

ОСНОВНЫЕ СЛОЖНОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СЧЕТЧИКОВ

СУНИЛ ДИП МАХЕШВАРИ (SUNIL DEEP MAHESHWARI), Freescale
ПРАШАНТ БХАРГАВА (PRASHANT BHARGAVA), Freescale

Проектировщики микросхем для счетчиков зачастую не подозревают о сложностях, связанных с построением систем учета, и требованиях, предъявляемых к ним. В статье освещаются некоторые вопросы разработки систем на кристалле (СНК) для контрольно-измерительных устройств, а также предлагаются возможные решения. Кроме того, рассматриваются основные проблемы, заблаговременное знание которых помогает избежать ошибок в процессе проектирования.

ТОЧНОСТЬ ПОКАЗАНИЙ

Точность является важнейшим параметром для систем учета. Ни один поставщик услуг не будет использовать устройства, которые не обеспечивают точного учета потребления. Это особенно важно для устройств контроля расхода энергии, поскольку по сравнению со счетчиками газа и воды качество их работы в большей степени зависит от накристалльных аналоговых элементов. Как правило, в счетчиках энергии для измерения тока и напряжения используются внутренние АЦП, поскольку внешние значительно увеличивают стоимость конечного устройства. В приборах учета газа и расходомерах используются внешние датчики для измерения скорости потока жидкости или газа. Форма выходных импульсов датчика может быть прямо пропорциональна скорости потока. Поскольку эти датчики имеют, как правило, цифровой интерфейс, точность всей системы мало зависит от СНК и определяется в основном самим датчиком.

С другой стороны, точность счетчика энергии зависит от двух факторов: способа сопряжения линий электропередачи со счетчиком (с использованием трансформаторов, датчиков, пояса Роговского и т.д.) и точности измерения токов и напряжения аналоговым каскадом (AFE — Analog Front End) на кристалле СНК. Таким образом, для приборов учета газа, воды или расходомеров и счетчиков энергии точность определяется разными факторами. Рассмотрим их более подробно.

АНАЛОГОВЫЙ ВХОДНОЙ КАСКАД

С точки зрения потребителя точность AFE является самым важным фактором. Зачастую она определяется преобразователем, от которого зависит конкурентоспособность СНК.

Точность аналоговой системы зависит главным образом от выбора АЦП. Двумя наиболее часто используемыми в измерительном оборудовании АЦП являются сигма-дельта (SD) и преобразователи последовательного приближения (SAR). У каждого из них есть свои преимущества и недостатки.

Преобразователи последовательного приближения хорошо подходят для чувствительных к потребляемой мощности приложений. Однако они непригодны для работы в условиях сильной зашумленности, поэтому на входе обычно ставится ФНЧ. Достоинство этих преобразователей заключается в том, что по сравнению с сигма-дельта АЦП они имеют малое время установления — время, которое требуется для стабилизации, чтобы точность преобразования была высокой.

Таким образом, АЦП последовательного приближения более предпочтительны для приложений, требующих быстрого переключения входных каналов или тех, в которых происходят быстрые изменения уровня входного сигнала. Для сигма-дельта АЦП требуется очень высокая тактовая частота, чтобы время установления было минимальным. За счет этого увеличивается стоимость конечного устройства и его потребление.

ТОК НАГРУЗКИ

При расчете потребления энергии производится несколько операций умножения и сложения токов и напряжений. Определение напряжения нагрузки не составляет труда, чего нельзя сказать об определении потребляемого тока.

Общий ток, потребляемый домом, заводом или иным зданием, не может быть подан на чип. Вместо этого на аналоговый вход микросхемы поступа-

ет пропорциональная величина (тока или напряжения), которая измеряется с помощью АЦП. Коэффициент масштабирования подбирается так, чтобы можно было выполнить расчет. Однако для реализации данного принципа требуется недорогой АЦП, способный измерять токи напрямую. Чтобы обойти это ограничение, ток преобразуют в напряжение с помощью нагрузочного сопротивления и подают его на вход АЦП.

С точки зрения стоимости это более рациональное решение, чем прямое измерение тока. Ток принято измерять с помощью шунтирующего резистора, пояса Роговского или трансформатора тока. В первом случае резистор с малым сопротивлением помещается в цепь с током нагрузки. Напряжение, которое падает на шунтирующем резисторе при прохождении через него тока нагрузки, поступает на вход АЦП и измеряется. Далее определяется соответствующий ток потребления.

Второй способ предполагает использование трансформатора тока (ТТ). Принцип тот же. Потребляемый ток создает магнитный поток, вызывающий небольшой ток во вторичной обмотке. Этот ток проходит через сопротивление нагрузки, преобразуется в напряжение и измеряется.

Метод с использованием пояса Роговского проиллюстрирован рисунком 1. Он применим даже для сильно изменяющихся токов. Выходной сигнал дифференцирован по времени, поэтому на выходе необходим интегратор, чтобы получить соответствующее значение тока.

Сравнивая рассмотренные методы, можно сделать следующий вывод. Первый метод является самым дешевым, однако он не подходит для измерения токов большой величины и посто-

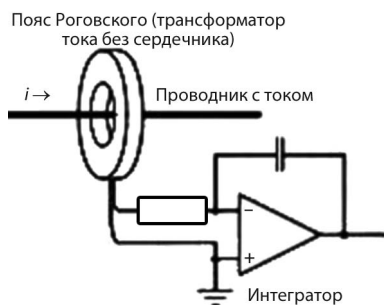


Рис. 1. Подключение трансформатора Роговского

янной составляющей. Трансформаторы тока позволяют проводить измерения в более широком диапазоне, однако они стоят дороже и подвержены другим эффектам (насыщение, гистерезис и т.д.).

Пояс Роговского, третий вариант, по своим свойствам является промежуточным — он дешевле трансформатора тока, но имеет очень хорошую линейность в широком диапазоне токов. Трансформаторы Роговского лишены недостатков трансформаторов тока. Области применения рассмотренных методов определяются формой изменения тока и уровнем потребления. Метод с использованием шунта наиболее распространен в бытовых и жилых помещениях, а пояс Роговского обычно используется на промышленных объектах.

ПОТРЕБЛЕНИЕ ТОКА

Ток потребления СнК — первостепенный фактор, влияющий на срок службы батареи. Для устройств, имеющих только батарейное питание, необходимым условием является низкое потребление СнК. Счетчики газа и расходомеры обычно не связаны напрямую с источником питания, поэтому работают только от батареи. Соответственно, они более чувствительны к току, чем приборы учета энергии. Это важное обстоятельство, учитывая, что срок службы приборов составляет около 15 лет, и часто менять батареи потребителю неудобно.

Таким образом, проблема высокого потребления в большей степени касается счетчиков газа и расходомеров, а не приборов учета энергии. Как правило, в стандартном счетчике газа или расходомере сам счетчик большую часть времени находится в энергосберегающем режиме. Он с заданной периодичностью активизируется, чтобы рассчитать потребление, сохранить полученное значение и произвести служебные операции (сброс счетчика импульсов и т.д.).

Кроме того, характер потребления газа, воды и тепла сильно отличается от характера потребления энергии, поскольку они не используются непрерывно. Соответственно, и ядро не должно постоянно находиться во

включенном состоянии. Ряд производителей заявляет, что в режиме пониженного энергопотребления токи не превышают 1,1...2 мкА (ток потребления в режиме ожидания).

Вторым вопросом, который необходимо рассмотреть, является время загрузки СнК и связанное с ним потребление тока. Поскольку датчик должен срабатывать через равные промежутки времени, скорость загрузки и соответствующий ток потребления имеют большое значение. Именно по этой причине ядро, использующееся в таких СнК, имеет порой даже большую значимость, чем такие параметры как скорость обработки данных и т.д.

ЗАЩИТА ДАННЫХ

Уровень защищенности, в том числе от несанкционированного доступа, определяется в основном сложностью конечного устройства. В некоторых системах достаточно просто обнаружить попытки несанкционированного доступа, например, когда кто-то пытается открыть корпус прибора или подключиться к СнК, чтобы изменить программу тарификации. В то же время в более продвинутых системах учета может потребоваться защита подключения к Ethernet или защита данных счетчика, который входит в состав сети GPRS, CDMA или ZigBee. Разнообразие требований по безопасности очень велико, поскольку системы учета могут поддерживать не один принцип измерения.

К автономным устройствам, в которых счетчик не является частью сети, а считывание показаний и расчет стоимости производятся вручную, не предъявляются высокие требования, поскольку их взлом не повлияет на работу остальных счетчиков. Соответственно, в них применяются простые схемы обнаружения, рассмотренные выше.

Чтобы обнаружить попытку вскрытия корпуса, между окном счетчика и корпусом устанавливают проводник с током. При вскрытии ток прекращается, и система защиты дает сигнал о попытке несанкционированного доступа. Несанкционированное перепрограммирование СнК может быть предотвращено с помощью паролей, установленных на внутренние регистры СнК. Ввод неверного пароля может рассматриваться как попытка несанкционированного доступа.

Для сетевых систем учета проблема защиты сложнее, поскольку счетчик является частью сети, и любой взломанный узел может сделать всю сеть небезопасной. В таких случаях применяются программные и аппаратные многоуровневые средства защиты. Например, существует ряд протоколов, таких как EN13757, HomePlug, ISA100.11a,

ANSI/EIA/CEA-709.1-B-2000 и EN 14908 и т.д., которые обеспечивают всестороннюю защиту.

Революция в системах учета во многом связана с достижениями в области передачи данных — функции, которая поддерживается интеллектуальными приборами учета. В то же время именно эта возможность требует особого внимания с точки зрения защиты системы. Доступ к индивидуальному счетчику или сети чаще всего осуществляется по каналам связи.

Рассмотрим пример. Пусть имеется счетчик предоплаты на основе смарт-карты. Передача данных между смарт-картой и процессором счетчика осуществляется по последовательному периферийному интерфейсу SPI. Во внутреннюю память карты записана требуемая сумма. Если карту вставить в счетчик, из нее вычитается сумма, рассчитанная по фактическим показаниям.

Целью несанкционированного доступа в данном примере может стать либо перепрограммирование карты, либо создание дубликата. Единственным способом защиты в этом случае является шифрование данных, хранящихся в памяти карты. Перед списанием суммы производится дешифрация. При записи на электронную карту новой суммы производится шифрование по той же схеме.

Описанная система является защищенной до тех пор, пока алгоритм шифрования и ключ засекречены. На практике шифрование используется во всех измерительных системах, что позволяет говорить об их безопасности хотя бы на первичном уровне.

Тип и степень сложности алгоритма шифрования определяются главным образом протоколом связи. Например, для GPS, GPRS, CDMA, Ethernet и т.д. выполняются намного более сложные процедуры. В связи с этим обычно применяются специализированные аппаратные схемы, чтобы, во-первых, ослабить зависимость от программных средств защиты и, во-вторых, уменьшить нагрузку на процессор, увеличив тем самым производительность системы.

ОБНОВЛЕНИЕ ВО ВРЕМЯ РАБОТЫ

Замена счетчиков — дорогостоящее мероприятие, поэтому поставщики услуг хотели бы использовать один и тот же прибор в течение длительного периода, 10–15 лет. Соответственно, при проектировании СнК необходимо предусмотреть возможные аппаратные измерения в будущем, например, изменение тарифного плана, введение многотарифного учета в соответствии со временем суток, изменение сроков перехода на летнее время и т.д. Эти изменения должны производиться без

Решение начального уровня из линейки QorIQ для промышленных и сетевых приложений

Первый процессор начального уровня

- ▶ на ядре e500 с удельной производительностью 2.4MIPS/МГц
- ▶ использующий технологию Software Fast path Acceleration (программное ускорение тракта данных)
- ▶ с технологией Trust Architecture (защита вашей интеллектуальной собственности)

Первый процессор в линейке QorIQ

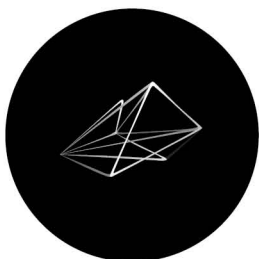
- ▶ со встроенным PHY для интерфейса USB
- ▶ с энергопотреблением <3 Вт
- ▶ с интерфейсом CAN
- ▶ с очень компактным корпусом 19×19 мм



реальный размер

Только первый.

Power Architecture e500 core 533-800 MHz • DDR3/DDR3L support • 3x Gigabit Ethernet with IEEE1588 support • Software fast path acceleration • PCI-Express • SATA • TDM • USB 2.0 with PHY • SD/MMC • CAN • Trust Architecture • <3W power consumption



Группа компаний
Симметрон

www.symmetron.ru

Региональные офисы

МОСКВА
Ленинградский пр., 68.
Тел.: (495) 797-5535, -45
moscow@symmetron.ru

НОВОСИБИРСК
ул. Блюхера, 71б.
Тел. (383) 361-3424
sibir@symmetron.ru

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
ул. Таллинская, 7.
Тел.: (812) 449-4000, -05, -06
spb@symmetron.ru

МИНСК
ул. Веры Хоружей, 1а, оф. 507.
Тел. +375 (17) 336-0606
minsk@symmetron.ru

КИЕВ
ул. М. Расковой, 13, оф. 903.
Тел. +38 (044) 494-2525
kiev@symmetron.ua

ХАРЬКОВ
пер. Саммеровский, 1.
Тел. +38 (057) 750-8022
kharkov@symmetron.ua

Представительства

РОСТОВ-НА-ДОНУ
ул. Социалистическая, 3/8,
оф. 311, «Элсин».
Тел. (863) 282-6315

СТАВРОПОЛЬ
ул. Серова, 6/1 оф. 4, «Элсин».
Тел. (8652) 554-074

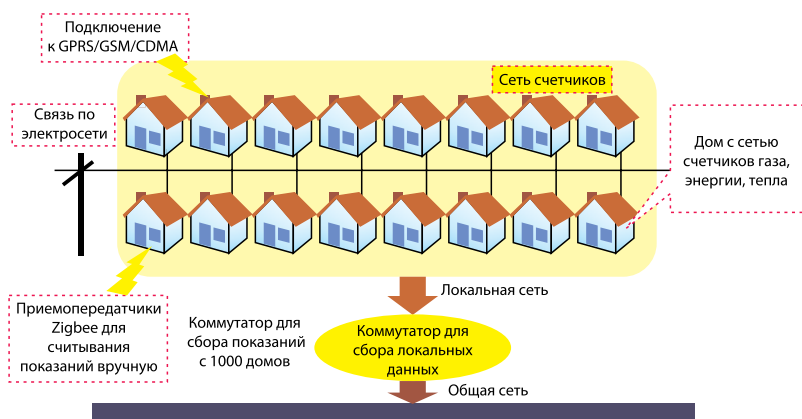


Рис. 2. Структура развитой системы учета потребления

замены счетчиков и без прерывания работы, т.е. незаметно для потребителя.

Данное требование сопряжено с двумя сложностями. Во-первых, необходимо решить, каким образом проводить обновление ПО СнК без прерывания работы счетчика и, во-вторых, как бесшовно перейти на новую прошивку, чтобы изменения не вызвали перебоев в поставке услуг потребителю. Для решения первой задачи необходимо найти способ передачи исправленного ПО (патча) от внешнего источника на кристалл без сброса питания или счетчика. Далее эти изменения должны вступить в силу без перезагрузки системы.

Процесс передачи данных от внешнего источника в СнК может отличаться от процедуры обмена между двумя кристаллами, все зависит от уровня сложности СнК. Например, в простых приборах учета ресурсов может не оказаться поддержки GPRS или Ethernet. В этом случае применяются простые периферийные протоколы, такие как последовательный интерфейс SCI, последовательный периферийный интерфейс SPI или интерфейс связи между ИС I²C. Тем не менее эти протоколы предполагают обращение к ядру для считывания данных из регистров периферийных устройств и записи во флэш-память. Задача упрощается, если периферийное устройство поддерживает прямой интерфейс между памятью и внешним миром, без использования ядра. Например, для передачи данных в память может применяться прямой доступ к памяти.

Все подходы, рассмотренные выше, имеют один большой недостаток: процесс обновления производится главным образом вручную, путем подключения загрузчика патча через SPI, SCI или USB. Это может увеличить стоимость обновления. Более эффективный подход — использование современных средств передачи, например, приемопередатчиков ZigBee, GPRS/GSM/CDMA, Ethernet, PLC и т.д. В случае ZigBee портативные устройства устанавлива-

ют беспроводное соединение со счетчиком, проверяют его подлинность и затем производят передачу данных. Процесс производится вручную, однако он занимает гораздо меньше времени и обходится заметно дешевле.

Остальные протоколы обмена не требуют вмешательства. Центральный сервер на стороне поставщика услуг осуществляет передачу программного кода в СнК. Полученные данные сохраняются во внутренней памяти кристалла. После программного сброса СнК ПО обновляется.

Изменения должны вступить в силу без перезагрузки системы. Для этого необходима поддержка функции загрузки с другого источника после очередного программного сброса. Как вариант может быть предусмотрена загрузка с ОЗУ. Тогда новый код сохраняется в ОЗУ и после сброса или выхода из энергосберегающего режима система будет загружаться с ОЗУ, и обновление ПО вступит в силу.

ОБРАБОТКА ДАННЫХ

С расширением функционала систем учета увеличивается количество выполняемых процессов и объем обрабатываемых данных. В зависимости от сферы применения и величины вычислительной нагрузки на СнК в качестве ядра могут применяться 32-разрядные процессоры или мощные DSP. Дополнительные функции, такие как передача данных, не должны мешать проведению измерений.

Частично разгрузить ядро можно за счет выполнения всех вычислительных операций на дополнительной аппаратной схеме, размещенной на СнК. Объем вычислений в приборах учета очень велик, поэтому отведение для них отдельной схемы вполне оправдано.

Для концентраторов данных и измерительных шлюзов более важна производительность системы, поскольку они должны обрабатывать большой объем данных. К тому же они должны обеспечивать пользовательский интерфейс, что еще больше увеличивает объем

данных. Для больших и разветвленных сетей логично ввести многоядерные СнК. Возможно, в будущем СнК в сетевых системах учета станут многоядерными.

БЫСТРАЯ, НАДЕЖНАЯ СВЯЗЬ

Измерение потребления является лишь частью поставленной задачи (см. рис. 2). В большинстве систем учета считывание показаний до сих пор производится вручную, поскольку традиционные счетчики не имеют возможности подключения к сети. Это, во-первых, увеличивает накладные расходы, а во-вторых, приводит к ошибкам из-за человеческого фактора.

Для повышения эффективности счетчик должен обеспечивать поддержку сетевых протоколов, тогда станет доступным автоматическое считывание показаний. Одной из главных проблем, связанных с передачей показаний в сеть, является присутствие электрического шума. Выходной сигнал счетчика должен иметь формат, обеспечивающий обнаружение и исправление ошибок, чтобы данные можно было восстановить даже при повреждении пакета. Эти меры дополнительно увеличивают объем данных.

В результате скорость передачи данных также приобретает важное значение. В настоящее время используется несколько способов передачи данных. Наиболее распространенными среди них являются GPRS, Ethernet, передача по электросети, ZigBee, инфракрасный канал и т.д.

Тип связи выбирается в зависимости от конечного применения. Например, ZigBee и инфракрасный канал больше подходят для сети счетчиков, в которой показания сначала по беспроводному каналу поступают на базовую станцию, а затем по проводной связи передаются на центральную станцию.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время системы учета развиваются так быстро, что разработчики вынуждены предугадывать будущие требования и предусматривать необходимые возможности в существующих проектах. Разработка однокристалльного решения, отвечающего всем упомянутым выше требованиям, является очень сложной задачей. Тем более, что мы рассмотрели не все проблемы, а лишь самые основные.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sunil Deep Maheshwari. *Architecting the new age smart utility meters.*
2. Sunil Deep Maheshwari. *Getting basic utility meter designs ready for the smart grid.*
3. *Техническая документация на MCF51EM256.*