора. Фактически рекомендуется сохранять температуру состояния покоя полевого транзистора ниже 125 °С, чтобы он мог обрабатывать импульсные помехи.
- Максимальное номинальное значение длительного тока должно быть выше тока нагрузки, и импульсный ток стока должен быть выше ограничения тока предохранителя цепи. Большинство МОП-структур, которые удовлетворяют первым трём требованиям, также соответствуют этим двум.
- Требуется номинальное значение  $V_{GS} \pm 20 \text{ В}$ , так как LM50661 может формировать напряжение на затворе МОП-транзистора до 16 В.

Для данной структуры был выбран PSMN4R8-100BSE ввиду его низкого  $R_{DS(ON)}$  и отличной ОБР. После выбора МОП-структуры можно рассчитать максимальную температуру корпуса в состоянии покоя следующим образом:

$$T_{C,MAX} = T_{A,MAX} + R_{\theta CA} \times I^2_{LOAD,MAX} \times R_{DS(ON)}(T_j). \quad (9)$$

Обратите внимание, что  $R_{DS(ON)}$  – сильная функция температуры перехода, которая для большинства МОП-транзисторов с корпусом D2PACK будет очень близка к температуре корпуса. Для того чтобы сузить оконча-

Таблица 2. Требования к конструкции системы горячей замены на 10 А

Параметр конструкции	Значение для примера
Диапазон входного напряжения	От 40 до 60 В
Максимальный ток нагрузки	10 А
Максимальная ёмкость нагрузки схемы горячей замены	220 мкФ
Максимальная температура окружающей среды	85 °С
$R_{\theta CA}$ (функция размещения) МОП-транзистора	30 °С/Вт
Проходит «горячий запуск» на выходе?	Да
Проходит «запуск в короткое замыкание»?	Да
Отключена ли нагрузка, пока затвор питания не установлен?	Да
Можно ли «горячую» плату подключить обратно?	Да

тельные значения  $R_{DS(ON)}$  и  $T_{C,MAX}$ , может потребоваться несколько итераций предыдущих уравнений. В соответствии с техническим паспортом PSMN4R8-100BSE его  $R_{DS(ON)}$  удваивается при 110 °С. Уравнение 10 использует это значение  $R_{DS(ON)}$ , чтобы вычислить  $T_{C,MAX}$ . Обратите внимание, что вычисленное  $T_{C,MAX}$  близко к температуре, предположенной для  $R_{DS(ON)}$ . Поэтому дальнейших итераций не требуется.

$$T_{C,MAX} = 85 \text{ °С} + 30 \frac{\text{°С}}{\text{Вт}} \times (10 \text{ А})^2 \times (2 \times 4,8 \text{ мОм}) = 114 \text{ °С}. \quad (10)$$

### Выбор ограничения мощности

В общем случае предпочтительна установка нижнего уровня ограничения мощности, чтобы снизить напряжение на МОП-структуру. Тем не менее если установить очень низкий предел мощности для LM50661, он должен регулировать ток полевого транзистора, и, таким образом, напряжение на токочувствительном резисторе ( $V_{SNS}$ ) будет иметь очень низкое значение.  $V_{SNS}$  можно вычислить, как показано в уравнении 11:

$$V_{SNS} = \frac{P_{LIM} \times R_{SNS}}{V_{DS}}. \quad (11)$$

Чтобы избежать существенного снижения точности ограничения мощности, не рекомендуется использовать  $V_{SNS}$  менее 4 мВ. На основе этого требования минимальное разрешённое ограничение мощности можно вычислить следующим образом:

$$P_{LIM,MIN} = \frac{V_{SNS,MIN} \times V_{IN,MAX}}{R_{SNS}} = \frac{4 \text{ мВ} \times 60 \text{ В}}{2 \text{ мОм}} = 120 \text{ Вт}. \quad (12)$$

Для большинства применений ограничение мощности можно установить на  $P_{LIM,MIN}$  с помощью уравнения 13. Здесь  $R_{SNS}$  и  $R_{PWR}$  даны в омах, а  $P_{LIM}$  – в ваттах.

$$R_{PWR} = \frac{P_{LIM} \times R_{SNS} - 0,043}{7 \times 10^{-6}} = \frac{120 \times 0,002 - 0,043}{7 \times 10^{-6}} = 28143 \text{ Ом}. \quad (13)$$

Необходимо выбрать ближайший доступный резистор. В данном случае был выбран резистор на 28,2 кОм.

**Установить таймер сбоя**

Таймер сбоя срабатывает, когда схема горячей замены находится в режиме ограничения мощности или ограничения тока, что случается во время запуска. Таким образом, таймер необходимо установить достаточной длительности, которая позволит избежать истечения времени в ходе запуска. Если схема запускается прямо в ограничение тока ( $I_{LIM} \times V_{DS} < P_{LIM}$ ), максимальное время запуска можно высчитать по уравнению 14:

$$t_{start,max} = \frac{C_{OUT} \times V_{IN,MAX}}{I_{LIM}} \quad (14)$$

Для большинства структур (включая данный пример)  $I_{LIM} \times V_{DS} > P_{LIM}$ , так что схема горячей замены запустится в режиме ограничения мощности и перехода в режим ограничения тока. В этом случае максимальное время запуска будет определяться следующим образом:

$$t_{start,max} = \frac{C_{OUT}}{2} \times \left[ \frac{V_{IN,MAX}^2}{P_{LIM}} + \frac{P_{LIM}}{I_{LIM}^2} \right] = \frac{220 \text{ мкФ}}{2} \times \left[ \frac{(60 \text{ В})^2}{120 \text{ Вт}} + \frac{120 \text{ Вт}}{(13 \text{ А})^2} \right] = 3,38 \text{ мс} \quad (15)$$

Обратите внимание, что предыдущее время запуска основано на стандартных значениях ограничения тока и мощности. Чтобы убедиться, что таймер никогда не закончит счёт во время запуска, рекомендуется установить время сбоя ( $t_{fit}$ ) равным  $1,5 \times t_{start,max}$ , или 5,1 мс. Это учитывает разницу в ограничении мощности, тока таймера и ёмкости таймера. Поэтому  $C_{TIMER}$  можно вычислить следующим образом:

$$C_{TIMER} = \frac{t_{fit} \times i_{timer}}{V_{timer}} = \frac{5,1 \text{ мс} \times 75 \text{ мкА}}{3,9 \text{ В}} = 98,07 \text{ нФ} \quad (16)$$

Следующий больший номинал  $C_{TIMER}$  равен 100 нФ. После выбора  $C_{TIMER}$  реальное запрограммированное время сбоя можно вычислить следующим образом:

$$t_{fit} = \frac{C_{TIMER} \times V_{timer}}{i_{timer}} = \frac{100 \text{ нФ} \times 3,9 \text{ В}}{75 \text{ мкА}} = 5,2 \text{ мс} \quad (17)$$

**Проверить ОБР МОП-структуры**

После выбора ограничения мощности и таймера сбоя обязательно нужно убедиться, что полевой транзистор не выходит за пределы ОБР в ходе всех тестовых состояний. Во время «горячего запуска на КЗ» предохранитель сработает, цепь отключится и LM5066I перезапустится с ограничением мощности, пока не отработает таймер. В худшем случае,  $V_{DS}$  МОП-структуры станет равным  $V_{IN,MAX}$ ,  $I_{DS}$  станет равным  $P_{LIM}/V_{IN,MAX}$ , а перегрузка будет длиться в течение  $t_{fit}$ . Для данного примера схема МОП-транзистор будет иметь режим 60 В 2 А в течение 5,2 мс.

На основе ОБР PSMN4R8-100BSE можно выяснить, что он может выдержать 60 В 30 А в течение 1 мс и 60 В 6 А

в течение 10 мс. ОБР в 5,2 мс можно экстраполировать приближением ОБР ко времени в качестве функции мощности, как показано в уравнении 18:

$$I_{SOA}(t) = a \times t^m$$

$$m = \frac{\ln\left(\frac{I_{SOA}(t_1)}{I_{SOA}(t_2)}\right)}{\ln\left(\frac{t_1}{t_2}\right)} = \frac{\ln\left(\frac{30 \text{ А}}{6 \text{ А}}\right)}{\ln\left(\frac{1 \text{ мс}}{10 \text{ мс}}\right)} = -0,7 \quad (18)$$

$$a = \frac{I_{SOA}(t_1)}{t_1^m} = \frac{30 \text{ А}}{(1 \text{ мс})^{-0,7}} = 30 \text{ А} \times (\text{мс})^{0,7}$$

$$I_{SOA}(5,2 \text{ мс}) = 30 \text{ А} \times (\text{мс})^{0,7} \times (5,2 \text{ мс})^{-0,7} = 9,46 \text{ А}$$

Обратите внимание, что ОБР МОП-структуры указывается при температуре корпуса в 25 °С, хотя при горячем запуске температура корпуса может быть гораздо выше. ОБР должна быть снижена по  $T_{C,MAX}$  с помощью уравнения 19:

$$I_{SOA}(5,2 \text{ мс}, T_{C,MAX}) = I_{SOA}(5,2 \text{ мс}, 25 \text{ °С}) \times \frac{T_{J,ABSMAX} - T_{C,MAX}}{T_{J,ABSMAX} - 25 \text{ °С}} = 9,46 \text{ А} \times \frac{175 \text{ °С} - 114 \text{ °С}}{175 \text{ °С} - 25 \text{ °С}} = 3,85 \text{ А} \quad (19)$$

На основе этого расчёта МОП-структура может выдержать 3,85 А 60 В в течение 5,2 мс при повышенной температуре корпуса, но от неё требуется выдержать только 2 А во время горячего запуска. Поэтому существует большой запас, и данная схема будет надёжной. В общем случае рекомендуется, чтобы МОП-структура могла выдерживать в 1,5 раза больше требуемого во время горячего запуска. Это обеспечит запас, покрывающий разность ограничения мощности и времени сбоя.

**Надёжная структура горячего резервирования на 48 В 20 А с шиной управления PMBus***Требования к конструкции*

Таблица 3. Требования к конструкции горячего резервирования на 20 А

Параметр конструкции	Значение для примера
Диапазон входного напряжения	От 40 до 60 В
Максимальный ток нагрузки	20 А
Максимальная ёмкость нагрузки	440 мкФ
Максимальная температура окружающей среды	85 °С
$R_{\theta SA}$ МОП-структуры (функция расположения)	30 °С/Вт
Проходит «горячий запуск» на выходе?	Да
Проходит «запуск в короткое замыкание»?	Да
Отключена ли нагрузка, пока уровень сигнала затвора не стабилен?	Да
Можно ли горячую плату подключить обратно?	Да

*Подробная процедура проектирования*

**Выбор резистора шунта и установка CL**

LM5066I может использоваться с  $V_{CL}$  с 26 или 50 мВ. Обычно использование границы в 26 мВ приводит к более низкому  $R_{SNS}$  и меньшим потерям  $I^2R$ . Данный вариант и выбран в рассматриваемой схеме подключением контакта CL напрямую к  $V_{DD}$ . Рекомендуется рассчитывать на то, что ограничение тока будет хотя бы на 10% выше максимально допустимого тока нагрузки для учёта погрешности ограничения тока LM5066I. При расчёте на ограничение тока в 22 А резистор шунта можно рассчитать следующим образом:

$$R_{SNS,CLC} = \frac{I_{LIM}}{V_{CL}} = \frac{26 \text{ мВ}}{22 \text{ А}} = 1,18 \text{ мОм}. \quad (20)$$

Для данного применения можно использовать резистор на 1 мОм для ограничения тока в 26 А.

**Выбор полевых транзисторов схемы горячей замены**

Для данной схемы был выбран PSMN4R8-100BSE ввиду его низкого  $R_{DSON}$  и отличной ОБР. После выбора МОП-структуры можно рассчитать максимальную температуру корпуса в состоянии покоя следующим образом:

$$T_{C,MAX} = T_{A,MAX} + R_{\theta CA} \times P_{LOAD,MAX} \times R_{DSON}(T_j) \quad (21)$$

Обратите внимание, что  $R_{DSON}$  – сильная функция температуры перехода, которая для большинства МОП-структур с корпусом D2PACK будет очень близка к температуре корпуса. Для того чтобы сузить окончательные значения  $R_{DSON}$  и  $T_{C,MAX}$ , может потребоваться несколько итераций предыдущих уравнений. В соответствии с техническим паспортом PSMN4R8-100BSE, его  $R_{DSON}$  удваивается при 110 °С. Уравнение 22 использует это значение  $R_{DSON}$ , чтобы вычислить  $T_{C,MAX}$ . Обратите внимание, что вычисленное  $T_{C,MAX}$  уже выше абсолютного максимума для полевого транзистора.

$$T_{C,MAX} = 85 \text{ °С} + 30 \frac{\text{°С}}{\text{W}} \times (20 \text{ А})^2 \times (2 \times 4,8 \text{ мОм}) = 200 \text{ °С}. \quad (22)$$

Это подразумевает, что для данной структуры нужно использовать два полевых транзистора. Во время работы в режиме покоя МОП-структуры полностью открыты и будут делить ток поровну. Поэтому, подразумевая, что каждый полевой транзистор забирает половину тока, мы можем вычислить  $T_{C,MAX}$  по уравнению 23. Теперь  $T_{C,MAX}$  составляет 114 °С, что вполне разумно.

$$T_{C,MAX} = 85 \text{ °С} + 30 \frac{\text{°С}}{\text{W}} \times \left(\frac{20 \text{ А}}{2}\right)^2 \times (2 \times 4,8 \text{ мОм}) = 114 \text{ °С}. \quad (23)$$

**Выбор ограничения мощности**

В общем случае предпочтительна установка нижнего допустимого ограничения мощности, чтобы снизить нагрузку на МОП-структуру. Тем не менее, если установить очень низкий предел мощности для LM5066I, то ток по-

левого транзистора и, таким образом, напряжение резистора шунта ( $V_{SNS}$ ) будут иметь очень низкое значение.  $V_{SNS}$  можно рассчитать следующим образом:

$$V_{SNS} = \frac{P_{LIM} \times R_{SNS}}{V_{DS}} \quad (24)$$

Чтобы избежать существенного дрейфа ограничения мощности, не рекомендуется использовать  $V_{SNS}$  менее 4 мВ. На основе этого требования минимальное разрешённое ограничение мощности можно вычислить следующим образом:

$$P_{LIM,MIN} = \frac{V_{SNS,MIN} \times V_{IN,MAX}}{R_{SNS}} = \frac{4 \text{ мВ} \times 60 \text{ В}}{1 \text{ мОм}} = 240 \text{ Вт}. \quad (25)$$

Для большинства применений ограничение мощности можно установить на  $P_{LIM,MIN}$ , как показано в уравнении 26. Здесь  $R_{SNS}$  и  $R_{PWR}$  даны в омах, а  $P_{LIM}$  – в ваттах.

$$R_{PWR} = \frac{P_{LIM} \times R_{SNS} - 0,043}{7 \times 10^{-6}} = \frac{240 \times 0,001 - 0,043}{7 \times 10^{-6}} = 28143 \text{ Ом}. \quad (26)$$

Необходимо выбрать ближайший доступный резистор. В данном случае был выбран резистор на 28,2 кОм.

**Установить таймер сбоя**

Максимальное время запуска составляет 3,37 мс, как показано в уравнении 27.

$$t_{start,max} = \frac{C_{OUT}}{2} \times \left[ \frac{V_{IN,MAX}^2}{P_{LIM}} + \frac{P_{LIM}}{I_{LIM}^2} \right] = \frac{440 \text{ мкФ}}{2} \times \left[ \frac{(60 \text{ В})^2}{240 \text{ Вт}} + \frac{240 \text{ Вт}}{(26 \text{ А})^2} \right] = 3,37 \text{ мс}. \quad (27)$$

Обратите внимание, что предыдущее время запуска основано на стандартных значениях ограничения тока и мощности. Чтобы убедиться, что таймер не сработает во время запуска, рекомендуется установить время сбоя ( $t_{fit}$ ) равным  $1,5 \times t_{start,max}$ , или 5,1 мс. Это учитывает разницу в ограничении мощности, ток таймера и ёмкость таймера. Поэтому  $C_{TIMER}$  можно вычислить следующим образом:

$$C_{TIMER} = \frac{t_{fit} \times i_{timer}}{V_{timer}} = \frac{5,1 \text{ мс} \times 75 \text{ мкА}}{3,9 \text{ В}} = 98,07 \text{ нФ}. \quad (28)$$

Ближайший номинал  $C_{TIMER}$  составляет 100 нФ. После выбора  $C_{TIMER}$  реальное запрограммированное время сбоя можно вычислить следующим образом:

$$t_{fit} = \frac{C_{TIMER} \times V_{timer}}{i_{timer}} = \frac{100 \text{ нФ} \times 3,9 \text{ В}}{75 \text{ мкА}} = 5,2 \text{ мс}. \quad (29)$$

**Проверить область безопасной работы МОП-структуры**

После выбора ограничения мощности и расчёта таймера сбоя обязательно нужно убедиться, что полевой



транзистор не выходит за пределы ОБР в ходе всех тестовых состояний. Во время «горячего запуска» предохранитель цепи отключится и LM5066I перезапустится с ограничением мощности, пока не отработает таймер. В худшем случае  $V_{DS}$  МОП-структуры станет равным  $V_{IN,MAX}$ ,  $I_{DS}$  станет равным  $P_{LIM} / V_{IN,MAX}$ , а событие перегрузки будет длиться в течение  $t_{fit}$ . Для данного примера схема МОП-структура будет работать при 60 В 4 А в течение 5,2 мс.

Когда схема горячей замены находится в режиме ограничения мощности, а полевые транзисторы работают в области насыщения ( $V_{GS}$  близко к пороговому напряжению), разработчик не может считать, что полевые транзисторы будут поровну распределять ток. Даже небольшое различие  $V_T$  приведёт к большой разнице в токе, переносимом двумя МОП-структурами. Таким образом, проверка ОБР должна проводиться с учётом наихудшего случая, — того, что весь ток идёт через один полевой транзистор.

На основе ОБР PSMN4R8-100BSE можно выяснить, что он может выдержать 60 В 30 А в течение 1 мс и 60 В 6 А в течение 10 мс. ОБР в 5,2 мс можно экстраполировать с помощью приближения ОБР ко времени в виде функции мощности, как показано в уравнении 30:

$$I_{SOA}(t) = a \times t^m;$$

$$m = \frac{\ln\left(\frac{I_{SOA}(t_1)}{I_{SOA}(t_2)}\right)}{\ln\left(\frac{t_1}{t_2}\right)} = \frac{\ln\left(\frac{30 \text{ А}}{6 \text{ А}}\right)}{\ln\left(\frac{1 \text{ мс}}{10 \text{ мс}}\right)} = -0,7;$$

$$a = \frac{I_{SOA}(t_1)}{t_1^m} = \frac{30 \text{ А}}{(1 \text{ мс})^{-0,7}} = 30 \text{ А} \times (\text{мс})^{0,7};$$

$$I_{SOA}(5,2 \text{ мс}, 25^\circ\text{C}) = 30 \text{ А} \times (\text{мс})^{0,7} \times (5,2 \text{ мс})^{-0,7} = 9,46 \text{ А}.$$

Обратите внимание, что ОБР МОП-структуры указывается при температуре корпуса в 25 °С, хотя при горячем запуске температура корпуса может быть гораздо выше. ОБР должна быть снижена по  $T_{C,MAX}$  с помощью уравнения 31:

$$I_{SOA}(5,2 \text{ мс}, T_{C,MAX}) =$$

$$= I_{SOA}(5,2 \text{ мс}, 25^\circ\text{C}) \times \frac{T_{J,ABSMAX} - T_{C,MAX}}{T_{J,ABSMAX} - 25^\circ\text{C}} =$$

$$= 9,46 \text{ А} \times \frac{175^\circ\text{C} - 114^\circ\text{C}}{175^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}} = 3,85 \text{ А}. \quad (31)$$

На основе этого расчёта, МОП-структура может выдержать 3,85 А 60 В в течение 5,2 мс при повышенной температуре корпуса, но от неё требуется выдержать 4 А во время горячего запуска. Кроме того, будет погрешность ограничения мощности и таймера, — так что использование данных настроек не означает, что ваша схема горячей замены надёжна.

### Переключение на запуск на основе $dv/dt$

Так как требования к разработке при подходе только с ограничением мощности не были соблюдены, необходимо также использовать контроль  $dv/dt$  на выходе, преимущества которого были описаны в разделе «Выбор полевых транзисторов схемы горячей замены».

### Выбор скорости нарастания выходного напряжения $V_{OUT}$

Бросок тока должен оставаться достаточно низким, чтобы оставлять МОП-структуру в её ОБР во время запуска. Обратите внимание, что общее распределение энергии в МОП-структуре во время запуска остаётся постоянным вне зависимости от времени броска тока. Поэтому растягивание его на более длительный период снизит нагрузку на МОП-структуру, так как при запуске будет отключена нагрузка.

При выборе скорости нарастания выходного напряжения необходимо подобрать её разумное значение, проверить ОБР и при необходимости снизить скорость нарастания. Используя 4 В/мс как начальную точку, бросок тока можно рассчитать следующим образом:

$$I_{INR} = C_{OUT} \times \frac{dv_{OUT}}{dt} = 440 \text{ мкФ} \times \frac{4 \text{ В}}{\text{мс}} = 1,76 \text{ А}. \quad (32)$$

Предполагая, что максимальное входное напряжение составляет 60 В, получим, что запуск займёт 15 мс. Обратите внимание, что рассеивание мощности полевым транзистором начнётся при  $V_{IN,MAX} \times I_{INR}$  и снизится до нуля по мере снижения  $V_{DS}$  МОП-структуры. Обратите внимание, что кривые ОБР подразумевают то же распределение мощности на данный период времени. Консервативным подходом является предположение о равномерном профиле мощности, где  $P_{FET} = V_{IN,MAX} \times I_{INR}$  для  $t = t_{запуска}/2$ . В этом случае ОБР можно проверить, посмотрев на импульс 60 В 1,76 А 7,5 мс. Используя ту же технику, что в разделе «Проверить область безопасной работы МОП-структуры», мы можем оценить ОБР МОП-структуры следующим образом:

$$I_{SOA}(7,5 \text{ мс}) = 30 \text{ А} \times (\text{мс})^{0,7} \times (7,5 \text{ мс})^{-0,7} = 7,32 \text{ А}. \quad (33)$$

Это значение необходимо снизить для учёта температуры. Для данного расчёта предполагается, что  $T_C$  может равняться  $T_{C,MAX}$  при подключении платы. Это может случиться, только если горячую плату отключают и подключают снова, не дав ей остыть. Это сложный случай, и для многих применений можно использовать  $T_{A,MAX}$  для данного снижения.

$$I_{SOA}(7,5 \text{ мс}, T_{C,MAX}) =$$

$$= I_{SOA}(7,5 \text{ мс}, 25^\circ\text{C}) \times \frac{T_{J,ABSMAX} - T_{C,MAX}}{T_{J,ABSMAX} - 25^\circ\text{C}} =$$

$$= 7,32 \text{ А} \times \frac{175^\circ\text{C} - 114^\circ\text{C}}{175^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}} = 2,98 \text{ А}. \quad (34)$$

Данный расчёт показывает, что МОП-структура точно останется в пределах своей ОБР во время запуска, если

скорость нарастания выходного напряжения будет 4 В/мс. Обратите внимание, что общее распределение энергии в полевом транзисторе во время запуска остаётся постоянным вне зависимости от скорости нарастания выходного напряжения. Поэтому более низкая скорость нарастания выходного напряжения всегда будет налагать меньшую нагрузку на полевой транзистор. Для того чтобы убедиться, что скорость нарастания выходного напряжения составляет максимум 4 В/мс, C<sub>dv/dt</sub> нужно выбрать следующим образом:

$$C_{dv/dt} = \frac{I_{SOURCE,MAX}}{4 \text{ В/мс}} = \frac{40 \text{ мкА}}{4 \text{ В/мс}} = 10 \text{ нФ}. \quad (35)$$

Затем стандартную скорость нарастания выходного напряжения и время запуска можно рассчитать как 2 В/мс, как показано в уравнении 36, при этом стандартное время запуска будет 30 мс.

$$V_{OUT,dv/dt} = \frac{I_{SOURCE}}{C_{dv/dt}} = \frac{20 \text{ мкА}}{10 \text{ нФ}} = 2 \text{ В/мс}. \quad (36)$$

### Выбор ограничения мощности и таймера сбоя

При выборе ограничения мощности необходимо удовлетворить 2 требования:

- Ограничение мощности должно быть достаточно большим, чтобы избежать работы с  $V_{SNS} < 4 \text{ мВ}$ .
- Ограничение мощности должно быть достаточно большим, чтобы убедиться, что таймер не включится во время запуска. Практически правильным является выбор ограничения мощности, в 2 раза превышающего  $I_{INR,MAX} \times V_{IN,MAX}$ .

На основе этого минимально разрешённое ограничение мощности можно вычислить следующим образом:

$$P_{LIM,MIN} = \max\left(\frac{V_{SNS,MIN} \times V_{IN,MAX}}{R_{SNS}}, 2 \times V_{IN,MAX} \times I_{INR,MAX}\right) = \max(240 \text{ Вт}, 211,2 \text{ Вт}) = 240 \text{ Вт}. \quad (37)$$

Затем ограничение мощности устанавливают равным  $P_{LIM,MIN}$ , используя уравнение 38. Здесь  $R_{SNS}$  и  $R_{PWR}$  даны в омах, а  $P_{LIM}$  – в ваттах.

$$R_{PWR} = \frac{P_{LIM} \times R_{SNS} - 0,043}{7 \times 10^{-6}} = \frac{240 \times 0,001 - 0,043}{7 \times 10^{-6}} = 28143 \text{ Ом}. \quad (38)$$

Необходимо выбрать ближайший доступный резистор. В данном случае был выбран резистор на 28,2 кОм.

Затем необходимо выбрать значение таймера сбоя. В общем, значение таймера должно уменьшаться, пока не будет достаточного запаса между доступной ОБР и импульсом мощности, который полевой транзистор испытывает при горячем запуске. Для данной структуры был выбран  $C_{TIMER}$  на 100 нФ, что соответствует 520 мкс. Доступная ОБР экстраполируется с использованием ранее описанного метода.

$$I_{SOA}(t) = a \times t^m;$$

$$m = \frac{\ln\left(\frac{I_{SOA}(t_1)}{I_{SOA}(t_2)}\right)}{\ln\left(\frac{t_1}{t_2}\right)} = \frac{\ln\left(\frac{100 \text{ А}}{30 \text{ А}}\right)}{\ln\left(\frac{0,1 \text{ мс}}{1 \text{ мс}}\right)} = -0,52;$$

$$a = \frac{I_{SOA}(t_2)}{t_2^m} = \frac{30 \text{ А}}{(1 \text{ мс})^{-0,52}} = 30 \text{ А} \times (\text{мс})^{0,52};$$

$$I_{SOA}(0,52 \text{ мс}, 25 \text{ °C}) = 30 \text{ А} \times (\text{мс})^{0,52} \times (0,52 \text{ мс})^{-0,52} = 42,3 \text{ А}.$$

Затем доступную ОБР снижают для учёта температуры:

$$I_{SOA}(0,52 \text{ мс}, T_{C,MAX}) = 42,3 \text{ А} \times \frac{175 \text{ °C} - 114 \text{ °C}}{175 \text{ °C} - 25 \text{ °C}} = 17,17 \text{ А}. \quad (40)$$

Обратите внимание, что потребовалось только 4 А, в то время как полевой транзистор может выдерживать 17,17 А. Это подтверждает, что схема будет надёжной и имеет большой «запас прочности».

## Заключение

Данное руководство по применению представляет собой концепцию, позволяющую убедиться в том, что МОП-структура безопасно работает в цепи горячего резервирования.

## Литература

1. Выбор транзисторов для применений горячей замены (SLVA379).
2. Разработка устройств горячей замены с применением TPS2490/91 и изменение температуры при неустановившемся теплообмене МОП-структуры (SLVA158).
3. Ограничительные TVS-диоды в цепях горячей замены. Силовая электроника 29.9.2011.
4. <http://powerelectronics.com/circuit-protection-ics/tvs-clamping-hot-swap-circuits>.
5. Паспорт технических данных PSMN4R8-100BSE, компания NXP Semiconductors, 12.4.2013.
6. Оригинал данной статьи. «Robust Hot Swap Design», (SLVA673A), [www.ti.com/lit/an/slva673a/slva673a.pdf](http://www.ti.com/lit/an/slva673a/slva673a.pdf).

# Большее расстояние с меньшим энергопотреблением. Новые микроконтроллеры CC1310 с технологией SimpleLink™

Микроконтроллеры от TI CC1310 радиочастотного (RF) диапазона до 1 Гц с технологией SimpleLink™ теперь доступны с минимальным энергопотреблением и высокоэффективным радиочастотным модулем для «Интернета вещей» (IoT)



Texas Instruments объявила о доступности очередного компонента платформы SimpleLink™ со сверхнизким энергопотреблением, разработанной, чтобы помочь потребителям добавлять к своим решениям для «Интернета вещей» (IoT) возможность коммуникации на дальних расстояниях при сверхнизком энергопотреблении. Новые микроконтроллеры CC1310 для радиочастотного диапазона до 1 Гц с технологией SimpleLink™ обеспечивают продолжительность жизни батареи до 20 лет для зданий и промышленной автоматизации, аварийной сигнализации и обеспечения безопасности, интеллектуальных сетей электроснабжения и приложений беспроводных сетей датчиков. Дополнительная информация по ссылке: [www.ti.com/simplelinkulp](http://www.ti.com/simplelinkulp).

Микроконтроллеры CC1310, разработанные для сверхнизкого энергопотребления и применения на больших расстояниях, характеризуют:

- Увеличенная продолжительность жизни батареи благодаря радиомодулю со сверхнизким энергопотреблением, интегрированному микроконтроллеру ARM® Cortex®-M3, контроллеру сенсоров, режимам пониженного энергопотребления и потребляемому току в режиме сна 0,6 мкА, а также высокой оценке (158) по критерию ULPBench™.
- Большая дальность с высокой чувствительностью и чрезвычайной способностью к совместимости, которая может охватить полностью все здания в черте

города, покрывая более 20 км при работе от дисковой батареи.

- Улучшенная интеграция в беспроводном микроконтроллере, размером с кончик пальца, обеспечивающая малую занимаемую площадь вместе с большими возможностями на одном кристалле с flash-памятью, в корпусе QFN 4×4 мм, для приложений, использующих дисковый элемент питания

TI упростила разработку беспроводных микроконтроллеров CC1310 с помощью платформы SimpleLink, предоставляя программные опции в соответствии с потребностями разработчиков. Программное обеспечение, доступное сегодня, включает примеры для связи типа «точка-точка» со стеками протоколов EasyLink и wM-Bus, повышая возможности TI RTOS, а также стеки ячеистых сетей Contiki 6LoWPAN. Разработчики также смогут иметь доступ к средствам разработки, примерам проектов, online-тренингам и поддержке сообщества E2E™, чтобы облегчить им процесс разработки. Кроме того, TI предлагает масштабируемый размер flash-памяти 32, 64 или 128 кбайт.

## Узнайте больше о платформе со сверхнизким энергопотреблением SimpleLink™ от TI

- Откройте преимущества беспроводных микроконтроллеров от TI.
- Узнайте, почему диапазон до 1 Гц является идеальным для применения на дальних расстояниях, в новых технических документах.
- Чтобы быть в курсе новостей по беспроводным технологиям от TI, оформите подписку в нашем блоге [ConnectIng Wirelessly](#).

## Перечень компонентов SimpleLink™ для беспроводных коммуникаций от TI

Перечень компонентов для беспроводных коммуникаций SimpleLink™ от TI решений с низким и сверхнизким энергопотреблением – беспроводные MCU и беспроводные сетевые процессоры для обширного рынка встраиваемых устройств делает их очень лёгкими для разработки и связывания чего угодно в «Интернете вещей» (IoT). Охватывая более 14 стандартов и технологий, включая Bluetooth® Smart, Wi-Fi®, Sub-1 GHz, 6LoWPAN, ZigBee® и другие, продукция SimpleLink™ помогает производителям добавлять возможность коммуникаций к чему угодно и для любого проекта. [www.ti.com/simplelink](http://www.ti.com/simplelink).

Оливер Монье (Olivier Monnier), Эран Зигман (Eran Zigman), Арнит Хаммер (Amit Hammer)

## Вопросы проектирования беспроводной связи для промышленного «Интернета вещей» (IoT)



### Введение

Беспроводная связь, уже некоторое время преобладающая в бытовой электронике, быстро прокладывает себе путь в промышленный «Интернет вещей» (IoT). Разработчики промышленных систем, освободившись от ограничений, налагаемых кабелями, открывают новые способы повышения эффективности и производительности, снижения стоимости и улучшения управления процессами и оборудованием. На самом деле единственным ограничением для применения промышленных беспроводных устройств является воображение разработчиков.

Вооружённый датчиками сверхнизкой мощности и устройствами беспроводной связи, а также микроконтроллерами (МКБ) высокой степени интеграции, IoT быстро распространяется по всем тради-

ционным промышленным рынкам, таким как автоматизация заводов и зданий, энергетическая инфраструктура, «умное» освещение, так же как и по непромышленным рынкам, связанным с автомобилями, розничной торговлей, здравоохранением и другими областями деятельности. Во многих случаях новые беспроводные устройства взаимодействуют с привычными проводными системами и совершенствуют их, обеспечивая дополнительные ценные возможности, которые передаются по воздушным волнам вместо проводов. Например, то, что раньше было сложным человеко-машинным интерфейсом (ЧМИ), теперь может работать в виде удобного приложения в смартфоне или планшете в беспроводном промышленном IoT. Более того, подключение к мощной «облачной» аналитике в режиме реального времени добавляет новое

измерение для усложнения промышленных применений.

Проектировщикам систем, безусловно, приходится считаться с рядом факторов, обусловленных беспроводной связью. Сюда входит выбор конкретной беспроводной технологии, наиболее подходящей для требований и обстоятельств использования устройства, потребление мощности и совместимость технологии с другими устройствами, например с датчиками, микроконтроллерами, шлюзами, серверами и т. д., удобство встраивания беспроводной технологии в промышленное оборудование, связь через облако и безопасность.

### Переход к беспроводным технологиям должен быть простым

Встраивание беспроводной связи в промышленные системы в последние годы значительно упростилось благодаря введению одного за другим новых структурных элементов – датчиков низкой мощности, устройств беспроводной связи, микроконтроллеров, шлюзов и серверов. Разработчикам промышленных систем теперь доступно широкое разнообразие беспроводных технологий с различными возможностями и степенями интеграции (рисунок 1). Например, некоторые поставщики технологий упростили включение беспроводной связи в промышленные системы, объединив возможности беспроводной связи с вычислительными возможностями МКБ. Это значительно снижает необходимость в том, чтобы разработчик промыш-



Рисунок 1. Примеры промышленных применений, где может быть реализована беспроводная связь

ленной системы был специалистом по методам проектирования радиочастотного (РЧ) оборудования, и предоставляет разработчикам мощный МКБ для запуска приложения или работы подсистемы. Некоторые из этих беспроводных МКБ содержат весь стек протоколов беспроводной связи, а также средства обеспечения безопасности. Другие альтернативные варианты большей степени интеграции включают в одно устройство всё, что только можно, – связь через облако, протоколы беспроводных локальных сетей, средства обеспечения безопасности и другие возможности, пытаясь превратить в простое подключение сменного модуля.

Помимо нужных устройств и возможностей, теперь у проектировщиков промышленных систем есть доступ к обширным вспомогательным экосистемам, предоставляемым некоторыми поставщиками беспроводных технологий. Наиболее полные экосистемы отличаются множеством наборов разработчика, поддержкой сообщества, базовыми решениями, уже встроенными стеками протоколов беспроводных сетей, инструментами разработчика приложений, интегрированными средами разработки (ИСП) для разработчиков программного обеспечения и многими из программных и аппаратных модулей, которые обычно применяются в промышленных условиях (рисунок 2).

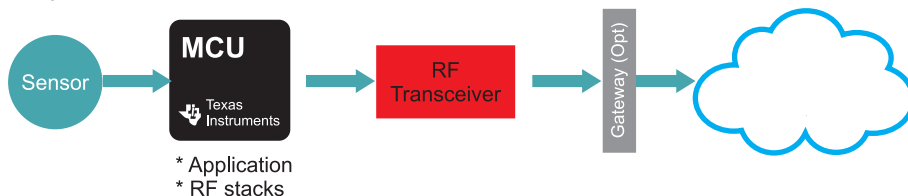
Наиболее универсальные поставщики беспроводных технологий способны обеспечить сквозное

взаимодействие между датчиками, промежуточными устройствами, промышленными протоколами наподобие RS-485, RS-232 и различными сетями Ethernet, работающими в режиме реального времени, и облаком. У таких поставщиков имеется упрощённое проектирование, заранее предусматривающее беспроводную связь, и в то же время они обеспечивают взаимодействие с облаком и разнообразными конечными узлами IoT.

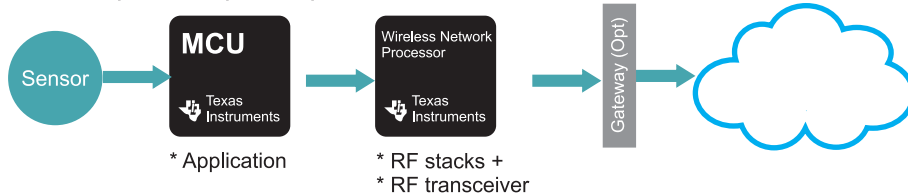
### Промышленная беспроводная сеть: разнообразные технологии

К счастью, имеются разнообразные стандарты локальной беспроводной связи с широким ассортиментом возможностей и уникальными характеристиками. Это особенно полезно для разработчиков промышленных систем, потому что промышленные приложения охватывают широкий

#### Дискретный



#### МКБ + Процессор беспроводной сети



#### Беспроводной микроконтроллер

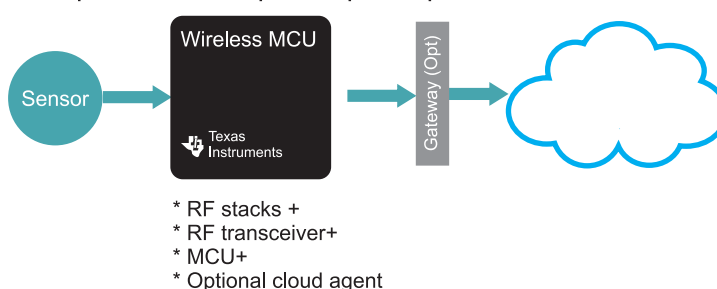


Рисунок 2. Варианты интеграции для связи через облако

спектр условий использования, и каждый случай имеет собственный набор трудностей для преодоления. Разработчики могут выбрать ту технологию беспроводной связи, которая наилучшим образом отвечает требованиям применения. Например, разработчики интеллектуальной измерительной системы для коммунальной сети могут решить, что протокол беспроводной сети Sub-1 ГГц лучше всего подходит для этого применения. Другая группа проектировщиков, работающая над системой бытовой автоматизации, может предпочесть Wi-Fi® из-за его совместимости с дистанционным управлением приборами.

### Дистанционный дисплей/ беспроводной человеко-машинный интерфейс (HMI)

До появления промышленного беспроводного IoT HMI для нового применения в области мониторинга потребовал бы обширных опытно-конструкторских работ и интеграции новой подсистемы и аппаратуры ото-

бражения. Теперь, когда есть беспроводные технологии низкой мощности, подобные Bluetooth® Smart, работающие на батарейках датчики могут передавать данные мониторинга на такие устройства пользователей IoT, как смартфоны и планшетные ПК. Технические специалисты знакомы с устройствами такого типа и умеют с ними работать, поэтому кривая обучения короткая.

Системы освещения могут быть лучше приспособлены к ZigBee® из-за его низкого энергопотребления, сетчатой топологии и широкой поддержки экосистем. 6LoWPAN может быть выбран разработчиками системы автоматизации производства, которые видят реальную выгоду в реализации сети узлов с адресами интернет-протокола (IP). Для некоторых систем может быть достаточной очень низкая мощность и ограниченная дальность коммуникаций ближнего поля (NFC) и Bluetooth® Smart или фирменного протокола 2,4 ГГц.

Дело в том, что каждая беспроводная технология имеет свой собственный набор преимуществ. Промышленное IoT-приложение лучше всего обслуживается, когда

преимущества определённой беспроводной технологии сочетаются с требованиями применения (рисунок 3). Например, Bluetooth® развёрнут во множестве пользовательских устройств, включая смартфоны и планшеты.

Поэтому промышленное приложение, поддерживающее Bluetooth® Smart, имело бы прямую совместимость с множеством пользовательских устройств. 6LoWPAN потребляет настолько мало энергии, что может поддерживаться маленькими батарейками с дисковыми элементами питания, сбором энергии или обоими способами. Кроме того, поскольку узлам 6LoWPAN назначены IP-адреса, к ним можно получать доступ прямо из облака. Если беспроводному сигналу нужно пройти большое расстояние и проникнуть сквозь объекты, подобные стенам, наиболее подходящим будет протокол Sub-1 ГГц.

### Энергопотребление

Энергопотребление промышленного беспроводного приложения следует рассматривать на макроуровне








	NFC RFID	Bluetooth® Bluetooth low energy	Фирменный 2,4 ГГц	ZigBee®	Wi-Fi®	6LoWPAN	Фирменный Sub-1 GHz
Тип сети	Идентификация 	Индивидуальное подключение 	Индивидуально настраиваемая 	Сетка  ZigBee® Control your world	Существующая инфраструктура 	Сетка IP 	Индивидуально настраиваемая 
Дальность	Непосредственная близость	Персональные сети		Локальные сети			Районные сети
Ключевые отличия	Данные • До 848 кбит/с • Без батарейки или дисковый элемент питания	Данные или речь • До 3 Мбит/с • От дискового элемента питания до AAA	Данные • До 1 Мбит/с • Дисковый элемент питания	Данные • До 256 кбит/с • От сбора энергии до AAA	Речь или видео • До 100 Мбит/с • Батарейка AA	Данные • До 256 кбит/с • От сбора энергии до AAA	Данные • До 1 Мбит/с • Дисковый элемент питания
Промышленные применения	• Конфигурирование устройств / обновление микропрограмм	• Освещение • Замена проводов • Аварийная сигнализация • Отслеживание основных ресурсов • Автоматизация производства	• Автоматизация зданий и производства • Аварийная сигнализация	• Интеллектуальное управление энергопотреблением • Автоматизация зданий • Осветительные сети • Промышленный Интернет	• Отслеживание основных ресурсов • Дистанционное управление машинным оборудованием • Датчики • Автоматизация зданий	• Интеллектуальное управление энергопотреблением • Автоматизация зданий • Осветительные сети • Промышленные Интернет-шлюзы низкой мощности	• Снятие показаний счетчиков • Интеллектуальные электрические сети • Сигнализация и безопасность • Мониторинг окружающей среды

Рисунок 3. Таблица выбора технологий беспроводной связи для промышленного IoT

всей системы, а не только отдельных элементов. Для начала промышленная сеть IoT обязательно потребовала бы датчиков низкой мощности для мониторинга производственных процессов, оборудования здания, систем жилых помещений, сети электропитания или чего бы то ни было другого. Современные наиболее совершенные беспроводные датчики придали новое значение понятию низкой мощности. Некоторые работающие совместно с маломощным МКБ с возможностями беспроводной связи конечные узлы IoT на базе датчиков могут функционировать до 10 лет, питаясь от дисковой батарейки, в то время как другие будут функционировать, питаясь энергией, собранной вблизи себя от света, вибрации, тепловой или радиочастотной энергии. Сложное управление питанием, а также возможности прецизионной обработки аналоговых сигналов, такие как аналого-цифровые преобразователи (АЦП) и компараторы, также имеют решающее значение для сетей IoT. Процедуры управления питанием, которые способны автоматически переводить части системы в энергосберегающий спящий режим, могут существенно продлить срок службы батарейки и снизить потребность в регулярном техобслуживании для замены батареек. Это может иметь решающее значение в тех областях применения, где узел IoT установлен в особо недоступном месте, таком как машина на крыше здания, на вершине башни или на спутнике.

### Профилактическое техобслуживание никогда не было таким лёгким

Профилактическое техобслуживание (предотвращение проблемы до её возникновения) высоко ценится во многих промышленных средах. Беспроводная связь делает возможным появление нового поколения приложений профилактического техобслуживания. Например, в энергоблоке беспроводные датчики могут устанавливать связь со смартфоном технического специалиста, когда вибрация машины превышает определённый предел. После этого профилактическое техобслуживание может

вернуть машину в надлежащее рабочее состояние до того, как возникнет катастрофическая проблема.

В приложениях такого рода подсистема управления питанием может продлить срок службы батареек, поддерживая в большей части системы низкомощный спящий режим, исключая датчик, выполняющий мониторинг недоступной машины. Когда отслеживаемое датчиком условие, например, вибрация или температура, превысит определённое пороговое значение, может включиться остальная часть системы, чтобы она могла подать сигнал тревоги или сама принять меры.

### Датчики

Датчики, установленные в беспроводном промышленном IoT, будут контролировать сложную и очень разнообразную среду, в которой слабые изменения условий могут иметь решающее значение (рисунок 4).

Могут потребоваться измерения с высоким разрешением и мониторинг химического состава, контроль доступа, вибраций, информация отслеживания основных ресурсов, движения, давления, температуры, УФ-излучения, расхода газа и жидкости и многих других переменных.

Некоторые легко реализуемые устройства объединяют несколько таких возможностей, сочетая в себе беспроводную связь низкой мощности по протоколу *Bluetooth® Smart*,

*ZigBee®*, *6LoWPAN*, *Sub-1 ГГц*, *Wi-Fi®* или фирменному протоколу с МКБ, способным управлять датчиком и выполнять прикладную программу. Сюда входят также несколько интерфейсов к периферийным устройствам ввода/вывода. Собирая многие из этих возможностей в интегрированную платформу, такие устройства снижают энергопотребление узла даже намного больше, чем дискретная реализация.

### Безопасность

Безопасность является предметом особого внимания практически во всех аспектах экономичности, включая беспроводные сети IoT. Обеспечение безопасности может осуществляться рядом способов, но цель всегда состоит в предотвращении, обнаружении и реагировании на злонамеренное поведение, когда оно возникает. На физическом уровне узлы IoT должны быть как можно более устойчивы к злонамеренному вмешательству. Однако что касается электронных систем, безопасность также должна обеспечиваться для защиты инвестиций в IP, а также от потери контроля над системой в результате вредоносных процессов. В низкомощных, зачастую удалённых узлах беспроводной сети такое обеспечение безопасности обычно наилучшим образом осуществляется посредством аппаратно реализованных ускорителей или сопроцессоров,



Рисунок 4. SimpleLink™ SensorTag быстро подключает датчики к облаку

выполняющих защитные алгоритмы, поскольку на это будет израсходовано меньше энергии без снижения пропускной способности узла. Соответствие и аттестация согласно стандартам беспроводной связи, таким как Wi-Fi®, Bluetooth® Smart и другие стандарты, также влияют на безопасность, поскольку стандарты либо содержат встроенные меры обеспечения безопасности, либо совместимы со стандартами безопасности. Например, Wi-Fi® имеет ряд связанных с ним стандартов безопасности, таких как Wi-Fi® Protected Access (WPA), SSL, TLS, X.509 и др. Криптографические и аутентификационные алгоритмы также могут защитить хранящиеся данные.

### Обеспечение безопасности зданий

Беспроводная связь может обеспечить безопасность зданий подходящим образом. Например, замки, датчики движения, камеры, наружное и внутреннее освещение, клавиатуры и другие устройства обеспечения безопасности могут подключаться

через ZigBee® или Sub-1 ГГц к шлюзу на базе Wi-Fi® с доступом в Интернет. При таком типе системы владелец или оператор коммерческого предприятия, находящийся в данный момент за пределами объекта собственности, может через смартфоны и облачное приложение безопасно предоставить временный доступ пользующемуся доверием сотруднику. Кроме того, могут быть приняты аппаратные меры безопасности, такие как механизмы безопасной начальной загрузки и блокировки логической памяти.

### Возможности связи с облаком и проводными сетями

В некоторой точке большинство промышленных беспроводных сетей IoT обычно взаимодействует с облаком и/или с традиционными промышленными проводными сетями.

Связь через облако имеет много преимуществ, но первым вопросом, который нужно решить, является место в локальной сети IoT, в котором эта связь будет реализо-

вана. Наиболее вероятно, что IoT будет подключаться к облаку через один из своих верхних уровней, таких как сервер или шлюз. Шлюз или сервер будет объединять облачные сообщения от других узлов и передавать их через облако. Некоторые промышленные реализации IoT будут осуществлять доступ к облаку, чтобы связаться с облачными стратегическими партнёрами, такими как IBM, PTC или другие сторонние фирмы, которые предоставляют характерную для конкретного применения аналитику, специализированную обработку и другие услуги, которые могут иногда потребоваться.

Вероятно, наиболее критической проблемой, касающейся связи через облако, будет вопрос о том, насколько это будет легко или трудно выполнить. Исторически так сложилось, что разработчикам промышленных систем не нужен опыт радиочастотного (РЧ) проектирования. Во многих случаях беспроводная связь через облако будет обеспечиваться Wi-Fi® в шлюзе или сервере, поскольку Wi-Fi® уже стал вездесущим во многих промышленных условиях и имеет нуж-

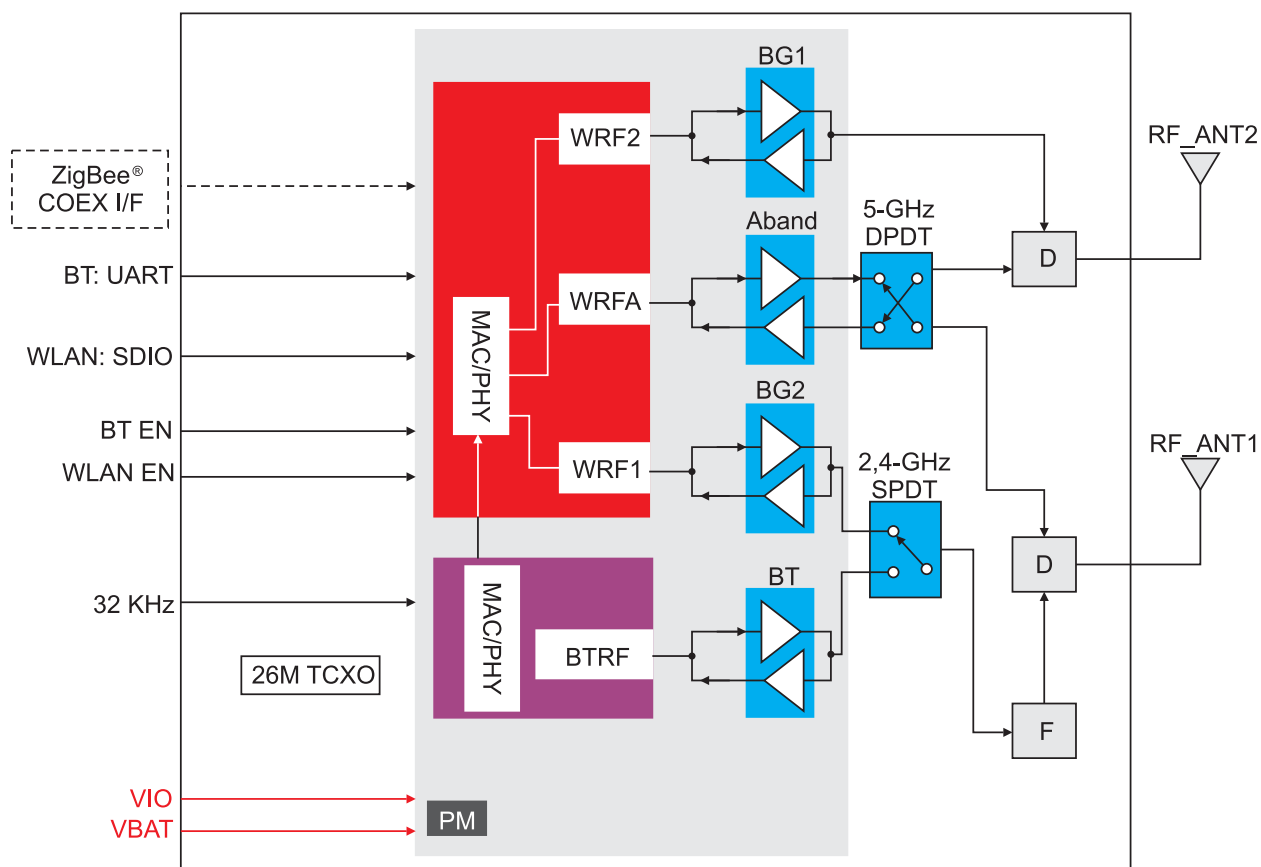


Рисунок 5. Двухдиапазонный промышленный модуль WiLink 8 (показан вариант WL1837MOD)

Примечание. Пунктирные линии указывают дополнительные конфигурации и не применяются по умолчанию.



ную полосу пропускания и производительность для предоставления эффективной связи через облако. Некоторым конечным узлам IoT может потребоваться двойная беспроводная связь: Bluetooth® Smart, ZigBee® или 6LoWPAN для локального взаимодействия с датчиками и операторами и связь Wi-Fi® для подключения к более обширной промышленной сети IoT и к облаку. Некоторые промышленные решения Wi-Fi® были объединены с уже готовыми возможностями связи, включая одиночные или двойные беспроводные технологии, сертифицированные протоколы беспроводной связи и защитные алгоритмы, библиотеки примеров программ и средства и комплекты для разработки.

Вдобавок, к связи через облако беспроводные промышленные приложения будут, скорее всего, взаимодействовать с сетями, состоящими из соединённых проводами оборудования. Например, системы автоматизации производства или автоматизации зданий могут благополучно иметь как проводные, так и локальные беспроводные сети связи в одной и той же среде. В таких случаях возможность состыковать устройства

беспроводной связи с протоколами проводной связи, подобными RS-485, RS-232, и другими протоколами будет достаточно полезной. Тогда технический специалист сможет следить за процессами в заводском цеху через беспроводное подключение к HMI, который выполняет мониторинг сети соединённого проводами оборудования, в которой работает один из промышленных Ethernet-протоколов реального времени, например EtherCAT®, EtherNet/IP™, PROFINET® или POWERLINK.

## Заключение

Корпорация Texas Instruments уже давно имеет самый обширный в отрасли портфель высокоэффективных беспроводных технологий для промышленных сетей IoT. Являясь первыми новаторскими решениями в области низкой мощности, технологии TI имеют в своём составе как интегрированные, так и дискретные решения, такие как микроконтроллеры и датчики сверхнизкой мощности, аналоговые устройства, подобные АЦП и компараторам, а также устройства связи WiLink™ (рисунок 5), Wi-Fi® и Bluetooth® combo и беспровод-

ные МКБ SimpleLink™, которые были объединены с возможностями локальной беспроводной связи для всех распространённых стандартов, будущи вдобавок легко настраиваемыми на фирменные протоколы. Более того, беспроводные МКБ SimpleLink™ содержат наиболее распространённые интерфейсы периферийных устройств, а также внутрикристалльную память и подсистему контроллера датчиков, которая быстро и легко стыкуется с широким ассортиментом датчиков корпорации TI.

Все решения способны работать в диапазоне производственных температур 40–85 °С. В высокой степени программируемые, беспроводные решения поддерживаются обширной экосистемой инструментов, библиотек готовых к использованию программных модулей, базовых решений и других ресурсов, которые позволяют разработчикам промышленных систем не только индивидуально настраивать и видоизменять свои продукты, но и быстро и эффективно поставлять на рынок свои новые системы. Для получения дополнительной информации зайдите на сайт [www.ti.com/wirelessconnectivity](http://www.ti.com/wirelessconnectivity).

## Новое семейство Gigabit Ethernet-трансиверов, предназначенное для промышленных приложений «индустрии 4.0»

*TI представила семейство гигабитных трансиверов физического уровня (PHY) DP83867 как наиболее быстродействующее в отрасли и отлично защищённое от электростатики (ESD)*

### Industry's 1st Gigabit Ethernet PHY designed for harsh industrial environments

- Lowest latency for 100 Mbps & 1 Gbps
- Best-in-class immunity & ESD performance



TEXAS INSTRUMENTS

Семейство включает в себя шесть микросхем, позволяющих инженеру ввести функции «Интернета вещей» (IoT) в промышленные системы автоматизации (электроприводы, тестовое и измерительное оборудование). Изделия полностью соответствуют жёстким стандартам электромагнитной совместимости и взаимного влияния, обладают пониженной мощностью потребления и другими полезными характеристиками, обеспечиваемыми в различных диапазонах температур. Микросхемы оснащены MAC-интерфейсом и доступны в различных типах корпусов.

#### Основные характеристики:

- задержка менее 400 нс на скоростях 1000 и 100 Мбит/с;
- защита от электростатики на уровне 8 кВ;
- температурный диапазон от –40 до +105 °С.

Микросхемы промышленного гигабитного Интернета DP83867 доступны сегодня по цене начиная от \$4,4 при партии 1000 шт. (при покупке на сайте производителя).

[www.ti.com](http://www.ti.com)

# Новейшее семейство Wi-Fi® + Bluetooth® / BLE-трансиверов WiLink 8 от TI

Эти модули позволяют легко добавить возможности Wi-Fi® и Bluetooth® (только модуль WL183x) во встраиваемые решения на основе микропроцессоров Sitara™ корпорации Texas Instruments. Модули WiLink 8 производства TI предварительно сертифицированы и обеспечивают высокую пропускную способность и увеличенную дальность связи при совместной работе Wi-Fi® и Bluetooth® (только модули WL183x), при этом они оптимизированы по мощности. TI бесплатно предоставляет драйверы для операционных систем высокого уровня (HLOS) Linux и Android для микропроцессора Sitara™ AM335x (имеются ограничения по версиям Linux и Android). В частности, имеется поддержка таких функциональных возможностей модулей WiLink 8, как работа с беспроводными ЛВС (WLAN), Bluetooth® и Bluetooth® Low Energy (BLE).

### Общие отличительные особенности WiLink8:

- Поддержка беспроводных ЛВС (WLAN) со встроенным модулем

РЧ-тракта (FEM), усилителем мощности (УМ), кварцевым резонатором, переключателями, фильтрами, пассивными элементами и управлением мощностью в едином модуле.

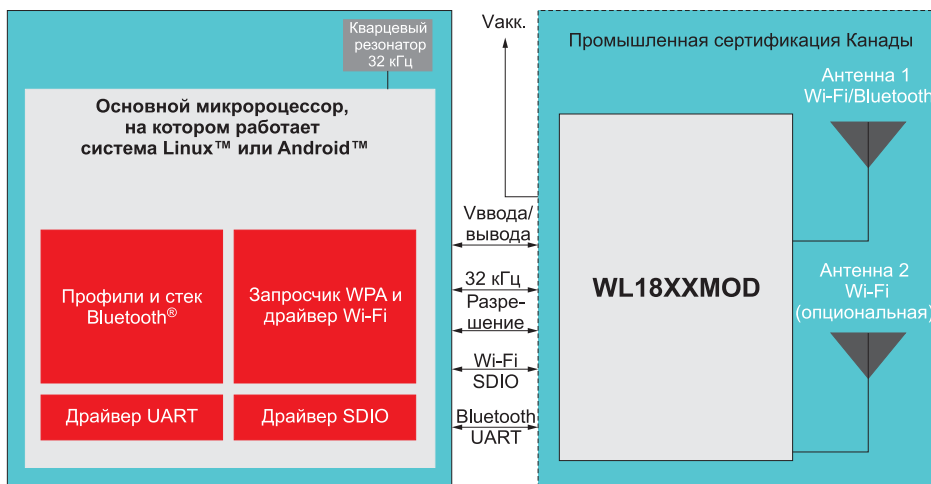
- Эффективное подключение напрямую к аккумулятору за счёт использования нескольких встроенных импульсных источников питания (преобразователей постоянного тока).
- Поддержка двух режимов: Bluetooth® и Bluetooth® Low Energy (только в модулях WL183xMOD).
- Сертификация FCC (Федеральная комиссия по связи США), IC (Промышленная сертификация Канады) и CE (Сертификация ЕС) при использовании керамической антенны.
- Простота интеграции с микропроцессорами Sitara™ от Texas Instruments.
- Файлы проектирования аппаратного обеспечения и руководство по проектированию (WL183xMOD), предостав-

ляемые корпорацией Texas Instruments (COM8).

- Передача пакетов HCI (интерфейс главного контроллера) через UART (универсальный асинхронный интерфейс приёма/передачи) для Bluetooth® и SDIO (защищённый цифровой ввод/вывод) для WLAN.
- Механизм температурной компенсации для обеспечения минимального изменения эксплуатационных характеристик РЧ-тракта во всём диапазоне температур.
- Рабочая температура: от -20 до 70 °С.
- Компактная конструкция: 13,4×13,3×2 мм.
- Корпус с матрицей контактных площадок (LGA).

### Преимущества WiLink 8:

- Семейство модулей WiLink 8 облегчает и ускоряет разработку: меньший объём затрат на проектирование аппаратного обеспечения и РЧ-части, так как имеется программное обеспечение, примеры приложений, обеспечена совместимость с требованиями FCC/IC/ETSI.
- Позволяет увеличить дальность действия в 1,4 раза и пропускную способность до 100 Мбит/с при использовании технологии MIMO (многоканальный вход – многоканальный выход) и MRC (метод оптимального сложения) в продуктах WiLink 8.
- Драйверы для систем Linux и Android для Wi-Fi® и Bluetooth® уже встроены в комплекты разработки про-



граммного обеспечения для AM335x и других микропроцессоров Sitara™ от TI.

- Модули WiLink 8 поставляются с уникальной технологией SmartConfig™, процесс настройки Wi-Fi® в одно действие позволяет легко и быстро подключить к сети Wi-Fi® множество устройств, особенно таких, у которых нет индикаторов или клавиатуры.
- Добавляя в устройства функции беспроводной связи Wi-Fi® и Bluetooth®, модули WiLink 8 открывают новые возможности использования и делают их удобнее для пользователей, включая:
  1. Передачу потокового видео с переносных беспроводных накопителей на персональные устройства по каналам с пропускной способностью до 100 Мбит/с с использованием 2×2 MIMO, увеличение дальности действия в 1,4 раза и возможность соединения равноправных устройств (прямое соединение Wi-Fi®).
  2. Домашние шлюзы и шлюзы Smart Energy, которые способны работать с несколькими устройствами, бытовыми приборами и системами, используя возможности многоканальной многофункциональной (MCMR) связи.
  3. Передача потокового аудио для домашних развлекательных приложений по каналам с двумя режимами Bluetooth® / Bluetooth® Low Energy.
- Модули WiLink 8 могут подключаться к различным платформам TI, позволяя создавать решения для различных систем, включая:
  1. Отладочная плата на основе WL1835 для ускорения разработки устройств на основе модулей WiLink, которая совместима с отладочным модулем AM335xEVM, а также с несколькими другими отладочными модулями и типовыми разработками TI на процессорах Sitara.
  2. Дочерние платы на основе модуля WiLink 8, предлагаемые компанией CircuitCo для ускоренной разработки с исполь-

Таблица 1.

WL18xxMOD	
Отличительные особенности	Преимущества
Многочисленные варианты предлагаемых решений <ul style="list-style-type: none"> <li>• Возможность наращивания систем и их универсальность за счёт большого количества вариантов модулей с совместимостью контактов</li> <li>• Модуль, имеющий сертификацию FCC/IC/ETSI</li> </ul>	Повторное использование разработки в нескольких приложениях <ul style="list-style-type: none"> <li>• Гибкие возможности проектирования</li> <li>• Короткое время вывода на рынок с использованием опыта разработки РЧ-устройств</li> </ul>
Высокоэффективная связь Wi-Fi® <ul style="list-style-type: none"> <li>• Устройство радиосвязи в диапазоне 2,4 ГГц стандарта 802.11bgn, основная полоса и MAC</li> <li>• Каналы 20 и 40 МГц и поддержка 2×2 MIMO</li> <li>• Полностью интегрированный КМОП-модуль РЧ-части для WLAN</li> <li>• MRC (метод оптимального сложения)</li> <li>• Wi-Fi® Direct многоканальное многофункциональное соединение</li> </ul>	Пропускная способность до 100 Мбит/с <ul style="list-style-type: none"> <li>• Увеличение дальности действия в 1,4 раза</li> <li>• Калибровка производственной линии не требуется</li> <li>• Уменьшение BOM и сложности изделия</li> <li>• Возможность нескольких соединений при максимизации пропускной способности и использования сети</li> </ul>
Двухрежимный Bluetooth® <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bluetooth v4.0, включая Bluetooth® Low Energy</li> <li>• Предварительно встроенный, не требующий лицензионных отчислений стек программного обеспечения Bluetooth® и программа управления от компании Stonestreet One</li> <li>• Превосходная совместная работа Bluetooth и Wi-Fi®</li> </ul>	Обширный перечень профилей Bluetooth® и Bluetooth® Low Energy, позволяющий реализовать большое количество приложений Bluetooth® <ul style="list-style-type: none"> <li>• Стек, аттестованный группой Bluetooth® SIG, с широкими возможностями поддержки и тестирования совместной работы</li> <li>• Одновременное использование Wi-Fi® и Bluetooth® на одной антенне</li> </ul>

зованием микроконтроллеров AM335x: BeagleBone Black и BeagleBone Sitara.

Преимущества и отличительные особенности изделий, в частности касающиеся WLAN и Bluetooth®, смотрите в таблицах 1 и 2.

Texas Instruments предлагает платформу AM335x-WL18xx для WiLink 8 с высокопроизводительным ядром Cortex-A8 по цене на уровне ARM9/11. Отличительные особенности и преимущества платформы AM335x-WL18xx в таблице 2.

Таблица 2.

	Отличительные особенности	Преимущества
Аппаратное обеспечение	Интерфейсы WL183x – AM335x определены и проверены	Снижение рисков и отсутствие необходимости проведения анализа компромиссов при проектировании
Программное обеспечение	Запросчик WPA, стек сетевых протоколов (TCP/IP), драйвер WLAN MAC 802.11bgn, профили и стек Bluetooth®	С платформой поставляются все компоненты, необходимые для реализации функций сквозных соединений WLAN и Bluetooth®
Интеграция	Полная интеграция в систему всех компонентов, включая встроенное программное обеспечение, драйверы низкого уровня и приложения	Сокращение стоимости разработки и ускорение вывода изделий на рынок
Оптимизация	Оптимизация пропускной способности и энергопотребления на уровне системы	Позволяет уменьшить мощность и увеличить пропускную способность в сложных случаях использования систем
Проверка	Проверка работоспособности всех функций и возможностей	Снижение риска и ускорение вывода изделий на рынок
Дополнительное обеспечение	Руководства, позволяющие начать работу с изделиями, руководства по построению систем, листы технических данных, схемы и компоновки	Позволяет разработчикам быстрее выводить изделия на рынок

Бретт Новак (Brett Novak), Жён Ю (Zhen Yu)

## Упрощение перехода на цифровое питание с целью повышения энергоэффективности при сокращении затрат



### Введение

Традиционно системы питания реализуются как аналоговые. Однако появление недорогих высокопроизводительных микроконтроллеров привело к тому, что всё больше и больше разработчиков задумываются над цифровой реализацией систем питания. Переход к механизмам управления на основе программного обеспечения значительно упрощает проектирование аппаратной части. Возможность настройки программно реализованного управления позволяет цифровым системам питания обеспечивать более высокий КПД преобразования энергии в более широком диапазоне рабочих условий, таких как токи нагрузки и напряжения в линиях. Гибкость, по определению присущая программному подходу, даёт возможность применять одни и те же системы питания в различных разработках, что ускоряет вывод новых

систем на рынок, а также может снизить общую стоимость систем. Кроме того, разработчики могут внедрять такие механизмы регулирования, как усовершенствованная фильтрация или динамическая компенсация, которые слишком сложны или дороги в случае их реализации с помощью аналоговых компонентов.

Цифровое питание имеет широкий спектр применения, включая выпрямители серверов/телекоммуникационного оборудования, источники бесперебойного питания, гибридные электромотоциклы, освещение улиц и зданий, управление сетями электроснабжения и системы на основе альтернативных источников энергии, таких как солнце или ветер. В то время как переход от аналоговых к цифровым системам может принести много выгод, он также подразумевает использование новых методик проектирования, что может вызывать опасения у разработчиков, не знакомых с ними.

### Реальность перехода на цифровые системы

Разработчики систем питания – это особое сообщество инженеров. Они понимают динамику аналоговых систем на уровне, кажущемся другим инженерам чуть ли не волшебством, и с лёгкостью используют и настраивают логику в аппаратной реализации своих систем. Но многие разработчики систем питания имеют очень скромный опыт работы с программным обеспечением. Если им приходится использовать микроконтроллер (MCU), обычно они останавливают свой выбор на понятной и относительно простой 8-разрядной архитектуре. Таким инженерам идея перехода на архитектуру на основе дискретизации и преобразования может показаться пугающей, несмотря на то, что цифровой подход к регулированию питания, очевидно, даёт значительные преимущества.

Обладая обширными знаниями и опытом разработки систем, корпорация Texas Instruments понимает не только чем приходится поступать при переходе от аналоговых к цифровым системам, но и трудности, с которыми сопряжён такой переход для инженеров – разработчиков аналоговых систем. Чтобы упростить процесс перехода на цифровые системы питания, TI разработала исчерпывающий набор инструментов, включая комплекты разработки, библиотеки и комплексное прикладное программное обеспечение – специально для того, чтобы снять наиболее частые опасения инженеров, привыкших иметь дело с аналоговыми системами.

## Будет ли переход на цифровые системы означать значительный объём работ по разработке программного обеспечения?

Цифровая система питания требует большого объёма программного обеспечения. К счастью, специалисты TI уже написали большую часть кода, необходимого для этих систем. Каждый комплект разработки цифровых систем питания TI построен на базе микроконтроллера Piccolo™ и поставляется с пакетом всеобъемлющей технической документации и полными исходными кодами прикладных программ, поэтому разработчики смогут начать работать меньше, чем за 10 минут, и дальнейшее обучение происходит очень быстро. TI также включила в состав комплектов свою лучшую в отрасли библиотеку ПО для цифровых систем питания controlSUITE™, чтобы облегчить адаптацию разработок к конкретным системам. Разработчикам, которые не привыкли работать с большими объёмами программного кода, платформа controlSUITE™ помога-

ет справиться со сложностью программного обеспечения с помощью графического пользовательского интерфейса (GUI), который позволяет разработчикам выбирать те ресурсы, которые им нужны для конкретного аппаратного обеспечения, включая устройство, куда устанавливается программное обеспечение, оценочный комплект и т. д. Инструмент controlSUITE™ загружает выбранные файлы в компьютер пользователя и размещает всё в нужных папках и директориях. Сюда входят исходный код программ, техническая документация, пакеты разработки аппаратного обеспечения, а также библиотеки и заголовочные файлы. В эти файлы также входят и готовые проекты программного обеспечения. Создание первоначальной разработки сводится лишь к нажатию нескольких кнопок (рисунок 1).

Texas Instruments дополнительно предоставляет простой GUI в каждом прикладном комплекте, который существенно упрощает конфигурирование и настройку приложения. Если требуется внести изменение в программное или аппаратное обеспечение, можно использовать этот GUI

для ускорения отладки и настройки изменённого приложения. Поскольку предоставляются исходный код и среда программирования, заказчики также легко могут адаптировать GUI для своего конечного приложения и использовать его для ускорения настройки и отладки их разработок.

Объединение различных функций в платформе controlSUITE™ и диапазон её возможностей дают инженерам – разработчикам аналоговых систем всеобъемлющую среду для разработки. Это позволяет им извлечь выгоду из преимуществ перехода на цифровые системы, упрощая переход от подхода, основанного на аналоговых системах.

## Обеспечит ли периодическая дискретизация достаточную способность реагирования на переходные процессы?

Переход к цифровым системам питания требует подхода к проектированию, существенно отличающе-



Рисунок 1. Бесплатное программное обеспечение controlSUITE™ корпорации Texas Instruments включает в себя более 25 блоков модульного программного обеспечения цифровой системы питания. Эта платформа сводит к минимуму время разработки программного обеспечения и уменьшает трудности, связанные с программированием

гося от подхода в случае аналоговых систем. Обратная связь по напряжению и току и регулировка выхода в аналоговой системе осуществляются мгновенно, обеспечивая превосходную способность реагирования на переходные процессы. Цифровым системам, ввиду необходимости дискретизации, преобразования в цифровой вид, обработки, обратного преобразования в аналоговый вид и вывода, требуется время на то, чтобы среагировать на сигнал обратной связи и скорректировать выходной сигнал управления, что может приводить к тому, что система не будет обладать требуемой способностью реагировать на переходные процессы, а также устойчивостью.

Скорость работы современных микроконтроллеров и высокоскоростных периферийных АЦП/ЦАП позволяет реализовать контуры управления, которые намного превосходят требования к способности систем реагировать на переходные процессы и к запасу устойчивости. На самом деле, эти контроллеры настолько быстрые, что могут выполнять дополнительную обработку данных сигнала, которую невозможно реализовать в аналоговых системах по экономическим соображениям. Возможно, наиболее важным примером в этом отношении является КПД при пиковой нагрузке.

Аналоговую систему можно оптимизировать только для единственного значения нагрузки. Обычно это нагрузка, при которой система работает чаще всего, или нагрузка, при которой наиболее важна точность. Работая при такой нагрузке, система демонстрирует наивысший КПД. Однако система, вероятнее всего, работает при разных нагрузках; пиковая нагрузка может даже не занимать большую часть времени работы системы. По мере того как нагрузка отклоняется от пиковой, КПД системы падает. Например, рассмотрим нагрузку на сервер, которая зависит от того, сколько компьютеров осуществляют доступ к нему одновременно и какова длительность этого доступа. Для большинства систем это означает, что большую часть времени они работают с КПД меньшим, чем их пиковый КПД. В системах, которые постоянно работают с невысокими

нагрузками, КПД будет существенно снижаться.

В цифровой системе параметры, используемые в алгоритмах компенсации и в конфигурациях выходов, и сами алгоритмы компенсации и конфигурации выходов можно динамически настраивать в соответствии с текущей нагрузкой. В случае сервера, если большее число компьютеров запрашивает доступ, алгоритм настройки настраивает контур компенсации и другие параметры, такие как полоса пропускания выходов ШИМ, в соответствии с изменившейся потребностью в мощности. Эта подстройка требует большего количества циклов контроллера, но благодаря гибкости, которую она вносит, в результате достигается более высокий КПД во всём диапазоне рабочих нагрузок. То же справедливо, если дело касается подстройки к другим условиям работы, например к напряжению входной линии переменного тока. Цифровая система не только обеспечивает достаточную способность реагирования на переходные процессы и запас устойчивости, но и может существенно улучшить общий КПД системы питания по сравнению с аналоговым вариантом.

Имея в распоряжении дополнительную вычислительную мощность для обработки сигналов, которой обладает контроллер цифровых систем питания, такой как микроконтроллер Piccolo™ корпорации Texas Instruments, разработчики могут вносить усовершенствования (например, избыточную дискретизацию), чтобы добиться более точных измерений и регулирования выхода. Разработчики могут также реализовать дополнительную фильтрацию, чтобы удалить известную частотную составляющую, которая присутствует в ожидаемых условиях эксплуатации.

Другим примером может служить коррекция коэффициента мощности (PFC). По умолчанию PFC является необходимой частью преобразования мощности в источнике питания сервера с преобразованием переменного тока в постоянный, но она также требуется и в других системах, таких как системы ОВКВ с переменной частотой в Китае. Причиной этого, во-первых, является стремление снизить переходные потери, а следовательно,

и стоимость инфраструктуры. Но всё больше и больше систем ОВКВ используют высокоэффективный компрессор с двигателем на постоянных магнитах. Входной каскад PFC позволяет этому компрессору работать с более высокими скоростями, лучше используя то же напряжение линии переменного тока. Дополнительный запас быстродействия ЦП быстрых цифровых контроллеров может быть очень важен для таких систем. Наличие мощных и конкурентоспособных по стоимости цифровых контроллеров расширяет использование PFC во встроенных и промышленных системах.

### Будет ли настройка цифровой системы значительно сложнее, чем настройка аналоговой системы?

На первый взгляд идея проведения настроек сложных алгоритмов компенсации для PFC, изолированных преобразователей постоянного тока (DC/DC-преобразователей) и других функций системы питания может показаться труднореализуемой, особенно инженерам, для которых дискретизация и преобразование сигналов в цифровых системах является новым подходом. С помощью платформы controlSUITE™ и простого графического интерфейса оценочных комплектов приложений разработчики могут быстро оценить различные топологии систем питания и ускорить разработку окончательного варианта системы. Всё программное обеспечение предоставляется в виде модулей с чётко определёнными исходными и выходными данными, что позволяет разработчикам применять при проектировании подход, основанный на компонентах/параметрах. Имеющийся исходный код GUI и среда разработки позволяют разработчикам вводить новые специализированные функции, такие как вывод на индикацию формы сигнала и окно просмотра для дополнительных параметров, чтобы ускорить анализ и поиск и устранение неисправностей.

Чтобы ускорить освоение, каждый код прикладной программы разработан так, что он поддерживает постепенное пошаговое построение. Это

позволяет разработчикам работать только с частью проекта в каждый момент времени. Например, работая с комплектом системы на основе полного моста, разработчики могут сначала сконфигурировать и оценить схемы, отвечающие за определение тока и напряжения, а затем перейти к замыканию контуров регулирования тока и скорости.

TI также специально разработала GUI для упрощения настройки контура адаптивной компенсации, предоставив разработчикам доступ к важным параметрам системы. Таким образом, разработчики получают возможность тестирования широкого диапазона параметров и конфигураций, чтобы быстро получить наиболее эффективную систему. Это означает, что разработчики могут выполнить и настроить разработку, не написав ни строчки кода и не загружая Code Composer Studio™ – интегрированную среду разработки TI. Для тех разработчиков, которые хотят добавить дополнительные функции в свои системы, собственные расширения или оптимизацию, предоставляется весь исходный код. Техническая документация, включая лабораторные отчёты и модели, даёт полное описание того, как каждый алгоритм реализован в системе.

## Будет ли дороже разработка и изготовление цифровой системы питания?

В случае простых, недорогих систем питания, где КПД не имеет значения и где не нужны сложные функции, аналоговые системы остаются вне конкуренции. Но в тех случаях, когда важны КПД, чувствительность, точность и другие дополнительные функции системы, такие как контроль входной мощности, экономия при переходе на цифровую систему может быть значительной.

- **Более высокая эффективность работы:** предоставление конечным пользователям более эффективного оборудования приводит к сокращению текущих эксплуатационных расходов. Это не только отличает системы от конкурирующих разработок, но и создаёт значительную добавленную стоим-

мость, которая может послужить основой более высокой прибыли от реализации.

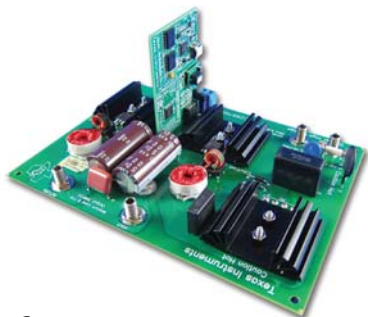
- **Интеграция контроллеров:** системы управления аналоговым питанием, как те, что используются в источниках питания серверов/телекоммуникационного оборудования с преобразованием переменного тока в постоянный, обычно тоже используют контроллеры систем. В случае цифровой системы функции аналогового контроллера и контроллера системы могут быть объединены в одном контроллере цифровой системы питания. Если источник питания имеет резервный контроллер и/или также обеспечивает питание нагрузки совместно с другим источником питания, эти контроллеры также могут быть объединены. Единственный контроллер может заменить несколько контроллеров, чтобы уменьшить сложность и стоимость системы.
- **Уменьшение общего количества компонентов:** возможность объединения функций в микроконтроллере приводит также к сокращению количества других компонентов. Например, если в системе требуется и защита от слишком высокого напряжения, и защита от недостаточного напряжения, две отдельные схемы на основе операционных усилителей (ОУ) аналоговой системы можно заменить одной схемой на основе ОУ, которая подаёт сигнал в цифровой контроллер. Фактически это может быть та же схема усиления сигналов, которая требуется для контура регулирования напряжения, за счёт чего исключается другая схема с ОУ. Помимо снижения стоимости системы, уменьшение количества компонентов также имеет положительный побочный эффект, выражающийся в повышении надёжности за счёт уменьшения точек возможного отказа в системе.
- **Дополнительные интеллектуальные и функциональные возможности в системе за счёт связи:** КПД также можно измерять по системе или сети устройств, и если интерфейс связи встроен в контроллер системы, становится возможной координация взаимодействия

между различными устройствами. Например, контроль работы отдельных элементов в солнечной батарее позволяет системе добиться максимального КПД каждого элемента, а не ограничиваться только анализом работы всей батареи в целом. КПД на уровне сети можно повысить ещё больше за счёт таких функций, как контроль входной мощности, разделение нагрузки и управление резервированием. Усовершенствованный контроль также позволяет точнее измерять вырабатываемую и потребляемую мощность. Например, вместо того, чтобы оплачивать энергопотребление уличного освещения по установленной средней оценке, городские службы могут дистанционно контролировать фактическое потребление и платить только за то, что они на самом деле используют, что даёт значительную экономию.

- **Гибкая топология:** принимая во внимание динамику и гибкий характер цифрового подхода на основе программного обеспечения, разработчики легко могут изменять конфигурацию цифровых систем питания в соответствии с различными конфигурациями оборудования или условиями работы. Так как различия можно учесть программно, аппаратная часть платы управления и контроллер могут оставаться неизменными, даже если меняются такие факторы, как номинальная мощность или количество шин питания. Например, вместо того чтобы адаптировать резисторный делитель для работы с новым выходным напряжением или изменившимся допустимым отклонением выходного сигнала и иметь запас этих новых плат на складе, новое напряжение можно реализовать, просто изменив один параметр в программе управления.

## Упрощённое проектирование топологии системы питания

Чтобы помочь инженерам быстро разработать систему питания, кото-



а



б

**Рисунок 2.** Комплект разработчика; а) высоковольтная 2-фазная коррекция коэффициента мощности с чередованием; б) высокоэффективный (безмостовой) коррекции коэффициента мощности

рая обеспечивает требуемый КПД при наименьшей цене, TI предлагает оценочный комплект для цифровых систем питания, который поддерживает четыре наиболее широко используемые и важные топологии систем питания на сегодня. Каждый комплект имеет в своей основе мощную архитектуру микроконтроллера Piccolo™ производства TI и обеспечивает автономное аппаратное обеспечение с полным набором функций, которое не требует эмулятора для работы. Каждый комплект поставляется вместе с программным обеспечением так, что разработчики могут начать проектирование с определённого задела. Эта основа помогает разработчикам сделать соответствующие регулировки и оптимизации контуров компенсации, чтобы адаптировать разработку к имеющимся у них системам. Выбор систем, для которых проектируется питание, широк и может охватывать оборудование систем связи, телекоммуникационное оборудование, промышленное испытательное оборудование, навигационное/аэрокосмическое оборудование, ОВКВ, системы освещения, системы возобновляемых источников энергии и другие системы, требующие проектирования эффективного питания.

Комплекты подходят для источников питания как с преобразованием переменного тока в постоянный (AC/DC), так и с преобразователями постоянного тока (DC/DC). В случае систем с преобразованием переменного тока в постоянный разработчики будут использовать одну из топологий PFC, объединённую с одной из топологий преобразования постоянного тока.

В случае систем с преобразованием постоянного тока разработчикам нужна только одна из топологий преобразования постоянного тока. Топологии с PFC могут работать с реальными уровнями напряжения до 265 В переменного тока на входе и 400 В постоянного тока на выходе. Топологии с изолированными преобразователями постоянного тока понижают напряжение до соответствующего уровня (то есть 12 В для серверов, 48 В для телекоммуникационного оборудования и так далее).

Комплекты спроектированы таким образом, что объединяются без проблем. Каждый комплект PFC обеспечивает на выходе 380–400 В постоянного тока, что является входным напряжением для комплектов с изолированными преобразователями постоянного тока. Так как в каждой системе управление осуществляется одним (лучшим в отрасли) контроллером цифровых систем питания Piccolo™ производства TI, разработчики могут легко переходить с одной топологии на другую, не меняя платформу контроллера и не прибегая к серьёзным изменениям программного обеспечения.

### Топологии PFC

Комплекты разработчиков 2-фазной коррекции коэффициента мощности с чередованием и безмостовой коррекции коэффициента мощности идеально подходят для разнообразных систем, включая питание с преобразованием переменного тока в постоянный для серверов и телекоммуникационного оборудования, источники беспере-

бойного питания (ИБП), зарядные устройства аккумуляторов электромобилей и другие промышленные и коммерческие системы, такие как ОВКВ, лифты, краны, буровое оборудование, сварочные аппараты и т. д.

Комплект для разработки 2-фазной коррекции коэффициента мощности с чередованием (рисунок 2а) имеет в своей основе сравнительно стандартную топологию, которая должна быть знакома большинству инженеров по системам питания. Комплект для разработки безмостовой коррекции коэффициента мощности (рисунок 2б) реализует современный подход к проектированию PFC и быстро становится более популярным, чем стандартная 2-фазная топология с чередованием, благодаря тому, что его КПД в целом выше. Термин «безмостовая» обусловлен тем фактом, что в этой топологии исключён традиционный диодный мост, что снижает внутреннее энергопотребление по сравнению со стандартной топологией с чередованием. Основными недостатками при переходе к безмостовой схеме являются повышенные магнитные поля при том же уровне мощности и небольшое усложнение компенсации, предполагающей различие между положительным и отрицательным полупериодами.

#### Оба комплекта обеспечивают:

- Номинальную мощность: 300 Вт.
- КПД при полной нагрузке: >90% / >94%, 2-фазная с чередованием / безмостовая схема.
- Коэффициент мощности: >0,99 пиковый, 0,9% + при нагрузке 20%.
  - Коэффициент нелинейных искажений (для безмостовой PFC – только оценочное значение): 4% пиковый, 5,3% + при нагрузке 20%.
- Диапазон входного напряжения: 85–265 В переменного тока при 50 и 60 Гц.
- Выходное напряжение: до 400 В постоянного тока.
  - Частота переключения: 200 кГц.
- Защита: от повышенного тока (OCP), от повышенного напряжения (OVP), от недостаточного напряжения (UVP).

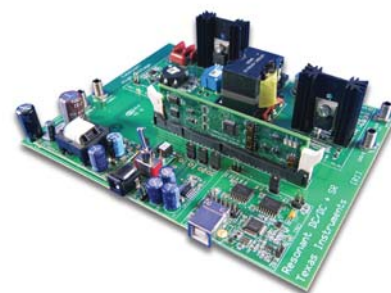


- Поддержка нескольких режимов управления: плавный пуск, ПИД-управление по среднему току, режим непрерывных/прерывистых токов (CCM/DCM), компенсация с помощью обратной связи по току в режиме DCM, программно реализованный умножитель, программно-реализованный цифровой фильтр для обратной связи по напряжению и т. д.

Комплект для разработки безмостовой топологии, помимо более высокого КПД, также обеспечивает цепь упреждающего регулирования по среднеквадратичному значению за полупериод (переменного тока), более быструю реакцию на изменение напряжения шины постоянного тока, контроль переменной частоты среднеквадратичного входного сигнала, встроенный фильтр ЭМП и вспомогательный источник питания.



а



б

**Рисунок 3.** а) Комплект изолированного преобразователя постоянного тока на основе полного моста со сдвигом фаз (PSFB); б) Комплект изолированного LLC-резонансного преобразователя постоянного тока

КПД для многих вариантов применения, включая источники питания гибридных электромобилей, серверов и телекоммуникационного оборудования, промышленные выпрямители и преобразователи постоянного тока и преобразователи постоянного тока солнечных батарей.

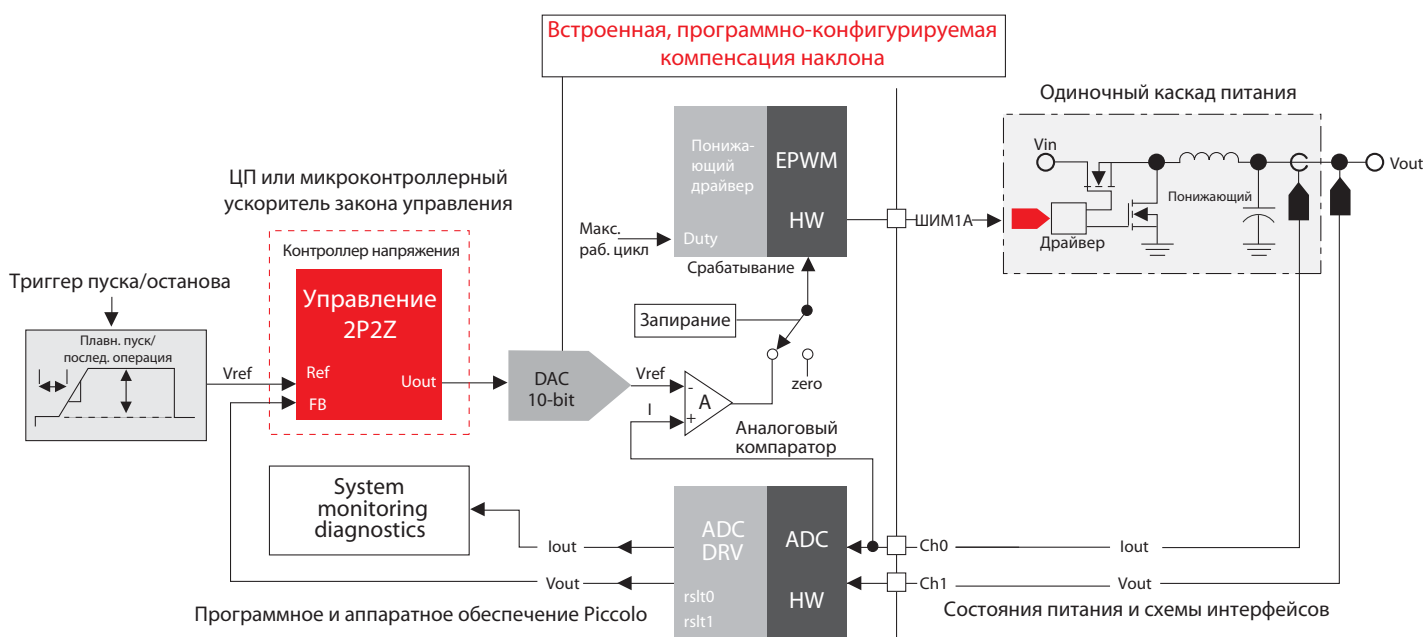
Топология изолированного преобразователя постоянного тока на основе PSFB предназначена для источников питания мощностью от 400 Вт до 5 кВт и наиболее популярна в усовершенствованных системах преобразования переменного тока в постоянный. Контроллеры цифровых систем питания Piccolo™ поддерживают управление режимом пикового тока с компенсацией наклона, не требуя дополнительных

схем вне кристалла, которые необходимы в случае систем на основе других контроллеров (рисунок 4).

Топологию изолированного LLC резонансного преобразователя постоянного тока принято считать наиболее эффективной и экономичной топологией на сегодня. Комплект разработки цифровой системы питания с топологией изолированного LLC резонансного преобразователя постоянного тока рассчитан на мощность 300 Вт, но представляет собой базовую разработку, напрямую применимую в системах большей мощности, обычно в диапазоне 300 Вт – 1 кВт+, которые должны иметь малый физический размер и требуют высокого КПД при пи-

## Топологии DC/DC

Комплект изолированного преобразователя постоянного тока на основе PSFB (рисунок 3а) и изолированного LLC-резонансного преобразователя постоянного тока (рисунок 3б) обеспечивает оптимальный



**Рисунок 4.** Новые комплекты TI позволяют разработчикам очень быстро начать проектирование цифровых систем питания, предоставляя и упрощая более сложные функции источников питания, которые широко востребованы, такие как управление режимом пикового тока (PCMC) с компенсацией наклона, не требуя при этом дополнительных схем

ковой нагрузке, а также при малой нагрузке или при отсутствии нагрузки. Он также идеально подходит для такого применения, как аудиосистемы, которые имеют требования к низким ЭМП своих источников питания.

**Оба комплекта обеспечивают:**

- *Номинальную мощность:* 300/600 Вт, комплекты LLC/PSFB, соответственно.
- *КПД:* LLC-комплект – 93,6% (пиковый), 90% (при 17% от номинальной мощности), 85% (при 10% от номинальной мощности); PSFB-комплект – 95%+ (пиковый), 90%+ при нагрузке 10%+.
- *Диапазон входного напряжения:* 380–400 В постоянного тока, номинальное.
- *Выходное напряжение:* 12 В пост. тока с регулировкой выхода в пределах  $\pm 0,3\%$ .
- *Переходная характеристика выхода:*  $< \pm 3\%$ ,  $< 0,25$  мс при изменении нагрузки на 80% при 1 А/мкс.
- *Частота переключения:* 100–140 кГц (LLC резонансная топология), 100 кГц (полномостовая топология с фазовым сдвигом).
- *Частота дискретизации:* 100 кГц.
- *Защита:* от повышенного тока (OCP), от повышенного напряжения (OVP), от недостаточного напряжения (UVP).
- *Поддержка нескольких режимов управления:*
  - Оба: плавный пуск, адаптивное отключение при нулевом напряжении (ZVS), оптимизированное управление синхронным выпрямлением.
- *Полномостовая топология с фазовым сдвигом:* режим среднего тока, режим пикового тока, режим напряжения.
- *LLC резонансная топология:* резонансный режим с частотным управлением, ПИД-контроллер напряжения.

Каждый из этих комплектов цифровых систем питания поддерживает работу при полном напряжении, поэтому они более точно моделируют работу реальных систем. Например, вместо того чтобы вынуждать разработчика экстраполировать лабораторные результаты, полученные

при 12 В, на системы, работающие при 400 В, эти комплекты позволяют оценить и проверить работу и КПД при настоящих высоких напряжениях и обоснованно высоких уровнях мощности. Кроме того, модульный характер программного обеспечения управления поддерживает несколько режимов управления, так что разработчики могут выбрать тот, который лучше всего подходит для их системы.

После того как разработчики поэкспериментировали с топологией системы питания или выбрали её, им нужно иметь возможность оценить, насколько хорошо используемый контроллер будет способен выполнить конкретные требования, предъявляемые к их системе. Наиболее важными аспектами, которые следует рассмотреть при оценке контроллера цифровой системы питания, являются задержка в контуре управления, разрешение на входе и выходе, гибкость, запас производительности, оптимизация, поддержка на уровне системы и стоимость.

## Оценка контроллеров цифровых систем питания

### Задержка в контуре управления

Чтобы достичь рабочих характеристик, эквивалентных мгновенной способности реагирования контуров управления аналоговых систем, в контурах управления цифровых систем нужно максимально снизить задержку между взятием отсчёта сигнала и формированием сигнала на выходе. В контроллерах цифровых систем питания Piccolo™ это достигается путём оптимизации всего тракта сигналов, от принятия отсчёта сигнала к обработке и далее до выхода.

- *Скорость преобразования АЦП:* при частоте дискретизации 4,6 млн отсчётов/с контроллеры цифровых систем питания Piccolo™ получают сигналы быстрее, чем любые другие контроллеры, имеющиеся в этом классе.

- *Скорость работы ЦП:* работая со скоростью до 60 млн операций в секунду, архитектура микроконтроллеров Piccolo™ реализует самые быстрые контроллеры цифровых систем питания в промышленности.
- *Обработка на основе цифрового сигнального процессора (DSP):* DSP-основа микроконтроллера Piccolo™ рассчитана на высокоэффективное исполнение сложных алгоритмов с возможностью выполнения таких операций, как умножение с накоплением за один такт (MAC), для которых в традиционных микроконтроллерах требуется десять тактов.
- *Оптимизированная архитектура:* контроллеры систем питания Piccolo™ имеют в своём составе такие аппаратные компоненты, как ускоритель закона управления (CLA), который исполняет программу управления с плавающей точкой параллельно основному ЦП и снижает нагрузку на вычислительные мощности ЦП, занятые обработкой, чем существенно ускоряет обработку в контуре управления.
- *Разрешение ШИМ:* при интервале 150 пс модуляторы ШИМ микроконтроллера Piccolo™ могут обновлять сигнал на выходе в 8 раз быстрее, чем ближайший конкурент при том же разрешении ШИМ.

### Разрешение сигналов на входе и выходе

Благодаря выборкам сигналы в цифровых системах дискретны по времени и значения хранятся в виде целых чисел с конечным разрешением. Более высокое разрешение напрямую уменьшает потери сигналов и снижает вносимые случайные шумы.

- *Разрешение АЦП:* при 12-битном разрешении микроконтроллер Piccolo™ обеспечивает одно из самых высоких разрешений для контроллеров цифровых систем питания.
- *Динамический диапазон:* 32-битное слово ЦП цифровых систем питания Piccolo™ обеспечивает динамический диапазон, который позволяет до-

биться максимальной точности и достоверности вычислений. Дополнительный ускоритель закона управления (CLA) для систем, которые требуют дополнительной вычислительной мощности, имеет длину слова 32 бита и также способен выполнять операции с плавающей точкой, что ещё больше расширяет динамический диапазон, достоверность и точность вычислений.

- **Разрешение ШИМ:** разрешение ШИМ, равное 150 пс, обеспечивает точность регулировки формы выходного сигнала даже при очень высоких частотах ШИМ.

### Гибкость

Каждая система питания отличается от других, и чем большей гибкостью обладает контроллер, тем эффективнее и точнее регулирование выхода. АЦП должен обеспечивать переключение в соответствии с приоритетом и разнообразными вариантами последовательности операций, а ШИМ должен быть гибким, чтобы поддерживать различные топологии и формы сигналов, которых может потребовать система. Платформа controlSUITE™ с её библиотеками и кодами прикладных программ обеспечивает всё необходимое программное обеспечение для дискретизации и обработки сигналов, какой бы способ обработки и последовательность ни потребовались.

### Запас производительности

TI предлагает широкую линейку контроллеров цифровых систем питания, так что разработчики могут выбирать устройства с различной вычислительной мощностью и реализованными на кристалле ресурсами, многие из которых совместимы по выводам. Этот широкий выбор в сочетании с блоками программного обеспечения, оптимизированными для ЦП и ускорителя закона управления микроконтроллера Piccolo™, обеспечивает достаточный запас производительности для реализации передовых функций цифрового управления, не ухудшая надёжности

и рабочих характеристик в реальном времени.

### Поддержка на системном уровне

TI является мировым лидером в области микросхем, программного обеспечения и поддержки, требуемых для разработки эффективных и экономичных систем питания. Корпорация разработала свою линейку цифровых систем питания на основе обширного опыта в области микросхем и разработки на системном уровне, накопленного при создании реальных приложений при оказании помощи своим заказчикам по всему миру. Разработчики имеют доступ к опыту и знаниям компании в области разработки систем и приложений, пользуясь всеобъемлющими комплектами для разработки, оценочными платами, инструментами проектирования на уровне системы, такими как платформа controlSUITE™ и форум инженеров TI (E2E), которым широко пользуется инженерное сообщество. Кроме того, бесплатное прикладное программное обеспечение и библиотека модульного ПО цифровых систем питания с открытым исходным кодом TI не только избавляют от необходимости оплаты программного обеспечения, но и ускоряют вывод разработок на рынок, предоставляя оттестированный и хорошо настроенный код для каждой из основных топологий систем питания.

### Оптимизация

После того как разработчики провели свою оценку различных топологий систем питания, они должны иметь возможность легко оптимизировать проект для использования в своей системе. С точки зрения аппаратного обеспечения, например, разработчики должны после этого переходить к своим собственным платам питания с соответствующей номинальной мощностью с более тщательным рассмотрением магнитных явлений, пассивных компонентов и компоновки платы. Разработчики могут использовать ту же плату управления, которая использовалась в этих комплектах, или

разработать новую плату управления, адаптированную к их системе, на основе пакета аппаратного обеспечения, входящего в комплект. С точки зрения программного обеспечения контур управления можно настроить путём регулирования параметров системы с помощью графического интерфейса, поставляемого Texas Instruments.

### Коммуникация

На определённом этапе может потребоваться снабдить систему питания каналом связи. TI предлагает библиотеку драйверов для разнообразных интерфейсов, включая PMBus, I<sup>2</sup>C, UART и SPI. Также TI предлагает законченное решение для организации связи по линиям электропередачи (PLC), поддерживаемое мощной средой разработки plcSUITE™.

### Стоимость

местные нормативные требования, такие как Energy Star V2.0, стимулируют спрос на более эффективные топологии, как для коммерческого оборудования, так и для бытовых приборов. Учитывая большие объёмы этих рынков, стоимость является существенным аспектом при проектировании системы питания, и архитектура микроконтроллеров Piccolo™ предлагает разработчикам наиболее экономичную реализацию для получения эффективной системы питания.

Комплекты для разработки цифровых систем питания TI обеспечивают отличную основу для знакомства разработчиков аналоговых систем с цифровыми системами питания и оценки архитектуры микроконтроллеров Piccolo™. Имея аппаратное обеспечение, которое работает с токами и напряжениями реальных систем, в сочетании с программным обеспечением, которое обеспечивает полную среду для создания прикладных программ, разработчики могут быстро открыть для себя преимущества цифровых систем питания.

### Литература

1. Simplifying the transition to digital power for greater efficiency at a lower cost (SPRY170).

# Qseven

Cross Platform Development Kit 2.0

Оценочный комплект и набор для разработчиков встраиваемых систем от компании SECO



Набор разработчика **Cross Platform Development Kit 2.0** для разработчиков встраиваемых систем и инженеров предназначен для отладки программного обеспечения модулей **Qseven**, а так же для конструирования своих собственных плат. Набор разработчика полностью совместим со стандартом **Qseven 2.0** и поддерживает модули как на архитектуре **x86**, так и на **ARM**.

#### Характеристики:

- Поддержка видео: **HDMI / Display Port** interface on PCI-e x16 slot. **LVDS / eDP** interface on PCI-e x8 slot
- Хранение информации: **SATA** (в т.ч. и pin 7), **mSATA**, **SD / MMC**, **SPI**, **I<sup>2</sup>C**
- Сетевое подключение: **Gigabit Ethernet**
- Последовательные интерфейсы: **CAN Bus** (TTL + CAN transceiver) **3x RS-232**, **2x RS-232 / RS/422 / RS-485** настраиваемые порты

**Размеры:** 345x170 мм (13.58"x6.69")

#### Рекомендуемые модули:

##### ARM:

- QuadMo747-X / i.MX6
- $\mu$ Q7-i.MX6
- $\mu$ Q7-i.MX6-J

##### x86:

- Q7-BT
- Q7-BTm
- $\mu$ Q7-BT-J

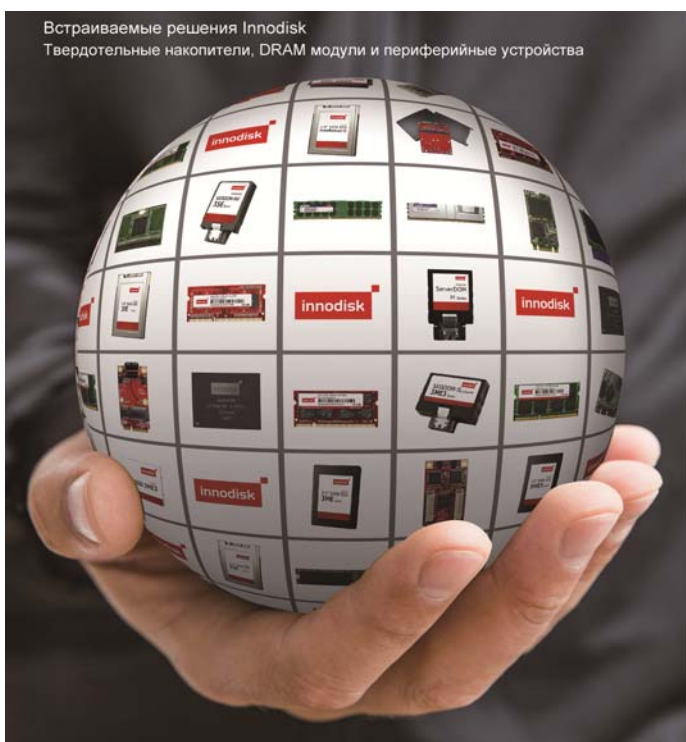
ООО "Сканти" – официальный дистрибьютор компании SECO в России!

 **Сканти**



## Компания Сканти стала официальным дистрибьютором компании Innodisk!

Мы рады сообщить, что с 1 января 2016 года компания Сканти стала официальным дистрибьютором компании Innodisk – лидера в производстве твердотельных накопителей для встраиваемых систем.



Компания Innodisk более 10 лет занимается разработкой и производством накопителей на flash-памяти для встраиваемых систем и на сегодня является одним из крупнейших производителей твердотельных накопителей для этой отрасли. Благодаря лучшей на Тайване команде профессионалов и разработчиков изделий на flash-памяти, компания Innodisk предоставляет высококачественный сервис и надёжные изделия всем клиентам для решения любых задач сбора и хранения данных во встраиваемых системах от аэрокосмической и оборонной промышленности до облачных систем хранения данных.

Отличительной чертой Innodisk всегда были первоклассный сервис и разработка новых технологий, которые повышают надёжность работы и контроль за состоянием накопителей (технология iSMART), а также повышают стабильность при работе в условиях экстремальных

температур, скачках напряжения и падения мощности (технологии iCell, iData Guard и датчик температуры). Благодаря этому объём твердотельных накопителей Innodisk в зависимости от их типа варьируется от минимальных 128 Мбайт (для систем АСКУЭ, телематики и телемеханики) и до 2 Тбайт.

### Преимущества твердотельных накопителей Innodisk для встраиваемых систем:

1. Устойчивость к сильным ударам и вибрациям.
2. Устойчивость к влаге, пыли и химическим повреждениям.
3. Защита данных в случае сбоя питания.
4. Работоспособность в экстремальных температурах, от  $-40$  до  $+85$  °C, и предотвращение сбоев в работе накопителей при работе в высоком температурном диапазоне.

### Основные направления продукции Innodisk по типам накопителей

Твердотельные накопители	Модули памяти DRAM	Модули периферии
SSD	Для встраиваемых систем	Хранение данных
SATADOM	Long-DIMM	mPCIe/mSATA
ServerDOM™	SO-DIMM	Standard PCIe
SATA Slim	Low-Profile DIMM	M.2
CFast	Unbuffered DIMM with ECC	Others
mSATA	Для серверов обработки и хранения данных	Создание массивов данных
M.2-SATA (NGFF)	Unbuffered DIMM with ECC	mPCIe/mSATA
mini PCIeDOM	Registered DIMM	Standard PCIe
CompactFlash card (CF)	LR-DIMM	M.2
Embedded Disk Card (EDC)	Оперативная память для работы в диапазоне $-40...+85$ °C	Others
SD Card & microSD Card	Unbuffered DIMM	Средства индикации
USB / USB EDC	Unbuffered SO-DIMM	mPCIe/mSATA
nanoSSD	Специализированная оперативная память	Модули коммуникации
	32-Bit	mPCIe/mSATA
	Rugged	M.2
	Mini DIMM	Отладочные средства
	Single Side	Standard PCIe
	Registered SO-DIMM	

Заказать печатную версию каталога и получить более подробную техническую информацию можно обратившись в любой офис компании Сканти или по электронной почте: [naa@scanti.com](mailto:naa@scanti.com).

## Модули WiLink 8 2,4 ГГц Wi-Fi® + Bluetooth® /BLE производства Texas Instruments и отладочные средства

### Модули TI

Продукт	Wi-Fi®			Bluetooth® v4.0	Сертификация FCC/IC/ETSI
	802.11bgn	MIMO	MRC		
WL1801MOD	•				•
WL1805MOD	•	•	•		•
WL1831MOD	•			•	•
*WL1835MOD	•	•	•	•	•

\*Образец WL1835MOD можно получить в магазине eStore корпорации TI и у авторизованных дистрибьюторов.

### Программное обеспечение и инструментарий разработки

Номер изделия	Описание	Возможности
WL1835MODCOM8 	Отладочная плата на основе WL1835, совместимая с отладочным модулем Sitara™ AM335x, а также с некоторыми другими отладочными модулями и типовыми разработками TI	В магазине eStore и у авторизованных дистрибьюторов TI
WL1835MOD Cape 	Дочерние платы на основе модуля WiLink 8, предлагаемые компанией CircuitCo для ускорения разработки с использованием компьютера с открытым исходным кодом ПО BeagleBone Black и BeagleBone	BoardZoo.com и у дистрибьюторов CircuitCo

### Другие инструменты

TI предлагает полностью интегрированное и проверенное программное обеспечение дополнительного модуля WiLink 8 для комплекта разработки систем Sitara AM335x Linux ezSDK на сайте [www.ti.com/wilink8wiki](http://www.ti.com/wilink8wiki).

Уникальная технология SmartConfig™ корпорации TI представляет собой одношаговый процесс настройки Wi-Fi®, который позволяет быстро и эффективно подключать множество домашних устройств к сетям Wi-Fi®.

### Ресурсы WiLink

- Узнать больше: [www.ti.com/wilink8](http://www.ti.com/wilink8)
- Форум E2E: [www.ti.com/wiconforum](http://www.ti.com/wiconforum)
- Страница WiLink 8: [www.ti.com/wilink8wiki](http://www.ti.com/wilink8wiki)



3/2015



4/2015



1/2016

## Контакты

### Центральный офис

Россия, 117587, Москва, Варшавское шоссе, 125  
Тел: +7(495)781-4945 / Факс: +7(495)781-4992  
E-mail: [order@scanti.com](mailto:order@scanti.com) / [www.scanti.com](http://www.scanti.com)

### Офис в Санкт-Петербурге

197374, Санкт-Петербург  
Торфяная дорога, 7  
Бизнес-центр «Гулливёр-2», офис 715  
Тел: +7(812)441-2524 / факс: 441-2554  
E-mail: [order@scanti.com](mailto:order@scanti.com) / [www.scanti.com](http://www.scanti.com)

### Офис в Минске

Беларусь, 220099, Минск, ул. Казинца, 4, к. 514  
(здание ГО «Белресурсы»)  
Тел: +375(17)398-2162  
Тел./факс: +375(17)256-0867  
E-mail: [order@scanti.com](mailto:order@scanti.com) / [www.scanti.com](http://www.scanti.com)

### Офис в Киеве

Украина, 02002, Киев, ул. Марины Расковой, 23  
офис 1026  
Тел./факс: +38(044)206-2277  
E-mail: [order@scanti.com](mailto:order@scanti.com)

**1/2016 ВМЕСТЕ В БОРЬБЕ ЗА ЛИДЕРСТВО!**