

5. Абдулгалимов, Г.Л. Обучение робототехнике: от элементарных понятий до программирования микроконтроллеров вузов // Новые информационные технологии в образовании: сборник научных трудов 16-й Международной научно-практической конференции «Новые информационные технологии в образовании» 2–3 февраля 2016 г. / Г.Л. Абдулгалимов, В.Н. Казагачев, А.А. Гулята; под общ. ред. проф. Д.В. Чистякова. – М.: ООО «1С-Паблишинг», 2016. – Часть 2. – С. 309–311.
6. Пынькин, Д. Linux-образование – симбиоз вузов, коммерческих компаний и LUG / Д. Пынькин, Ю. Адамов // Девятая конференция «Свободное программное обеспечение в высшей школе»: тезисы докладов. Переславль, 25-6 января 2014 г. – М.: Альт Линукс, 2014. – С. 41–45.
7. Костюк, Д.А. Построение практикумов по программированию встраиваемых систем / Д.А. Костюк, И.С. Кутень, В.С. Разумейчик // Десятая конференция «Свободное программное обеспечение в высшей школе»: тезисы докладов Переславль, 24–25 января 2015 года. – М.: Альт Линукс, 2015. – С. 14–18.
8. Пынькин, Д. Обучение Linux в корпоративном секторе / Д. Пынькин, В. Шахов // Открытые технологии: сборник материалов девятой Международной конференции разработчиков и пользователей свободного программного обеспечения Linux Vacation / Eastern Europe 2013, Гродно, 27–30 июня 2013 г. – Брест: Альтернатива, 2013. – С. 105–109.
9. Костюк, Д.А. Построение практикумов по программированию периферийных устройств и архитектуре ЭВМ на базе GNU/Linux / Д.А. Костюк, А.М. Жук // Тези міжнародної науково-практичної конференції FOSS LVIV–2011, Львів, 1–6 лютого 2011р. – Львів: Вид. ЛНУ ім. І. Франка, 2011. – С. 73–75.
10. Каваленка, У.Ю. Демонстраційна-тестова ферма праграм для платформи Android з веб-інтерфейсом / У.Ю. Каваленка, Д.А. Касцюк // П'ята науково-практична конференція FOSS Lviv 2015: збірник наукових праць, Львів, 23–26 квітня 2015 р. – Львів, 2015. – С. 42–45.

Матеріал поступив в редакцію 09.01.2017

KOVALENKO V.Yu., KOSTIUK D.A., NIKOLAYUK-RTSISHCHAVA M.U., POLYAKOV V.I., SKLIPUS A.A., CHETVIORKINA G.A. Building the practical programming course for ARM-based microcontrollers with use of virtualization and remote debugging

The specifics of ARM processors and GNU/Linux operating system usage to teach students embedded systems programming is investigated. Advantages of the proposed course structure are analyzed. Proposed set of software tools includes development and debugging instruments, as far as virtualization software. A sequence of laboratory works is defined, which allows to study specifics of ARM-based microcontroller systems programming as far as general build principles of embedded systems.

УДК 004.08.01

Осолинский А.Р., Карачка А.Ф., Палий И.О.

ПОДСИСТЕМА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ИИС СРЕДНЕГО ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ

Введение. Встроенные компьютерные системы с автономным питанием используются все шире, в качестве примера можно привести концепцию Internet of Things, IoT (Интернет вещей). Одной из актуальных задач при разработке таких систем является увеличение времени автономной работы микроконтроллера. Одним из перспективных направлений для решения данной проблемы является оптимизация программного обеспечения по энергопотреблению при выполнении команд, инструкций, фрагментов программ и программ в целом.

Проведенный анализ методов и средств измерения мгновенного и среднего энергопотребления МК, которые описаны в [1, 3] показали, что в [1] измерение среднего энергопотребления проводилось без учета остаточного заряда на конденсаторах в цепи питания МК, полученные модели энергопотребления имели низкую точность (погрешность $\pm 10\%$ и более).

В работе [2] предлагалось измерять мгновенное значение потребления тока МК через «токовое зеркало», но недостатком данного метода является то, что МК работает в нештатном режиме (конденсатор в цепи питания отделен от МК). Кроме того, падение напряжения на транзисторах «токового зеркала» зависит от тока потребления процессором. Изменение такого падения напряжения достигает 0,25 В, что влияет на точность значений вычисляемого энергопотребления. Погрешность метода составляет 7% [4].

Наивысшую точность обеспечивает схема [3]. Но она имеет относительно низкую помехоустойчивость (электромагнитные помехи от электрической сети влияют на результат измерения), при измерении энергопотребления фрагментов программ и программ в целом, схеме [3] свойственно накопление погрешности.

Поэтому было предложено, результаты исследования энергопотребления МК при выполнении отдельных инструкций и команд с помощью схемы [3] контролировать путем их сравнения с результатами измерения среднего энергопотребления, с помощью системы, описанной в [5, 6]. Дополнительным преимуществом системы, описанной в [5, 6], является то, что ее структура близка к схеме устройства, описанного в [3]. Это позволяет без опасения сравнивать полученные результаты измерений мгновенного и среднего энергопотребления – потому что схема питания МК и элементы, которые существенно влияют на погрешности измерения обоих видов энергопотребления, остаются теми же самими.

Тем не менее одним из важных условий обеспечения высокой точности и помехоустойчивости предложенных в [5, 6] методов измерения среднего энергопотребления МК является своевременное окончание процесса измерения.

Целью данной работы является разработка подсистемы принятия решений для ИИС среднего энергопотребления МК [6], которая позволяет своевременно завершать процесс измерения энергопотребления команд, фрагментов программ и программ в целом, которые выполняются микроконтроллером.

Усовершенствованная система измерения энергопотребления МК. На основе предложенных в [5, 6] методов измерения среднего энергопотребления МК разработана усовершенствованная система измерения энергопотребления микроконтроллеров, структурная схема которой показана на рисунке 1.

Осолинский А.Р., к.т.н., преподаватель кафедры информационно-вычислительных систем и управления фак-та компьютерных информационных технологий Тернопольского национального экономического университета.

Карачка А.Ф., к.т.н., доцент кафедры информационно-вычислительных систем и управления фак-та компьютерных информационных технологий Тернопольского национального экономического университета.

Палий И.О., к.т.н., доцент кафедры информационно-вычислительных систем и управления фак-та компьютерных информационных технологий Тернопольского национального экономического университета.

Украина, 46009, г. Тернополь, Тернопольская область, ул. Львовская, 11.

Основная идея, которую реализует данная схема, заключается в том, что если соответствующим образом, во время предварительной настройки схемы, выбрать емкость конденсатора в цепи питания исследуемого МК и пределы допустимого изменения напряжения на исследуемом МК, как по увеличению напряжения, так и по ее уменьшению, то схема защиты при действительном измерении (после настройки) не должна срабатывать. Тогда энергия, отведенная схемой защиты, будет равна нулю, а равенство, согласно которому рассчитывают потребляемую МК энергию, можно записать как

$$E_{REFI} = U_{REF} \cdot I_{REF} \cdot T_{VYM}, \quad (1)$$

где E_{REFI} – энергия, генерируемая стабилизатором тока, который питает МК; U_{REF} – напряжение опорного стабилизатора напряжения; I_{REF} – значение тока стабилизатора тока; T_{VYM} – время измерения.

В состав структурной схемы усовершенствованной системы измерения среднего энергопотребления МК (рис. 1) входят стабилизатор тока СтС, система регулирования его тока СР, прецизионный амперметр постоянного тока А, управляемый магазин емкости Маг.С, исследуемый МК, стабилизатор опорного напряжения СтН, два цифроаналоговых преобразователя ЦАП1 и ЦАП2, два компаратора напряжения КП1 и КП2 и устройство управления, в состав которого входят два последовательно включенных умножителя X1 и X2, блок определения среднего значения входных кодов цифроаналоговых преобразователей Uc и счетчик ЛЧ времени выполнения исследуемой инструкции, команды или программы.

Перед началом эксперимента (перед включением) емкость магазина Маг.С устанавливают максимальной (чтобы лишний ток СтС не мог зарядить Маг.С до напряжения, опасного для МК), а ток СтС устанавливают минимальным. Пределы срабатывания компараторов КП1 и КП2 устанавливают максимальным (путем задания соответствующих кодов на входах ЦАП1 и ЦАП2).

В память МК записывают подпрограмму его самонастройки (установка нужного режима работы узлов МК) и последовательность команд, среднее энергопотребление которых исследуют (это может быть как многократно повторенная одна из команд, так и исследуемая программа или ее фрагмент).

Перед началом выполнения исследуемой команды (программы), МК посылает регулирующей и измерительной системам код старта исследования. Система регулирования начинает интегрировать отклонения напряжения питания МК от напряжения СтН (последняя равна номинальному напряжению питания МК). После исполнения записанных в память МК команд (программы) на устройство управления поступает сигнал окончания исследования. Счетчик ЛЧ определяет время выполнения программы, и умножители X1 и X2, согласно (1), определяют энергию, потребленную МК.

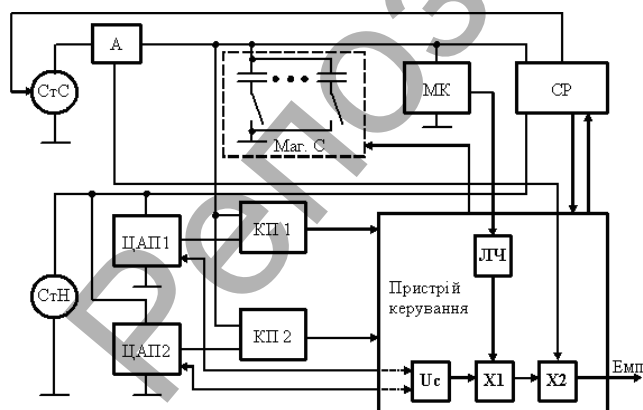


Рисунок 1 – Структурная схема усовершенствованной системы измерения среднего энергопотребления МК

В процессе настройки устройство управления изменяет ток СтС и емкость магазина Маг.С согласно алгоритму (рис. 2). Сначала устройство управления анализирует состояние первого компаратора, фиксирует превышение напряжением на МК верхнего допустимого значения (блок 2). Если КП1 сработал, то устройство управления

опрашивает систему регулирования. Если интеграл отклонения напряжения на МК за время измерения превышает допустимую смену (блок 5), то необходимо уменьшить ток стабилизатора тока питания МК (блок 8) (формируемый стабилизатором ток слишком большой, что и вызвало превышение напряжением на МК верхнего допустимого значения). Если интеграл отклонения напряжения на МК за время измерения не показал ее рост, то причиной срабатывания КП1 не является ток стабилизатора тока, а емкость магазина емкости Маг.С, ее необходимо увеличить (блок 9), чтобы изменения напряжения питания от колебания тока потребления МК стали меньше.

Если КП1 не сработал, проводится аналогичный анализ срабатывания КП2 (блоки 3, 6, 10 или 11). Однако в этом случае решения принимаются противоположные, ведь КП2 фиксирует выход напряжением на МК за нижнее допустимое значение.

Далее анализируется превышение допустимого значения интегралом отклонения напряжения на МК за время измерения (блок 4). Если допустимое значение превышено и интеграл вырос (блок 7), то ток стабилизатора тока питания МК необходимо уменьшить (блок 12), если интеграл уменьшился, то ток следует увеличить (блок 13).

Если перечисленные проверки не подтвердили выход напряжения на МК и интеграла изменения напряжения за допустимые пределы (блок 4 и 16), то алгоритм предусматривает уменьшение допустимого уровня отклонения напряжения на МК, которые фиксируются компараторами КП1 и КП2. Для этого устройство управления уменьшает разницу напряжений на выходах ЦАП1 и ЦАП2 (блок 15). Далее процесс настройки схемы повторяется (блок 14) до тех пор, пока допустимый уровень отклонения напряжения на МК от напряжения СтН и изменения напряжения на МК за время измерения не станет настолько малым, что не будет влиять на результат измерения энергии. Тогда итерационный процесс автоматизированного подбора емкости конденсатора С заканчивается (блок 17).

Устройство управления вычисляет значение потребленной МК энергии согласно (1). Для этого он использует среднее значение выходных напряжений ЦАП 1 и ЦАП2. Это среднее значение должно быть равно выходному напряжению стабилизатора СтН (при выполнении алгоритма рис. 2 уменьшения разности напряжений на выходах ЦАП1 и ЦАП2 должно проводиться симметрично напряжению СтН). Но в некоторых случаях, в процессе итерационного уменьшения разности напряжений на выходах ЦАП1 и ЦАП2, может появиться несимметричность изменения напряжений на выходах ЦАП1 и ЦАП2. Хотя эта несимметричность не превышает единицы младшего разряда, потребленной МК энергии среднего значения напряжений на выходах ЦАП1 и ЦАП2 обеспечивает высокую точность, чем использование номинального напряжения питания МК (которая равна напряжению СтН). Ток IREF стабилизатора тока СтС измеряется прецизионным амперметром А после окончания процесса измерения (чтобы уменьшить влияние импульсного характера потребления МК на результат измерения). Время измерения T_{VYM} определяется частотой тактового генератора МК и количеством тактовых импульсов, поступивших на счетчик ЛЧ за время выполнения заданного количества инструкций, команд или программы. Таким образом, все сомножители, входящие в (1), известны с высокой точностью – они могут быть измерены на постоянном токе с помощью прецизионных измерительных приборов. Время измерения T_{VYM} определяется частотой кварцевого генератора, которую можно измерить прецизионным частотомером.

Условия обеспечения высокой точности и помехоустойчивости методов измерения среднего энергопотребления МК. Как уже было сказано выше, важным условием обеспечения точности и помехоустойчивости предложенных в [5, 6] методов измерения среднего энергопотребления МК является своевременное окончание процесса измерения. При этом необходимо одновременное выполнение следующих шести правил:

- 1) изменение напряжения на конденсаторе С в цепи питания МК не должно превышать допустимое значение, за этим следит компаратор КП;

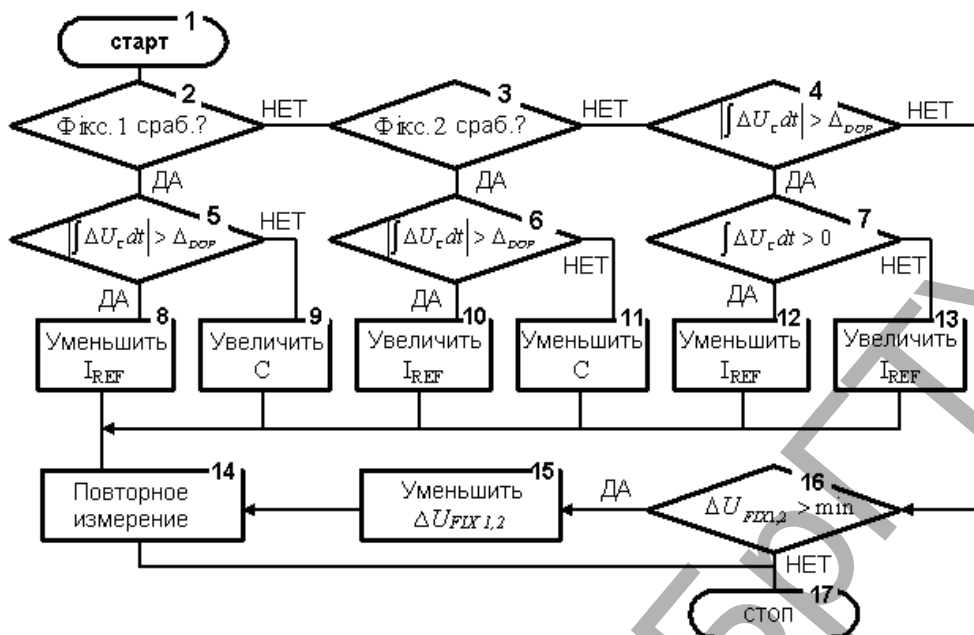


Рисунок 2 – Алгоритм итерационного процесса автоматизированного подбора емкости конденсатора C в процессе измерения энергопотребления МК

- 2) изменение интеграла напряжения на конденсаторе C в цепи питания МК не должно превышать допустимое значение, за этим следит НС. Кроме того, ко времени измерения T предъявляются следующие требования:
- 3) T не должен быть меньше некоторого заданного значения T_{MIN} ;
- 4) T не должен превышать некоторое заданное значение T_{MAX} ;
- 5) T должен быть кратным многократному повторению исследуемой инструкции, программы в целом или ее фрагмента;
- 6) T должен быть кратным периоду 0,02 с сети 50 Гц для подавления помех при использовании АЦП двухтактного интегрирования.

Но одновременное строгое выполнение этих условий маловероятно, поэтому они должны быть выполнены с некоторыми допусками.

На рис. 3. показана синусоида помехи U_{SIN} в конце периода, а также допустимые пределы, в которых обеспечивается достаточная защита от помех (есть разрешение от соответствующего компаратора), указаны допустимые пределы времени измерения T_{MIN} , T_{MAX} , а также показано выполнение условия (№ 1) – изменение напряжения на конденсаторе C в цепи питания МК не превышает допустимого значения (есть разрешение от соответствующего компаратора). Выполнение условия (№ 2) – изменение интеграла напряжения на конденсаторе C в цепи питания МК не превышает допустимого значения (разрешение от регулятора СР) – проверяется после окончания измерения. Кроме того, вертикальными стрелками показаны моменты окончания выполнения испытуемым МК программы, энергопотребление которой определяется.

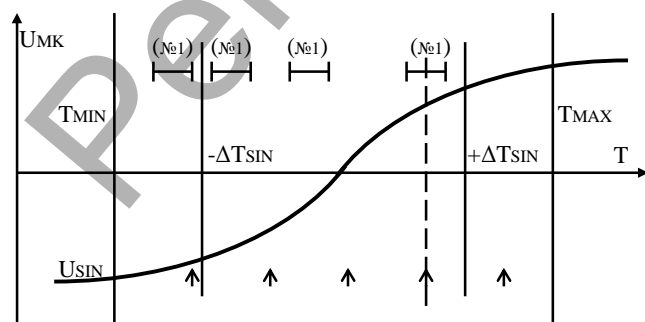


Рисунок 3 – Работа подсистемы принятия решения об окончании измерения

Как видно из рисунка 3, совпадение пяти из шести правил произошло, оно отмечено штриховой линией. Но вероятность того, что оно может не состояться, достаточно велика. Шестое правило – выполнения условия (№ 2) – можно оценить только по окончании измерения. Поэтому, если шестое правило не выполнено, следует повторить процедуру измерения заново. Если все правила не выполняются несколько раз подряд, необходимо изменить условия окончания измерения – установить другие допуски для выполнения условий (№ 1) и (№ 2).

Подсистема принятия решений окончания измерения. Из-за необходимости постоянного слежения за выполнением каждого условия в реальном времени целесообразно аппаратное выполнение подсистемы принятия решений о разрешении окончания измерения (рис. 4).

Минимальное и максимальное время измерения T_{MIN} , T_{MAX} формируют счетчик Счет.1 (подсчитывает тактовые импульсы генератора исследуемого МК) и дешифраторы Деш.1 и Деш.2. По этим же тактовыми импульсами формирователь ФИ и счетчик Счет.2 формирует импульсы, соответствующие моментам окончания выполнения испытуемым МК программы, энергопотребление которой определяется. Допустимые пределы, в которых обеспечивается достаточная защита от помех, формирует двойной компаратор Дв.Комп.1. Счетчик Счет.3 используется, когда время измерения превышает один период сети. Для проверки условия (№ 1) используется двойной компаратор Дв.Комп.2. Для проверки условия (№ 2) используется АЦП двухтактного интегрирования. Решение о выполнении условия (№ 2) принимается по результатам измерения МК, который входит в состав АЦП двухтактного интегрирования. Все разрешения объединяются схемой И-НЕТ, выход которой дает разрешение на заключение измерения.

Для реализации двойных компараторов Дв.Комп 1 и 2 (см. рис. 4) не могут быть использованы известные компараторы – они требуют двуполярного питания. Но можно выполнить их на современных операционных усилителях, в которых диапазон изменения выходного напряжения приближается к суммарной напряжению питания (рис. 5). На входы V_{x1} и V_{x2} при использовании в качестве двойных компараторов Дв.Комп.1 подаются напряжение питающей сети с дополнительной обмотки силового трансформатора и земли (см. рис. 4). При использовании в качестве двойных компараторов Дв.Комп.2 на входы V_{x1} и V_{x2} (см. рис. 4) подаются напряжение на исследуемый МК и выходное напряжение стабилизатора напряже-

ния СтН (см. рис. 1). Порог срабатывания для положительного напряжения задается резистором R4 (см. рис. 5), а для отрицательного – резистором R5. Резистор R1 и конденсатор C1 составляют фильтр высокочастотных помех.

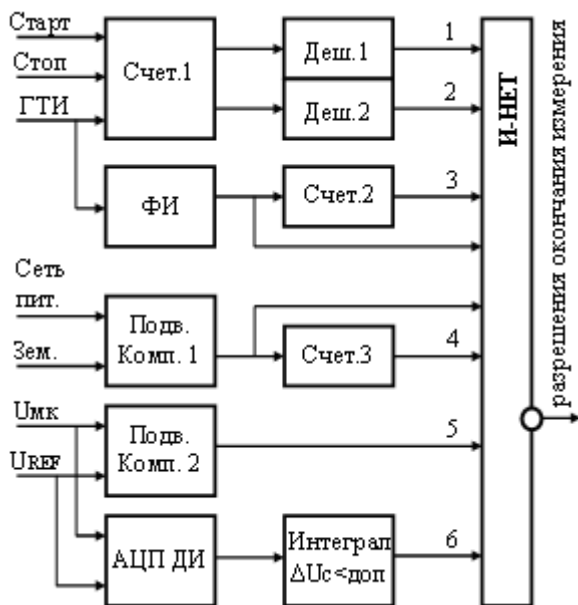


Рисунок 4 – Структура подсистемы принятия решений разрешения окончания измерения

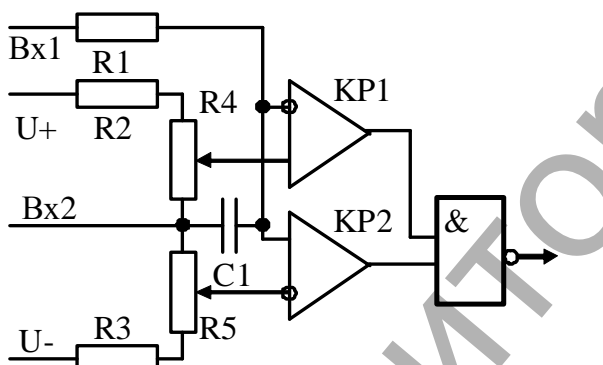


Рисунок 5 – Принципиальная схема унифицированного двойного компаратора

Так же можно унифицировать схемы АЦП двухтактного интегрирования, которые используются в обоих измерительных каналах. Особенностью этого АЦП двухтактного интегрирования является то, что при использовании его в составе измерительного канала 1 он должен интегрировать разность напряжений между стабилизатором напряжения СтН (см. рис. 1) и питания исследуемого МК, а при использовании в составе измерительного канала 2 он должен интегрировать падение напряжения на резисторе схемы защиты, относительно выхода стабилизатора напряжения СтН (см. рис. 1). При использовании АЦП двухтактного интегрирования, которые выпускаются промышленностью, необходимо было бы обеспечить гальваническую развязку обоих АЦП двухтактного интегрирования как между собой, так и с измерительной схемой, что значительно усложнит конструкцию силового трансформатора. В противном случае возникнут помехи общего вида, которые сведут на нет меры по повышению помехоустойчивости.

Унифицированный аналого-цифровой преобразователь двухтактного интегрирования. Для реализации унифицированного АЦП ДИ невозможно использовать АЦП, выпускаемые как интегральные унифицированные микросхемы. Потому что, согласно условиям выполнения шести правил окончания процесса измерения, Физика, математика, информатика

продолжительность первого такта не может быть фиксированной. Так же нельзя использовать автоподстройки длительности первого такта, как это рекомендуется в литературе, ведь продолжительность первого такта может быть каждый раз другой. Поэтому разработан специализированный АЦП двухтактного интегрирования (рис. 6).

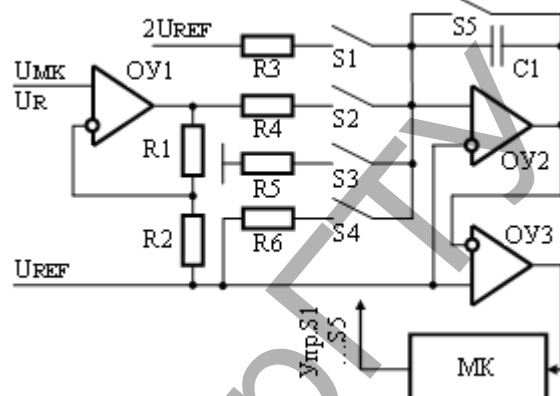


Рисунок 6 – Унифицированный аналого-цифровой преобразователь двухтактного интегрирования

В него входят входной усилитель на операционном усилителе OY1 и резисторах R1, R2 делитель обратной связи, интегратор на операционном усилителе OY2, конденсатор C1 и резисторы R3 ... R6 и ключи S1 ... S5, а также компаратор на операционном усилителе OY3. Устройство управления выполнено на микроконтроллере МК.

Ключи S1 ... S4 подключают к входу интегратора: S4 – вообразжаемая земля U_{REF} (при установлении начального состояния перед измерением), S2 – выходное напряжение усилителя (при измерении), S1 – напряжение разряда интегратора $2U_{REF}$ во втором такте (если выходное напряжение OY2 в конце первого такта положительная относительно мнимой земли U_{REF}) S3 – земля для разряда интегратора во втором такте (если выходное напряжение OY2 в конце первого такта отрицательная относительно мнимой земли U_{REF}). Ключ S5 закорачивает конденсатор C1 при установлении начального состояния перед измерением. Компаратор АЦП ДИ (операционный усилитель OY3) входит в состав МК типа AVR2313.

Погрешность измерения унифицированного АЦП двухтактного интегрирования (рис. 6) практически полностью определяется погрешностями стабилизаторов напряжения U_{REF} и $2U_{REF}$ и резисторов R1 ... R6 [7]. Но при изготовлении АЦП двухтактного интегрирования должен быть откалиброван (значения напряжения U_{REF} и $2U_{REF}$ и сопротивления резисторов R1 ... R6 должны быть измерены прецизионным тестером и записаны в постоянную память МК, который должен при вычислении результата измерения использовать действительные значения напряжений и сопротивлений, а не номинальные), поэтому отклонения действительных значений напряжений U_{REF} и $2U_{REF}$ и резисторов R1 ... R6 от номинальных не создают погрешность результата измерения. В таком случае погрешность АЦП двухтактного интегрирования определяется температурной и временной нестабильностью этих элементов.

Заключение. Предложены и разработаны структура и аппаратное обеспечение для подсистемы принятия решений ИИС среднего энергопотребления микроконтроллеров, которая позволяет измерить среднюю потребляемую ими энергию с высокой точностью за счет отслеживания одновременного выполнения сформулированных выше шести правил.

Экспериментальная оценка показала, что при использовании усовершенствованных стабилизаторов типа AD780 фирмы Analog Devices [8], и металло-пленочных резисторов C2-29 [7] погрешность результата измерения АЦП двухтактного интегрирования не будет превышать 0,2%.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Tiwari, V. Power Analysis of Embedded software: A First Step Towards Software Power Minimization / Vivek Tiwari, Sharad Malik and Andrew Wolfe // IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems. – December 1994. – Vol. 2. – No. 4. – P. 437–445.
2. Laopoulos, Th. Measurement of current variations for the estimation of software-related power consumption / Th. Laopoulos, P. Neofotistos, C. A. Kosmatopoulos, and S. Nikolaidis // IEEE Transactions on instrumentation and measurement. – 2003. – Vol. 52(4). – P. 1206–1212.
3. Пристрій вимірювання енергії імпульсних споживачів: патент 90922 України, МПК7 G05F 5/00, G01K 17/00 / А.М. Боровий, І.М. Майків, Р.В. Кочан, З.І. Домбровський, В.В. Кочан; заявник і патентовласник А.М. Боровий, І.М. Майків, Р.В. Кочан, З.І. Домбровський, В.В. Кочан – № а2008 06325; заявл. 13.05.08; опубл. 10.06.10, Бюл. №11. – 4 с.: іл.
4. Borovyi, A. Device for Measuring Instant Current Values of CPU's Energy Consumption / A. Borovyi, V. Kochan, Z. Dombrovskyy, V. Turchenko, A. Sachenko // Proceedings of the fifth IEEE international workshop on Intelligent Data Acquisition and Advancing Computing Systems (IDAACS'2009), (September, 21–23, 2009). – Rende, Co-senza, Italy, 2009. – P. 126–130.
5. Спосіб вимірювання середньої енергії імпульсного споживача та пристрій для його реалізації: патент 110142 України, МПК G01R 11/00, G01R 21/00, G05F 5/00 / Осолінський Олександр Романович, Кочан Володимир Володимирович, Домбровський Збишек Іванович, Кочан Орест Володимирович; заявник і патентовласник Осолінський Олександр Романович, Кочан Володимир Володимирович, Домбровський Збишек Іванович, Кочан Орест Володимирович – № а 2014 03292; заявл. 31.03.14; опубл. 25.11.15, Бюл. №22.
6. Осолінський, О.Р. Вдосконалена система вимірювання енергоспоживання мікроконтролерів / О.Р. Осолінський // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2015. – №3. – С. 104–108.
7. Резисторы постоянные металлопленочные (MFR) прецизионные: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://zavodtira.com.ua/rezistory-s2---29v>
8. Ultrahigh Precision Bandgap Voltage Reference: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.analog.com/en/products/linear-products/voltage-references/ad780.html>

Матеріал поступил в редакцию 18.01.2017

OSOLINSKYI O.R., KARACHKA A.F., PALIY I.O. The Decision Support System for System of Measuring the Average Power Consumption of Microcontrollers

Presented the advanced system for measuring the average power consumption of microcontrollers and microprocessors in executing the instructions, commands, the fragments of programs, and programs in general. Showing six conditions to achieve high accuracy of the method of microcontrollers average energy consumption measurements. For timely end of the measurement process developed the Decision Support System for system of measuring the average power consumption of microcontrollers. Developed a unitized analog-to-digital converter of the dual slope integration.

УДК 004.2

Костюк Д.А., Латий О.О., Маркина А.А.

ПОДХОД К БИОМЕТРИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ ЭРГОНОМИКИ ГРАФИЧЕСКОГО ИНТЕРФЕЙСА ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Введение. Работа за компьютером, будь то взаимодействие с конкретным приложением или просто с графической оболочкой, задействует когнитивные, визуальные и моторные процессы. На одноименные категории делятся нагрузки, испытываемые оператором в ходе работы.

Для измерения эффективности работы пользователя можно выделить два принципиально различных подхода. Классический подход предполагает участие эксперта по эргономике интерфейса, выносящего суждение на основе опросов, хронометража и видеопроколирования того, как именно пользователи выполняют тестовые задания в сравниваемых программных продуктах [1]. Этот подход затрачен по времени, в значительной степени зависит от квалификации эксперта, степени влияния его личных предпочтений на выносимые суждения.

Альтернативный подход – оценка состояния пользователя с помощью сравнительно стандартных приборов, позволяющих регистрировать параметры организма, связанные с физической и когнитивной нагрузкой (например, сердечный ритм, кровяное давление, электропроводность кожи, β -ритмы головного мозга и др.) [2, 3]. Регистрация биометрических показателей при работе пользователя с программным обеспечением позволяет определить «узкие места» интерфейса гораздо быстрее, чем классические методы. Как следствие, инструментальная оценка позволяет быстро сформировать набор предложений по улучшению ПО. До недавнего времени использование этого подхода ограничивали малая распространенность и высокая стоимость требуемого оборудования.

Однако в последнее время в сфере фитнеса и развлечений появилось значительное число устройств с биометрическими датчиками. К этой категории относятся, в первую очередь, фотоплетизмографические датчики измерения пульса, разработанные для спортивных пульсометров, а затем распространившиеся сначала на фитнес-трекеры, а после – на взаимодействующие со смартфоном наручные часы (smartwatch). Кроме того, существуют развлекательные гаджеты, регистрирующие мозговую активность для определения концентрации внимания пользователя. Все эти устройства позволяют выполнять непрерывный мониторинг, способны передавать данные в персональный компьютер и при этом, благодаря массовому производству, широко доступны на рынке.

Разумеется, биометрические измерения сами по себе не способны дать четкую картину преимуществ одного варианта интерфейса перед другим. Проведя серию опытов, исследователь получает большой объем числовых данных, требующих обработки и интерпретации не меньше, чем этого требовали бы материалы опросов и протоколирования, получаемые при классическом подходе. Разница заключается в возможности их автоматической интерпретации по четко сформулированным вычисляемым критериям. Подходу к выработке набора таких простых критериев для сравнительного анализа эргономики приложений и посвящена настоящая работа.

1. Выбор тестовых заданий и измеряемых параметров. Для целей биометрического исследования нами были выделены два варианта взаимодействия пользователя с графическим интерфейсом:

Латий Олег Олегович, ассистент кафедры ЭВМиС Брестского государственного технического университета.

Маркина Анастасия Александровна, студентка Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.