

Компоненты

БЮЛЛЕТЕНЬ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ
ПОЛНЫЙ СПЕКТР ПРИМЕНЕНИЙ

2/2016

- Новая линейка процессоров AM57x семейства Sitara™ стр. 2
- Потенциал промышленного „Интернета вещей” (IoT) стр. 26
- Упрощение локального учёта электроэнергии с помощью измерительных ИС от Texas Instruments стр. 34





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”

Содержание выпуска

■ Процессоры | Микроконтроллеры | Системы на кристалле

Мощнейшие системы на кристалле, характеризующиеся высокопроизводительными вычислениями в реальном времени и мультимедийными возможностями 2

■ Мекре Месганав (Mekre Mesganaw) и Крайпасагар Венкат (Kripasagar Venkat)

Реализация трёхфазных электронных счётчиков электроэнергии на основе MSP430F677x. Окончание. (SLAA577) 4

TI представляет первый в мире микроконтроллер с конфигурируемым трансимпедансным усилителем с малым током утечки... 12

■ Устройство коммутации

Испытания герконовых переключателей и реле на надёжность 13

■ АЦП и ЦАП, кодеки

■ Брайан Лайзон (Bryan Lizon)

Интегрированная диагностика передаёт функции обеспечения надёжности систем на уровень микросхем АЦП. (SLYY074) 20

■ Беспроводные коммуникации

Потенциал промышленного «Интернета вещей» (IoT) 26

■ Управление питанием

■ Тимоти Хегарти (Timothy Hegarty)

Как модули PoL могут соответствовать потребностям систем с высокой плотностью монтажа 30

■ Прасад Дхонд (Prasad Dhond)

Упрощение локального учёта электроэнергии с помощью измерительных интегральных схем (ИС) корпорации Texas Instruments (SLAY020) 35

■ Дэвид Доу (David Dou)

4.2-W GU10 светодиодный драйвер с использованием автономного контроллера TPS92310 (SLVA511) 40

■ Реклама

Компания Innodisk – лидер в производстве твердотельных накопителей для встраиваемых систем 34

innodisk

SMTU-C/SMTU-G держатели производства компании Renata Batteries 39

renata
batteries

От редакции:

Все вопросы и пожелания можно адресовать на наш сайт www.scanti.com или присылать по адресу: journal@scanti.com



TEXAS INSTRUMENTS



Корпорация **Texas Instruments** вручила нашей компании награду за наилучшую техническую работу в 2015 году.

Вместе в борьбе за лидерство!

Мощнейшие системы на кристалле, характеризующиеся высокопроизводительными вычислениями в реальном времени и мультимедийными возможностями



Новое семейство AM57x, совместно с соответствующим комплектом разработчика ПО для процессоров, предоставляет непревзойдённую интеграцию, масштабируемость, богатство периферии и лёгкость использования, соответствующую мощной процессорной платформе Sitara™

Предлагая разработчикам улучшенную интеграцию, масштабируемость и богатый набор периферии на одном кристалле, корпорация Texas Instruments анонсировала новую линейку процессоров AM57x семейства Sitara™, на данный момент самую высокопроизводительную в этой процессорной платформе. Процессоры Sitara AM57x разработаны и будут востребованы в широком спектре встраиваемых и промышленных приложений благодаря уникальной неоднородной архитектуре, включающей ядра ARM® Cortex®-A15 для высокопроизводительных вычислений и запуска высокоуровневой операционной системы. Дополнительно AM57x интегрируют в себя процессоры цифровой обработки сигналов C66x для решения задач аналитики и вычислений в реальном времени, программируемые сопроцессоры

реального времени (PRU), ядра ARM Cortex-M4 для решения задач управления, а также видео- и графические ускорители для продвинутых интерфейсов пользователя и мультимедийных приложений, делающих процессоры AM57x незаменимыми в своём классе.

Процессоры семейства AM57x изначально разрабатывались с учётом необходимости высокой производительности и интеграции. Как результат, процессоры предоставляют разработчикам непревзойдённую производительность – на 40% большую, чем счетверённое ядро процессоров ARM Cortex-A9, и на 280% больше, чем стандартное двухъядерное решение на процессорах ARM Cortex-A9, широко представленное на рынке встраиваемых применений. Процессоры Sitara AM57x предоставляют наиболее продвинутое на данный момент в промышленности решение интеграции вычислительной мощности, управления в реальном времени, способностей по подключению и мультимедийных возможностей, позволяя разработчикам упростить их проекты применением однокристалльного решения взамен многокорпусных решений

для каждой функции. Такая интеграция идеальна для промышленных приложений «Интернета вещей» (IoT), систем автоматизации, машинного зрения, встраиваемых компьютеров, систем человеко-машинного интерфейса (HMI), робототехники, устройств обработки изображений для медицины, авионики и многих других.

Улучшенная возможность интеграции у процессоров Sitara AM57x:

- **Вычислительная мощность.** Разработчики получают преимущество уникальной комбинации разных типов вычислительных ядер, до двух ядер ARM Cortex-A15 и ЦСП C66x, выполняющих различные задачи. Многоядерная архитектура предлагает гибкость распределения задач наиболее подходящему ядру, одновременно решая задачу системной интеграции и лучшей в своём классе производительности, и всё это на одном кристалле.
- **Управление.** В дополнение к высокопроизводительным ядрам процессоры AM57x также включают в себя два ядра ARM Cortex-M4 и четыре сопроцессора PRU, предлагая разра-

ботчикам функциональность с низким временем ожидания, контроль в реальном масштабе времени, необходимый для промышленных приложений, таких как управление двигателями или мониторинг датчиков.

- **Коммуникации.** Процессоры снабжены подсистемой промышленных коммуникаций (ICSS) для поддержки протоколов реального времени fieldbus и других промышленных протоколов, также большую системную гибкость дают высокопроизводительные периферийные модули PCIe, SATA, гигабитный Ethernet и USB 3.0. Эти ключевые особенности, совместно с высокопроизводительными ядрами ARM Cortex-A15 и ЦСП, позволяют процессорам AM57x передавать и получать данные быстрее.

- **Мультимедийные возможности.**

Процессоры интегрируют в себе до двух графических ускорителей SGX5443-D и GC3202-D для реализации продвинутых пользовательских интерфейсов, видеоускоритель 1080p60 и поддержку нескольких дисплеев для воспроизведения видео высокого разрешения, а также несколько входов для камер для записи событий, получения снимков или чтения штрихкодов.

Процессоры AM57x получают питание от микросхемы питания TI TPS659037. В дополнение, отладочный модуль AM57x EVM имеет в своём составе разъём для подключения одного из модулей TI WiLink™ 8, позволяя вести обмен по Wi-Fi® и Bluetooth®.

Создайте специализированное решение на полностью масштабируемом программном обеспечении

TI переопределяет масштабируемость процессорным семейством AM57x, совместимым по выводам, совместно с новым комплектом ПО Processor SDK, первым масштабируемым ПО, предназначенным для всего портфолио процессоров TI Sitara и ЦСП. Процессорные семейства программно совместимы от младших к старшим (семейства AM335x, AM437x и AM57x), и разработчикам не придётся переучивать программную платформу. Унифицированная программная платформа для процессоров TI Processor SDK использует совместимое ПО, включающее основную



стабильную (LTS) версию ядра Linux® (позднее с поддержкой RT-Linux), комплект ПО Linaro™ и совместимую с Yocto Project™ файловую систему. Это исключает необходимость в reinvestировании средств в программные инструменты разработки. Также доступна поддержка TI-RTOS для получения оптимальной производительности в реальном времени. Дополнительно пользователи получают пользу от ПО Khronos OpenCL™, упрощающего работу с цифровыми сигнальными процессорами без необходимости иметь глубокий опыт работы с ними.

Огромная экосистема разработки и поддержки

TI в сотрудничестве с BeagleBoard.org продвигает новую отладочную платформу BeagleBoard-X15 на базе процессора Sitara AM5728 и предоставляет доступ к большому сообществу разработчиков открытых аппаратных платформ. Дополнительно решения от третьих партнёров, членов TI Design Network, предлагают пользователям проверенные аппаратные модули и надёжные программные решения, такие как видеокodeки, использующие аппаратные ускорители. Разработчики используют преимущества различных

операционных систем совместно с такими решениями, как Windows Embedded Compact 2013 и Android™ 5.0 от компании Adeneo Embedded, системы реального времени RTOS от компаний Mentor Embedded, Green Hills, QNX Software Systems и Wind River. Предварительно собранные модули от компаний Ittiam, PHYTEC, D3 Engineering, CompuLab, DAB-EMBEDDED и Z3 Technology сокращают цикл разработки для заказчиков.

Цена и доступность

Образцы процессоров Sitara AM57x доступны для заказа на сайте www.ti.com. Отладочная плата TMDXEVM5728 доступна для заказа на сайте www.store.ti.com/default.aspx, а также через авторизованных дистрибьюторов по цене 599\$*. Также доступен на сайте TI опорный дизайн Sitara AM57x TI Designs reference designs.

Дополнительную информацию читайте на сайте:

www.newscenter.ti.com/2015-10-14-TI-disrupts-the-embedded-market-with-the-most-powerful-SoCs-featuring-real-time-processing-and-multimedia

* на территории США

Окончание. Начало в №1 -2016 бюллетеня «Компоненты TI»

Реализация трёхфазных электронных счётчиков электроэнергии на основе MSP430F677x

В данном разделе рассмотрим различные элементы электрических измерений, выполняемых в фоновом процессе.

Сигналы напряжения и тока

$\Sigma\Delta$ -преобразователь имеет архитектуру с полностью дифференциальным входом, и на каждый $\Sigma\Delta$ -вывод могут подаваться отрицательные входные сигналы; поэтому для переменного входного напряжения не требуется никакого сдвига по уровню (в отличие от несимметричных или псевдодифференциальных преобразователей).

Выход каждого $\Sigma\Delta$ -преобразователя – это целое число со знаком, а все паразитные составляющие постоянного тока или смещения в этих $\Sigma\Delta$ -преобразователях удаляются с помощью следящего фильтра постоянных составляющих. Отдельные оценки постоянной составляющей для всех напряжений и токов получаются, соответственно, с помощью этого фильтра и отсчётов напряжения

и тока. Затем это значение вычитается из каждого отсчёта напряжения и тока.

Результирующие отсчёты мгновенных значений напряжения и токов используются для формирования следующих промежуточных результатов:

- Накопленных значений квадратов напряжений и токов, которые используются для расчётов $V_{действ}$ и $I_{действ}$, соответственно.
- Накопленных отсчётов энергии для расчёта активной энергии.
- Накопленных отсчётов энергии с использованием тока и напряжения, сдвинутого по фазе на 90° , – для расчёта реактивной энергии.

Эти накопленные значения обрабатываются приоритетным процессом.

Компенсация фазы

Если в качестве датчика используется трансформатор тока (ТТ), то он вносит дополнительный фазовый сдвиг в сигналы тока. Пассивные элементы входных це-

пей сигналов тока и напряжения также могут вносить свой фазовый сдвиг. Относительный фазовый сдвиг между отсчётами напряжения и тока необходимо компенсировать, чтобы обеспечить точные измерения. $\Sigma\Delta$ -преобразователи имеют регистры программируемой задержки ($\times 24PREx$), которые можно применять в том или ином канале. Эта встроенная функция (регистр PRELOAD) используется для реализации требуемой компенсации фазы. На рисунке 9 показано использование регистра PRELOAD для задержки отсчётов в определённом канале.

Разрешающая способность дробной задержки зависит от входной частоты (f_{IN}), OSR и частоты дискретизации (f_S).

$$\text{Delay resolution}_{Deg} = \frac{360^\circ \times f_{IN}}{OSR \times f_S} = \frac{360^\circ \times f_{IN}}{f_M} \quad (7)$$

В данном случае, при входной частоте 60 Гц, значении OSR, рав-

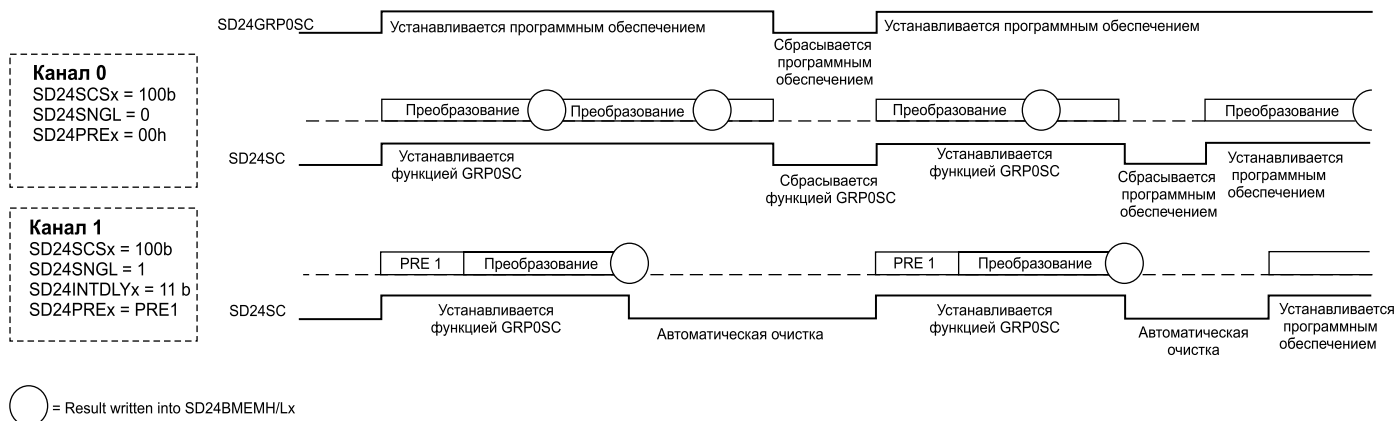


Рисунок 9. Компенсация фазы с помощью регистра PRELOAD

ном 256, и частоте дискретизации 4096, разрешение одного разряда регистра предварительной загрузки (PRELOAD) составит порядка $0,02^\circ$ при максимальном значении $5,25^\circ$ (максимум 255 шагов). Поскольку взятие отсчётов в семи каналах запускается общим сигналом запуска, часто используется метод, когда задержка, равная 128, вводится во все каналы, а затем увеличивается или уменьшается относительно этого базового значения. Это позволяет варьировать задержку в ту или иную сторону для компенсации опережения или отставания по фазе. На практике в данном устройстве это означает ограничение компенсации значением $\pm 2,62^\circ$. При использовании ТТ, которые вносят фазовый сдвиг, превышающий это максимальное значение, необходимо предусмотреть задержку отсчётов вместе с задержкой дробной части. Такую компенсацию фазы можно также изменять в ходе эксплуатации, чтобы учитывать уход параметров ТТ из-за температуры, но для этого необходимо обеспечить остановку преобразований в $\Sigma\Delta$ -преобразователях.

Измерение частоты и отслеживание периода

Мгновенные значения напряжения каждой фазы накапливаются в 48-разрядных регистрах. В отличие от напряжения, мгновенные значения тока, активной мощности, реактивной мощности накапливаются в 64-разрядных регистрах. Счётчик отслеживания периода и счётчик отсчётов отслеживают количество накопленных отсчётов. Когда накапливается количество отсчётов, формируемых примерно за одну секунду, фоновый процесс сохраняет эти регистры с накопленными значениями и уведомляет приоритетный процесс о необходимости расчёта усреднённых значений, таких как действующие значения и значения мощности. Для запуска усреднения в приоритетном процессе используются границы периода, поскольку при этом получаются очень стабильные результаты.

Для измерения частоты применяется линейная интерполяция между

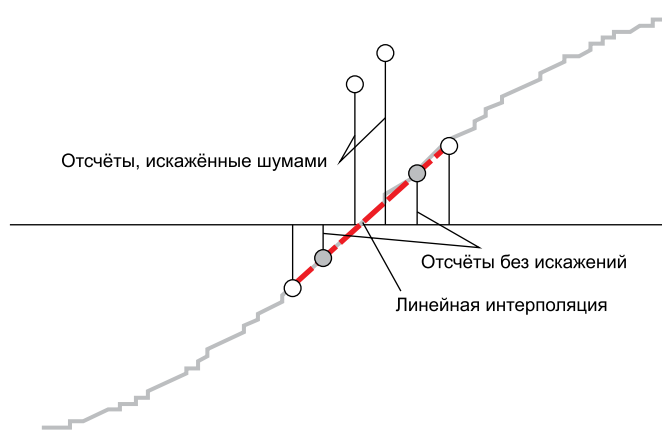


Рисунок 10. Измерение частоты

отсчетами напряжения при пересечении нулевого уровня. На рисунке 10 показаны отсчеты вблизи точки пересечения нулевого уровня и процесс линейной интерполяции.

Поскольку шумовые выбросы также могут приводить к появлению пересечения нулевого уровня, в данном устройстве используется контроль скорости изменения для отфильтровывания возможных искажённых сигналов и обеспечения гарантии того, что действительно являются точками, между которыми происходит пересечение нулевого уровня. Например, если имеется два отрицательных отсчёта, шумовой выброс может сделать один из них положительным, и полученная таким образом пара из положительного и отрицательного отсчётов будет выглядеть как пара отсчётов, между которыми происходит пересечение нулевого уровня.

Получаемые в результате значения длительности периодов пропускаются через предварительный фильтр низких частот для дополнительного сглаживания изменений от периода к периоду. Этим обеспечивается стабильное и точное измерение частоты, устойчивое к воздействию шумов.

Формирование импульсов светодиодов

В электрических счётчиках потребляемая энергия обычно измеряется в долях киловатт-часов (кВт·ч), и каждой доле соответствует импульс. Эту информацию можно использовать для точной калибровки

любого счётчика, чтобы обеспечить впоследствии точность измерений.

Как правило, измерительный элемент (MSP430) отвечает за формирование импульсов, пропорциональных потреблённой электроэнергии. Чтобы решать обе эти задачи эффективно, формирование импульсов должно быть точным, с относительно малым дрожанием. Хотя дрожание по времени и не является признаком низкой точности, оно может указывать на невысокую общую точность счётчика. Следовательно, дрожание надо устранить путём усреднения.

В данном устройстве для формирования импульсов учёта потреблённой электроэнергии используется средняя мощность. Средняя мощность (рассчитываемая приоритетным процессом) накапливается в каждом $\Sigma\Delta$ -прерывании, распределяя энергию, накопленную за предыдущий кадр длительностью в 1 с, равномерно по каждому прерыванию в текущем 1-секундном кадре. Это эквивалентно преобразованию в энергию. После того как накопленное значение энергии становится выше порога, формируется импульс. Вышеуказанное количество энергии, превысившее этот порог, сохраняется, а новое количество энергии в следующем цикле прерывания добавляется к нему. Поскольку средняя мощность, как правило, имеет стабильное значение, такой способ формирования импульсов энергии является очень надёжным, и при этом отсутствует дрожание.

Порог определяет минимальный «шаг» учёта электроэнергии, который задаётся изготовителем счётчи-

ка и является постоянной величиной. Обычно это значение задаётся в «импульсах/кВт•ч» или просто в кВт•ч. На каждый такой минимальный шаг должен формироваться один импульс.

Например, в данном устройстве число импульсов, формируемых на кВт•ч, задано равным 6400 для активной и реактивной составляющих электроэнергии. В этом случае минимальное учитываемое количество энергии составляет 1/6400 кВт•ч. Импульсы учёта электроэнергии формируются на определённом выводе, откуда их можно снять, а также подаются на светодиоды на плате. Для формирования импульсов используются выводы порта ввода/вывода общего назначения.

В демонстрационном модуле (EVM) светодиоды маркированы "LED1", "LED2", "LED3" и "LED_ACT" и соответствуют потреблённой активной энергии фазы А, фазы В, фазы С и общей сумме по трём фазам соответственно.

Светодиод "LED_REACT" соответствует суммарной реактивной энергии по трём фазам. Количество импульсов на кВт•ч и ширина каждого импульса конфигурируются в программном обеспечении. На рисунке 11 показана блок-схема формирования импульсов.

Средняя мощность измеряется в единицах, равных 0,01 Вт, а порог в 1 кВт•ч определяется как

$$\text{Порог } 1 \text{ кВт}\cdot\text{ч} = 1/0,01 \times 1 \text{ кВт}\cdot\text{ч} \times (\text{количество прерываний в секунду}) \times (\text{количество секунд в 1 ч}) = 100\,000 \times 4096 \times 3600 = 0 \times 15752A00000.$$

Конфигурация счётчика электроэнергии

Файлы заголовка используются для инициализации и конфигурирования счётчика электроэнергии для выполнения нескольких функций измерения.

Некоторые из возможных вариантов, которые может сконфигурировать пользователь, пере-

числены в файле, который называется emeter-3ph-neutral-6779.h и находится в папке emeter-ng. В нем содержатся макроопределения, которые используются при штатной работе счётчика.

Демонстрационный пример счётчика электроэнергии

Демонстрационный модуль (EVM) счётчика электроэнергии для описываемого здесь устройства имеет микропроцессор MSP430F677x и демонстрирует измерения электроэнергии. Полная демонстрационная платформа состоит из модуля EVM, который можно легко подключить к любой испытательной системе, метрологического программного обеспечения и графического пользовательского интерфейса ПК, который будет использоваться для просмотра результатов и проведения калибровки.

Общее описание демонстрационного модуля

Демонстрационный модуль имеет в своём составе микроконтроллер MSP430F6779, ЖК-индикатор, светодиодные индикаторы, аналоговые цепи для измеряемого тока и напряжения, интерфейсы RS-232 для связи с инструментальным компьютером и JTAG для подключения эмулятора и, в зависимости от исполнения, конденсаторный или импульсный блок питания. Принципиальную и монтажную схемы модуля можно найти в комплекте поставки или на сайте www.ti.com.

Загрузка примера программы

Исходный код разработан в среде IAR с использованием компилятора IAR версии 6.x. При использовании более ранних версий файлы проекта не откроются. Если использовать для загрузки проекта версии, вышедшие после 6.x, система предлагает создать резервную копию, пользователь должен щёлкнуть на YES, чтобы продолжить работу. Метрологическое программное обеспечение для учёта электроэнергии состоит из трех частей: инструментарий, в который входит библиотека в основном математических подпрограмм, основной код программы, состоящий из ис-

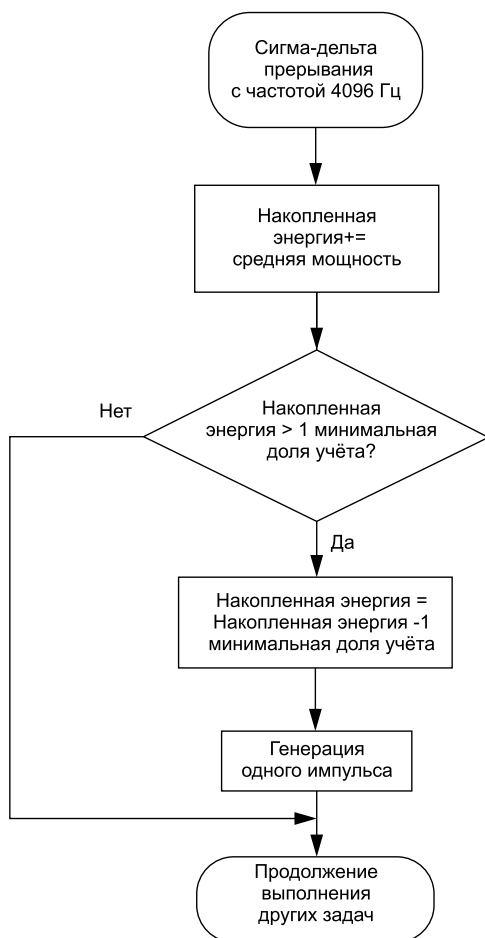


Рисунок 11. Формирование импульсов для индикации потребления электроэнергии

Таблица 1. Параметры, выводимые на индикацию

Наименование параметра	Условное обозначение	Единицы измерения	Комментарии
Напряжение		Вольты (В)	–
Ток		Амперы (А)	
Активная мощность		Ватты (Вт)	–
Реактивная мощность		Вольт-амперы реактивные (ВАр)	–
Полная мощность		Вольт-амперы (ВА)	–
Частота		Герцы (Гц)	–
Коэффициент мощности		Постоянное значение в диапазоне от 0 до 1	Символы используются, если нагрузка определена как емкостная Символы используются, если нагрузка определена как индуктивная
Общая потреблённая активная энергия		ICO «минимальное учётное количество»	Каждые 10 минимальных учётных количеств увеличивают значение в разряде десятых долей на 1
Общая потреблённая реактивная энергия		ICO «минимальное учётное количество»	Каждые 10 минимальных учётных количеств увеличивают значение в разряде десятых долей на 1

ходного текста и файлов заголовка, и графический интерфейс пользователя, используемый для калибровки.

Открытие проекта

В папке `emeter-ng` имеется несколько файлов проекта, следует использовать файл проекта для описываемого здесь устройства под названием `emeter-6779.ewp`. В папке `emeter-toolkit` имеется соответствующий файл проекта `emeter-toolkit-6779.ewp`. При первом использовании рекомендуется полностью обновить оба проекта, выполнив следующие действия:

1. Открыть окно IAR.
2. Найти и загрузить проект `emeter_toolkit_6779.ewp`.
3. Выбрать вариант `Rebuild All`.
4. Закрыть текущую рабочую область и открыть основной проект `emeter-6779.ewp`.
5. Выбрать вариант `Rebuild All` и загрузить этот проект в `MSP430F6779`.

Результаты и калибровка

Просмотр результатов на ЖКИ

Переключение индикации различных измеряемых параметров на ЖКИ происходит примерно каждые две секунды. Для каждого измеряемого параметра, выводимого на индикацию на ЖКИ, фактически на индикаторе отображаются три элемента: соответствующая параметру фаза, один или два символа, указывающих, какой именно параметр выводится на индикацию, и фактическое значение этого параметра. Фаза параметра появляется в верхней строке жидкокристаллического индикатора. Она может принимать значения

A, B, C и t, означающие фазу A, фазу B, фазу C и общую сумму этих фаз соответственно. Условное обозначение параметра появляется слева во второй строке ЖКИ. Справа от условного обозначения параметра на индикацию выводится фактическое значение параметра.

В таблице 1 показаны различные измеряемые параметры, которые выводятся на индикацию на ЖКИ, и соответствующие единицы измерения, в которых они представляются. В столбце «Условное обозначение» указывается, какой символ соответствует тому или иному измеряемому параметру. В столбце «Комментарии» содержится краткое пояснение по вы-

водимым на индикацию измеряемым параметрам.

Калибровка и просмотр результатов на ПК

Запуск графического интерфейса пользователя

Чтобы запустить графический интерфейс пользователя, выполните следующие действия:

1. Подключите демонстрационный модуль к ПК кабелем RS-232.
2. Войдите в папку `/Source/GUI` и откройте файл `calibration-config.xml` в текстовом редакторе.
3. В поле `port name` на вкладке `meter` укажите COM-порт ПК, подключённый к счётчику.



Рисунок 12. Окно результатов

4. Откройте файл `calibrator.exe`, который находится в папке `/Source/GUI`. Если COM-порт в файле `calibration-config.xml` был изменён на предыдущем шаге на COM-порт, реально подключённый к демонстрационному модулю, то на экране должен появиться графический интерфейс пользователя.

При правильном подключении левая верхняя кнопка будет зелёной. Если есть проблемы с подключением или если программа сконфигурирована неправильно, кнопка будет красной. После того как графический интерфейс пользователя запущен, результаты можно просматривать, нажимая зелёную кнопку.

Просмотр результатов

После нажатия зелёной кнопки на экране появляется окно результатов, как показано на рисунке 12. Пожалуйста, обратите внимание, что после значения коэффициента мощности следует L или C, чтобы указать индуктивную или ёмкостную нагрузку соответственно.

Калибровка

Калибровка является основным фактором, определяющим эксплуатационные характеристики счётчика, и каждый счётчик в обязательном порядке должен пройти эту процедуру. Изначально счётчики могут иметь разную точность из-за того, что кристаллы микросхем отличаются друг от друга, чувствительные элементы имеют определённые погрешности, а также имеются другие допуски на параметры пассивных элементов. Чтобы исключить эти влияния, каждый счётчик подлежит калибровке. Для точного выполнения калибровки необходимы точный тестовый источник переменного тока и эталонный счётчик. Источник должен быть способен формировать любое требуемое напряжение, ток и фазовые сдвиги (между V и I). Для расчёта погрешностей измерения эталонный счётчик играет роль интерфейса между источником и калибруемым счётчиком. В этом разделе рассматривается простой и эффективный способ калибровки нашего 3-фазного демонстрационного модуля.

Графический интерфейс пользователя, который используется для просмотра результатов, можно с лёгкостью использовать для калибровки демонстрационного модуля. В ходе калибровки параметры,

называемые калибровочными коэффициентами, изменяются программным обеспечением, чтобы добиться наименьшей погрешности измерения. У данного счётчика имеется четыре основных калибро-

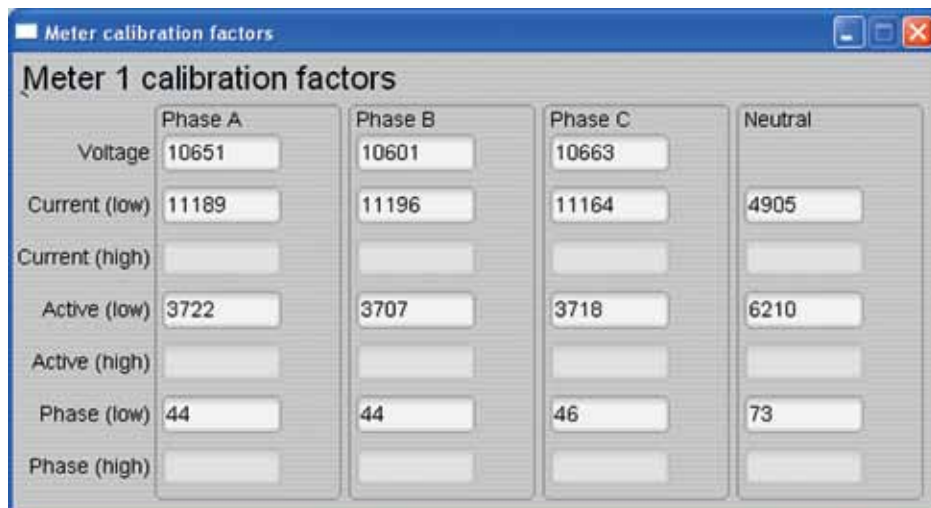


Рисунок 13. Окно калибровочных коэффициентов

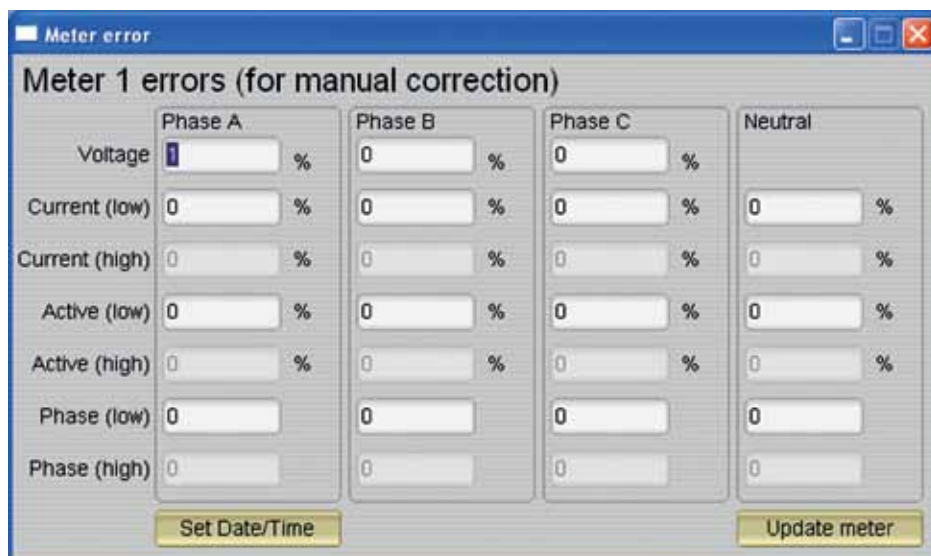


Рисунок 14. Окно калибровки вручную

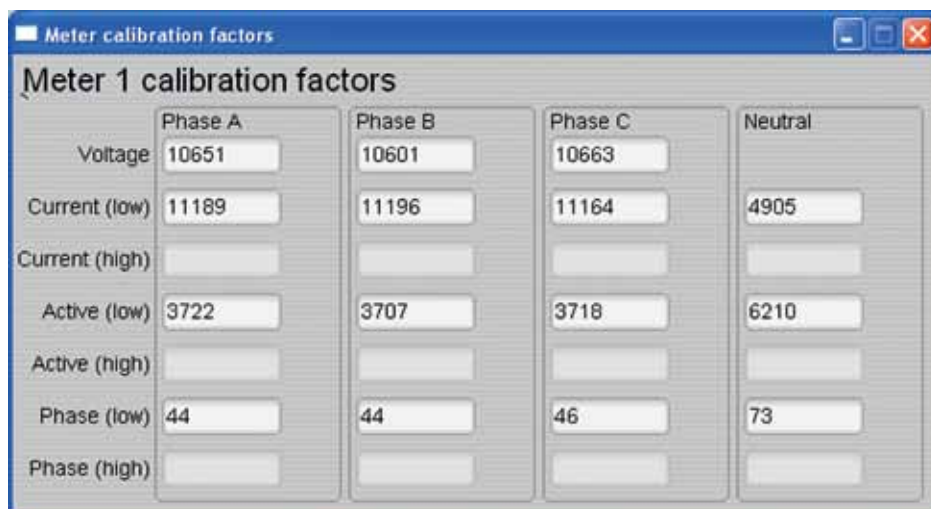


Рисунок 15. Окно калибровочных коэффициентов

вочных коэффициента для каждой фазы: коэффициент масштабирования напряжения, коэффициент масштабирования тока, коэффициент масштабирования мощности и коэффициент компенсации фазы. Коэффициенты масштабирования напряжения, тока и мощности преобразуют измеренные значения в метрологическом программном обеспечении в величины, используемые в быту, выраженные в вольтах, амперах и ваттах соответственно. Коэффициент компенсации фазы используется для того, чтобы скомпенсировать все фазовые сдвиги, внесённые датчиками тока и другими пассивными элементами.

Когда в память счётчика загружается код программы (имеющийся в файле *.zip), в качестве этих калибровочных коэффициентов загружаются значения, принятые по умолчанию (макроопределения смотрите в разделе «Конфигурация счётчика электроэнергии»). Эти значения в ходе калибровки изменяются с помощью графического интерфейса пользователя. Калибровочные коэффициенты хранятся в памяти INFO_MEM, и поэтому должны оставаться без изменения при перезапуске счётчика. Но если программа в ходе отладки загружается заново, калибровочные коэффициенты вновь заменяются значениями по умолчанию, и счётчик необходимо калибровать заново. Один из способов сохранения значений калибровочных коэффициентов заключается в том, чтобы воспользоваться кнопкой «Калибровочные коэффициенты счётчика», показанной на рисунке 13. В этом окне отображаются самые последние значения и их можно использовать, чтобы напрямую заменять макроопределение этих коэффициентов в исходном коде.

Калибровка любых коэффициентов масштабирования называется коррекцией коэффициента усиления. Калибровка любых коэффициентов компенсации фазы называется коррекцией фазы. На протяжении всего процесса калибровки тестовый источник переменного тока должен быть ВКЛЮЧЕН, счётчик должен быть подключён надлежащим образом, а импульсы учёта энергии должны подаваться на эталонный счётчик.

Калибровка коэффициента усиления

Обычно коррекцию коэффициента усиления для сигналов напряжения и тока можно выполнить одновременно для всех фаз. Но для коррекции коэффициента усиления значения активной мощности нужно знать погрешность измерения энергии (в%) эталонного счётчика по каждой отдельной фазе. Кроме того, при проведении калибровки измерения активной мощности какой-нибудь из фаз, две другие фазы должны быть отключены. Обычно для отключения фазы достаточно отключить только сигналы тока.

Калибровка коэффициента усиления сигналов напряжения и тока

Чтобы откалибровать показания напряжения и тока, нужно выполнить следующие действия:

1. Подключить графический интерфейс пользователя для просмотра результатов измерения напряжения, тока, активной мощности и других измеряемых параметров.
2. Сконфигурировать тестовый источник для подачи требуемого напряжения и тока на все фазы. Убедиться в том, что точки калибровки напряжения и тока имеют нулевой фазовый сдвиг между напряжением и током каждой фазы. Например: 230 В, 10 А, 0° (коэффициент мощности=1). Обычно эти значения одинаковы для всех фаз.
3. Нажать кнопку «Калибровка вручную», показанную на рисунке 12, чтобы открыть окно, показанное на рисунке 14.
4. Рассчитать корректировочные значения для каждого напряжения и тока. Корректировочные значения, которые необходимо ввести в поля для напряжения и тока, рассчитываются по формулам:

$$\text{Correction (\%)} = \left(\frac{\text{value}_{\text{observed}}}{\text{value}_{\text{desired}}} - 1 \right) \times 100, \quad (8)$$

где значение наблюдаемое ($\text{value}_{\text{observed}}$) – это значение, измеряемое счётчиком TI, а значение требуемое ($\text{value}_{\text{desired}}$) – это точка калибровки, сконфигурированная в тестовом источнике переменного тока.

5. После расчёта коррекции (%) для всех напряжений и токов, ввести

эти значения без изменений (\pm) в поля «Напряжение» и «Ток (низкое значение)» для соответствующих фаз.

6. Щёлкнуть на кнопке «Обновление счётчика», после чего наблюдаемые значения напряжений и токов в графическом пользовательском интерфейсе должны сразу же установиться равными требуемым напряжениям и токам.

Калибровка коэффициента усиления активной мощности

Обратите внимание на то, что это пример для одной фазы. Указанные действия необходимо повторить для других фаз.

После проведения коррекции коэффициента усиления для напряжения и тока необходимо скорректировать коэффициент усиления для активной мощности.

Коррекция коэффициента усиления для активной мощности выполняется не так, как в случае напряжений и токов. Хотя в принципе можно рассчитать коррекцию (%), взяв показания активной мощности (индицируемые на тестовом источнике переменного тока), но это не самый точный способ, и его применять не следует.

Наилучший вариант – получить значение коррекции (%) непосредственно из погрешности измерения активной мощности эталонного счётчика. Эта погрешность получается путём подачи импульсов учёта энергии на эталонный счётчик. Помните о том, что эту погрешность необходимо снять для каждой фазы отдельно при отключённых других фазах. Для проведения калибровки активной мощности нужно выполнить следующие действия.

1. Выключить счётчик и подключить выход импульсов учёта энергии счётчика к эталонному счётчику. Сконфигурировать эталонный счётчик для измерения погрешности активной мощности на основании этих входных импульсов.
2. Включить тестовый источник переменного тока.
3. Повторить пункты с 1 по 3 из предыдущего раздела с такими же напряжениями, токами и фазовыми сдвигами 0°, которые использовались в предыдущем разделе.

4. Отключить фазы, которые не калибруются в данный момент, установив ток этих фаз равным 0 А.
5. Получить погрешность в % для измерения эталонного счётчика. Обратите внимание: это значение может быть отрицательным.
6. Ввести погрешность, полученную в предыдущем пункте, в поле «Активная мощность (низкое значение)» соответствующей фазы в окне графического интерфейса пользователя. Эта погрешность уже является значением коррекции (%) и не требует никакого расчёта.
7. Щёлкнуть на кнопке «Обновление счётчика», и значения погрешностей эталонного счётчика должны сразу же установиться близкими к нулю.

Коррекция фазы

Обратите внимание на то, что это пример для одной фазы. Указанные действия необходимо повторить для других фаз.

После проведения коррекции коэффициента усиления, необходимо выполнить калибровку фазы. Как и в случае калибровки коэффициента усиления активной мощности, для выполнения коррекции одной фазы другие фазы должны быть отключены. Чтобы провести калибровку коррекции фазы, нужно выполнить следующие действия:

1. Если тестовый источник переменного тока выключался или изменялась его конфигурация, следует выполнить пункты 1–3 из раздела калибровки коэффициента усиления напряжения и тока, используя такие же значения напряжений и токов, что и в этом разделе.
2. Отключить все фазы, которые не калибруются в данный момент, установив ток этих фаз 0 А.
3. Изменить фазовый сдвиг только калибруемой фазы на ненулевое значение; обычно выбирают +60°. После этого эталонный счётчик будет показывать другую погрешность измерения активной мощности в %. Обратите внимание: это значение может быть отрицательным.
4. Если это значение не близко к нулю или неприемлемо, следует

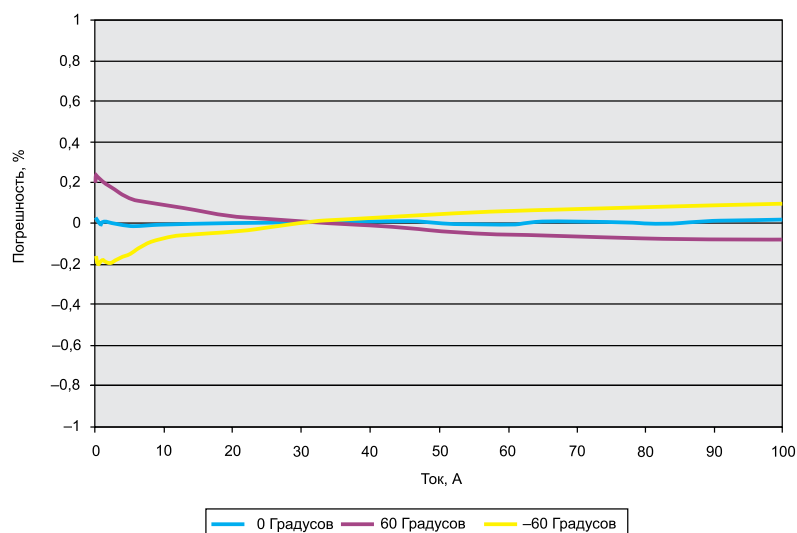


Рисунок 16. Зависимость погрешности измерения электроэнергии от тока при использовании специализированных ТТ в модуле EVM430-F6779

провести коррекцию фазы, выполнив следующие действия:

- а) ввести значение, обновив поле "Фаза (низкое значение)" калибруемой в данный момент фазы. Обычно вводят небольшое \pm целое число, чтобы погрешность была близка к нулю. Кроме того, при фазовом сдвиге более 0 (например, +60°) положительная (отрицательная) погрешность потребует положительного (отрицательного) числа в качестве коррекции;
- б) щёлкнуть на кнопке "Обновление счётчика" и от-

следить значения погрешности на эталонном счётчике; в) если эта погрешность измерения (%) не обеспечивает достаточной точности, провести тонкую настройку путём увеличения/уменьшения на 1 на основании вышеизложенных пунктов а) и б). **Примечание.** После определённой точки эта тонкая настройка будет приводить только к тому, что погрешность будет колебаться вокруг нуля. Необходимо выбрать значение, обеспечивающее наименьшую абсолютную погрешность;

Таблица 2. Погрешность измерения электроэнергии при использовании специализированных ТТ в модуле EVM430-F6779 (%)

Ток, А	0°	60°	-60°
0,05	0,002	0,23	-0,1743
0,1	0,017	0,2025	-0,1713
0,25	0,0115	0,233	-0,1993
0,5	-0,003	0,2073	-0,199
1	0,0057	0,201	-0,1803
2	-0,0015	0,18	-0,197
5	-0,0113	0,1217	-0,1473
10	-0,01	0,0853	-0,0773
20	-0,002	0,0307	-0,041
30	0,0063	0,0087	-0,003
40	0,0047	-0,0047	0,0177
50	-0,001	-0,039	0,046
60	-0,002	-0,0547	0,064
70	0,009	-0,0607	0,0717
80	0,0013	-0,0723	0,0767
90	0,0083	-0,078	0,091
100	0,012	-0,0787	0,0963

г) после этого изменить фазу на -60° и проверить, остаётся ли погрешность приемлемой. В идеале погрешности должны быть симметричны при одинаковых фазовых сдвигах опережения и запаздывания.

После проведения коррекции фазы калибровка одной фазы завершается. Обратите внимание на то, что калибровку коэффициента усиления и калибровку фазы выполняют последовательно для одной фазы, после чего переходят к другим фазам. Эти две процедуры необходимо повторять для каждой фазы, в отличие от калибровки напряжения и тока.

На этом заканчивается калибровка напряжения, тока и мощности всех трёх фаз. Новые калибровочные коэффициенты можно просмотреть, нажав кнопку «Калибровочные коэффициенты счётчика» в окне результатов измерения графического интерфейса пользователя, которое изображено на рисунке 12.

Можно также просмотреть конфигурацию счётчика, нажав кнопку «Функции счётчика» (только как пример).

Результаты измерения

В этой статье результаты измерения показаны для суммарного потребления активной энергии по трём фазам. На рисунке 16 показаны результаты, полученные с помощью EVM430-F6779 в динамическом диапазоне 2000:1 при использовании установленных на плате трансформаторов тока. В таблице 2 указаны значения погрешности. Замена трансформаторов тока демонстрационного модуля может дать лучшие эксплуатационные характеристики.

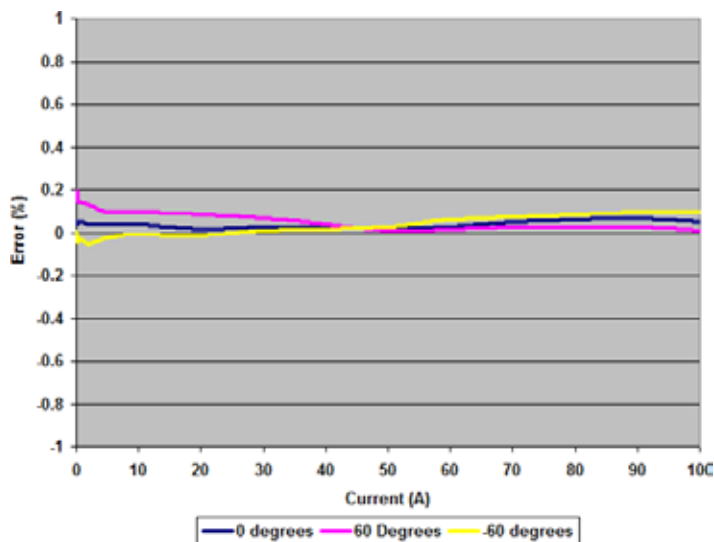


Рисунок 17. Зависимость погрешности измерения электроэнергии от тока при использовании высококачественных ТТ

Таблица 3. Погрешность измерения электроэнергии при использовании высококачественных ТТ (%)

Ток, А	0°	60°	-60°
0,05	0,0535	0,192	0,0023
0,1	0,049	0,1863	-0,0317
0,25	0,038	0,149	-0,0493
0,5	0,0467	0,1407	-0,0363
1	0,052	0,138	-0,03
2	0,0383	0,1297	-0,057
5	0,037	0,096	-0,0243
10	0,0357	0,0957	-0,006
20	0,0133	0,0847	-0,0173
30	0,028	0,0693	0,009
40	0,0267	0,035	0,0137
50	0,014	0,0063	0,0283
60	0,025	0,017	0,0597
70	0,0517	0,0263	0,075
80	0,0617	0,025	0,0863
90	0,068	0,0257	0,0957
100	0,048	0,009	0,096

На рисунке 17 показаны результаты в том же динамическом диапазоне, полученные при использовании высококачественных ТТ в том же диа-

пазоне токов. В таблице 3 указаны значения погрешности. Все результаты получены при калибровке в точке 230 В 10 А 50 Гц.

- 0.5% reference-voltage accuracy over temperature
- Full differential remote-voltage sense
- Fast response with D-CAP3™ control mode
- 5mm x 7mm PowerStack™ QFN package

Высочайшая плотность мощности для высокопроизводительных процессоров

Синхронный понижающий стабилизатор TPS548D22 с входным напряжением до 16В и током нагрузки до 40А

TI представляет первый в мире микроконтроллер с конфигурируемым трансимпедансным усилителем с малым током утечки

Сэкономьте до 75% места на печатной плате, сведя к минимуму количество компонентов в системах измерения и обнаружения с помощью нового микроконтроллера MSP430™

Теперь разработчики могут увеличить время работы аккумуляторов в системах измерения и обнаружения с помощью нового микроконтроллера MSP430FR2311 - единственного микроконтроллера со встроенным конфигурируемым трансимпедансным усилителем (операционным усилителем с токовой обратной связью) с малым током утечки, который потребляет всего 50 пА. Новый микроконтроллер, пополнивший семейство микроконтроллеров со сверхнизким энергопотреблением MSP430™, характеризуется в 20 раз меньшим током утечки по сравнению с альтернативными решениями для измерения напряжения и тока и обеспечивает возможность конфигурирования аналоговой части и памяти, не сокращая время работы аккумулятора и не занимая дополнительного места на печатной плате. Высокая степень интеграции микроконтроллера с конфигурируемой аналоговой

частью помогает разработчикам упростить схему и сэкономить до 75% места на печатной плате. К микроконтроллеру MSP430FR2311, аналоговая часть которого включает в себя трансимпедансный усилитель, АЦП, операционные усилители, компараторы, можно подключать самые разные датчики. Это решение также имеет в своём составе ферроэлектрическое оперативное запоминающее устройство (FRAM) и не требует встроенного кварцевого генератора. Устройство размещается в едином корпусе размером 3,5×4 мм. Такое однокристальное решение снижает сложность проектирования и общее время разработки проекта.

Микроконтроллер MSP430FR2311 позволяет разработчикам выбрать конфигурацию усилителя (неинвертирующий, инвертирующий или трансимпедансный), которая им нужна, и масштабировать своё решение, выбирая объём памяти, который будет отведён под код прикладного ПО или данные, устраняя границы отношения flash-памяти к ОЗУ. Разработчики могут сразу же начать работать с новым микроконтроллером, воспользовавшись

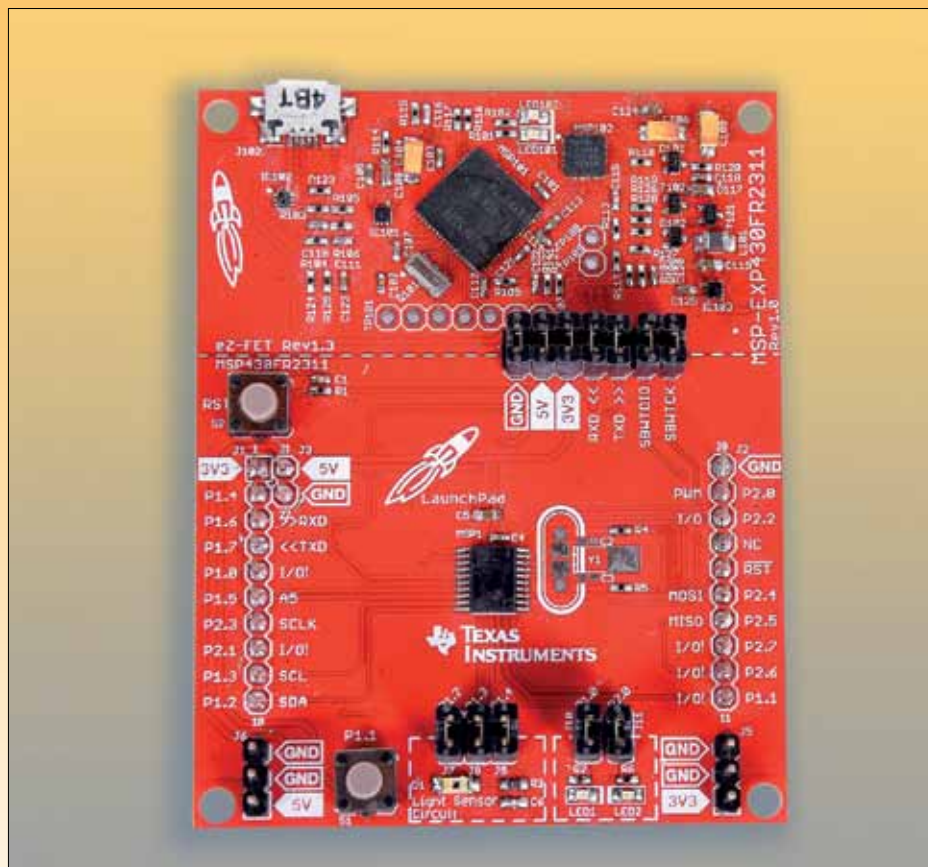
пакетом разработчика LaunchPad™ для контроллера MSP430FR2311, который поддерживается интегрированной средой разработки (IDE) Code Composer Studio™ и IAR Embedded WorkBench®. Также можно будет изучить вариант реализации системы на примере подсистемы обнаружения задымления на основе MSP430FR2311 (появится во 2-м квартале 2016 г.), в которой используется конфигурация с фотодиодами и трансимпедансным усилителем для измерения тока. Кроме того, клиенты, разрабатывающие системы для здравоохранения и спорта, автоматизации управления зданиями и персональной электроники, могут ещё больше увеличить время работы аккумуляторов благодаря использованию этой примерной разработки, созданной специалистами TI (TIDA-00242), где используется микросхема для аккумулирования энергии из окружающей среды производства TI в системе на основе микроконтроллера MSP430FR2311.

В настоящее время разработчики, использующие микроконтроллеры MSP430G2x с ёмкостью 2 и 4 кбайт, могут легко перейти на микроконтроллеры MSP430FR2311 и воспользоваться преимуществами их лучших рабочих характеристик с энергонезависимым ферроэлектрическим ОЗУ и более высокой степенью интеграции аналоговой части, включающей в себя операционные усилители, АЦП и компараторы. Воспользуйтесь руководством по переходу (www.ti.com/lit/an/slaa649c/slaa649c.pdf) на новые микроконтроллеры с MSP430F2xx и MSP430G2xx, чтобы узнать, как можно легко перейти с одного семейства микросхем на другое, если нужны дополнительные возможности аналоговой части.

Цены и возможность приобретения

Микроконтроллер MSP430FR2311 – это первое устройство в семействе, которое уже можно заказать для оценки. Начальная цена на микроконтроллеры составит 0,65\$ США за штуку при объёме партии 1000 штук при покупке на сайте производителя. Комплект разработчика LaunchPad микроконтроллера MSP430FR2311 также можно заказать на сайте TI по цене 15,99\$ США.

www.ti.com



Испытания герконовых переключателей и реле на надёжность

1 часть

Введение

Для многих применений в области переключения герконовые реле остаются наилучшим решением, в особенности если требуются такие характеристики, как маленький размер, хорошая изоляция в выключенном состоянии, очень низкое сопротивление во включённом состоянии и способность выдерживать электростатический разряд (ЭСР). Герконовые реле также могут быть наилучшим решением для тех областей применения, где требуются превосходные радиочастотные характеристики, поскольку низкая электроёмкость и регулируемое комплексное сопротивление этих реле позволяют получать устройства, способные коммутировать сигналы в ГГц-диапазоне. Однако герконовые реле с неизбежностью воспринимаются как механические устройства в мире, который становится все более полупроводниковым, и поэтому критически важно понять их надёжность в полевых условиях. Знание того, сколько циклов переключения они выдержат при тех или иных условиях электрической нагрузки, является важным вопросом при принятии решения о том, является ли герконовое реле наилучшим вариантом выбора для конкретного применения. Поэтому программа жёстких испытаний является жизненно важным инструментом обеспечения заказчиков технической поддержкой, а также непрерывного повышения качества изделий Coto.

Что такое надёжность?

Надёжность может быть определена как вероятность того, что устройство или система будут соответствовать спецификации. Её можно оценить только приблизительно и никогда нельзя определить точно. Приблизительную оценку можно дать путём проверки количества отказов отдельных изделий, взятых из репрезентативной выборки.

Получение этих приблизительных оценок требует использования статистического анализа.

Надёжность реле лучше всего определяется в терминах количества циклов срабатывания в требуемом режиме до того, как оно откажет. Такие количественные показатели, как MTBF (среднее время между отказами) или MTTF (среднее время до отказа) менее полезны, поскольку срок службы реле в значительной степени зависит от того, скольким циклам переключения оно подверглось, а не просто от длительности эксплуатации. Таким образом, MCBF (среднее число циклов до отказа) является полезным показателем надёжности реле, который и используется корпорацией Coto Technology для оценки надёжности. Однако оценка и опубликование MCBF для реле не показывают полной картины. Сколько образцов использовалось для составления оценки? Каковы были условия электрической нагрузки? Каковы доверительные пределы для MCBF? Более продуктивным вопросом пользователя реле может быть: «Я не могу позволить, чтобы мои реле работали, пока половина из них не откажет, чтобы я смог понять, насколько точно была ваша оценка MCBF. Сколько рабочих циклов я могу ожидать от этих реле, пока одно из тысячи не откажет, и насколько вы уверены в этой оценке?». Надлежащим образом спланированные и реализованные испытания на надёжность могут ответить на вопросы такого рода и многие другие вопросы. Является ли реле одного типа более надёжным, чем реле другого типа? Становится реле более надёжным по мере старения или оно проявляет признаки изнашивания, как это происходит у людей? Какое количество отказов я могу ожидать от новых, только что извлечённых из коробки реле? Если реле откажет на плате, на которой находятся ещё 15 реле, что наиболее рентабельно — заменить только отказавшее

реле или все реле одновременно? Точные оценки статистики надёжности позволяют объективно ответить на такие вопросы, а не «полагаться на чутьё».

Что такое отказ?

Герконовые переключатели или реле, в конечном счёте, отказывают одним из трёх способов. Они не замыкаются, когда должны это делать (обычно это называется «залипанием»), они не замыкаются, когда должны это делать («пропуск»), либо их сопротивление статического контакта постепенно ползёт вверх до неприемлемого уровня. При лёгких нагрузках отказ может не происходить, пока не будет выполнено несколько миллиардов циклов замыкания. Первые два указанных механизма можно дополнительно подразделить на «мягкие» и «жёсткие» отказы. Мягкий отказ регистрируется, когда переключатель оказывается пропущенным или залипшим через несколько миллисекунд после активации или деактивации катушки, но затем, если проверить его через некоторое короткое время (обычно полсекунды), обнаруживается его избавление от проблемы. Если восстановление после начального мягкого отказа не происходит ко времени выполнения второй проверки, отказ классифицируется как устойчивый, или «жёсткий».

Отказы в виде пропуска и залипания могут быть определены через сопротивление, измеренное через некоторое время после того, как активацией катушки возбуждения будет выполнено замыкание переключателя либо деактивацией катушки будет выполнено размыкание. Отказ в виде пропуска вызывается тогда, когда сопротивление больше заданного порогового значения при замкнутом переключателе. И наоборот, отказ в виде залипания возникает тогда, когда сопротивление меньше заданного порогового значения при

разомкнутом переключателе. Эти пороговые значения сопротивления и временная привязка измерений зависят от применения. Coto обычно использует 1 Ом для мягких отказов в виде пропусков и половину сопротивления нагрузки контакта для мягких отказов в виде залипания, измеряемых через одну миллисекунду после активации или деактивации катушки возбуждения. Эти параметры измеряются для каждого испытательного цикла переключения. Поскольку даже один мягкий отказ может быть проблематичным в таких критических применениях, как автоматизированная тестовая аппаратура (ATE), Coto регистрирует отказы оценки «ожидаемого срока службы» как первый, мягкий отказ из-за залипания, пропуска или избыточного сопротивления контакта. Это намеренно консервативный критерий. Сравнение с данными по надёжности, опубликованными другими изготовителями реле, затруднено, потому что у них могут быть менее строгие критерии отказа или другие способы представления статистических данных по надёжности.

Как можно оценить надёжность?

Исходные данные для приблизительной оценки надёжности герконового реле получают, взяв репрезентативную выборку образцов и заставляя их циклически срабатывать до отказа, подсчитывая при этом число циклов до отказа. После того как эти основные исходные данные будут получены, их нужно проанализировать, чтобы можно было определить соответствующие статистические параметры надёжности. Цель состоит в том, чтобы найти моделирующую функцию, которая точно согласуется с имеющимися данными и которую можно использовать для интерполяции или разумной экстраполяции для определения количественных оценок MCBF и других статистических параметров надёжности.

Как многие другие статистические оценки, точность прогнозирования надёжности увеличивается пропорционально квадрату числа образцов; разумное и целесообразное количество испытываемых реле для типового испытания равно 16 или 32.

Для получения прогноза надёжности не обязательно испытывать реле до момента, когда они все откажут. Испытание на долговечность можно приостановить после того, как откажет определённая доля реле, — как правило, испытание должно проводиться до тех пор, пока не откажет хотя бы 50% реле. Набор данных такого типа называется «цензурированным справа», а информация о реле, которые остались в исправном состоянии после приостановки испытания, является полезной и поэтому не отбрасывается. Это можно понять интуитивно; если 32 реле испытывались в течение 100 млн циклов и половина из них сохранила работоспособность, то вероятно, что MCBF равна, по меньшей мере, 100 млн. Оценивание MCBF исходя всего из 16 реле даст значительно более низкую оценку.

Широко распространённым статистическим распределением для моделирования данных по надёжности является распределение Вейбулла [1]. Ссылка [2] полезна для руководства по применению анализа Вейбулла. При наличии заданного числа циклов до отказа для серии испытываемых реле параметры этого распределения могут быть согласованы с данными по отказам с помощью регрессии методом наименьших квадратов. Как правило (но не всегда), прогнозируемое согласование с помощью распределения Вейбулла лучше, чем полученное с использованием других статистических распределений, что приводит к улучшенным оценкам параметров надёжности. Получают два параметра, одним из которых является параметр вероятностной шкалы Вейбулла, из которого можно легко вывести MCBF. Этот параметр иногда называют греческой буквой «эта» (η). Вторым параметром является угол наклона регрессионной прямой Вейбулла, или «бета» (β) Вейбулла. После того как будут определены параметры регрессии Вейбулла, для прогнозирования таких параметров, как MCBF, ожидаемый срок службы до отказа 1% деталей, оценка прогнозируемого выхода из строя в период приработки или в начальный период эксплуатации и характеристики износа, а также других релевантных данных по надёжности,

можно использовать эмпирическое уравнение. Хотя может показаться, что проведение 100 млн циклов испытания на долговечность может занять слишком много времени, можно использовать ускоренное тестирование срока службы. Время скоростного переключения герконовых реле позволяет включать и выключать их с частотой до 200 Гц, таким образом, выполнение 100 млн циклов заняло бы 4,8 дня, а возможно, и меньше, если испытание было приостановлено до того, как отказали все реле.

Взаимосвязь между испытаниями на надёжность и параметрическим тестированием

Coto Technology проводит до двенадцати электроиспытаний на каждом реле и переключателе, которое выходит с их заводов. Эти разрушающие испытания называются параметрическим тестированием, поскольку результаты измерений представляют собой такие параметры изделий, как напряжение втягивания и отпускания, статическое и динамическое сопротивление контакта, время открытия и закрытия и т. д. В противоположность этому, испытания на надёжность являются, как правило, разрушающими и занимают длительное время и поэтому могут применяться только к репрезентативным выборкам изделий. Изделия испытываются при различных нагрузках по току и напряжению, включая, при необходимости, профили пусковых токов. Зачастую мы подстраиваем эти нагрузки под специальные технические требования наших заказчиков. Размеры выборок и число испытательных циклов выбираются так, чтобы они позволяли точно оценить MCBF и другие статистические параметры надёжности, при этом зачастую предусматриваются размеры выборок, насчитывающие 64 или 128 образцов для испытаний, и несколько миллиардов циклов в течение многих недель.

Типовой пример анализа и интерпретации данных по долговечности

Показанные на рисунке 1 графики регрессии Вейбулла были созданы на основании испытания на долго-

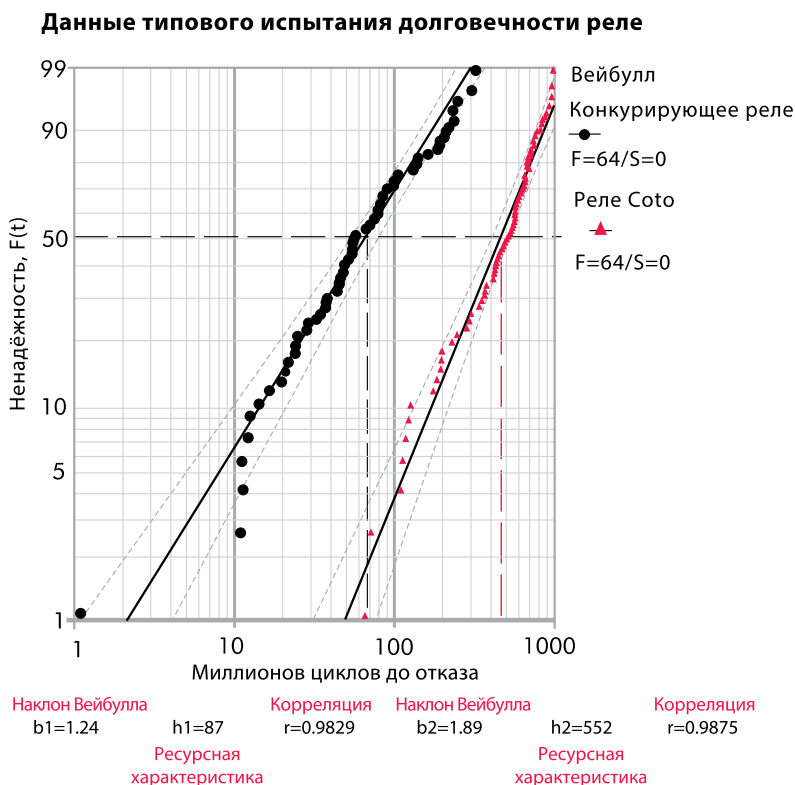


Рисунок 1. Графики Вейбулла данных испытаний долговечности реле

вечность 64 Coto реле категории ATE по сравнению с таким же числом имеющихся в продаже конкурирующих деталей. Испытание проводилось при частоте 200 Гц с использованием резистивной нагрузки при 5 В, 10 мА. Оно продолжалось, пока не отказали все 128 образцов, при выполнении примерно одного миллиарда циклов в течение 55 дней непрерывного испытания. МСВФ для каждого типа реле можно приблизительно оценить, исходя из пересечения каждого эмпирического графика надёжности с ординатой 50% ненадёжности, либо точно определить численными методами. Приблизительная величина МСВФ для конкурирующего реле составляет 66 млн циклов по сравнению с 450 млн для реле Coto. Пунктирными линиями показаны 90% доверительные пределы для каждого графика — поскольку они не перекрываются ни в одной точке, образцы явно имеют значительно отличающиеся уровни надёжности при доверительном уровне 90%.

Другим полезным статистическим параметром надёжности является ожидаемый срок службы до отказа 1%; графики показывают, что приблизительно оценённый

1%-ный срок службы находится между 1 и 4 млн циклов для конкурирующего реле по сравнению с диапазоном от 30 до 70 млн для реле Coto. Объяснением этой большей разницы в надёжности служит более крутой наклон графика Вейбулла для образца Coto, указывающего на более явную характеристику износа, чем случайные отказы, демонстрируемые конкурентом. Поскольку затраты на нахождение, снятие и замену отказавшего реле могут значительно превосходить реальную закупочную цену детали, более крутые наклоны Вейбулла и более высокое среднее значение МСВФ снижают затраты на техобслуживание и замену и дают меньше дорогостоящих отказов на этапе приработки и в начальный период эксплуатации.

Как не ошибаться при помощи неправильной статистики — опубликование достоверных и полезных данных по ожидаемой долговечности

Неправильное использование статистики породило знаменитое высказывание английского премьер-министра Бенджамина Дизраэли: «Есть три вида лжи: ложь, наглая

ложь и статистика». Определённо неправильно применённые статистические данные могут непреднамеренно привести к завышенной оценке надёжности. Компания Coto старается предоставлять данные по надёжности объективно и точно с помощью программных инструментов, удовлетворяющих отраслевым стандартам.

В каталоге Coto «ожидаемый срок службы» является синонимом МСВФ, или среднего числа циклов до отказа. Поскольку доверительные пределы, связанные с оценками МСВФ, обычно достаточно широкие, оценки долговечности округляются до соответствующего числа значащих цифр во избежание подразумеваемой сверхточности. Данные по надёжности реле даются только для резистивных нагрузок при 1 В, 10 мА или 1 В, 1 мА. Данные по долговечности переключателей даются при нескольких различных нагрузках, в зависимости от применения. За данными по долговечности при других нагрузках обратитесь в корпорацию Coto Technology. У нас есть обширная база данных по испытаниям на долговечность, и мы, вероятно, сможем спрогнозировать надёжность при других условиях нагрузки или организовать специальное испытание на долговечность, отвечающее вашим требованиям.

Демонстрация надёжности изделий для определённого числа циклов переключения

Если нужно только приблизительно оценить надёжность реле после определённого числа циклов переключения, вместо определения МСВФ существует другой подход к испытаниям. Предположим, что нам нужно быть в состоянии заявить с 90%-ной уверенностью, что надёжность определённого реле составляет не менее 99% после 100 млн циклов. Иначе говоря, мы хотим иметь достаточную уверенность в том, что после этого числа циклов откажет менее 1% реле. Путём переупорядочения уравнения Вейбулла в данном случае можно показать, что, если 44 реле подвергнуть испытанию в течение 300 млн циклов и все они останутся работоспособными, требование 99% надёжности будет продемонстрировано

с 90%-ной уверенностью¹. Это испытание займет примерно 17 дней при частоте 200 Гц. Время испытания можно менять в обмен на изменение числа испытываемых реле; если испытание было продлено до 370 млн циклов (22 дня), а число испытываемых реле было уменьшено до 32, требуемая надёжность была бы продемонстрирована, если бы все 32 реле сохранили работоспособность. Это число тестируемых устройств (DUT) очень удобно, поскольку это максимальное число реле, которое может вместить одна система Coto для испытаний реле на долговечность.

Интенсивности отказов и показатели FIT

МСBF можно также выразить как интенсивность отказов; одно является обратной величиной другого. Таким образом, реле, МСBF которого равно 250 млн циклов, имеет среднюю интенсивность отказов 4×10^{-9} отказов за цикл. Иначе говоря, если интенсивность отказов постоянна, существует вероятность четыре случая на миллиард, что реле откажет в любом данном цикле переключения. Однако интенсивности отказов редко бывают постоянными; освоенное изделие будет иметь $\beta > 1$ и увеличивающуюся интенсивность отказов по мере приближения к концу срока своей службы. Поскольку интенсивности отказов реле обычно очень низкие, удобно определить показатель числа отказов за определённое время (FIT) как число отказов, которое можно ожидать за один миллиард (10⁹) циклов срабатывания. Обратите внимание, что показате-

ли FIT предполагают, что интенсивность отказов постоянна во времени (то есть бета=1). Но так бывает редко, и сочетание η и β Вейбулла является гораздо более полезной мерой надёжности.

Надёжность релейных систем

Оценка надёжности системы для оборудования, использующего множество реле

Рассмотрим систему, содержащую 2000 одинаковых реле. Система отказывает, если отказывает одно из 2000 реле. В конструкции системы нет избыточности или резервирования. Если известна надёжность отдельного реле, можно ли оценить наиболее вероятное число циклов до отказа системы? Ответ положительный, но результат может быть неожиданным, в особенности для реле с низким МСBF или пологими наклонами β . Это тот случай, когда использование чрезвычайно высоконадёжных реле является жизненно необходимым. Одним подходом к оценке надёжности системы является использование имитационного моделирования методом Монте-Карло. Ненадёжность отдельного реле задаётся формулой (1):

$$F(t) = 1 - e^{-(t/\eta)^\beta}, \quad (1)$$

если t_f — это ожидаемое число циклов до отказа, а оценки η , β уже имеются исходя из испытаний долговечности, случайные величины t_f можно вывести из выражения

$$t_f = \eta (-\ln(\text{RND}))^{1/\beta}, \quad (2)$$

где RND — случайное число, равномерно распределённое в интервале 0–1.

Для системы с 2000 реле вычисление t_f 2000 раз и сортировка для нахождения наименьшего значения даёт оценку того, когда система откажет с наибольшей вероятностью (поскольку мы делаем допущение, что она отказывает, когда отказывает первое реле). Повторение имитации большое число раз позволяет вывести распределение циклов до отказа для множества систем. В таблице 1 показаны результаты такой имитации для различных значений η и β .

Число циклов системы до отказа 1% систем

Ожидается, что герконовое реле Coto высшего качества имеет ресурсную характеристику хотя бы миллиард циклов при переключении электрических нагрузок низкого уровня. Оно также будет иметь β Вейбулла от 1,5 до 4. Видно, что для реле с ресурсной характеристикой 1000 млн (1 млрд) циклов оценка числа циклов системы до отказа 1% систем находится между примерно четырьмя тысячами циклов для $\beta=1$ и почти 300 тысячами циклов для $\beta=1,5$ и превышает два миллиона циклов для $\beta=2$. Ясно, что небольшое увеличение β создаёт очень большую разницу в ожидаемой надёжности системы. А поскольку МСBF высоко коррелирована с ресурсной характеристикой η , таблица также показывает, что установление надёжности реле на основании одного только МСBF является недостаточным; важно задать как МСBF (или ресурсную характеристику), так и параметр формы распределения β Вейбулла, если нужно выполнить обоснованные оценки надёжности системы.

Очевидно, что не все системы сконструированы так, что если любое одно реле из очень большого их числа отказывает, то система выходит из строя. Различные стратегии,

Таблица 1. Оценка числа циклов системы до отказа 1% систем для различных значений ресурсной характеристики (эта) и параметра формы (бета) распределения Вейбулла. Числа базируются на имитации одной тысячи систем, каждая из которых содержит 2000 реле, где предполагается, что отказ одного реле вызывает отказ системы

Эта (η)	Бета (β)				
(млн)	0,5	1	1,5	2	3,44
1000	0	4 335	295 883	2 299 897	31 781 920
500	0	2 717	232 301	1 171 054	14 759 612
250	0	1 117	70 223	620 461	6 868 718
100	0	619	28 872	225 721	2 578 993
50	0	253	19 092	98 634	1 435 337

¹Чтобы использовать этот метод испытаний, нужно сделать допущение для беты Вейбулла. В данном примере значение беты было принято равным 1,5. Будь значение беты выше, число испытываемых реле должно было бы быть меньше. Например, при бета=2 понадобилось бы только 14 испытываемых реле.

такие как конструкция с резервированием, могут уменьшить потенциальную проблему. Стоит отметить, что резервирование, основанное на параллельном использовании реле в критически важных местах, может при определённых условиях повысить надёжность системы. Однако параллельная работа реле в попытке увеличить способность переключения нагрузок не является хорошей стратегией, поскольку одно реле всегда замыкается раньше другого и контакты такого реле несут полную нагрузку переключения. Имитация систем, имеющих стратегии избыточности или компоненты (в том числе реле) с разными уровнями надёжности, выходит за рамки данного официального документа. Имеющееся в продаже программное обеспечение, такое как BlockSim (от Reliasoft Inc.), существенно помогает в прогнозировании надёжности сложных систем.

Что означает β Вейбулла?

Сообразительный читатель может заинтересоваться, почему в верхней ячейке последнего столбца таблицы 1 стоит значение β , равное 3,44. Оказывается, распределение Вейбулла с $\beta=3,44$ весьма близко к нормальному распределению со знакомой симметричной колоколообразной кривой. Нормальное распределение может точно моделировать интенсивности отказов таких расходных элементов, как картриджи принтеров и лампы накаливания, которые быстро изнашиваются после определённого числа циклов. Однако герконовые реле имеют более сложные механизмы отказов, чем картриджи принтеров, и их значения β , как правило, ниже и находятся в диапазоне от 1,5 до 2. Иными словами, они проявляют характеристики износа после длительного периода эксплуатации.

Стратегии профилактического техобслуживания

Что лучше — заменять реле по одному, когда они отказывают, или заменять их группами по графику профилактического техобслуживания независимо от того, отказали они или

нет? Статистические параметры надёжности позволяют осуществлять аналитический подход к решению проблемы на основании концепции, называемой «Минимизация затрат на единицу времени» (CPUT). Этот метод учитывает как затраты на профилактическое техобслуживание (ПТО), так и расходы на незапланированное (внеплановое) техобслуживание, ВПТО. Он широко распространён в индустрии АТЕ (автоматизированное тестовое оборудование), где затраты на обнаружение и ремонт отказавшего реле на месте эксплуатации в десять или сто раз выше затрат на ремонт во время установки линии. Замена реле стоимостью 5\$ США, когда отказ обнаруживается во время испытаний при изготовлении, может стоить 500\$ США на месте эксплуатации. Если это отказавшее реле установлено на плате вместе со, скажем, 15 другими, рентабельно ли заменить их все одновременно во время ремонта на месте эксплуатации, даже если 15 из 16 могли не отказаться? Возможно, это покажется удивительным, но ответ часто бывает положительным. В данном примере установим затраты на ПТО как 16 реле \times 5\$/реле = 80\$. Также давайте допустим, что затраты на ВПТО для обнаружения и замены того самого одного отказавшего реле составляют 500\$ США. Во-первых, давайте подсчитаем надёжность 16-элементной платы, считая её системой, которую нужно заменить, когда отказывает одно или несколько отдельных реле. Для системы, которая отказывает, если отказывает одно реле, путём манипулирования уравнением распределения Вейбулла можно показать, что надёжность после t циклов системы, содержащей n реле, будет следующей:

$$R_s(t) = R_r(t)^n, \quad (3)$$

где $R_s(t)$ — надёжность системы при t циклах, $R_r(t)$ — надёжность отдельного реле при t циклах, n — число реле в системе.

Параметр масштаба (эта) для системы можно определить исходя из параметра масштаба отдельных реле с помощью следующего выражения:

$$\eta_{\text{системы}} = \frac{\eta_{\text{реле}}}{\beta \sqrt[n]{n}}. \quad (4)$$

Исходя из уравнения (4), 16-релейная система, использующая реле с ресурсной характеристикой (η) 1000 млн циклов и β Вейбулла, равной 1,5, будет иметь ресурсную характеристику 157 млн циклов и MCBF 142 млн циклов. β системы остаётся такой же, на уровне 1,5. Имея эти оценки параметров Вейбулла 16-релейной системы, мы почти готовы рассчитать период профилактического техобслуживания, который сводит к минимуму CPUT. Чтобы привести пример предельного случая, давайте сначала предположим, что ПТО выполняется через каждый миллион циклов системы и все реле заменяются; в данном случае затраты на ПТО за 1 млн циклов составят 80\$, плюс дополнительное ожидание небольшой вероятности незапланированного отказа, стоящего 500\$. Оказывается, что CPUT будет 80,15\$ на 1 млн циклов. Ясно, что это будет излишне агрессивная и неэкономичная политика ПТО, хотя события ВПТО не будут происходить почти никогда. Это было бы всё равно, что покупать новый «Роллс-Ройс» взамен старого, когда наполнится пепельница. Однако путём расчёта CPUT для этого примера с использованием увеличивающихся периодов между ПТО можно показать, что явно минимальные затраты CPUT в размере 2,89\$ возникают, когда число циклов между ПТО устанавливается на уровне 81 млн. Иными словами, стратегия ПТО стоит 2,89\$ на 1 млн циклов системы.

Если не сломано, почини

Теперь взглянем на ожидаемые расходы на техобслуживание, если ПТО не выполняется, а каждое отдельное реле просто заменяют, когда оно отказывает. Мы знаем, что MCBF системы составляет 142 млн циклов, и мы подсчитали, что затраты на внеплановое техобслуживание составляют 500\$ за одно событие. Поэтому ожидаемые затраты на 1 млн циклов системы будут $500\$/142 = 3,52\%$ на 1 млн циклов. По сравнению с этим работа согласно стратегии ПТО с 81 млн циклов сэкономит почти 25% от затрат на техобслужива-

ние! На самом деле экономия будет даже выше, поскольку после каждого 81 млн циклов запускается новая плата системы, на которой все реле новые и каждое из них имеет период стабильной эксплуатации до того, как они начнут изнашиваться. С другой стороны, если следовать стратегии ВПТО, значительная часть незаменённых реле будет находиться в фазе износа и они будут более склонны к преждевременному отказу, чем новые реле, заменённые согласно стратегии ПТО «замени их все».

Теперь рассмотрим плату системы с 64 реле одного и того же типа и стоимости. Предположим, что β Вейбулла равна 2. Ресурсная характеристика системы при $\beta=2$ составляет 125 млн циклов. Замена всех реле по графику ПТО стоит $5 \times 64 = 320$ \$. Допустим, что затраты на ВПТО составляют, как и раньше, 500\$. В этом случае оптимальный интервал ПТО равен 201 млн циклов, при этом СРУТ составляет 4,42\$/млн циклов. С другой стороны, СРУТ для стратегии ВПТО составляет $500 / 125 = 4$ \$/млн циклов. В этом случае дешевле просто отремонтировать отдельные реле при их отказе. Нужно, чтобы β распределения Вейбулла была значительно выше, прежде чем стратегия ПТО сможет оказаться рентабельной.

Воздействия β Вейбулла на стратегию ПТО

В предыдущих примерах использовались небольшие значения β – от 1,5 до 2. Экономия при стратегии ПТО может значительно увеличиваться для реле с более высоким значением β . Для 16-релейной системы при значении β , равном, например, 2, минимальное значение СРУТ, равное 1,47\$/млн циклов, получается для интервала ПТО 112 млн циклов. Это составляет экономию $(1,47 - 3,52) / 3,52 = 58\%$ по сравнению со стратегией ВПТО («если сломано, почини»). В этом случае «если не сломано, не чини» не является правильным утверждением. Значение СРУТ ниже, потому что МСВФ системы теперь около 250 млн циклов, а кривая износа имеет более крутой наклон, позволяя увеличить

интервал между ПТО. Это ещё нагляднее показывает жизненно важную необходимость рассмотрения как МСВФ, так и значения β Вейбулла при анализе надёжности реле. Если изготовитель не публикует оба фактора или не делает их доступными, потенциальный пользователь реле должен запросить их, прежде чем выбирать изделие. Тот, кто отвечает за качество, будет либо иметь эти показатели у себя в досье, либо готов провести испытание на долговечность для их демонстрации.

Имейте в виду, что стратегия ПТО неэффективна, если значение β Вейбулла равно единице или меньше единицы. В этом случае отказы имеют случайный характер или их число снижается со временем и характеристики износа не имеет. В этом случае СРУТ никогда не принимает минимального значения и от принятия стратегии ПТО нельзя получить экономию. К счастью, у реле хорошего качества никогда не бывает $\beta \leq 1$.

Стратегии профилактического техобслуживания — резюме

Для систем, содержащих сравнительно малые количества реле со значением β Вейбулла > 1 , замена всех реле по графику профилактического техобслуживания может снизить затраты по сравнению с тем, чтобы просто чинить отдельные реле, когда они отказывают. Точка безубыточности зависит от числа реле в системе, значения β Вейбулла используемых реле, сметной стоимости замены реле и сметной стоимости починки отдельных отказавших реле на внеплановой основе. Компания Coto работает над всеобъемлющей моделью, которая позволит пользователям реле выполнять эти расчёты и придумывать оптимальные стратегии ПТО.

Априорный прогноз надёжности реле

Описанные до этого методы прогнозирования надёжности реле являются чисто эмпирическими и опираются на статистические оценки с использованием репрезен-

тативных выборок реле. Но реле – сравнительно простые устройства. Можно ли предсказать, сколько времени прослужит реле, зная, как оно устроено и какую электрическую нагрузку оно будет переключать, опираясь исключительно на физику этого устройства? Никто пока не преуспел в этом, несмотря на простоту герконового реле. В качестве примера рассмотрим взаимозависимость между сроком службы реле и электрической нагрузкой, которую оно переключает. Если в каждом цикле переключения возникает электрическая дуга, можно ожидать, что каждая дуга может удалять небольшое количество контактного материала с контактов, пока контакт окончательно не выгорит и переключатель не откажет. Действительно, существуют некоторые признаки этого явления, возникающего в герконовых реле, переключающих сравнительно высокие напряжения и токи, поскольку измеряемые значения β Вейбулла для этого рода нагрузки обычно высокие и приближаются к значению 3,44, типичному для расходоуемых элементов. Более того, испытания в компании Coto показали, что значение МСВФ переключателей, работающих под нагрузками с высоким напряжением и сильным током, примерно пропорционально толщине драгоценного металла, нанесённого на контакты, поддерживающая модель расходного материала. Однако экстраполяция оценок долговечности на более низкие нагрузки представляет большую трудность. Например, взаимозависимость между долговечностью переключателя и электрической нагрузкой не является простой монотонной функцией даже для переключателей для класса одинакового размера, с контактной пластиной одинаковой конструкции, с одним и тем же покрытием и одинаковой чувствительностью на ампер-виток. Например, срок службы герконового реле, переключающего нагрузку 5 В, 10 мА, может быть в 100 раз больше срока службы при 12 В и 4 мА, хотя переключаемая мощность почти одинакова². Такие

² Полагают, что нагрузка напряжением 12 В вызывает образование «усов» из расплавленного драгметалла в результате действия электростатических тяговых сил. Эти «усы», в конце концов, перекрывают зазор переключателя и вызывают залипание, поскольку ток 4 мА слишком слаб, чтобы выжечь «усы». Однако при 5 В, 10 мА электростатические силы меньше (в меньшей степени вызывают образование «усов»), а больший ток может выжечь «усы», которые все же образуются.

аномалии чрезвычайно затрудняют прогнозирование долговечности.

Существуют некоторые доказательства того, что в качестве «предсказателей» долговечности реле могут использоваться параметрические измерения, выполняемые после изготовления герконового реле. Например, чувствительность на ампер-виток герконового переключателя очень сильно коррелирует с долговечностью – удвоение АВ (ампер-виток) может утроить долговечность, а утроение АВ может в двенадцать раз увеличить долговечность при определённых нагрузках.

Причинами таких существенных улучшений долговечности при повышении АВ являются большой зазор переключателя, снижающий вероятность переключения, и увеличение упругих сил при повышенном АВ, которые стараются развести контактные пластины переключателя при отключении тока катушки и ослаблении магнитного поля. Отношение стягивания к отпусканью является связанным параметром; его высокое значение указывает на хорошее «срабатывание защёлкивания», что также даёт повышенную долговечность контактов.

Другие параметрические измерения, такие как динамическое сопротивление контактов (ДСК, измерения сопротивления контактов, выполняемые, когда контакты реле только что замкнулись, но продолжают вибрировать), являются «предсказателями» окончательной надёжности реле, однако было мало публикаций, в которых устанавливалась бы степень корреляции. Однако компания Coto регулярно измеряет ДСК всех поставляемых ею реле, поскольку ДСК является хорошим показателем таких параметров качества реле, как чистота контактов, целостность герметичного уплотнения, наличие внутренних напряжений и добротность внутренних соединений.

Было также заявлено, что измерение магнитострикционного переключения в новых реле может дать прогноз потенциальной долговечности реле [3]. Измерения сопротивления контактов выполняются вблизи точки отпускания, где магнитный поток, создаваемый катушкой, взаимодействует с потоком, создаваемым током нагрузки контакта. Сторонники этого метода заявляют, что это взаимодействие вызывает переключение контакт-

ных пластин и что измерения сопротивления контактов, выполненные таким способом, коррелируют с окончательным отказом контактов. Относительная ценность этого метода по сравнению с другими методами динамических измерений впоследствии оспаривалась известным американским специалистом Гускиора (Gusciora) [4].

Окончание следует

Литература

1. Weibull W. "A Statistical Distribution of Wide Applicability", J. Appl. Mech. 18:293–297 (1951).
2. Dodson B. Weibull Analysis, Milwaukee WI: American Society for Quality, 1994 (ISBN 0–07389–295-X).
3. Sutherland E. F. "Predicting Early Failure of Dry Reed Contacts", Proc. 25th Annual Relay Conference, Oklahoma State University, April 26/27, 1977.
4. Gusciora R. H. "A Statistical Study of Contact Attributes and Reed Relay Life", Proc. 27th Annual Relay Conference, Oklahoma State University, April 24/25, 1979.

Понижающие преобразователи режима напряжения с поддержкой $V_{OUT_COMMAND}$ TPS544B25/TPS544C25

Корпорация TI расширяет линейку продуктов PMBus™, впервые в отрасли предлагая понижающие преобразователи режима напряжения с поддержкой $V_{OUT_COMMAND}$ для регулировки выходного напряжения и адаптивного масштабирования напряжения, что делает их идеальным компонентом для систем с высокопроизводительными процессорами.

Микросхемы TPS544B25/TPS544C25 позволяют разработчикам оптимизировать производительность системы питания и эффективность использования питания (PUE) с помощью контроля выходного напряжения/тока/температуры и адаптивного масштабирования напряжения. Эти функции обеспечивают более высокую надёжность, производительность и пропускную способность при тех же затратах.

Основные особенности и преимущества

- Поддержка $V_{OUT_COMMAND}$ для адаптивного масштабирования.
- Отклонение опорного напряжения не более 1% при температуре от –40 до 125 °C для точной регулировки нагрузки.
- Интерфейс выходного напряжения PMBus.
- Контроль тока и температуры для активного управления системой.

Основные области применения

- Малые базовые станции сотовой связи.
- Видеонаблюдение.
- Сферы высокой ответственности – аэрокосмические и оборонные системы.
- Коммутаторы Ethernet.

www.ti.com

Брайан Лайзон (Bryan Lizon)

Интегрированная диагностика передаёт функции обеспечения надёжности систем на уровень микросхем АЦП

С ростом сложности систем, для обеспечения поддержки производительности и безотказности на системном уровне, разработчики ИС АЦП начали вводить функции обеспечения надёжности на уровень микросхем.

Минимизация рисков и неопределённости — основополагающая цель всех инженеров. Соответственно, надёжность является одним из базовых принципов, на котором строятся все инженерные дисциплины.

И в XXI веке, и далее данный принцип будет становиться всё более важным, так как мы всё больше будем полагаться на технологии, упрощающие нашу жизнь и совершенствующие мир. От беспилотных автомобилей до интеллектуальной энергетики и автоматизации предприятий — везде потребность в наличии функций надёжности электронных систем будет только расти.

Для удовлетворения этой потребности разработчики аналоговых интегральных схем (ИС) стали встраивать функции обеспечения надёжности системного уровня уже на уровень самих микросхем. Таким образом, инженеры предоставляют разработчикам систем новый уровень информации, который при надлежащем использовании может

помочь снизить вероятность сбоя устройства, обеспечивая более высокую надёжность системы в целом.

Мотивация к надёжности

По мере повышения сложности новейших систем и их всё более широкого распространения — например, в целых городах, где инженерные сети, коммуникации и дорожное движение контролируются для повышения их эффективности, — там повышается и вероятность сбоя части(ей) этой системы. Учитывая тот факт, что какая-то вероятность сбоев неизбежна и ожидаема в процессе разработки сложных систем, надёжность должна быть основополагающим принципом разработки. К сожалению, большинство обсуждений инженерных решений и их надёжности сводится к анализу полученного опыта и того, что пошло не так в каком-то отдельно взятом случае.

Хрестоматийным примером такого обсуждения является взрыв шаттла «Челленджер» (1986 г.) (рисунок 1), когда нетипично низкая температура запуска привела к тому, что уплотнительное кольцо стыка ракетного двигателя на твёрдом топливе оказалось в неверном положении. Это привело к утечке топлива под давлением, из-за чего в конечном итоге шаттл был уничтожен и погибли все семь членов его экипажа. Такие катастрофы усиливают понимание последствий

ненадёжных систем и помогают определиться с тем, как не должны вести себя надёжные системы.

К счастью, в абсолютном большинстве случаев сложные, высокоэффективные системы работают так, как должны, в соответствии с целью их разработки, благодаря точной и кропотливой планомерной работе инженеров при соблюдении соответствующих мер предотвращения сбоев. На самом деле, несмотря на широкую известность таких событий, как обвал моста через реку Миссисипи в Миннесоте (2007 г.) или взрыв нефтяной вышки DeepwaterHorizon (2010 г.), в США существует более 600 000 мостов и 3500 нефтяных вышек, каждая из которых при должном техническом обслуживании продолжает безопасно и надёжно работать.

Таким образом, обсуждение надёжности должно идти не только в ключе попыток избежать катастроф, а быть направленным на предоставление продуманных, качественных продуктов, обеспечивающих предсказуемую функциональность при соблюдении ряда рекомендованных условий эксплуатации. Тем не менее, в силу того что время выводит технологическую интеграцию на невиданный ранее уровень, а сложность систем повышается до уровня целых городов или даже регионов, традиционного подхода к определению надёжности посредством учёта ограниченной надёжности отдельных устройств может быть недостаточно. Инженеры должны переосмыслить своё отношение к разработке.

Признав тот факт, что надёжность конечного устройства ограничивается его наименее надёжным компонен-



Рисунок 1. Взрыв шаттла «Челленджер»
Источник: NASA

том, разработчики ИС начали создавать новые разумные устройства, предоставляющие обратную связь о своём общем состоянии, а также о состоянии отдельных функций.

Кроме того, они начали применять больше активных решений, которые могут обнаруживать ошибки данных, а также имеют возможность их устранять.

Для обеспечения производительности в более жёстких и требовательных производственных условиях встроенные функции отслеживания обеспечивают новые способы подтверждения того, что каналы входа системы, от внешних подключений обрабатываемого сигнала до общей температуры системы, находятся в пределах разрешённых, прогнозируемых показаний и работают корректно. Это повышает надёжность устройства и предоставляет важные данные управляющей системе.

Повышение надёжности систем

Инженеры, задумывающиеся о надёжности, создают модели и тестируют частоту отказов своих устройств, определяя ожидаемые или предполагаемые условия, которые приводят к ненадёжной работе. Они также определяют, за какое время достигается такое состояние. Для этого ИС проходят целый ряд тестов качества и надёжности.

При определении минимального и максимального значений электрических характеристик, например, могут использоваться несколько способов, в зависимости от настройки. Многие параметры, такие как погрешность смещения, отклонение коэффициента усиления или подавление синфазного сигнала, тестируются при производстве, когда измеряются характеристики каждого устройства. Устройства, не соответствующие определённым требованиям/условиям, отбраковываются.

Другие характеристики устройства определяются посредством диагностики случайной выборки устройств, обычно 30 или более. После того как эти данные будут собраны и проанализированы, для определения приемлемого допуска (или

Дрейф смещения	Усилитель с программируемым коэффициентом усиления отключения, коэффициент усиления = от 1 до 4	←
	Коэффициент усиления = от 1 до 128, окружающая температура = от -40 до +85°C ⁽²⁾	
Дрейф коэффициента усиления	Усилитель с программируемым коэффициентом усиления отключения, коэффициент усиления = от 1 до 4	←
	Коэффициент усиления = от 1 до 128 ⁽²⁾	
Дрейф опорного напряжения ⁽²⁾		←
⁽²⁾ Минимальное и максимальное значения обеспечиваются конструкцией и данными диагностики		

Рисунок 2. Пример параметров, которые обычно определяются по данным диагностики

предела), который может ожидать пользователь, используется средне-квадратическое отклонение (или несколько).

На рисунке 2 показаны некоторые параметры, которые обычно тестируются таким образом (хотя и не всегда).

При этом минимальное и максимальное значения каждой электрической характеристики не просто определяют качество и надёжность. Они также показывают, каким образом на надёжность устройства влияют определённые факторы окружающей среды, такие как высокая температура, электростатические разряды (ЭР), чувствительность к влаге, тепловое сопротивление, а также пределы этих источников стресса.

Кроме того, данные диагностики качества предоставляют и другую полезную информацию, такую как частота отказов в начальном периоде эксплуатации (ELFR) и время наработки на отказ (MTBF), предоставляя пользователю статистически определённый срок службы продукта, в те-

чение которого он может ожидать надёжной работы устройства.

В сфере полупроводников разделение между надёжной и ненадёжной работой просто определить с помощью раздела технического паспорта «Рекомендованные условия эксплуатации» (рисунок 3), где указаны ограничения для каждого параметра с учётом некоторого допуска ошибки. Если, например, напряжения на входах аналого-цифрового преобразователя (АЦП) сохраняются в этих пределах, то пользователь может ожидать предсказуемой работы в ходе всего срока эксплуатации продукта. Это отличается от абсолютных максимальных параметров, определяющих пределы характеристик, которые не повредят устройству. Эти максимальные параметры менее ограничительные, чем рекомендованные условия эксплуатации, они не предоставляют каких-либо оценок надёжной работы АЦП, и в случае длительной эксплуатации их превышение может привести к необратимым повреждениям.

Рекомендованные условия эксплуатации

		Мин.	Ном.	Макс.	Ед. измерения
Источник питания					
Однополярный аналоговый источник питания	от AVDD на AVSS	2,3		5,5	В
	от AVSS на DGND	-0,1	0	0,1	В

Абсолютные максимальные номинальные параметры

	Мин.	Макс.	Ед. измерения
от AVDD на AVSS	-0,3	7	В
от DVDD на DGND	-0,3	7	В

Рисунок 3. Разница между рекомендованными условиями эксплуатации и абсолютными максимальными номинальными параметрами

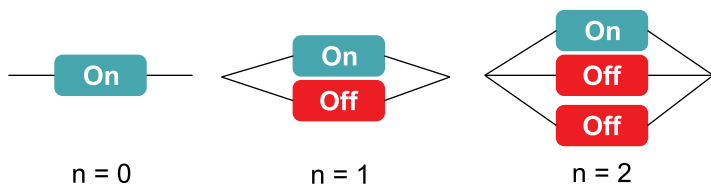


Рисунок 4. Модели холодного резервирования для n=0, 1 и 2

Тем не менее работа в рекомендованных условиях эксплуатации просто означает поддержание надёжности и не обязательно является способом её повышения.

Одним из способов повышения надёжности является резервирование. Это подразумевает создание резервных систем, позволяющих процессам продолжить работу даже в случае об-

наруженного сбоя. Реальным примером резервирования, который знает каждый из нас, является наличие запасного ключа от дома на случай потери оригинала. При всей простоте данной идеи, она часто развивается в невероятно сложные системы.

Теоретически, резервирование можно смоделировать, как показано на рисунке 4, где n равно количе-

ству резервированных узлов системы (n=0 значит отсутствие резервирования). Данный рисунок показывает то, что обычно называют «холодным» резервированием, при котором одна система остаётся включённой, в то время как резервирующие системы отключены. Данный способ может помочь устранить ненужные перегрузки от резервных систем, когда они включены, но не используются, а также снизить затраты на электроэнергию для питания неиспользуемых систем. Дополнительные способы резервирования включают «горячее» резервирование или модульное резервирование. Данные способы подразумевают параллельное питание всех модулей, невзирая на затраты на электроэнергию в пользу скорости переключения или оптимизации выходного сигнала.

Основным преимуществом резервирования является тот факт, что оно может повысить общую надёжность системы до уровня, намного превышающего надёжность каждого компонента. Если предположить, что надёжность каждого компонента независима, даже небольшой уровень резервирования может дать положительный результат.

К сожалению, реальной независимости компонентов тяжело достичь. Даже при тщательном планировании и разработке непредвиденные взаимодействия в системе могут привести к одновременному сбою, казалось бы, независимых систем резервирования – феномену, известному как отказ по общей причине. В примере с катастрофой «Челленджера» в стыке ракетного двигателя на твёрдом топливе было два уплотнительных кольца (рисунок 5), второе из которых было установлено на случай неисправности первого. К сожалению, низкая температура повлияла в равной степени на оба уплотнительных кольца, что привело к одновременной неисправности обоих.

На разрезе твёрдотопливного ракетного двигателя показано положение хвостовика, соединительной скобы и уплотнительных колец. Мастика покрывает стык с внутренней стороны, стороны топлива.

Притом что для повышения надёжности системы можно использовать резервирование, есть и другие ме-

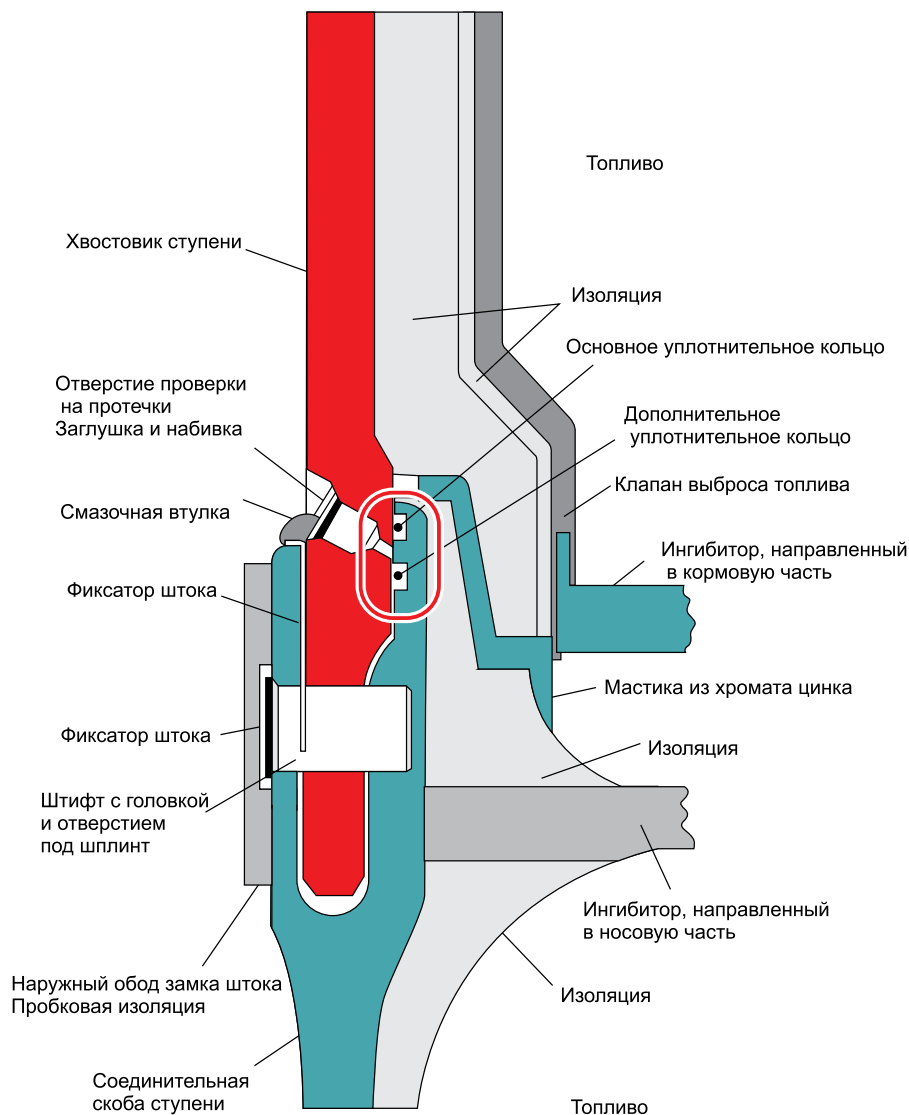


Рисунок 5. Чертёж разгонной ступени шаттла «Челленджер» в разрезе, на котором показано положение неисправных уплотнительных колец
Источник: NASA

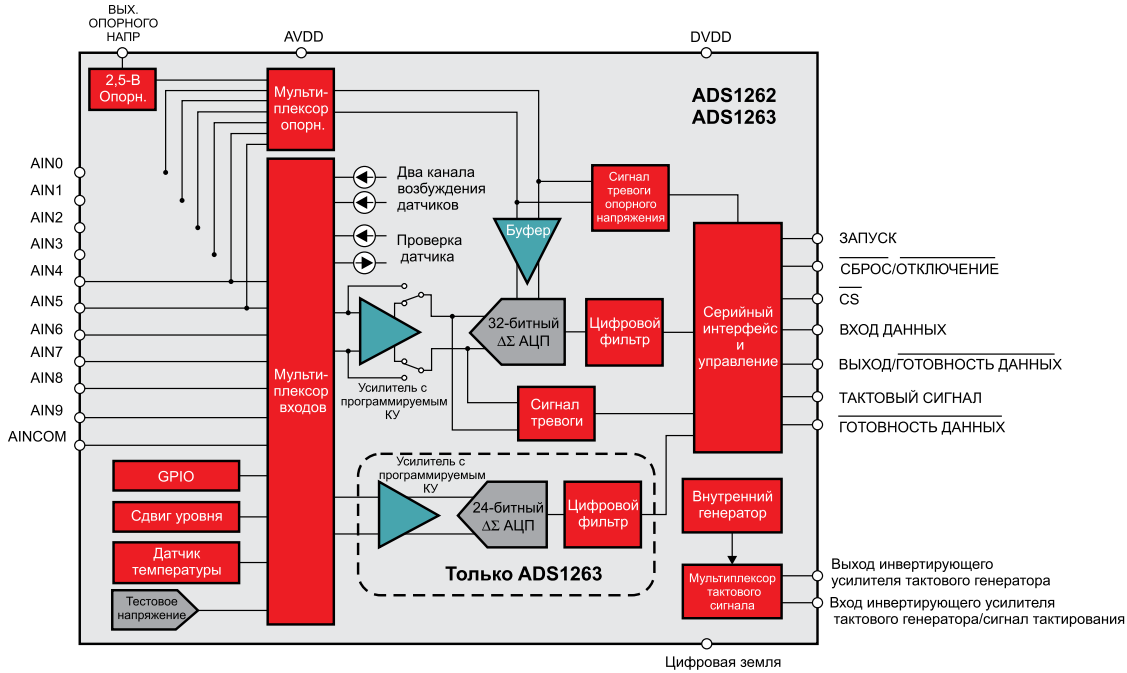


Рисунок 6. Блок-схема системы АЦП высокого разрешения с низким уровнем шума

тоды, помогающие повысить надёжность. Примерами могут служить радиационное упрочнение, более высокие изоляционные барьеры, а также более совершенное подавление помех по питанию (PSR). Тем не менее данные методики не должны быть фиксированными, а также не должны применяться только на системном уровне. Фактически, с ростом потребности в более масштабных и сложных системах также растёт и потребность в компонентах оборудования с более развитой логикой, которые вносят активный вклад в общее состояние систем, в которых они установлены.

Создание динамических функций повышения надёжности на более тонком уровне позволит убедиться в том, что каждое звено сложной системы работает исправно в течение всего периода эксплуатации. Придерживаясь данной концепции, разработчики ИС создали АЦП, приспособленные под особые требования, как, например, в случае с 32-битными АЦП ADS1262 и ADS1263. Эти устройства — одни из первых промышленных АЦП, снабжённых рядом функций отслеживания и защиты.

способы отслеживания, обеспечивающие дополнительный уровень диагностических способностей. Аналоговая часть оборудована встроенным усилителем с программируемым коэффициентом усиления (PGA), включающим функции обнаружения выхода за диапазон и обнаружения сигналов шин земли/питания. Первая функция определяет, превышает ли разность между максимальным и минимальным выходным напряжением $\pm 105\%$ от полного диапазона напряжений ($V_{ЭТАЛ.}$), а вторая устанавливает флаг, если напряжение какого-либо из выводов PGA находится в пределах 100 мВ от напряжения источника (AVDD или AVSS). Кроме того, оба АЦП снабжены функцией обнаружения эталонного напряжения, когда разность между эталонными напряжениями ($V_{ЭТАЛ.Р} - V_{ЭТАЛ.Н}$) постоянно сравнивается со значением в 0,4 В. АЦП обновляют байт статуса преобразования после каждого цикла пре-

образования, указывая, упало ли оно ниже данного значения.

В производственной среде шум обычно создаётся сильными сигналами радиочастот (РЧ), переходными процессами в электромоторах, искрением переключателей или просто работами по техническому обслуживанию, такими как электросварка. Для того чтобы свести к минимуму эффекты данного шума на чувствительные цифровые цепи, АЦП ADS1262/3 генерируют циклический избыточный код (CRC), а также обычную контрольную сумму, которые помогают обнаружить однобитовые и многобитовые ошибки.

Обе эти схемы обнаружения работают посредством вычисления известного значения из преобразованного результата, который затем сравнивается со значением, вычисленным обычным способом на хост-контроллере. Циклический избыточный код разделяет каждый байт данных на многочлен CRC-8-ATM

Встроенная диагностика

ADS1262/3 (рисунок 6) содержит как аналоговые, так и цифровые

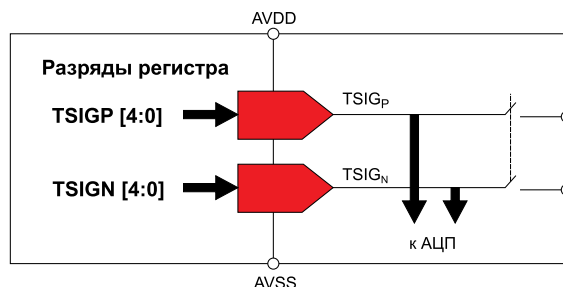


Рисунок 7. Блок-схема тестирующего АЦП

(x^8+x^2+x+1) , а обычная контрольная сумма суммирует все четыре типа данных, вместе с константой (0x9Bh). Если результаты АЦП и хоста различаются, выдаётся сообщение об ошибке. В таком случае данные могут быть прочитаны в обратной последовательности, чтобы восстановить изначальное выходное значение.

Иногда выходные данные могут быть неверными всё время, что говорит о наличии более серьёзных проблем, чем внешние шумы. Если состояние АЦП под вопросом, одной из наиболее полезных функций, встроенных в ADS1262/3, является наличие тестового цифро-аналогового преобразователя (ЦАП) (рисунок 7).

Для оценки состояния АЦП, ЦАП генерирует известное несимметричное дифференциальное или синфазное напряжение, которое также совместимо с любой настройкой встроенного усилителя с программируемым коэффициентом усиления. Обработав этот известный входной сигнал, АЦП должен генерировать известный выходной код. Если этого не случается, один из компонентов АЦП может работать неверно, что приводит к необходимости дальнейшей диагностики.

Кроме того, тестовый сигнал ЦАП можно направить на внешнее устройство, чтобы проверить наличие каких-либо проблем со схемой формирования сигнала. За этим мощным инструментом диагностики можно следить иногда, по запросу, или, для более важных приложений, использовать его после каждого отсчёта АЦП для проверки наличия ошибочных данных, возможно в связи с неработающим АЦП.

Другой способ проверки состояния основного АЦП подразумевает выполнение избыточных измерений с помощью дополнительного 24-битного АЦП в ADS1263, чтобы определить их соответствие. Если данные не совпадают, управляющая система может проверить байт статуса преобразования, чтобы определить, были ли установлены какие-либо флаги. В другом случае, так как тестовый сигнал с ЦАП можно направить на любой АЦП, можно убедиться, что они оба выдают одно и то же значение. Если нет, то одно из них может быть неисправно.

Данные функции отслеживания предоставляют несколько способов проверки общего состояния АЦП и работоспособности его отдельных компонентов, а также могут отправлять управляющей системе

сигналы тревоги при обнаружении ненормальной работы. На основе большего количества информации хост-контроллер может быстрее принимать нужные решения, такие как перевод неисправных процессов в желаемое безопасное состояние или принудительная остановка всего завода. В конечном итоге, это обеспечит более безопасные условия эксплуатации.

Отслеживание входов системы

Функции, указанные выше, обычно используются для определения рабочего состояния нескольких отдельных элементов АЦП, а также для проверки их общего состояния. В замкнутой системе это может быть целесообразно. Тем не менее, так как обычно АЦП работает «не в вакууме», необходимо также наличие дополнительных средств слежения за состоянием АЦП из главной системы.

Например, ADS1262/3 оборудован датчиком температуры, который можно использовать для отслеживания температуры платы. В случае если этот датчик обнаруживает повышение температуры, скорость внешних вентиляторов охлаждения может автоматически увеличиваться. Если такой функции в системе нет, то она может отключиться, чтобы предотвратить повреждение устройства и дать время на исправление проблемы.

Как уже было указано, ADS1263 снабжён дополнительным 24-битным АЦП, имеющим собственный мультиплексор входа (MUX), усилитель с программируемым коэффициентом усиления и вход опорного сигнала (рисунок 8). Несмотря на то, что этот АЦП имеет несколько возможных применений, включая компенсацию холодного спада (CJC) в термopарах, а также подтверждение выхода из строя основного АЦП, дополнительный АЦП может использоваться для ряда других применений, чтобы помочь отслеживать входные сигналы системы.

Расширяя способ избыточных измерений, описанный выше, можно использовать дополнительный АЦП для выполнения избыточных измерений основного АЦП, но с другим

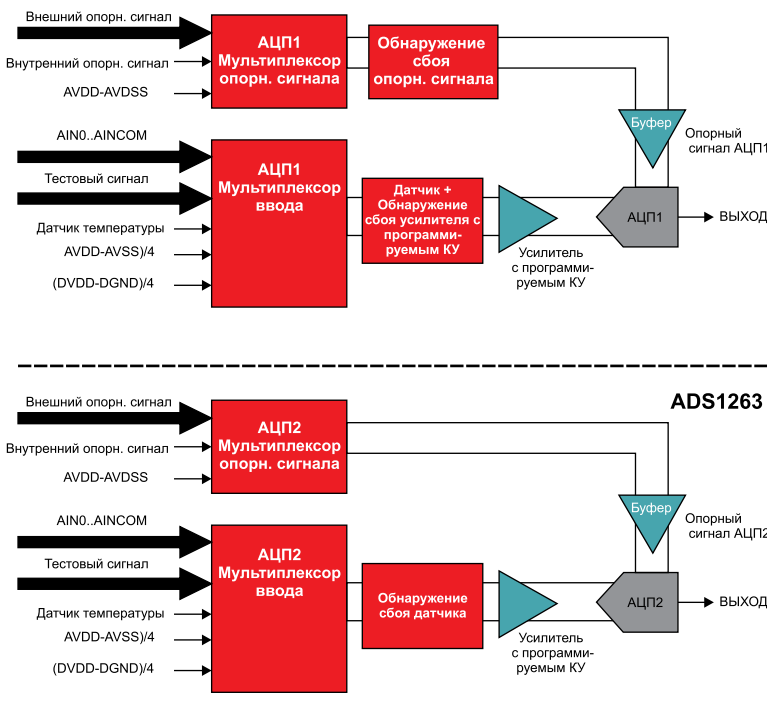


Рисунок 8. Блок-схема цепи сигналов основного и дополнительного АЦП

КУ усилителя с программируемым КУ. Данная конфигурация позволяет пользователю просматривать слабый сигнал, такой как измерение с мостового датчика, с более широкой перспективы. Она также позволяет обнаруживать факты ненормальной работы, такие как ограничение или неустановившееся напряжение, которые иначе могут остаться незамеченными и передаваться как верные данные. Для этого пользователь должен настроить на основном АЦП большой КУ, например 32, а у дополнительного АЦП должен быть коэффициент 1 (рисунок 9).

С такой настройкой хост-контроллер будет лучше подготовлен к быстрому принятию эффективных решений в случае возникновения проблем. При обнаружении неустановившегося напряжения АЦП может запустить проверочный ЦАП и мониторы усилителя с программируемым КУ опорного сигнала, чтобы обнаружить повреждение любой из цепей сигнала. Или, если сигнал ограничивается, КУ может быть перенастроен в реальном времени, продолжая точную запись данных.

Другой важной функцией дополнительного АЦП является возможность использовать узел смещения датчика без прерывания работы основного АЦП. Узел смещения датчика включает настраиваемые резисторы или источники тока, которые передают максимальное положительное или отрицательное показание в случае отключённого датчика.

При использовании нескольких датчиков, таких как термопары и резистивные термометры, основной АЦП может получить отсчёт выходного сигнала первого датчика, в то время как дополнительный АЦП отслеживает показание смещения второго датчика на входе. Это помогает убедиться, что, когда основной АЦП будет готов к получению отсчёта второго датчика, он всё ещё будет подключён. Тем же образом можно поступить с датчиками три, четыре, пять и т. д.

Замечания

Во-первых, притом, что данные функции предоставляют информацию о внутренней или внешней на-

дёжности, они не ограничиваются каким-то одним из типов. Например, разность между опорными напряжениями может предоставляться системой (без использования внутренней информации). В результате, в отличие от встроенной функции (возможности отслеживания опорного сигнала), возможно предоставление информации о входном сигнале системы. Кроме того, некоторые функции повышения надёжности устройства не обязательно использовать, как, например, дополнительный АЦП в микросхеме ADS1263, выполняющий компенсацию холодного спая.

Во-вторых, определённые обстоятельства, такие как удар молнии, могут навредить данным возможностям отслеживания. Поэтому они всегда должны работать совместно с общесистемными функциями обеспечения надёжности и не должны заменять регулярное обслуживание и внешнюю проверку управляющей системы.

Удовлетворение потребностей будущего

С развитием технологий и решением всё новых проблем будущего потребность в интеграции и без того сложных систем в одну взаимосвязанную систему будет только расти. Эти проблемы должны заставить инженеров всех сфер рассчитывать, какой пассивный и активный вклад в надёжную работу поддерживаемых систем вносят продукты, которые они создают.

Для удовлетворения потребностей будущего разработчики ИС Texas Instruments интегрируют функции обеспечения надёжности непосредственно в АЦП, позволяя этим устройствам играть активную роль в общем состоянии и безотказности систем, в которые они устанавливаются.

В случае с ADS1262/3 эти функции помогают предоставлять более надёжные данные, в то же время обеспечивая широкий спектр узконаправленной диагностической информации. Такие функции, равно как и диагностика, могут, при верном применении, помочь повысить надёжность системы в конечных устройствах изготовителя комплексного оборудования (ИКО).

В конечном счёте, добавление функций надёжности на уровень физических устройств может помочь ИКО снизить частоту сбоев сложных систем, которые они разрабатывают, тем самым всё приближая нынешнюю реальность к невероятным картинкам будущего.

Литература

1. HistoryChannel, ChallengerDisaster.
2. Scott D. Sagan. The Problem of RedundancyProblem: Why More Nuclear Security Forces May / Produce Less Nuclear Security, 0272-4332/04/0100-0935 \$22.00/1 C, 2004 Society for Risk Analysis.
3. Reliability Data: Reliability Estimator, Texas Instruments.
4. ADS1262 datasheet.
5. ADS1263 datasheet.

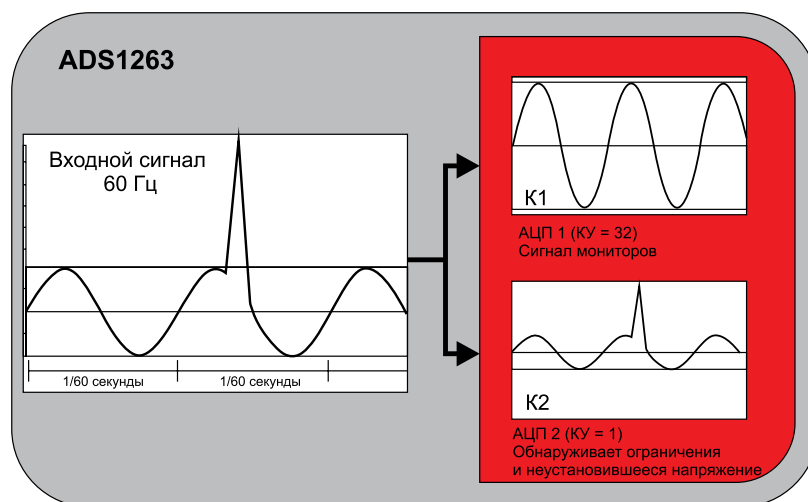


Рисунок 9. Использование дополнительного АЦП для обнаружения макрособытий

Потенциал промышленного «Интернета вещей» (IoT)

IoT — это не только потребительские приложения. Он имеет большой потенциал в промышленном секторе благодаря услугам, которые будут предоставляться по мере подключения к облаку датчиков и оборудования. Важно не путать IoT с межмашинной, или M2M-связью, поскольку это не одно и то же. M2M традиционно базируется на фирменной технологии, являющейся закрытой средой в отличие от сети IoT, которая представляет собой открытую среду и использует стандартные методы доступа к Интернету и его стандартные услуги — точно такие же, какие используются потребителями. Этот уровень открытости позволяет датчику газа «твитнуть» или отправить текстовое сообщение оператору в случае проблемы, что не так просто для системы M2M.

При наличии связи через облако для приложений с поддержкой IoT открываются большие возможности на промышленном рынке. IoT — это эффективная технология, предлагающая новые способы использования и услуги на самых разнообразных рынках и в различных областях применения. Когда люди вспоминают об IoT, они часто думают о способах его применения в быту и для личного пользования, однако на самом деле подключаемые к IoT продукты будут играть важную роль в «умном» производстве, «умных» городах, на автотранспорте, в автоматизации зданий, а также в здравоохранении.

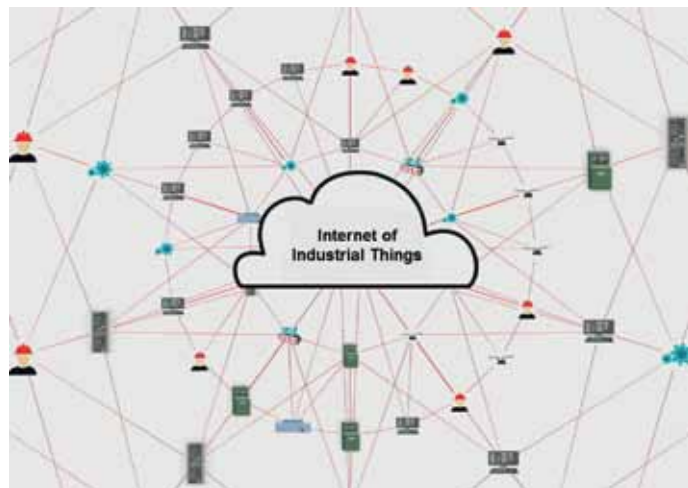
Промышленный IoT обладает большим потенциалом благодаря услугам, которые будут предоставляться по мере подключения к облаку все большего количества датчиков и оборудования. При его полноценном использовании IoT должен повышать эффективность (например, энергопотребления, производства, техобслуживания и т. п.) и обеспечивать повышение уровня защиты и безопасности, повышение квалификации, предоставлять новые коммерческие услуги и давать многое другое в различных отраслях деятельности.

• «Умное» производство

Производители добавляют в свои изделия или производственную линию возможности беспроводной связи для усовершенствования производственного процесса. При наличии встроенной беспроводной связи производителям проще получать информацию от заводского цеха в свои «облачные» системы, чтобы быстро решить любые проблемы до того, как продукция уйдёт с завода. Производители также хотят использовать возможности связи для сбора информации об оборудовании на месте эксплуатации. Эта информация помогает им находить неисправности, контролировать оборудование, а также позволяет обновлять программное и программно-аппаратное обеспечение «по воздуху», что раньше было совершенно невозможно.

• Автоматизация зданий

Во многом похожая на промышленную автоматизацию, автоматизация зданий может подключаться к датчикам для включения и выключения светильников в зави-



симости от присутствия людей и позволяет выполнять динамическое управление системами вентиляции и кондиционирования, что способствует оптимизации энергопотребления. Предупредительное техобслуживание также является выгодным для обеспечения своевременности ремонта, что сокращает расходы.

• «Умные» города

Подключение элементов в пределах «умного» города к IoT может обеспечить снижение потребления электричества и воды при помощи электронных счётчиков с целью экономного расходования ресурсов. Использование «умных» уличных фонарей, а также подключение к облаку



мониторов наблюдения за порядком и контроля дорожного движения поможет обеспечить спокойную жизнь в городе. И, наконец, датчики по всему городу обнаруживают утечку газа и воды из трубопроводов и обеспечивают безопасность горожан и надёжное функционирование коммунальных сетей.

• Автотранспорт

Подключённые автомобили предоставляют услуги информационной поддержки, чтобы передавать развлекательные программы, обеспечивать навигацию и предоставлять другие подключённые услуги. Замена проводов беспроводной связью приводит к снижению веса автомобилей и повышению их топливной экономичности, а также обеспечивает управляемое датчиками профилактическое техобслуживание для экономии на дорогостоящих ремонтах.

• Магазины розничной торговли

Подключённая среда розничной торговли может лучше отслеживать запасы товаров и динамически менять цифровые этикетки хранящихся товаров. В сочетании с программами постоянных покупателей, подключённые к IoT маячки в магазине могут обслуживать купоны и предлагать товары на основании предпочтений покупателей прямо на их смартфонах, пока они ходят по магазину.

• Здоровоохранение

Существуют дополнительные возможности позаботиться о здоровье и безопасности работников через IoT за пределами рабочего места. Подключённые носимые устройства и мониторинг самочувствия улучшают общее состояние здоровья.

• Другие рынки

Многие из приведённых выше примеров относятся также и к потребительскому рынку. Однако промышленный IoT отличается от потребительских приложений. Промышленная сеть требует других интерфейсов и протоколов, устойчивых к помехам, изменениям условий окружающей среды, отличающихся управляемой латентностью и высокой степенью безопасности из-за условий и областей применения, в которых они используются.

Кроме того, конъюнктура промышленного рынка меняется гораздо медленнее, чем конъюнктура потребительского рынка, поэтому переход промышленного рынка на подключение к IoT займёт некоторое время. Выгоды от профилактического техобслуживания, мониторинга и анализа больших данных с целью повышения производительности или улучшения условий работы в сочетании с доступностью нужных аппаратных и программных решений дадут финансовое обоснование для перехода в будущем к системам с подключением к IoT — это остаётся только вопросом времени.

ты, имеющие значение для обеспечения того, чтобы потребляемая нашим решением энергия была как можно меньше, чтобы продлить срок службы батареек, уменьшить их размеры или даже обойтись сбором энергии для безбатарейных устройств.

Применение

Вопреки распространённому мнению, сам радиопередатчик редко является основным участником общего энергопотребления беспроводного микроконтроллера (МК). По мере развития различных технологий требуется все больше и больше вычислительной мощности, как раз когда сравнительно небольшие датчики и стеки беспроводных протоколов дают все больше непроизводительных издержек по мере развёртывания стандартов.

В семействе SimpleLink™ CC26xx имеется два доступных для приложения МК с очень высокой степенью энергосбережения.

ARM® Cortex®-M3

ARM® Cortex®-M3 является главным системным ЦП внутри устройства CC26xx. Одним из способов измерения производительности микроконтроллеров является использование оценочных инструментов. Одним из наиболее широко известных оценочных тестов является CoreMark от Консорциума по тестированию встраиваемых микропроцессоров (EEMBC). CoreMark — это простой, но достаточно многофункциональный оценочный инструмент, предназначенный для тестирования эффективности процессорного ядра, используемого во встроённых устройствах. Он независим от системы, поэтому он работает одинаково безотносительно к платформе (например, независимо от порядка записи байтов — от старшего к младшему или от младшего к старшему, от типа процессора — высоко- или малопроизводительного). Этот оценочный тест также показывает уровень энергосбережения ядра МКБ.

Баллы из таблицы 1 способствуют очень низкому среднему потреблению энергии во время активного использования. Во время работы ARM Cortex-M3 с максимальной скоростью (48 МГц) функционирующий ЦП потребляет 3 мА и превосходит по производительности любой беспроводной МК, работающий на менее эффективных ядрах или с меньшими тактовыми частотами ЦП. Энергоэффективность CC26xx по CoreMark (CoreMark/мА) — наилучшая по сравнению с любым конкурирующим продуктом с сопоставимым МКБ, что делает его самым энергоэффективным микроконтроллером из имеющихся на сегодня.

Таблица 1. Различные показатели CoreMark для CC26xx, измеренные на CC2650-7ID при 3 В и 48 МГц

CC26xx ARM Cortex®-M3	
Баллы CoreMark	141,85
CoreMark, МГц	2,955
CoreMark, мА	48,49
мкА / МГц	60,95

Переход на новый низкий уровень мощности — платформа сверхнизкомощных (ULP) беспроводных МКБ SimpleLink™

Новая сверхнизкомощная платформа SimpleLink™ CC26xx/CC13xx для Bluetooth® Smart, 6LoWPAN, ZigBee®, Sub-1 ГГц и ZigBee® RF4CE™ строится и проектируется с учётом низкой мощности. Мы рассмотрели все аспек-

Контроллер датчиков

Уникальный сверхнизкомощный контроллер датчиков — это 16-битный ЦП в сочетании с такими периферийными устройствами, как аналого-цифровые преобразователи (АЦП), аналоговые компараторы, SPI/I²C и емкостной переключатель. Он предназначен для автономной работы, когда вся остальная система находится в режиме ожидания. Контроллер датчиков позволяет взаимодействовать с внешними аналоговыми или цифровыми датчиками методом, требующим очень низкой мощности (рисунок 1).

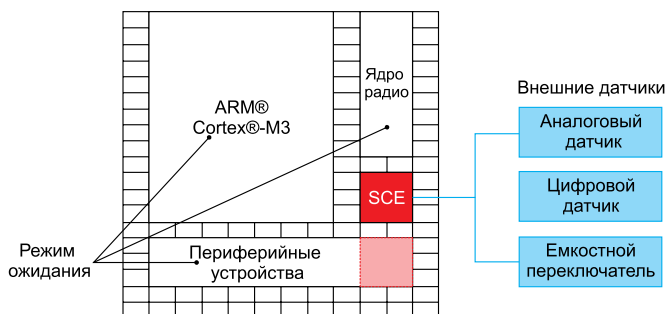


Рисунок 1. Подсистема сверхнизкомощного контроллера датчиков может работать автономно, когда остальная часть системы находится в режиме ожидания

Активизация всей системы для выполнения несущих задач часто не является энергоэффективной, поскольку она вносит много непроизводительных издержек. Во многих случаях имеются задачи, которые должны запускаться с определёнными интервалами, которые имеют более высокие рабочие циклы, чем фактическая РЧ или основная деятельность. Одним из примеров может быть монитор частоты пульса, которому нужно запускать АЦП 10 раз в секунду для получения точной частоты пульса. Активизация всей системы для выполнения беспроводной передачи 10 раз в секунду в этом случае будет очень энергозатратной. В случае ультранизкопотребляющей платформы SimpleLink™ CC26xx можно позволить контроллеру датчиков выполнять все измерения АЦП и активизировать ARM® Cortex®-M3 при каждом 10-м замере АЦП для дополнительной дальнейшей обработки и групповой РЧ-передачи этих данных.

Таблица 2. Энергоэффективность контроллера датчиков во время работы с основной частотой

Ультранизкопотребляющий контроллер датчиков CC26xx	
мкА / МГц	8,2

В примере на рисунке 2 контроллер датчиков может выполнять 10 считываний АЦП в секунду при среднем потреблении менее 3 мкА. Выполнение той же задачи с помощью ARM® Cortex®-M3 потребует 10-кратного увеличения энергопотребления.

Контроллер датчиков может работать напрямую от заранее отмасштабированного генератора тактовых импульсов на 24 МГц, дающего возможность выполнять сбор данных и их простую обработку.

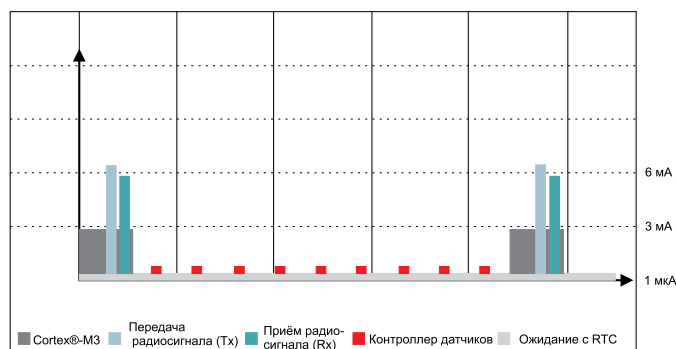


Рисунок 2. Контроллер датчиков может существенно снизить среднее потребление энергии

Радио

Пиковое потребление, вызываемое сильными токами передачи и приема беспроводных решений, раньше всегда накладывало ограничения на пригодные к использованию батарейки или существенно снижало их срок службы. Имея очень слабые пиковые токи контроллера CC26xx, равные примерно 6 мА (0 дБм на выходе), это больше не накладывает никаких ограничений на традиционные батарейки CR2032 и может даже позволить использовать меньшие батарейки. С точки зрения энергопотребления, радио больше не является главным потребителем и вызывает меньше проблем, и теперь больше не нужно оглядываться на выходную мощность, чтобы снизить пиковое потребление.

Спящий режим и отключение

В работающем от батарейки устройстве радиочастотный рабочий цикл (приём/передача) и его параметры определяют срок службы батарейки. Между передачами важно сохранять токи режима ожидания как можно более слабыми, чтобы в батарейке было достаточно электричества для активного использования. В CC26xx используется статическое ОЗУ (SRAM) со сверхнизкой утечкой, которое может полностью сохраняться (20 кбайт) и дополнительно иметь работающие часы реального времени (RTC) и сохранять состояние регистров и ЦП, находясь в режиме ожидания и при этом потребляя всего 1 мкА. В режиме отключения CC26xx может активизироваться при внешних событиях ввода/вывода, при этом потребляя всего 150 нА.

Предельный срок хранения батареек CR2032 увеличивается, и некоторые поставщики теперь заявляют о 10-летнем сроке службы батарейки.

Средний ток, потребляемый системой от батарейки CR2032 ёмкостью 220 мА·ч, должен быть менее 2,5 мкА, чтобы достигнуть срока службы в 10 лет [2]. Если базовый ток системы больше этого значения, нельзя достигнуть максимальных возможностей батарейки, независимо от того, насколько низкий активный рабочий цикл применяется.

Как среднее значение тока влияет на срок службы батарейки

Срок службы батарейки, в основном, определяется средним энергопотреблением. Это будет в значительной степени зависеть от условий использования, однако теперь есть оценочный тест от EEMBC под названием ULPBench™, который выполняет стандартизацию по параметрам листа данных и обеспечивает методику для надежного и справедливого измерения энергоэффективности МКБ. Тест ULPBench использует обычный набор нагрузок, которые переносятся через 8-, 16- и 32-битные микроконтроллеры, позволяет использовать низкопотребные режимы МКБ, при этом фокусируя внимание на реальных приложениях, использующих встроенные аппаратные функции. В конце он анализирует результаты воздействия активных и низкопотребных режимов [3].

Другой общепринятый способ проверки среднего значения тока – рассмотреть конкретный случай использования данной технологии. Для Bluetooth® Smart один из способов состоит в том, чтобы определить среднее значение, поддерживая соединение между двумя устройствами в заданном интервале.

Все, что обсуждалось, становится понятным, если взглянуть на профиль потребления события беспроводной связи. На рисунке 4 показано событие соединения для Bluetooth® Smart – активизация, предварительная обработка стека программного обеспечения, события радиосвязи (как приём, так и передача) и последующая обработка/возвращение в период спящего режима.

Дальнейшие сведения о том, как рассчитать средние токи и срок службы батарейки для приложения Bluetooth® Smart, можно найти в [4].

Литература

1. Cortex-M0+ Processor.
2. Marketing Malarkey and Some Truths About Ultra-Low Power Design, Jack Ganssle 2014.
3. EEMBC ULPBench.
4. Measuring Bluetooth® Smart Power Consumption.

Лучший в своем классе показатель ULPBench 143 балла

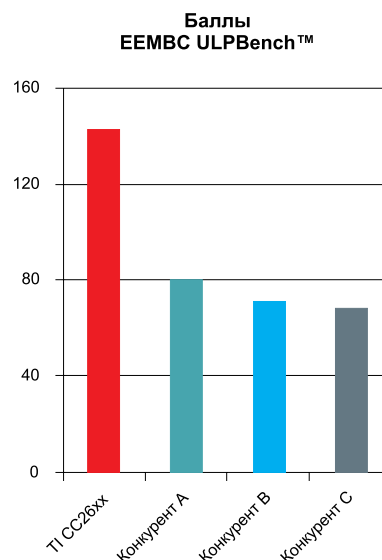


Рисунок 3. Баллы CC26xx ULPBench для сравнения

Таблица 3. Средние показатели для CC26xx, измеренные на CC2650-7ID при 3 В

CC26xx ARM® Cortex®-M3	
Баллы ULPBench	143,6
Соединение 1 с, Bluetooth® Smart (CC2640)	<10 мкА

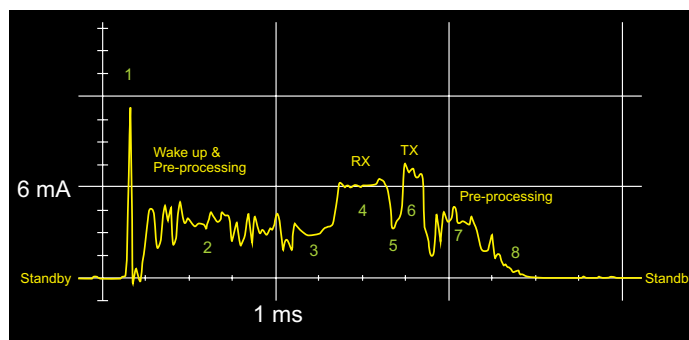


Рисунок 4. Профиль мощности события соединения Bluetooth® Smart

Тимоти Хегарти (Timothy Hegarty)

Как модули PoL могут соответствовать потребностям систем с высокой плотностью монтажа

Преобразователи постоянного тока типа PoL (точка нагрузки) в архитектурах систем питания с промежуточной шиной широко распространены во многих областях применения, включая аппаратуру дальней связи стандартов 3G и 4G, стойки высокопроизводительных серверов в центрах обработки данных, «облачные» вычисления и ИТ-системы предприятий [1]. Полезная площадь печатной платы, заполненная различными нагрузками, в этих системах чрезвычайно ограничена.

В статье рассматривается регулятор в виде модуля с высокой плотностью монтажа, выполненный в миниатюрном форм-факторе. Сам по себе модуль полностью протестирован и проверен перед установкой на системную плату и даёт возможность его гибкого использования во множестве систем и областей применения. Высокая плотность мощности достигается за счёт оптимального выбора компонентов и топологии платы. При условии большого чис-

ла шин питания реализация системы с высокой плотностью мощности и недорогим регулятором имеет огромное значение. Дополнительные требования включают в себя высокую эффективность (КПД) наряду с превосходными тепловыми характеристиками, малую занимаемую площадь, низкий профиль, быструю реакцию на переходные процессы в нагрузке и совместимость со стандартными технологиями процессов поверхностного монтажа (SMT).

Общий подход к достижению высокой степени плотности мощности состоит в повышении частоты переключения. С другой стороны, миниатюризация достигается стратегическим выбором компонентов при сохранении относительно низкой частоты переключения, равной 300 кГц, чтобы снизить пропорциональные частоте потери (такие как потери на переключение полевого транзистора, потери в сердечнике катушки индуктивности и электромагнитную интерференцию (ЭМИ)). Стандартные, готовые к поставке компоненты снижают стоимость материалов приблизительно до 5\$ США в объёмах 100 тыс./год.

Технические характеристики модуля

В таблице 1 приведён перечень технических характеристик модуля. Диапазон температур окружающей среды представлен с условием соответствующего снижения допустимого выходного тока, чтобы гарантировать отсутствие превышения рекомендованных максимальных рабочих температур компонентов.

Принципиальная схема и выбор компонентов

На рисунке 1 изображена упрощённая схема предлагаемого изделия [3]. Размер корпуса и рекомендуемая производителем геометрия контактной площадки, относящиеся к наиболее важным компонентам схемы, указаны в таблице 2.

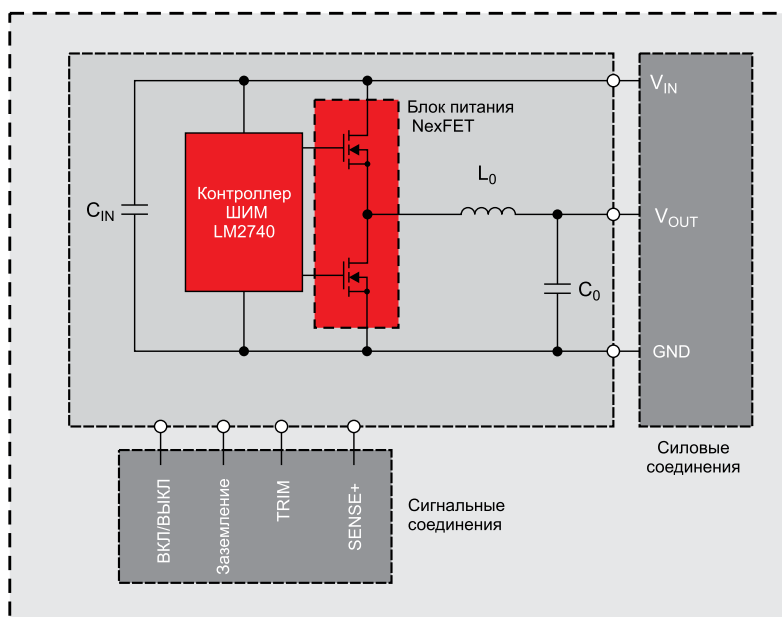


Рисунок 1. Упрощённая электрическая схема миниатюрного модуля

Полевые (FET) транзисторы

Сборка NexFET CSD86350Q5D – это полумостовая схема из двух МОП-транзисторов на напряжение 25 В, созданная с использованием методов 3D-интеграции при корпусировании [2]. С помощью системно-оптимизированной заземлённой подложки с выводами, толстых медных выводов и вертикальной укладки конструкции из асимметричных МОП-транзисторов удаётся оптимизировать для достижения чрезвычайно низких показателей по паразитным элементам (C, R, L) корпуса, высокой плотности и в высшей степени эффективной работы.

Нижний синхронный и верхний управляющий полевые МОП-транзисторы имеют эффективное полное сопротивление переменному току в открытом состоянии 1,2 и 5 мОм соответственно. Рассеяние мощности полевым МОП-транзистором при выходном напряжении 1,2 В и токе 25 А, включая потери на электропроводность и переключение, при температуре *p-n*-перехода 100 °С, составляет 2,5 Вт.

ШИМ-контроллер

Интегральная схема синхронного ШИМ-контроллера, подобная LM27402 [3], содержит, помимо прочего, интегрированные драйверы затворов и вспомогательный регулятор напряжения. В число дополнительных характеристик можно отнести широкий диапазон входного напряжения от 3 до 20 В, управление в режиме напряжения с прямой связью по напряжению, погрешность обратной связи, равную 1% во всём температурном диапазоне, и защиту ограничителем тока на базе DCR (сопротивления индуктора).

Рассеяние мощности ИС (включая потери в вентилях) при 300 кГц составляет 0,12 Вт. При непрерывном DCR-контроле тока пиковая контрольная точка ограничителя тока устанавливается на уровне 30 А номинального тока. Разброс индукторного DCR при изменении температуры компенсируется термистором с линейным положительным температурным коэффициентом (PTC), вносящим сопутствующее изменение в пороговое напряжение ограничителя тока.

Таблица 1. Проектные технические характеристики модуля

Параметр	Обозначение	Значение
Диапазон входного напряжения, В	V_{IN}	3–14
Диапазон выходного напряжения, В	V_{OUT}	0,6–5,5
Погрешность заданного значения напряжения	$V_{OUT (reg)}$	±1%
Диапазон выходного тока, А	I_{OUT}	0–25
Предельное значение тока, А	I_{CL}	30±10% (постоянный выходной ток)
Частота переключения, кГц	f_s	300 фикс.
Переходная характеристика	ΔV_{OUT}	10% (от 10 до 20 А при 2,5 А/мкс)
Время плавного запуска, мс	t_{SS}	10
Диапазон температур окружающей среды, °С	T_{AMB}	–40...+85
Скорость воздушного потока	Q	200 футов/мин (1 м/с)
Форм-фактор модуля (двухсторонняя ПП), мм		20×11×6,6

Таблица 2. Размеры корпусов компонентов схемы и рекомендуемые геометрические размеры контактных площадок

Компонент	Занимаемая площадь и высота, мм	Рекомендуемые габаритные размеры контактной площадки, мм
Сдвоенный МОП-транзистор	5×6×1,5	5,15×6,24
ШИМ-контроллер	4×4×0,8 (LLP-16)	4,2×4,2
Дроссель фильтра	11,5×10,3×4	4,1×13,6
Входные/выходные конденсаторы	2×1,25×1,35 (EIA 0805)	2,2×1,3
Клеммы SMT	2×3	2,2×3,2 на основной плате

Индуктор

Индуктор с низким сопротивлением по постоянному току (DCR) и плавной характеристикой насыщения выбирается из числа двух поставщиков магнитных изделий. Основные параметры этих индукторов приведены в таблице 3. Индуктивность выбирается такой, чтобы обеспечивать пульсирующую составляющую постоянного тока, равную примерно 30% при напряжении 12 В на входе, 1,2 В на выходе и частоте 300 кГц. Потери в сердечнике в этой рабочей точке составляют 0,3 Вт. Повышение температуры компонентов при постоянном токе 25 А составляет примерно 25 °С.

Ёмкость входных и выходных керамических конденсаторов

Пять керамических конденсаторов типа 0805 обеспечивают входную фильтрацию с номинальными ёмкостью и напряжением, равными соответственно 22 мкФ ±20% и 25 В на устройство. Входные конденсаторы специально распо-

ложены вблизи МОП-транзисторов для минимизации паразитной индуктивности контура коммутации. Шесть керамических конденсаторов типа 0805 обеспечивают входную фильтрацию с номинальными ёмкостью и напряжением, равными соответственно 47 мкФ ±20% и 6,3 В на устройство. Хотя этого явно и не требуется, дополнительные накопители большой ёмкости на входе и выходе могут быть удобно расположены на основной плате рядом с контактами соответствующего модуля – их не обязательно размещать на самом модуле.

Датчик температуры

Датчик температуры, такой как LM26LV, выбран для реализации тепловой защиты на уровне модуля. В число его отличительных черт входят простота использования, крошечная занимаемая площадь, выбираемые и точные точка срабатывания по температуре и гистерезис, а также меньшая стоимость, чем у обычных

Таблица 3. Параметры индуктора фильтра

Начальная индуктивность, мкГн	0,68	0,72
Тип изделия	PIME104T-R68MS1R607-63	744325072
Сопротивление постоянному току, мОм	1,6 ±7%	1,3±10%
Ток насыщения, А	33	35
Макс. размеры, мм	11,5×10,3×4	11,5×10,7×5,1

схем тепловой защиты (OTP) на термисторах.

Монтаж модуля

Модуль устанавливается параллельно системной плате как навесная плата расширения. Предусмотрены три линии питания: VIN, GND, VOUT. На другом конце ПП располагаются четыре сигнальные линии: TRIM, SENSE+, EN, SGND.

Топология и тепловой расчёт ПП

Используется стандартная основа ПП типа FR-4. Подробные технические характеристики смотрите в таблице 4. Этот модуль занимает на ПП общую площадь 2,2 см²

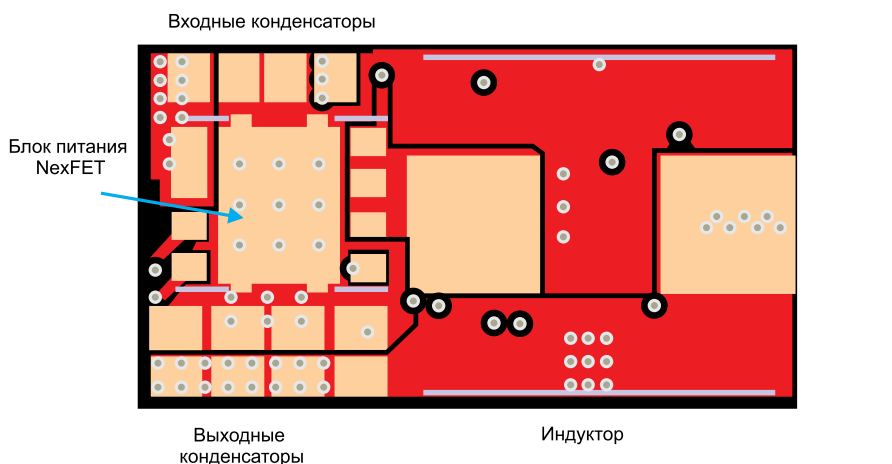
Таблица 4. Спецификации конструкции и топологии модуля

Параметр	Значение	
Мин. воздушный зазор	Конт. площадка/конт. площадка	6 мил (0,15 мм)
	Конт. площадка/дорожка	6 мил (0,15 мм)
	Дорожка/дорожка	6 мил (0,15 мм), все слои
	Корпус/корпус	10 мил (0,25 мм)
Минимальная ширина дорожки	8 мил (0,2 мм)	
Минимальный F.H.S. (просвет готового отверстия)	6 мил (0,15 мм)	
Минимальный размер переходного отверстия	8 мил (0,2 мм), 16 мил (0,4 мм)	
Закрытые/заполненные переходные отверстия	Да/нет	
Толщина фольги слоя	70 мкм, все шесть слоев	
Трафарет паяльной маски	6 мил	

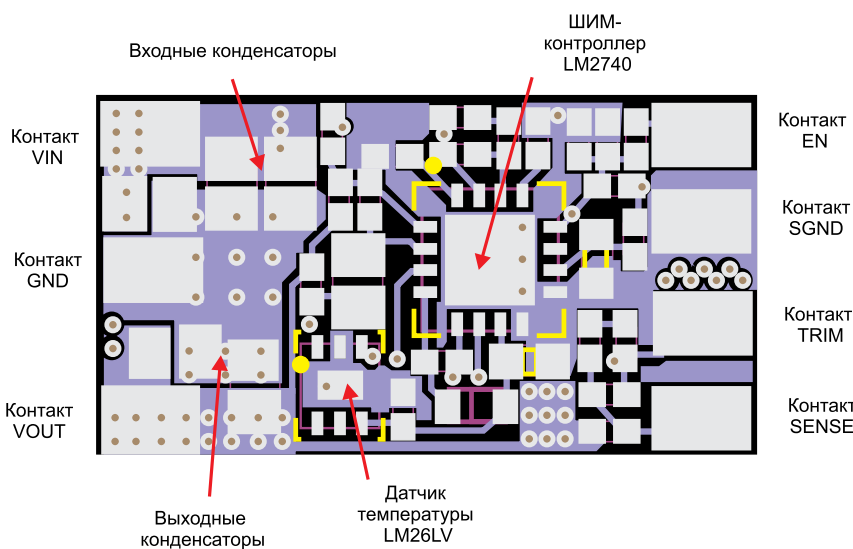
(0,34 дюйма²), позволяя обеспечить эффективную плотность тока на единицу площади, равную 11,3 А/см² (75 А/дюйм²). Плотность мощности на единицу объёма при напряжении 3,3 В на выходе составляет 57 Вт/см³ (930 Вт/дюйм³). Топология ПП представлена на рисунке 2.

Наиболее важно, чтобы цепи затвора МОП-транзистора и обратного сигнала получались особо короткими и прокладывались при минимальной площади контура. Кроме того, малая площадь, занимаемая узлом ключа, снижает излучаемые ЭМП.

Компоненты размещаются на обеих сторонах ПП, чтобы минимизировать требуемую площадь платы (рисунок 3). Внутренние слои ПП образуют параллельные земляные шины для отвода тепла и снижения падения проводимости. Тепловые сквозные межсоединения, размещённые на выступе земли МОП-транзистора (вывод истока нижнего МОП-транзистора), удобно подключаются к внутренним земляным шинам и способствуют улучшению тепловых характеристик.



а



б

Экспериментальные результаты

Для оценки рабочих характеристик схемы были записаны результаты различных экспериментальных измерений. Кривые рабочих характеристик (рисунок 4) включают в себя поведение при запуске, пере-

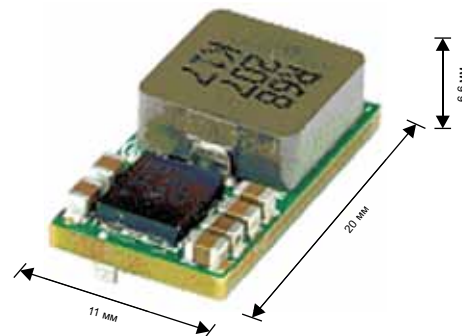


Рисунок 3. Модуль с высокой плотностью монтажа

Рисунок 2. Топология ПП схемы POL (вид сверху вниз): а) верхний слой; б) нижний слой

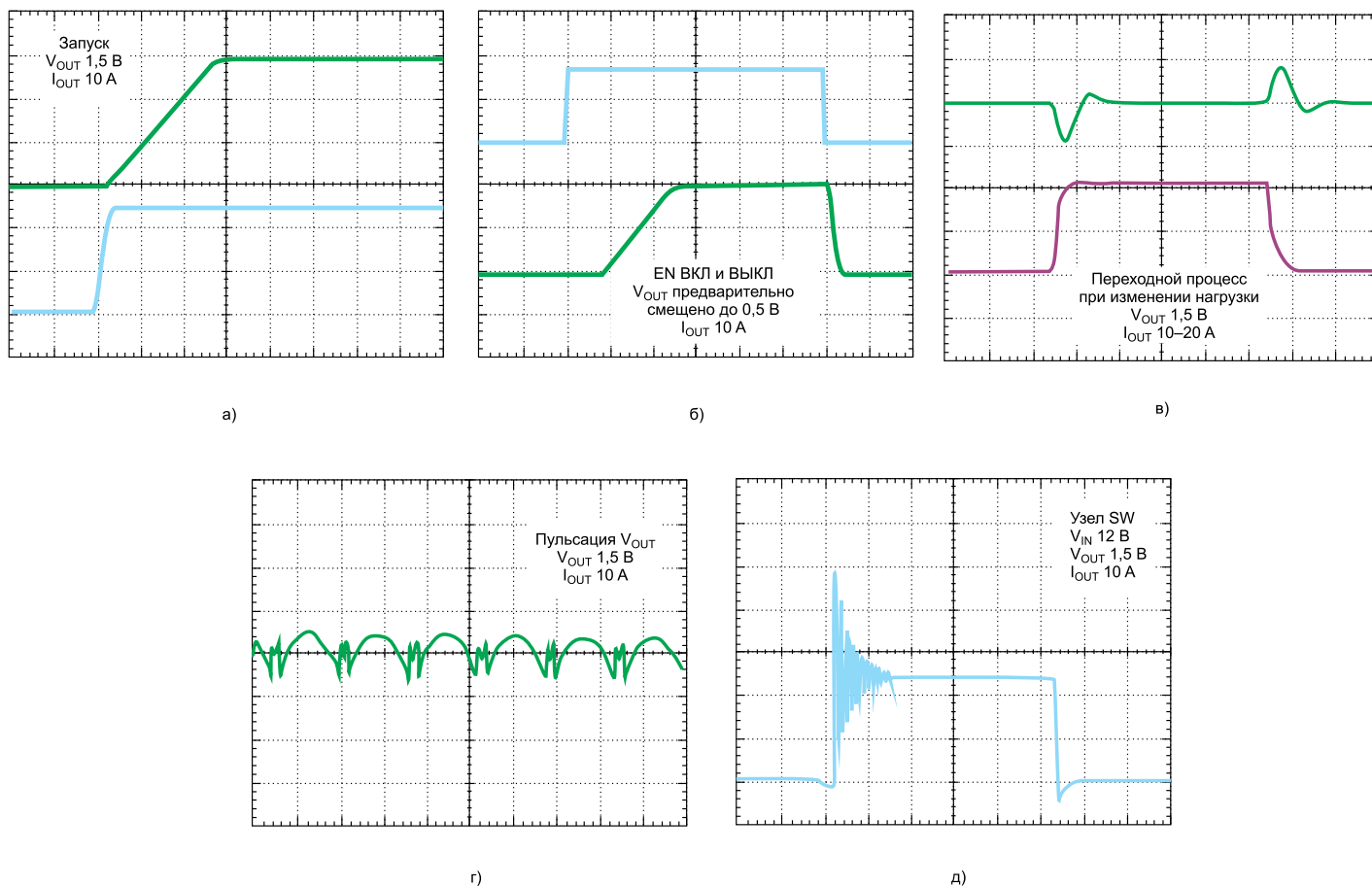


Рисунок 4. Кривые рабочих характеристик при 12 В на входе: а) плавный запуск; б) EN ВКЛ и ВЫКЛ при предварительном смещении 0,5 В; в) реакция на скачок нагрузки в 10 А, $di/dt = 2,5\text{ А/мкс}$; г) пульсация выходного напряжения и помехи; д) напряжение узла SW

ходные процессы при изменении нагрузки, пульсацию выходного напряжения и напряжение коммутационного узла. Коэффициенты преобразования при нескольких выходных напряжениях показаны на рисунке 5. Эффективность, равная 91%, достигается при напряжении 1,8 В и силе тока 25 А.

Литература

1. Telecom shelter power distribution unit system block diagram: Server – Block Diagrams and Design Considerations.
2. Learn more about NexFET Power Block MOSFET Technology: www.ti.com/nexfet-ca.
3. “High-Performance Synchronous Buck Controller with DCR Current Sensing,” Datasheet, Texas Instruments, January 2012: www.ti.com/lm27402-ca.

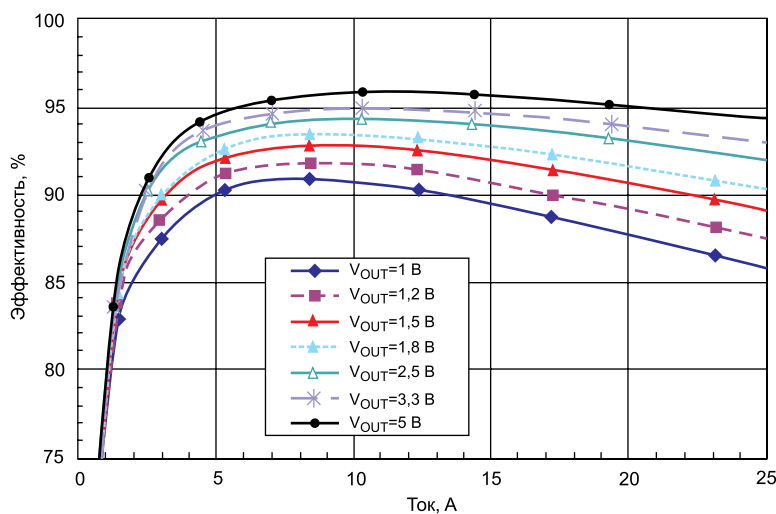



Рисунок 5. Графики эффективности модуля при входном напряжении 12 В и температуре окружающей среды 25 °С



официальный дистрибьютор
компании **Innodisk**
в России и СНГ



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 сегодняшний день 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 компании **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 Мб (для систем **АСКУЭ**, телематики и телемеханики) и до 2 ТБ.

Преимущества твердотельных накопителей Innodisk для встраиваемых систем:

- Устойчивость к сильным ударам и вибрациям
- Устойчивость к влаге, пыли и химическим повреждениям
- Защита данных в случае сбоя питания
- Работоспособность при экстремальных температурах, от -40С до +85С и предотвращение сбоев в работе накопителей при работе в высоком температурном диапазоне



Заказать печатную версию каталога и получить более подробную техническую информацию можно, обратившись в любой офис компании Сканти или по адресу: naa@scanti.ru

Прасад Дхонд (Prasad Dhond)

Упрощение локального учёта электроэнергии с помощью измерительных интегральных схем (ИС) корпорации Texas Instruments

Введение

Локальные счётчики электроэнергии, такие как «умные» штепсели или счётчики в бытовых приборах, позволяют потребителям следить за расходом энергии и управлять его режимами. Другие локальные счётчики, такие как счётчики на узлах учёта, помогают подразделениям информационных технологий оптимизировать энергопотребление на группах узлов учёта. При проектировании локального счётчика важную роль играют такие соображения, как выбор датчиков, компонентов аналоговых входных блоков (AFE) и микроконтроллеров (MCU), определяющих общую сложность и стоимость си-



Рисунок 1. Типовая конструкция «умного» штепселя MSP430™ Energy Watchdog2

стемы. Эффективная реализация должна иметь простую конструкцию и низкую стоимость в массовом производстве при одновременном

выполнении главных требований к функциональности – надёжность измерения и выдача информации о расходовании энергии. В данной статье обсуждаются характеристики и преимущества ИС MSP430AFE2xx1 в счётчиках электроэнергии. В то время как ИС MSP430AFE2xx полностью подходит для счётчиков энергии на уровне коммунального предприятия, в данной статье специально обсуждается её использование в локальном учёте. В контексте этого документа локальными называются средства измерения, не входящие в состав коммунальных приборов учёта, такие как «умные» штепсели, счётчики энергии в бытовых приборах и узлах учёта.

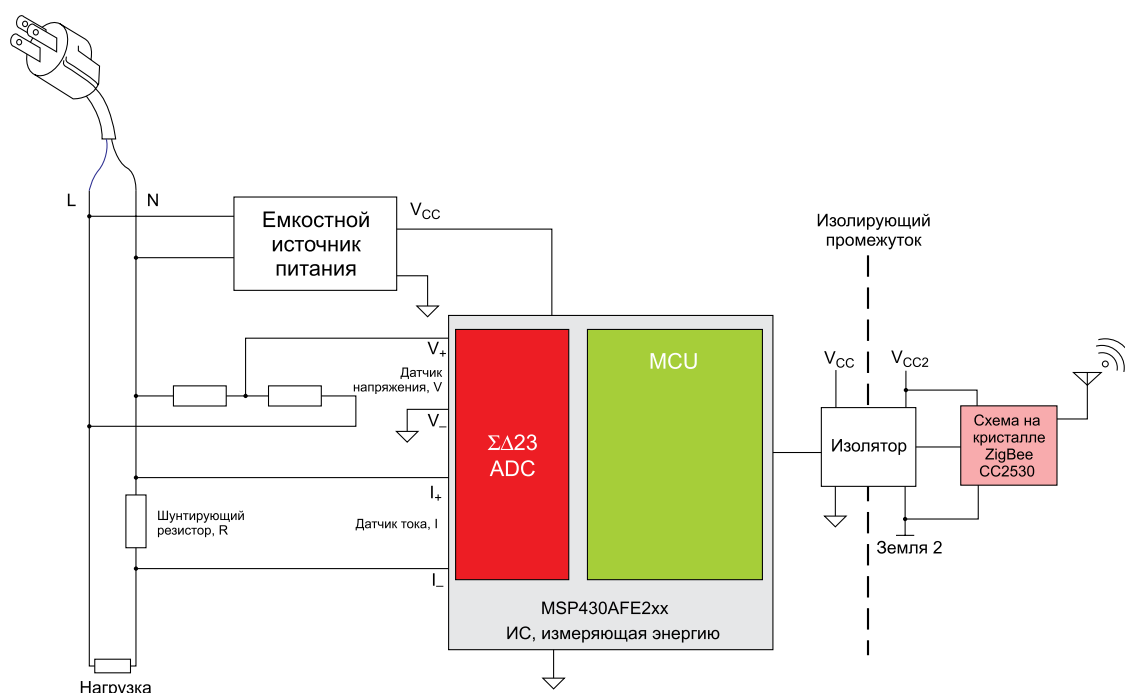


Рисунок 2. Блок-схема системы измерения энергии

Функции локального счётчика

Локальные счётчики могут иметь вид «умного» штепселя (рисунок 1) либо они могут быть интегрированы в бытовой прибор (рисунок 2) или в узел учёта. В обоих случаях локальный счётчик выполняет следующие функции:

- Измеряет расходование энергии бытовым прибором в режиме реального времени.
- Передаёт потребителю данные о расходовании энергии. Данные могут просто выводиться на ЖК-дисплей самого локального счётчика. Другими способами счётчик может направлять данные на удалённый терминал по беспроводной связи через Wi-Fi™ или ZigBee® либо по проводной связи, например через последовательный порт или по линии электропитания (PLC).
- Дополнительно локальный счётчик может осуществлять функцию регулирования подачи электроэнергии к бытовому прибору. Например, отключать прибор в часы пиковой нагрузки или выполнять дистанционное управление.

Компоненты измерения энергии

В любой системе измерения энергии необходимы датчики напряжения и тока, AFE для соединения с этими датчиками и MCU для выполнения расчётов по измерению энергии. Результаты измерения энергии могут выводиться на ЖК-экран или направляться через последовательную шину на другое устройство беспроводной связи, как показано на рисунке 2.

Мощность равна произведению мгновенного напряжения и тока. Как показывает формула (1), активная энергия – это мощность, интегрированная по времени и выраженная в киловатт-часах (кВт·ч).

Активная энергия =

$$= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N V_{\text{samp}}(i) \times I_{\text{samp}}(i), \quad (1)$$

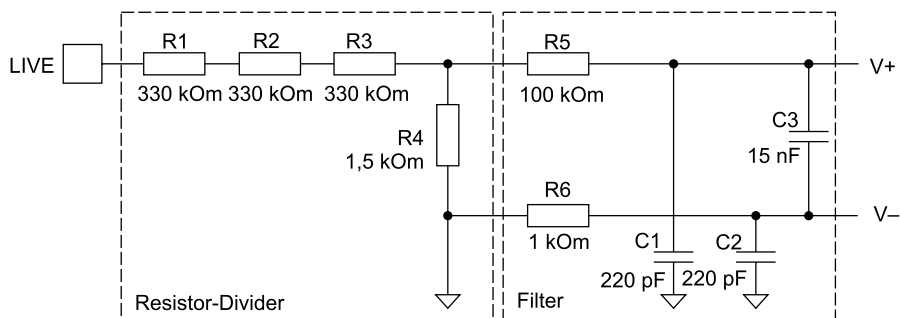


Рисунок 3. Схема датчика напряжения для ИС измерения энергии MSP430AFE2xx

где V_{samp} – замеренное напряжение, I_{samp} – замеренный ток, N – число замеров.

Первый этап измерения энергии – это измерение входного напряжения и тока нагрузки с помощью датчиков напряжения и тока соответственно.

Выбор датчиков напряжения и тока

В локальных счётчиках в качестве датчиков напряжения можно использовать простые делительные резисторы. Величины сопротивления выбирают для деления переменного напряжения сети питания (обычно 230 В или 120 В) так, чтобы оно отвечало входному интервалу аналого-цифрового преобразователя (ADC). Схему делительного резистора, показанную на рисунке 3, можно использовать для деления напряжения сети 230 В до приблизительно 350 мВ (среднеквадратичное), с пиком 495 мВ, перед подачей на положительный вход ADC3. Резисторы имеют максимальный номинал напряжения, при превышении которого возможен электрический пробой через корпус резистора. Применение

дискретных последовательных резисторов (R1, R2, R3) вместо одного резистора на 1 МОм позволяет использовать стандартные резисторы без превышения их номинального напряжения. Альтернативным выбором датчиков напряжения служат преобразователи напряжения, которые обеспечивают изоляцию от сети высокого напряжения. Однако преобразователи напряжения дорого стоят по сравнению с дискретными резисторами.

Выбор датчика тока зависит от типа входящей сети питания, которая используется бытовым прибором. В США такие приборы, как холодильники и стиральные машины, питаются от одной фазы 120 В, а мощные устройства, например сушилки для белья и кухонные электроплиты, питаются от разделённой на две части фазы 240 В. Для однофазных устройств на нейтральной линии можно разместить низкоомный шунтирующий резистор (рисунок 4) и использовать падение напряжения на нём для расчёта тока. Величина шунтирующего резистора определяется диапазоном тока нагрузки, настройками усиления ADC и рассеянием мощности на датчике. Шунтирующие резисторы дёшево стоят и просты

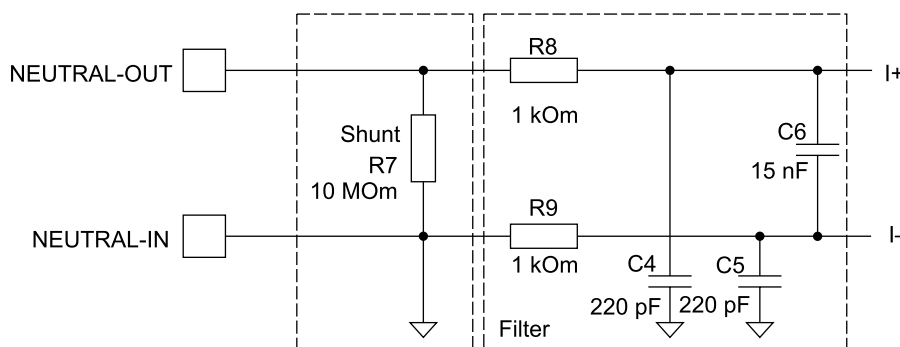


Рисунок 4. Схема датчика тока для ИС измерения энергии MSP430AFE2xx

в использовании, но не обеспечивают электрической изоляции. Для таких устройств, как сушилки для белья и кухонные электроплиты с питанием от разделённой фазы, должны использоваться трансформаторы тока на каждом из двух проводов фазы. Трансформаторы тока обеспечивают электрическую изоляцию, но стоят дороже, чем шунты.

За каскадом датчиков следует пассивная переходная схема, которая подготавливает входные сигналы к подаче их на ADC. Эта схема содержит фильтр для удаления паразитного широкополосного шума, который может ухудшить точность измерения. В таких однофазных устройствах, как холодильники, требуются два ADC: один для измерения напряжения и другой для измерения тока. В сушилках для белья и кухонных электроплитах требуются четыре ADC для измерения двух напряжений и двух токов. С целью получения точных результатов измерения энергии следует использовать ADC с разрешением 16 или 24 бита и возможностью одновременной выборки.

Измерение энергии и вывод данных

Расчёты измерения энергии выполняются по замерам напряжения и тока, собранным на ADC. Как видно из формул (2–7), для расчёта активной энергии, реактивной энергии и полной энергии на MCU должны быть хорошие математические библиотеки с общеизвестными функциями извлечения квадратного корня, возведения в квадрат и деления.

$$V_{\text{СКВ}} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N V_{\text{samp}}(i) \times V_{\text{samp}}(i)}, \quad (2)$$

$$I_{\text{СКВ}} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N I_{\text{samp}}(i) \times I_{\text{samp}}(i)}, \quad (3)$$

Активная энергия =

$$= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N V_{\text{samp}}(i) \times I_{\text{samp}}(i), \quad (4)$$

$$\text{Полная энергия} = V_{\text{СКВ}} \times I_{\text{СКВ}}, \quad (5)$$

Реактивная энергия_{PT} =

$$= \sqrt{\text{Полная энергия}^2 - \text{Активная энергия}^2}, \quad (6)$$

Коэффициент мощности = $\cos \phi =$

$$= \frac{\text{Активная энергия}}{\text{Полная энергия}}, \quad (7)$$

где V_{samp} – измеренное напряжение, I_{samp} – измеренный ток, N – число замеров.

После расчёта результатов измерения энергии они могут выводиться на ЖК-дисплей самого локального счётчика или на удалённый терминал. MCU может сообщаться с драйверами ЖК-дисплея или модулей беспроводной связи через последовательные интерфейсы связи. Если применяются неизолирующие датчики, такие как шунты и делители напряжения, или когда AFE и MCU опираются на напряжение сети, важно обеспечить изоляцию соединений с другими устройствами, использующими другое опорное напряжение. Для исполнения такой изоляции возможно использование ИС с оптронами или с емкостной развязкой.

Система измерения энергии с применением маломощных компонентов может запитываться от простого емкостного источника питания. Однако емкостный источник питания не обеспечивает достаточный ток для радиочастотных (РЧ) приёмопередатчиков. Счётчики, использующие Wi-Fi™ или ZigBee® для передачи данных о расходовании энергии, требуют дополнительного выходного буфера NPN или трансформатора и подключаемого источника питания для питания приёмопередатчиков РЧ.

Калибровка

Между разными счётчиками возможны различия в величинах измеренной энергии вследствие отклонений в компонентах и датчиках. К точности измерения коммунальных электрических счётчиков предъявляются строгие требования, и каждый прибор должен проходить калибровку для устранения ошибок из-за отклонений в его компонентах. Однако локальные счётчики, такие как «умные» штепсели и счётчики в бытовых приборах, обычно допускают более свободные требования к точности, поскольку их результаты измерения энергии не используются для целей

оплаты. Константы калибровки для любой конструкции можно определить во время разработки и запрограммировать их во flash-память MCU, что устраняет необходимость калибровки каждого прибора при его производстве. По оценке, такое решение обеспечивает точность < 3%. Такая точность достаточна для многих применений локальных счётчиков, а исключение калибровки значительно удешевляет производство.

ИС MSP430AFE2xx для измерения энергии

ИС MSP430AFE2xx для измерения энергии объединяет в одном корпусе несколько 24-битовых сигма-дельта ADC, усилители с программируемым коэффициентом и 16-битовый MCU. Эта ИС поддерживается программой MSP430™ MCU Energy Library4 корпорации TI для выполнения расчётов по измерению энергии.

Разработчикам предлагаются следующие ключевые характеристики и преимущества при использовании ИС MSP430AFE2xx для измерения энергии в локальных счётчиках:

1. Высокий уровень интеграции. ИС MSP430AFE2xx объединяет несколько компонентов, необходимых для измерения энергии, в том числе ADC и MCU. Это поддерживает низкую стоимость и малые габариты конструкций локальных счётчиков, использующих минимальное число компонентов. Помимо измерения энергии, MCU на MSP430AFE2xx можно использовать для запуска других простых программ, если потребуется.
2. Несколько 24-битовых сигма-дельта ADC. Каждый из трёх ADC поддерживает напряжение дифференциального входа ± 500 мВ, так что выходы с датчиков тока можно подавать прямо на ADC, без необходимости изменения уровня. Входы ADC также поддерживают отрицательное входное напряжение до -1 В, что позволяет прямо, без дополнительного изменения уровня, подавать на ADC поделённый сигнал напряжения от сети переменного тока. ИС MSP430AFE2xx содержит до трёх сигма-дельта ADC с 24-битовым

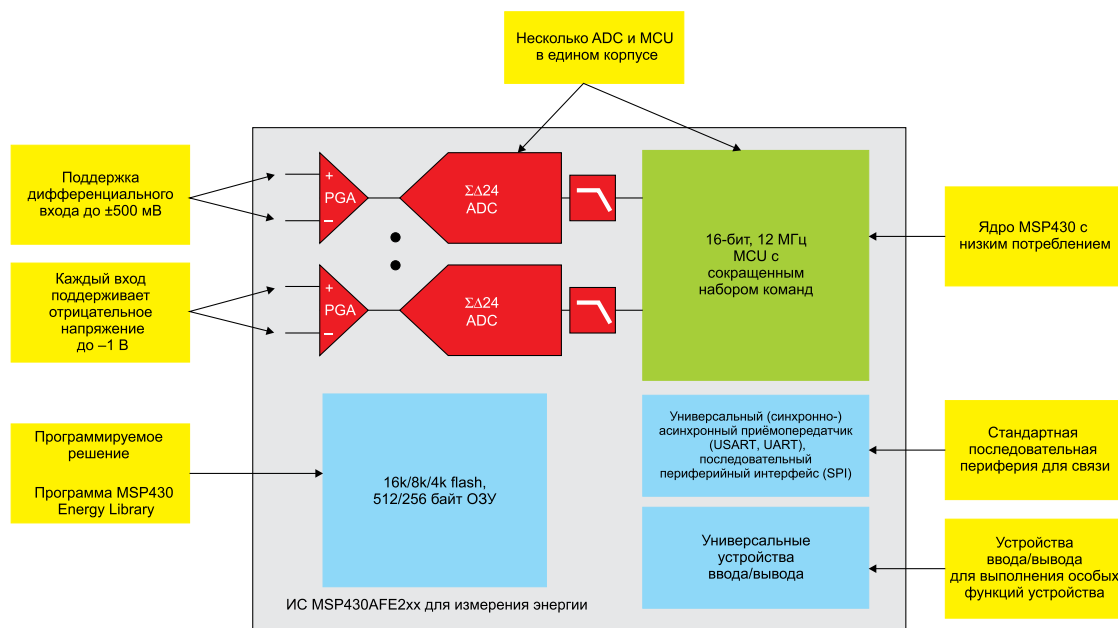


Рисунок 5. Характеристики ИС MSP430AFE2xx для применения в счётчиках электроэнергии

разрешением. Эти ADC способны обеспечить отчётную степень точности (<0,1%) в широком интервале значений тока нагрузки. Функция одновременной выборки на ADC устраняет задержку между замерами тока и напряжения и необходимость программной компенсации, применяемой при методе последовательной выборки.

3. Малое энергопотребление.

Малое энергопотребление на ИС MSP430AFE2xx для измерения энергии важно для того, чтобы обеспечивать работу ИС недорогим ёмкостным источником питания.

4. Управление с помощью программы. Программа MSP430™ MCU Energy Library и образец кода от корпорации TI позволяют быстро и легко выполнять расчёты по измерению энергии на ИС MSP430AFE2xx.

Главным достоинством такого программируемого решения, как MSP430AFE2xx, является обеспечение гибкости для разработчика системы, требуемой при конструировании конкретных устройств. Например, разработчик системы может реализовать нестандартный протокол связи для передачи данных об энергопотреблении на главный процессор или удалённый терминал. Другое преимущество программируемой ИС для измерения энергии –

это возможность обойтись без калибровки во время изготовления.

5. Интерфейсы последовательной связи и универсальные устройства ввода/вывода.

ИС MSP430AFE2xx позволяет передавать данные об энергопотреблении через стандартный последовательный интерфейс, например последовательный периферийный интерфейс (SPI) или универсальный асинхронный приёмопередатчик (UART). Дополнительные универсальные устройства ввода/вывода можно использовать для реализации ЖК-дисплея, генерации импульсов светодиодов (СИД) или для взаимодействия с входом, например ключом.

Заключение

Компоненты с низкой стоимостью, которые выполняют измерение энергии, важны для широкого распространения учёта энергии в «умных» штепселях, бытовых приборах и узлах учёта. ИС MSP430AFE2xx для измерения энергии содержит в едином корпусе основные компоненты, необходимые для измерения энергии. ИС включает усилители с программируемым коэффициентом, несколько ADC, MCU, а также последовательные интерфейсы для связи с другими устройствами. ИС MSP430AFE2xx можно соединить с дешёвыми датчиками, например шунтовыми резисторами

и делителями напряжения, состоящими лишь из немногих пассивных компонентов. Весьма низкое потребление мощности семейством микроконтроллеров MSP430 позволяет обеспечивать питание ИС MSP430AFE2xx от недорогого ёмкостного источника питания. Поскольку данное решение управляется с помощью программы, оно обеспечивает гибкость для реализации нестандартных протоколов связи. Наконец, после выполнения калибровки во время проектирования те же калибровочные константы можно запрограммировать в каждую ИС MSP430AFE2xx во время изготовления, чтобы легко достичь точности 3% и лучше. Возможность обойтись без калибровки во время изготовления способствует значительному снижению себестоимости производства.

Литература

1. MSP430AFE2xx Datasheet, <http://www.ti.com/lit/slas701>.
2. MSP430 Energy Watchdog Tool, <http://www.ti.com/tool/msp-nrgwtchdg>.
3. Implementation of a Single-Phase Electronic Watt-Hour Meter Using the MSP430AFE2xx, TI Application.
4. Report SLAA494, <http://www.ti.com/lit/slaa494>.
5. MSP430 Energy Library Software Suite, <http://www.ti.com/tool/msp430-energy-library>.



Renata Batteries представляет **SMTU-C** держатели с дополнительным зажимом и **SMTU-G** держатели с позолоченными контактами в рамках дальнейшего расширения ассортимента батарейных держателей.

Особенностью **SMTU-C** держателей является безопасный зажим, обеспечивающий усиленную фиксацию кнопочной батарейки, что особенно актуально при ударах и вибрации. Стандартная линейка **SMTU-C** держателей выпускается для батареек типа **CR1632**, **CR2032** и **CR2430**.

Позолоченные контакты **SMTU-G** держателей увеличивают электрическую проводимость и дополнительно обеспечивают существенно большую коррозионную устойчивость, чем никелированные контакты. Фиксатор **SMTU-C** держателя располагается на положительном полюсе для увеличения удара-и виброустойчивости кнопочной батарейки при воздействии аксиальной силы. Зажим фиксирует батарейку сверху. Новые держатели не отличаются по размерам от обычных, и при желании их использовать – не придётся изменять печатную плату.

Renata SA, (главный офис находится в г. Итингене, Швейцария), – всемирно известный производитель кнопочных батареек для применения в электронике. **Renata SA** выпускает широкий ассортимент элементов питания разнообразных технологий: литий-диоксид марганцевые, литий-ион-полимерные, оксидно-серебрянные, воздушно-цинковые. А также батарейные держатели. **Renata SA** является дочерней компанией холдинга **The Swatch Group Ltd.**

Дополнительная информация на сайте: www.renata.com

Дэвид Доу (David Dou)

4.2-W GU10 светодиодный драйвер с использованием автономного контроллера TPS92310

Статья представляет собой описание светодиодного драйвера малой мощности с использованием автономного контроллера TPS92310 корпорации Texas Instruments со стабилизацией по первичной цепи. Такое решение позволяет получить высокую производительность и хорошие показатели стабилизации выходного напряжения по нагрузке и сети за счёт обратноточковой топологии с адаптивным режимом «constant on-time» (COT – постоянство времени включённого состояния силового транзистора) и датчика тока в первичной обмотке. Исходный типовой проект RMP4325 является подходящим вариантом для использования в светодиодной лампе GU10 (30×18×10 мм) – он поддерживает все номиналы напряжения переменного тока на линейном входе, а также три или четыре последовательно соединённых светодиода на выходе при постоянном выходном токе 350 мА. Опыт показывает, что данное решение обладает хорошими показателями стабилизации выходного напряжения по нагрузке и по сети, высокой эффективностью, а также обеспечивает полную защиту источника питания светодиодного освещения.

Принцип работы

Контроллер TPS92310

Однофазная обратноточковая топология является эффективным решением применительно к светодиодному освещению малой мощности. Эта топология широко используется в светодиодном освещении по следующим причинам:

- Небольшое количество элементов для гальванической развязки.
- Высокий коэффициент мощности при использовании специальных свойств системы управления, как, например, адаптивный режим COT.
- Небольшой типоразмер по сравнению с другими (двухфазными) топологиями.

Хотя однофазная обратноточковая топология имеет много преимуществ для светодиодного освещения, некоторые проблемные вопросы до сих пор требуют решения.

Проблемные вопросы:

- Высокий коэффициент мощности.

- Регулируемый на первичной обмотке контроллер с хорошими показателями стабилизации выходного напряжения по нагрузке и сети.
- Защита от обрыва цепи и токов КЗ. Контроллер TI TPS92310 – это однофазный контроллер с датчиком переменного/постоянного тока в первичной обмотке, служащий для получения постоянного тока сверхъярких светодиодов. Работает в переходном режиме (TM) с обнаружением нуля тока. Длительность импульсов (T_{ON}) практически постоянна в пределах полупериода напряжения. Следовательно, присутствует закономерная коррекция коэффициента мощности, так как пиковое значение тока первичной обмотки следует за профилем входного напряжения. T_{ON} настраивается так, чтобы ток светодиода регулировался на заданном уровне, установленном внешним токочувствительным резистором. T_{ON} также используется для расчёта управления обратно-

ходового, повышающего и комбинированного преобразователей, функционирующих в переходном режиме при методе управления по времени включения, – для того чтобы достичь высокого коэффициента мощности, а также для управления понижающим преобразователем при управлении пиковым значением тока для универсального драйвера светодиода.

Измерение тока на первичной стороне не требует наличия оптрона и дополнительной обмотки, тем самым требуется малое число компонентов и компактная плата. Кроме того, контроллер обладает отличительными особенностями, такими как поцикловое ограничение тока, защита от КЗ на выходе, защита от перенапряжения на выходе, защита от обрыва цепи светодиода, защита от токов КЗ светодиода, а также отключение по температуре. Все эти функции обеспечивают защиту для устройства светодиодного освещения.

Управление с постоянной длительностью импульса

В стандартном повышающем корректоре коэффициента мощности для поддержания синфазности входного тока и входного напряжения обычно используется режим с управлением с постоянной длительностью импульса – для получения высокого коэффициента мощности и низкого коэффициента гармонических искажений.

Коррекция коэффициента мощности не является характерной чертой для однофазной обратноточковой топологии, так как скважность и ча-

стота постоянно меняются в течение цикла переключения. Так, коэффициент мощности и коэффициент гармонических искажений не оптимальны при данном условии. К счастью, метод управления с заданной или постоянной длительностью импульса с однофазной обратнoходовой топологией по-прежнему помогает получить высокое значение коэффициента мощности и низкое значение полного коэффициента гармонических искажений, как показано на рисунке 1. Среднее значение входного тока является приблизительно синусоидой при той же фазе входного напряжения.

В данном исполнении контроллер TPS92310 можно настроить на режим управления с постоянной длительностью импульса; время переключения ключа в открытое состояние также можно зафиксировать, если к выводу линии фильтра 100 Гц (COMP) подключить конденсатор большой ёмкости. Однако для снижения размера устройства данный проект не является универсальным, в нём не используется функция коррекции коэффициента мощности. Таким образом, весьма небольшой компенсационный конденсатор используется для сохранения стабилизации управляющего контура, и время переключения в открытое состояние для обратнoходовой топологии является практически заданным по причине стабильного напряжения постоянного тока.

Управление по постоянному току при измерении тока на стороне первичной обмотки

Ток в первичной обмотке, ток во вторичной обмотке и напряжение V_{ds} показаны на рисунке 2, и в соответствии с ними среднюю величину выходного тока I_o можно рассчитать согласно следующей формуле (1):

$$I_o = \frac{I_{s_pk} \times T_{OFF}}{2 \times (T_{ON} + T_{OFF} + 2T_{DLY})} = \frac{I_{p_pk} \times N \times T_{OFF}}{2 \times (T_{ON} + T_{OFF} + 2T_{DLY})}, \quad (1)$$

где $2T_{DLY}$ – полупериод «звона» на стоке МОП-транзистора, N – коэффициент трансформации транс-

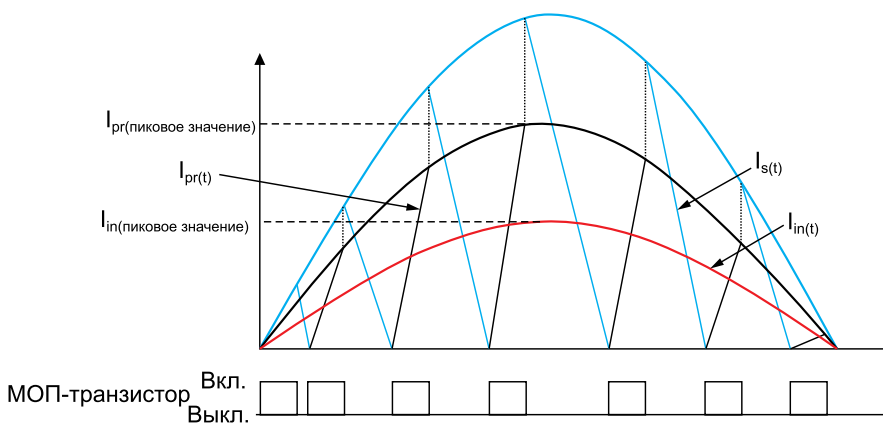


Рисунок 1. Форма кривой тока в течение T_{ON} и T_{OFF}

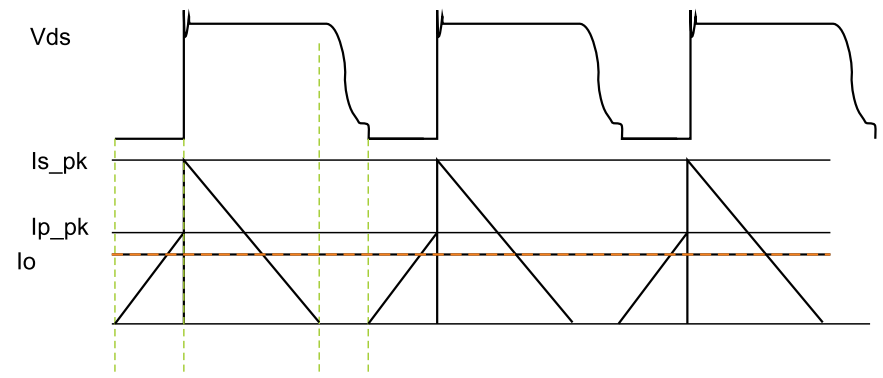


Рисунок 2. Ток и форма кривой напряжения V_{ds}

форматора, I_{p_pk} – ток в первичной обмотке, I_{s_pk} – ток во вторичной обмотке, I_o – средняя величина выходного тока (ток светодиода).

Для регулирования величины выходного тока преобразователь использует контур управления с ШИМ, как показано на рисунке 3. Данный контур включает в себя управление режимами заряда и разряда. Режим заряда управляется внутренним сигналом опорного тока: $I_{REF} \times \text{время}$ ($T_{ON} + T_{OFF} + 2T_{DLY}$). Режим разряда управляется ключом T_{OFF} и источником тока I_{pk} , который пропорционален пиковому значению тока на первичной обмотке. Уровень напряжения V_{COMP} соответствует отпиранью ключа T_{ON} .

Во время нормальной эксплуатации, если величина разряда $Q(I_{pk} \times T_{OFF})$ больше, чем величина заряда $Q(I_{REF} \times (T_{ON} + T_{OFF} + 2T_{DLY}))$, напряжение на выводе COMP уменьшается, в результате T_{ON} уменьшается в следующем цикле. В противном случае, если величи-

на заряда $Q(I_{REF} \times (T_{ON} + T_{OFF} + 2T_{DLY}))$ больше, чем величина разряда $Q(I_{pk} \times T_{OFF})$, V_{COMP} увеличивается, T_{ON} увеличивается в следующем цикле. Если величины зарядов Q равны, напряжение V_{COMP} стабильно. Так, если к выводу COMP для фильтрации 100-Гц пульсации подключён конденсатор большой ёмкости, то время включённого состояния ключа в течение половины синусоиды остаётся постоянным, и таким образом выполняется коррекция коэффициента

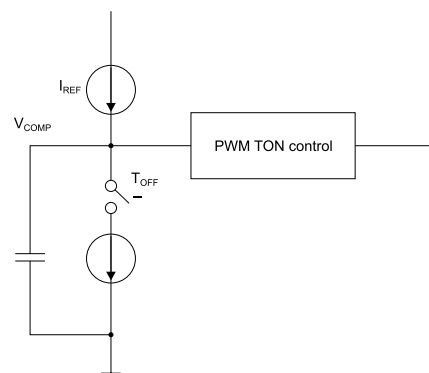


Рисунок 3. Блок-схема заряда и разряда

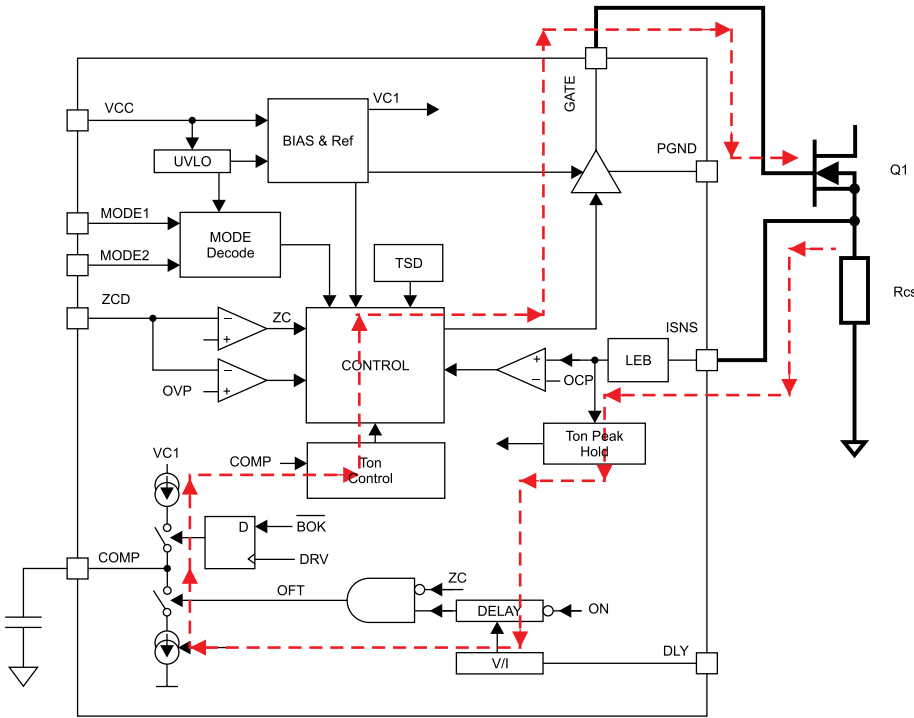


Рисунок 4. Блок-схема TPS92310

мощности. Небольшой конденсатор, подключённый к выводу COMP, когда преобразователь работает только по обратнотоположной топологии, без использования функции коррекции коэффициента мощности, служит

только для поддержания устойчивости контура.

Контроллер обеспечивает обратную связь по току в первичной обмотке и стабилизацию для поддержания постоянного выходного тока светодиода-

да. Рисунок 4 показывает блок-схему контроллера TPS92310; красная виртуальная линия представляет собой основной контур регулирования.

Обнаружение ZCD (нуль-детектор). Задержка и выходное перенапряжение

Вывод обнаружения ZCD регистрирует нулевой ток во вспомогательной обмотке трансформатора. Когда напряжение ZCD ниже, чем уровень $V_{ZCD}(TRIG)$, внутренний RS-триггер пропускает сигнал ZCD на блок задержки для формирования следующего цикла переключения. Двухуровневое детектирование на данном выводе (ARM/TRIG) обеспечивает включение полевого транзистора-ключа при нулевом токе во вторичной обмотке разделительного трансформатора. Рисунок 5 показывает типичную форму сигналов на выводе DRAIN (сток) полевого транзистора. Также контроллер обеспечивает паузу в 300 нс для ZCD — для защиты от возможных паразитных выбросов.

Для снижения уровня электромагнитных и коммутационных помех в процессе работы преобразователя используется вывод DLY контроллера TPS92310. Подключением внешнего резистора можно управлять временем задержки. С помощью вывода IDLY преобразователь обеспечивает нулевой ток в обмотке трансформатора в момент включения полевого транзистора-ключа. Текущее значение задержки должно предотвращать резонанс между индуктивностью первичной обмотки разделительного трансформатора и зарядом стока полевого транзистора-ключа. T_{DLY} можно рассчитать с помощью формулы (2):

$$T_{DLY} = \frac{1}{2} \pi \sqrt{L_p \times C_{OSS}}, \quad (2)$$

где L_p — индуктивность первичной обмотки трансформатора, C_{OSS} — выходная ёмкость МОП-транзистора, T_{DLY} используется для управления временем разрядки V_{COMP} , таким образом, эта величина задаётся внешним резистором, подключённым к выводу DLY, как показано на рисунке 6.

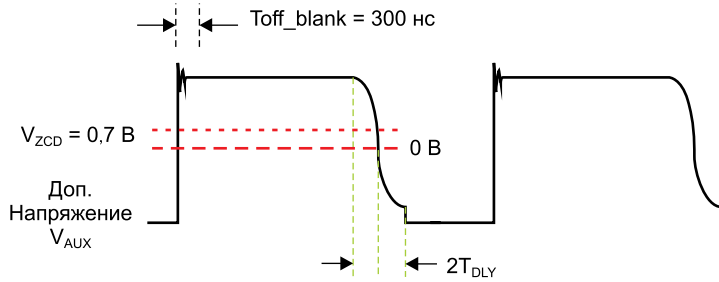


Рисунок 5. Типовая схема переключений

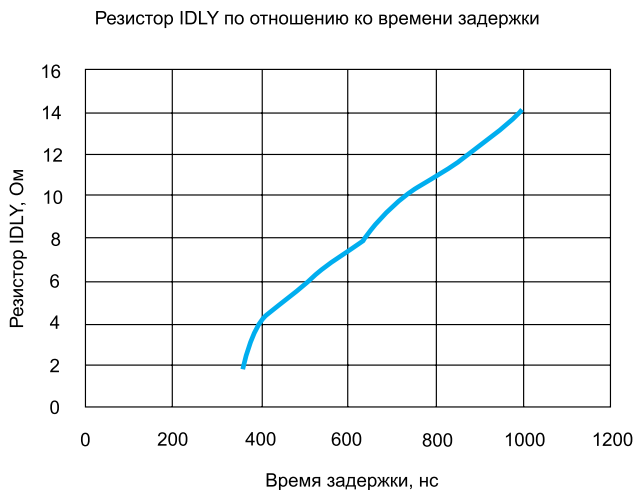


Рисунок 6. Заданная кривая T_{DLY}

Вывод ZCD также используется для защиты от перенапряжения выхода. Положительное напряжение на вспомогательной обмотке выступает в качестве выходного напряжения светодиода и фиксируется внешним делителем напряжения, как показано на рисунке 7. Перенапряжение на выводе ZCD опережает порог OVP на три цикла. Формирование выходного сигнала прекращается, выход переходит в отключённое состояние, и контроллер выполняет перезапуск. Напряжение OVP можно рассчитать с помощью следующей формулы (3):

$$V_{O_OVP} = \frac{N_s}{N_a} \times \frac{V_{OVP}}{R_L} \times (R_U + R_L) - V_D, \quad (3)$$

где N_s – число витков вспомогательной обмотки, N_a – число витков выходной обмотки, V_D – падение напряжения на выпрямителе.

Отрицательное напряжение на вспомогательной обмотке представляет собой отражённое входное напряжение, следовательно, при выборе R_U надо учитывать мощность на резисторе. Величина тока 0,2–0,5 мА соответствует норме. Диод подключается к выводу ZCD для устранения отрицательного напряжения ниже 1 В. Небольшой конденсатор С постоянно подключается между выводами ZCD и GND для устранения возможных выбросов, обеспечивает надлежащую защиту от перенапряжения выхода, а также обеспечивает получение соответствующего времени включения.

Защита выхода от токов КЗ

Контроллер TPS92310 работает в режиме управления напряжением, и для защиты по току (OCP) и от КЗ (SCP) необходимо поцикловое ограничение. Для данной обратноходовой топологии контроллер предусматривает два режима с постоянной длительностью импульса при разных порогах OCP (0,64 и 3,4 В). Измеренное напряжение в первичной обмотке рассчитывается с помощью формулы (4):

$$V_{isns} = \frac{2 \times REF}{\eta} \times \frac{V_{LED}}{V_{LED} + V_D} \times \frac{V_{in,min} + V_{or}}{V_{in,min}}, \quad (4)$$

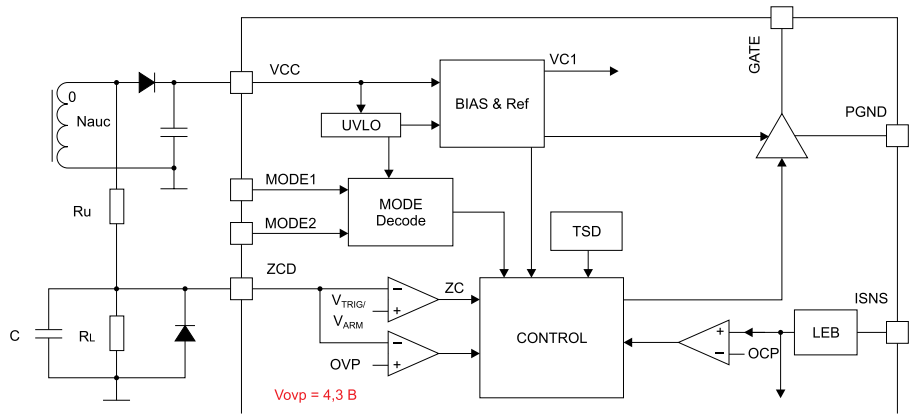


Рисунок 7. Цепь подключения вывода ZCD

где REF – 0,14 задаёт контроллер, $V_{LED}=12$ В, $V_D=0,8$ В, $V_{in_min}=127$ В постоянного тока, V_{or} – приблизительно 85 В в данном исполнении, равно $N \times (V_{LED} + V_D)$, η – эффективность оценивается приблизительно в 0,8 на стороне низкого напряжения. Для данного стандартного исполнения по обратноходовой топологии V_{isns} равняется приблизительно 0,53 В.

По причине того что напряжение V_{in_min} является заданным и номинальное напряжение V_{or} тоже практически заданным, V_{isns} является почти константой при различных напряжениях светодиода. Данное регистрируемое напряжение ниже, чем порог OCP, таким образом, режим с посто-

янной длительностью импульса при пороге OCP, равном 0,64 В, можно сконфигурировать для обеспечения идеальной защиты от перенапряжения выхода. Данный режим можно использовать на всех стандартных исполнениях обратноходовой топологии. Во избежание помех от «звона» нуль-детектора ZCD в течение короткого замыкания выхода, между штырьковым разъёмом ZCD и GND во избежание ошибочных данных обнаружения ZCD должен быть подключён небольшой конденсатор; ёмкость 10 пФ является подходящей для данного исполнения. Рисунок 8 показывает форму кривой тока КЗ выхода.

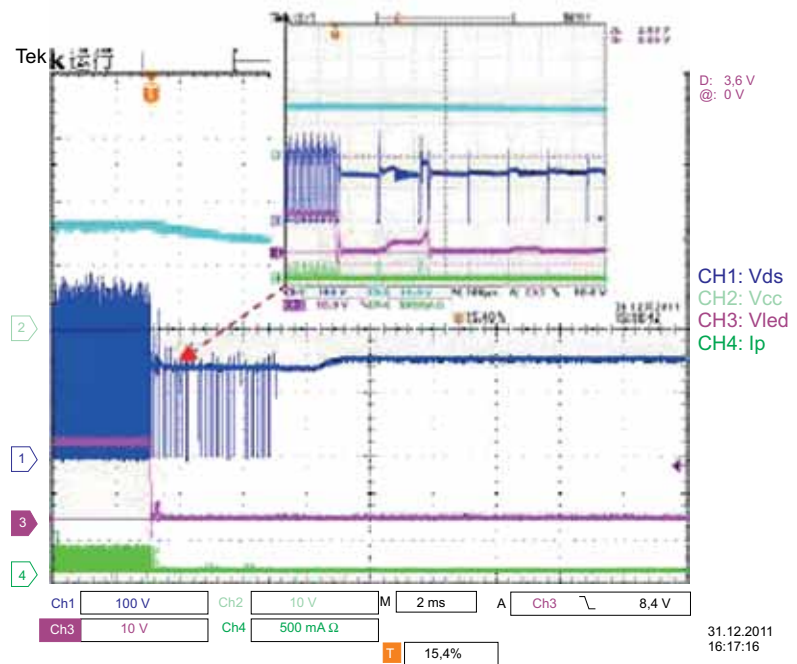


Рисунок 8. Форма кривой защиты выхода от токов КЗ (SCP)

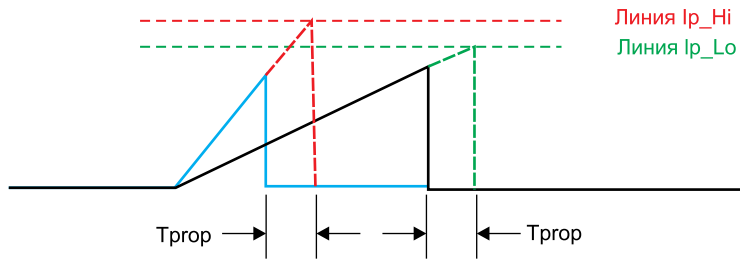


Рисунок 9. Характерная задержка распространения

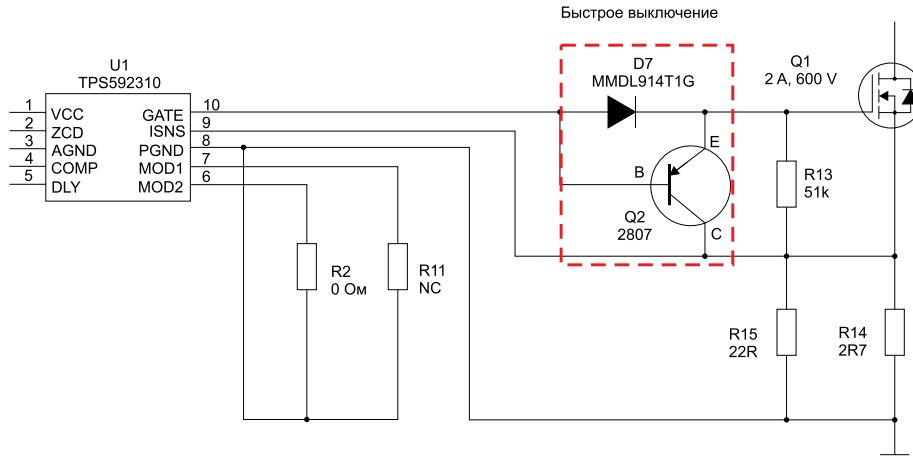


Рисунок 10. Цепь быстрого выключения

Внешняя компенсация линейности регулировки

Так как контроллер обладает характерной задержкой распространения, на линиях высокого напряжения и низкого напряжения присутствуют разные пиковые

значения тока, как показано на рисунке 9. Входное напряжение линии высокого напряжения создаёт гораздо большую разность токов, чем напряжение линии низкого напряжения при такой же величине задержки распространения. В со-

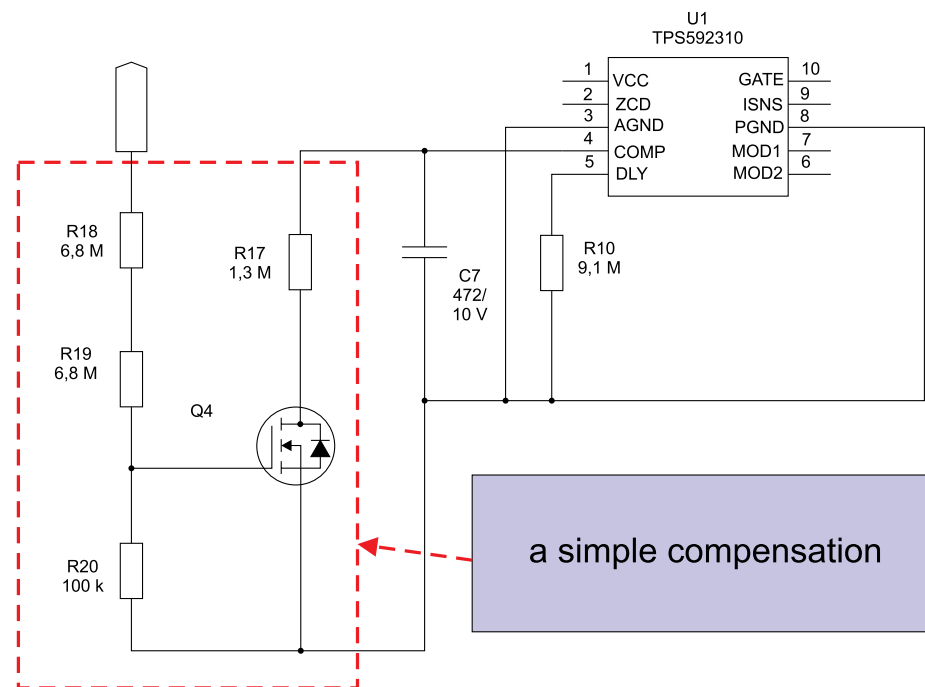


Рисунок 11. Цепь внешней компенсации линейности

ответствии с формулой 1 ошибка измерения входного тока не лучшим образом влияет на ток светодиода, а также на стабилизацию выходного напряжения по нагрузке. Существует два пути для улучшения выходного напряжения по нагрузке, когда входное напряжение на линиях высокого и низкого напряжений изменяется:

1. Необходимо добавить цепь быстрого выключения (показана на рисунке 10). Это может уменьшить задержку включения МОП-транзистора и улучшить разброс тока, сведя его к 5 мА при 230 В переменного тока в данном исполнении.
2. Необходимо добавить цепь быстрого обнаружения входного напряжения (показана на рисунке 11) для того, чтобы снизить время включения на линии высокого напряжения; это может помочь достигнуть желаемой точной величины тока на стороне высокого напряжения. Значение R17 зависит от входного напряжения – для работы в диапазоне от 110 до 230 В может потребоваться подстройка. R18, R19 и R20 определяют точку перегиба величины тока светодиода. Рисунок 12 показывает характеристику стабилизации выходного напряжения по нагрузке при внешней компенсации.

Расчёт трансформатора

В соответствии с предыдущим описанием, для того чтобы использовать внешнюю цепь SCP, величина V_{isns} должна быть ниже 0,6 В.

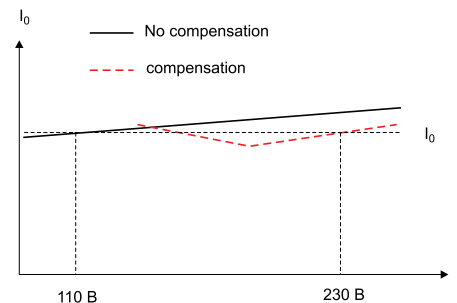


Рисунок 12. Графики компенсации стабилизации линейности

$$V_{isns} = R_{CS} \times I_P, \quad (5)$$

$$R_{CS} = \frac{N \times 0,14}{I_{LED}}, \quad (6)$$

$$I_P = \frac{V_{isns} \times I_{LED}}{0,14 \times N}, \quad (7)$$

$$D_{MAX} = \frac{V_{or}}{V_{in,min} + V_{or}} = \frac{N \times (V_{LED} + V_D)}{V_{in,min} + N \times (V_{LED} + V_D)}, \quad (8)$$

$$I_P = \frac{2 \times I_{av}}{D_{MAX}} = \frac{2 \times P_O}{\eta \times V_{in,min} \times D_{MAX}} = \frac{2 \times V_{LED} \times I_{LED}}{\eta \times V_{in,min} \times D_{MAX}}, \quad (9)$$

Объединяя формулы 7, 8 и 9, получаем:

$$N = \frac{\eta \times V_{isns} \times V_{in,min}}{0,28 \times V_{LED}} - \frac{V_{in,min}}{V_{LED} + V_D}, \quad (10)$$

где V_{isns} – измеренное напряжение первичной обмотки (ниже 0,6 В при использовании внешней цепи SCP, в противном случае без

ограничений), R_{CS} – резистор датчика тока, N – коэффициент трансформации, I_P – пиковое значение тока первичной обмотки, V_{or} – отражённое напряжение на первичной обмотке, I_{LED} – ток светодиода, V_{LED} – напряжение светодиода, η – оценочная эффективность источника питания, V_D – прямое падение напряжения на выходном выпрямителе, $V_{in,min}$ – минимальное входное напряжение постоянного тока, обычно берётся равным $1,3 \times V_{ac,min}$.

Спецификация трансформатора рассчитывается по следующим формулам:

$$L_P = \frac{V_{in,min} \times D_{MAX}}{I_P \times F_{S_MIN}}, \quad (11)$$

$$N_P = \frac{L_P \times I_P}{\Delta B_{MAX} \times A_e}, \quad (12)$$

$$N_{OUT} = \frac{N_P}{N}, \quad (13)$$

$$N_{aux} = \frac{N \times (V_{aux} + V_{D_aux})}{V_{LED} + V_D}, \quad (14)$$

где L_P – индуктивность первичной обмотки, N_P – число витков первичной обмотки, N_{OUT} – число витков выходной обмотки, N_{aux} – число витков вспомогательной обмотки, обычно величина меньше, чем рассчитанное значение, из-за влияния бросков напряжения, D_{MAX} – максимальная скважность, рассчитанная по формуле 2, F_{S_MIN} – задаёт минимальную частоту переключения линии низкого напряжения, ΔB_{MAX} – выбирает максимальную рабочую индукцию сердечника, A_e – эффективная площадь, V_{aux} – выбранное напряжение V_{CC} , V_{D_aux} – прямое падение напряжения на дополнительном выпрямителе.

В заключение можно выбрать максимальный действующий ток и пиковое значение напряжения МОП-транзистора, а также подобрать выпрямитель для вторичной обмотки в соответствии с максимальной величиной тока и конструкцией трансформатора.

Литература

1. TPS92310 Off-Line Primary Side Sensing Controller with PFC datasheet, Texas Instruments.

TLVx316 – одно-, двух- и четырёхканальные низковольтные Rail-To-Rail операционные усилители

Микросхемы TLV316, TLV2316 и TLV4316 – это КМОП операционные усилители общего назначения, обладающие широкой полосой пропускания, низким током потребления, низкими уровнями шумов и тока смещения. Эти микросхемы отлично подойдут для тех применений, где требуется баланс между ценой и качеством изделия. Очень низкое значение входного тока смещения позволяет использовать эти микросхемы в приложениях, где сопротивление источника сигнала достигает несколько мегаом.

В зависимости от числа каналов, микросхемы выпускаются в корпусах SC70, SOT-23, VSSOP-8, SOIC-8 или TSSOP-14

Основные характеристики микросхемы:

- Напряжение питания от 1,8 до 5,5 В; возможно биполярное питание.
- Rail-To-Rail по входу и выходу.
- Полоса частот до 10 МГц.
- Потребляемый ток 0,4 мА на канал.
- Уровень шумов 12 нВ/√Гц на 1 кГц.
- Ток смещения ±10 пА.
- Встроенный фильтр помех.

www.ti.com

Code Composer Studio – теперь её можно найти в облаках!

Корпорация Texas Instruments предложила новые очень интересные программные инструменты, доступные посредством облачных технологий

CCS Cloud – версия Code Composer Studio, которая работает из «облака». Хотя полный функционал стандартного CCS недоступен, но он вполне достаточен при разработке приложений для микроконтроллеров. Теперь в CCS Cloud поддерживается даже ряд функций отладки приложений. Всё это совершенно бесплатно и не требует ни скачивания демо-версии CCS (а это почти 1Гб), ни инсталляции среды только ради того, чтобы опробовать функции. Работает CCS Cloud с макетными LaunchPad-платами, поддерживая при этом также разработки в среде Energia.

CCS Cloud отлично подходит для начальных этапов проектирования. Благодаря тому, что файлы, создаваемые в процессе работы с CCS Cloud полностью совместимы с «традиционной» версией CCS, переход к продолжению разработки на более серьёзном уровне не вызывает проблем.

Resource Explorer – WEB-коллекция примеров программ для всех микроконтроллеров от TI, при этом примеры можно сразу открыть либо в CCS, установленном на ПК, либо в CCS Cloud. Во втором случае нет необходимости загружать полный комплект файлов примера.

Используя Resource Explorer можно:

- Быстро найти нужный пример, библиотеку или документацию, относящуюся к данной микросхеме.
- Просмотреть необходимые источники информации в «облаке».
- Импортировать программный пример в CCS Cloud.
- Загрузить понравившийся пример в свой компьютер.

TI PinMux – утилита для автоматического конфигурирования выводов для процессоров семейства Sitara, C2000 и MSP432. Производит назначение выводов и их программное конфигурирование в соответствии с вашими требованиями, генерируя при этом все необходимые файлы.

Поддерживает следующие микросхемы:

- Sitara™ ARM® Processors: AM335x, AM437x
- SimpleLink™ Wi-Fi® CC3200
- C2000™ MCUs: TMS320F2807x, TMS320F2837xD, TMS320F2837xS
- MSP432™ MCU

Найти эти инструменты можно здесь: <https://dev.ti.com/>

Разобраться, как облачные технологии взаимодействуют с миром «интернета вещей», поможет электронная книга:

http://www.ti.com/ww/en/internet_of_things/iot-whats_new.html

www.ti.com



4/2015



1/2016



2/2016

Контакты

Центральный офис

Россия, 115533, Москва, пр. Андропова, 22
Бизнес-центр «Нагатинский», 10 этаж
Тел: +7(495)987-1119 / Факс: +7(495)987-1118
E-mail: order@scanti.com / www.scanti.com

Офис в Санкт-Петербурге

Россия, 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 / 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 / www.scanti.com

Офис в Киеве

Украина, 02002, Киев
ул. Евгения Сверстюка, 23, офис 1026
Тел./факс: +38(044)206-2277
E-mail: order@scanti.com

2/2016 ВМЕСТЕ В БОРЬБЕ ЗА ЛИДЕРСТВО!