

# Компоненты

БЮЛЛЕТЕНЬ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ  
ПОЛНЫЙ СПЕКТР ПРИМЕНЕНИЙ

1/2018

- Из аутсайдеров в лидеры.  
Семейство процессоров Sitara™ AM57x стр. 1
- Аспекты управления двигателями  
для электронного регулирования скорости в БПЛА стр. 28
- Эффективная передача информации внутри предприятия стр. 33



Эффективная передача  
информации внутри предприятия  
Процессоры семейства **Sitara™**



БЮЛЛЕТЕНЬ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ  
ИНФОРМАЦИИ

ПОЛНЫЙ  
СПЕКТР  
ПРИМЕНЕНИЙ

■ Главный редактор  
Соловьёв Д.О.

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

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

■ Ответственность за содержание  
рекламы несёт рекламодатель

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

### ■ Процессоры | Микроконтроллеры | Системы на кристалле

Из аутсайдеров в лидеры. Семейство процессоров Sitara™ AM57x ..... 1

**Рафаэль А. Мена (Rafael A. Mena), Тайлер Уитт (Tyler Witt), Праджакта Десаи (Prajakta Desai)**

Решения для многосенсорных полевых измерительных преобразователей .....3

**Дэйв Смит (Dave Smith), Эван Уэйкфилд (Evan Wakefield)**

Новые стандарты характеристик микроконтроллеров при минимизации энергопотребления (SLAY051) .....7

Развитие серии 16-битовых микроконтроллеров (MCU) производства TI – от экономичных до высокоэффективных моделей за счёт использования системы унифицированной памяти ..... 12

### ■ Устройства коммутации

Тестирование надёжности герконов и герконовых реле. Окончание ..... 14

### ■ Усилители, компараторы и ключи

Эффективный электропривод с новым высокоскоростным и точным тоочувствительным усилителем от TI ..... 19

### ■ Датчики и преобразователи данных

Усовершенствование квадрокоптеров с помощью комплектующих TI ..... 21

**Марк Э. Буччини (Mark E. Buccini)**

Технология интеллектуальных датчиков на основе эффекта Холла с субмикроамперными токами обеспечивает 20-летний срок службы аккумуляторов ..... 24

**Кристен Н. Могенсен (Kristen N. Mogensen)**

Аспекты управления двигателями для электронного регулирования скорости в БПЛА ..... 28

### ■ Беспроводные коммуникации

**Брайан Трин**

Эффективная передача информации внутри предприятия .....33

### ■ Управление питанием

Сбор энергии из окружающей среды на Марсе возможен ..... 36

**Ниранджан Патхаре (Niranjan Pathare)**

Получение энергии в диапазоне от нВТ до мВт из окружающей среды ..... 41

### ■ Реклама

Туннельный магниторезистивный датчик RR121 серии RedRock™ .....23



Бесконтактный маячок Bluetooth® с низким потреблением энергии ..... 38



Литиевые элементы питания от компании Xeno Energy ..... 39



### От редакции:

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



Брайан Трин (Bryan Trinh)

## Из аутсайдеров в лидеры. Семейство процессоров Sitara™ AM57x

Любому устройству нелегко быть лидером, но в случае с процессором AM570x это именно так – это лидер. При оптимизированной по стоимости платформе, которая уменьшает занимаемое на плате пространство, размере корпуса устройства 17×17 мм, сочетании ARM® Cortex®-A15, ARM Cortex-M4, C66x DSP, ядер ускорения 3D- и 2D-графики и встроенной подсистемы промышленной связи (PRU-ICSS), способной поддерживать различные протоколы промышленного

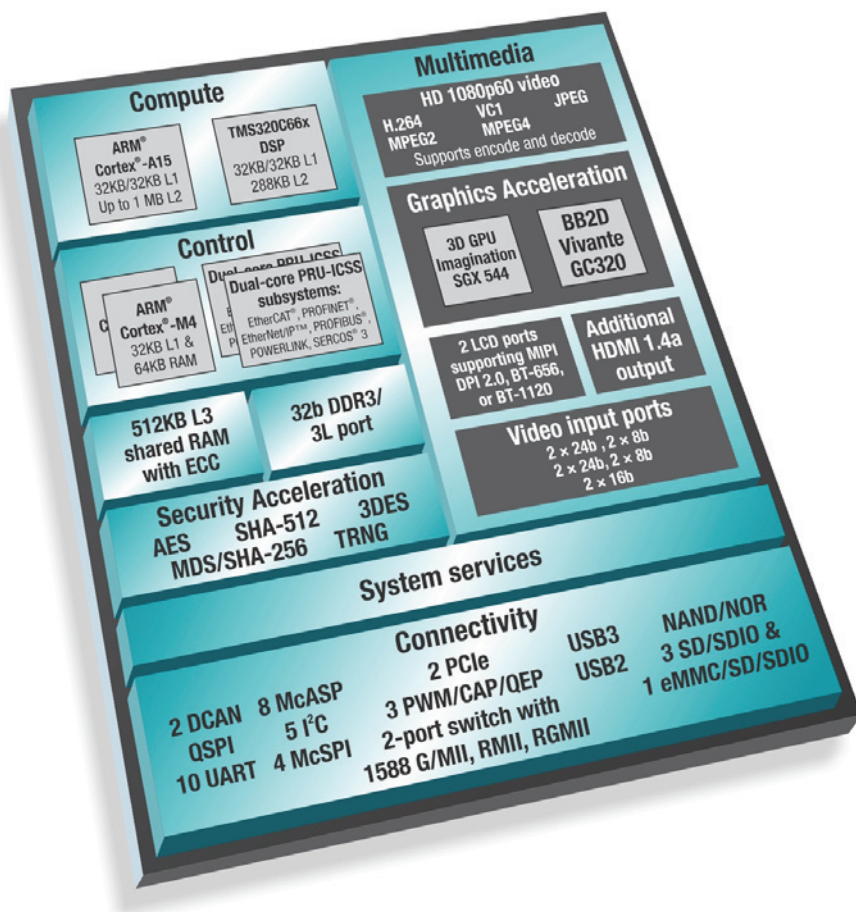
Ethernet одновременно, процессор AM570x – это бесспорно лучшая микросхема. Но прежде чем говорить о лидере, давайте начнём с самого начала.

Процессоры AM57x, разработанные TI, вызвали революционные изменения в области использования процессоров. Семейство процессоров Sitara™ AM57x объединяет в себе различные ядра обработки и обеспечивает оптимальное сочетание периферийных устройств. Совокупность

этих компонентов обеспечивает самую высокую вычислительную мощность в семействе процессоров Sitara наряду с возможностью кодирования и декодирования видео высокого разрешения. Высокая производительность – ключевая отличительная особенность этого семейства – по-прежнему останется частью будущих устройств семейства, когда оно пополнится оптимизированными по стоимости процессорами AM570x.

Как в представителях семейства процессоров AM57x, в процессорах AM570x добавились такие интерфейсы, как USB и PCIe, чтобы обеспечить поддержку высокоскоростных соединений при сохранении оптимальной стоимости. Такие интерфейсы, как USB, облегчают соединение с периферийными устройствами, такими как мышь, клавиатура или USB flash-накопитель. Более подробная информация о конкретных интерфейсах имеется в листе технических данных. По сравнению с остальными процессорами семейства AM57x в данном устройстве проблема питания решается легче. Это может ещё больше снизить общую стоимость системы. Для обеспечения дополнительной гибкости процессоры Sitara, такие как процессоры семейства AM57x, можно легко объединять с модулями Wi-Fi® устройств – WiLink™.

Сочетание ядер и периферийных устройств делает это решение идеальным для ряда областей применения. Например, процессоры AM570x можно использовать в программируемых логических контроллерах (ПЛК), воспользовавшись преи-



мощностями PRU-ICSS для работы с протоколами промышленного Ethernet. Кроме того, процессоры AM570x с их набором периферийных устройств можно использовать в человеко-машинных интерфейсах (ЧМИ). Обработка графических данных может быть доверена встроенным 2D- и 3D-графическим ускорителям, а варианты выходов позволяют реализовать соединения с различными устройствами, такими как простой ЖКИ или монитор с HDMI (мультимедийный интерфейс высокой чёткости). Везде, где приоритетами являются обработка графических данных, производительность и стоимость, процессор AM570x способен удовлетворить потребности. Для разработки программного обеспечения комплект разработчика ПО для процессора содержит варианты, позволяющие разработать программное обеспечение для операционных систем Linux, RT-Linux или TI RTOS на процессоре AM570x. Устройство программно совместимо с другими процессорами семейства Sitara, что облегчает переход в будущих циклах разработки на устройства с более высокой производительностью или даже на устройства, позволяющие добиться большего снижения стои-

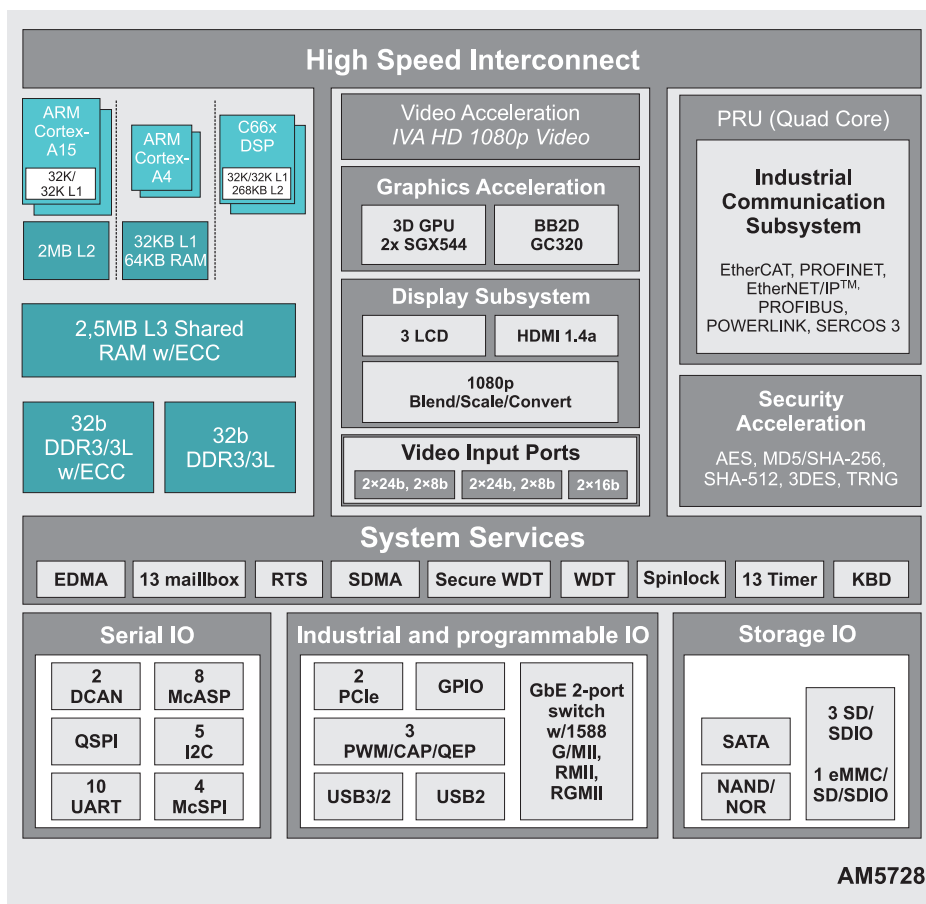


Рисунок. AM57x Cortex-A15

мости. Процессор AM570x обеспечивает правильный баланс между оптимизацией стоимости и эффек-

тивностью работы, чтобы проектировать более продуманные решения уже сегодня.

## Высокоточные линейные аналоговые датчики температуры – TMP235 и TMP236

TMP235/236 – это прецизионные КМОП-датчики, выходное напряжение которых пропорционально температуре окружающей среды. Данная серия датчиков имеет более высокую точность, чем аналогичные pin-to-pin совместимые решения.

### Основные характеристики:

- Диапазон измерения:
  - 40...+150 °C для TMP235;
  - 10...+125 °C для TMP236.
- Чувствительность:
  - 10 мВ/°C для TMP235;
  - 19,5 мВ/°C для TMP236.
- Два варианта исполнения с различной точностью:

Вариант A2:  $\pm 0,5^\circ\text{C}$ .  
Вариант A4:  $\pm 1^\circ\text{C}$ .

- Напряжение питания: 2,3–5,5 В для TMP235, 3,1–5,5 В для TMP236.
- Типовой ток потребления 9 мкА.
- Защита выхода от короткого замыкания.
- Корпуса SC70-5 и SOT23-3.

### Области применения:

- Тестовое и измерительное оборудование.
- Промышленная автоматика.
- Автоматика зданий и сооружений.
- Беспроводные сети сбора данных.

[www.ti.com/product/TMP235](http://www.ti.com/product/TMP235)

Рафаэль А. Мена (Rafael A. Mena),  
Тайлер Уитт (Tyler Witt), Праджакта Десаи (Prajakta Desai)

## Решения для многосенсорных полевых измерительных преобразователей

Многие решения для промышленной автоматизации и управления технологическими процессами требуют точного измерения сразу нескольких контролируемых параметров этого процесса. Такими параметрами могут быть температура, нагрузка, сила, освещённость, ход, положение и напряжение. Новейшее семейство встраиваемых микроконтроллеров (MCU) корпорации Texas Instruments – микроконтроллеры серии MSP430i20xx – содержит до 4-встроенных 24-разрядных сигма-дельта аналого-цифровых преобразователей (АЦП) с низким потреблением энергии на канал. Выходной сигнал сенсора может восприниматься напрямую, – усилителем с программируемым коэффициентом усиления (УПКУ) с дифференциальными входами, – прежде чем поступит на 24-разрядный АЦП. УПКУ образует буфер с высоким входным импедансом и единичным или программно-задаваемым коэффициентом усиления (КУ), значение которого может быть до 16. В решениях с питанием от сети, которые широко используются в промышленных системах, многоканальный АЦП обеспечивает одновременный контроль нескольких сенсоров без превышения пороговых значений тока, потребляемого системой, который определяется схемой включения датчика. Это также позволяет увеличить срок службы аккумулятора в многоканальных системах измерения параметров, питающихся от аккумуляторов. В этой статье будут рассмотрены решения с питанием от сети, сконфигурированные по 2-проводной схеме, в которой контур сбора информации обеспечивает одновременно и подачу питания на сенсор, а также и 3-проводные и 4-проводные измерительные схемы, в которых питание подаётся независимо от контура сбора информации. Семейство микроконтроллеров MSP430i20xx способно обеспечить поддержку этих конфигураций при рабочих температурах до 105 °С.

### Конструкция промышленного измерительного преобразователя

Подавляющее большинство решений для сенсоров в промышленной автоматизации по-прежнему представляют собой системы с питанием от сети [1]. Простота использования, надёжность передачи данных на большие расстояния, высокая помехоустойчивость и низкая стоимость делают такое решение идеальным для создания надёжных промышленных систем. Эти решения обеспечивают и питание системы, и тракт передачи информации

между сенсором и шлюзом. В этом случае система состоит из управляемого напряжением источника тока, который модулирует ток в контуре в соответствии с выходными сигналами сенсоров. Модулированный ток обычно находится в диапазоне от 4 до 20 мА, при этом минимальное значение диапазона выходного сигнала сенсора соответствует 4 мА, а максимальное значение соответствует 20 мА. Линейный участок между этими двумя конечными точками соответствует промежуточным значениям выходного сигнала сенсора.

На рисунке 1 показана типичная схема управляемого напряжением источника тока. Ток в контуре регулируется

цепью делителя тока, образованной резисторами R6 и R7, и опорным током, протекающим через R5. С учётом того, что работа контура передачи информации основана на значении тока, падение напряжения в соединительной линии не влияет на точность сигнала. Таким образом, расстояние между измерительным преобразователем и принимающим устройством может составлять тысячи метров [1]. В этом случае измерительный преобразователь не является источником тока. Ток течёт от внешнего источника напряжения, подключённого к его выходным клеммам. Это становится дополнительным преимуществом, которое заключается в том, что контур передачи информации обеспечивает питание самого измерительного преобразователя. Учитывая, что минимальное допустимое измеряемое значение определяется порогом 4 мА, потребляемый всей системой измерительного преобразователя ток должен быть ниже этого минимального уровня, обычно – ниже 3,5 мА. Таким образом создается запас для аварийных сигналов низкого уровня.

Измерительный преобразователь с токовой петлей состоит из сенсора, интерфейса сенсора, микроконтроллера и управляемого напряжением источника тока (или ЦАП с токовым выходом). Блок-схема типового измерительного преобразователя показана на рисунке 2. В случае семейства микроконтроллеров MSP430i20xx сигнал сенсора может поступать напрямую на дифференциальные входы 24-разрядных сигма-дельта АЦП. Смещение формирователя тока для управляемого напряжением источника тока может осуществляться с по-

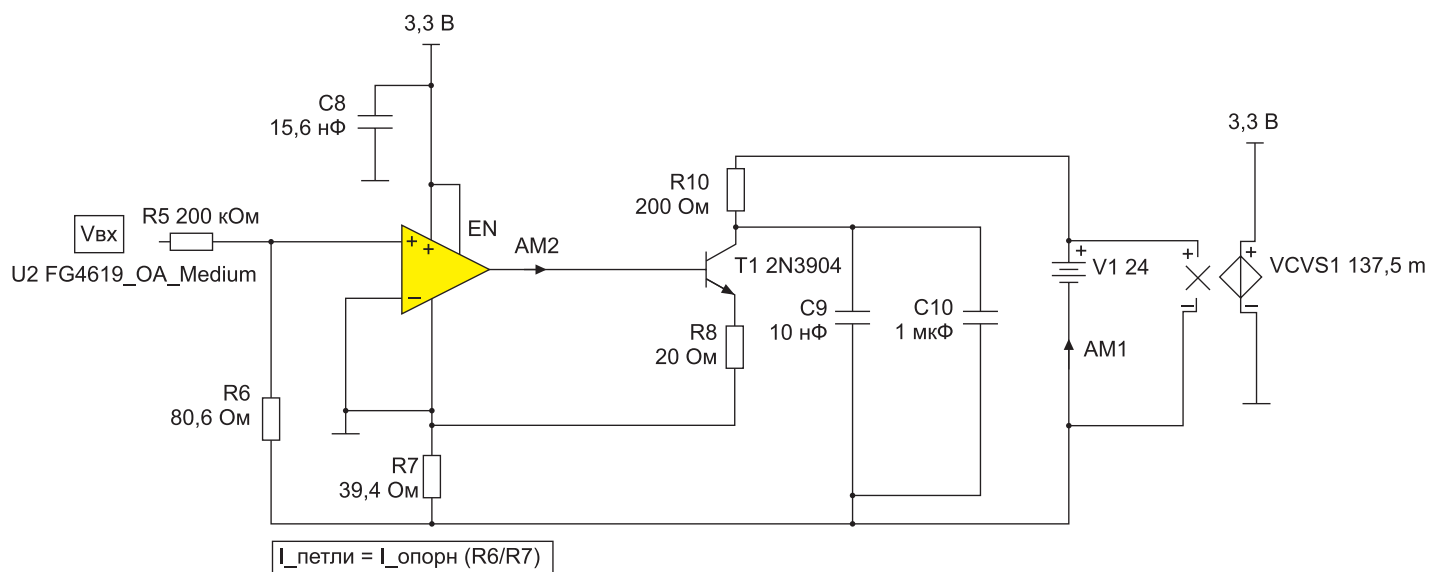


Рисунок 1. Схема управляемого напряжением источника тока

мощью сигнала, модулированного методом широтно-импульсной модуляции (ШИМ), при соответствующих требованиях к коэффициенту заполнения и фильтрации. Для получения регулируемого ШИМ-сигнала с теоретической точностью до 16 бит можно использовать модуль 16-разрядного таймера [2]. Затем этот выходной сигнал с изменяющимся коэффициентом заполнения можно пропустить через фильтр нижних частот, пропускающий только постоянную составляющую напряжения. Этот фильтр рассчитывается так, чтобы частота отсечки была ниже частоты ШИМ-сигнала, и таким образом обеспечивалась бы монотонность напряжения на выходе.

### Решения на основе токовой петли

Как указано выше, измерительный преобразователь может питаться либо через контур передачи информации при двухпроводной конфигурации, либо с помощью отдельной линии питания, не связанной с петлей тока 4-20 мА. В этом случае система обычно классифицируется как 3-проводное или 4-проводное решение. В обоих случаях для питания измерительного преобразователя требуется регулятор с малым падением напряжения (LDO), который понижает напряжение питания токовой петли. На рисунке 3 показаны оба решения: 2-проводное и 3-проводное.

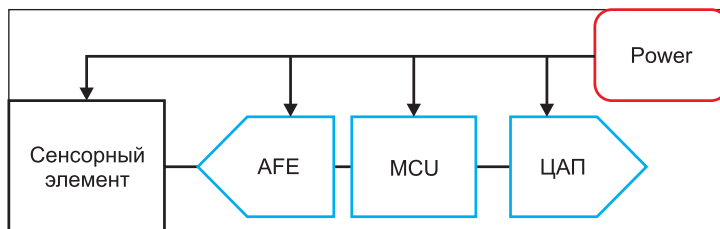


Рисунок 2. Блок-схема измерительного преобразователя с токовой петлей

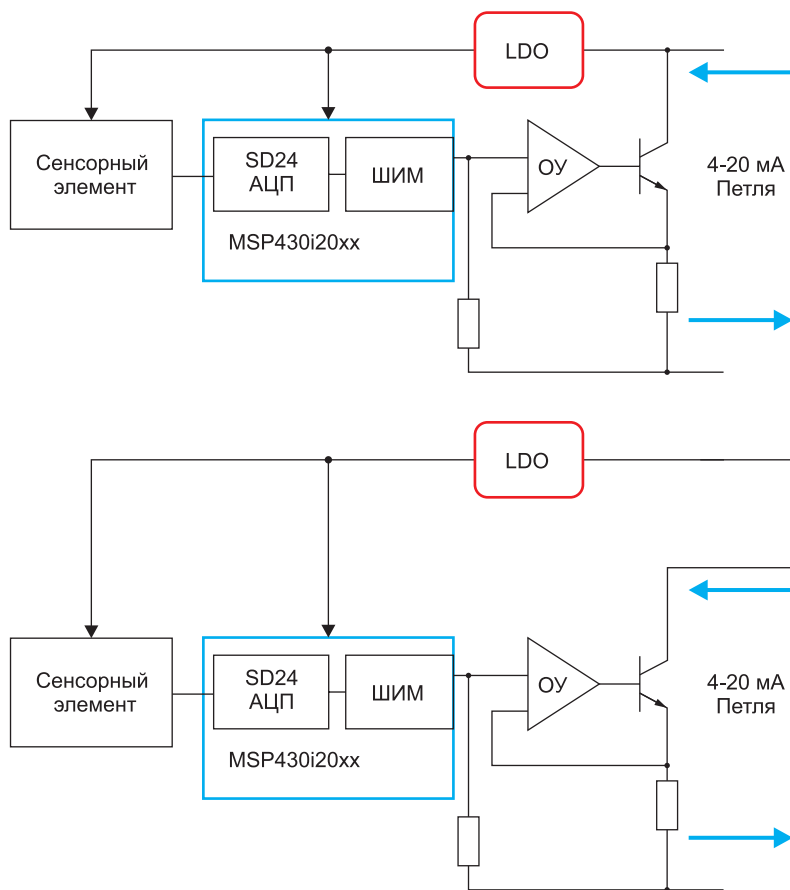


Рисунок 3. Блок-схемы 2-проводной и 3-проводной токовых петель



**Таблица.** Сравнение разрешающей способности преобразования переменного и постоянного тока для 4-канального, 24-разрядного модуля SD24 устройств MSP430i20xx.

Параметр	Коэффициент усиления УПКУ	V <sub>CC</sub>	Типичное значение	Ед. изм.
SINAD*	1	3 В	89	дБ
	2		89	
	4		87	
	8		83	
	16		77	
ENOB по пост. току (внутренний резистор)	1	3 В	16,71	разряды
	2		16,58	
	4		16,71	
	8		16,09	
	16		15,03	
ENOB по пост. току (внешний резистор)	1	3 В	16,07	разряды
	2		16,07	
	4		16,00	
	8		15,64	
	16		15,14	

\*Согласно технической спецификации MSP430i20xx

В 2-проводном решении важно поддерживать ток ниже порога 3,5 мА, чтобы обеспечивать достижение минимального передаваемого измеренного значения 4 мА с запасом для аварийных сигналов низкого уровня.

## Интерфейс сенсора

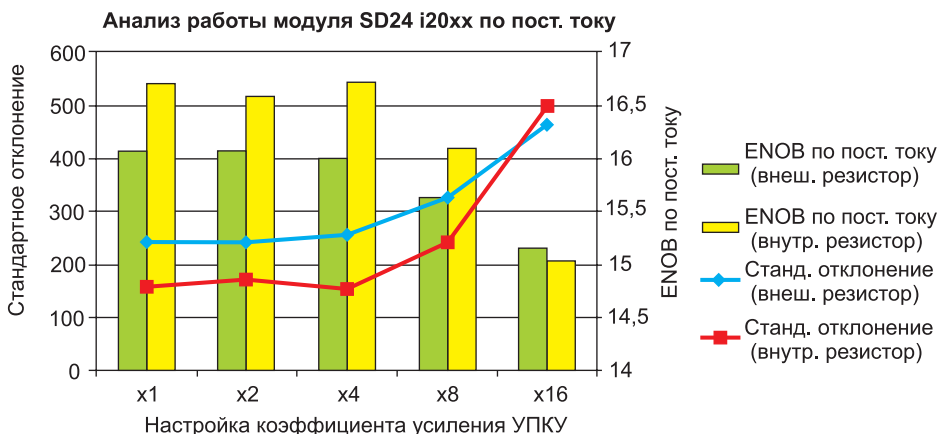
В ряде передовых сегментов промышленного рынка для получения информации от точных промышленных сенсоров в реальном времени, используются высокоэффективные системы сбора данных с несколькими каналами. К типичным примерам таких систем относятся источники бесперебойного питания, промышленные приборы контроля/учёта электроэнергии, анализа вибрации и формы сигналов, системы управле-

ния, контрольно-измерительные приборы, а также системы сбора данных, которые измеряют такие реальные параметры, как температура, давление, освещённость, расход рабочей среды и усилия. Дифференциальный вход встроенного УПКУ, непосредственно связанный с 24-разрядным сигма-дельта АЦП, позволяет напрямую и с высокой точностью воспринимать сигнал сенсора. Кроме того, преобразователи имеют в своей основе сигма-дельта модуляторы второго порядка и прореживающие цифровые фильтры. Они представляют собой гребенчатые фильтры SINC3 с коэффициентом избыточной дискретизации до 256 [2]. В микроконтроллерах MSP430i20xx может быть до четырёх независимых 24-разрядных сигма-дельта АЦП. Это позволяет реализовать до четырёх

интерфейсов сенсоров, дающих возможность одновременно осуществлять отсчет нескольких параметров технологического процесса в промышленной автоматизации. Каждый из каналов потребляет при преобразовании в среднем всего 200 мкА [3]. Для сравнения: другие решения обычно потребляют от 0,5 до 1 мА на канал. Такое низкое потребление тока на канал в микроконтроллерах MSP430i20xx обеспечивает одновременность отсчетов сигналов сенсоров даже при строгих требованиях к пороговым уровням тока в архитектуре 2-проводной токовой петли.

В таблице представлены результаты сравнения разрешающей способности преобразования переменного и постоянного тока для 4-канального, 24-разрядного модуля SD24 семейства микроконтроллеров MSP430i20xx. Как видно из таблицы, точность работы модуля SD24 микроконтроллера MSP430i20xx по постоянному току превышает 16 эффективных разрядов при большинстве значений коэффициента усиления УПКУ. Этого достаточно для получения точности лучше 0,5 мкА в токовой петле 4-20 мА. Дополнительные данные испытаний представлены на рисунке 4.

Данные анализа работы по постоянному току, представленные на рисунке 4 и в таблице, были получены стандартным методом, для закороченных дифференциальных входов модуля SD24, и определением стандартного отклонения большого объёма данных. Конкретнее: был написан пример кода для записи 256 24-разрядных отсчётов в блок ОЗУ, который затем был загружен в текстовый файл с помощью интегрированной среды разработки Code Composer Studio™ корпорации Texas Instruments. Для расчёта ENOB (эффективной разрядности) при работе на переменном токе применяется простая формула с использованием параметра SINAD (отношение сигнал/(шум + искажения)). Согласно этой формуле  $ENOB = (SINAD - 1,76 \text{ дБ}) / 6,02 \text{ дБ}$ . В случае данных для постоянного тока берётся стандартное отклонение, на основании которого ENOB можно рассчитать следующим образом:  $ENOB = N - \log_2(\delta)$ . В этом выражении N – количество разрядов,



**Рисунок 4.** Анализ точностных характеристик работы модуля SD24 микроконтроллера MSP430i20xx по постоянному току

которое обеспечивает преобразователь, а  $\delta$  – стандартное отклонение данных [4].

## Заключение

Семейство микроконтроллеров MSP430i20xx, содержащих до четырёх 24-разрядных сигма-дельта АЦП, идеально подходит для высокоточных промышленных систем датчиков. Низкая потребляемая мощность на каждый канал АЦП позволяет осуществлять одновременную дискретизацию выходных сигналов от нескольких высокоточных датчи-

ков без превышения пороговых уровней тока, установленных для многих 2-проводных промышленных решений на основе токовой петли. Это также идеально подходит для многих многосенсорных систем, питающихся от аккумуляторов.

## Литература

1. Jefferson Daniel de Barros Sodera, Julio Cesar Saldana, Cesar Giacomini Penteado, Hugo Daniel Hernandez, Raul Acosta, Fernando Chavez Porras, Marcos A. Valerio, Angelica dos Anjos and Paulo H. Trevisan,

«On-chip 4to20mA reconfigurable current loop transmitter for smart sensor applications», Integrated Circuits and Systems Design (SBCCI), 2015, August 30, 2012.

2. MSP430i20xx Family User's Guide (SLAU335).
3. MSP430i20xx Mixed Signal Microcontroller Data Sheet (SLAS887).
4. B. Baker, ENOB Video Tutorial. [Video Training]. Dallas, TX: Texas Instruments, 2011. <http://focus.ti.com/docs/training/catalog/events/event.jhtml?sku=WEB408001>.

## Новая серия миниатюрных одноваттных DC/DC-конвертеров от TI

DCPA1xxxx – это миниатюрные, гальванически изолированные DC/DC-конвертеры, соответствующие требованиям EN55022 Class B по электромагнитной совместимости. Напряжение изоляции – 2 кВ. Отличительные особенности конвертеров новой серии – наличие «мягкого старта» и возможность внешней синхронизации. Конвертеры имеют встроенную защиту от перегрузки по току.

Конвертеры DCPA1xxxx выпускаются в пластиковых 7-выводных корпусах PDIP и SOP размером 19,2×10,6 мм. Предназначены для работы в изолированных интерфейсах, например RS-485 в составе тестового и измерительного оборудования, промышленных контроллерах и системах сбора данных.

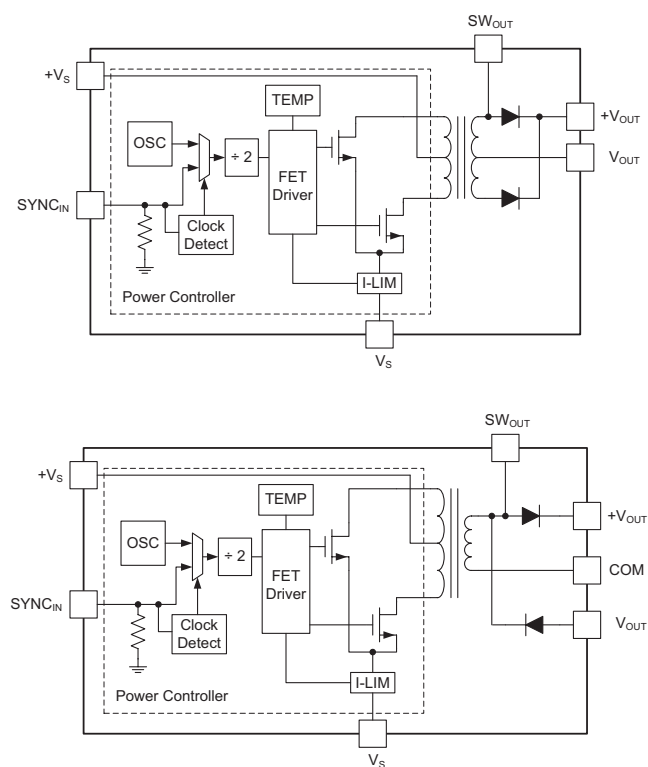
Допускается параллельное соединение однотипных конвертеров, а также синхронизация их работы с целью предотвращения низкочастотных биений в шине питания VIN. Доступны следующие виды DC/DC-конвертеров (указан максимаксимальный ток нагрузки):

- DCPA 10505 – 200 мА,
- DCPA 10505D – 200<sup>1</sup> мА,
- DCPA 10512 – 83 мА,
- DCPA 10512D – 83<sup>1</sup> мА,
- DCPA 10515 – 66 мА,
- DCPA 10515D – 66<sup>1</sup> мА.

<sup>1</sup> Суммарный ток для 2 выходов.

[www.ti.com/product/DCPA10505](http://www.ti.com/product/DCPA10505)

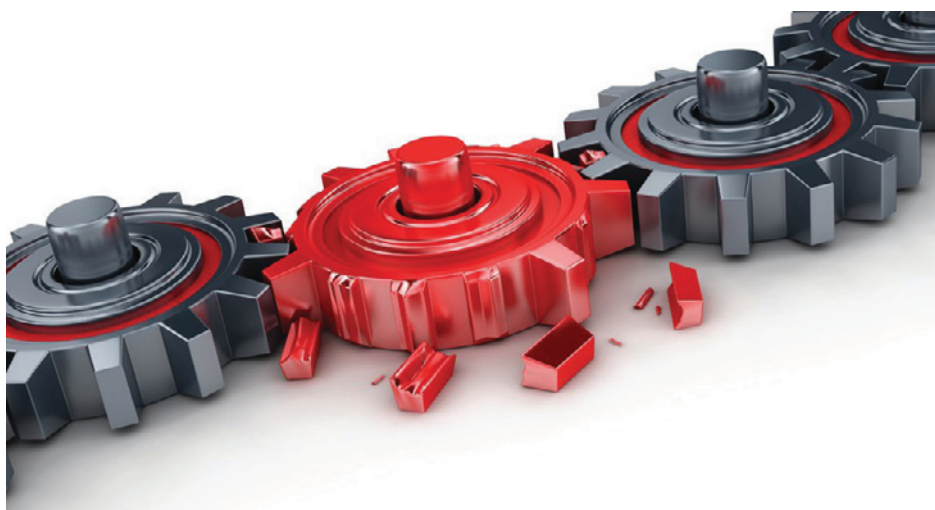
Внутренняя структура конвертеров с одно- и двухполярными выходами





Дэйв Смит (Dave Smith), Эван Уэйкфилд (Evan Wakefield)

## Новые стандарты характеристик микроконтроллеров при минимизации энергопотребления



Поскольку в настоящее время электронные устройства становятся всё более интеллектуальными, и в будущем эта тенденция сохранится, мы сталкиваемся с необходимостью обрабатывать растущий объём данных. Чтобы собрать эти данные, для регистрации событий в огромном количестве мест развёртываются сети датчиков, которые собирают данные различных типов из разных источников для разнообразных видов их использования.

Обнаруживая такие события, как, например, открытие двери или окна, датчики систем безопасности обеспечивают спокойствие жильцам. Данные от датчиков, установленных на промышленных насосах, помогают владельцам производств обнаруживать признаки неисправностей на ранних этапах, чтобы не допускать отказов и сократить затраты на техническое обслуживание в период эксплуатации. Данные от распределённых сетей датчиков используются даже для обработки геологической

информации, увеличивая время, которое имеется в распоряжении аварийных бригад для реагирования на стихийные бедствия. В большинстве случаев данные, регистрируемые в таких системах, необходимо отправлять на централизованный узел для обработки, анализа и принятия решений. Этот постоянный поток данных может потребовать как большой энергии, так и значительного времени на обработку. При добавлении локальных интеллектуальных возможностей, чтобы превратить отдельные датчики в интеллектуальные узлы датчиков, можно использовать более сложную локализованную обработку (или периферийную обработку) для повышения быстродействия и эффективности всей системы в целом.

На периферии системы можно также проводить ряд вычислений и передавать в центральный узел их результаты. Это уменьшает количество необходимых передач по беспроводным каналам и позволяет принимать

решения в реальном времени, когда в системах происходят критические события. Например, если шестерня в системе привода изнашивается и её зуб ломается, меняется частотная картина шумов системы. Обнаруживая и анализируя эти изменения, система может определить, нужно ли останавливать двигатель, до того момента, когда техник сможет провести его обследование и, при необходимости, ремонт.

На сегодня подобная интеллектуальность обычно реализуется либо на базе цифрового процессора сигналов (DSP) нижнего ценового диапазона, либо в виде высокоэффективного микроконтроллера (MCU). Каждый из вариантов имеет свои «за» и «против», и часто даже DSP с ограниченными возможностями намного превосходит требуемые для такого узла датчиков рабочие характеристики. Многим недорогим моделям DSP с их ограниченными возможностями нужен внешний аналого-цифровой преобразователь (АЦП) или внешнее запоминающее устройство для сбора и хранения данных. Наличие этих дополнительных компонентов очень быстро увеличивает стоимость и энергопотребление всей системы в целом. Как указано выше, системы обеспечения безопасности жилищ служат хорошим примером такой системы, учитывая количество окон и дверей во многих зданиях. Несмотря на возможные выгоды, многие потребители не станут охотно оплачивать большое количество дорогих систем обнаружения разбития стекол. Эти системы, созданные на основе DSP, используют быстрое преобразование Фурье (БПФ) для

анализа звуковых колебаний, чтобы определить, разбито ли стекло. Кроме того, они потребляют довольно большое количество энергии, поэтому, если каждый датчик не будет подключён на постоянной основе к источнику электропитания, необходимо будет регулярно заряжать аккумуляторы датчиков.

С точки зрения микроконтроллеров периферийная обработка часто представляет собой проблему ввиду их минимальных рабочих характеристик при проведении вычислений. Например, расчёт БПФ, который реализован в виде кода на языке Си, может занять в микроконтроллере намного больше времени, чем выполнение такого преобразования с помощью DSP, который имеет специализированные аппаратно реализованные периферийные устройства. Эта разница во времени не только приводит к неэффективности, поскольку микроконтроллер вынужден работать в активных режимах в течение длительных периодов времени, но, что ещё хуже, может также привести к задержкам появления результатов в ситуациях, когда фактор времени играет важную роль. Безусловно, эта разница во времени снижает жизнеспособность «Интернета вещей» (IoT), потому что это направление имеет в своей основе две идеи:

1. Центральные концентраторы могут поддерживать связь с и обрабатывать данные от миллиардов подключённых к ним устройств.
2. Подключённые устройства достаточно интеллектуальны, чтобы от конечного пользователя требовались лишь простейшие навыки. Рассмотрим другой пример.

Беспроводные акустические системы персонального электронного секретаря и мобильные телефоны способны обрабатывать родной язык пользователя, чтобы выбирать музыкальные записи или заказывать пиццу. Это представляет собой невероятно сложную задачу, поскольку люди говорят на множестве разных диалектов, с различными акцентами и в разной тональности. Конечно, можно было бы использовать цифровую обработку сигналов в конечных узлах для интерпретации огромного количества возможных фраз пользователя, но это потребовало

бы дорогого и скорее всего физически громоздкого решения, которое отрицательно сказалось бы на портативности устройств. Время работы аккумулятора – также очень важный фактор, поскольку зарядка чаще одного раза в день может привести к потере интереса к системе со стороны потребителей. На сегодня эта проблема решена таким образом, что переносные устройства просто реагируют на кодовое слово или фразу, которая заставляет систему запускать отправку данных на центральный сервер для проведения сложного анализа и отправки ответа назад на подключённое устройство. Это широко используемая технология для передовых систем обработки такого рода, но неэффективность использования энергии побуждает нас задаться вопросом, какая периодичность зарядки аккумулятора была бы приемлемой для пользователей?

В зависимости от системы может быть допустима ежедневная зарядка, но очевидно, что потребители предпочитают решения, которые могут работать в течение недели или более на одной зарядке. Вернемся к извещателям разбития стекла и устройствам контроля двигателей. Даже недельный интервал между зарядками аккумулятора не стал бы решением, имеющим практический смысл, при тысячах электродвигателей на крупном производстве. По сути дела, объединение преимуществ низкого энергопотребления микроконтроллера с расширенными DSP-функциями дало бы возможность сделать значительный шаг вперёд в направлении реализации интеллектуальности и возможностей обработки данных на уровне периферийных вычислений. Но здесь требуется более совершенное аппаратное обеспечение.

### Новое решение старой проблемы

Представим себе, что микроконтроллеры могут взять на себя некоторые функции предварительной обработки устройств цифровой обработки сигналов, используя для этого специализированные аппаратные ускорители. Эти микроконтроллеры могли бы быстро включаться в работу, чтобы фильтровать данные

или выполнять БПФ, а также могли бы использовать свои компараторы и АЦП, даже находясь в режиме горячего резерва, чтобы понимать, когда нужно включаться в работу. Это могло бы позволить получать отличные результаты в реальном времени в различных системах, как промышленного, так и бытового назначения, а также могло бы снизить энергопотребление систем, позволив им работать от аккумуляторов годы, а не дни.

Хотя некоторые микроконтроллеры на сегодня позволяют использовать DSP-ускорители, имеющаяся в них тенденция к тому, чтобы заставить работать центральное процессорное устройство (ЦПУ) на пределе его возможностей, вынуждает эти контроллеры потреблять значительные количества энергии. Новые сопроцессоры в микроконтроллерах, позволяющие использовать такие DSP, как, например, ускоритель с низким энергопотреблением (LEA), появившийся в семействе микроконтроллеров MSP430™, решают проблему разницы в рабочих характеристиках между микроконтроллерами и недорогими DSP, добавляя новые возможности при разумном энергопотреблении и приемлемой стоимости. Микроконтроллер, имеющий модуль LEA, может выполнять функции DSP на специализированном аппаратном обеспечении, что позволяет ему работать в режимах с низким энергопотреблением и снижать тем самым общее энергопотребление системы при возможности выполнения более сложных вычислений. Это могло бы позволить системе:

- А. Либо дольше работать в режимах с низким энергопотреблением, существенно снижая общее энергопотребление системы.
- Б. Либо сосредоточиться на вычислениях, с увеличением рабочей частоты приложения.
- В. Либо позволить системе выполнять другие функции, такие как поддержание связи с главным узлом по беспроводным каналам (для приложений IoT).

Со временем все эти варианты станут критически важными для того, чтобы сделать возможным широкое распространение подключённых устройств, особенно ввиду того, что

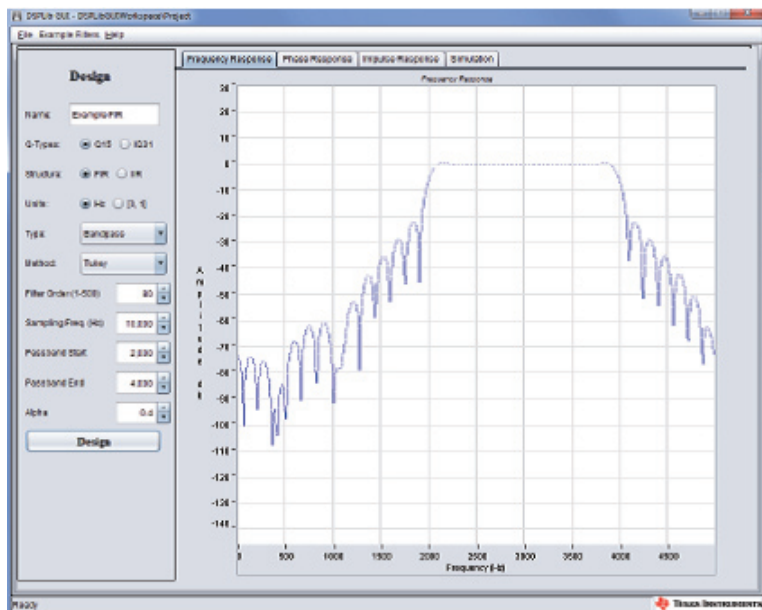


Рисунок 1. Графический интерфейс пользователя DSPLib

более интеллектуальные микроконтроллеры позволят подключённым устройствам быстро и легко предоставлять данные пользователям при низкой стоимости и высокой энергоэффективности.

Модуль LEA – это блок векторных математических операций, находящийся внутри некоторых моделей МК семейства MSP430. Этот модуль может выполнять обработку сигналов, умножение матриц и другие операции, которые обычно (при программной реализации) требуют большого времени и энергии при выполнении приложения. Работающий без всякой помощи со стороны ЦП, модуль

LEA представляет собой сопроцессор с низким энергопотреблением, который выполняет DSP-операции и генерирует прерывание, когда операция завершена. Модуль LEA работает на основе команд, заложенных в него при конфигурировании, и эти команды служат указателями на буферы ввода и вывода в памяти и на тип операций. Использование этих команд упрощено благодаря библиотеке, которая специально создана и оптимизирована для микроконтроллеров MSP430, что позволяет выполнять приложения DSP по выбору программистов. Если модуль LEA имеется в устройстве, компилятор будет авто-

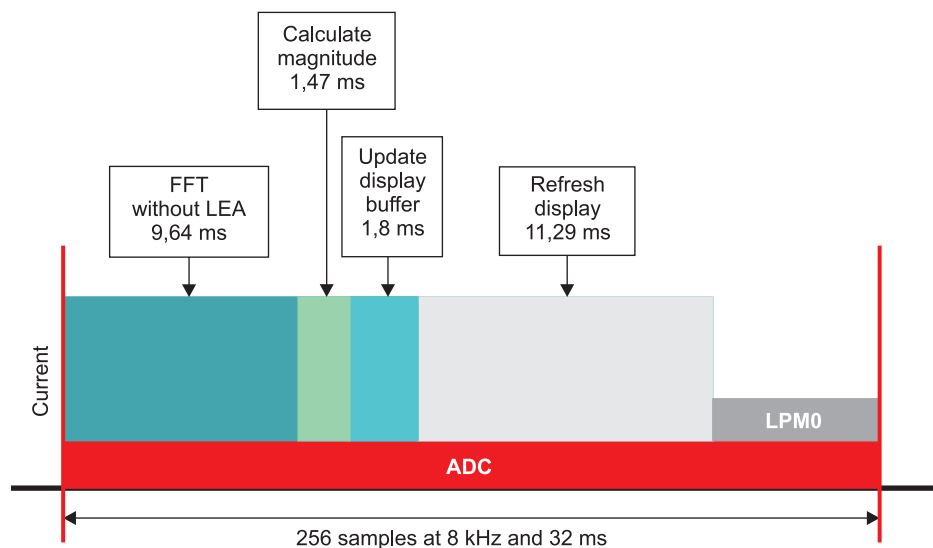


Рисунок 2. Приложение на основе БПФ без модуля LEA

матически использовать его для оптимизации работы помимо технологий оптимизации кода на языке Си в MSP, которые уже реализованы.

Приложениям, которые используют цифровую обработку сигналов, требуется большое количество различных методик, чтобы можно было получить целостное решение. Но процесс можно разбить на три основных этапа:

1. Способ сбора данных. Это может быть АЦП, взаимодействующий с датчиком, или модуль связи, такой как SPI, I<sup>2</sup>C или UART.
2. После сбора данных выполняется обработка сигналов различными методами, чтобы извлечь требуемую информацию из массива данных. Это может быть фильтр с конечной импульсной характеристикой (КИХ) для очистки сигнала, БПФ для выделения различной частотной информации или какой-нибудь другой широко используемый процесс класса DSP.
3. После того как информация выделена из массива данных, с ней нужно работать. Это действие может иметь форму принятия решения на основе результата БПФ, или КИХ-фильтрации, или просто отправки полученной информации по каналам проводного или беспроводного соединения, таким как Wi-Fi®, сети с частотами до 1 ГГц, UART, I<sup>2</sup>C, SPI и т. д.

Ранее второй этап реализовывался с помощью встроенной программы на языке Си, которая часто требует очень интенсивного использования ЦПУ и может занимать большую часть времени, отводимого в приложении на вычисления, из-за выполняемых математических операций (таких как вычисления при КИХ-фильтрации, которые требуют больших вычислительных ресурсов).

Оптимизированный как по энергопотреблению, так и с точки зрения выполнения вычислений на основе векторов, модуль аппаратно реализованного ускорителя LEA быстро и эффективно выполняет обременительные для ЦПУ функции, значительно улучшая общие рабочие характеристики всей системы в целом.

Практическую реализацию улучшения рабочих характеристик можно оценить, ознакомившись с базовым решением корпорации TI (TI Design):

фильтрация и обработка сигналов с помощью ускорителя с низким энергопотреблением (LEA) в микроконтроллере MSP с ферроэлектрическим ОЗУ.

Из рисунка 2 видно, что выполнение функции БПФ занимает 9,46 мс, если обработка выполняется основным ЦПУ.

На рисунке 3 показан значительный выигрыш, который даёт модуль LEA, снижая время выполнения БПФ до 700 мкс.

При тестировании и работе приложений мы наблюдали более чем 15-кратное улучшение рабочих характеристик по сравнению с традиционными реализациями различных функций обработки сигналов на основе программы на языке Си на 16-разрядном микроконтроллере. Мы наблюдали даже улучшение рабочих характеристик до 40 раз по сравнению с устройствами ARM® Cortex®-M0+, использующими библиотеку DSP CMSIS.

Модуль LEA не только выполняет эти требующие больших вычислительных ресурсов операции обработки сигналов быстрее, чем оптимизированная программа на языке Си. В силу самого наличия аппаратно реализованного ускорителя и благодаря тому, что модуль LEA позволяет микроконтроллеру MSP430 работать в режиме с низким энергопотреблением 0 (LPM0), этот модуль позволяет улучшить показатели энергопотребления в девять раз по сравнению с аналогичными микроконтроллерами MSP430, использующими программы на языке Си, и до 12 раз – по сравнению с микроконтроллерами ARM Cortex-M0+, использующими библиотеку DSP CMSIS.

Преимущества модуля LEA с точки зрения рабочих характеристик могут быть разными, в зависимости

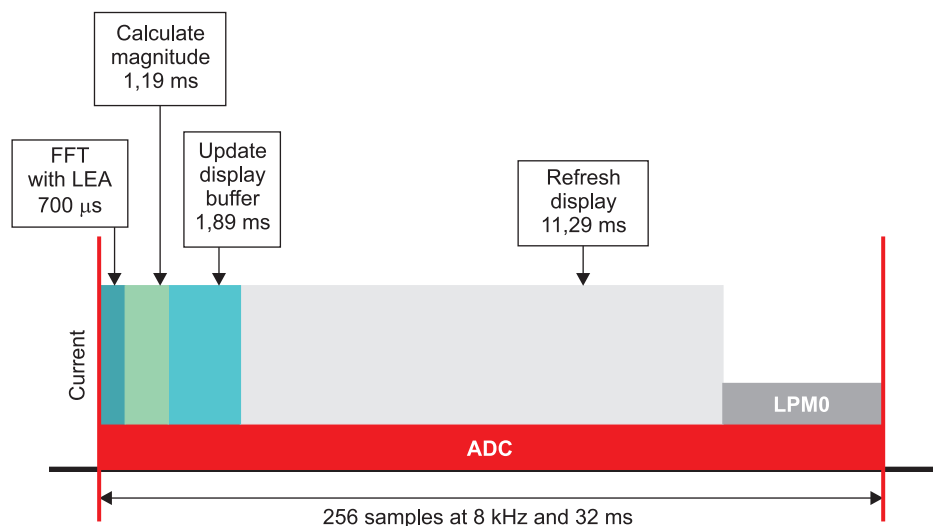


Рисунок 3. Приложение на основе БПФ, использующее модуль LEA

от типа обработки сигналов, который вы реализуете. Например, время выполнения операции БПФ может меняться в зависимости от таких составляющих, как длина вектора, а также от того, комплексное это БПФ или БПФ вещественных чисел.

При реализации КИХ-фильтра рабочие характеристики зависят от количества переменных, включая длину вектора, порядок, а также от того, выполняется ли КИХ-фильтрация с комплексными или вещественными числами. Однако важно отметить, что по всем математическим векторным операциям, которые может выполнять модуль LEA, очевидно общее улучшение рабочих характеристик по сравнению с традиционной обработкой сигналов программой на языке Си.

Подробнее о выигрыше в рабочих характеристиках и сопоставительном анализе ускорителя с низким энергопотреблением можно узнать по ссылке: «Сопоставительный анализ возможностей обработки сигнала

лов ускорителя с низким энергопотреблением».

## Микроконтроллеры MSP430FR5994 с модулем LEA

Микроконтроллеры MSP430F599x – первые устройства, имеющие новый периферийный модуль LEA. Эти высокоэффективные 16-разрядные микроконтроллеры сочетают в себе превосходную архитектуру со сверхнизким энергопотреблением, встроенное ферроэлектрическое оперативное запоминающее устройство (FRAM) ёмкостью до 256 кбайт и ряд эффективных и в то же время гибких периферийных устройств, образуя отличную линейку микроконтроллеров для множества приложений цифровой обработки сигналов.

Встроенное ферроэлектрическое ОЗУ ёмкостью 256 кбайт со сверхнизким энергопотреблением обеспечивает пользователю возмож-

Таблица 1. Сравнение рабочих характеристик

	Тактовая частота	Затраченная энергия (мкДж)			
		128-точечное комплексное БПФ	256-точечное комплексное БПФ	512-точечное комплексное БПФ	Конечная импульсная характеристика
MSP430FR5994 с модулем LEA	8 МГц	1,228	2,219	4,424	4,378
MSP430FR5994 с модулем LEA	16 МГц	1,182	2,092	4,184	4,065
Микроконтроллер ARM Cortex-M0+	12 МГц с преобразователем постоянного тока	10,722	24,777	52,806	32,295
Улучшение рабочих характеристик MSP		в 9,07 раза	в 11,84 раза	в 12,6 раза	в 7,94 раза



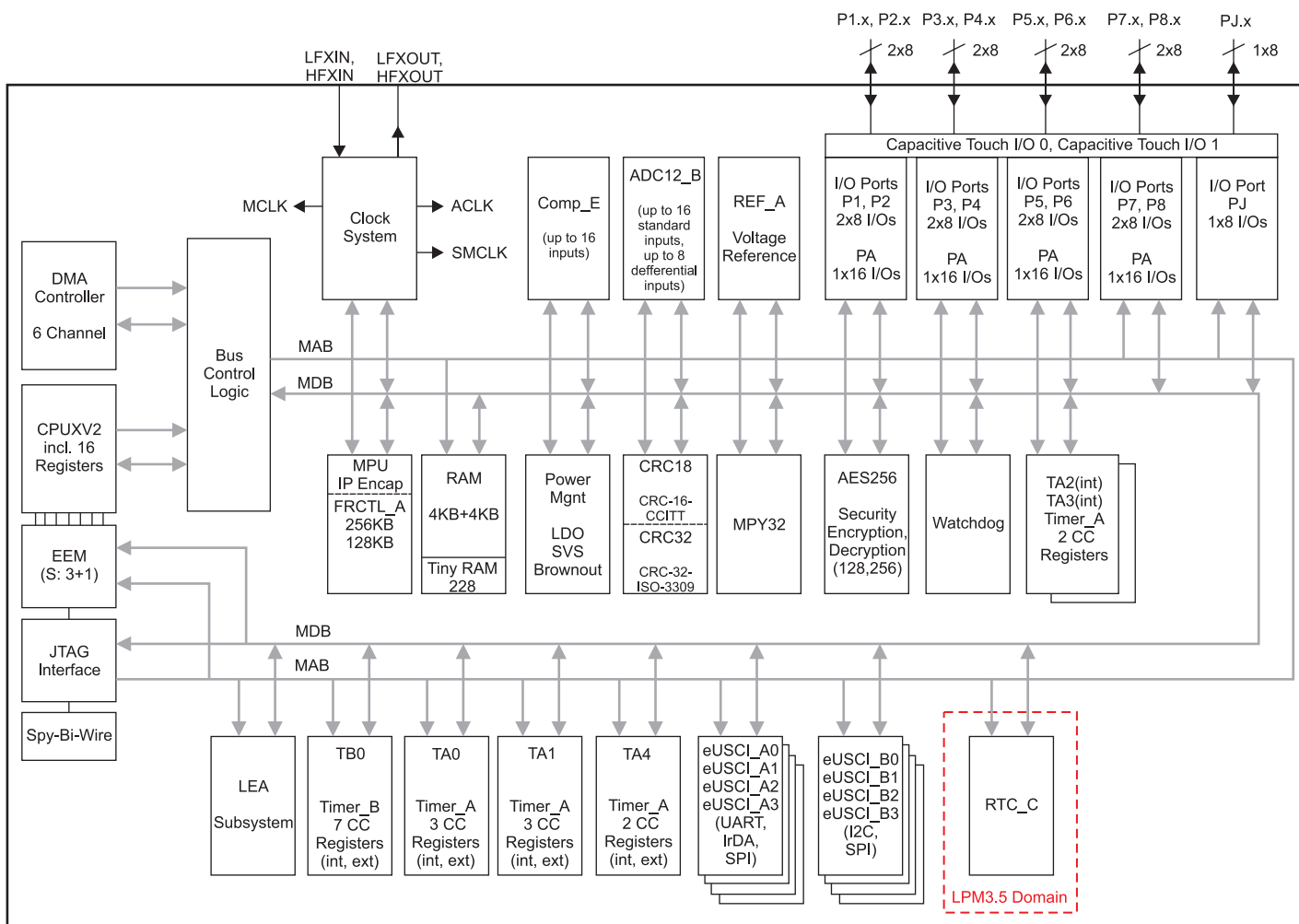


Рисунок 4. Блок-схема микроконтроллера MSP430FR5994

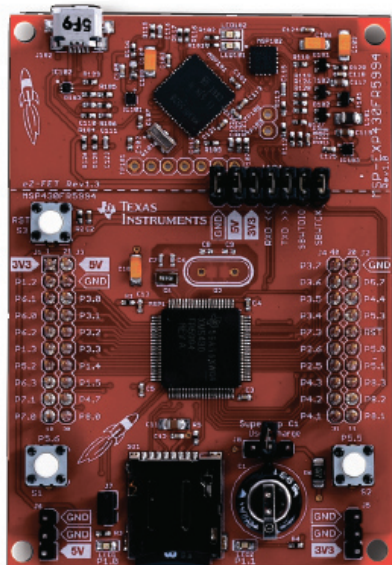


Рисунок 5. Комплект разработки микроконтроллеров MSP-EXP430FR5994 LaunchPad™

ность настраиваемого разделения на память программ и память данных, позволяя создавать большие энергонезависимые буферы данных.

Начните разработку с помощью комплекта для разработки микроконтроллеров MSP430FR5994 LaunchPad™ (рисунок 5). В этот комплект входит всё аппаратное обеспечение, необходимое для того, чтобы начать разработку и оценку этого мощного микроконтроллера.

### Заключение

Существует множество приложений, в которых используются либо микроконтроллеры, либо недорогие DSP. Вокодеры, системы обнаружения присутствия, системы подавления эхо-сигналов/помех,

глюкометры, сети контроля качества строительства или параметров окружающей среды. Их можно классифицировать по различным функциям обработки сигналов, которые интерпретируют ситуацию по результатам сортировки и анализа данных, обнаруживая событие или ситуацию приближающегося события и предпринимая определённые действия, если это необходимо. В каждом случае ускоритель с низким энергопотреблением (LEA), разработанный корпорацией TI, может обеспечить выигрыш, позволяя быстрее и эффективнее анализировать данные, чтобы увеличить время работы от аккумулятора, повысить рабочие характеристики или расширить функциональные возможности.

# Развитие серии 16-битовых микроконтроллеров (MCU) производства TI — от экономичных до высокоэффективных моделей за счёт использования системы унифицированной памяти

Корпорация TI расширяет ассортимент микроконтроллеров на сегнетоэлектрических запоминающих устройствах (FRAM MCU) MSP430™ за счёт добавления широкой линейки устройств с большим объёмом памяти, меньшими размерами и расширенными возможностями обработки данных.

В настоящее время корпорация TI расширила ассортимент микроконтроллеров на сегнетоэлектрических ЗУ (FRAM MCU) малой мощности семейства MSP430™ за счёт двух новых серий малой мощности для широкой линейки систем считывания данных с датчиков и измерительных устройств. Новые модельные ряды включают:

- микропроцессоры MSP430FR5994 с сегнетоэлектрической памятью объёмом 256 кбайт и в 40 раз большей эффективностью, чем у других маломощных микроконтроллеров, с возможностью более эффективной обработки цифро-

- вых сигналов (DSP) и с новым, легким в применении интегрированным математическим ускорителем с низкой потребляемой мощностью (LEA);
- микропроцессоры MSP430FR2111 призваны усовершенствовать ваши 8-битовые системы за счёт расширенного ассортимента экономичных моделей микроконтроллеров TI с памятью на FRAM ЗУ, чему также должны способствовать более компактные корпуса этих устройств размером 3x3 мм с выводами с четырёх сторон (тип QFN).

Новые микроконтроллеры расширяют ассортимент благодаря увеличению объёма FRAM-памяти с 2 до 256 кбайт, и плюс к тому эта технология предлагает непревзойдённую гибкость и сверхнизкое потребление энергии. Помимо этого, экосистема FRAM оперативного ЗУ MSP430 включает в себя тысячи существующих библиотек программ, указаний по применению и структур драйверов для облегчения выбора устройств из предлагаемого ассортимента.

## Лёгкость обработки сложных алгоритмов с использованием микроконтроллеров MSP430FR5994

Новые микроконтроллеры MSP430FR5994 помогают экономить электроэнергию за счёт того, что большую часть времени они проводят в режиме ожидания — благодаря новому встроенному ускорителю с низким потреблением энергии (LEA) для обработки сигналов, способному выполнять быстрые преобразования Фурье (FFT), фильтры с конечными импульсными характеристиками (FIR) и бесконечными импульсными характеристиками (IIR), а также другие математические функции практически в 40 раз быстрее, чем их выполняет микроконтроллер ARM® Cortex®-M0+. Объединённая память сегнетоэлектрического ЗУ (FRAM) с общим объёмом 256 кбайт обеспечивает возможность использования увеличенного количества прикладных программ, требующих большого объёма оперативной памяти, а также обеспечивает

**MSP430™ FRAM microcontrollers**

Value line ← 2KB 16KB 64KB 128KB 256KB → High performance

ti.com/fram

CapTIvate™ technology	3x3	3x3mm QFN	TIA (transimpedance amplifier)
ADC	Smart analog combo	LEA (low-energy accelerator)	DMA Direct memory access
ESI (extended scan interface)	LCD	MPY	32-bit multiplier
AES security		IRL	IR logic

скорость записи, в 100 раз превышающую скорость записи FLASH-памяти без необходимости буферизации или предварительного стирания данных из памяти.

Модуль ускорителя с низким потреблением энергии (LEA) обеспечивает работу оптимизированной библиотеки цифровой обработки сигналов (DSP) с поддержкой более 50 математических функций, а также архитектуру изделия с автоматической конфигурацией по стандарту Plug and Play, позволяющую разработчикам установить наш комплекс разработки приложений MSP430FR5994 MCU LaunchPad™ и начать обработку комплекса математических алгоритмов в течение менее чем пяти минут. Для разработчиков устройств на микроконтроллерах MSP430 это путь к обеспечению более совершенных характеристик обработки сигналов в сочетании с преимуществами технологии FRAM-ЗУ, что важно для широкого ассортимента прикладных программ, предназначенных для измерений, автоматизации производства и строительства, портативных устройств для здоровья и фитнеса.

### Обновите свою старую 8-битовую систему за счёт применения микропроцессоров MSP430FR2111

Микроконтроллеры MSP430FR2111 позволяют разработчикам обно-

вить конструкцию прежних 8- или 16-битовых версий новейшими высокоинтегрированными микроконтроллерами с применением технологии FRAM-памяти. Даже наиболее рачительным разработчикам теперь представляется проектное решение, объединяющее 10-битовые аналого-цифровые преобразователи (ADC), функционал электрически стираемых программируемых ПЗУ (EEPROM), компаратора, часов реального времени и встроенного тактового генератора с 16-битовым процессором в корпусе размером 3×3 мм и начальной ценой менее \$0,5 за штуку, при партии 1 тыс. штук. Благодаря объединению памяти программ и данных, объём ОЗУ новых устройств практически в 50 раз превышает объём памяти сравнимых 8-битовых микроконтроллеров, к тому же у разработчиков нет больше необходимости проводить достаточно длительное программирование собранных блоков (как в случае flash-памяти), что позволяет им быстрее выводить продукцию на рынок, упростит работу с программным обеспечением и повысит переносимость кода. Помимо этого, новые микроконтроллеры обеспечивают беспрепятственный переход на новые устройства и допускают модульный вариант наращивания ассортимента микропроцессоров MSP430. Покупатели могут без проблем перейти с микроконтроллеров MSP430G2x на новое семейство

MSP430FR2x, модульно наращивать ассортимент сегнетоэлектрических ОЗУ (FRAM) благодаря одинаковой базовой архитектуре, инструментальной экосистеме и легким в применении руководствам по переходу на новые устройства. Для получения более подробной информации зайдите на [www.ti.com/msp430fr2111-pr-eu](http://www.ti.com/msp430fr2111-pr-eu).

### Цены и возможность приобретения

Разработчики могут безотлагательно начать работать со средствами разработки на базе микропроцессора MSP430, предлагаемыми в магазине корпорации TI и официальными дистрибьюторами корпорации TI. Комплекты для разработки приложений MSP430FR2x MCU LaunchPad (MSP-EXP430FR2311) и MSP430FR5994 MCU LaunchPad (MSP-EXP430FR5994) продаются по \$15,99\*.

Предваряющие серийный выпуск образцы микропроцессора MSP430FR5994 могут быть уже сегодня заказаны в интернет-магазине. Помимо этого, новые микропроцессоры MSP430FR2111 уже можно приобрести в промышленных объёмах в магазине корпорации TI или у официальных дистрибьюторов корпорации TI.

\* Цена действительна при покупке на сайте [www.ti.com](http://www.ti.com)

[www.ti.com/msp430fr5994-pr-eu](http://www.ti.com/msp430fr5994-pr-eu)

## Операционный усилитель общего назначения – TLV9061

TI представила операционный усилитель – TLV9061. Усилитель обладает стандартным диапазоном входного напряжения – от 1,8 до 5,5 В (Rail-to-Rail), низким током потребления – 538 мкА, GBW 10 МГц. На первый взгляд, ничего исключительного в этих характеристиках нет, но главная его особенность – корпус минимальных размеров – 0,8×0,8 мм (корпус X2SON). Площадь, занимаемая на плате, всего 0,64 см<sup>2</sup>. Учитывая малый размер, низкую цену и довольно широкий диапазон температур –40...+125 °С, усилитель может стать недостающим звеном в любой сигнальной цепи.

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





# Тестирование надёжности герконов и герконовых реле

Окончание.

Начало в №4-2017 бюллетеня «Компоненты Т1»

## Стратегии профилактического технического обслуживания

Что лучше — заменять единичные отказавшие реле или заменять их группами в рамках профилактического ТО, независимо от того, отказали они или нет? Статистика надёжности позволяет применить к данной проблеме аналитический подход, основанный на концепции минимизации расходов и временных затрат на единицу оборудования (CPUT). Этот метод учитывает как стоимость профилактического ТО (PM), так и затраты на незапланированное техническое обслуживание, UM. В отрасли оборудования для автоматического тестирования широко известно, что затраты на поиск и ремонт отказавшего реле в полевых условиях в десять раз превышают стоимость ремонта такого же реле при прокладке линии. Иначе говоря, замена реле стоимостью \$5 при обнаружении отказа в ходе тестирования на производстве может обойтись в \$500 в полевых условиях. Если отказавшее реле находится на плате, содержащей, скажем, ещё 15 таких же, будет ли экономически оправдано заменить их все при ремонте, даже если 15 из этих 16 работают нормально? Возможно, это покажется удивительным, но зачастую ответ — «да».

Давайте для примера возьмём стоимость профилактического ТО как 16 реле \* \$5/реле = \$80.

Также предположим, что затраты на незапланированное ТО для поиска и замены одного отказавшего реле составляют \$500. Сначала рассчитаем надёжность платы с 16 реле, рассма-

тривая её как систему, которую необходимо заменить при отказе одного или нескольких отдельных реле. Для системы, выходящей из строя при отказе одного реле, это можно показать, перестроив уравнение распределения Вейбулла так, что надёжность после  $t$  циклов для системы с  $n$  реле будет равна:

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

где  $R_s(t)$  — надёжность системы после  $t$  циклов,  $R_r(t)$  — надёжность отдельного реле после  $t$  циклов,  $n$  — количество реле в системе.

Параметр масштаба ( $\text{Eta}$ ) для системы можно определить по аналогичному параметру отдельных реле, используя выражение:

$$\eta_{\text{system}} = \frac{\eta_{\text{relay}}}{\sqrt[n]{n}}. \quad (4)$$

Исходя из уравнения (4), система с 16 реле, обладающих ресурсной характеристикой ( $\text{Eta}$ ) в 1000 млн циклов и параметром формы 1,5, будет иметь ресурсную характеристику в 157 млн циклов и MCBF в 142 млн циклов. Параметр формы останется без изменений — 1,5.

Имея эти оценки параметров Вейбулла для системы с 16 реле, мы почти готовы рассчитать периодичность профилактического технического обслуживания, сводящего значение CPUT к минимуму. Если бросаться в крайности, давайте предположим, что PM выполняется через каждый миллион циклов, при этом все реле заменяются. В таком случае стоимость PM будет равна \$80, плюс, с невысокой вероятностью, ещё

\$500 в случае неожиданной поломки. Таким образом, CPUT составит \$80,15 на каждый миллион циклов. Разумеется, это чрезмерная и неэкономичная политика профилактического технического обслуживания, хотя при этом случаев незапланированного ремонта практически не будет. Тем не менее такой подход эквивалентен продаже новенького «Роллс-Ройса» после заполнения пепельницы. Однако если рассчитать CPUT для данного примера с большей периодичностью профилактического ТО, то минимум CPUT составит \$2,89 при PM через каждый 81 млн циклов. Другими словами, такая стратегия PM обойдётся в \$2,89 за млн циклов.

### Если ничего не сломалось — всё равно отремонтируй

Теперь давайте посмотрим, как будут ожидаемые расходы на ТО, если профилактическое обслуживание не проводится вовсе, а каждое реле просто заменяется после отказа. MCBF системы составляет 142 млн циклов, а расходы на незапланированное обслуживание примем как \$500 за каждый случай. Таким образом, ожидаемые расходы составят:  $\$500 / 142 = \$3,52$  за млн циклов. Сравним: профилактическое ТО через каждые 81 млн циклов позволит сэкономить почти 25%! В действительности экономия будет ещё больше, поскольку через каждые 81 млн циклов происходит запуск новой системы с новыми реле, каждое из которых имеет определённый срок стабильной работы до появления признаков износа. С другой стороны, если следовать стратегии замены после отказа, значительная часть незаменённых реле уже будет



в стадии износа. Вероятность их отказа куда выше, чем у новых реле, установленных в рамках стратегии профилактического технического обслуживания «заменить всё».

Теперь давайте рассмотрим плату с 64 реле того же типа и стоимости. Предположим, что параметр формы Вейбулла равен 2. Ресурсная характеристика системы при  $Beta = 2$  составляет 125 млн циклов. Замена всех реле в рамках профилактического ТО:  $\$5 \times 64 = \$320$ . Предположим, что стоимость незапланированного ремонта по-прежнему равна \$500. В этом случае оптимальный интервал РМ составит 201 млн циклов, с СРUT, равным \$4,42/млн циклов. С другой стороны, СРUT для стратегии UM составит  $\$500/125 = \$4/\text{млн циклов}$ . Соответственно, в данном случае дешевле просто заменять отказавшие реле, и параметр формы должен иметь существенно большее значение, чтобы стратегия профилактического ТО имела экономический смысл.

### Влияние параметра формы на стратегию профилактического ТО

В предыдущих примерах использовались скромные значения 1,5 и 2. При более высоком значении данного параметра выгода от применения стратегии РМ существенно возрастет. Для системы с 16 реле при  $Beta = 2$ , например, минимум СРUT составит \$1,47/млн циклов при интервале ТО в 112 млн циклов. Таким образом, экономия по сравнению со стратегией «чини, когда ломается» составит  $(\$1,47 - \$3,52)/\$3,52 = 58\%$ . В этом случае подход «не сломалось — не трогай» будет не самой удачной идеей. СРUT будет меньше, поскольку МСВФ системы теперь составит около 250 млн циклов, а кривая износа станет более крутой. Соответственно, интервал ТО можно увеличить. Это дополнительный пример необходимости учёта как МСВФ, так и параметра формы при оценке надёжности реле. Если производитель публикует не оба параметра, то потенциальному пользователю стоит запросить соответствующие значения, прежде чем выбирать какое-либо изделие. Качественный поставщик будет либо иметь эти параметры под рукой, либо готов про-

вести соответствующие испытания для демонстрации.

Обратите внимание, что стратегия профилактического ТО неэффективна, если параметр формы равен единице или менее. В этом случае отказы происходят случайным образом или их количество уменьшается со временем. Износ минимален, и СРUT никогда не демонстрирует минимума. Поэтому никакой экономии данная стратегия в такой ситуации не принесёт. К счастью, качественные реле никогда не имеют значения  $Beta \leq 1$ .

### Стратегии профилактического технического обслуживания — краткое резюме

Иногда подход «не сломалось — не трогай» не является надлежащей стратегией. Для систем с относительно небольшим количеством реле с параметром формы Weibull  $Beta > 1$  замена ВСЕХ реле в рамках профилактического ТО может сократить расходы по сравнению с простой заменой отказавших реле. Порог безубыточности зависит от количества реле в системе, параметра формы используемых реле, оценочной стоимости замены реле и оценочной стоимости ремонта отдельных реле в случае отказа. Coto работает над моделью, которая даст пользователям реле возможность провести подобные расчёты и выработать оптимальную стратегию профилактического ТО. Модель будет рассмотрена в следующем техническом описании.

### Прогнозирование надёжности реле на основе опыта

Описанные выше методы прогнозирования надёжности реле являются чисто эмпирическими и основаны на статистических оценках с использованием репрезентативных выборок. Но реле — относительно простые устройства. Можно ли спрогнозировать, как долго проработает реле, если знать его конструкцию и то, какую нагрузку оно будет коммутировать, на основе только физики устройства? Никто пока не добился

успеха, несмотря на простоту конструкции герконовых реле. Давайте для примера рассмотрим соотношение между сроком службы реле и электрической нагрузкой, которую оно коммутирует. Если при каждом цикле возникает дуговой разряд, можно предположить, что каждый такой разряд «срезает» некоторую часть материала с контактов, так что последние в конце концов просто прогорят и переключатель выйдет из строя. И на самом деле, есть несколько свидетельств подобного явления при коммутации герконовыми реле относительно высоких напряжений и токов. Значение параметра формы при таких нагрузках будет близко к стандартному 3,44 для расходных материалов. Более того, тестирование Coto показало, что МСВФ переключателей, работающих в условиях высокой нагрузки по напряжению или току, в первом приближении пропорционально толщине драгоценных металлов, используемых в контактах, что говорит в поддержку модели расходных материалов. Однако экстраполяция оценок срока службы на более низкие нагрузки крайне трудна. К примеру, соотношение срока службы и электрической нагрузки не является простой монотонной функцией, даже для переключателей того же размера, одинаковой конструкцией ножевых контактов, покрытием контактов и чувствительностью ампер-витка. Например, срок службы герконового реле, коммутирующего нагрузку в 5 В, 10 мА, может быть в сто раз больше, чем срок службы того же реле при нагрузке 12 В, 4 мА, даже если коммутируемая активная мощность практически идентична<sup>1</sup>. Такие явления серьёзно затрудняют прогнозирование срока службы на основе электрической нагрузки.

Есть некоторые свидетельства того, что параметрические измерения, выполняемые после изготовления реле, можно использовать для прогнозирования срока службы. Например, чувствительность амперного витка герконового выключателя тесно связана со сроком службы.

<sup>1</sup> Считается, что нагрузка 12 В приводит к формированию «усов» из расплавленного металла контактов. Эти «усы» в конце концов образуют перемычки и приводят к «залипанию» реле, поскольку ток 4 мА слишком слаб для того, чтобы сжечь их. Однако при нагрузке 5 В, 10 мА электростатические силы будут меньше (как и количество «усов»), а более высокий ток вполне способен с ними справиться.

Удвоение чувствительности может повысить срок службы реле в три раза, а утроение чувствительности витка может повысить срок службы при определённых нагрузках в двадцать раз. Причиной таких серьёзных улучшений являются большой интервал между переключателями, что снижает вероятность образования перемычек, а также более мощное воздействие пружины при высокой чувствительности витка, которая разъединяет ножевые контакты при отсутствии тока в катушке и уменьшении магнитного поля. Также с этим связано соотношение напряжений активации и деактивации. Высокое значение соответствует более быстрому срабатыванию, что также положительно сказывается на сроке службы контактов.

Измерения других параметров, например динамического сопротивления контактов (DCR, измерения сопротивления контактов сразу после замыкания, при ещё не прекратившейся вибрации), также позволяют спрогнозировать степень надёжности реле. Однако опубликовано слишком мало работ, описывающих степень корреляции. Тем не менее Coto постоянно замеряет DCR всех поставляемых реле, поскольку эта характеристика является хорошим показателем параметров качества реле 0 чистоты контактов, целостности герметичного уплотнения, наличия внутренних напряжений и прочности внутренних соединений.

Также было заявлено, что измерения магнитострикционного свечения на новых реле дают возможность рассчитать срок службы реле [3]. Измерения сопротивления контактов выполняются близко к точке спада, где происходит взаимодействие между магнитным потоком, создаваемым катушкой, и потоком, создаваемым током нагрузки на контакты. Сторонники данного метода заявляют, что описанное взаимодействие приводит к закрутке ножевых контактов и что выполненные таким образом измерения сопротивления контактов коррелируют с неизбежными отказами контактов. Относительная ценность данного метода в сравнении с другими методами динамических измерений обсуждалась Gusciora [4].

## Надёжность и конструкция герконовых контактов

Ни одна область в конструировании реле не является столь дискуссионной, как проектирование контактов:

- Какое покрытие контактов следует использовать;
- Рутений, родий или иридий;
- Должно ли покрытие наноситься гальваническим способом или напылением;
- Какова необходимая толщина контактов;
- Как выбранное покрытие справляется с бросками по току и другими нештатными нагрузками;
- Какую структуру слоя следует применить.

Coto Technology имеет многолетний опыт в решении подобных вопросов. Мы убеждены, что наилучшим вариантом покрытия контактов для большей части оборудования автоматического тестирования будет рутениевое напыление. Твёрдость и высокая температура плавления рутения в сравнении с другими металлами платиновой группы обеспечивают великолепные характеристики износа и сопротивление «залипанию». Нанесение рутения напылением — более медленный и дорогой процесс, чем гальванический способ, нередко используемый другими производителями. Однако напыление обеспечивает более высокую надёжность контактов за счёт устранения посторонних примесей.

Упомянутые качества были продемонстрированы в ходе контролируемого тестирования реле Coto в сравнении с аналогами от других производителей. Недавние независимые исследования подтверждают наши выкладки. Oshiyama и др. [5] обнаружили, что перенос металла при горячем переключении является основной причиной отказов по «залипанию» и что переключатели с рутениевыми контактами были в семь раз менее подвержены этому эффекту, чем переключатели с родиевыми контактами.

## Системы тестирования реле

Системы тестирования срока службы реле предъявляют порой уникальные

требования. В частности, они должны быть более надёжны, чем испытываемые устройства. Именно из-за этого в 1980-х Coto Technology разработала и выпустила первый тестер срока службы. С этого момента система обновлялась несколько раз. В настоящее время Coto обладает шестью тестерами, именуемыми Coto System 300, установленными в штаб-квартире компании на Род-Айленде, США, и на производстве в Мехико (рисунок 2).

Каждая система имеет 32 испытательных канала, способных тестировать герконовые переключатели при нагрузке, регулируемой от 0,03 В, 1 мА (30 мкВт) до 60 В, 1 А (60 Вт). Вспомогательные ведущие модули позволяют повысить нагрузку до 150 В, 10 А (1500 Вт) или 1000 В, 10 мА (10 Вт). Модульные вставные платы нагрузки позволяют использовать резистивную, емкостную, индуктивную или гибридную нагрузку (рисунок 3).



Рисунок 2. Система тестирования срока службы реле Coto Technology 300

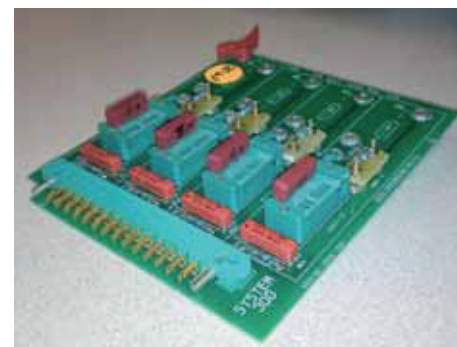


Рисунок 3. Система 300. Плата нагрузки системы тестирования срока службы

Частота испытательного цикла обычно устанавливается на 200 Гц, с опциональной развёрткой в 10 Гц до диапазона 255 Гц. Переключающиеся «залипания» и «незамыкания» проверяются на каждом цикле — при обнаружении отказа система ждёт 0,5 с и проводит повторную проверку. Если проблема не исчезла, регистрируется устойчивый отказ. Кроме того, через заданные интервалы выполняются параметрические измерения сопротивления контактов. Позднее можно построить график по этим данным, дабы оценить уровень деградации сопротивления в течение теста.

Записанные данные экспортируются в формат Microsoft Excel для последующей обработки с помощью статистических методов и соответствующего ПО.

Coto также имеет специализированное испытательное оборудование, позволяющее тестировать отдельные реле с применением высокочастотных нагрузок в диапазоне от 20 кГц до 1 МГц и собственно величиной нагрузки до 300 В, 6 А. Такие реле обычно используются в широкополосном и медицинском оборудовании. Специальная камера Coto позволяет проводить испытания в различных условиях окружающей среды — при температуре  $-40...+150\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

## Обеспечение максимальной надёжности герконовых реле

Вы приняли решение использовать герконовые реле в своём следующем коммутационном проекте и выбрали то, что показалось вам наиболее подходящим из устройств Coto. Прикладные инженеры Coto рассмотрели вашу заявку и подтвердили, что ваш выбор является наиболее подходящим. Что вы можете сделать во время процесса разработки для обеспечения максимальной надёжности? Вот несколько подсказок:

1. По возможности холодные переключатели.

Не всегда такой вариант является подходящим, но, тем не менее, если можно спроектировать систему так, чтобы реле переключались только

при отсутствии тока, то срок службы реле увеличится весьма серьёзно.

2. Избегайте реактивных нагрузок.

Герконовые реле наиболее надёжны при переключении резистивных нагрузок. Мощные броски по току от емкостных цепей могут привести к преждевременному выходу из строя или привариванию контактов. Индуктивные нагрузки могут привести к срабатыванию дуговых разрядов при размыкании. Если вам требуется коммутировать реактивную нагрузку — пожалуйста, свяжитесь с Coto для получения рекомендаций.

3. Поддерживайте небольшое перевозбуждение.

Для реле с номинальным напряжением катушки 5 В обычно указывается рабочее напряжение 3,8 В. Постарайтесь подавать на катушку напряжение побольше как минимум на 25%, то есть 4,75 В. Такое перевозбуждение позволит обеспечить плотность замыкания контактов и, как следствие, увеличить срок службы реле.

4. Магнитное взаимодействие.

Если реле располагаются на печатной плате близко друг к другу — удостоверьтесь, что они ориентированы так, чтобы уменьшить магнитное взаимодействие, способное повысить эффективное рабочее напряжение реле и, как следствие, снизить перевозбуждение. Обычно достаточно сориентировать реле друг к другу противоположными полюсами. Для получения более подробной информации об оптимальных схемах смотрите каталог Coto.

5. Используйте реле с вкладышем из чёрных металлов.

Многие реле Coto поставляются с вкладышем из чёрных металлов, который сводит к минимуму влияние магнитного взаимодействия и обеспечивает максимальное перевозбуждение катушки. По возможности выбирайте именно такие реле.

6. Поддерживайте рабочую температуру на низком уровне.

Сопротивление катушки герконового реле возрастает на 0,39% с каждым  $^{\circ}\text{C}$ . При постоянном напряжении на источнике питания катушки повышение температуры на  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  приводит к повышению сопротив-

ления на 20% и, следовательно, к 15%-ному уменьшению подаваемой на катушку мощности. Это снижает её перевозбуждение и может снизить срок службы реле.

7. Сохраняйте напряжение на катушке после замыкания реле.

Не используйте интегральные микросхемы, которые позволяют снизить напряжение на катушке после замыкания реле с целью экономии энергии (или просто отключите программное снижение напряжения). Большинство небольших герконовых реле не обладают разностью напряжений активации/деактивации, достаточной для поддержания перевозбуждения. Срок службы реле может снизиться.

8. Используйте независимый источник питания для катушек реле.

Катушки реле индуктивны и могут наводить потенциально опасные всплески по силовым кабелям. При проектировании систем обычно предусматривается независимый источник питания для катушек. Для всех реле, не снабжённых встроенными диодами, стоит рассмотреть методики подавления индуктивных всплесков с помощью диодов.

9. Запрограммируйте проведение тренировочного цикла времени от времени (для реле форм-фактора C).

Реле форм-фактора C обычно довольно редко и проводят немалую часть времени с нормально замкнутыми контактами. Иногда это может привести к инерционности контактов при первой активации или, в редких случаях, к «залипанию» в нормально замкнутом положении. Программирование тренировочного цикла позволит серьёзно исправить ситуацию.

## Распределение Вейбулла и методы расчёта его параметров

Это распределение широко описано в соответствующей литературе. Количество циклов до отказа для выборки реле и переключателей рассчитывается по методу наименьших квадратов с использованием функции распределения Вейбулла с двумя параметрами  $F(t)$ , где



$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}} \quad (5)$$

Здесь  $F(t)$  – функция ненадёжности,  $t$  – время или количество циклов до отказа,  $\eta$  и  $\beta$  – параметры распределения Вейбулла.

Данное уравнение можно привести к линейному виду с помощью преобразований:

$$y = \log_e(\log_e(1/(1-F(t)))) \quad (6)$$

$$x = \log_e(t) \quad (7)$$

После линейной регрессии  $x$  на  $y$  уклон линии регрессии =  $\beta$  и перхват =  $\beta \log_e(\eta)$ .

При наличии данных о количестве циклов до отказа для выборки реле

Таблица 2. Вычисление гамма-функции

Расширение числовой последовательности для $1/r(z)$	
6.1.34	$\frac{1}{\Gamma(z)} = \sum_{k=1}^{\infty} c_k z^k \quad ( z  < \infty)$
k	$c_k$
1	1.00000 00000 000000
2	0.57721 56649 015329
3	-0.65587 80715 202538
4	-0.04200 26350 340952
5	0.16653 8 6113 822915
6	-0.04219 77345 555443
7	-0.00962 19715 278770
8	0.00721 89432 466630
9	-0.00116 51675 918591
10	-0.00021 52416 741149
11	0.00012 80502 823882
12	-0.00002 01348 547807
13	-0.00000 12504 934821
14	0.00000 11330 272320
15	-0.00000 02056 338417
16	0.00000 00061 160950
17	0.00000 00050 020075
18	-0.00000 00011 812746
19	0.00000 00001 043427
20	0.00000 00000 077823
21	-0.00000 00000 036968
22	0.00000 00000 005100
23	-0.00000 00000 000206
24	-0.00000 00000 000054
25	0.00000 00000 000014
26	0.00000 00000 000001

значения  $F(t)$  можно рассчитать с помощью аппроксимации Бенара:

$$F(t) = (j-0,3)/(N+0,4) \quad (8)$$

где  $j$  – порядковый номер ранга, а  $N$  – суммарное количество отказов. Для работы с цензурированными данными компонентами, прошедших тест без поломок, предпринимаются особые предосторожности.

МСBF изделия и порог его достоверности рассчитываются по значениям параметров  $\eta$  и  $\beta$  Вейбулла. Параметр  $\eta$  – ресурсная характеристика. Параметр уклона Вейбулла  $\beta$  особенно важен, поскольку его величина связана с характеристиками износа тестируемого изделия. Значение  $\beta < 1$  указывает на возможность отказов во время приработки, количество которых можно снизить доработками устройств у производителя и отследить путём испытания на принудительный отказ. Значения  $\beta > 1$  более желательны, поскольку являются показателем нормального механизма износа после некоторого периода стабильной работы. Обычно значения  $\beta$  для герконовых реле лежат в диапазоне от 1,5 до 4.

Уравнение регрессии, приведённое ранее, можно встроить в стандартные редакторы таблиц, например Microsoft Excel. Однако обработка наборов данных, содержащих цензурированную информацию, не так проста. Коммерческие программные пакеты, к примеру Reliasoft Weibull++ [6] или Minitab [7], существенно упрощают расчёты, а также обладают возможностью расчёта дополнительных параметров, например порога достоверности.

### Расчёт МСBF по параметрам масштаба $\eta$ и уклона $\beta$

МСBF можно рассчитать по выражению:

$$МСBF = \eta \Gamma(1+1/\beta) \quad (9)$$

где  $\Gamma(z)$  – гамма-функция. Эту функцию можно найти в таблицах или легко рассчитать в табличном редакторе, используя расширение числовой последовательности, показанное в таблице 2. Пакет Reliasoft Weibull++ имеет собственный калькулятор МСBF, что существенно упрощает операцию.

Для получения самой свежей информации обращайтесь в компанию Сканти [www.scanti.com](http://www.scanti.com)

## Литература

- Weibull W. "A Statistical Distribution of Wide Applicability", J. Appl. Mech.18:293-297 (1951).
- Dodson B. Weibull Analysis, Milwaukee WI: American Society for Quality, 1994 (ISBN 0-07389-295-X).
- Sutherland E. F., "Predicting Early Failure of Dry Reed Contacts", Proc. 25th Annual Relay Conference, Oklahoma State University, April 26/27, 1977.
- 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.
- Oshiyama Y., M. Fukushima and F. Katada, "Life Time Diagnosis of Reed Relays Operated Under Hot Conditions". Proceedings of the 50th Int'l Relay Conference, Newport Beach, Ca., USA, April 14-17, 2003. pp 4/1 – 4/5.
- Reliasoft Weibull++ Version 7 (Reliability Statistics Software). Tucson AZ: Reliasoft Corporation. [www.reliasoft.com](http://www.reliasoft.com).
- Minitab Version 15 for Microsoft Windows (Statistical Software). State College PA: Minitab Inc. [www.minitab.com](http://www.minitab.com).
- Abramowitz, Milton; Stegun, Irene A., eds. (1972). Handbook of Mathematical Functions with Formulas, Graphs, and Mathematical Tables, New York: Dover Publications, ISBN 978-0-486-61272-0.



# Эффективный электропривод с новым высокоскоростным и точным токочувствительным усилителем от TI

**Самый передовой в отрасли монитор с токовым шунтом повышает эффективность и точность систем управления электродвигателем и соленоидом.**

Корпорация TI представила новый токочувствительный усилитель для измерения фазового тока встроенного двигателя, повышающий общую эффективность электродвигателя в сравнении с существующими токочувствительными усилителями. Устройство INA240 обеспечивает более эффективное подавление широтно-импульсной модуляции (PWM) для систем, работающих с напряжениями до 80 В, таких как системы управления электродвигателями и соленоидами, а также для систем энергоснабжения.

## Основные характеристики и преимущества:

- Более эффективное подавление широтно-импульсной модуляции (PWM), приводящее к повышению эффективности работы электродвигателя.
- Наличие высокоскоростных встроенных систем управления двигателем с широтно-импульсной модуляцией (PWM) обуславливает необходимость высокой точности питания переменным или постоянным током. Большая эффективность подавления широтно-импульсной модуляции (PWM) устройством INA240 улучшает подавление переходных колебаний и даёт проектировщикам возможность снизить время гасящего импульса, оптимизировать алгоритм управления двигателем и существенно повысить



- Improves efficiency and accuracy for motor and solenoid control applications
- Operates at PWM rates in excess 100 kHz
- Industry's best low offset voltage (5  $\mu$ V) and offset drift (50 nV/C)

 TEXAS INSTRUMENTS

эффективность работы электродвигателя.

- Гибкость для большого разнообразия систем электродвигателя. Устройство INA240 работает при частоте широтно-импульсной модуляции (PWM) свыше 100 кГц со временем переключения до 10 В/нс, при этом обеспечиваются напряжения системы до 80 В; также обеспечиваются требования, действующие для широкополосных систем. Данное устройство способно работать при наличии отрицательных напряжений (до -4 В), наводимых при индуктивных выбросах обратного напряжения на электродвигателе.
- Лучшие в отрасли показатели эффективности и точности. Устройство INA240 обеспечивает наилучшее в отрасли сочетание

низкого напряжения смещения нуля на выходе усилителя (5 мВ), дрейфа напряжения смещения (50 нВ/°C), погрешности коэффициента усиления и параметров смещения (соответственно, 0,05% и 0,5 миллионной доли/°C). Устройство также обеспечивает отличное значение коэффициента усиления синфазного сигнала переменного тока (CMRR), равное 93 дБ при частоте 50 кГц. Устройство INA240 обеспечивает высокую эффективность в широком диапазоне рабочих условий.

- Более высокая эффективность для любых технических решений, касающихся управления электродвигателем.

Точность работы устройства INA240 демонстрируется в трёхфазном высокочастотном инвертирующем

преобразователе на нитриде галлия (GaN) для типовых конструкций бесщёточных электродвигателей. Типовая конструкция данного модуля BoosterPack™ с быстроразъёмным подключением соединяется в пару с комплектом C2000™ LaunchPad™, что показывает, каким образом проектировщики могут использовать устройство INA240 и полумостовой силовой каскад на нитриде галлия LMG5200 GaN для снижения потерь при переключении в широком диапазоне температур, до 125 °С, облегчая применение более высоких частот широтно-импульсной модуляции (PWM), и снижать требования относительно отведения тепла.

Техническую поддержку можно получить на форуме по вопросам датчиков тока сообщества E2ETM корпо-

рации TI, где инженеры могут найти готовые решения, получить помощь, поделиться знаниями и решить проблемы, общаясь со своими коллегами и экспертами. Как и во всех остальных устройствах контроля тока, проектировщики имеют доступ к полному комплексу ресурсов поддержки, включая полный комплект документации по типовым проектам, отладочные платы (EVM), курсы обучения в режиме онлайн и SPICE-модели (специальные программы эмулирования интегральных схем).

### Корпуса, упаковка, наличие и цены

Устройство INA240 в настоящее время предлагается в небольших 8-контактных корпусах (TSSOP)

размером 3×4,4 мм, упакованных в термоусадочную пленку, в магазине корпорации TI, а также официальными дистрибьюторами. Для партии из 1000 приборов установлена цена \$0,99 США за штуку. В настоящее время в магазине корпорации TI предлагается отладочная плата (EVM) по цене \$25 США.

Устройство INA240 представляет собой очередное расширение растущей линейки продукции корпорации TI для инновационных токочувствительных усилителей, воплощающих в себе передовое сочетание мощности, эффективности и точности. Ознакомьтесь с полным ассортиментом токочувствительных усилителей корпорации TI. Узнайте больше об ассортименте токочувствительных усилителей корпорации TI.

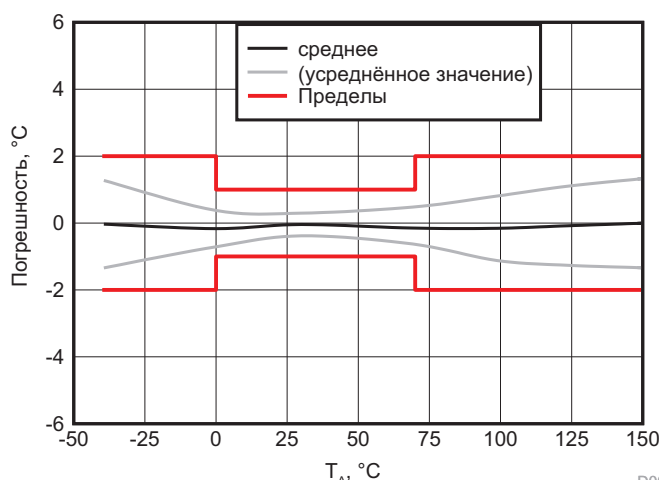
Дополнительная информация на сайте [www.ti.com/INA240-pr-eu](http://www.ti.com/INA240-pr-eu)

## Недорогой аналоговый температурный датчик TMP235 с базовой погрешностью в 1–2 °С.

Датчик TMP235 бросает вызов другим решениям в области измерения температуры. TMP235 имеет среднюю погрешность  $\pm 0,5^\circ\text{C}$  в диапазоне  $-40...+150^\circ\text{C}$  и максимальную для этого диапазона  $\pm 2^\circ\text{C}$  (для версии A2), приятный для монтажа корпус SC70 и диапазон напряжения питания от 2,3 до 5,5 В. Максимальное потребление – 10 мкА,

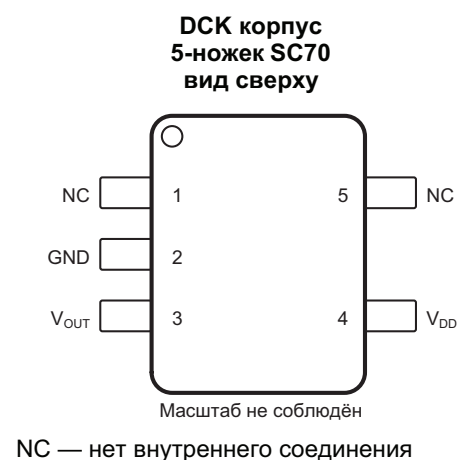
что позволяет успешно использовать датчик в приборах с батарейным питанием. Также TI позаботилась о совместимости выводов с большим количеством других решений в этой области.

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



TMP235:  $V_{DD}=2,3-5,5\text{ В}$   $I_{OUT}=0\text{ мкА}$ ,  $C_{LOAD}=1000\text{ пФ}$

Зависимость погрешности выходного датчика от температуры (модель TMP235A2)



## Усовершенствование квадрокоптеров с помощью комплектующих TI

В Texas Instruments мы ценим умельцев и энтузиастов, которые любят придумывать и создавать что-то новое в своё свободное время.

Каждое лето сотрудник TI Ганс-Мартин Хилбиг (Hans-Martin Hilbig) приглашает своих подчинённых на барбекю в свой дом в Ландсхуте, в Германии. Но в гости к нему приходят не только для того, чтобы отведать чего-нибудь вкусненького. Гвоздь программы – развлекательная часть после застолья, когда Ганс-Мартин демонстрирует своё увлечение и страсть – эскадрилью квадрокоптеров, которые он усовершенствовал с помощью комплектующих TI.

«Я люблю делиться радостью с моими коллегами и их детьми, – говорит Ганс-Мартин, менеджер программ, работающий в группе, которая занимается контроллерами MSP430 в TI. – Мы, профессиональные инженеры,

обязаны показать нашим детям, что можно сделать с помощью электроники и как много радости это может принести».

Для менеджера по системам MSP Тобиаса Ляйсанга (Tobias Leisgang) и его сыновей 7 и 10 лет эта летняя барбекю-вечеринка – главное событие сезона. «Оба моих сына всегда ждут это событие затаив дыхание», – говорит Тобиас.

Самый последний проект Ганса-Мартина – беспилотник с шасси, которые запрограммированы на их автоматическое складывание, когда он отрывается от земли. Этот беспилотник триумфально дебютировал на встрече сотрудников TI «Сделай сам» 13 апреля во Фрайзинге. Такая встреча – одна из четырёх встреч «Сделай сам», которые будут проходить по всему миру на площадках TI в США, Германии, Индии и Китае.

### Берём новые высоты

На предыдущей встрече TI «Сделай сам» Ганс-Мартин показал летающие беспилотники, оснащённые дистанционно управляемой камерой GoPro, а в этом году он берёт новые высоты, демонстрируя аппарат с шасси.

«Причина в том, что опоры шасси могут заслонять обзор камере, когда она работает в широкоугольном режиме, – поясняет он. – Часть шасси попала бы в кадр, а это очень мешает».

Ганс-Мартин решил сделать складывание шасси автоматическим по очень простой причине: «Потому что, – говорит он, – у меня не осталось каналов дистанционного управления». Механизм имеет в своей основе датчик барометрического давления, который соединён с микроконтроллером MSP430. Принцип действия прост – чем выше поднимается беспилотник, тем ниже давление воздуха.

Когда давление падает до заданного уровня в ходе набора высоты аппаратом, шасси убираются. Когда аппарат снижается достаточно низко, чтобы давление превысило пороговый уровень, шасси выпускаются для посадки.

Оборудование, которое управляет шасси, также автоматически регулирует



Рисунок 1. Запуск беспилотника. Взлет с шасси



Рисунок 2. Шасси убраны



ет угол наклона камеры беспилотника в зависимости от высоты его полёта, чтобы угол наклона камеры всегда был оптимальным для съёмки объектов на земле – более вертикальным для съёмки с больших высот и более горизонтальным на малых высотах.

«С точки зрения аппаратного обеспечения это было совсем не сложно, не так много компонентов, – рассказывает Ганс-Мартин. – Поэтому я подумал: «Какую же максимальную отдачу я смогу получить от этого с точки зрения программного обеспечения?»

«Разработка была сделана на обычном комплекте MSP430 LaunchPad с заказной печатной платой, потому что на этом беспилотнике у меня не осталось свободного места, и мне нужно было уменьшить всё. Чем больше у вас полезной нагрузки, тем больше энергии потребляет система и тем меньше времени она способна оставаться в воздухе. Поэтому я занялся решением данной проблемы».

## Больше времени в воздухе

Увеличение времени полёта было целью Ганса-Мартина с тех пор, как он увлёкся беспилотными летательными аппаратами четыре года назад. Во время одной из командировок в Гонконг в обеденный перерыв он отправился с одним из местных сотрудников TI на улицу, где было множество магазинов, торговавших исключительно радиоуправляемыми беспилотниками. Ганс-Мартин, в молодости увлекавшийся радиоуправляемыми самолётами, был поражён.

«Я просто заболел этим», – рассказывает он.

«Болезнь» быстро переросла в одержимость. Ганс-Мартин начал с маленьких недорогих радиоуправляемых вертолётов и очень быстро обнаружил



Рисунок 3. Увеличение времени полёта

огромные возможности мультикоптеров. Разработчик говорит, что эта его страсть подпитывалась несколькими вещами, начиная с механического аспекта. Хотя по образованию Ганс-Мартин инженер-электротехник, как и большинство инженеров, поначалу он заинтересовался этим направлением, ремонтируя и паяя разные устройства в молодости.

«Мне нравятся механизмы, а это большая часть создания БПЛА, – говорит он. – Но теперь я уже не молодой человек и обычно мне не приходится возиться с паяльником на работе. Делать это в свободное время для меня – идеальное занятие, потому что в душе я всё тот же молодой инженер».

Наконец, есть программное обеспечение, которое, как сам Ганс-Мартин признаётся, не совсем его область. Он говорит, что пакет Energia обеспечивает как раз нужный уровень абстракции для умельцев, чтобы сосредоточиться на решении и не тратить слишком много времени на разработку программного обеспечения.

«Комплекты разработчика (LaunchPad) и Energia – это идеальная платформа для быстрого создания опытных образцов с использованием микроконтроллеров TI», – считает он.

Есть ещё один аспект, который Ганс-Мартин тоже называет «бонусом». Поворачивать квадрокоптеры в полёте – это отличное упражнение для мозга. «Я понял это, потратив немало времени на то, чтобы освоить это на практике, – говорит он. – Управляя летающими мультикоптерами, получаешь умственную тренировку. Пока эта штука движется в одном направлении, всё логично. Командуешь вправо, и он летит вправо. Командуешь влево, и он идет влево. Вперед, так вперед, назад, и он движется назад к тебе. Но как только захочешь повернуть, всё становится сложно». На это нужно время, но Ганс-Мартин говорит, что сейчас он достиг такого этапа, что управляет летящим беспилотником почти рефлексивно. Тем не менее управление маленьким аппаратом, когда хочешь, чтобы он летел со скоростью 40 миль в час на дистанционном управлении без аварий, требует сильной концентрации.

«Они летают всего несколько минут – у меня самый долгий полёт был

примерно 11 минут, – говорит он. – Но в течение этих 11 минут ты должен сосредоточиться только на нём и ни на чём больше. Если чувствуешь себя вымотанным, потому что голова кругом идёт после трудного рабочего дня, попробуй, сконцентрируйся на 11 минут на этой штуке и ни на чём больше, и почувствуешь себя лучше».

Работа Ганса-Мартина над его беспилотниками имеет ещё один плюс, говорит его сотрудник, Томас Митнахт (Thomas Mitnacht), менеджер по инструментам разработки микроконтроллеров MSP. Это заставило его серьёзнее относиться к тому факту, что технологии TI используют не только профессионалы.

«Это даёт ему более широкое видение того, что является «последним словом техники» и что происходит в отрасли в настоящее время, – говорит Томас. – И зная это, он заставляет организацию уделять больше внимания таким энтузиастам, сообществам умельцев и любителей делать что-то своими руками. И кто знает? Может быть, кто-нибудь из них станет главой следующей Apple». Может быть, это даже будет один из сыновей Тобиаса, которые не просто не могут дождаться следующей барбекю-вечеринки – они уже сами управляют беспилотниками.

«Да, мне пришлось купить им маленький квадрокоптер в одной из своих командировок в Китай, – говорит Тобиас. – Они ещё не в том возрасте, когда могут сами делать такие вещи, но, может быть, это время не за горами».

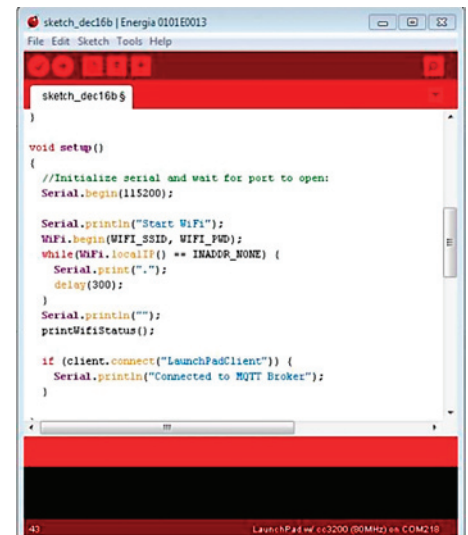
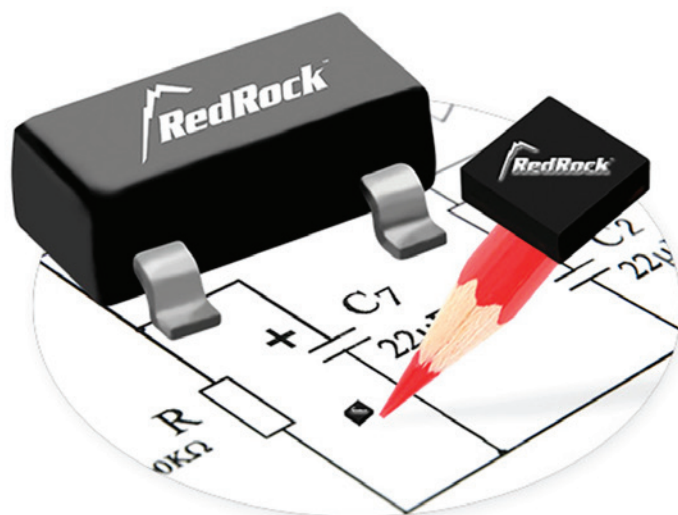


Рисунок 4. Программное обеспечение Energia





## Туннельный магниторезистивный (TMP) датчик RR121 серии RedRock™

**RR121** – это магнитный датчик серии *RedRock™*, с цифровым логическим выходом, исключительно низким энергопотреблением и большим динамическим диапазоном (по обоим параметрам существенно превосходит датчик Холла). Выпускаются модели как с аналоговым так и с цифровым выходом. Основанный на запатентованной технологии туннельной магниторезистивности (TMP), **RR121** предлагает множество конфигураций с различными параметрами для таких приложений, как: датчик приближения, датчик вращения и детектор уровня.

Идеально подходит для использования в медицинских, промышленных, автомобильных и потребительских приложениях.

### Основные характеристики датчика RR121

- Чувствительность от 9 Гс (0,9 Тл) до 30 Гс (3 Тл)
- Малый средний ток 200 нА
- Рабочая частота до 10 кГц
- Высокий диапазон рабочих температур от -40°C до +125°C

Марк Э. Буччини (Mark E. Buccini)

## Технология интеллектуальных датчиков на основе эффекта Холла с субмикроамперными токами обеспечивает 20-летний срок службы аккумуляторов

Тщательно выверенный баланс между аппаратным обеспечением и встроенным программным обеспечением позволяет создать системы датчиков, увеличивающие срок службы аккумуляторов.

Не имеющие аналогов характеристики датчиков Холла семейства DRV5000 в сочетании со сверхнизким энергопотреблением микроконтроллеров MSP430™ впервые позволяют обеспечить питание интеллектуальных систем обнаружения физического присутствия, таких как датчики охранной сигнализации на дверях и окнах, а также электронных приборов учёта напрямую от одного единственного недорогого плоского круглого аккумулятора типа CR2032 в течение более двадцати лет непрерывной работы.

По сравнению с системами датчиков, всегда находящихся в активном состоянии, интеллектуальную систему датчиков Холла можно спроектировать с потребляемым током, пониженным с уровня, который обычно составляет порядка мА, до токов ниже мкА, то есть с уменьшением более, чем в 1000 раз. Это достигается сочетанием короткого времени запуска и широкого диапазона рабочего напряжения датчиков Холла DRV5000 со сверхнизким энергопотреблением микроконтроллеров MSP430. Такая система датчиков с чрезвычайно низким энергопотреблением позволяет реализовать обнаружение физического присутствия, например, системы

охранной сигнализации с датчиками на дверях и окнах, и электронные приборы учёта, питающиеся напрямую от одного единственного недорогого плоского круглого аккумулятора типа CR2032 в течение более двадцати лет непрерывной работы.

Рассматриваемая в этой статье технология, позволяющая реализовать системы датчиков со сверхнизким энергопотреблением (ULP), предполагает:

- работу системы в режиме ожидания со сверхнизким энергопотреблением в качестве нормального режима работы
- организацию работы датчика в виде рабочего цикла применение встроенного программного

обеспечения, следящего за энергопотреблением

На рисунке 1 показан упрощённый пример схемы очень недорогой системы, которая не требует никакой внешней калибровки. Интеллектуальная система датчиков Холла, полностью работающая в субмикроамперном диапазоне, обнаруживает присутствие магнита и питается напрямую от аккумулятора CR2032.

### Датчики Холла семейства DRV5000

Датчики Холла семейства DRV5000 – это удобные 3-контактные устройства с контактами для питания, заземления и выходного сигнала. Датчик DRV5023, показанный на рисунке 1, имеет цифровой выход и обнаруживает магнитное поле с индукцией 9 мТл или более. Хотя это зависит от магнита, датчик DRV5023 может обеспечить надёжное обнаружение обычного недорогого керамического магнита на расстоянии 1 см. Если требуется, можно использовать другие датчики семейства с различными уровнями чувствительности. Цифровой выход датчика разомкнут при отсутствии магнитного поля и устанавливается в состояние низкого уровня сигнала при наличии достаточно сильного поля южной полярности. В приведённом примере схемы «безопасное состояние» соответствует ситуации, когда магнит находится в непосредственной близости к датчику, а «состояние сигнала тревоги» – когда магнита нет. Отсутствие магнита с полем южной полярности – это то, что в данном случае контролируется.

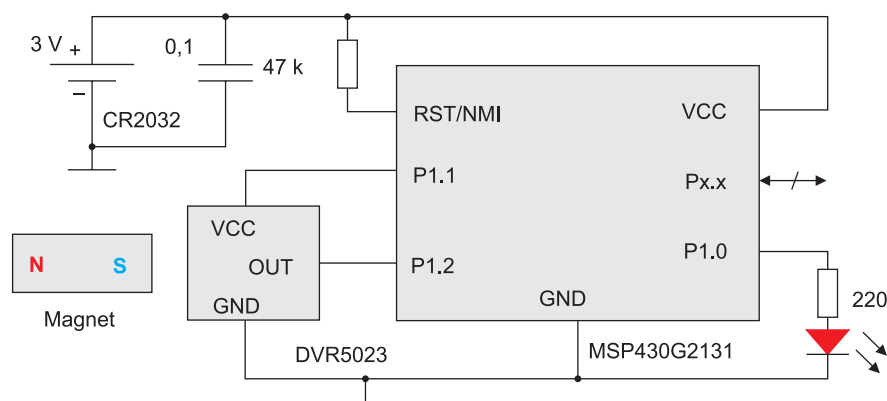


Рисунок 1. Интеллектуальная система датчиков Холла с субмикроамперными токами

Поскольку DRV5023 имеет исключительно широкий диапазон рабочего напряжения – от 3,8 до 2,5 В, это устройство может питаться непосредственно от плоского круглого аккумулятора CR2032 с напряжением 3 В. Характеристика разряда CR2032 на уровне 3 В остается плоской почти до полной разрядки аккумулятора, что позволяет использовать большую часть заряда при напряжении отсечки 2,5 В. При этом напряжении отсечки полезная ёмкость аккумулятора составляет 200 мАч при полной ёмкости 240 мАч. Таким образом, 83% ёмкости аккумулятора может быть использовано в диапазоне напряжения от 3 до 2,5 В.

Датчик Холла обладает коротким временем включения (не более 50 мкс), что и используется в данном примере. Это позволяет часто отключать питание всего устройства, чтобы сэкономить энергию и продлить срок службы аккумулятора.

Другим вариантом устройства на основе эффекта Холла является многополярный датчик DRV5033, который обнаруживает магнитное поле северной и южной полярностей и осуществляет их логическое сложение (операцию «ИЛИ»). При использовании многополярного датчика магнит может быть ориентирован либо серверным, либо южным полюсом перпендикулярно к датчику. Выходные сигналы при этом будут одинаковыми. Это свойство упрощает сборку конечного изделия.

### Нормальным режимом работы является режим ожидания со сверхнизким энергопотреблением

Управление системой осуществляется микроконтроллером MSP430G2131 – самым недорогим вариантом микроконтроллера семейства MSP430. Как и все устройства MSP430, этот микроконтроллер обладает сверхнизким энергопотреблением, особенно в режиме ожидания, который называется режимом низкого энергопотребления 3 (LPM3). В режиме LPM3 с работающим внутренним осциллятором со сверхнизким энергопотреблением (VLO)

с частотой 12 кГц, с включённым таймером, сохранением состояний как запоминающего устройства, так и периферийных устройств, и включённой защитой от сброса при временном пропадании питания (BOR) все устройство потребляет всего 0,5 мкА при напряжении 3 В [2].

Частота осциллятора VLO – 12 кГц – также может быть разделена на 8 в схеме тактирования микроконтроллера, чтобы получить еще меньшую частоту тактового сигнала в режиме ожидания – приблизительно 1,5 кГц. Это небольшое изменение в системе тактирования оправдало себя в ходе стендовых испытаний, позволило снизить ток в режиме ожидания с 0,5 приблизительно до 0,3 мкА. Это нормальный режим работы устройства и всей системы датчиков, рассматриваемой в этой статье.

С запрограммированной периодичностью таймер, получающий тактовый сигнал от VLO, прерывает микроконтроллер и «будит» устройство, переводя его в полностью активный режим в течение времени, составляющего менее 1 мкс. В активном режиме отдельный осциллятор с цифровым управлением (DCO) и частотой 1 МГц подает тактовый сигнал на микроконтроллер, а VLO используется только для тактирования таймера активации. После активации микроконтроллер подает питание на датчик и снимает его сигнал, а затем сразу же возвращается в режим LPM3, как только магнит обнаружен. При отсутствии магнитного поля формируется сигнал тревоги.

### Организация рабочего цикла датчика

Датчик Холла имеет полосу пропускания 20 кГц, что на порядок больше, чем нужно для физического обнаружения. По этой причине в рассматриваемом примере в нормальном режиме работы датчик полностью отключен от питания, и периодически на него подается питание, снимается его сигнал, а затем он вновь полностью отключается от питания. Цель такого режима – снизить среднее энергопотребление за счёт активного рабочего цикла наименьшей реализуемой длительности. Чем дольше датчик может оставаться в состоянии

отключённого питания, тем меньше будет средний ток.

Поскольку датчик, когда он активирован, обычно потребляет всего 2,8 мА, любой вход/выход общего назначения (GPIO) микроконтроллера, сконфигурированный в качестве выхода, можно использовать напрямую в качестве коммутируемого источника питания датчика (в данном примере используется P1.1). Согласно техническим данным микроконтроллера, напряжение на выходе GPIO, подающем ток 2,8 мА при напряжении 3 В, упадёт менее чем до 100 мВ, что незначительно для данной системы. Выход с открытым истоком датчика можно подключить к любому из выводов GPIO микроконтроллера, который сконфигурирован в качестве входа с включённым дополнительным подтягивающим сопротивлением. В данном примере используется вывод микроконтроллера P1.2.

В этом примере, если обнаруживается магнитное поле достаточной силы, что соответствует «безопасному состоянию», датчик установит низкий уровень сигнала на выходе. Когда на датчик подаётся питание, для достижения устойчивого состояния выхода датчика требуется всего 50 пс. После подачи питания на датчик микроконтроллер просто считывает состояние выхода датчика и принимает соответствующее решение.

### Анализ энергопотребления

Типичная система в активном состоянии обеспечивала бы питание как датчика, так и микроконтроллера напрямую от источника питания при токах в несколько миллиампер. В такой энергоёмкой системе датчик потребляет 2,8 мА, а MSP430 – 300 мкА при частоте 1 МГц. Считывание сигнала датчика происходит с той скоростью, с какой микроконтроллер способен выполнять бесконечный цикл, реализованный во встроенном программном обеспечении. В таком режиме, при тактовой частоте микроконтроллера 1 МГц, если считать, что цикл считывания сигнала датчика осуществляется за 10 тактов, считывание сигнала датчика будет происходить с частотой 100 кГц. Если и датчик, и микроконтроллер подключены

к питанию постоянно, потребляемый ток типичной системы рассчитывается следующим образом:

$$I_{\text{средний (тип.)}} = I_{\text{датчика}} + I_{\text{микроконтроллера}} = 2,8 + 0,3 = 3,1 \text{ мА}$$

Решение для системы ULP, описываемое в этой статье, работает в режиме ожидания, который является его нормальным режимом работы, потребляя ток 0,3 мкА. В режиме ожидания питание датчика полностью отключено, и только микроконтроллер вносит свой вклад в потребление тока, который считается постоянным. В решении для ULP в активном состоянии общее потребление тока системой составляет 3,1 мА, что равно потреблению типичной системы, но в данном случае оно имеет место только в течение коротких периодов длительностью 65 мкс. Каждый активный период включает в себя включение питания датчика (50 мкс) и выполнение последовательности операций по принятию решения встроенным программным обеспечением микроконтроллера (15 мкс). Последовательность операций активного интервала длительностью 65 мкс повторяется с частотой 3 Гц (каждые 0,333 с), что достаточно для большинства систем обнаружения присутствия. Если система активирована всего 195 мкс (65 мкс × 3) в течение каждой секунды, активный рабочий цикл составляет всего 0,0195%.

Тогда средний ток, потребляемый всей системой, если положить частоту считывания сигналов датчика равной 3 Гц, можно рассчитать с помощью следующего выражения:

$$I_{\text{средний (3 Гц)}} = I_{\text{ожидания}} + (I_{\text{измерения}} \times \text{активный рабочий цикл}) = 0,3 \text{ мкА} + [3,1 \text{ мА} \times (65 \text{ мкс} / 0,333 \text{ с})] = 0,9 \text{ мкА}$$

Если требуется частота считывания сигнала датчика, отличная от 3 Гц, в первую очередь это повлияет на энергопотребление – меньшая частота снижает энергопотребление, более высокая частота увеличивает его. В режиме ожидания значение тока будет постоянным. Например, если требуется более высокая частота

считывания – 50 Гц (период 0,02 с), средний ток рассчитывается следующим образом:

$$I_{\text{средний (50 Гц)}} = I_{\text{ожидания}} + (I_{\text{измерения}} \times \text{активный рабочий цикл}) = 0,3 \text{ мкА} + [3,1 \text{ мА} \times (65 \text{ мкс} / 0,02 \text{ с})] = 10,4 \text{ мкА}$$

Как указано выше, полезная ёмкость аккумулятора CR2032 в диапазоне напряжения от 3 до 2,5 В равна 200 мАч. Разделив ёмкость аккумулятора на общий средний ток, потребляемый системой ULP, который равен 0,9 мкА, получаем теоретическое количество часов работы системы, как показано ниже.

$$\text{Срок службы аккумулятора (3 Гц)} = \text{ёмкость аккумулятора} / I_{\text{средний}} = 200 \text{ мАч} / 0,9 \text{ мкА} = 222 \text{ 222 ч (25 лет)}$$

### Встроенное программное обеспечение, следящее за энергопотреблением

Встроенное программное обеспечение очень простое и понятное. Сначала подпрограмма инициализации конфигурирует главную тактовую частоту системы микроконтроллера, устанавливая ее равной 1 МГц, частоту VLO – 1,5 кГц, конфигурирует вход/выход GPIO и включает прерывание сторожевым таймером (WDT) с частотой 3 Гц.

В основном теле встроенного ПО бесконечный цикл с проверкой условия (1) сразу же переводит микроконтроллер в режим ожидания LPM3. С частотой 3 Гц работа ЦП прерывается подпрограммой обработки прерывания (ISR) WDT, что заставляет систему выйти из режима LPM3. После этого подается питание на датчик Холла через контакт GPIO P1.1, вызывается задержка длительностью 50 мкс, и используется одна конструкция условного перехода для проверки выхода датчика Холла на контакте GPIO P1.2. Если выход датчика находится в состоянии высокого уровня сигнала, достаточного магнитного поля нет и предпринимается соответствующее действие по подаче

сигнала тревоги. В данном примере действие по подаче сигнала тревоги заключается в том, что загорается светодиод на контакте P1.0. Если выход датчика находится в состоянии низкого уровня, магнитное поле есть и никаких действий не предпринимается. Тело встроенной программы показано ниже:

```
while (1) {
// Вход в режим LPM3
_BIS_SR(LPM3_bits + GIE);
// Поддача питания на датчик Холла
P1OUT |= 0x02;
__delay_cycles(50);
// задержка 50 мкс на включение
if (P1IN & 0x04) питания датчика
Холла
P1OUT |= 0x01;
// Датчик Холла не активен?
Else
// да, включение светодиода
P1OUT &= ~0x01; на P1.0
P1OUT &= ~0x02;
}
// нет, светодиод на P1.0 остается выключенным
#pragma vector=WDT_VECTOR
// Отключение датчика Холла
__interrupt void watchdog_timer (void)
{
_BIC_SR_IRQ(LPM3_bits);
}
// Удаление битов LPM3 из 0(SR)
```

### Заключение

Все встроенное программное обеспечение для интеллектуальной системы датчиков Холла с субмикроамперными токами занимает менее 200 байт в пространстве кода flash-памяти из 2 кбайт, доступных в микроконтроллере MSP430G2131. Остальное пространство для кода можно использовать для реализации большого объема специфических потребностей конкретной системы. ОЗУ используется только для системного стека. Сигнал тревоги, подаваемый светодиодом, который используется в данном примере, можно заменить сигналом зуммера или даже маломощного радиопередатчика. Несколько датчиков Холла можно подключить к одному микроконтроллеру, в зависимости от наличия доступных выводов GPIO микроконтроллера.



В системе может потребоваться реализовать функцию индикации низкого заряда аккумулятора, и такую функцию можно легко добавить с помощью резисторного делителя с высокими номиналами, питание на который периодически подается с вывода GPIO микроконтроллера, имеющего такое же напряжение, как у аккумулятора. Это деленное напряжение аккумулятора можно приблизительно измерять с помощью имеющегося встроенного компаратора микроконтроллера и внутреннего опорного напряжения 0,55 В, чтобы получить значение напряжения аккумулятора. Например, делитель с номиналами резисторов 10 и 2,7 кОм при поданном напряжении аккумулятора 2,6 В даст напряжение, равное внутреннему опорному напряжению

0,55 В. Это может быть отличным пороговым уровнем предупреждения о низком заряде аккумулятора. Такая проверка аккумулятора требует менее 400 мкА для ЦП, делителя и компаратора вместе взятых. Этой конфигурации требуется менее 20 мкс для выполнения измерения, и она не оказывает значительного влияния на общее потребление тока системой.

Во время нахождения системы ULP в режиме ожидания LPM3 сторожевой таймер микроконтроллера получает тактовый сигнал от VLO, который имеет очень низкое энергопотребление, но его частота устанавливается не очень точно. Ввиду этого может быть желательно калибровать неточный низкочастотный VLO калиброванным высокочастотным DCO. Способ калибровки VLO описан в до-

кументе по применению TI под названием: «Использование библиотеки VLO». В этом случае можно использовать таймер А микроконтроллера с одиночным тактовым сигналом для точной настройки интервала активации вместо грубого WDT.

Схема, описанная в этой статье, прошла испытания. Представленные величины энергопотребления являются типичными и получены при комнатной температуре. На практике аккумулятор имеет утечку 1–2% в год. Принимая во внимание ежегодный саморазряд аккумулятора на 2%, описанная система датчиков все же обеспечит 20-летний срок службы аккумулятора при резервной ёмкости 13 мАч – более двух десятилетий непрерывной работы от обычного аккумулятора типа CR2032.

## TPL7407LA – мощный 7-канальный МОП-ключ

TI представляет микросхему 7-канального ключа TPL7407LA – усовершенствованный аналог широко известного изделия ULN2003A. Микросхема выполнена по КМОП-технологии и обеспечивает коммутацию напряжения до 30 В при токе нагрузки каждого канала до 600 мА. В состав ключей входят также защитные диоды, необходимые при коммутации индуктивных нагрузок. Управление ключами может осуществляться логическими сигналами с уровнями от 1,8 до 5 В.

TPL7407LA отличается низким уровнем входного тока – не более 10 мкА, и высоким быстродействием – задержка включения/выключения не более 350 нс. Предназначена для работы в качестве драйверов светодиодов, драйверов IGBT-затворов и мощных МОП-транзисторов, для коммутации активных и реактивных нагрузок – лам-

почек, обмоток реле, соленоидов и клапанов, обмоток электродвигателей и т. д. Имеется и более мощный вариант данной микросхемы – TPL7407L, рассчитанный на коммутацию напряжения до 40 В при токе до 600 мА.

Микросхема TPL7407LA выпускается в корпусе TSSOP-16 размером 5×4,4 мм и рассчитана для работы в температурном диапазоне –40...+125 °С.

Для нормальной работы цепей управления ключами на вывод COM должно быть подано напряжение не менее 6,5 В.

[www.ti.com/product/TPL7407LA](http://www.ti.com/product/TPL7407LA)

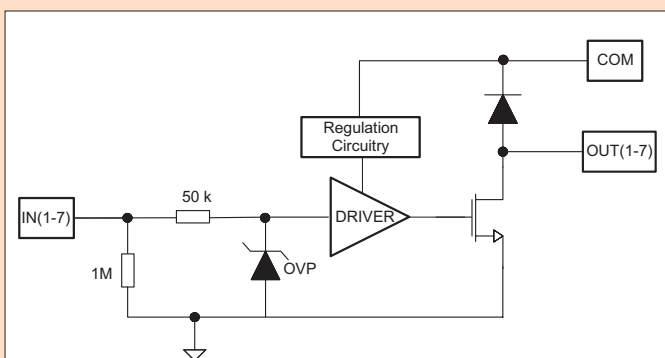


Рисунок 1. Внутренняя структура одного канала

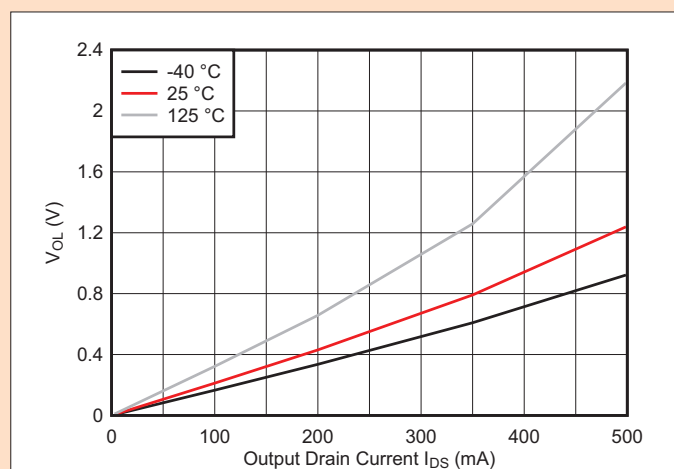


Рисунок 2. Зависимость падения напряжения на ключе от тока нагрузки

Кристен Н. Могенсен (Kristen N. Mogensen)

# Аспекты управления двигателями для электронного регулирования скорости в БПЛА

## Введение

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) повсюду вокруг нас. Чаще всего типичные БПЛА, о которых мы слышим и которые мы видим, связаны с увлечениями. Но несколько лет назад возник потенциал использования БПЛА в коммерческих целях. В основном БПЛА используются там, куда человеку трудно попасть, или для того, чтобы осматривать определённый район с высоты птичьего полёта. Это охватывает области деятельности от сельского хозяйства до строительства, от технического обслуживания до продажи объектов недвижимости [1]. Другой растущей областью применения БПЛА является доставка товаров потребителям. В ближайшие годы, без сомнения,

появятся новые области применения БПЛА. Мы находимся лишь в начале пути превращения БПЛА из простой игрушки в инструмент решения реальных хозяйственных задач.

## Создание БПЛА

Эта статья о том, как спроектировать электронный регулятор скорости (ЭРС) для бесщёточных электродвигателей постоянного тока. Обычно ЭРС состоит из нескольких базовых модулей, таких как каскад питания, модуль определения тока, микроконтроллер для управления электродвигателем и интерфейс связи для системы управления полётом (рисунок 1).

При разработке ЭРС для БПЛА необходимо учесть ряд аспектов, пре-

жде чем выбрать окончательное решение. Вот некоторые из них:

- Топология управления электродвигателями, зависящая от выбранного типа электродвигателей.
  - Эффективность ЭРС в зависимости от времени полёта и стоимости.
  - Выбранное напряжение аккумулятора БПЛА.
  - Параметры полёта, такие как максимальная скорость ЭРС до 12 000 об/мин или выше (1 кГц или выше, если пользоваться терминологией, принятой в электротехнике).
  - Помехи, например электромагнитная совместимость (ЭМС) между ЭРС и другими модулями.
- Данная статья ограничивается рассмотрением аспектов проектиро-

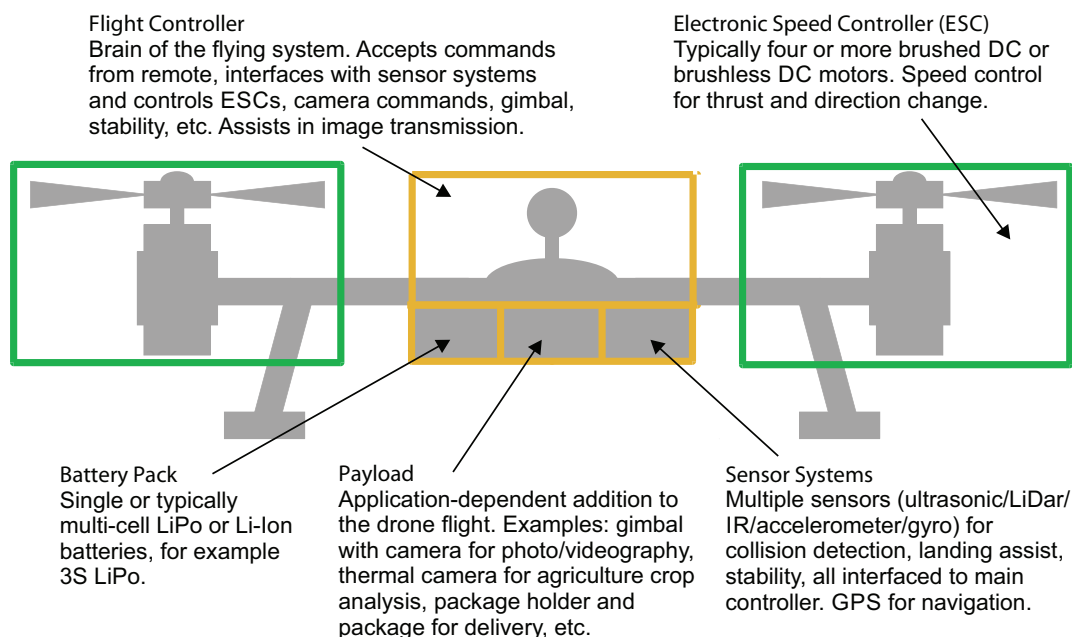


Рисунок 1. Основные модули полной системы управления полётом БПЛА

вания, связанных с бесщёточными электродвигателями, которые обычно используются в БПЛА среднего – высокого уровня.

## Аспекты проектирования системы

При выборе бесщёточного электродвигателя доступны два варианта:

1. Электродвигатель, в котором три обмотки статора намотаны равномерно и противо-ЭДС трапецеидальная, который называется бесщёточным двигателем постоянного тока (brushless DC – BLDC).
2. Электродвигатель с синусоидальным распределением обмоток и синусоидальной противо-ЭДС, который называется бесщёточным двигателем переменного тока (brushless AC – BLAC) (такой двигатель также называется синхронным двигателем с постоянными магнитами (PMSM)).

Выбор типа электродвигателя обычно основывается на алгоритме управления электродвигателем, таком как трапецеидальный или ориентированный по полю (field-oriented control – FOC). Вид намотки обмоток электродвигателя также влияет на то, какой алгоритм управления обеспечивает наилучший КПД электродвигателя. Выбранный алгоритм управления влияет на способность БПЛА летать на основе этого алгоритма. Часто предпочтение отдаётся бессенсорному управлению, потому что оно позволяет удешевить разработку и повысить надёжность системы по сравнению с вариантом на основе механического датчика скорости.

Как электродвигатель с трапецеидальными обмотками будет влиять на выбор алгоритма и аппаратного обеспечения:

- Управление электродвигателем с помощью 6-шаговой последовательности коммутации.
- Определение угла магнитного поля ротора для коммутации под правильным углом, в случае трапецеидального управления коммутация осуществляется с шагом  $60^\circ$ .
- В случае бессенсорного управления угол коммутации оценивается путём определения противо-ЭДС фазного напряжения.

Как электродвигатель с синусоидальными обмотками будет влиять на выбор алгоритма и аппаратного обеспечения:

- Управление электродвигателем с синусоидальными фазными напряжениями или токами, например FOC.
- Определение угла магнитного поля ротора с точностью  $1-5^\circ$  как минимум, чтобы обеспечить максимальный крутящий момент с помощью FOC-управления.
- В случае бессенсорного управления угол магнитного поля ротора оценивается на основании фазных напряжений и фазных токов электродвигателя.

## Трапецеидальное или синусоидальное управление

Широтно-импульсная модуляция (ШИМ), которая используется для управления каскадом питания, будет разной, в зависимости от типа управления.

На рисунке 2 показаны типичные графики ШИМ для стороны высокого напряжения и стороны низкого напряжения трёх фаз и соответствующие отфильтрованные фазные напряжения после удаления несущей ШИМ при трапецеидальном или синусоидальном управлении электродвигателем.

Общая проблема трапецеидального управления заключается в том, что

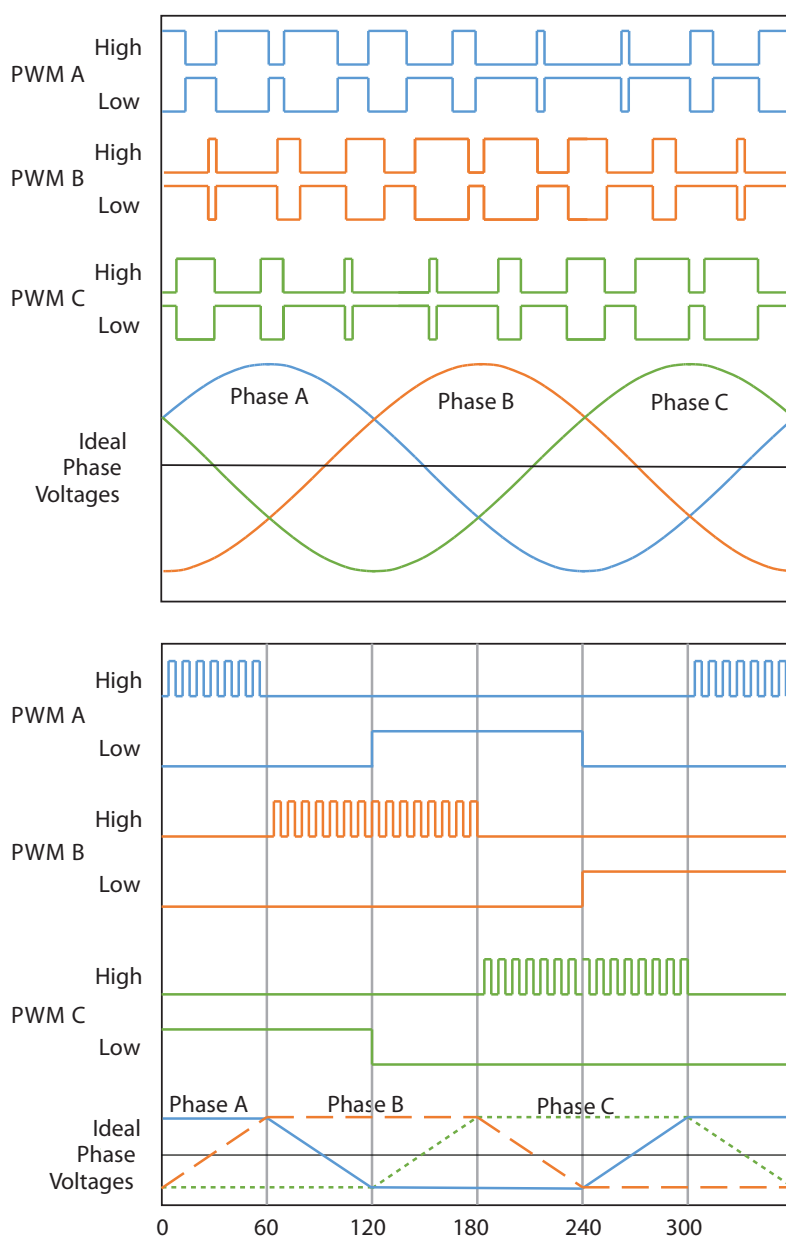


Рисунок 2. Сравнение методов ШИМ-управления

при каждой коммутации возникает пульсация крутящего момента и выброс тока. Эта пульсация крутящего момента снижает КПД и может привести к вибрациям; и того, и другого можно избежать при использовании синусоидального управления [2].

Обычно напряжение шины постоянного тока, используемое для ЭРС, находится в диапазоне от 7,4 до 22,4 В, а ток вставки постоянного тока от литий-полимерного (LiPo) аккумулятора обычно находится в диапазоне от 10 до 20 А.

Желательная частота ШИМ для модулей ЭРС находится между 30 и 60 кГц из-за сравнительно низкой индуктивности высокоскоростных электродвигателей и возможных помех для плат сенсоров. Это необходимо учитывать при выборе контроллера, потому что необходимо обеспечить работу системы ЭРС в реальном времени. Добиться этого можно путём настройки всего алгоритма управления электродвигателем в программном или аппаратном обеспечении.

### Сравнение схем управления по разомкнутому и замкнутому контуру

После того как алгоритм управления выбран, следующим шагом является принятие решения о том, каким должен быть контур управления: разомкнутым или замкнутым.

В случае разомкнутого контура управления синхронный электродвигатель (BLDC или BLAC) управляется вслепую сигналом управления, и предполагается, что двигатель следует заданному закону управления. Одна из проблем заключается в том, что предположение о том, что двигатель следует сигналу управления, может оказаться не соответствующим действительности. Чтобы гарантировать, что двигатель работает правильно, на двигатель подаётся ток больший, чем необходимо, чтобы заставить его двигаться. В результате КПД системы при управлении по разомкнутому контуру снижается по сравнению с электродвигателем, управляемым по замкнутому контуру.

При управлении по замкнутому контуру система управления способна проверять, работает ли двигатель так, как ожидалось. Если нет, контур управления автоматически компенсирует это, либо уменьшая, либо увеличивая ток. Ток используется в качестве опорной величины. В случае трапецеидального управления требуется измерение одного тока шунта. В случае синусоидального управления необходимо измерять до трёх токов шунтов.

И при использовании управления по замкнутому контуру, и при использовании алгоритма бессенсорного управления нужно измерять сигналы тока и напряжения, так как они могут использоваться в качестве

сигналов обратной связи. На рисунке 3 показаны схемы измерения для трапецеидального и синусоидального управления.

При использовании трапецеидального управления с бессенсорным алгоритмом обычно для расчёта угла ротора бессенсорным алгоритмом используются напряжения трёх фаз. Если используется управление по замкнутому контуру, нужен один дополнительный шунт на стороне низкого напряжения. Также могут проводиться измерения во вставке постоянного тока для дальнейшего улучшения работы.

Если используется синусоидальное управление, имеются дополнительные аспекты, потому что это будет влиять на работу системы и её КПД. Возможны варианты использования от одного до трёх шунтов со стороны низкого напряжения для определения токов. Выбор вариантов измерения напряжения осуществляется между измерением только напряжения вставки постоянного тока и измерением трёх фазных напряжений и напряжения вставки постоянного тока.

Следует заметить, что при использовании типичного трапецеидального алгоритма обнаружения перехода через ноль динамическое регулирование скорости системой ЭРС будет хуже, чем в случае синусоидальной системы управления [2]. Но трапецеидальное управление легче реализовать, и оно предъявляет менее

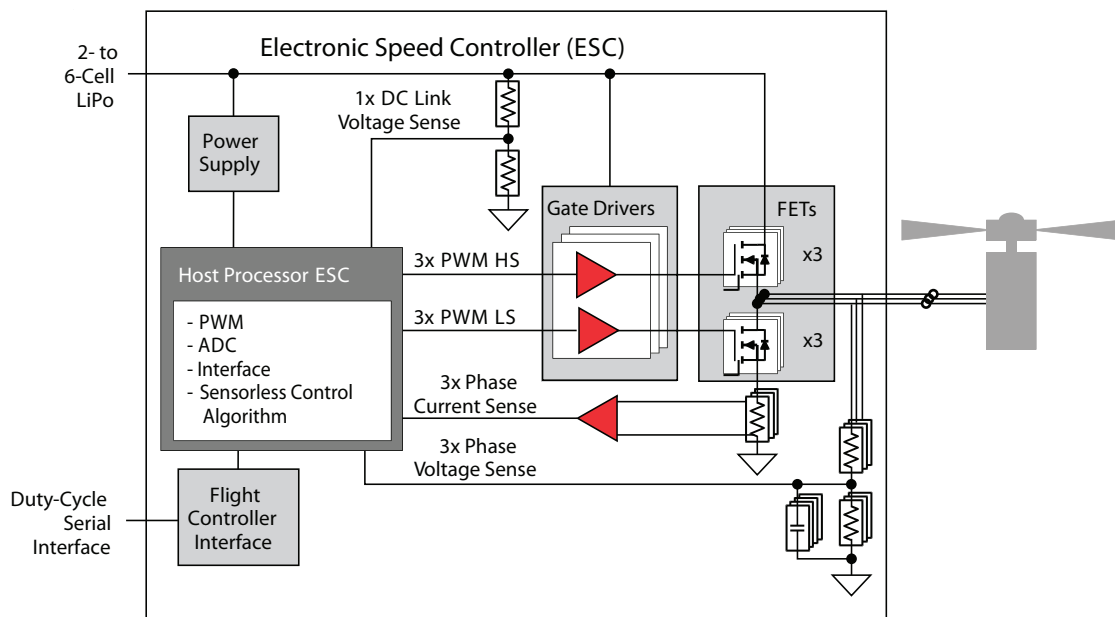


Рисунок 3. Модуль ЭРС на БПЛА, в котором используется бесщёточный электродвигатель с бессенсорным управлением



высокие требования к рабочим характеристикам контроллера.

При обоих типах управления бессенсорный алгоритм нужно настраивать для того, чтобы добиться наилучшей работы во всем диапазоне скоростей и крутящих моментов электродвигателя. Этот шаг повышает точность оценки угла, что увеличивает КПД ЭРС, потому что схема использует меньший ток для компенсации угловых ошибок.

При использовании управления по замкнутому контуру важно настроить алгоритм в соответствии с требованиями системы, чтобы электродвигатель мог работать стабильно при очень высоких скоростях (12 000 об/мин). Чтобы достичь такой высокой скорости, требуется регулирование тока, чтобы избежать неустойчивости контура управления.

Для улучшения работы системы важно оптимизировать ток ЭРС и регулятор скорости в соответствии с требованиями конкретного электродвигателя и системы. Используя технологию InstaSPIN™-FOC от TI, разработчики могут идентифицировать, настроить и реализовать полное управление в системе управления синхронными или асинхронными электродвигателями любого типа [3]. Ниже приведён пример, в котором используется FOC-управление.

### Оптимизация ступенчатой характеристики в временной области

Для оптимизации системы формируется ступенчатая характеристика

(реакция на ступенчатое воздействие) и для регулятора тока, и для регулятора скорости. Затем эту ступенчатую характеристику можно оптимизировать для улучшения работы системы. На рисунке 4 показаны примеры каскадного ПИ-регулирования скорости и ПИ-регулирования тока.

### Допущения для FOC-управления

Идея FOC-управления заключается в том, чтобы сформировать ступенчатую характеристику в регуляторе тока  $I_d$ , которая практически не зависит от изменений крутящих моментов нагрузки. Ступенчатую характеристику  $I_d$  также можно использовать в качестве оценки ступенчатой характеристики  $I_q$ . Это избавляет от необходимости иметь эмулятор нагрузки, такой как динамометр, при формировании ступенчатой характеристики  $I_q$ .  $I_d$  и  $I_q$  – это токи, определяемые преобразованием Парка, для FOC-управления электродвигателем [4].

При настройке ступенчатой характеристики настраиваются и ПИ-регулятор тока, и ПИ-регулятор скорости. Сначала настраивается регулятор тока, после того как пользователь определил свою оптимальную ступенчатую характеристику. После того как это сделано, такой же процесс повторяется для регулятора скорости. Для получения ступенчатой характеристики в этой статье использовалась платформа оценки LAUNCHXL-F28069M с оценочным модулем BOOSTXL-DRV8305EVM. Использовался

электродвигатель Turnigy Multistar 1704-1900Kv.

При работе регулятора на очень высоких скоростях, при электрических частотах выше 1 кГц, важно знать, сколько времени регулятор тока находится между каждыми изменениями управляющего воздействия, потому что он должен находиться в устойчивом состоянии перед тем, как происходит очередное изменение. Для перевода электрической частоты в максимальное значение скорости в об/мин используется выражение 1:

$$\text{MAX}_{RPM} = \frac{f_{\text{Voltage}} \times 60_s}{\text{Pole\_Pairs}} = \frac{1000\text{Hz} \times 60_s}{6} = 10000\text{RPM}, \quad (1)$$

где  $f_{\text{Voltage}}$  – это электрическая частота электродвигателя в Гц/с, а Pole\_Pairs – это количество пар магнитных полюсов электродвигателя.

Чтобы обеспечить стабильное регулирование на высокой скорости при электрической частоте 1 Гц, следует помнить о том, что регулятор тока имеет менее 1 мс на то, чтобы войти в установившийся режим перед тем, как регулятор скорости должен применить следующее изменение тока. Ступенчатая характеристика тока должна входить в установившийся режим быстрее, чем интервал времени, который проходит от одного изменения скорости до другого. Без этого регулятор скорости будет корректировать токи на основании измерений, полученных, когда ток ещё не установился.

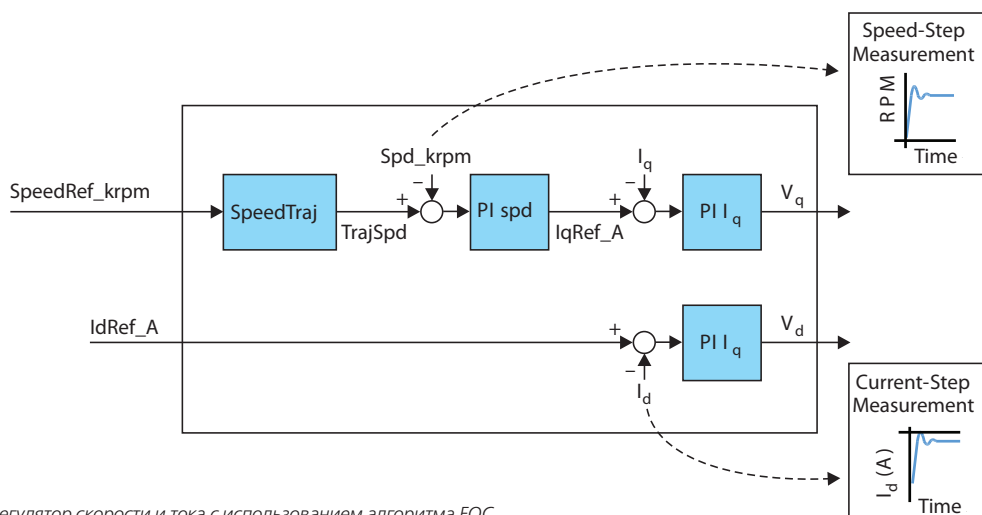


Рисунок 4. Каскадный регулятор скорости и тока с использованием алгоритма FOC

Для обеспечения стабильности можно использовать ступенчатую характеристику, чтобы показать, как быстро ток входит в установившийся режим после изменения. С помощью настройки аппаратного и программного обеспечения микроконтроллера C2000™ была получена в реальном времени ступенчатая характеристика для системы ЭРС, изображенная на рисунке 5.

С помощью этой настройки полоса пропускания регулятора тока ( $f_{-3dB}$ ) устанавливается приблизительно равной 1000 Гц. Выражения 2 и 3 дают следующий результат:  $3 \times \tau \Rightarrow$  на 95% установившееся значение  $\Rightarrow$  ~0,5 мс:

$$\tau = \frac{0,5 \text{ ms}}{3} = 0,166; \quad (2)$$

$$f_{-3dB} = \frac{1}{2\pi\tau} \approx 1000\text{Hz}, \quad (3)$$

где  $\tau$  – постоянная времени, а  $f_{-3dB}$  – это ширина полосы пропускания регулятора тока по уровню 3 дБ.

Значения ПИ-регулятора использовались для получения ступенчатой характеристики скорости, показанной на рисунке 6. Эта ступенчатая характеристика показывает, насколько быстро регулятор может реагировать на эталонное изменение скорости, которое регулируется почти без перерегулирования. В данном случае перерегулирование скорости означает излишнюю энергию, чего можно избежать, оптимизируя ступенчатую характеристику в соответствии с требовани-

ями к системе заказчика. Ещё одной вещью, о которой следует помнить, является настройка этого регулятора при использовании электродвигателя с пропеллером (нагрузкой для электродвигателя). Пропеллер изменяет инерцию системы, и его нужно учитывать при работе полной системы. Максимальное ускорение электродвигателя можно оценить по ступенчатой характеристике, показанной на рисунке 6, где ступенчатое изменение с 550 до 900 об/мин занимает примерно 27 мс, что соответствует ускорению порядка 13 000 об/мин/с. Это максимальное значение зависит от возможного пикового тока в системе и желаемой динамической характеристики контура управления.

Настройка регулятора скорости очень важна, особенно при очень высоких скоростях, для гарантии того, что ЭРС может работать на максимальной скорости. Всякая неустойчивость требует устранения путём настройки регулятора скорости, чтобы получить приемлемые рабочие характеристики системы.

### Заключение

При использовании бессенсорного FOC для ЭРС на БПЛА даже высокоскоростные электродвигатели могут работать на максимальной скорости, если использовать полевые МОП-транзисторы NexFET™, трёхфазный драйвер для управления затвором DRV8305 и процессор C2000 с технологией InstaSPIN-FOC, разработанные TI. Эта конфигурация

имеет необходимые номинальные ток и напряжение, которые обычно используются для ЭРС. Практика показала, что платы могут управлять электродвигателем с 6 парами полюсов на скорости 12 000 об/мин с помощью бессенсорного алгоритма InstaSPIN-FOC, обеспечивая пользователю наилучшие рабочие характеристики системы. Для оценки пользователь может использовать аппаратное и программное обеспечение TI для управления электродвигателем, которое требует от пользователя минимальных усилий для запуска электродвигателя и оптимизации системы с целью получения наилучших общих рабочих характеристик.

### Литература

1. «12 самых популярных вариантов применения БПЛА не в военных целях», информационный бюллетень «БПЛА-мания».
2. Dave Wilson (Дэйв Уилсон), «Путеводитель по трудностям управления электродвигателями», сборник по управлению электродвигателями, 2010–2011, стр. 137–149.
3. Решения TI для управления двигателями InstaSPIN™ – InstaSPIN-FOC. Микроконтроллеры Texas Instruments (MCU).
4. Dave Wilson (Дэйв Уилсон), «Путеводитель по трудностям управления электродвигателями», сборник по управлению электродвигателями, 2010–2011, стр. 163–177.

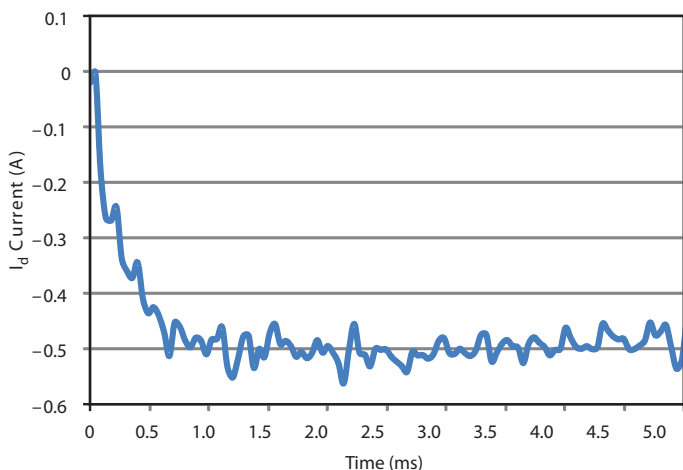


Рисунок 5. Ступенчатая характеристика тока без перерегулирования при высокой полосе пропускания

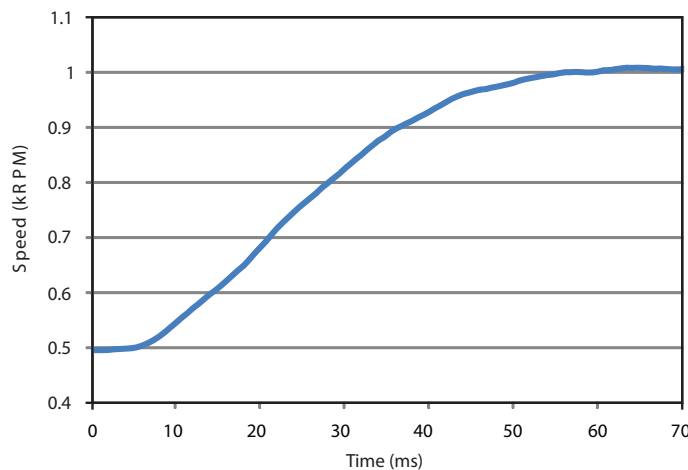


Рисунок 6. Ступенчатая характеристика с небольшим перерегулированием

Брайан Трин

## Эффективная передача информации внутри предприятия

Сегодня, в условиях острой конкуренции на рынке, есть два направления, которые становятся основой успеха – совершенствование производства и повышение эффективности цепочки поставок. Улучшения в этих направлениях можно добиться, двигаясь по пути повышения надёжности оборудования к упрощению его использования или обеспечивая более точные данные для выполнения работ. Всего этого можно достичь, проанализировав, как осуществляется движение информации внутри предприятия с помощью систем промышленной автоматизации.

Для поддержания бесперебойной работы оборудования операторы должны быстро определять момен-

ты, когда на производственных линиях могут происходить сбои. Например, от машины, разливающей содовую воду по бутылкам, может требоваться подача сигналов операторам о необходимости пополнения соды на основании объёмов остатков. Если система обнаруживает этот недостаток, происходит индикация обновлённых состояний посредством человеко-машинного интерфейса (ЧМИ) на переносных устройствах, в больших диспетчерских или на самой машине. ЧМИ могут быть разными – от простых сегментированных индикаторов до ЖКИ с высоким разрешением.

Обычно системы индикации включают в себя процессор приложений для работы операционных систем,

таких как Linux или VXWorks®, которые позволяют осуществлять доступ к рабочим средам, таким как Qt для разработки графических пользовательских интерфейсов (GUI). Дополнительная информация по: Sitara™ ARM® Processors Boot Camp Training Series смотрите здесь: [www.training.ti.com/sitara™-arm®-processors-boot-camp-training-series](http://www.training.ti.com/sitara™-arm®-processors-boot-camp-training-series). Некоторые процессоры даже включают в себя графические ускорители для выполнения сложной обработки графических данных, снимая часть нагрузки с основного процессора. В [процессорах Sitara™](#), разработанных TI на основе ядра ARM, доступен широкий спектр возможностей вывода на индикацию

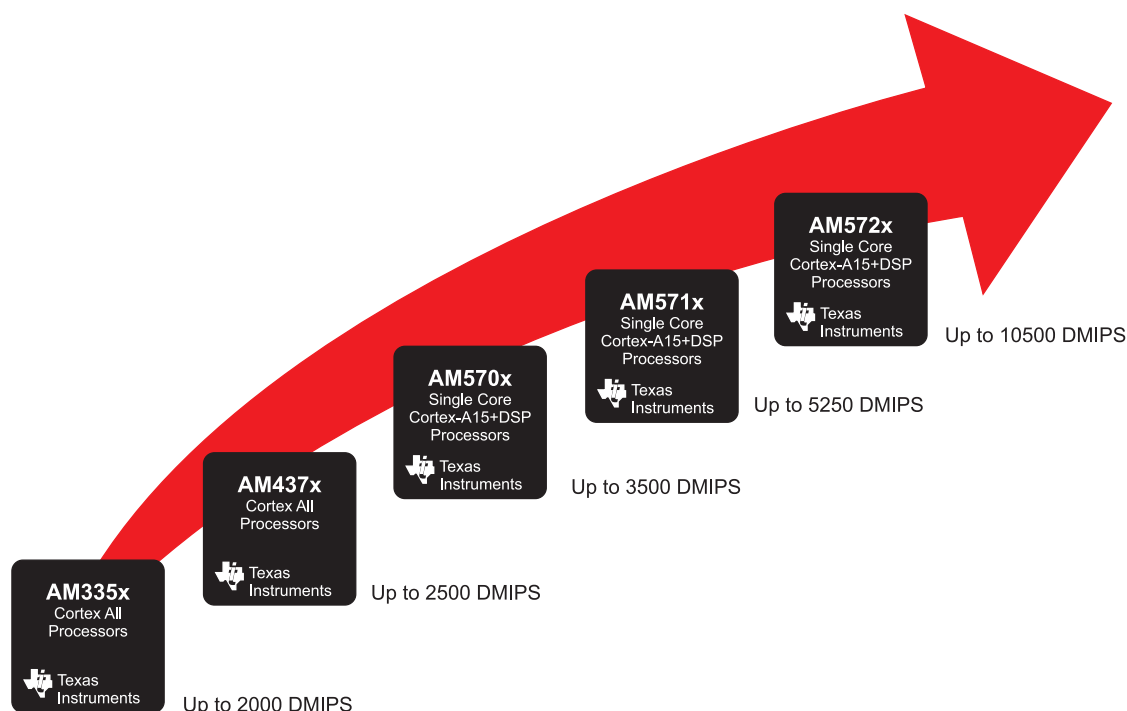


Рисунок 1. График расширения процессоров Sitara™

двумерной и трёхмерной графики (рисунок 1).

Теперь, когда возможен вывод данных на индикацию через ЧМИ, нужно собрать данные с предприятия (рисунок 2).

### Как данные передаются по сети

Сеть датчиков собирает информацию о продукции по мере её движения по производственной линии и поддерживает связь с программируемыми логическими контроллерами (ПЛК) по сетям реального времени с низкой задержкой прохождения сигналов. В таких сетях используются специализированные промышленные [протоколы связи Ethernet](#) (рисунок 3) для отправки информации в течение миллисекунд, которые гарантируют, что ПЛК передаст данные на подключённые к нему устройства быстрее, чем это сделал бы любой человек. Кроме того, протоколы промышленных сетей Ethernet часто используют резервирование, чтобы обеспечить гарантированную доставку информации в случае обрыва в сети.

При использовании процессоров Sitara™ эти промышленные каналы связи могут работать в программируемом блоке реального времени и подсистеме промышленной связи ([PRU-ICSS](#)). Дополнительные ядра PRU позволяют реализовать

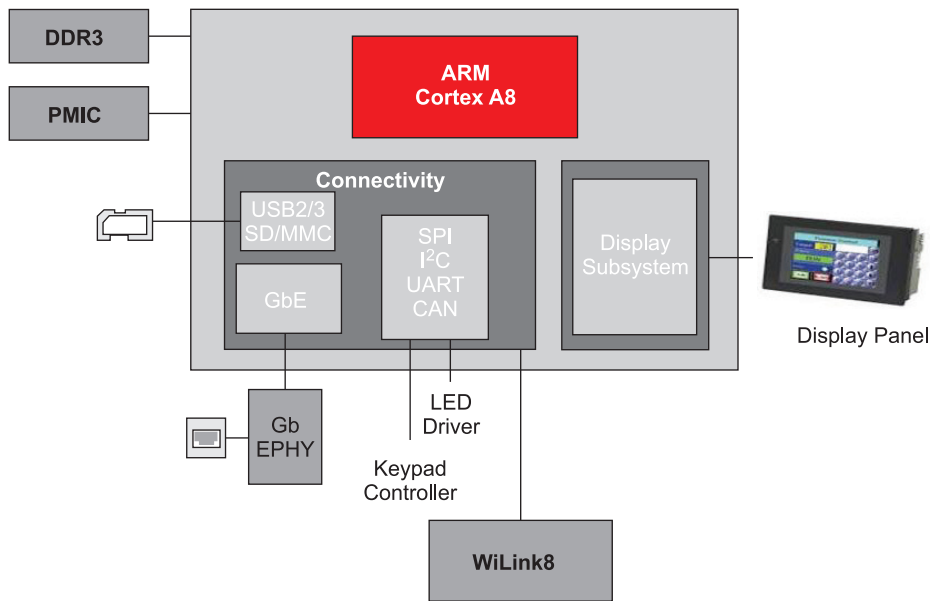


Рисунок 2. AM570x-и-WiLink8

несколько протоколов, облегчая программирование многих [разных протоколов с помощью одного устройства](#), вместо использования заказной специализированной микросхемы (ASIC) для каждого протокола, что экономит время и ресурсы. Наличие перепрограммируемого устройства означает, что предприятиям не нужно изменять всю свою сеть, чтобы соединить вместе разные элементы. Такие сети Ethernet могут обслуживать множество потребностей предприятия, но беспроводные каналы могут оказаться лучшим решением.

### Определение протокола многопротокольного промышленного Ethernet с помощью PRU-ICSS для базовой разработки системы промышленной автоматизации

Промышленный Ethernet для промышленной автоматизации регламентирован более чем 30 промышленными стандартами. Некоторые из хорошо отработанных протоколов Ethernet реального времени,

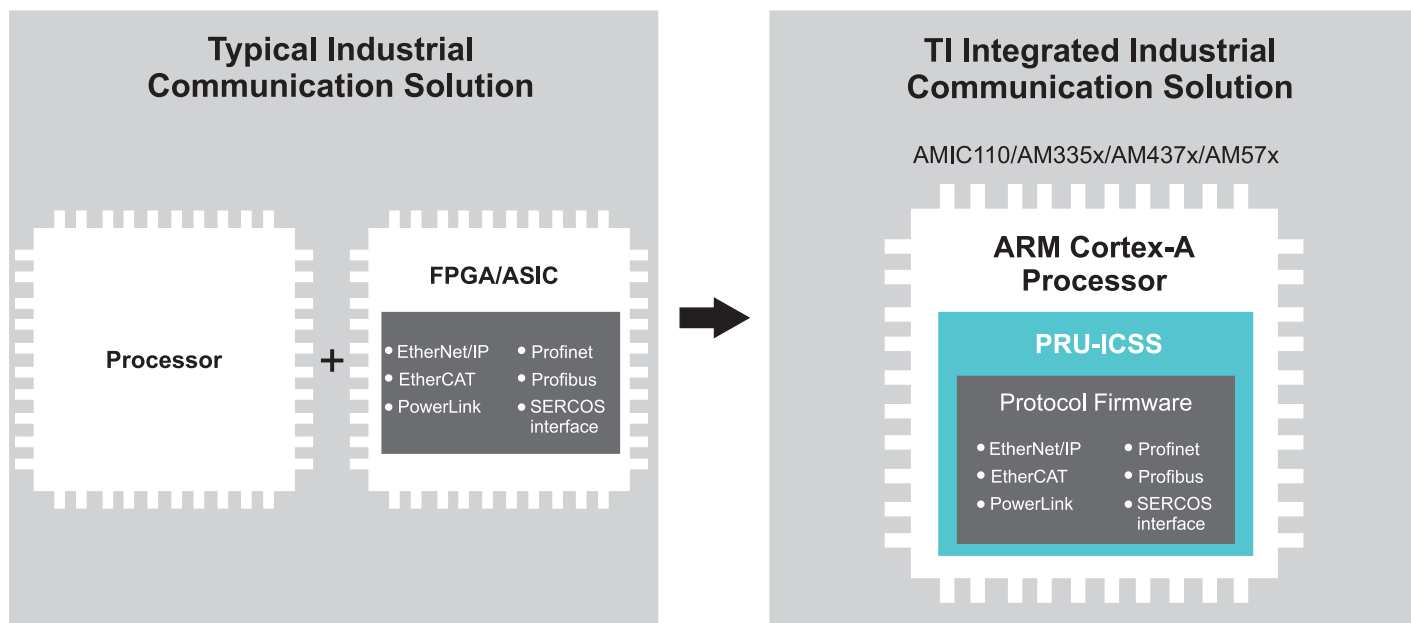


Рисунок 3. Типовое решение для промышленной связи



такие как EtherCAT, EtherNet/IP, PROFINET, Sercos III и PowerLink, требуют поддержки выделенного аппаратного обеспечения управления доступом к среде в виде ПЛИС или специализированных микросхем (ASIC). Программируемый блок реального времени внутри подсистемы промышленной связи (PRU-ICSS), который существует в виде аппаратного реализованного блока в процессорах семейства Sitara™, заменяет ПЛИС или специализированные микросхемы (ASIC) решением на одном кристалле. Встроенное программное обеспечение в PRU-ICSS позволяет обнаруживать тип протокола промышленного Ethernet и загружать соответствующее промышленное приложение во время работы в процессор Sitara™. Эта разработка TI описывает встроенное программное обеспечение обнаружения протокола многопротокольного промышленного Ethernet для PRU-ICSS (рисунок 4).

**Отличительные особенности**

- Высокая скорость/частота с высокой точностью для точного управления выходом пачек импульсов (PTO) и синхронизации
- Реализация без внешней специализированной микросхемы или ПЛИС
- Реализация на PRU-ICSS с процессором Sitara™
- Содержит встроенное программное обеспечение PRU-ICSS в виде исходного кода и может быть адаптировано заказчиком
- Простота оценки с помощью оценочного модуля (EVM) ядра промышленной связи (ICE) TMDSICE3359

**Как можно использовать Wi-Fi® для улучшения связи**

Предприятия часто используют крупногабаритное оборудование со специальными индикаторами или точками доступа, которые труднодоступны для оператора, например, органы управления, находящиеся высоко над полом, или индикаторы, установленные в тесных пространствах. Чтобы получать информацию из этих труднодоступных мест, датчики Wi-Fi® могут ретранслировать

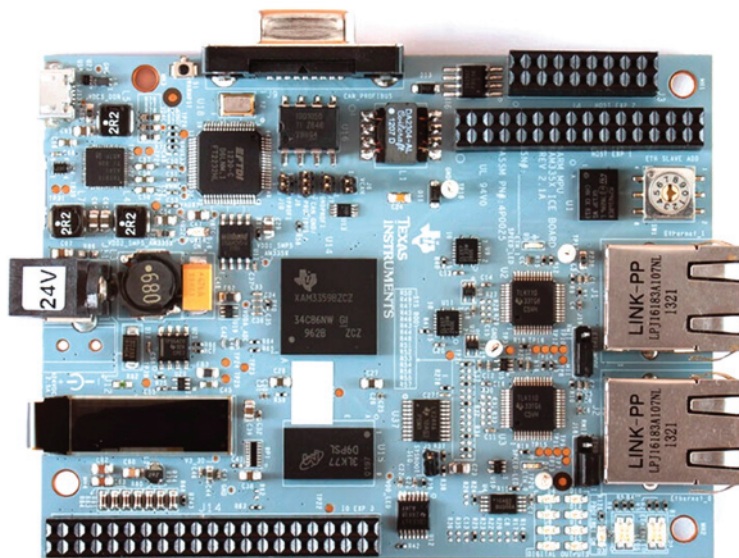


Рисунок 4. Плата TIDEP0032 для определения протокола многопротокольного промышленного Ethernet с PRU-ICSS для базовой разработки системы промышленной автоматизации

данные в более удобное место (например, в диспетчерскую). А при подключении облачных услуг работники предприятия не только получают доступ к этой специальной информации через приложение на смартфонах, но и смогут просматривать архивные данные или статистику по определённой части оборудования.







Модули WiLink™ 8, разработанные TI, позволяют инженерам легко добавлять возможности связи по каналам Wi-Fi® и Bluetooth® или Bluetooth® с низким энергопотреблением со многими устройствами, идеально сочетаясь с процессорами

Sitara™ для промышленной автоматизации (рисунок 5).

**Литература**

Дополнительная информация по модулям WiLink™ 8:

1. [Совместимые на уровне контактов микросхем модули, позволяющие наращивать системы, подстраиваются под меняющиеся требования и решения.](#)
2. [Варианты модулей промышленного температурного класса.](#)
3. [Организация многосвязной сети для расширения зоны действия.](#)

	Wi-Fi	Wi-Fi+Bluetooth+Bluetooth low energy
Single antenna	 WL1801MOD	 WL1831MOD
Dual-antenna (MIMO, MRC)	 WL1805MOD	 WL1835MOD
Dual-antenna (MIMO, MRC) +Dual-band (2,4 GHz+5 GHz)	 WL1807MOD	 WL1837MOD

ПРИМЕЧАНИЕ: Все WL18xxMOD сертифицированы и совместимы на уровне контактов микросхем

Рисунок 5. Решения, использующие WiLink™ 8

## Сбор энергии из окружающей среды на Марсе возможен



В недалёком будущем – некоторые считают, что уже в 2030 году – пилотируемый космический аппарат отправится с Земли на Марс. Такой космический аппарат будет рассчитан на полёт в открытом космосе на расстояние, намного превышающее дальность всех предыдущих полётов. Его цель – красная планета, которой он должен достичь, преодолев дистанцию в 200 млн миль примерно за шесть месяцев.

Но каким окажется Марс? Ответить на этот вопрос невозможно, пока нога человека не ступит на эту планету. Марс – планета с экстремальными условиями, средняя температура атмосферы там 210 К, тогда как на Земле она 288 К. Возможно, эта

разница не кажется большой, но если перевести её в температуру по шкале Фаренгейта, то это 59°F на Земле и –81°F на Марсе.

Кроме того, на Марсе нет озонового слоя, как на Земле, и это станет серьёзным испытанием для первопроходцев. Отсутствие озонового слоя означает, что астронавты будут подвергаться воздействию смертоносной радиации из космоса, если у них не будет соответствующей защиты. Плюс атмосфера на Марсе в основном состоит из углекислого газа – как раз из того, что человеческий организм считает токсичным и от чего ежедневно и непрерывно избавляется. На практике это означает, что нарушение герметичности

средства индивидуальной защиты, такого как скафандр, будет иметь катастрофические последствия для находящегося в нём человека примерно через 15 секунд.

Также на Марсе крайне сложная метеорологическая ситуация (пыльные бури там обычное явление), очень сильные перепады между дневными и ночными температурами, засушливые условия, каменистая местность, глубокие каньоны, высокие вулканы и отсутствие каких-либо видимых форм жизни на поверхности.

Так как же астронавты выживут там? Во-первых, важнейшей задачей будет безопасная доставка их туда и обратно. Как показано в фильме «Марсианин», астронавты, вероят-

но, будут создавать там автономные жилые модули, или сокращённо «хабы» – защищённые экологические или природные зоны, где они смогут жить и работать в безопасности. Для колонизации Марса им потребуется выращивать пищу, создавать медицинские пункты, строить центры сбора и обработки данных и связи, получать кислород и воду и создавать производственные мощности для изготовления запасных частей; и не стоит забывать, что следующая экспедиция с Земли может прибыть только через 200 марсианских суток (более чем через 300 земных суток). Им нужно будет внедрять различные новшества.

Но откуда взять энергию для этих новшеств? Постоянный источник энергии. Хотя солнечный свет на Марсе – это не то же, что солнечный свет на Земле (фактически энергетическая освещённость, создаваемая солнечным излучением на Марсе, составляет примерно половину от земной), высокоэффективные солнечные панели могли бы стать таким источником энергии. Но одной только солнечной энергии может не хватить для поддержания жизнедеятельности больших колоний в режиме 24/7/669 (длина марсианского года).

К счастью, суровые метеоусловия на Марсе являются идеальными для получения большого количества энергии из окружающей среды. Ветер – существенный метеорологический фактор на Марсе, и он может дать достаточно много энергии. Сильные перепады температур также могут стать богатым источником энергии при использовании термоэлектрической технологии сбора энергии из окружающей среды.

Корпорация Texas Instruments обладает прорывной технологией, которая позволяет современным реальным системам получать энергию и управлять энергией из множества источников: солнечных, термоэлектрических, электромагнитных источников и вибрации. От датчиков, питающихся солнечной энергией (окружающим светом), для беспроводного контроля производственных предприятий или сельскохозяйственных ферм, до датчиков, питающихся теплом

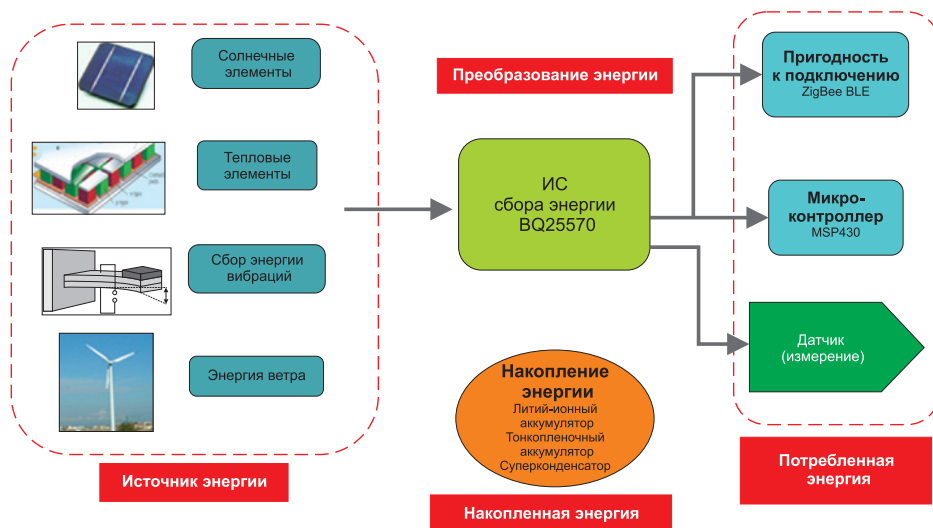


Рисунок 1. Упрощённая блок-схема датчика

человеческого тела, используемых в медицине и спорте, – вы можете использовать решения для сбора энергии из окружающей среды корпорации Texas Instruments для создания полноценных систем контроля, которые либо сами обеспечивают себя питанием, либо рассчитаны на то, чтобы дополнить питание от аккумуляторов. На рисунке 1 показана упрощённая блок-схема датчика, осуществляющего сбор энергии из окружающей среды.

Базовая разработка TI Designs узла датчика контроля параметров окружающей среды с питанием от окружающего освещения для сетей, работающих в диапазоне ниже 1 ГГц – это узел датчика параметров окружающей среды с питанием от освещения, который можно использовать для построения системы, контролирующей освещённость, например, чтобы точно регулировать систему освещения здания. Его также можно использовать для удалённого сбора результатов измерения температу-

ры и влажности в недоступных частях здания.

Базовая разработка TI Designs, сборщик энергии BoosterPack (рисунок 2), идеально подходит для создания системы управления орошением фермы, питающейся энергией из окружающей среды – точно такой, какую мог бы использовать астронавт и биолог из «Марсианина» Марк Уотни, экономя воду для своей картофельной фермы.

Немногие решатся утверждать, что межпланетные экспедиции – это просто. Никто не знает, с какой интенсивностью отказов придётся столкнуться. Есть надежда, что освоение Марса принесёт небывалый успех. А тем временем на Земле появилась технология, сделавшая сбор энергии из окружающей среды реальностью. Современные соединённые между собой здания, заводы, города, фермы и многие другие промышленные объекты могут извлечь пользу из этого достижения, получая бесплатную энергию из окружающей среды.

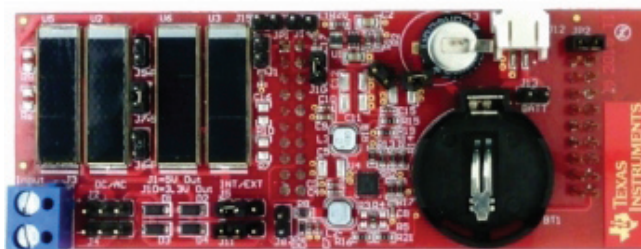


Рисунок 2. Плата базовой разработки «сборщик энергии BoosterPack» (TIDA-00588)



## Бесконтактный маячок *Bluetooth*<sup>®</sup> с низким потреблением энергии



EMBC01 – это бесконтактный маячок *Bluetooth*<sup>®</sup> с низким потреблением энергии, рассчитанный на массовое внедрение системными интеграторами. EMBC01 передаёт идентификационные данные, соответствующие общим стандартам радиомаячков (UUID, главный и вспомогательный идентификатор). EMBC01 входит в состав семейства маячков, поставляемых в компактном водонепроницаемом корпусе со стандартным кнопочным элементом питания или выполняемых в виде панели на печатных платах. Кнопку с сигнальным светодиодом можно использовать для выбора режима работы, соответствующего вашей системе. Режимы работы EMBC01 настроены с учётом компромисса между наилучшим качеством, дальностью и ресурсом элемента питания.

Кнопку можно использовать для переключения между различными режимами сигнализации. Доступны режимы высокой производительности и длительного режима работы элемента питания.

### Режимы:

- Режим ожидания со сроком службы элемента питания порядка 7 лет.
- Режим идентификации с малым радиусом действия характеризуется интервалом между импульсами 100 мс, дальностью приема 15 м и сроком службы батареи порядка 1,5 месяца.
- Режим идентификации со средним радиусом действия характеризуется интервалом между импульсами 500 мс, дальностью приема 30 м и сроком службы батареи порядка 7,5 месяца.

- Режим идентификации с дальним радиусом действия характеризуется интервалом между импульсами 1 с, дальностью приема 75 м и сроком службы батареи порядка 12,5 месяца.
- Любой из режимов можно заблокировать в конечном изделии. EMBC01 может поставляться в любых количествах с гарантированно уникальными идентификационными номерами. Уникальный серийный номер отпечатан на идентификационной табличке и закодирован в QR-коде, предназначенном для сканирования.

В отличие от большинства маячков, доступных на рынке в настоящее время, EMBC01 не поддаётся взлому. Маячки поставляются предварительно запрограммированными с уникальным UUID, главным и вспомогательным идентификатором и не могут быть перепрограммированы по беспроводному подключению.

EMBC01 можно настроить на соответствующие области применения с помощью комплекта разработки бесконтактного маячка. DVK содержит программную интерфейсную плату, кабель и 5 бесконтактных маячков для перепрограммирования. Средства программирования RLink и RLink-Pro приобретаются отдельно.

EMBC01 имеет сертификаты FCC, IC и CE, RoHS и Reach, а также не содержит галогенов.

### Отличительные особенности

- Водонепроницаемый корпус:
  - Степень защиты IP-64, диапазон рабочих температур –20...+60 °С.
  - Размер: диск 30×10 мм; масса: 7 г.
  - Сменный элемент питания CR2032 3V Li.
  - Встроенная кнопка со светодиодными индикаторами.
  - Также возможно исполнение в формате печатной платы.
- Принадлежности:
  - Крепление на стену.
  - Брелок-контроллер.

- Браслет.
- Доступные режимы сигнализации:
  - Формат идентификации включает: UUID, главный и вспомогательный идентификатор. Информация о мощности выходного сигнала.
  - Малый радиус действия: дальность 15 м, интервал между импульсами 100 мс.
  - Средний радиус действия: дальность 30 м, интервал между импульсами 500 мс.
  - Дальний радиус действия: 75 м, интервал между импульсами 1 с.
- Уникальная идентификация:
  - UUID: 699EBC80-E1F3-11E3-9A0F-0CF3EE3BC012.
  - Уникальный главный и вспомогательный идентификатор (упорядоченный).
  - Уникальный серийный номер.
  - Серийный номер, главный и вспомогательный идентификатор, встроенный в QR-код для реализации.

### Приложение для интеллектуальных устройств «EMBC Finder»:

- Ранее называлось «emBeacon».
- Приложение для iOS, доступное в App Store:
  - iPhone<sup>®</sup> 4S и выше.
  - iPad<sup>®</sup> 3 и выше (Mini, Air и т. д.).
- Приложение для Android, доступное в Google Play<sup>™</sup>:
  - 4.3 и выше.

### Области применения:

- Программа улучшения качества:
  - склады, торговые центры, аэропорты;
  - музеи, парки отдыха, стадионы;
  - конференции, выставки, фестивали.
- Бесконтактная электронная связь.
- Обязательные уведомления, сигналы тревоги.
- Пассивный сбор данных.
- Аккумуляторы, датчики, кнопочный контроль с помощью DVK.



## Компания **Сканти** является официальным дистрибьютором компании **Xeno Energy**

Корейская компания **Xeno Energy** обладает более чем 15-летним опытом и ноу-хау в области исследования, разработки и создания литиевых элементов питания. Цель компании состоит в том, чтобы помочь покупателям решить их проблемы, связанные с энергией и элементами питания, как технически, так и экономически, основываясь на длительном партнёрстве.

Мы знаем, что успех наших покупателей будет также и нашим успехом.

### Характеристики изделий

- Высокое напряжение элемента, напряжение разомкнутой цепи (OCV) – 3,67 В. Это выше, чем для большинства существующих элементов питания.
- Высокая плотность энергии, до 700 Втч/кг и 1380 Втч/л.
- Широкий температурный диапазон, -55 °С до +85 °С, (+130 °С, более высокие температуры – по запросу).
- Низкий саморазряд, 1% при комнатных температурах, что позволяет достичь очень высокого срока хранения – более чем 10 лет.
- Высочайшая надёжность и безопасность благодаря конструкции катушечного типа и герметически запаянному корпусу с металлоглазным уплотнением и лазерной сваркой.
- Наилучший импульсный режим работы, малое падение напряжение, даже после температурных циклов или при хранении при повышенной температуре.

### Испытания на безопасность

Испытание на короткое замыкание	UL 1642, №10	MIL-B-49461 (ER), № 4.8.10
Испытание на нестандартную зарядку	UL 1642, №11A	
Испытание на ускоренную разрядку	UL 1642, №11B	MIL-B-49461 (ER), № 4.8.13.1
Испытание на разрушение	UL 1642, №12	
Испытание на удар	UL 1642, №13	
Испытание на удар	UL 1642, №14A	MIL-B-49461 (ER), № 4.8.5
Испытание на виброустойчивость	UL 1642, №15	MIL-B-49461 (ER), № 4.8.6
Испытание на падение	UL 1642, №16	MIL-B-49461 (ER), № 4.8.3
Испытание на нагрев	UL 1642, №18A	
Испытание на стойкость к термоциклированию	UL 1642, №18B	MIL-STD-331, испытание 113.1
Высотное испытание	UL 1642, №18C	

### Сертификаты и аттестаты

ISO 9001; ISO13485 (медицинский); ISO14001 – подготавливается; аттестат UL; аттестат взрывозащищенности; аттестат IMDS (автомобильная промышленность); аттестат UN, RoHs.





## Серии элементов питания

### Серия XL - 000F

Максимальная ёмкость

- Отличный срок хранения (может быть более 10 лет)
- Очень низкий саморазряд
- Применение для дублирования памяти с низкими токами
- Хорошие характеристики с точки зрения минимального переходного напряжения (TMV)

### Серия XLP - 000F

Максимальная ёмкость

- Отличный срок хранения (может быть более 10 лет)
- Низкий саморазряд
- Применение со средними токами
- Отличные характеристики с точки зрения минимального переходного напряжения (TMV)
- Минимальный эффект пассивации

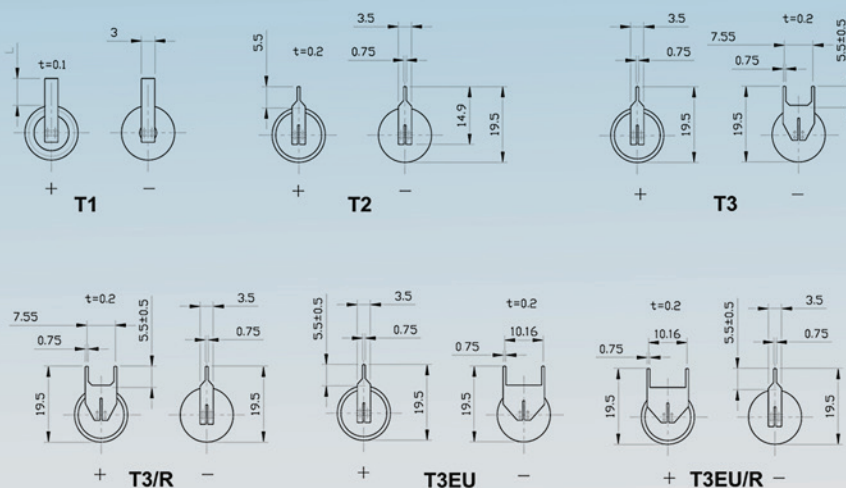
### Серия XL - 000H

- Расширенный температурный диапазон (макс. +150 °C)
- Безопасная конструкция



	XL-050F	XL-055F	XL-060F	XL-100F	XL-145F	XL-205F	XL-210F	XLP-050F	XLP-055F	XLP-060F	XL-050H	XL-050H
Стандарты ANSI	1/2AA	2/3AA	AA	A	C	D	1/10D	1/2AA	2/3AA	AA	1/2AA	AA
IES	ER14252	ER14335	ER14505	ER17500	ER26500	ER32L615	ER33L65	ER14252	ER14335	ER14505	ER14252	ER14505
Размер	1/2ER6	2/3ER6	ER6	ER17/50	ER14	ER20	1/10ER20	1/2ER6	2/3ER6	ER6	1/2ER6	ER6
Номинальное напряжение, В	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6
Номинальная ёмкость, Ач	1,2	1,65	2,4	3,4	8,5	19	1	1,2	1,65	2,4	0,8	1,7
Макс. пост. ток, мА	30	40	60	100	150	230	20	30	40	60	10	30
Макс. имп. ток, мА	60	90	120	200	230	500	40	100	150	200	100	200
Диапазон температур, °C	-55/+85	-55/+85	-55/+85	-55/+85	-55/+85	-55/-85	-55/+85	-55/+85	-55/+85	-55/+85	-55/+85	-55/+130
Диаметр (макс.), мм	14,5	14,5	14,5	16,8	25,8	33,6	33,2	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5
Высота (макс.), мм	25,1	33,5	50,1	50,7	49	59	7	25,1	33,3	50,1	25,1	50,1
Вес, г	9	11,7	17,1	22	49	93,5	19,6	9	11,7	17,1	9	17,1

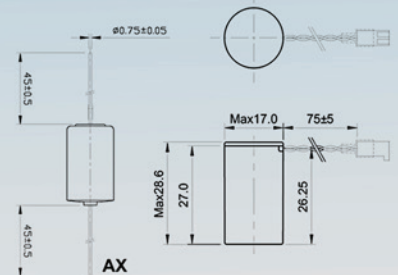
## Клеммы



## Тип разъёма



## Тип корпуса



Ниранджан Патхаре (Niranjan Pathare)

## Получение энергии в диапазоне от нВт до мВт из окружающей среды

*В контексте технологии сбора энергии из окружающей среды современные интегральные схемы управления питанием (ИСУП) работают подобно компании по энергоснабжению, которая обеспечивает подачу внешнего питания на подключённые к ней электронные устройства. Правильный выбор ИСУП на основе пяти важных критериев может позволить разработчикам создавать системы, дополняющие питание от аккумуляторов, или такие, которые сами полностью обеспечивают своё питание.*



Сборщик энергии – это источник электропитания. Он извлекает энергию, имеющуюся в окружающей среде, а затем подаёт эту собранную энергию на свой выход, чтобы её могли использовать подключённые электронные устройства. К широко распространённым примерам таких сборщиков энергии относятся полупроводниковые устройства, использующие фотоэлектрический эффект (солнечные элементы) и термоэлектрический эффект (термоэлектрические генераторы). Первые работают как источник питания, преобразуя

энергию падающего на них света в электрическое напряжение; вторые преобразуют перепады температур (тепловую энергию) в электрическое напряжение.

В обоих случаях электрический ток течёт, когда источник подключён к электрической нагрузке, и, таким образом, энергия передаётся от источника в окружающей среде к работающему устройству. Солнечные элементы и термоэлектрические генераторы (ТЭГ) могут быть подключены к аккумулятору. Они оба не имеют движущихся де-

талей и могут обеспечивать питание для работы электроники. Но у некоторых устройств сбора энергии из окружающей среды, таких как ветряные мельницы, которым уже 1000 лет, или их современные аналоги – ветряные турбины, – движущиеся части есть. У других, работающих на основе пьезоэлектрического или электромагнитного эффекта, также есть движущиеся части. Пьезоэлектрические устройства сбора энергии – это полупроводниковые устройства, которые получают энергию от движения; они преобразуют кинетическую энергию в электрическую.

Хотя устройство-сборщик является важным элементом задачи сбора энергии из окружающей среды, в большинстве случаев оно не может работать в одиночку. Жизненно важна также и другая часть устройства электропитания – интегральная схема поддержания параметров этого электропитания. Такая интегральная схема, поддерживающая требуемые параметры электропитания (ее также называют ИСУП сбора энергии из окружающей среды), является критически важным звеном между собственным устройством – сборщиком энергии и подключёнными электронными устройствами-потребителями. ИСУП работает как диспетчер или как энергоснабжающая компания, в том смысле, что регулирует количество энергии, поступающее потребителю.

### ИСУП сбора энергии из окружающей среды

В отличие от аккумулятора, который обеспечивает питание в течение огра-



ниченного времени, устройство – сборщик энергии из окружающей среды может обеспечивать питание бесконечно – или по крайней мере в течение очень большого периода времени, измеряющегося годами или даже десятилетиями. Один из недостатков многих устройств сбора энергии заключается в том, что они представляют собой очень слабые, маломощные источники питания. Слабый источник энергии будет не в состоянии удовлетворить потребности современных энергоёмких систем. Некоторые устройства-сборщики обеспечивают питание не непрерывно (большинство солнечных элементов не смогут работать в условиях низкой освещённости, а также в темноте). Роль ИСУП заключается в том, чтобы принять слабую и нерегулярно поступающую энергию и преобразовать эту энергию в удобную для использования форму.

Эффективная ИС сбора энергии из окружающей среды должна быть способна выполнять следующие важные функции:

1. Обеспечивать необходимый электрический интерфейс с устройством-сборщиком, чтобы гарантировать максимальную передачу энергии в заданных условиях окружающей среды.
2. Принимать энергию с выхода устройства-сборщика при благоприятных условиях и запасать эту энергию в устройстве хранения для последующего использования.
3. Управлять передачей энергии на электрическую нагрузку (обычно это подключённые электронные устройства), одновременно следя за тем, чтобы высокая потребность в энергии со стороны нагрузки не создала в системе риска внезапной потери питания и не привела бы к отказу системы.
4. Сохранять способность запускаться с помощью единственного слабого источника питания – устройства – сборщика энергии в случае, если остальная система не работает вследствие потери питания от устройства хранения энергии.
5. Использовать очень малое количество энергии для под-

держания собственной работы, иными словами, обеспечивать максимальную передачу энергии от устройства-сборщика (источника) в элемент хранения энергии. Это особенно важно, если источник очень слабый.

Теперь рассмотрим важные аспекты каждой из этих пяти функций.

### Отслеживание точки максимальной мощности

Устройства-сборщики, например солнечные элементы или ТЭГ, имеют сложную взаимосвязь между используемым источником энергии (светом и температурой соответственно) и мощностью, которую они вырабатывают. Для любой данной совокупности внешних условий они имеют единственную рабочую точку, в которой создают максимальную мощность. Задача ИСУП сбора энергии из окружающей среды заключается в том, чтобы «предоставлять» устройству-сборщику и «отслеживать» такое сопротивление нагрузки, которое заставляет устройство-сборщик работать в области его точки максимальной мощности, в зависимости от условий окружающей среды. При изменении условий окружающей среды (например, когда светлеет или темнеет) ИСУП сбора энергии из окружающей среды с функцией отслеживания точки максимальной мощности (ОТММ) будет способна перенастраиваться таким образом, чтобы обеспечивать отбор максимальной мощности при любых условиях. (В англоязычной литера-

туре используется термин MPPT – MaximumPowerPointTracking).

Существует несколько стратегий создания эффективной схемы ОТММ. Наиболее широко используемой (благодаря своей простоте и сравнительно высокой точности) является схема напряжения холостого хода (НХХ). При этом подходе выходное напряжение устройства-сборщика настраивается на фиксированное значение, которое представляет собой эмпирически найденную долю периодически измеряемого «напряжения холостого хода» (в условиях нулевого тока нагрузки). Например, большинство солнечных элементов можно настроить на величину 75–80% от их НХХ, чтобы они работали в области их точки максимальной мощности.

В нашем примере при использовании ИСУП сбора энергии bq25570 ОТММ можно легко реализовать с помощью цепи внешних резисторов (рисунок 1).

### Управление сохранением энергии

ИСУП сбора энергии из окружающей среды играет критически важную роль получения энергии от устройства-сборщика и сохранения её в накопительном элементе для последующего использования, когда это потребуется. Большинство ИСУП сбора энергии из окружающей среды работают с широким спектром разнообразных накопительных элементов, таких как обычные конденсаторы, суперконденсаторы большой ёмкости, литий-ионные (Li-Ion) аккумулятор-

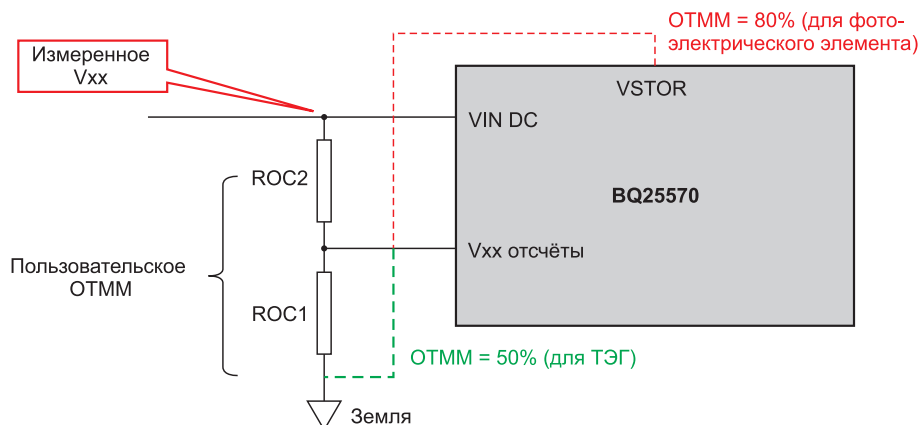


Рисунок 1. Реализация сбора энергии bq25570 ОТММ с помощью цепи внешних резисторов



ные батареи и тонкоплёночные аккумуляторы.

Поскольку большинство накопительных элементов имеют верхний предел заряда и нижний предел разряда, точное управление этими и другими связанными с ними параметрами очень важно в системе, собирающей энергию из окружающей среды. Для проектирования гибкой системы важны такие функции, как индикация «достаточного» или «недостаточного» уровня заряда аккумулятора (или иного накопительного элемента). Многие ИСУП сбора энергии из окружающей среды обладают вышеуказанными функциями, обеспечивая разработчикам систем широкие возможности настройки (с помощью внешних резисторов) для управления уровнями зарядки и разрядки накопительного элемента, а также установки уровня «достаточного заряда аккумулятора» (рисунок 2).

### Управление передачей мощности на электрическую нагрузку

Для надёжной работы системы используется функция контроля «работоспособного состояния» накопительного элемента – с целью определения, когда можно подключить нагрузку и когда её следует отключить. Обычно ИСУП сбора энергии из окружающей среды контролируют напряжение на накопительном элементе, чтобы обеспечить индикацию (сигнал) того, что накопительный элемент находится в работоспособном состоянии.

Пока напряжение не ниже некоторого заданного значения, можно подключать нагрузку, и она сможет потреблять энергию. Если напряжение накопительного элемента падает ниже этой заданной величины, ИСУП может обеспечить подачу сигнала на микропроцессор и предпринять определённые

превентивные действия. Например, чтобы продлить период работы аккумулятора, может быть сокращён рабочий цикл или в качестве потребителей энергии останутся только определённые цепи, которые должны оставаться запитанными всегда.

В системе, изображённой на рисунке 2, это может быть достигнуто с помощью переключателя между контактом регулируемого выхода и нагрузкой. Переключатель может размыкаться или замыкаться микропроцессором на основании состояния сигнала VBAT\_OK.

### Управление включением собственного питания – запуск из обесточенного состояния

Схема запуска из обесточенного состояния жизненно необходима для

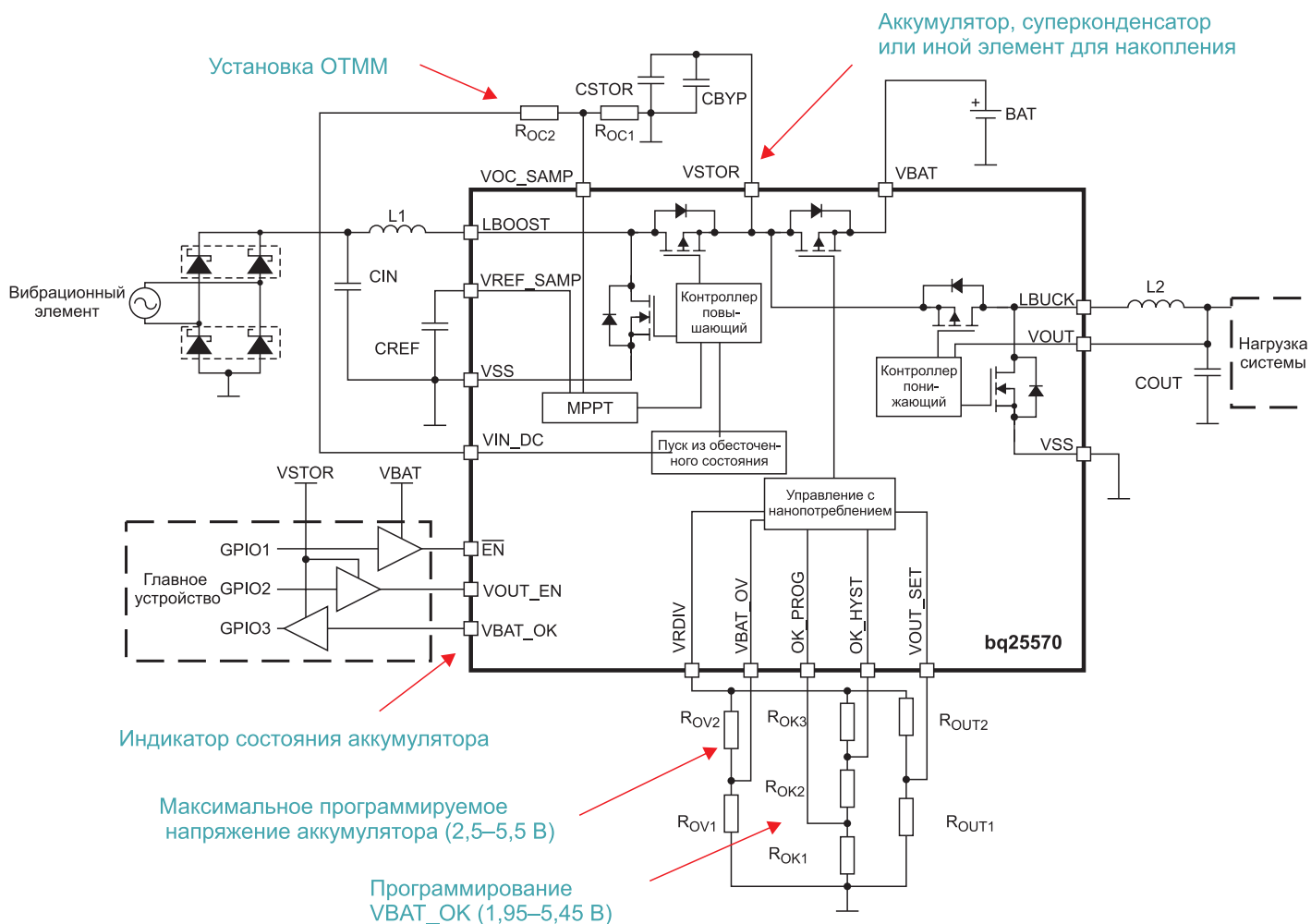


Рисунок 2. Схема управления уровнями зарядки и разрядки накопительного элемента, а также установки уровня «достаточного заряда аккумулятора»

работы системы, когда накопительный элемент полностью разрядился и система не имеет локального питания. В таких случаях ИСУП управления энергией должна использовать питание от устройства – сборщика энергии. Но, как указывалось выше, устройства-сборщики могут быть довольно слабыми источниками энергии, выдающими напряжение всего в несколько сотен милливольт, поэтому ИСУП сбора энергии из окружающей среды должна быть способна запускаться, используя эти несколько сотен милливольт от устройства – сборщика энергии. При широком разнообразии ИС устройств – сборщиков энергии, каждая из них обладает своими собственными характеристиками пуска из обесточенного состояния. Например, запуск микросхемы bq25570 осуществляется примерно от уровня 330 мВ.

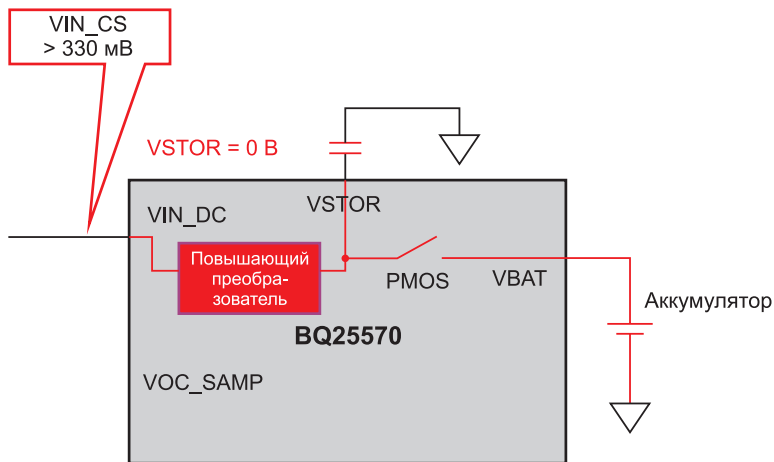


Рисунок 3. Запуск микросхемы bq25570 примерно от уровня 330 мВ

имеют потребляемые токи порядка нА – и это лучшие из лучших.

### Заключение

ИСУП сбора энергии со сверхнизким энергопотреблением – важный элемент системы сбора энергии из окружающей среды, которая работает в диапазоне от нановатт до милливатт. Такие системы находят широкое применение в различных областях, таких как датчики в промышленности и в потребительских системах. Часто датчики работают от аккумуляторов, и продление периода работы этих аккумуляторов – большая проблема для разработчиков систем.

Существует множество факторов, которые следует учитывать при выборе ИС для сбора энергии из окружающей среды. В этой статье мы рассмотрели некоторые наиболее важные функции этих микросхем, такие как отслеживание точки максимальной мощности, запуск из обесточенного состояния, сохранение энергии, управление нагрузкой и собственный потребляемый ток. Правильный выбор ИС для сбора энергии из окружающей среды позволяет разработчикам систем креативно использовать энергию окружающей среды для питания их систем или увеличения длительности работы встроенного аккумулятора.

### Собственный потребляемый ток – бесшумный убийца

Собственный потребляемый ток ИСУП сборщика энергии должен быть как можно меньше. Низкий собственный потребляемый ток сводит к минимуму общее потребление тока системой в неактивном режиме. Часто система сбора энергии из окружающей среды большую часть времени находится в неактивном режиме и периодически «пробуждается» для проведения измерений и передачи их результатов, после чего вновь переходит в неактивный режим. Чем больше времени система пребывает в неактивном режиме, тем важнее с точки зрения длительности работы аккумулятора становится ток неактивного режима. Возможно, никакой другой из параметров системы не имеет такого значения для успешной или неудачной реализации системы сбора энергии из окружающей среды, как ток, потребляемый в неактивном состоянии. Когда дело касается собственного тока потребления, не все ИСУП сбора энергии из окружающей среды «равны от рождения». Диапазон доступных опций существенно варьируется. Некоторые имеют собственные токи потребления порядка мА, и лишь немногие

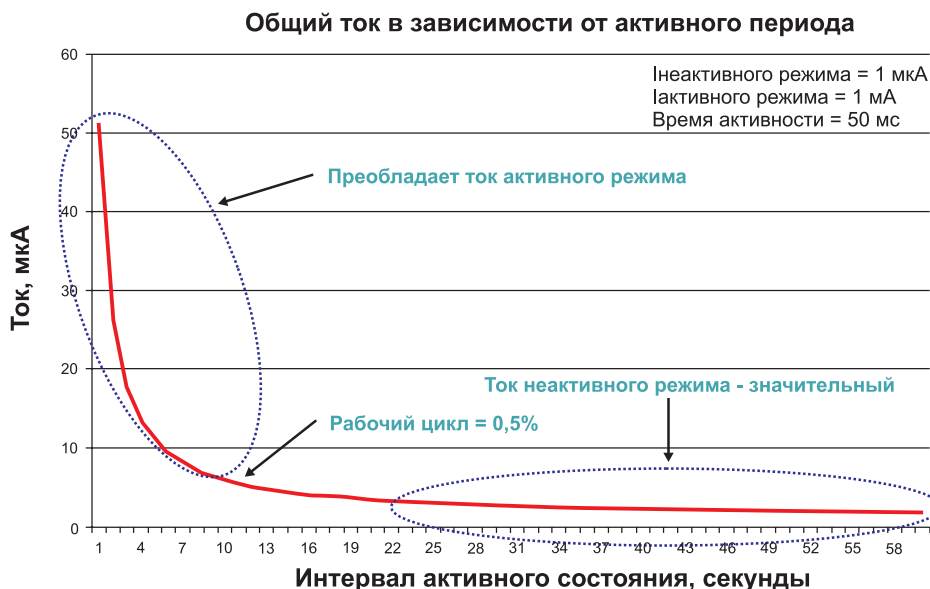
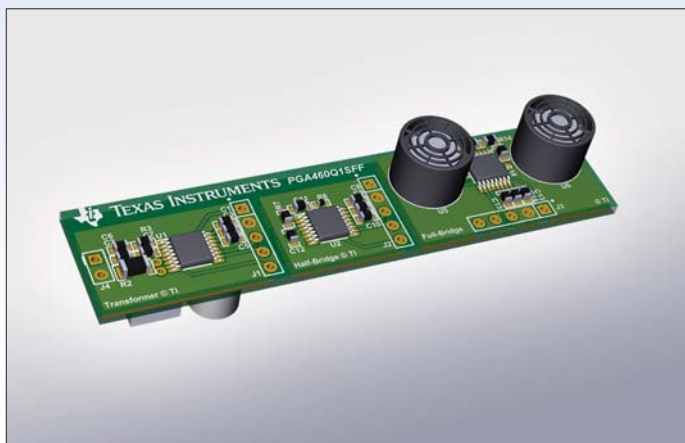


Рисунок 4. Общий ток в зависимости от активного периода

## Приёмопередатчик для ультразвуковых датчиков – PGA460



Texas Instruments представляет микросхему PGA460. Это комбинированная система на кристалле, включающая в себя драйвер УЗ-преобразователя, приёмник отражённого сигнала и сигнальный процессор для обработки эхо-сигнала. Драйвер содержит комплементарную пару мощных МОП-транзисторов, которые могут работать непосредственно на повышающий трансформатор УЗ-преобразователя. Приёмник сигнала предназначен для улавливания и нормализации отражённого сигнала. Он состоит из маломощного усилителя с программируемым усилением и аналого-цифрового преобразователя.

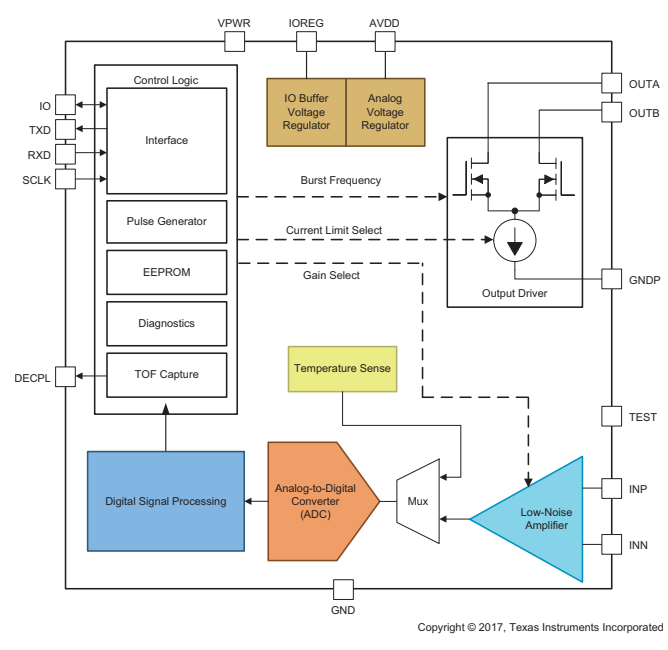
Оцифрованный сигнал обрабатывается цифровым процессором, который способен различить отражённые сигналы на принятые либо от ближних, либо от удалённых объектов. Связь микросхемы PGA460 с внешним микроконтроллером может осуществляться либо с использованием стандартного USART, либо с помощью однопроводного USART, либо по специализированному интерфейсу «time-command» (TCI).

### Основные характеристики микросхемы:

- Обнаружение объектов на дистанции до 11 м.
- Рабочая частота УЗ-приёмопередатчика: 30–80 или 180–480 кГц.
- Напряжение питания цифро-аналоговой части – 3,3 или 5 В.
- Напряжение питания силового каскада – до 28 В.
- Максимальный ток силовых ключей – до 0,5 А.

- Маломощный приёмник с программируемым (от 32 до 90 дБ) усилителем и АЦП.
- Специализированный DSP для обработки эхо-сигнала.
- 42 байта EEPROM для быстрой инициализации при старте.
- Встроенный термодатчик.
- Корпус TSSOP-16.
- Рабочий диапазон температур: –40...+105 °С.
- Соответствие стандартам AEC-Q100 для автомобильных применений.

### Блок-схема микросхемы PGA460



### Основные области применения микросхемы PGA460:

- Ультразвуковые радары, в том числе парковочные.
- Датчики приближения и расстояния до объекта.
- Датчики обнаружения препятствий для дронов и роботов.
- Датчики присутствия и движения.
- Датчики открывания дверей.

[www.ti.com/product/PGA460-Q1](http://www.ti.com/product/PGA460-Q1)



3/2017



4/2017



1/2018

## Контакты

### Центральный офис

115533, Москва, пр. Андропова, д. 22  
БЦ «Нагатинский», 10 этаж  
Тел: +7(495)987-1119  
факс: +7(495)987-1118  
E-mail: [order@scanti.com](mailto:order@scanti.com) / [www.scanti.com](http://www.scanti.com)

### Офис в Санкт-Петербурге

195027, Санкт-Петербург,  
пр. Энергетиков, д. 10, лит А, БЦ «Крол», офисы: 602, 603  
Тел: +7(812)380-8391  
Факс: +7(812)380-8392  
E-mail: [order@scanti.com](mailto:order@scanti.com) / [www.scanti.com](http://www.scanti.com)

### Офис в Минске

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

### Офис в Киеве

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

**1/2018 ВМЕСТЕ В БОРЬБЕ ЗА ЛИДЕРСТВО!**