

ПЬЕЗОКВАРЦЕВЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ВЕСА

С.И. Кондрашов, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой Национального технического университета "Харьковский политехнический институт" (НТУ "ХПИ")

А.В. Гусельников, аспирант НТУ "ХПИ", г. Харьков



С.И. Кондрашов



А.В. Гусельников

Рассмотрены принцип работы и метод повышения точности пьезокварцевого измерителя веса. Приведены структурная схема и метрологические характеристики измерителя веса.

There was considered the operating principle and the method of accuracy improvement of piezoquartz weight measuring instrument. There was shown the block diagram and the metrological characteristics of weight measuring instrument.

Широкое применение измерителей веса в системах измерения, контроля и управления различных отраслей промышленности и медицины выдвигает высокие требования к их метрологическим и эксплуатационным характеристикам. Выходные сигналы таких приборов необходимо получать в цифровой форме для возможности их передачи на ЭВМ. Недостатками современных высокоточных измерителей веса являются сложность конструкции и высокая стоимость.

Авторами статьи разработан пьезокварцевый измеритель веса (ИВ), свободный от этих недостатков. Структурная схема ИВ, построенного с учетом результатов работ [1, 2], приведена на рис. 1.

Измеритель состоит из автогенераторного датчика (АГД), микроконтроллера (МК) и цифрового отсчетного устройства (ЦОУ). АГД включает в себя соединенные воспринимаящим измеряемый вес P упором $У$ идентичные чувствительные элементы (ЧЭ1, ЧЭ2) – кварцевые резонаторы АТ-среза, включенные по дифференциальной схеме в автогенераторы (АГ1, АГ2). Для повышения точности прибора использованы тестовый метод [3].

Прибор работает следующим образом. При отсутствии измеряемой величины ($P=0$) автогенераторы АГ1 и АГ2 вырабатывают частотные сигналы

$$f_1 = f_2 = f_0 = E^{0.5} \rho^{-0.5} (2h)^{-1},$$

где E – модуль упругости материала; ρ – плотность материала; h – толщина пластины резонатора.

Эти сигналы подаются на МК, где с помощью таймера и счетчика формируются интервал времени τ и число импульсов $N_0 = \tau f_0^{-1}$, которые сохраняются в памяти МК. Изменение веса на ΔP приводит к перемещению упора $У$ и деформации ЧЭ1 на $+\Delta h$ и ЧЭ2 на $-\Delta h$, при этом АГ1 и АГ2 вырабатывают сигналы с частотами соответственно

$$f_1 = E^{0.5} \rho^{-0.5} (2(h + \Delta h))^{-1} = E^{0.5} \rho^{-0.5} \left(2h \left(1 + \frac{\Delta h}{h} \right) \right)^{-1} = f_0 \left(1 + \frac{\Delta h}{h} \right)^{-1} = f_0 (1 + K_\Sigma P)^{-1};$$

$$f_2 = E^{0.5} \rho^{-0.5} (2(h - \Delta h))^{-1} = E^{0.5} \rho^{-0.5} \left(2h \left(1 - \frac{\Delta h}{h} \right) \right)^{-1} = f_0 \left(1 - \frac{\Delta h}{h} \right)^{-1} = f_0 (1 - K_\Sigma P)^{-1},$$

где $K_\Sigma = \Delta h/hP$ – коэффициент преобразования $У$ и ЧЭ1 (или ЧЭ2).

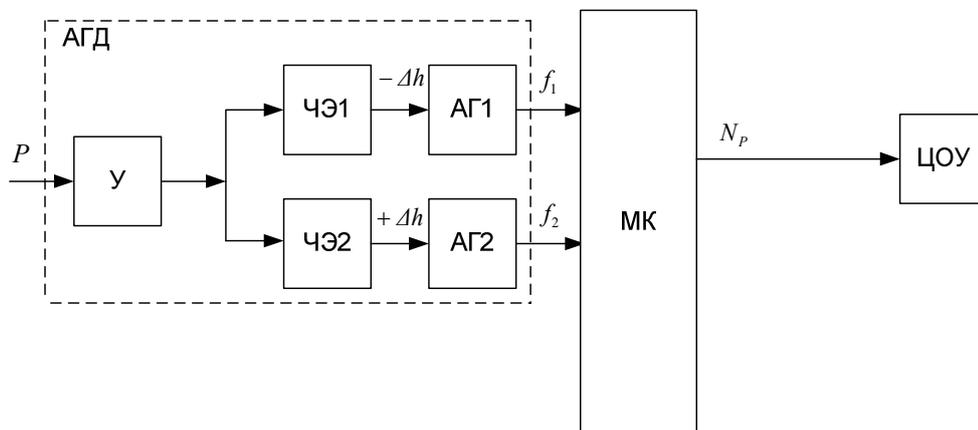


Рис. 1

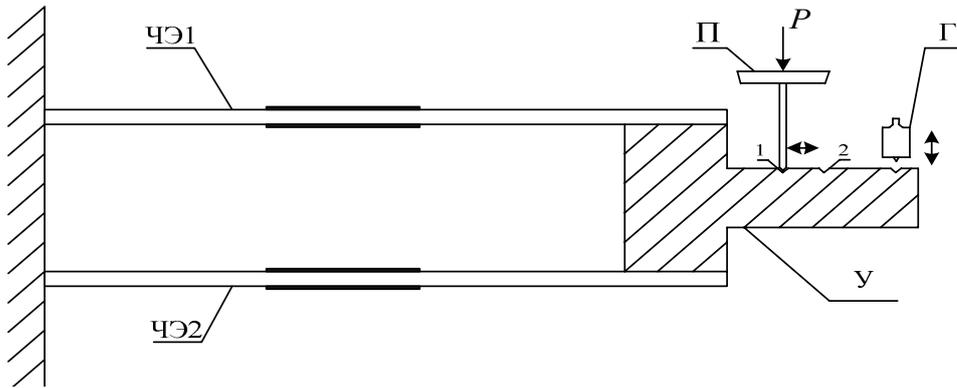


Рис. 2

Сигналы с выходов автогенераторов подаются на МК, где с помощью таймера и двух счетчиков формируются интервалы времени τ и числа импульсов $N_1 = \tau f_1^{-1}$ и $N_2 = \tau f_2^{-1}$, которые сохраняются в памяти МК. Далее МК производит вычитание из чисел импульсов $N_1 = \tau f_1^{-1}$ и $N_2 = \tau f_2^{-1}$ числа импульсов $N_0 = \tau f_0^{-1}$, результаты операции сохраняются в памяти МК и имеют вид

$$\begin{aligned} \Delta N_1 &= N_1 - N_0 = N_0 \frac{f_1^{-1}}{f_0^{-1}} - N_0 = \\ &= N_0 \left(\frac{(f_0(1 + K_{\Sigma}P)^{-1})^{-1}}{f_0^{-1}} - 1 \right) = N_0 K_{\Sigma} P; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta N_2 &= N_2 - N_0 = N_0 \frac{f_2^{-1}}{f_0^{-1}} - N_0 = \\ &= N_0 \left(\frac{(f_0(1 - K_{\Sigma}P)^{-1})^{-1}}{f_0^{-1}} - 1 \right) = -N_0 K_{\Sigma} P. \end{aligned}$$

После этого МК формирует выходной сигнал N_P , поступающий на ЦОУ:

$$N_P = \Delta N_1 - \Delta N_2 = N_0 K_{\Sigma} P - (-N_0 K_{\Sigma} P) = 2N_0 K_{\Sigma} P.$$

Как видно из последнего уравнения, измеряемый вес линейно связан с выходным сигналом.

Экспериментальные исследования показали, что результирующая погрешность ИВ имеет значимые аддитивные $\Delta_{\Sigma a}$ и мультипликативные $\delta_{\Sigma i}$ составляющие, для уменьшения которых использован тестовый метод.

Алгоритм тестового метода, схема которого приведена на рис. 2, следующий. При действии измеряемой величины P на платформу П, установленную в точку 1 упора У, формируется выходной сигнал ИВ $N_1 = KP(1 + \delta_{\Sigma M}) + \Delta_{\Sigma a}$, который сохраняется в памяти МК. Далее к измеряемой величине P добавляется вес эталонной гири Г и формируется выходной сигнал ИВ $N_2 = K(P + \Delta P)(1 + \delta_{\Sigma M}) + \Delta_{\Sigma a}$ (аддитивный тест). После этого чувствительность ИВ меняется в A раз, для чего платформа П перемещается в точку 2 упора У и формируется выходной сигнал $N_3 = AKP(1 + \delta_{\Sigma M}) + \Delta_{\Sigma a}$ (мультипликативный тест). Эти сигналы сохраняются в памяти МК, который управляет также перемещением платформы П и эталонной гири Г.

По результатам проведенных измерений в МК составляется система из трех уравнений:

$$\begin{cases} N_1 = KP(1 + \delta_{\Sigma M}) + \Delta_{\Sigma a}; \\ N_2 = K(P + \Delta P)(1 + \delta_{\Sigma M}) + \Delta_{\Sigma a}; \\ N_3 = AKP(1 + \delta_{\Sigma M}) + \Delta_{\Sigma a}. \end{cases}$$

После решения этой системы результат измерений можно записать в следующем виде:

$$P = \frac{N_3 - N_1}{N_2 - N_1} \frac{\Delta P}{A - 1}.$$

Как видно из последнего уравнения, применение общего (аддитивного и мультипликативного) тестового метода позволяет уменьшить аддитивные и мультипликативные составляющие погрешности до незначительных величин. Погрешность результата в основном определяется погрешностью тестовых сигналов, значение которой намного меньше результирующей погрешности ИВ до применения тестов. Проведенные эксперименты показали, что с применением такого тестового метода результирующая погрешность разработанного ИВ с диапазоном измерения 0,01...0,1 Н не превышает 1 %.

Описанный ИВ предназначен для использования в фармацевтической промышленности, имеет сравнительно невысокую стоимость, обеспечивает удобство эксплуатации, надежность конструкции и может применяться также для калибровки менее точных весоизмерительных приборов.

Список литературы

1. Кондрашов С.И. Метод построения универсальных преобразователей физических величин с частотным представлением измерительной информации / С.И. Кондрашов, А.В. Гусельников // Украинський метрологічний журнал. – 2011. – № 2. – С. 55–58.
2. Малов В.В. Пьезорезонансные датчики / В.В. Малов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 272 с.
3. Бромберг Э.М. Тестовые методы повышения точности измерений / Э.М. Бромберг, К.Л. Куликовский. – М.: Энергия, 1978. – 176 с.