

Алексей Пантелейчук (Texas Instruments)

# ОДНА ФАЗА, ОДИН ТАРИФ, ОДИН МИКРОКОНТРОЛЛЕР: MSP430AFE2XX ДЛЯ СИСТЕМ УЧЕТА ЭНЕРГИИ



*Вам нужен простой однофазный однотарифный счетчик электроэнергии и минимум затрат на его разработку и производство? Новый микроконтроллер MSP430AFE2xx от Texas Instruments с минимальной обвязкой поможет реализовать это желание. А в более сложных типах счетчиков он возьмет на себя выполнение всех метрологических задач, работая в паре с управляющим микроконтроллером на ARM-ядре (например, из семейства Stellaris).*

Обрабатывая сигналы в цифровой области, мы имеем в распоряжении колоссальные возможности цифровой техники. Помимо того, что на сегодняшний день методы цифровой обработки сигналов позволяют эффективно решать задачи, которые доставляли много трудностей инженерам-разработчикам в прошлом, либо вообще не могли быть решены с помощью аналоговых средств, сигналами в цифровом виде легче оперировать, передавать их, сохранять. Но не стоит забывать, что нас окружает «аналоговый мир», то есть большинство измеряемых характеристик имеют аналоговую природу. Таким образом, точность результатов всей системы определяется точностью аналого-цифрового преобразователя.

Существует класс устройств, к которым предъявляются, казалось бы, противоречивые требования, такие как высокая точность и функциональность, малые габаритные размеры, низкое энергопотребление и цена. Примерами таких устройств являются высокоточные датчики (давления, температуры), термостаты, счетчики электроэнергии и мониторы потребляемой мощности, устройства контроля качества электроэнергии. В настоящее время перечисленные устройства зачастую имеют портативное исполнение, поддерживают множество коммуникационных интерфейсов, в том числе и беспроводных. Поскольку рынок таких устройств растет и развивается, возникает необходимость в подходящей элементной базе, обеспечивающей выполнение «противоречивых требований». На сегодняшний день существует множество АЦП с высокой точностью и микроконтроллеров с высокой функциональностью. Но как

быть с требованиями к низкому энергопотреблению, малым габаритным размерам и, главное, низкой цене? В настоящей статье речь пойдет об изделии, которое превосходно решает поставленную задачу.

Микроконтроллеры MSP430 компании Texas Instruments давно зарекомендовали себя как устройства с рекордно низким энергопотреблением. На сегодняшний день существует уже более трехсот различных модификаций этих микроконтроллеров, удивляющих разнообразием внедренных технологий (рисунок 1). Пятое и шестое семейство, MSP430x5xx и MSP430x6xx, имеют самое низкое соотношение мкА/МГц в активном режиме среди всех существующих на сегодняшний день микроконтроллеров. Микроконтрол-



леры MSP430FR57xx содержат FRAM-память. CC430F5xx и CC430F6xx представляют собой систему-на-кристалле, состоящую из микроконтроллера и беспроводного передатчика. В свою очередь, микроконтроллеры второго семейства, MSP430x2xx, являются лидерами по низкому энергопотреблению в спящем режиме. Это семейство также имеет несколько ответвлений. MSP430G2xx — это микроконтроллеры второго семейства, оптимизированные по цене, а MSP430AFE2xx (таблица 1) — система на кристалле, состоящая из 24-битного АЦП и ядра MSP430.

Являясь представителями второго семейства MSP430, микроконтроллеры MSP430AFE2xx (рисунок 2) наследуют его отличительные особенности. Среди этих особенностей самыми значимыми являются низкое энергопотребление в спящем режиме (0,1 мкА) и малое время выхода из спящего режима (<1 мкс).

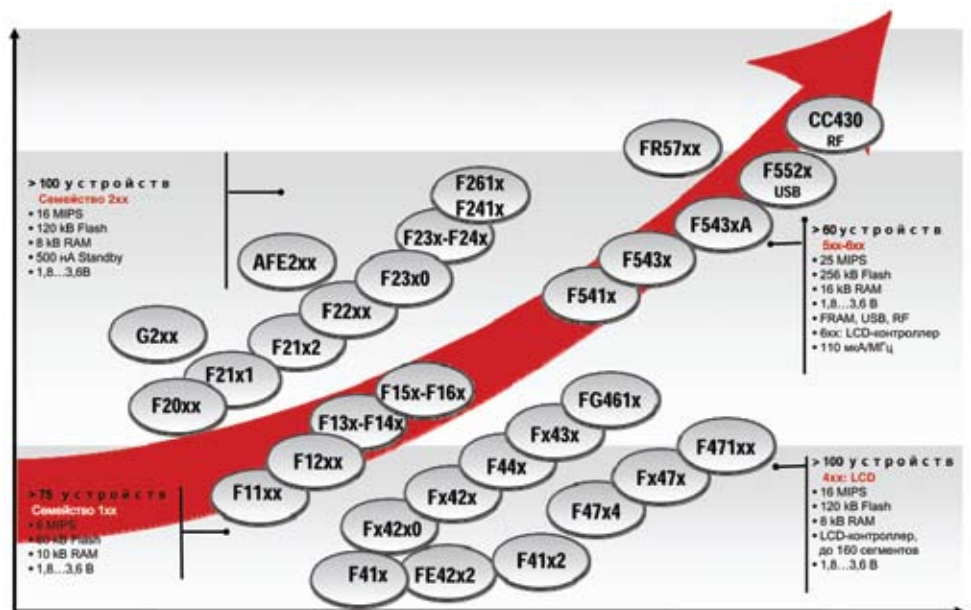


Рис. 1. Семейство микроконтроллеров MSP430 компании Texas Instruments

Таблица 1. Модификации микроконтроллеров MSP430AFE2xx

Наименование	Flash, кБ	ОЗУ, Б	АЦП	MPY	Таймер	USART	GPIO	Корпус
MSP430AFE253IPW	16	512	3	+	+	1	11	24-TSSOP
MSP430AFE233IPW	8	512	3	+	+	1	11	24-TSSOP
MSP430AFE223IPW	4	256	3	+	+	1	11	24-TSSOP
MSP430AFE252IPW	16	512	2	+	+	1	11	24-TSSOP
MSP430AFE232IPW	8	512	2	+	+	1	11	24-TSSOP
MSP430AFE222IPW	4	256	2	+	+	1	11	24-TSSOP
MSP430AFE251IPW	16	512	1	+	+	1	11	24-TSSOP
MSP430AFE231IPW	8	512	1	+	+	1	11	24-TSSOP
MSP430AFE221IPW	4	256	1	+	+	1	11	24-TSSOP

## Микроконтроллер MSP430AFE2xx



Рис. 2. Блок-схема микроконтроллеров MSP430AFE2xx

Также следует отметить, что, как и многие другие представители семейства MSP430, микроконтроллеры AFE2xx содержат схему отслеживания падения напряжения питания (BOR). Схема BOR всегда включена и характеризуется нулевым током потребления.

Система синхронизации обладает высокой гибкостью при выборе источника тактового сигнала для ядра и периферийных устройств микроконтроллера. Встроенный высокочастотный осциллятор с цифровым управлением DCO отличается высокой скоростью стабилизации при включении. Стабилизируясь менее чем за 1 мкс, DCO позволяет быстро выходить из режима сниженного энергопотребления в активный. DCO микроконтроллеров MSP430AFE2xx откалиброван для частот 8 МГц и 12 МГц.

Погрешность установки этих частот во всем температурном диапазоне, а также диапазоне напряжений питания составляет около 3%. Если эта цифра является приемлемой для приложения, использование встроенного осциллятора DCO дает возможность избавиться от внешнего источника тактового сигнала, сократив число компонентов и стоимость устройства. Если же все-таки необходима более высокая точность, AFE2xx поддерживают подключение внешнего кварца, работающего на частотах от 0,4 до 12 МГц. Встроенный низкочастотный осциллятор VLO с номинальной частотой 12 кГц и током потребления 500 нА в основном используется в режимах сниженного энергопотребления микроконтроллера либо для тактирования периферийных устройств в случа-

ях, когда точность тактового сигнала не критична.

Самой главной отличительной особенностью этих микроконтроллеров является наличие модуля SD24\_A. Модуль SD24\_A микроконтроллеров AFE2xx содержит до трех 24-битных сигма-дельта АЦП и генератор опорного напряжения. Несмотря на то, что в документации аналого-цифровые преобразователи называются каналами (если их несколько), они полностью независимы. Каждый АЦП содержит три мультиплексированных дифференциальных входа. Один из входов выведен наружу для подключения внешних источников сигнала. Два других канала каждого АЦП недоступны снаружи, к ним подключены терморезистор для оценки температуры микроконтроллера и делитель напряжения питания.

Аналого-цифровые преобразователи модуля SD24\_A построены на базе сигма-дельта модулятора второго порядка и цифровых децимирующих фильтров. Коэффициент децимации может принимать значения до 1024. В случае необходимости, дополнительная децимация может быть реализована программно. В зависимости от выбранного коэффициента децимации, разрядность результата преобразования составляет от 15 до 30 бит. По умолчанию установлен коэффициент децимации 256, что обеспечивает 24-битный результат на выходе цифрового фильтра. Встроенный опорный генератор АЦП выдает напряжение 1,2 В. Этот сигнал может быть выведен на вывод VREF микроконтроллера. На этот же самый вывод подается опорное напряжение при использовании внешнего генератора.

Если аналого-цифровых преобразователей несколько (AFE2x3, AFE2x3), они могут быть синхронизированы между собой для осуществления одновременного захвата внешних сигналов. Эта функция нужна при реализации счетчиков электроэнергии и позволяет решить проблему компенсации временного интервала между измерениями напряжения и тока, возникающую при использовании АЦП с мультиплексированными каналами. Также стоит отметить, что каждый из преобразователей

содержит встроенный усилитель с цифровым управлением с коэффициентом усиления до 32.

Все представители AFE2xx содержат 16-битный аппаратный умножитель, сторожевой таймер, способный работать в режиме интервального таймера, 16-битный таймер общего применения с тремя регистрами захвата сравнения и универсальный последовательный интерфейс USART, конфигурируемый как UART, либо SPI.

Рассмотрим несколько примеров применений MSP430AFE2xx. На рисунке 3 изображена блок-схема однофазного однотарифного счетчика электроэнергии. В качестве датчика тока могут использоваться шунт или токовый трансформатор. Как видно из рисунка, производится измерение тока «фазы» (токовым трансформатором) и тока «нейтрали» (шунтом). Такой подход позволяет предотвратить хищение электроэнергии. Для измерения напряжения используется резистивный делитель. Таким образом, задействованы три канала АЦП. Все три канала синхронизированы между собой для одновременной выборки входных сигналов. Если детектирования хищения электроэнергии не требуется, измерять ток нейтрали нет необходимости, следовательно, для такой задачи подойдет MSP430AFE с двумя каналами АЦП (MSP430AFE2x2). Для построения полноценного однотарифного электросчетчика остается подключить к последовательному интерфейсу микроконтроллера MSP430AFE индикатор с «контроллером на стекле», либо отдельный ЖКИ-контроллер и индикатор. Подключив беспроводной приемопередатчик (CC11xx, CC25xx) к последовательному интерфейсу вместо индикатора, мы получаем решение для удаленного монитора потребляемой мощности.

На сайте Texas Instruments доступно полное руководство по применению MSP430AFE2xx в однофазном однотарифном счетчике (s1aa494). В документации даются рекомендации по построению входных цепей для измерений токов и напряжения, выбору источника питания, а также по реализации алгоритма работы устройства и вычислению электрических характеристик. Пример программного обеспечения также доступен для скачивания на сайте TI. Это программное обеспечение осуществляет вычисление действующих значений токов и напряжений, активной и реактивной мощностей, коэффициента мощности и частоты.

Для реализации однофазного многотарифного счетчика электроэнергии приложение должно содержать часы реального времени (RTC). К сожалению, AFE не содержит в своем составе

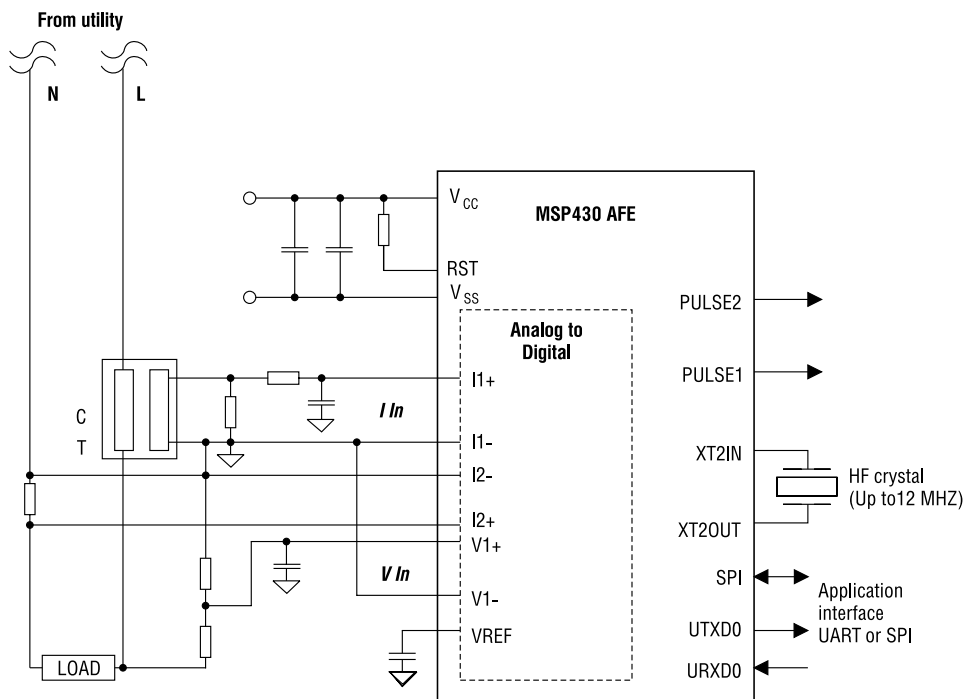


Рис. 3. Пример применения MSP430AFE2x3 в однофазном однотарифном электросчетчике

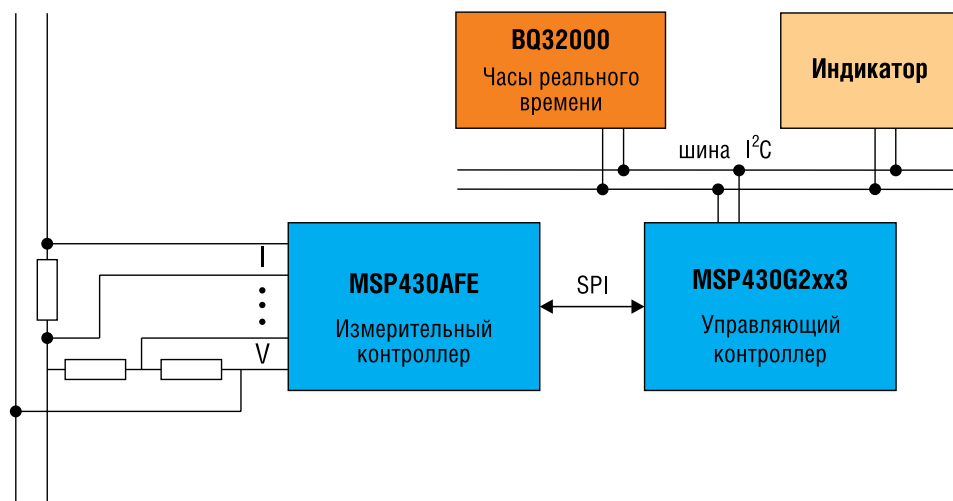


Рис. 4. Пример построения бюджетного многотарифного однофазного электросчетчика

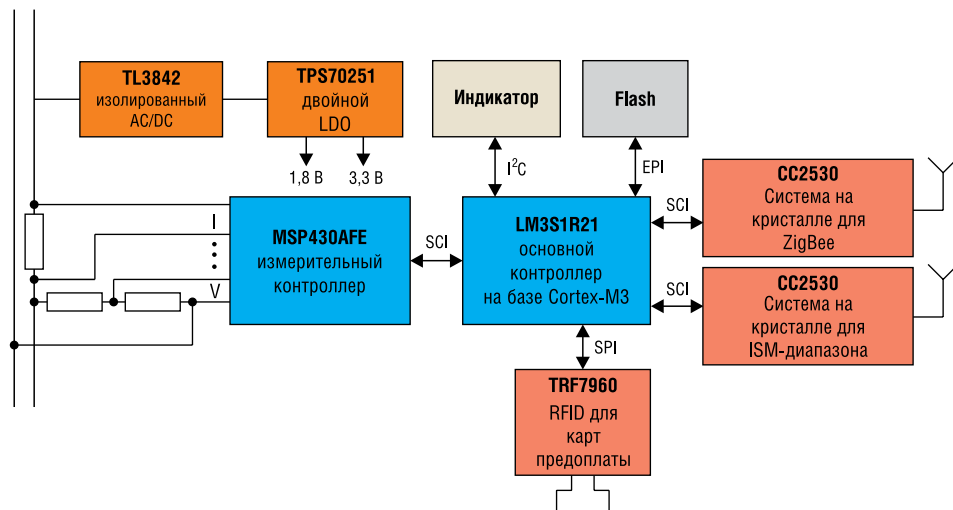


Рис. 5. Пример построения функционального многотарифного однофазного электросчетчика



Рис. 6. Прототип однофазного электросчетчика на базе MSP430AFE253



Рис. 7. Универсальный программатор MSP-FET430UIF для MSP430

ве модуля RTC, как микроконтроллеры MSP430 пятого и шестого семейства. В этом случае AFE2xx выступает в роли измерительного микроконтроллера в приложении. Другой микроконтроллер, часто называемый основным или управляющим, обеспечивает весь остальной необходимый функционал. На рисунке 4 представлена блок-схема простого однофазного однотарифного счетчика электроэнергии. В качестве управляющего микроконтроллера

используется MSP430G2xx3, микросхема BQ32000 — это часы реального времени. Приложение отличается низким энергопотреблением и ценой. Выбрав вместо MSP430G2xx3 микроконтроллер шестого семейства, например, MSP430F6638, мы, во-первых, избавляемся от необходимости ставить внешний RTC и ЖКИ-контроллер, а во-вторых — увеличиваем функциональность решения (USB, ЦАП, до 256 кбайт Flash и 16 кбайт ОЗУ).

И наконец, выбрав в качестве управляющего микроконтроллера Stellaris на базе ядра Cortex-M3/4, можно реализовать однофазный многотарифный электросчетчик с высокой функциональностью, поддерживающий беспроводную передачу данных в пределах домашней и глобальной сетей, RFID для считывания карт предоплаты и многое другое (рисунок 5).

Обратившись к одному из дистрибьюторов компании Texas Instruments, например, к компании КОМПЭЛ, можно заказать готовый прототип однофазного электросчетчика (рисунок 6), соответствующий классу точности 0,1%, изготовленный согласно рекомендациям slaa494. Прототип построен на MSP430F6638 и MSP430AFE253. Это уже готовая типовая разработка, которая поставляется с комплектом документации, программного обеспечения, схемотехники. Таким образом, разработчик получает возможность модифицировать этот прототип согласно своим требованиям.

Также для начала работы с AFE2xx можно использовать связку из стандартного JTAG-программатора MSP-FET430UIF (рисунок 7) и платы MSP-TS430PW24 (рисунок 8). На плате MSP-TS430PW24 установлена колодка для микроконтроллеров MSP430 в 24-выводных корпусах TSSOP. Как видно на рисунке, на плате выведены все 24 «ноги» микроконтроллера, имеется посадочное место для внешнего кварцевого генератора тактового сигнала, а также светодиод, подключаемый в случае необходимости к одному из выводов микроконтроллера посредством переключки. Плата MSP-TS430PW24 приобретается отдельно либо в комплекте с программатором MSP-FET430UIF. Программатор является универсальным для всех семейств MSP430. Он также пригодится для отладки вашей собственной платы.

В качестве программной среды разработки используется IAR. На сайте компании-производителя доступна пробная версия среды разработки с ограничением по времени (30 дней), либо по объему компилируемого кода (4/8 кбайт). К сожалению, существующая на данный момент версия Code Composer Studio, известная как единая среда для всех микроконтроллеров и процессоров Texas Instruments, пока не поддерживает MSP430AFE2xx.

Таким образом, мы познакомились с одним из новых направлений развития микроконтроллеров со сверхнизким энергопотреблением MSP430. Использование MSP430AFE2xx в точных портативных датчиках и однофазных однотарифных счетчиках электроэнергии позволяет сократить число компонентов в системе, снизить стоимость и

энергопотребление устройства. В более сложных измерительных устройствах MSP430AFE2xx берет на себя всю метрологическую часть приложения, обеспечивая высокую функциональность и гибкость за счет наличия высококлассных периферийных устройств и микроконтроллерного ядра, полностью открытых для пользователя.

### Заключение

Всю дополнительную техническую информацию о **MSP430AFE2xx** вы найдете в руководстве пользователя (документ slau144) и техническом описании (slas701). Для разработчиков счетчиков электроэнергии стоит обратить внимание на рекомендации по применению slaa494, где подробно описывается пример реализации однофазного однотарифного электросчетчика, приводятся формулы для расчета, алгоритм работы МК, электрические схемы. **5**

Получение технической информации,  
заказ образцов, поставка –  
e-mail: [analog.vesti@compel.ru](mailto:analog.vesti@compel.ru)

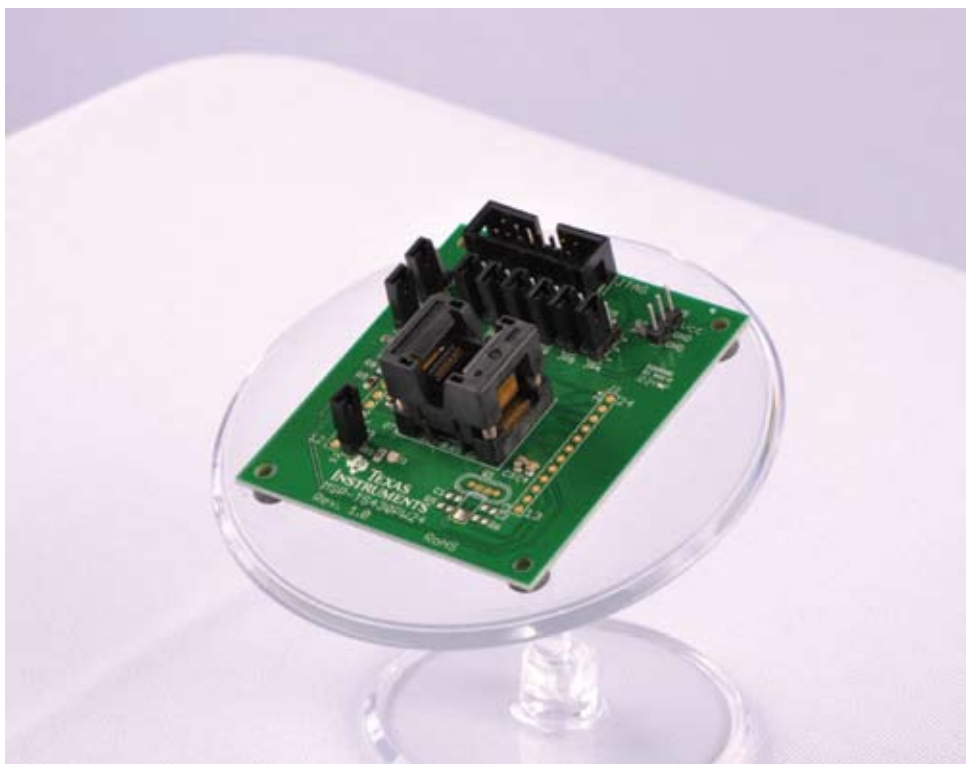


Рис. 8. Плата MSP-TS430PW24 с колодкой для корпусов 24-TSSOP



TEXAS  
INSTRUMENTS

## MSP430AFE253 – специализированная ИС для разработки электросчетчиков



### ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ:

- 16-битное RISC ядро MSP430 до 12 МГц
- Ультранизкое энергопотребление: 220 мкА на 1 МГц при 2,2 В
- 5 режимов энергосбережения
- 24-битный сигма-дельта АЦП с дифференциальными входами и PGA (до 3-х каналов)
- 16-битный аппаратный перемножитель, 16-битный таймер общего назначения
- Модуль последовательного интерфейса USART (UART, SPI)
- "Дружественный" корпус – TSSOP24
- Напряжение питания: 1,8...3,6 В



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

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

**Компэл**  
[www.compel.ru](http://www.compel.ru)