

А.Г. АРЗУМАНЯН

ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ АНАЛОГОВЫХ И ЦИФРОВЫХ ДАТЧИКОВ С ПОМОЩЬЮ ARM ПРОЦЕССОРА И С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ПРЯМОГО ДОСТУПА К ПАМЯТИ

Исследованы методы снижения потребляемой мощности систем, работающих с большим количеством аналоговых и цифровых датчиков. Применение схемы с тактовым генератором, обеспечивающей контроль (включение/выключение) датчиков только на период опроса данных, а также использование высокоскоростной общей шины передачи данных с прямым доступом к памяти для одновременной регистрации измеряемых величин и обмена данными между всеми устройствами внутри системы позволило на порядок уменьшить потребляемую мощность изделия. Предложен алгоритм работы процессора с сокращенным набором команд (ARM) для настройки устройств (принимающих сигналы от датчиков) и для системы, работающей с возможностью прямого доступа к памяти, обеспечивающей регистрацию измеряемых данных в устройствах памяти.

Ключевые слова: ARM процессор, аналоговый датчик, цифровой датчик, прямой доступ к памяти, центральный процессор, SPI шина, приемное устройство для датчиков.

Введение. В настоящее время во всем мире актуальной стала задача снижения потребляемой мощности устройств, принимающих сигналы от аналоговых и цифровых датчиков. Все больше фирм-производителей сертифицируют свои изделия в соответствии со стандартом "Energy Star" [1].

В существующих системах сбора и обработки информации имеется ряд датчиков, которые непрерывно опрашиваются центральным процессором. При этом датчики постоянно потребляют полную мощность, вне зависимости от того, идет ли опрос в данный момент времени, или нет. Подобные системы требуют значительного расхода потребляемой мощности. К примеру, информационно-диагностическая система БИНГ-3 с 70 датчиками, применяемая в нефтегазовой промышленности, потребляет 15 Вт мощности; аналогичная система PASCО 850 – 22 Вт на 54 датчика. Потребляемая мощность от одного датчика в зависимости от типа и назначения колеблется от 37 до 85 мВт [2, 3].

Другим недостатком подобных систем является то, что процессор опрашивает датчик, затем обрабатывает данные, пересылает результаты в память и только затем переходит к опросу следующего датчика.

Как результат - уменьшаются быстродействие системы и количество одновременных действий [4].

Аналогичным недостатком обладала система "Data Logger", разработанная для опроса 32 аналоговых и цифровых датчиков и передачи информации на спутник связи. Потребляемая мощность системы – 12 Вт, что не позволяло применять ее в полевых условиях для работы от малогабаритных аккумуляторов [5].

Для решения этой проблемы была применена схема, обеспечивающая включение каждого датчика только на время опроса и отключение его после завершения опроса. Таким образом, в каждый момент времени под напряжением находится только один датчик, что позволяет значительно уменьшить потребляемую мощность.

Другим путем уменьшения мощности в данной системе было использование более высокоскоростных компонентов, в частности ARM процессоров. С целью увеличения скорости обработки данных применен прямой доступ к памяти, дающий возможность датчикам иметь непосредственную связь с основной памятью. В результате данные от датчиков пересылаются непосредственно в память системы для хранения и регистрации, и процессор не теряет времени на прием и пересылку данных в память системы [6].

Увеличение скорости обмена датчиков с памятью позволяет уменьшить время включенного состояния датчика, а следовательно, непосредственно уменьшить потребление мощности.

Постановка задачи. Основной целью работы является разработка и реализация системы регистрации измеряемых данных, полученных от аналоговых и цифровых датчиков, которая должна удовлетворять следующим требованиям:

- уменьшение электропотребления с целью увеличения времени автономной работы системы (на встроенных аккумуляторах);
- высокоскоростная обработка и регистрация данных, полученных от 24 аналоговых и 8 цифровых датчиков.

В этой системе необходимо обеспечить высокоскоростную регистрацию измеряемых данных от датчиков к памяти системы с определенным временным интервалом. Здесь основной проблемой является максимальное сокращение потребляемой мощности системы в нерабочем интервале. Поскольку ARM процессоры обеспечивают низкое электропотребление, высокоточную и высокоскоростную обработку и регистрацию данных, следовательно, использование и применение программы, полученной в ARM процессоре, позволит реализовать прямой обмен данными между датчиками и памятью.

В настоящее время в подобных системах используются принимающие устройства от датчиков, которые работают непрерывно, а также центральное процессорное устройство (ЦПУ) для доступа к памяти, следовательно, система употребляет сравнительно больше мощности, и данные занимают большой объем памяти, в результате чего уменьшаются быстродействие системы и количество одновременных действий.

Первоначальной задачей была разработка принимающего устройства для включения/выключения и опроса датчиков (в дальнейшем принимающие устройства) в коротком временном интервале при помощи ARM процессора, которое обеспечивает экономию потребляемой мощности системы. Для уменьшения времени включенного состояния датчиков необходимо повысить производительность системы. С этой целью была применена общая шина для обмена данными между памятью и принимающим устройством, а также проведена регистрация данных от датчика в память с прямым доступом. Для обмена данными использовался SPI протокол, который передает и регистрирует данные в памяти со скоростью 20 Мбит/с. Последовательный интерфейс периферийных устройств (SPI) снабжен буфером (FIFO) и имеет возможность прямого доступа к памяти данных, что разгружает процессорное ядро от выполнения рутинных операций и позволяет еще более повысить общую производительность и/или понизить тактовую частоту с целью снижения потребляемой мощности.

Принцип работы. В блок-схеме на рис. 1 представлены принцип работы ARM процессора и обмен данными между памятью и датчиками.

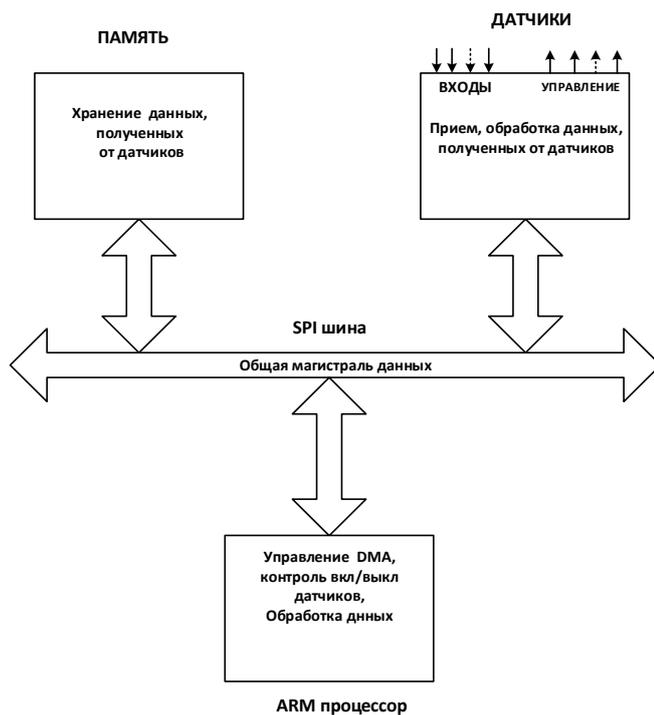


Рис. 1. Принцип работы ARM процессора и обмен данными между памятью и датчиками

Как видно из рис. 1, общая шина обмена данными используется для настройки принимающих устройств и реализации DMA с помощью ARM процессора, а

также для регистрации измеряемых данных, полученных от датчиков, в память. В блоке "Вход датчиков" расположены микросхемы для получения и обработки данных от 24 аналоговых и 8 цифровых датчиков, которые регистрируют измеряемые данные в памяти в интервале, определенном ARM процессором (как было отмечено, включение/выключение датчиков реализуются для обеспечения минимального электропотребления). При помощи разработанной программы обеспечивается возможность изменять и записывать другие значения временных интервалов в настроечных регистрах принимающих устройств для измерения и регистрации данных (от 1 с до 15 час).

Вышеописанный подход позволяет сокращать электропотребление разработанной системы до минимального. Работа ARM процессора заключается только в получении настроечных величин и в управлении DMA. Принимающие устройства работают четко в интервалах, определенных программой, и регистрируют данные в памяти, используя SPI шину (не обращаясь к ARM процессору) [7].

Для обработки измеряемых данных, полученных от датчиков, в программу внесена полиномиальная формула, где есть возможность внести 4 коэффициента, чтобы измеряемая величина получилась в единицах измерения (например, для температурного датчика - $^{\circ}\text{C}$, для скорости ветра - м/с и т.д.). Получается, что для каждого датчика пользователь имеет возможность изменять коэффициенты и получать измеряемую дату в соответствующей единице.

Внесенная полиномиальная формула в микросхемах для получения единиц измерения имеет вид

$$Y = A + Bx + Cx^2 + Dx^3, \quad (1)$$

где A , B , C и D – коэффициенты, внесенные пользователем для соответствующего датчика; x – измеряемая дата датчика; Y – обработанная дата в принимающем устройстве в единицах измерения.

Для увеличения помехоустойчивости системы и точности измеряемых данных, полученных от датчиков, принимающие устройства разрабатывались дифференциальными входами, которые дают возможность принимать данные также от дифференциальных датчиков.

Как было описано выше, датчики работают с временным интервалом, а длительность регистрации данных в устройствах памяти составляет до 1 мс. Это означает, что датчики в определенном временном интервале находятся в "спящем" режиме и тратят минимальную мощность. Время включенного состояния датчика выбирается в 3...4 раза больше времени, необходимого для опроса датчика, во избежание искажения данных, полученных от датчика. Если временной интервал для работы датчиков выбран 4 мс, то можно значительно уменьшить мощность

системы за счет неактивного состояния датчиков (т.е. их перехода в "спящий" режим).

Временной интервал для включения/выключения датчиков вычислялся с использованием тактового генератора RTC, а SPI протокол, управление DMA и величины для настройки регистров были реализованы с помощью ATSAM4SD32CA-AU ARM процессора с программным обеспечением, написанным в среде C+.

Экспериментальные данные. Основной задачей экспериментальных измерений является реализация одновременной работы 24 аналоговых и 8 цифровых датчиков в программно-определяемом дискретном интервале и с возможностью DMA.

Для проведения экспериментальных измерений были использованы: в качестве ЦПУ - ARM процессор ATSAM4SD32CA-AU; в качестве принимающих устройств от аналоговых датчиков - пять микросхем ADUC7060BCPZ32; в качестве принимающего устройства от цифровых датчиков - микросхема ATSAM3S1AA-MU; в качестве временного счетчика - четыре устройства памяти 23LC1024-I/SN и тактовый генератор M41T62Q6F.

Настройка микросхем ADUC7060BCPZ32 и ATSAM3S1AA-MU реализуется с помощью ATSAM4SD32CA-AU процессора. Тактовый генератор вычисляет время и заставляет ЦПУ включать микросхемы в точное время и начать измерения от датчиков. Поскольку для обмена данными использовался SPI протокол со скоростью 20 Мбит/с, следовательно, настройка микросхем реализуется в течение миллисекунд. После настройки микросхемы должны реализовать обработку и регистрацию данных, получаемых от датчиков в устройствах памяти 23LC1024-I/SN. Адреса, значения и количество регистров для разных принимающих микросхем могут быть разными, но реализационная основа настройки регистров, с точки зрения программы в ARM процессоре, остается неизменной.

У каждой из выбранных принимающих микросхем от датчиков имеется возможность включения 10 входов, но поскольку существуют также дифференциальные входы, то каждая микросхема сможет одновременно принимать измеряемые величины только от 5 датчиков [8]. Таким образом, используя все входы принимающих микросхем от аналоговых датчиков, можно одновременно принимать измеряемые величины от 25 дифференциальных датчиков (использовались 24 из них).

В результате экспериментов была разработана и предложена блок-схема системы одновременной обработки и регистрации данных, получаемых от 24 аналоговых и 8 цифровых датчиков (рис. 2).

В левой части рис. 2 видно, что для получения данных от аналоговых датчиков использовались 5 принимающих устройств, которые обеспечивают возможность подключения 24 аналоговых датчиков. На рисунке эти входы обозначены

номером соответствующего датчика и со знаком "+" (A1+, A2+, ..., A24+), а дифференциальные входы датчиков – с о знаком "-" (A1-, A2-, ..., A24-). Для получения данных от цифровых датчиков использовалось одно принимающее устройство, которое обеспечивает возможность подключения 8 цифровых датчиков (Ц1, Ц2, ..., Ц8).

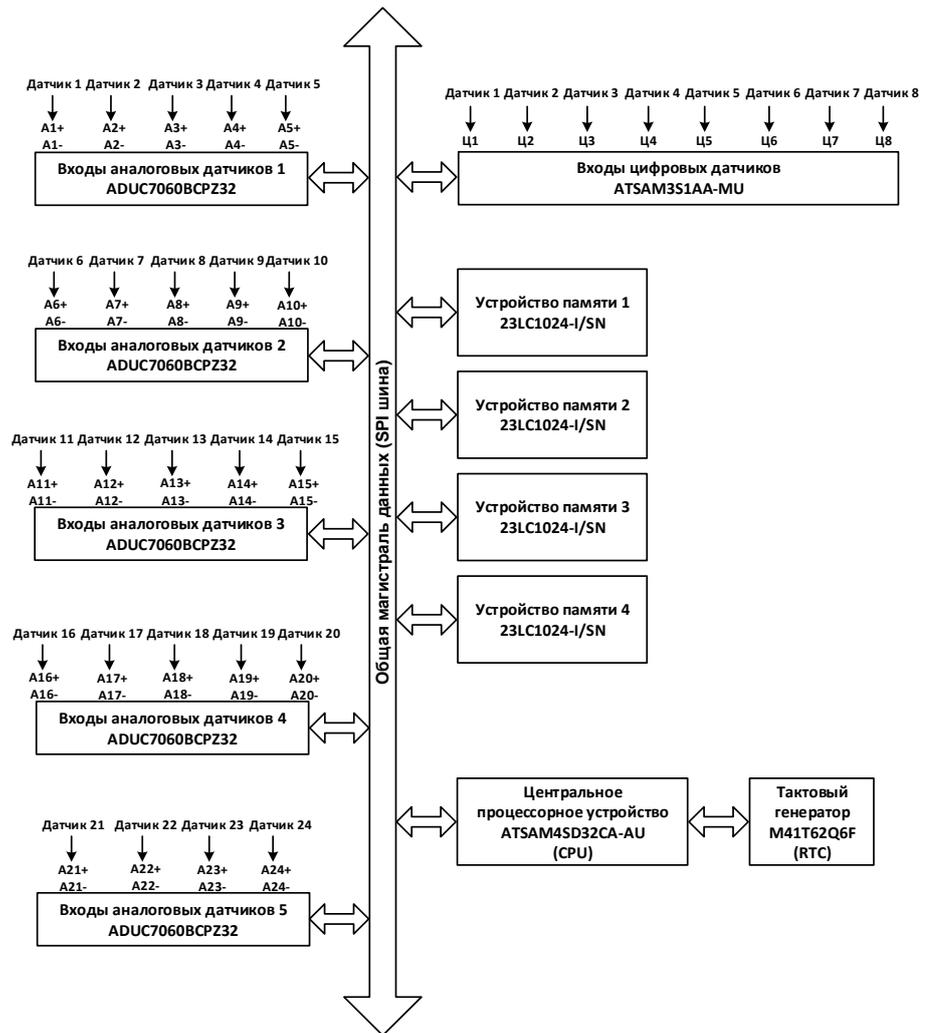


Рис. 2. Блок-схема системы обработки и регистрации данных от аналоговых и цифровых датчиков

Регистрация данных, полученных от датчиков, происходит с прямыми доступами к устройствам памяти и с помощью SPI шины, которая также использовалась для реализации обмена данными между всеми устройствами, находя-

щимися в системе. Как было отмечено, рабочий временной интервал датчиков определяет тактовый генератор RTC, а возможность включения/выключения принимающих устройств – центральное процессорное устройство, следовательно, обеспечивается возможность изменения временного интервала (частота измерения датчиков) с помощью написанной программы на ЦПУ в разработанной системе, в результате чего сокращается электропотребление.

Для проверки работоспособности предложенной системы были выполнены экспериментальные работы с помощью устройства NI VirtualBench (рис. 3).



Рис. 3. Изображение тестируемого оборудования

На рисунке приведено тестируемое оборудование для одновременной работы аналоговых и цифровых датчиков. Аналоговые и цифровые выходы NI VirtualBench (точки 1 и 2 на рис. 3) подключены ко всем соответствующим аналоговым и цифровым входам (точки 3 и 4 на рис. 3) разработанной системы.

В аналоговом выходе системы генерировалось постоянное напряжение со значением 5 В с помощью программы NI VirtualBench, а на цифровом выходе – импульсный сигнал с частотой 1 кГц . Для проведения измерений временной интервал датчиков выбирался 10 с , а длительность экспериментов - 30 мин . Поскольку NI VirtualBench вместо датчиков генерирует сигналы с единицами измерения (В и Гц), то коэффициенты A , B , C и D в формуле (1) принимают значения соответственно 0 , 1 , 0 и 0 с помощью ARM процессора.

Все полученные величины в результате измерений регистрировались в устройствах памяти, затем после чтения с помощью ARM процессора получались измеряемые усредненные величины. В аналоговых входах с "A1+" до "A24+" измеряемые величины находятся в диапазоне от $4,99121$ до $4,99756\text{ В}$, а в цифровых входах с "Ц1" до "Ц8" - от $999,99543$ до $999,99892\text{ Гц}$. Расход потребляемой мощности системы в рабочем режиме датчиков составлял (усредненные величины) 23 мВт ($6,9\text{ мА}$), а в нерабочем режиме – $5,6\text{ мВт}$ ($1,7\text{ мА}$). Учитывая,

что датчики работают с временным интервалом от 1 с до 15 час (изменяется с помощью программы), а длительность включенного состояния датчика составляет не более 4 мс, можно сделать вывод, что почти вся потребляемая мощность тратится только на работу процессора и тактового генератора. Нагрузка ЦПУ составляет примерно 10%.

В таблице приведены сравнительные данные потребляемой мощности и быстродействия процессора для существующих аналогов системы.

Таблица

Сравнительные данные потребляемой мощности и быстродействия процессора

| Устройство | Время работы | Нагрузка ЦПУ | Мощность |
|-------------------------|--------------|--|----------|
| Предложенное устройство | 30 мин | 10% (усредненная величина) | 23 мВт |
| PASCO 850 | 30 мин | Более 50% (считая другие процессы ЦПУ) | 1 Вт |
| БИНГ-3 | 30 мин | Более 50% (считая другие процессы ЦПУ) | 1,9 Вт |

Как видно из таблицы, предложенное устройство потребляет значительно меньше мощности по сравнению с существующими, а применение ARM процессора в сочетании с прямым доступом памяти и скоростной шиной обмена данными резко повысило быстродействие системы.

Заключение. Предложенная система опроса и обработки сигналов от аналоговых и цифровых датчиков на базе ARM процессора с возможностью непосредственного высокоскоростного доступа к памяти DMA, а также включения/выключения датчиков в программно-определенном интервале с помощью разработанной программы и тактового генератора RTC позволяет резко уменьшить электропотребление системы.

Экспериментальные измерения показали, что с помощью разработанной системы при одновременной обработке данных от 32 датчиков, не снижая быстродействия, можно уменьшить потребление более чем в 10 раз.

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что разработанная программа и система эффективно применимы в устройствах хранения данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. <https://www.energystar.gov/about>
2. <http://www.cta.ru/cms/f/445437.pdf>
3. http://www.pasco.com/prodCatalog/UI/UI-5000_850-universal-interface/
4. **Syed Kamrul Islam, Mohammad Eafiqul Haider.** Sensors and Low Power Signal Processing. – Springer US, Sep 4, 2014. – 120 p.
5. <http://www.jinyangind.com/eng/download/JDCP-770A.pdf>

6. **David Seal.** ARM Architecture Reference Manual. – Addison-Wesley, January, 2001.- 816 p.
7. <http://cires1.colorado.edu/jimenez-group/QAMSRsources/Docs/DMAFundamentals.pdf>
8. http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADuC7060_7061.pdf

Национальный политехнический университет Армении. Материал поступил в редакцию

Հ. Գ. ԱՐԶՈՒՄԱՆՅԱՆ

ԱՆԱԼՈԳԱՅԻՆ ԵՎ ԹՎԱՅԻՆ ՏՎԻՉՆԵՐԻ ԱԶԴԱՆՇԱՆՆԵՐԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ ARM ՊՐՈՑԵՍՈՐԻ ՄԻՋՈՑՈՎ ԵՎ ՀԻՇՈՂՈՒԹՅԱՆ ԱՆՄԻՋԱԿԱՆ ԴԻՄԵՆՏԻ ՀՆԱՐԱՎՈՐՈՒԹՅԱՄԲ

Ուսումնասիրվել են մեծ քանակությամբ անալոգային և թվային տվիչներից ազդանշանների գրանցման սարքավորումների հզորության ծախսի նվազեցման հնարավորությունները: Տակտային գեներատորով սխեմայի օգտագործումը, որն ապահովում է տվիչների ղեկավարումը (անջատում/միացում) միայն տվյալներին դիմելու ժամանակահատվածում, ինչպես նաև չափված արժեքների միաժամանակյա գրանցման և համակարգի բոլոր սարքավորումների միջև տվյալների փոխանակման համար նախագծված հիշողությանը անմիջական դիմելու հնարավորությամբ տվյալների փոխանակման գերաբազ տրակտը թույլ են տվել նվազեցնել համակարգի հզորության ծախսը: Կրճատված հրահանգներով մշակիչում (ARM) իրականացվել է կարգավորման ծրագիր՝ տվիչներից ազդանշանների ընդունման սարքավորումների և հիշողությանը անմիջական դիմելու հնարավորությամբ համակարգերի համար, որոնք չափված տվյալները գրանցում են հիշողության սարքերում:

Առանցքային բառեր. ARM պրոցեսոր, անալոգային տվիչ, թվային տվիչ, հիշողությանը անմիջական դիմում (DMA), հիմնական կենտրոնական մշակիչ, SPI ուղի, տվիչների ընդունման սարք:

H.G. ARZUMANYAN

PROCESSING OF SIGNALS OF ANALOG AND DIGITAL SENSORS BY AN ARM PROCESSOR AND WITH A DIRECT MEMORY ACCESS

The methods for reducing the consumed power of the systems operating with numerous analog and digital sensors are investigated. Applying the circuit with a real-time clock providing the control (on/off) of the sensors only for the period of the data request, and the use of high-speed shared bus of data transfer with direct memory access for simultaneous recording of the measured values and the data exchange between all the devices in the system allowed to reduce the power consumption by the product by an order. A program in a processor with a reduced instruction set (ARM) has been proposed to adjust the devices (receiving signals from sensors) and for the system, operating with direct memory access which provides the recording of the measured data to the device memory.

Keywords: ARM processor, analog sensor, digital sensor, direct memory access (DMA), central processing unit (CPU), SPI bus, sensor signal receiving device.