

В. В. ЖИЛЬЦОВ, д. т. н. В. Л. КОСТЕНКО

Украина, Одесский национальный политехнический университет  
E-mail: vadim-zilcov@rambler.ru

Дата поступления в редакцию  
04.03 2009 г.

Оппонент д. т. н. И. Д. ВОЙТОВИЧ  
(Ин-т кибернетики, г. Киев)

## УСТРОЙСТВО СБОРА БИОМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕНЗОТРАНЗИСТОРНЫХ ДАТЧИКОВ

*Разработано устройство сбора информации. Исследована возможность уменьшения потребляемой мощности такой системы за счет использования мультиплексора и микроконтроллера для предварительной обработки данных от множества датчиков и уменьшения потока данных в персональный компьютер.*

Проблема сбора биометрической информации всегда актуальна в медицинских исследованиях. С этой целью применяется широкий набор устройств анализа параметров [1]. Однако известные устройства сбора биометрической информации не всегда используют адаптированные к условиям измерений программные и аппаратные средства. Кроме того, важную роль играет экономический аспект применения аппаратных средств диагностики.

Известные системы измерения биометрических параметров различных фирм (HUNTLEIGH, Германия, Micra Medical, Великобритания, General Electric, США и др.) с высокой точностью контролируют достаточно большое число параметров. Поток информации, поступающий от сетей таких датчиков с расчетной скоростью 2,56 Гбит/с, требует современных вычислительных средств обработки на базе дорогих и мощных процессоров класса Core 2 Quad (Core 2 Duo) или Phenom X4 Quad-Core. Стоимость таких систем — от сотен до десятков тысяч долларов США [2], кроме того, их энергопотребление достаточно высоко, что ограничивает широкое применение.

Решение проблемы может заключаться в оптимизации программного и аппаратного обеспечения с сохранением или улучшением основных эксплуатационных характеристик, в результате чего снизятся затраты на приобретение и обслуживание устройств.

В настоящей статье описано устройство сбора биометрических параметров, особенностью которого является использование в качестве чувствительных элементов комбинированных тензотранзисторных датчиков, организованных в интеллектуальную сеть. Вычислительные мощности в таком устройстве распределяются для промежуточной обработки информации, получаемой на разных этапах.

Авторы исследовали макеты, построенные по схеме, эквивалентной тензотранзисторам TZR-06020-P

(Россия) [3]. В результате компьютерного моделирования была получена эквивалентная схема комбинированного тензотранзистора (рис. 1), который содержит дополнительный управляющий электрод, позволяющий в реальном времени адаптировать его рабочие характеристики к условиям эксплуатации. Структура и основные характеристики комбинированных тензотранзисторов приведены в [4], принципы организации интеллектуальных сетей датчиков описаны в [5].

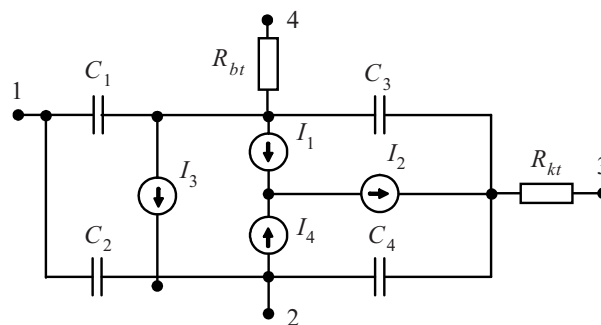


Рис. 1. Эквивалентная схема комбинированного тензотранзистора

Особенности конструкции комбинированного тензотранзистора заключаются в следующем:

- база является одновременно подложкой МДП-структуры;
- источники тока  $I_1$  и  $I_4$  соединены последовательно, параллельно к ним подключен источник тока  $I_3$ ;
- база комбинированного тензотранзистора с сопротивлением  $R_{bt}$  через емкости  $C_1$  и  $C_2$  подключена одновременно к источникам тока  $I_1$  и  $I_4$  и к затвору;
- коллектор тензотранзистора с сопротивлением  $R_{kt}$  соединен с источниками тока  $I_1$  и  $I_4$ , а при помощи емкости  $C_3$  — с сопротивлением  $R_{bt}$ ;
- емкость  $C_4$  подключена параллельно источнику тока  $I_4$ .

Источник тока  $I_1$  моделирует ток коллектора комбинированной транзисторной структуры:

$$I_1 = I_{11} + I_{12} + I_{13} + I_{14}, \quad (1)$$

- где  $I_1$  — полный ток коллектора;
- $I_{11}$  — ток, соответствующий прямому активному режиму биполярного транзистора;
- $I_{12}$  — переменная составляющая тока коллектора;
- $I_{13}$  — ток в инверсном активном режиме;
- $I_{14}$  — ток утечек.

В случае, когда  $I_{12}=I_{14}=0$ , уравнение (1) представляет собой классическую модель Эберса–Молла.

Источник тока  $I_4$  моделирует ток эмиттера комбинированной транзисторной структуры и определяется аналогично току источника  $I_1$ .

Для тока источника  $I_1$ , характеризующего МДП-часть прибора, можно записать

$$I_1 = \begin{cases} b_3 U_{11} \left[ \theta - \frac{1}{2}(1+\eta)|U_{11}| \right] + g_e U_{11} & \text{при } |U_{11}| \leq \frac{\theta}{1+\eta}; \\ \frac{1}{2} \frac{b_3}{1+\eta} \theta^2 \text{sign}(U_{11}) + g_e U_{11} & \text{при } |U_{11}| \geq \frac{\theta}{1+\eta}; \\ 0 & \text{при } \theta \leq 0; \end{cases} \quad (2)$$

где  $\theta = U_{c1} - U_{пор} + (2/3)\eta U_{c4}$ ;  
 $U_{пор}$  — пороговое напряжение МДП-структуры;  
 $b_3$  — эффективность эмиттера;  
 $\eta$  — поправочный коэффициент;  
 $g_e$  — внутренняя проводимость МДП-структуры;  
 $U_{c1}, U_{11}, U_{c4}$  — соответственно напряжение затвор-исток (эмиттер), сток-исток (коллектор-эмиттер), подложка-исток (база-эмиттер).

Компьютерное моделирование и макетирование комбинированного транзисторного устройства проводилось по эквивалентной схеме, модернизированной и дополненной в соответствии с решаемой задачей. Структурная схема такого устройства представлена на **рис. 2**.

Во входной части устройства применяются твердотельные датчики съема тензометрических показаний, а также АЦП высокой точности (разрядностью до 14 бит). Это позволяет снизить энергопотребление и массогабаритные показатели устройства с одновременным улучшением его экономических показателей. Пример схемы подключения датчика показан на **рис. 3**.

Выбор тензометрических датчиков полупроводникового типа обусловлен следующими преимуществами [3]:

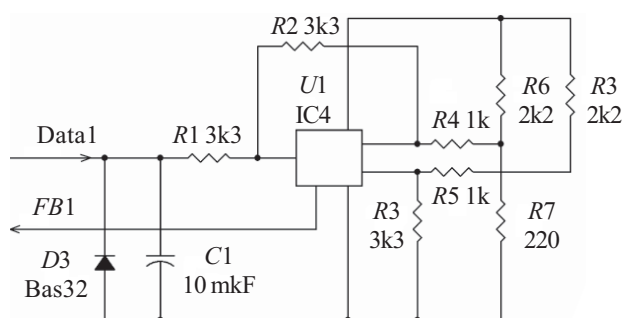


Рис. 3. Схема подключения датчика (FB1 — FeedBack — канал обратной связи)

- высокой чувствительностью (коэффициент тензочувствительности — от 50 для поликристаллических пленок до 260 для монокристаллов);
- высоким коэффициентом всестороннего сжатия (до  $5,8 \cdot 10^{-3}$  МПа<sup>-1</sup>);
- линейностью тензохарактеристики;
- низким температурным коэффициентом сопротивления;
- высокой радиационной стойкостью;
- стойкостью к внешним воздействиям (предел прочности на сжатие 40 кгс/мм<sup>2</sup>);
- высокой точностью изготовления датчиков, благодаря чему возможна реализация комбинированных сенсоров с различными характеристиками;
- адаптивностью обратной связи.

Датчики организованы в интеллектуальную сеть. Сигнал с датчиков поступает для дальнейшей обработки в цифровом виде. Следует отметить, что цифровое представление сигнала позволяет снизить требования к каналу передачи данных (его помехоустойчивости, длине проводников, качеству соединений) и применять цифровые мультиплексоры для уменьшения количества линий сбора данных. Применение многоканальных мультиплексоров, поддерживающих функцию каскадирования, дает возможность гибкого масштабирования сети из более чем 512 датчиков, и их количество может увеличиваться.

Дальнейшая обработка информации происходит на нескольких микропроцессорах средней вычислительной мощности. Рабочая частота используемых микропроцессоров семейства MC PIC может варьироваться в диапазоне от 4 до 100 МГц. При этом обеспечивается высокая производительность (до 25 млн.

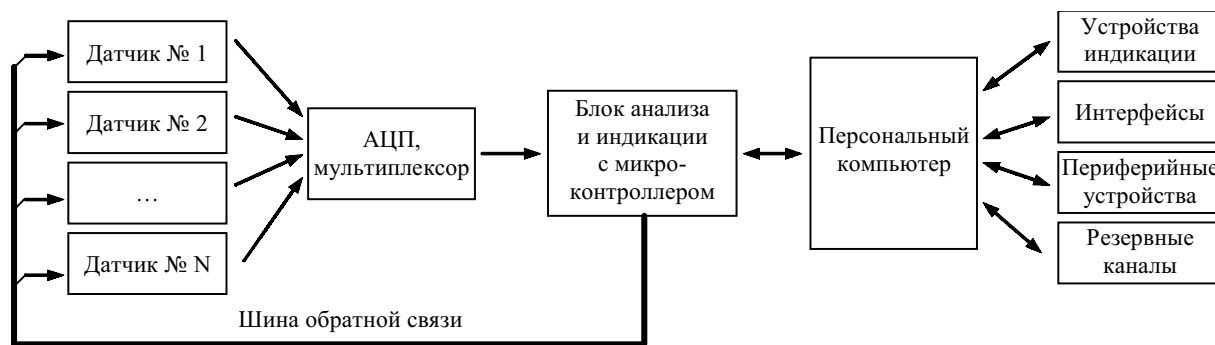


Рис. 2. Структурная схема устройства сбора информации

Параметр	Измеритель [6]	Разработанное устройство
Напряжение питания устройства, В	7,5—15	5—30
Потребляемый ток, мА	<110	<180
Количество измерительных каналов	32	>64
Коэффициент усиления по дифференциальному входу	10—1000	до 12000
Погрешность измерения деформации, %	не больше 3	не больше 1
Разрядность АЦП, бит	10	14
Длительность измерения одного канала, мкс	3,53	1,5
Погрешность усиления, %	не хуже 1,5	не хуже 1
Диапазон частот измеряемых сигналов, Гц	0—20	0—20
Скорость передачи данных на ПК, бод	9600	9600

операций в секунду) и не требуются дополнительные системы охлаждения процессора.

Наличие промежуточных «вычислительных центров» позволяет при необходимости учитывать особенности сигнала на определенном участке сети датчиков (тип выходного сигнала датчика, необходимую точность обработки сигнала), а также включать или выключать ветви сети датчиков для снижения энергопотребления. Благодаря введению канала обратной связи появляется возможность гибкого управления сетью и изменения ее функциональных характеристик (чувствительность датчиков, температурная компенсация). Канал обратной связи организован таким образом, что каждый датчик перестраивается независимо за счет дополнительных управляющих элементов [5].

С целью снижения затрат на оптимизацию программного обеспечения был разработан пакет программ на языке Assembler, что позволило совместить высокую степень функциональности и малый объем машинного кода. Это дало возможность использовать при построении устройства более простые, экономичные и вместе с тем высокопроизводительные микроконтроллеры семейства MC PIC.

Программное обеспечение (ПО) разработано в среде Windows на языке Delphi. Выбор среды разработки обусловлен доступностью лицензионного ПО (стоимость пакета ПО Delphi около 1000 долл. США, пакета Windows XP HE — 80 долл. США и т. д.), а также удобством работы в данной среде.

Электронная схема платы-приемника разработана в среде «OrCAD – Capture CIS». Ее отладка производилась в среде «OrCAD – Layout Plus».

Для исследования эксплуатационных свойств системы был изготовлен ее макет, включающий в себя специально разработанную печатную плату с размещенными на ней функциональными узлами. В качестве измерительных сенсоров применялись перестраиваемые полупроводниковые датчики.

Многофункциональная микросхема с возможностью многократного программирования — микропроцессор PIC 16F452 — обладает высокой производительностью. Отличительной характеристикой выбранной модели процессора является наличие 32-х вхо-

дов с внутренними АЦП. Такая особенность дает возможность при необходимости получать цифровой сигнал высокой точности без применения дополнительных аппаратных средств.

В качестве мультиплексора выбран низковольтный 8-канальный аналоговый мультиплексор MAX4600-4699 с сопротивлением открытого ключа 3,5 Ом.

Микроконтроллер MAX232 позволяет достигать максимальной скорости передачи данных 115200 Кбит/с, однако для повышения помехозащищенности канала передачи данных скорость была уменьшена до 9600 Кбит/с. Для сравнения эксплуатационных свойств в **таблице** приведены характеристики действующего макета и аналогичного устройства [6].

Исследования показали, что разработанное устройство благодаря наличию унифицированных входных каналов позволяет расширить информативную возможность за счет подключения датчиков различных параметров, например оптических, температурных и т. д.

В ходе исследования макета было измерено энергопотребление системы в целом и каждого ее элемента в отдельности.

Для применяемых полупроводниковых твердотельных датчиков характерно низкое энергопотребление. При значениях тока от 2 до 15 мА и при напряжении питания датчика 5—12 В потребляемая мощность не превышала 0,18 Вт.

Мультиплексор MAX 4850 потребляет ток 5 мА при напряжении питания 4,5 В. Потребляемая мощность составляет 0,00225 Вт.

Потребляемая мощность микропроцессоров семейства MC PIC определялась по формуле:

$$P = V_{dd} \{ I_{dd} - \sum I_{oh} \} + \sum \{ \{ V_{dd} - V_{oh} \} I_{oh} \} + \sum \{ V_{ol} I_{ol} \}, \quad (2)$$

где  $V_{dd}$  — напряжение питания;

$I_{dd}$  — ток ядра процессора;

индексы «oh» и «ol» соответствуют логической единице и логическому нулю порта.

Потребляемая мощность выбранного нами микропроцессора PIC 16F452 не превышает 1,2 Вт.

Для устройства, состоящего из  $N$  датчиков, одного микропроцессора и  $n$  мультиплексоров максимальная потребляемая мощность  $P_u$  может быть рассчитана по формуле

$$P_u = NI_d U_d + P_p + n I_m U_m, \quad (3)$$

где  $N$  — количество датчиков;

$I_d$  — ток потребления датчика (0,015 А);

$U_d$  — напряжение питания датчика (12 В);

$P_p$  — потребляемая мощность микропроцессора (1,2 Вт);

$n$  — количество мультиплексоров;

$I_m$  — ток потребления мультиплексора (0,005 А);

$U_m$  — напряжение питания мультиплексора (4,5 В).

Таким образом, исследования показали, что устройство, построенное на предлагаемой элементной базе и состоящее из 64-х датчиков, шести мультиплексоров и микропроцессора, потребляет мощность не более 12,9 Вт, что значительно ниже, чем у существующих аналогов.

Тестирование устройства заключалось в проверке механической прочности монтажа компонентов, корректности работы протокола обмена, возможности обеспечения помехоустойчивости приемников и каналов передачи информации и заданного времени наработки на отказ.

Поток данных от датчиков, проходя обработку в устройстве сбора информации, оптимизируется. Становится возможной передача результатов по сетям с пропускной способностью до 10 Мб/с. В свою очередь, для обработки потока меньшего объема и с большей степенью предварительной структуризации требуется процессорная мощность вычислительных ма-

шин на 30—60% меньше, чем у предлагаемых на рынке аналогов.

На основании результатов исследования установлено, что система обладает высокой точностью, собрана на доступной и недорогой элементной базе и позволяет подключать на вход унифицированной базе датчики различных типов. Общие затраты на изготовление рабочего макета устройства были на порядок ниже стоимости соответствующих аналогов.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Войтович І. Д., Корсунський В. М. Інтелектуальні сенсори.— К.: Інститут кібернетики ім. В. М. Глушкова, 2007.
2. Компания Huntleigh Healthcare — разработчик и производитель неинвазивного медицинского оборудования — [www.huntleigh.ru](http://www.huntleigh.ru).
3. Ваганов В. И. Интегральные тензопреобразователи.— М.: Энергоатомиздат, 1983.
4. Костенко В. Л., Швец Е. Я., Киселев Е. Н., Омельчук Н. А. Измерительные преобразователи на основе комбинированных твердотельных структур.— Запорожье: ЗГИА, 2001.
5. Костенко В. Л., Жаровцев С. О., Чигаев Г. А. Специализированные сети на основе твердотельных датчиков // Технология и конструирование в электронной аппаратуре.— 2008.— № 2.— С. 14—16.
6. Дружинин А. А., Вуйцик А. М., Ховерко Ю. Н. Многоканальный измеритель деформации для исследования конструкционных материалов // Технология и конструирование в электронной аппаратуре.— 2008.— № 3.— С. 17—19.

в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции

в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции

- Метод защиты поверхности припоя от окисления (Украина, г. Одесса)
- Многофункциональное устройство электропитания (Украина, г. Одесса)
- Вихретоковый анизотропный термоэлектрический приемник (Украина, г. Черновцы)
- Оптико-акустические эффекты в решетчатых упаковках (опаловые матрицы как метаматериал) (Россия, г. Москва)
- Технологии изготовления тонкопленочных резисторов (Россия, г. Арзамас)
- Технологические особенности получения качественных активных слоев InP в составе гетероструктур для диодов Гана (Украина, г. Львов)
- Термостабильные интерференционные ZnO-покрытия для активных элементов ZnSe:Cr<sup>2+</sup>-лазеров ИК-диапазона (Украина, г. Харьков)
- Волоконно-оптические мультиплексоры / демультиплексоры для систем передачи информации (Россия, г. Москва)
- Технология и конструкция модуля солнечных батарей на основе соединений A<sup>3</sup>B<sup>5</sup> с концентраторами солнечной энергии и высокоэффективной системой теплоотвода (Украина, г. Львов)
- Развитие средств создания безмасляного вакуума для электронных установок и комплексов (Россия, г. Москва)
- Исследование метрологических характеристик интеллектуальных сенсоров для измерения температуры. Методики расчета разрешающей способности АЦП и обработки аналоговых и цифровых сигналов (Украина, г. Одесса)
- Радиоволновое охранное устройство на излучающем кабеле (Украина, г. Львов)



- Исследование термического сопротивления пульсационной тепловой трубы (Украина, г. Киев)
- Широкоапертурный высокочастотный источник ионов низкой энергии с электронной компенсацией (Украина, г. Харьков)
- Физико-технические основы создания нерезонансных микроволновых устройств обработки диэлектрических материалов (Украина, г. Одесса)
- Фотоэлектростимулированная пассивация спектрометрических CdZnTe-детекторов (Украина, г. Харьков)

в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции

в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции