

2. Патент РФ на изобретение №2416769. Термоэлектрический термостат для хранения и перевозки биоматериалов // Исмаилов Т.А., Миспахов И.Ш., Евдулов О.В., Юсуфов Ш.А., БИ №11 от 20.04.2011.

УДК 615.471

Кишов Р.М.

АВТОМАТИЧЕСКИЙ МЕДИЦИНСКИЙ ТОНОМЕТР С ПРИМЕНЕНИЕМ АЛГОРИТМОВ ЦИФРОВОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ДЛЯ ЗАДАЧ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Kishov R.M.

THE AUTOMATIC BLOOD PRESSURE METER FOR RESEARCH PURPOSES USING DIGITAL FILTRATION

Артериальная гипертония и такие ее последствия, как ишемический инсульт и инфаркт миокарда остаются одними из наиболее смертоносных и, вместе с тем, наиболее распространенных заболеваний человека. Неотъемлемой частью профилактики и терапии таких заболеваний является необходимость в постоянном инструментальном слежении за уровнем артериального давления. В данной статье предлагается медицинский тонометр, адаптированный для проведения исследований. Предлагается метод автоматического определения уровня давления в манжете, достаточного для начала проведения процедуры измерения.

Ключевые слова: измерение артериального давления, осциллометрический метод, точность измерения артериального давления.

Arterial hypertension and its consequences such as ischemic stroke and cardiac infarction are remains ones of the most lethal and at the same time prevailing at the same human's diseases. Necessity of constant instrumental blood pressure monitoring is one of the inalienable parts of the such diseases' prevention and therapy. In this article digital blood pressure meter for research purposes using digital filtration is proposed.

Key words: blood pressure metering, oscillometric method, accuracy of the blood pressure metering.

Одним из важнейших показателей состояния здоровья организма, характеризующим работу кровеносной системы является артериальное давление (АД), которое характеризуется двумя основными параметрами: систолическим (уровень АД во время сокращения сердечной мышцы) и диастолическим АД (давление во время расслабления сердечной мышцы). По данным Всемирной организации здравоохранения в экономически развитых странах доля взрослых людей, страдающих от повышенного артериального давления достигает 25%, но лишь 5% из них знают о своем заболевании, в свою очередь, 40% из них получают соответствующее лечение и только у 10–20% отмечается устойчивая нормализация артериального давления.

Методы инструментального измерения АД можно разделить на две категории: инвазивные и неинвазивные. При этом, к неинвазивным относятся методы, основанные на аускультации артерии и осциллографическом методе регистрации, а инвазивные методы используются только для тяжелобольных в условиях стационара, так как предполагают осуществление измерения посредством введения измерительного элемента непосредственно

в артерию. Наиболее широко распространенным на сегодняшний день способом является аускультация артерии (метод тонов Короткова), который удобен для ручного измерения АД, но для проведения автоматического измерения наиболее приемлемым является осциллографический метод, основанный на анализе пульсаций давления (а не звука, как в случае с тонами Короткова) в манжете во время стравливания воздуха из нее [1]. Это связано с тем, что метод автоматический анализ тонов Короткова может быть существенно осложнен окружающими шумами. Кроме того, у некоторых больных при выслушивании тоны вообще могут быть не слышны. Число таких людей в популяции составляет от 2 до 5% [2].

Погрешность таких приборов (тонометров) оценивается по специально разработанным различными странами протоколам, среди них наиболее распространенными являются протоколы: BHS (Великобритания), AAMI (США) и EHS (общеевропейский протокол).

Сущность алгоритма измерения АД осциллометрическим методом заключается в следующем. В манжету, одетую на руку человека, нагнетается давление превышающее уровень систолического давления на 20-30 мм.рт.ст. (рис 1. – фаза накачки). Затем процесс накачки останавливается и воздух из манжеты стравливается со скоростью 1-2 мм.рт.ст./с (фаза измерения), в это время устройство фиксирует осцилляции, возникающие в манжете. Считается, что в момент, когда начался наиболее быстрый рост амплитуды осцилляций, уровень давления в манжете равен систолическому АД. Диастолическое АД определяется в момент резкого уменьшения амплитуды осцилляций.

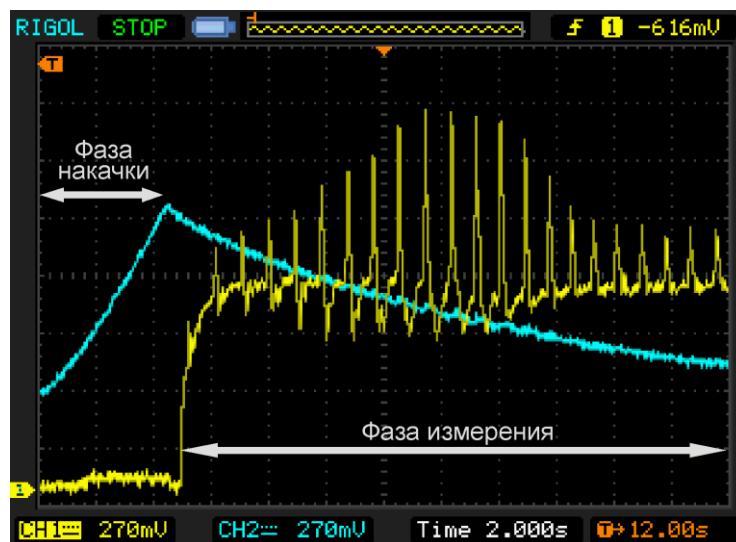


Рисунок 1 - Осциллограмма, иллюстрирующая процедуру измерения. где, CH1 – сигнал с датчика давления – уровень давления в манжете; CH2 – сигнал, пропущенный через фильтр и усилитель – осцилляции давления в манжете.

При этом дополнительной сложностью является сложность автоматического определения такого уровня давления в манжете, которого было бы достаточно, чтобы корректно определить систолическое и диастолическое АД. Очевидно, что этот уровень в общем случае может быть определен только уже после состоявшейся процедуры измерения. Компрессор, нагнетающий воздух в манжету сам является источником шума, не позволяющим во время его работы детектировать пульс пользователя. Производители тонометров решают эту проблему разными способами. В частности, они переключают эту задачу на пользователя, позволяя ему вручную выбрать требуемый уровень давления или применяют метод ступенчатого нагнетания давления с «прослушиванием» пульса в промежутках между нагнетаниями, что конечно увеличивает длительность процедуры измерения, а, следовательно, и болезненные ощущения пользователя. В наиболее совершенных устройствах для этой цели могут применяться специальные дополнительные аппаратные узлы.

Задача определения АД на основе измеренных данных является наиболее важной, так как именно от нее в первую очередь зависит точность тонометра. В основу выбора методики расчета АД положены результаты клинических исследований, приведенные в [5]. Здесь применяются цифровая фильтрация, анализ и интерполяция сигнала.

Следующей по важности задачей является автоматическое определение во время фазы накачки уровня давления достаточного для начала процедуры измерения. Данный момент определяется как систолическое АД + 30 мм.рт.ст.. Эту задачу можно решать несколькими путями, но самый эффективный метод заключается в фиксировании осцилляций, не останавливая работу компрессора. Для устранения шумового фона, возникающего из-за него, необходимо отфильтровывать полезный сигнал.

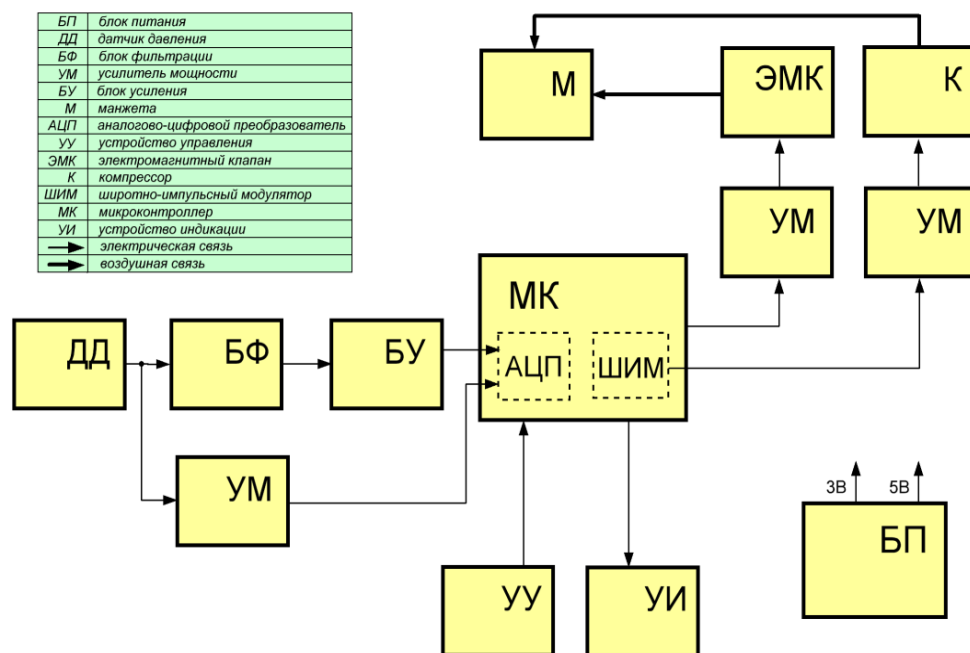


Рисунок 2 - Оптимизированная структурная схема цифрового медицинского тонометра

Одним из ключевых узлов устройства в схеме является датчик давления (ДД), параметры которого во многом определяют качественные показатели всего изделия в целом. Посредством этого датчика происходит преобразование уровня давления в величину напряжения. При проведении процедуры измерения давления необходимо выделить две информационные составляющие выходного сигнала, а именно текущий уровень давления в манжете и уровень осцилляций давления в манжете, производимые биением артерии человека. С этой целью в схему введены фильтр (БФ) и усилитель (БУ), а согласование по нагрузке между выходом ДД и входом АЦП микроконтроллера осуществляется усилителем мощности (УМ). Аналогичный узел требуется для согласования выхода портов ввода/вывода микроконтроллера (МК) с такими компонентами, как электромагнитный клапан (ЭМК) и компрессор (К).

Датчик давления должен соответствовать следующим требованиям:

- обладать требуемым диапазоном измеряемого давления;
- высокой точностью;
- высокой надежностью;
- пригодностью к работе от автономного источника питания.

Среди многих производителей подобного рода датчиков давления можно выделить компании Honeywell, Freescale, Infineon, On Semiconductor и ряд других.

В частности, компанией Freescale представлены цифровые, интегрированные, компенсированные и некомпенсированные датчики давления. При этом требуемый диапазон измеряемого давления (0-300мм.рт.ст.) имеют датчики MPX2300DT1, MPX2301DT1, MPXM2053GS и MP3V5050GP. Отличительной особенностью этих датчиков является различие по величине напряжения питания. Если для функционирования датчиков MPX2300DT1, MPX2301DT1 требуется напряжение питания не менее 6В, то для MPXM2053GS напряжение питания достигает величины 10В. Поскольку предполагается использовать автономное питание, оптимальным вариантом для устройства является использование датчика MP3V5050GP с напряжением питания 3В, основные параметры которого приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Параметры датчика MP3V5050GP

Параметр	Мин.	Тип.	Макс.	Ед.изм.
Диапазон измеряемого давления (P)	0	-	50	кПа
Напряжение питания ($U_{пит}$)	2.7	3.0	3.3	В
Выходное напряжение при P = 0кПа (0 - 85°C) ($U_{пит} = 3.0В$)	0.053	0.12	0.188	В
Выходное напряжение при P = 50кПа (0 - 85°C) ($U_{пит} = 3.0В$)	2.752	2.7	2.888	В
Размах напряжения полной шкалы ($U_{раз.}$) (0 - 85°C) ($U_{пит} = 3.0В$)	-	2.7	-	В
Точность (0 - 85°C)	-	-	±2.5	% $U_{раз.}$
Чувствительность	-	54	-	мВ/кПа
Выходной ток на пределе шкалы	-	0.1	-	мА
Время установления выходного сигнала	-	20	-	мс
Дрейф напряжения смещения	-	±0.5	-	% $U_{раз}$

Опираясь на характеристики датчика, рассчитаем его передаточную характеристику:

$$U_{вых.} = U_{пит.}(P * 0,018 + 0,04) \pm U_{пит.}(P_{ош.} * F_t * 0,018);$$

Здесь $P_{ош.}$ и F_t - это ошибка давления и температурный фактор соответственно. Из этой функции следует, что выходной сигнал в значительной мере зависит от стабильности напряжения питания ($U_{пит.}$).

Схема электрическая принципиальная тонометра представлена на рис. 3.

В состав схемы тонометра включен микроконтроллер, выбор которого основан на следующем:

- наличие встроенного АЦП не менее 10 разрядов, частота дискретизации - ≥ 1 кГц, не менее двух каналов;
- наличие встроенного ЦАП (для визуализации обработанного сигнала);
- контроллер должен обладать достаточно высокой производительностью (ориентировочно ≥ 20 MIPS) при напряжении питания 3В и встроенным источником опорного напряжения с низким температурным дрейфом.

В схеме фильтр, буфер и усилитель реализованы на прецизионных операционных усилителях DA4, DA5. Так как диапазон изменения входного напряжения 0,053В...2,888В, применен усилитель типа ADA4528, функционирующий в формате rail-to-rail, при напряжении питания 3В. [5]

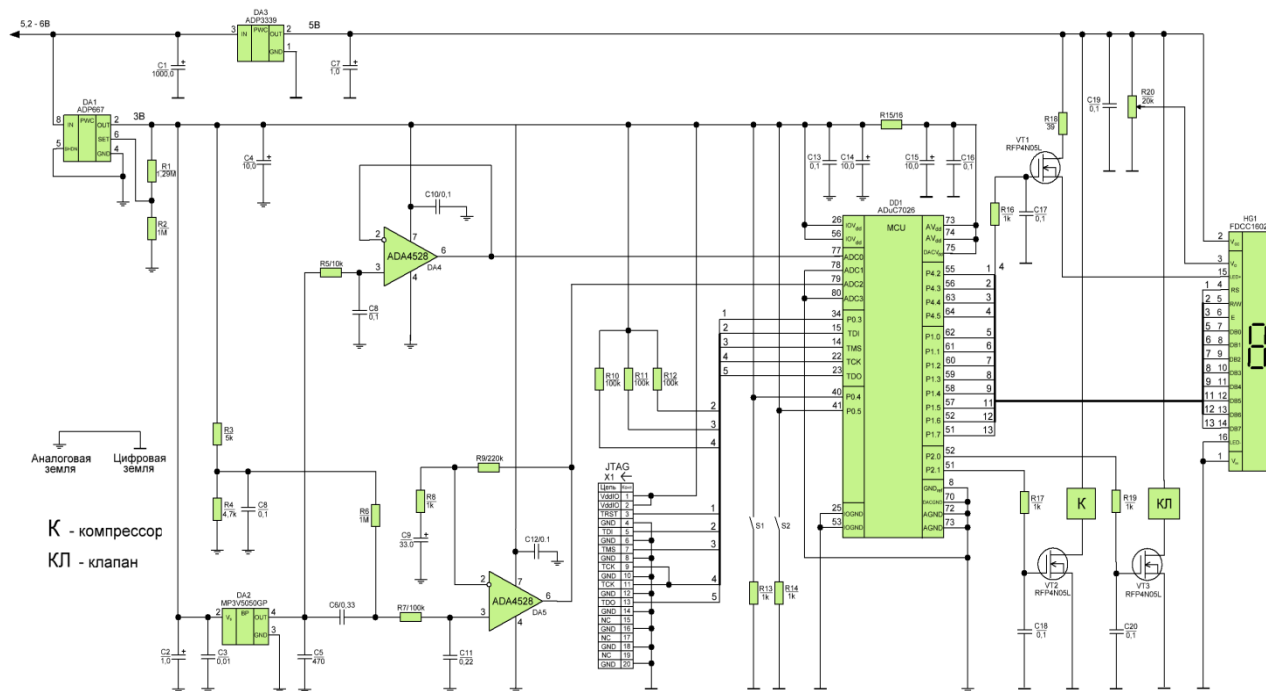


Рисунок 3 - Схема электрическая принципиальная разработанного цифрового тонометра

В нашем применении использован микроконтроллер ADuC7026 производства компании Analog Devices Inc., обладающий следующими параметрами:

- многоканальный 12-разрядный АЦП производительностью 1 MSPS;
- многоканальный 12-разрядный ЦАП;
- источник опорного напряжения (ИОН) с температурным дрейфом - 10 ppm/°C;
- высокопроизводительное (45 MIPS) ядро ARM7TDMI;
- поддержка JTAG отладочного интерфейса;
- 62 кбайта Flash-памяти на кристалле;
- 8 кбайт ОЗУ (SRAM);
- 3-фазный ШИМ модулятор;
- два 32-разрядных таймера и два 16-разрядных таймера;

Производительности этого микроконтроллера достаточно для реализации алгоритмов цифровой фильтрации. Наличие JTAG интерфейса и встроенного ЦАП позволяют использовать данный тонометр в исследовательских целях. ЦАП позволяет визуализировать обработанный в реальном времени сигнал, а интерфейс JTAG позволяет оперативно внести изменения в алгоритм работы устройства.

Другой актуальной и решенной в данной работе задачей является задача автоматического определения достаточного для начала процедуры измерения АД. Задача осложняется тем, что во время работы электромеханический компрессор вносит в выходной сигнал датчика давления такой уровень помех, что детектирование пульсаций давления становится невозможным. Современными производителями медицинских тонометров эта проблема в одних случаях перекладывается на плечи пользователей, в других случаях решается за счет «ступенчатого» алгоритма нагнетания давления в манжету. При этом если в приборе реализовано автоматическое детектирование момента начала измерения, то метод реализации остается коммерческой тайной производителя.

В разработанном устройстве данная проблема решается за счет применения цифрового фильтра с конечной импульсной характеристикой. Такой подход позволяет ускорить процедуру измерения и, вместе с тем, практически не влияет на конечную стоимость устройства. Осциллограмма, приведенная на рисунке 4, демонстрирует результат цифровой фильтрации исходного сигнала.

Для управления уровнем давления в манжете применен компрессор типа P16B06R, а

так же электромагнитный клапан KSV05B. Функцию стабилизации напряжения в схеме выполняет компонент ADP3339, представляющий собой линейный стабилизатор напряжения величиной 5В компании Analog Devices адаптированный для применения в приложениях с автономным питанием.

В качестве источника напряжения величиной 3В использован стабилизатор напряжения ADP667 с регулируемым выходным напряжением, у которого минимально допустимое падение напряжения составляет 150мВ при максимальном допустимом токе 200мА.



Рисунок 4 - Осциллограммы, отображающие процесс нагнетания давления в манжету
Где CH1 - исходный сигнал, демонстрирующий зашумленные компрессором осцилляции в манжете, CH2 - результат фильтрации полезного сигнала.

Выходное напряжение регулируется делителем, построенным на резисторах R1 и R2 (рис 5) [7].

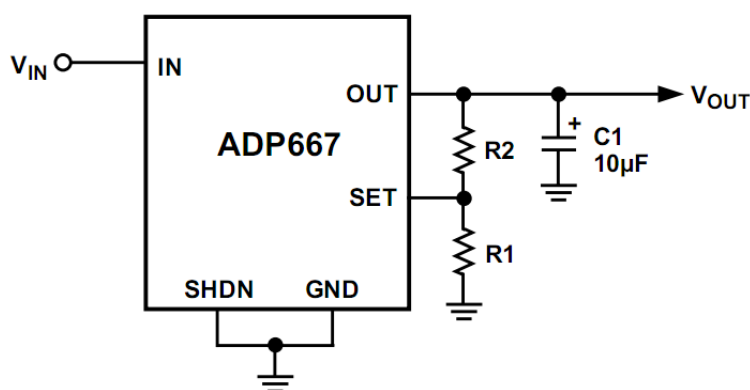


Рисунок 5 - Схема включения ADP667

При величине сопротивления резистора R1 - 1МОм, сопротивление резистора R2 рассчитывается по формуле:

$$R2 = R1 * \left(\frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{уст}}} - 1 \right),$$

где - $U_{\text{вых}}$ – желаемое выходное напряжение; $U_{\text{уст}} = 1,255\text{В}$.
и составляет 1,39МОм.

Результаты измерений отображаются на знаковосинтезирующем ЖКИ FDCC1602E со встроенным контроллером HD44870 фирмы Fordata.

Управление компрессором и электромагнитным клапаном обеспечивают усилители мощности, выполненные на полевых MOSFET транзисторах типа RFP4N05L.

В качестве интегрированной среды разработки был выбран IAR Embedded Workbench® for ARM, поддерживающий микроконтроллеры компании Analog Devices [9].

В качестве примеров и шаблонов для программирования использовались ADuC7019/ADuC702x Code Examples, C Library доступные на сайте производителя [5].

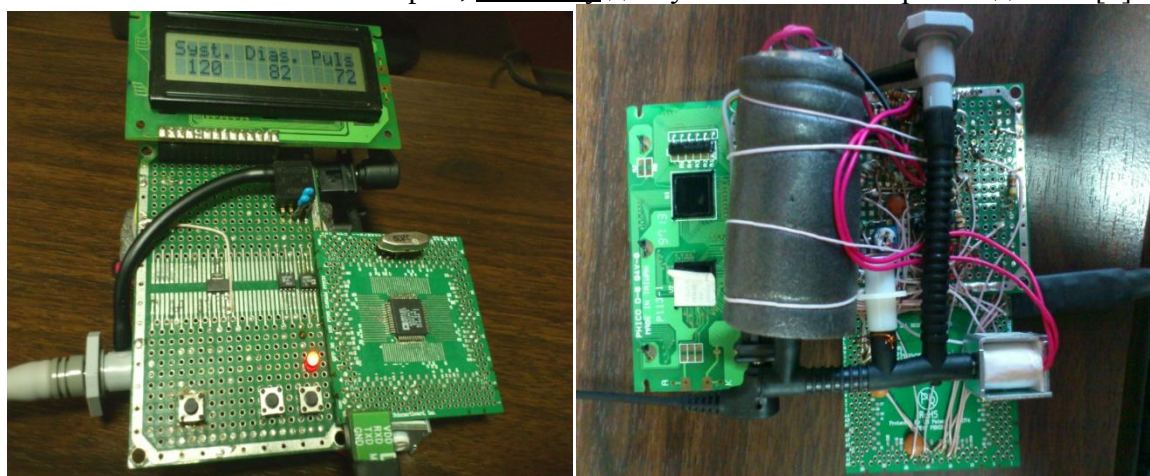


Рисунок 6 - Макетный образец разработанного медицинского тонометра

Выводы

Результатом работы является разработанные аппаратное и программное обеспечения устройства. Изготовлен макетный образец цифрового медицинского тонометра (рис 6). Опытная эксплуатация показала, что точность измерения прибора не хуже 5 мм.рт.ст. для систолического и диастолического давлений. Тем не менее, необходимо дальнейшее тестирование устройства в клинических условиях. Применение технологии цифровой фильтрации позволило ускорить процесс измерения артериального давления, позволив прибору автоматически определять достаточный для начала процедуры измерения уровень давления в манжете. Устройство отличается от большинства известных аналогов не только большей скоростью измерения, но и полной автоматизацией, имеет информативный ЖКИ с подсветкой. Использование современной элементной базы позволило минимизировать аппаратные затраты, весогабаритные характеристики и стоимость устройства.

Наличие JTAG интерфейса и встроенного ЦАП позволяют использовать данный тонометр в исследовательских целях. ЦАП позволяет визуализировать обработанный в реальном времени сигнал, а интерфейс JTAG позволяет оперативно внести изменения в алгоритм работы устройства.

Возможным направлением улучшения качественных показателей изделия является применение более эффективных алгоритмов измерения АД. Например, логичным представляется использование анализа первой производной полученной осциллограммы. Для комфортного пользования прибором пациентами, страдающими дефектами зрения, возможна замена существующего ЖКИ на модель с более крупными символами.

Библиографический список:

1. Рогоза А.Н. Классификация приборов для неинвазивного измерения артериального давления. <http://www.sitekserv.ru/press/?id=153>;
2. Тихоненко В.М. Достоинства метода Короткова при мониторингировании артериального давления. С. 37. Вестник аритмологии, С-П, № 40, 2005;
3. Inga Harris. Blood pressure monitors, a Freescale reference design. Beyond Bits. Issue 4 Summer 2009;
4. Oscillometric blood pressure measurement. Medical Electronics ICs Solutions Bulletin. volume 8, issue 4;

5. Blood Pressure Monitor. Using the Flexis QE128 Family. Rev. 0, 07/2008 (http://www.freescale.com/files/microcontrollers/doc/ref_manual/DRM101.pdf);
6. Б.Д.Зислин, А.В.Чистяков и др. Пути повышения точности измерения артериального давления осциллометрическим методом. С.24-28. Медицинская техника. 2005;
7. <http://www.analog.com>;
8. http://cache.freescale.com/files/sensors/doc/data_sheet/MP3V5050.pdf;
9. <http://www.iar.com>.

УДК 621.317

Семиляк А.И., Мирзабеков М.М., Нуров Д.Р.

АНАЛИЗАТОР КОЛИЧЕСТВА И КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Semilyak A.I., Mirzabekov M.M., Noorov D.R.

ANALYZER OF QUANTITY AND QUALITY OF THE ELECTRIC POWER

Одним из направлений деятельности исследовательского центра «Энергосберегающие технологии и интеллектуальный учет в электроэнергетике» является проведение научно-исследовательских работ по применению электронных устройств и интеллектуальных систем распределения энергии компании Analog Devices, снабженных функцией точного измерения энергопотребления. В статье изложены вопросы оценки количества и качества электрической энергии с использованием анализатора, описана структура анализатора.

Основной составной частью анализатора является измерительная микросхема, производимая фирмой Analog Devices ADE7878, предназначенная для применения в коммерческих и промышленных интеллектуальных счетчиках электроэнергии. Такие счетчики с высокой степенью точности измеряют количество выработанной или потребленной электроэнергии и обладают средствами удаленного считывания результатов измерений.

Ключевые слова: *мощность, гармоника сигнала, фаза, нейтраль, ток, напряжение, электроэнергия, сигма-дельта АЦП, трехфазная сеть.*

One of the activities of the research center for "Energy Saving Technologies and Smart Metering in Electrical Power Engineering" is research work on the use of electronic devices and systems of intelligent power distribution, produced by Analog Devices and equipped with the accurate energy consumption measurement feature. The article focuses on the development of the analyzer of quantity and quality of electric energy.

The main part of the analyzer is a metering IC by Analog Devices ADE7878, designed for use in commercial and industrial smart electricity meters. Such counters measure the amount of consumed or produced electric energy with high accuracy and have the means of remote meter reading.

Key words: *power, harmonic signal, phase, neutral, current, voltage, electric energy, sigma-delta ADC, three-phase network.*

Микросхема фирмы Analog Devices ADE7878 обеспечивает требования класса точности 0.2 и является первой микросхемой, способной измерять активную и реактивную мощность с точностью 0,1%. Также она способна измерять мощность основной гармоники сигнала, что является критичным при определении параметров качества электроэнергии. Микросхема