

Роман Горелков (Maxim Integrated Products)

# СИСТЕМЫ-НА-КРИСТАЛЛЕ КОМПАНИИ МАХИМ ДЛЯ СЧЕТЧИКОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И СИСТЕМ МОНИТОРИНГА



Статья знакомит с функциональными особенностями архитектуры интегральных микросхем (ИС) компании **Maxim**, предназначенных для построения интеллектуальных счетчиков электроэнергии и систем ее мониторинга, а также новыми возможностями изделий для счетчиков электроэнергии четвертого поколения (71M654x). Статья была впервые опубликована в журнале «Компоненты и технологии» №12 за 2010 год и перепечатывается с разрешения автора и редакции журнала.



Целью сокращения времени вывода новых изделий на рынок и снижения их стоимости, производители счетчиков электроэнергии постоянно повышают требования к уровню интеграции ИС. Инновационная архитектура систем на кристалле компании Maxim для счетчиков электроэнергии и систем мониторинга обеспечивает лучшие в классе метрологические и точностные характеристики при минимальной стоимости. Изначально эти микросхемы выпускались компанией **Teridian**, которая была основана в 1972 г. под именем **Silicon Systems**. В 1996 г. она вошла в состав корпорации TDK и была известна как **TDK Semiconductor Corp**. В 2005 г. компания вновь обрела самостоятельность и получила новое имя – **Teridian Semiconductor Corp**. В мае 2010 г. компания была приобретена компанией **Maxim Integrated Products, Inc**.

## Обзор архитектуры ИС для счетчиков электроэнергии

Микросхемы Maxim для применения в интеллектуальных счетчиках электроэнергии представляют собой т.н. «систему-на-кристалле» (SoC – system-on-chip), содержащую в себе все функциональные блоки, необходимые для построения счетчика: аналоговую часть, два процессорных ядра, датчик температуры, часы реального времени, драйвер ЖКИ, два UART'а, аппаратный сторожевой таймер и т.д. Схематически архитектура системы-на-кристалле изображена на рис. 1.

Аналоговая часть состоит из входного мультиплексора, осуществляющего коммутацию входных сигналов, и одного 22-разрядного дельта-сигма АЦП, осуществляющего дискретиза-

цию входных сигналов. Данное архитектурное решение запатентовано компанией Teridian под названием “Single Converter Technology™” и отличается от конкурирующих решений с применением нескольких параллельных АЦП для оцифровки входных сигналов. Количество коммутируемых мультиплексором сигналов зависит от применения ИС в 1-фазном или 3-фазном счетчике (от 3 до 7).

Далее выборки АЦП в цифровом виде обрабатываются специализированным 32-разрядным цифровым сигнальным процессором (так называемым “Compute Engine” или СЕ), который производит все вычисления метрологических параметров – напряжения, тока, активной и реактивной энергии, частоты в соответствии с программой в флэш-памяти. Вторым вычислительным узлом является стандартный микроконтроллер 8051-архитектуры (один такт на инструкцию) с сопутствующей периферией, необходимой для построения интеллектуального счетчика электроэнергии (часы реального времени, драйвер ЖКИ, линии ввода-

вывода, два UART'а, флэш-память, датчик температуры, схемы управления батареей и др.). Кроме метрологической информации Compute Engine генерирует служебные прерывания, а также может передавать информацию о пропадании или «проседании» входных напряжений.

Как видим, данная архитектура является достаточно универсальной и позволяет с минимальными затратами осуществлять адаптацию в соответствии с требованиями потребителя. Причем метрологическая часть может быть переконфигурирована в случае, если у заказчика возникают специфические требования (например, расчет гармонических составляющих тока, напряжения или энергии).

Преимуществами данной архитектуры являются:

- Минимальная стоимость системы благодаря использованию системы-на-кристалле (минимизированы как перечень дополнительных внешних компонентов, так и занимаемая площадь печатной платы).
- Минимальные стоимость разработки и время выхода на рынок (полностью программируемая платформа, богатый набор периферии).

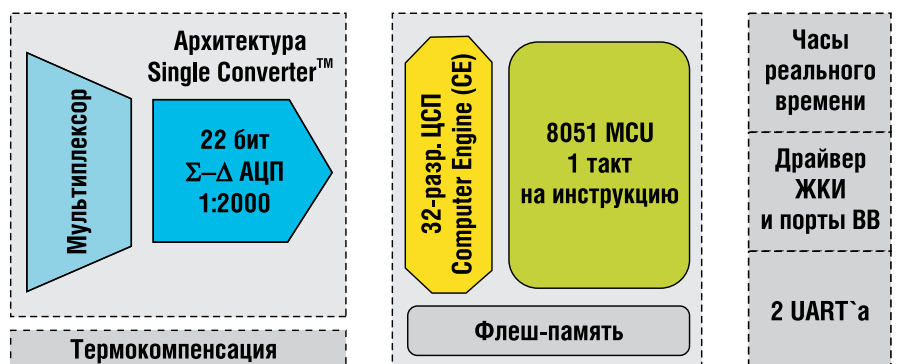


Рис. 1. Архитектура системы-на-кристалле Maxim для счетчиков электроэнергии

• Минимальный риск разработки (программируемые метрологические алгоритмы, широкий динамический диапазон, различные опции размера встроенной флеш-памяти программ от 8 кбайт до 256 кбайт).

• Лучшие в классе метрологические и точностные характеристики (зависимость от температуры и нагрузки, программируемые механизмы компенсации нелинейности датчиков).

На рисунке 2 приведена блок-схема 3-фазного счетчика электроэнергии на ИС 71M65xx.

### Сравнительные характеристики ИС первого-третьего поколений для счетчиков электроэнергии

На рис. 3 представлено семейство микросхем для счетчиков электроэнергии, включающее в себя как уже выпускаемые продукты, так и разрабатываемые компанией в настоящее время. В таблице 1 приведены основные параметры этих микросхем. Их подразделяют на поколения, внутри каждого из которых ИС имеют сходную структуру, отличаясь незначительными параметрами функциональных блоков. Рассмотрим ИС каждого поколения отдельно.

**1-е поколение: 71M6511/Н, 71M6513/Н.** Данные ИС, производ-

ство которых началось еще в 2005 г., представляют собой базовые системы на кристалле для построения интеллектуального счетчика среднего уровня (71M6511/Н – однофазного, 71M6513/Н – трехфазного). Среди ИС 1-го поколения также присутствует и **71M6515H** – только метрологическая часть 71M6513H (AFE – Analog Front End), предназначенная для построения 3-фазных счетчиков электроэнергии с дополнительным процессорным ядром.

**2-е поколение: 71M6521BE/DE/FE.** ИС 2-го поколения предназначены для построения однофазных интеллектуальных счетчиков эконом-класса. Предлагается несколько опций этой ИС с различным объемом флеш-памяти начиная с 8 кбайт (71M6521BE, без RTC), 16 кбайт (71M6521DE) и заканчивая 32 кбайт (71M6521FE). В соответствии с пожеланиями заказчиков в данные ИС были добавлены несколько дополнительных возможностей, расширяющих область их применения (оптический модулятор 38 кГц, аппаратно реализованное мигание сегментов ЖКИ и различные параметрические улучшения). В этом поколении реализованы гибкие батарейные режимы, позволяющие ИС при пропадании основного питания перейти в один из трех энергосберегающих режимов (BROWNOUT, LCD и

SLEEP) с сохранением части функциональности. В режиме BROWNOUT измерительная часть отключена, а процессорное ядро работает на сниженной частоте 28,7 кГц, позволяя сохранить необходимые данные в энергонезависимую память или передать биллинговую информацию системе сбора, а уже затем перейти в более экономичный режим LCD или SLEEP. В режиме LCD отключено и процессорное ядро, работают только часы реального времени с возможностью отображения информации на ЖКИ (накопленное энергопотребление) с двумя мигающими сегментами. В режиме SLEEP работают только часы реального времени. В дополнение, ИС может “проснуться” из режимов LCD или SLEEP по внешнему событию (например, срабатыванию датчика снятия крышки счетчика/ клеммного блока или нажатия кнопки) и, проделав действия в соответствии с программой заказчика (передать данные, зафиксировать вскрытие корпуса и т.д.), опять “уснуть”. Те же действия ИС может производить автоматически по встроенному программируемому таймеру в зависимости от выдвигаемых требований.

**3-е поколение: 71M6531D/F, 71M6532D/F** (для однофазных приложений) и **71M6533/Н, 71M6534/Н** (для трехфазных приложений). ИС 3-го поколения представляют собой дальнейшее развитие в сторону дополнения функциональности счетчиков за счет увеличенного объема флеш-памяти (128...256 кбайт), возможности использования ЖКИ с большим количеством сегментов (см. табл. 1) или управления большим числом периферийных устройств. Микросхемы этого поколения имеют опцию корпуса с увеличенным количеством выводов (71M6532 – LQFP-100, 71M6534 – LQFP-120). Из прочих усовершенствований необходимо отметить увеличенную до 10 МГц частоту процессорного ядра, расширенный объем ОЗУ (4 кбайт) с совместным доступом СЕ и МРU, сниженные параметры потребления в энергосберегающих режимах, дифференциальные входы АЦП (71M6532, 71M6533, 71M6534), а также дополнительный вход АЦП для контроля тока в нейтральном проводе в трехфазных приложениях с целью предотвращения хищений электроэнергии.

### Функциональные особенности микросхем четвертого поколения

В настоящее время часть ИС 4-го поколения семейства уже запущена в массовое производство, а к концу 2011 г. планируется запустить массовое производство всех представленных ИС 71M654x. Эти ИС предназначены для построения как бюджетных интеллекту-

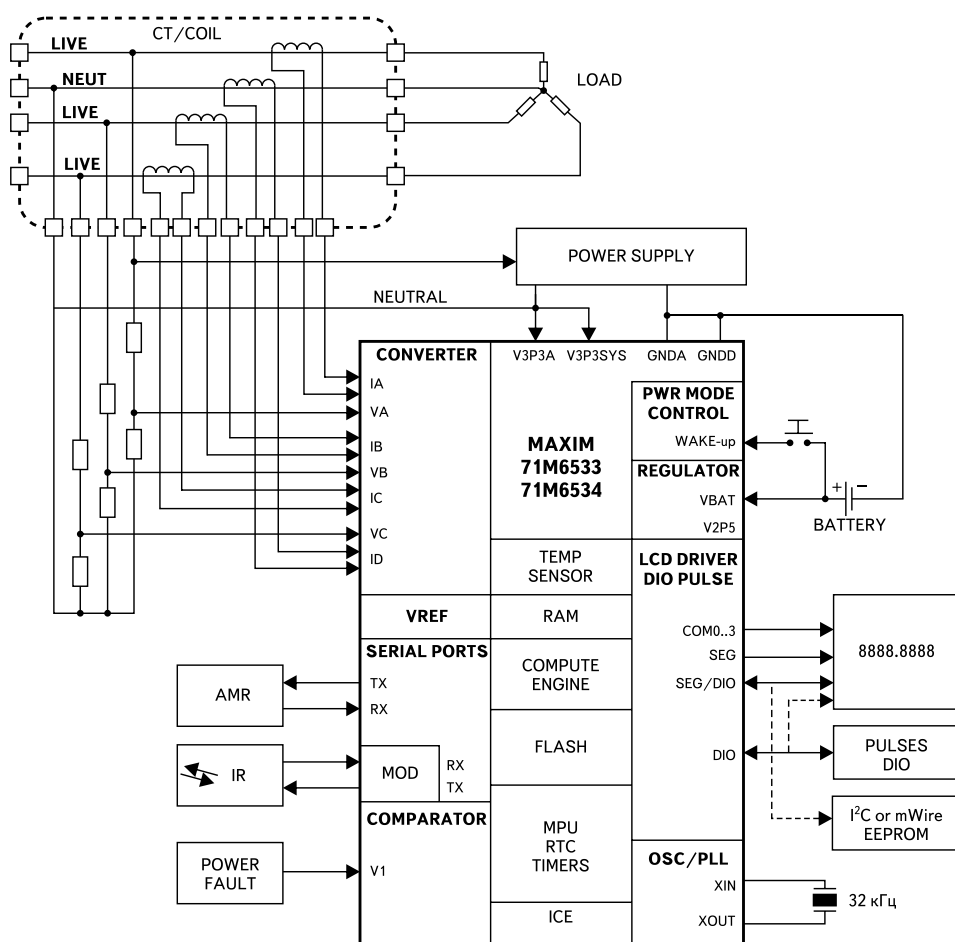


Рис. 2. Блок-схема 3-фазного счетчика электроэнергии на базе 71M6533/71M6534

Таблица 1. Основные параметры систем-на-кристалле Maxim для счетчиков электроэнергии

71M...	6511/Н	6513/Н	6521BE/DE/FE	6531D/F	6532D/F	6533/Н	6534/Н	6541D/F/G	6542F/G	6543F/G/Н/GH
Применение	1-ф	3-ф	1-ф	1-ф	1-ф	3-ф	3-ф	1-ф	1-ф	3-ф
Точность Втч, %	0,5/0,1	0,5/0,1	0,4	0,1	0,1	0,5/0,1	0,5/0,1	0,5	0,5	0,5 – F, G; 0,1 – H, GH
Объем флеш-памяти, кБ	64	64	8/16/32	128/256	128/256	128	128/256	32/64/128	64/128	64 – F, H; 128 – G, GH
Объем ОЗУ, кБ	7	7	2	4	4	4	4	3/5/5	5	5
Дифф. входы АЦП	–	–	–	–	+	+	+	+	+	+
Каналы АЦП	3	7	4	4	4	7	7	3	4	7
Сегменты ЖКИ (макс)	128	168	140 (LQFP), 152 (QFN)	156	268	228	300	210	336	336
Линии ввода-вывода (макс.)	12	22	14 (LQFP), 18 (QFN)	22	43	39	52	30	51	51
Тип корпуса	LQFP-64	LQFP-100	LQFP-64, QFN-68	QFN-68	LQFP-100	LQFP-100	LQFP-120	LQFP-64	LQFP-100	LQFP-100

альных счетчиков электроэнергии, так и счетчиков среднего и высокого уровня. При разработке этих ИС был учтен значительный опыт и пожелания потребителей, накопленные в ходе реализации проектов на базе ИС первых трех поколений. В ИС 4-го поколения реализована революционная технология, позволяющая построить счетчик электроэнергии с применением шунтов вместо традиционно используемых трансформаторов тока или катушек Роговского. Рассмотрим дополнительные функциональные особенности микросхем серии 71M654x подробнее.

**1) Возможность работы с шунтами посредством дополнительной ИС интерфейса шунта.** Данная опция реализована следующим образом: входы ИС 71M654x могут работать в двух режимах – аналоговом и цифровом. В аналоговом режиме входной сигнал поступает на вход АЦП для последующей его оцифровки и обработки СЕ (аналогично ИС предыдущих поколений). Для работы в цифровом режиме входы ИС могут быть сконфигурированы как выходы двунаправленного последовательного интерфейса для связи через импульсный трансформатор с ИС интерфейса шунта 71M6xxx. В данной конфигурации гальваническая развязка между ИС обеспечивается с помощью импульсного трансформатора, служащего для передачи данных в обоих направлениях. Кроме того, ИС 71M654x генерирует импульсы, которые, будучи выпрямленными на стороне ИС интерфейса шунта, служат для нее источником питания. Эта технология позволяет изготовить однофазный счетчик, использующий в качестве датчиков тока два шунта (в проводах фазы и нейтрали) или трехфазный счетчик, использующий три или четыре шунта (с дополнительным дат-

чиком тока нейтрали). Соответствующие ИС интерфейса шунта содержат в себе усилитель с фиксированным коэффициентом усиления (в зависимости от максимального тока – доступны варианты на 60, 100 и 200 А), 22-разрядный дельта-сигма АЦП и вспомогательные периферийные блоки (интерфейс связи с основной ИС, источник питания, термодатчик), и выполнены в миниатюрном корпусе SO-8.

**2) Датчики температуры и напряжения батареи независимы от основного АЦП.**

**3) Механизм термокомпенсации часов реального времени, функционирующий во всех батарейных режимах работы.** ИС предыдущих поколений имели программируемый механизм компенсации температурного ухода RTC по сигналу встроенного термодатчика. Поэтому, поскольку в батарейных режимах (при отсутствии внешнего питания) АЦП отключен, термокомпенсация RTC также отключалась. В ИС 4-го поколения термокомпенсация не

отключается, т.к. основной АЦП для оцифровки сигнала термодатчика не используется.

**4) Частота работы процессорного ядра в батарейном режиме программируется вплоть до полной тактовой частоты 5 МГц** (по сравнению с ИС предыдущих поколений, имевших тактовую частоту в этом режиме 28,7 кГц). Это позволяет более быстро обрабатывать события при отсутствии основного питания (вскрытие корпуса, снятие данных и т.д.) и экономить энергию встроенной батареи.

**5) Больше источников «пробуждения» ИС из спящих режимов.** В дополнение к источникам пробуждения ИС, реализованным во 2-м и 3-м поколениях (таймер, вывод PB), добавлены еще несколько – входы UART (RX, OPT\_RX) и несколько портов ввода-вывода, что предоставляет большую гибкость при разработке.

**6) Драйвер ЖКИ с поддержкой шести общих (common) сигналов,** позволяющий подключить высокоинфор-

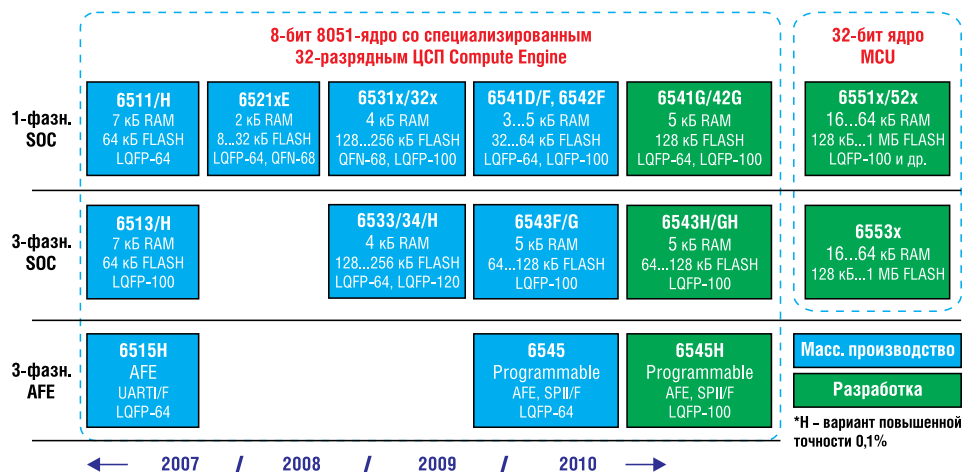


Рис. 3. ИС для счетчиков электроэнергии компании Maxim

мативные индикаторы (более 300 сегментов).

7) **Два входа батарей (VBAT, VBAT\_RTC)** – один предназначен для питания исключительно RTC, а второй – для пользовательских задач. Это позволяет избежать потерь данных RTC при разряде основной батареи (например, при «зажатии» кнопки пробуждения с целью мошенничества).

8) **Различные параметрические улучшения:** снижение потребляемой ИС мощности до 15 мВт в рабочем режиме (что позволяет использовать конденсаторный источник питания мощностью 4 ВА), возможность работы со сниженной частотой выборок АЦП, два дополнительных источника прерывания от SE (для быстрого детектирования пропадания напряжения), улучшенная топология кристалла и разводка выводов для борьбы с помехами и т.д.

Образцы микросхем 4-го поколения, а также демонстрационные платы для оценки параметров решения и ускорения цикла разработки доступны для заказа. Уже начата работа по разработке ИС 5-го поколения, предназначенных для высокоинтеллектуальных счетчиков электроэнергии самого высокого уровня и с поддержкой различных интерфейсов передачи данных с внешними устрой-

ствами сбора (DLMS, SFSK, TCP/IP и проч.).

### Решения для мониторинга электроэнергии

Одним из направлений развития решений для счетчиков электроэнергии стали микросхемы для мониторинга электроэнергии, предназначенные для встраиваемых приложений с целью измерения параметров потребления самого устройства (или его узла) и передачи данной информации основному процессору системы. Структура ИС данного семейства аналогична (та же система-на-кристалле), однако, для упрощения задачи, разработчикам не требуется написание кода (ИС поставляются предварительно запрограммированными). Перед разработчиком стоит только задача подключения обвязки (шунт, кварцевый резонатор и т.д.) и подключения к основному процессору системы по встроенному интерфейсу (UART, SPI, PMBUS) для передачи параметров потребления (ток, напряжение, активная и реактивная мощность и т.д.). Поскольку в таком применении не требуется обеспечивать защиту от хищения электроэнергии (информация не является биллинговой), можно расширить возможности ИС в сторону увеличения

количества каналов. В частности, с помощью ИС **78M6618** осуществляется одновременный контроль потребления до восьми потребителей (т.е. фактически «восемь счетчиков в одном корпусе»). Более подробно о решениях для мониторинга электроэнергии мы планируем рассказать в одной из следующих статей.

### Аппаратные и программные средства поддержки

С целью ускорения разработки и оценки технических решений, предлагаемых компанией, выпускаются демонстрационные платы, представляющие собой практически готовый счетчик электроэнергии (для однофазных приложений – укомплектованный шунтом), который можно использовать как основу для построения собственной разработки. Также предоставляется готовое ПО на уровне исходного кода C наряду с сопутствующим руководством. В дополнение к этому имеется большое количество руководств по применению (Application Notes), которые можно найти на сайте компании – [www.russia.maxim-ic.com](http://www.russia.maxim-ic.com). К услугам заказчиков – высококвалифицированная поддержка со стороны команды инженеров, имеющих более чем двадцатилетний опыт разработки решений для счетчиков электроэнергии.

### Заключение

Описанные в статье системы-на-кристалле компании Maxim представляют собой основу для построения интеллектуальных счетчиков электроэнергии различного уровня, начиная с бюджетного бытового счетчика электроэнергии и заканчивая промышленным счетчиком высокого класса точности (0,2%). Однокристалльное решение с широким набором периферии, полностью цифровой и реконфигурируемой метрологической частью, обеспечивает минимальное время реализации проекта при низкой стоимости устройства. Благодаря используемым нововведениям, ИС 4-го поколения предоставляют больше функциональных возможностей при разработке счетчиков электроэнергии, а также, при одновременном снижении стоимости решения, обеспечивают применение шунтов как датчиков тока в приложениях, где ранее могли использоваться только традиционные трансформаторы тока или катушки Роговского. **5**


Системы-на-кристалле 4-го поколения для 1-фазных счетчиков электроэнергии


71M6541/42

\*Teridian - a Maxim Integrated Products Brand

### ОСОБЕННОСТИ:

- Патентованная технология Single Converter Technology™
- 32-разрядное метрологическое ядро Compute Engine
- Поддержка работы с различными датчиками тока
- Поддержка шунтовых датчиков тока в фазном и нейтральном проводе
- Механизмы термокомпенсации
- Лучшие в классе метрологические характеристики

Innovation Delivered, Maxim и логотип Maxim – зарегистрированные торговые марки Maxim Integrated Products, Inc.

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

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



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

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