

ИЗМЕРИТЕЛЬ АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА MSP430F149

В настоящей статье описан портативный электронный тонометр с батарейным питанием, созданный на базе микроконтроллера MSP430F149 фирмы Texas Instruments.

*А. Бритов, В. Захарченко, В. Ломаковский,
А. Макеенок, С. Хлебников*

Широкое распространение сердечно-сосудистых заболеваний делает все более актуальной проблему измерения артериального давления у большого количества пациентов. Специфика некоторых заболеваний требует многократного измерения давления в течение суток. Для подобных задач лучше всего подходят автономные измерители (тонометры), которые позволяют пациентам измерять давление самостоятельно, без посещения медицинского учреждения и привлечения специально подготовленного медицинского персонала. Такие тонометры производятся многими зарубежными фирмами и поставляются на отечественный рынок. Недавно среди этих изделий появился тонометр ВАТ31-1, разработанный и серийно выпускаемый отечественным предприятием «Ребус». Этот прибор был построен на микроконтроллере MSP430P325 фирмы Texas Instruments (TI) и выгодно отличался от зарубежных аналогов как техническими характеристиками, так и стоимостью, что особенно важно для отечественных потребителей. Сравнение медицинских характеристик ВАТ31-1 с зарубежными аналогами можно найти в работе [1]. Авторами разработан усовершенствованный вариант этого тонометра, построенный на базе более современного микроконтроллера MSP430F149 фирмы Texas Instruments. Основные технические характеристики тонометра:

- диапазон измерения давления от 20 до 280 мм. рт. ст.
- метод измерения давления — осциллометрический
- диапазон измерения пульса от 30 до 180 ударов в минуту
- диапазон рабочих температур от 10 до 40 °С
- электропитание от четырех батарей LR6 (AA), один комплект батарей обеспечивает выполнение не менее 1000 измерений
- габаритные размеры электронного блока 122×76×48 мм
- масса электронного блока 220 г.

По точности измерения артериального давления тонометр отвечает высшему классу точности «А» в соответствии с критерием British Hypertension Society.

Погрешность измерения давления в манжете в диапазоне от 0 до 300 мм рт. ст. составляет ± 3 мм рт. ст. Погрешность измерения частоты пульса — не более $\pm 5\%$ от измеряемого значения. Однако, следует учитывать, что существует небольшое количество пациентов со специфическими сердечно-сосудистыми заболеваниями, у которых измерение давления неинвазивными методами крайне затруднено.

Конструктивно тонометр выполнен в виде электронного блока в пластиковом корпусе размерами 122×76×48 мм и внешней эластичной плечевой манжете, надеваемой на плечо пациента (выше локтевого сустава) и подсоединяемой к электронному блоку при помощи гибкого шланга. Внешний вид тонометра показан на рис. 1, а его электронный блок — на рис. 2.



Рис. 1. Внешний вид тонометра

Основными элементами электронного блока тонометра являются:

- микроконтроллер MSP430F149 фирмы TI
- частотный датчик давления емкостного типа, разработанный НПП «Ребус» (после изготовления тонометра выполняется калибровка датчика при помощи эталонного автоматического задатчика давления, результаты калибровки сохраняются во flash-памяти микроконтроллера)
- миниатюрный электродвигатель постоянного тока
- компрессор с кулачковым приводом
- неуправляемый клапан рабочего стравливания воздуха
- управляемый клапан ускоренного стравливания воздуха
- заказной ЖК индикатор
- драйвер ЖК индикатора.

Выбор MSP430F149 в качестве основного процессора тонометра обусловлен следующими причинами: исключительно низким энергопотреблением (не более

1 мА в активном режиме) и наличием четырех режимов пониженного потребления. В режиме покоя потребление тонометра не превышает 5 мкА, хотя вся необходимая периферия продолжает работать. В составе микроконтроллера мощное 16-битовое RISC ядро с шестнадцатью 16-битовыми регистрами, память программ и данных.

В процессе разработки и испытаний опытных образцов обновление программы микроконтроллера (МК) может быть выполнено в течение минуты. Это значительно сокращает сроки разработки. Наличие flash-памяти программ также позволяет обновлять ПО тонометра в процессе его технического обслуживания или ремонта. Важно, что сегментная организация flash-памяти и возможность ее стирания и записи самим микроконтроллером обеспечивают хранение в этой же памяти калибровочных данных используемого датчика давления и постоянно обновляемого архива результатов измерений. Это позволяет отказаться от внешней EEPROM-памяти, обычно используемой для подобных целей. Большой объем памяти программ позволяет дополнительно реализовать функции тестирования и автоматизированной калибровки тонометра, что значительно упрощает его изготовление.

Достаточный объем ОЗУ данных позволяет накапливать промежуточные результаты в процессе измерения, что упрощает реализацию алгоритмов измерения давления.

Измерение мгновенных значений давления фактически сводится к измерению частоты сигнала датчика в определенном временном окне. Поэтому используемый МК должен обладать развитыми средствами генерации и измерения временных интервалов. Встроенный UART позволяет передать в компьютер сигнал с датчика или результат измерения. В составе МК недорогой низкочастотный кварц (32 768 Гц) с программно управляемой генерацией основной частоты; большое число индивидуально программируемых линий ввода/вывода, большинство из которых может генерировать запросы прерывания. Отличительными особенностями этого МК являются достаточно развитые и недорогие средства отладки и программирования, наличие библиотеки ассемблерных функций для вычислений с плавающей запятой. При разработке и отладке ПО тонометра использовался отладочный набор MSP-FET430P140 фирм TI и IAR и входящий в него набор бесплатного ПО KickStart. Опыт авторов позволяет рекомендовать этот набор для всех разработок с использованием flash-памяти микроконтроллеров семейства MSP430.

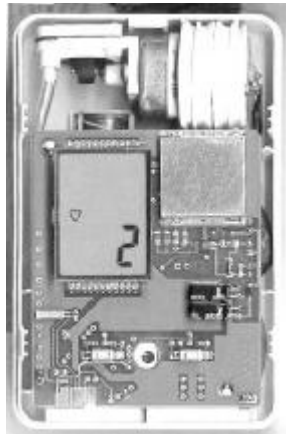


Рис. 2. Конструкция электронного блока тонометра

Принцип работы и измеряемые параметры артериального давления.

После включения питания тонометр автоматически обеспечивает нагнетание воздуха в манжету до заранее заданного давления, превышающего обычное для данного пациента систолическое давление, а затем плавное стравливание воздуха из манжеты. В процессе стравливания тонометр (в реальном масштабе времени) принимает сигнал с частотного датчика давления и выполняет его цифровую обработку. В тонометре реализован осциллометрический метод измерения систолического и диастолического давления. Тонометр выделяет пульсовые волны, анализирует их амплитуду и длительность и производит измерение следующих параметров

артериального давления: систолического (верхнего) давления в миллиметрах ртутного столба, диастолического (нижнего) давления в миллиметрах ртутного столба, средней частоты сердечных сокращений (пульса) в ударах в минуту.

По окончании каждого измерения тонометр индицирует результаты на ЖКИ и записывает их в архив, в котором хранятся 10 последних результатов измерений. Содержимое архива может быть просмотрено на ЖКИ, что позволяет проследить за изменением давления пациента в течение определенного времени.

Тонометр также имеет внешний последовательный интерфейс и может быть подключен к порту RS-232 персонального компьютера через специальный адаптер. В этом случае отсчеты сигнала, получаемые с частотного датчика давления в процессе измерения, могут быть переданы в ПК и впоследствии проанализированы с использованием специального программного обеспечения. Эта возможность используется для совершенствования алгоритмов измерения, реализованных в тонометре.

Тонометр имеет три режима работы: тестирование и калибровка; измерение и просмотр архива предыдущих измерений. Режим тестирования и калибровки используется только при изготовлении тонометра и не может быть включен пользователем. В результате калибровки формируется таблица из нескольких значений эталонного давления и соответствующих значений частоты сигнала, формируемого датчиком давления. Полученная таблица сохраняется во flash-памяти микроконтроллера. Перед измерением тонометр по этой таблице автоматически вычисляет коэффициенты квадратичной зависимости, аппроксимирующей характеристику используемого датчика давления.

После включения тонометр автоматически перехо-

дит в режим измерения, что упрощает работу с ним. Для входа в режим просмотра архива необходимо после включения тонометра нажать и удерживать одну из кнопок управления.

Управление работой тонометра осуществляется с помощью двух кнопок, находящихся на его передней панели, и не представляет сложности даже для неподготовленного пользователя. Назначение кнопок и соответствующие изображения ЖК индикатора подробно описаны в инструкции по эксплуатации.

Описанный тонометр предназначен для использования как в медицинских учреждениях, так и в домашних условиях.

Тонометр прошел медицинские испытания в Институте кардиологии им. Стражеско АМН Украины, Институте сердечно-сосудистой хирургии АМН Украины, зарегистрирован в Государственном реестре средств измерительной техники, допущенных к применению в Украине, под номером У 1238-99 и сертифицирован в системе УкрСЕПРО. Тонометр рекомендован Комитетом по новой медицинской технике МЗ Украины для внедрения в медицинскую практику и внесен в Государственный реестр изделий медицинского назначе-

ния, регистрационное свидетельство № 799/99.

Семейство MSP430 активно развивается, регулярно появляются новые версии МК. Одна из последних новинок — контроллеры MSP430F4xx с flash-памятью и интерфейсом ЖКИ. Их использование позволит сократить количество необходимых микросхем и размеры электронного блока. В настоящее время авторами на основе этих МК ведется разработка версии тонометра, выполненного как одно целое с манжетой, надеваемой не на плечо, а на кисть пациента. Такой тонометр будет значительно удобнее для пользователей, особенно пожилых. Авторы надеются опубликовать этот материал дополнительно.

Более подробную информацию о тонометре можно получить в МКНПП "РЕБУС", тел.: (044) 298-43-815, (044) 298-42-837 или в сети Интернет по адресу <http://cad.ntu-kpi.kiev.ua/~dsplab>

ЛИТЕРАТУРА:

1. Е.П. Свищенко. Измерение артериального давления в клинике и дома: преимущества и недостатки. — «Медицинский рынок», № 3/2000.

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ SITRANS P *

Измерительные преобразователи Sitrans P применяются для измерения давления, абсолютного давления, дифференциального давления, скорости потока, а также степени наполнения резервуаров. Они пригодны для использования как в нейтральных, так и в агрессивных средах. Выходным сигналом является ток, изменяющийся в диапазоне от 4 до 20 мА пропорционально измеряемому давлению или корню квадратному из него. Преобразователи имеют прочный корпус, устойчивый к наружному давлению и предназначенный для применения во взрывоопасной зоне 2. Они соответствуют требованиям совместимости, установленным Европейским комитетом по стандартизации CENELEC. Для параметризации используются три кнопки и встроенный цифровой индикатор. Возможна также параметризация с применением компьютера или HART-коммуникатора. Питание преобразователя осуществляется постоянным напряжением от 10.5 до 45 В. В настоящей публикации рассмотрен преобразователь Sitrans P серии DS III для измерения давления.

А. Мельниченко

Входное давление через разделительную мембрану и специальную жидкость воздействует на измерительную мембрану. Находя-

щиеся на ней четыре пьезоэлектрических резистора, соединённых по мостовой схеме, изменяют своё сопротивление. При прикладывании напряжения к диагонали моста напряжение, снимаемое с другой диа-

гонали, пропорционально приложенному давлению. Полученный электрический сигнал усиливается, а затем оцифровывается с помощью АЦП. Цифровая информация воспринимается микроконтроллером, корректируется для улучшения линейности и уменьшения зависимости от температуры и посредством ЦАП преобразуется в выходной ток в диапазоне от 4 до 20 мА. Результаты измерений, параметры настройки и другие данные запоминаются в двух ЗУ, сохраняющих информацию при выключении питания. С помощью трёх кнопок настройку параметров преобразователя можно произвести непосредственно на месте его использования. Измеряемая величина, а также вспомогательная информация (сообщения об ошибках и др.) отображается на цифровом индикаторе. Предусмотрена защита от измене-

* Интернет, интерактивный каталог фирмы Siemens,

адрес: <http://mail.ad.siemens.com/de/guest/index.asp?nodeID=3000152&lang=de>