

***В.К. ГУСЕЛЬНИКОВ***, канд. техн. наук, проф., ***Т.Г. БЕЛИКОВА***,  
***Н.А. ПАШКОВА***

## **УНИВЕРСАЛЬНАЯ МЕТЕОСТАНЦИЯ**

Запропоновано роботу, яка присвячена питанням розробки електронних приладів комплексного вимірювання основних кліматичних параметрів навколишнього середовища: температури, вологості та атмосферного тиску. Приведено схему та характеристики цифрової метеостанції. Головними перевагами розробленого приладу є точність вимірювання: температури (0,05°C), тиску (10Па), вологості (1%). Метеостанція надійна та зручна у експлуатації, має відносно невелику ціну. Діапазон вимірювання приладу (-30 – +100) °С.

Offered work is devoted to questions of electronic complex measuring instruments of the main basic climatic parameters of environment: temperature, humidity and atmospheric pressure. The resulted circuit and characteristics of digital weather-station. Main advantages of the developed device is high accuracy of errors: temperature (0,05°C), pressure (10Pa), humidity (1%). The weather-station is reliable and comfortable in exploitation, has a relatively small price. Range of device measuring is (-30 – +100) °C.

В настоящее время ассортимент метеостанций достаточно разнообразен. При этом нужно отметить, что существует заметный разрыв между приборами, выпускаемыми для бытовых целей и профессиональной техники. Точность и стабильность измерений первых находится на недостаточном уровне, к тому же отсутствие интерфейсов для передачи данных не позволяет их использовать в профессиональных целях (метеорологических комплексов сбора информации). Профессиональная же техника, построенная на аналоговых датчиках, имеет достаточно высокую стоимость.

Разработанная малогабаритная универсальная метеостанция, свободна от перечисленных недостатков. В качестве первичных измерительных преобразователей температуры, давления и влажности были выбраны датчики на основе кварцевых резонаторов [1]. Преимущество таких преобразователей, прежде всего, заключается в их высокой чувствительности и простоте использования. Кварцевые резонаторы также имеют высокую добротность  $10^7$  и более, кратковременную и долговременную стабильность  $10^{-4}$  до  $10^{-7}$ , практически отсутствует гистерезис при механических, температурных и электрических воздействиях. Сигнал от резонаторов можно сразу обрабатывать в цифровой форме, что удешевляет процесс обработки измеряемых параметров.

Рассмотрим детально процесс измерения температуры окружающей среды. Измерение температуры с помощью термочувствительных кварцевых резонаторов основано на использовании анизотропии кристалла кварца. Выбирая соответствующую ориентацию среза пьезоэлемента относительно кристаллографических осей, можно изменять его термочастотную характеристи-

ку (ТЧХ), которая в общем случае является нелинейной функцией температуры и описывается рядом следующего вида:

$$\frac{\Delta f}{f_0} = \sum_{n=1}^m \delta_f^{(n)} (T - T_0)^n, \quad (1)$$

где  $\delta_f^{(n)}$  – температурный коэффициент частоты (ТКЧ).

$$\delta_f^{(n)} = \frac{1}{n! \cdot f_0} \left( \frac{\partial^n f}{\partial T^n} \right)_{T=T_0}, \quad (2)$$

где  $T$  и  $T_0$  – калибровочное и текущее значения температуры.

В широком диапазоне температур ТЧХ кварцевого резонатора с достаточной точностью аппроксимируется тремя членами ряда. Для измерения температуры нужны кварцевые резонаторы с крутым монотонным изменением ТЧХ на рабочем участке. В кварцевых датчиках температуры используются различные кварцевые термочувствительные резонаторы (например, РКТ-206) с типовой чувствительностью порядка 2 Гц/°С. Кварцевые датчики температуры являются автогенераторными преобразователями с частотным выходом и строятся на основе пьезорезонаторов. Измерение температуры с малой погрешностью может быть выполнено, если градуировочная характеристика термодатчика определена с высокой точностью. Микропроцессор пересчитывает значение частоты, поступающее с кварцевого датчика, в значение температуры по индивидуальной градуировочной характеристике (ГХ).

Также в качестве датчика температуры применяют различные кварцевые преобразователи температуры (например, ПТК-01 [2]), обеспечивающие прецизионное измерение температуры. Прецизионность достигается путём использования кварцевых резонаторов-сенсоров, частота которых при изменении температуры корректируется по ГХ. Например, вышеуказанный датчик позволяет измерять температуру в диапазоне -30—+100°С с точностью 0,05% от верхнего предела измерения.

В качестве первичного преобразователя давления используется прецизионный манометрический кварцевый резонаторы давления РКМА-21 [2], в котором применяется кварцевый силочувствительный резонатор, представляющий из себя сдвоенный камертон ПС27-40, полученный методом фотолитографии. Особенностью конструкции является то, что силочувствительный резонатор крепится легкоплавким стеклом на кварцевую мембрану того же среза, что обеспечивает высокую прочность в широком диапазоне измеряемых давлений, малый воспроизводимый уход частоты в рабочем температурном диапазоне, малый гистерезис барочастотной характеристики (БЧХ), малый уход ноля, высокую разрешающую способность. Основные технические характеристики РКМА- 21 представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Характеристики кварцевого датчика давления РКМА-21

Номинальная частота, кГц	40 .. 48
Интервал рабочих давлений, МПа	$7 \times 10^{-5} \dots 0,15 \times 10^{-2}$
Чувствительность, Гц/МПа	11000
Гистерезис БЧХ, %	<+0,02
Интервал рабочих температур, °С	-40 .. +100
Функциональная температурная погрешность, в диапазоне рабочих температур, %	<±1
Изменение частоты в год, % (уход ноля)	<+0,02
Динамическое сопротивление, кОм	<200

В качестве датчика влажности применяется датчик ПВК-1 [2]. Как известно, резонансная частота пьезоэлектрического кварцевого кристалла снижается, когда на его поверхности адсорбируется постороннее вещество. Изменение резонансной частоты ( $\Delta f$ , Гц) в зависимости от массы осажденного на поверхность кристалла вещества ( $\Delta m$ , г) вычисляется выражением Сауер-брея:

$$\Delta f = -2,26 \cdot 10^{-6} \frac{f_0^2 \Delta m}{A} \quad (3)$$

где  $A$  – площадь поверхности кристалла, см<sup>2</sup>;  $f_0$  – основная резонансная частота, Гц.

Кварцевые резонаторы обладают уникальной способностью регистрировать изменение массы до  $10^{-11}$  г. Если на резонатор нанести тонкий слой чувствительного к тому или иному газу вещества, то резонатор будет реагировать на очень малые концентрации данного газа. Селективность датчика зависит от материала чувствительного слоя. В настоящее время в качестве чувствительных материалов для кварцевых датчиков применяются, в частности, полимерные структуры. В датчике ПВК-1 используется полимер, обладающий адсорбционной чувствительностью к влажности окружающей среды. Датчик влажности работает в диапазоне температур (-40-+110)°С и измеряет относительную влажность от 10 до 95% с точностью в 1%.

Универсальная метеостанция состоит из трёх основных узлов: чувствительных элементов (кварцевых датчиков температуры, влажности и давления), частотного преобразователя (сформирован на ПЛИС *MAX7000S* фирмы *Altera* [3]) и специального вычислителя (микроконтроллер *ATmega8515* фирмы *Atmel*). Структурная схема измерительного устройства представлена на рис. 1.

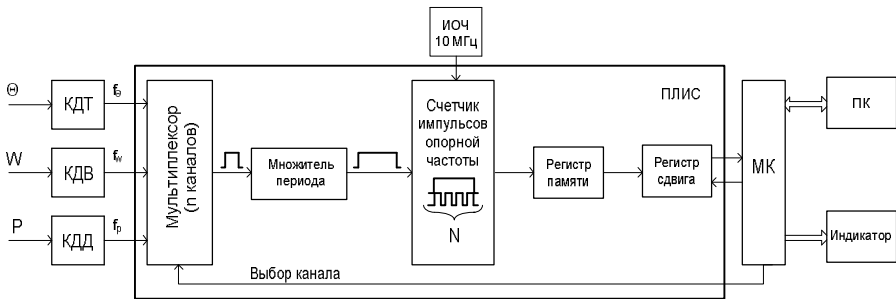


Рис. 1. Структурная схема измерительной системы:

*КДТ* – кварцевый датчик температуры, *КДВ* – кварцевый датчик влажности, *КДД* – кварцевый датчик давления, *ИОЧ* – эталонный источник опорной частоты 10 МГц, *ПЛИС* – программируемая логическая интегральная схема; *МК* – микроконтроллер, *ПК* – IBM-совместимый персональный компьютер

Подсчёт частоты, поступающей с кварцевых датчиков, производится с помощью 17-битного счётчика, реализованного в ПЛИС. Там же размещены мультиплексоры и сдвиговый регистр. Микроконтроллер управляет процессом измерения, осуществляет связь с ПК, производит математические вычисления и управляет индикацией. ПК с помощью специального интерфейса осуществляет сбор, накопление и статистическую обработку результатов измерения. Счётчики считают импульсы опорной и измеряемой частоты для получения требуемого интервала измерения. Мультиплексор используется для выбора входного канала. Измерение частоты производится с разрешающей способностью до младшего бита (0,004 Гц). Далее по индивидуальной градуировочной характеристике производится пересчёт значения частоты, поступающего с соответствующего кварцевого датчика, в значение температуры, давления либо влажности. В качестве аппроксимирующей кривой использован полином третьей степени. Коэффициенты полинома для пересчёта хранятся в энергонезависимой памяти и могут быть перепрограммированы через интерфейс пользователя. Вычисленное значение одного из измеряемых параметров выводится на пятизначный цифровой семисегментный индикатор. Разработанный прибор производит измерения в диапазоне  $(-30 - +100)^\circ\text{C}$ , но он может быть легко расширен применением кварцевых датчиков с более широким температурным диапазоном (кварцевые резонаторы имеют верхний и нижний пределы рабочей температуры  $+700^\circ\text{C}$  и  $-50^\circ\text{C}$  соответственно). Цифровая метеостанция работает как в автономном режиме, так и под управлением ПК. Программная оболочка осуществляет управление сбором данных, вычислением измеряемых параметров и визуализацией.

В используемом интерфейсе реализована возможность однократного измерения выбранных каналов, непрерывное сканирование, сканирование

каналов заданное число раз, опрос каналов через заданный интервал времени, реализована возможность отложенного запуска измерения. Все данные возможности востребованы при контроле параметров окружающей среды. Результаты измерений сохраняются в ПК. Включение в состав МК или ПК web-сервера позволяет организовать удаленный сбор метеоинформации на обширной территории и централизовано ее обрабатывать.

Через интерфейс пользователя производится вычисление и загрузка индивидуальных градуировочных характеристик кварцевых датчиков измеряемых параметров. Точность измерения в основном определяется точностью кварцевых преобразователей (вносят наибольшую погрешность), стабильностью источника опорной частоты. В качестве источника опорной частоты используется высокостабильный термостатированный генератор на 10 МГц.

Метрологические характеристики информационно-измерительной системы:

Максимальное время измерения одного канала, с.....	3
Разрешающая способность измерения частоты, Гц.....	0,004
Диапазон измерения температуры, °С.....	-30+100
Точность измерения температуры (с датчиком ПТК-01), °С.....	0,05
Измерительный диапазон относительной влажности, %.....	от 20 до 95
Точность измерения влажности (с датчиком ПВК-01), %.....	1
Диапазон измерения атмосферного давления, МПа.....	0-0,15
Точность измерения давления (с датчиком РКМА-21), Па.....	10

**Список литературы:** 1. Малов В.В. Пьезо-резонансные датчики – М.: Энергпромиздат, 1989. – 272 с. 2. <http://www.sktbelpa.ru/Precisionquartzsensors.pdf> 3. [http://www.alldatasheet.co.kr/datasheet-pdf/pdf\\_kor/86766/ALTERA/MAX7000S.html](http://www.alldatasheet.co.kr/datasheet-pdf/pdf_kor/86766/ALTERA/MAX7000S.html).

*Поступила в редколлегию 01.12.2008*