

## ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ПЬЕЗОКВАРЦЕВОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ ВЕСА ТЕСТОВЫМИ МЕТОДАМИ

*А.В. Гусельников, аспирант кафедры “ИИТС” НТУ “ХПИ”,  
Т.Б. Беликова преподаватель кафедры “Технологии, экологии и безопасности  
жизнедеятельности” ХНЕУ, e-mail: [alex-gv88@rambler.ru](mailto:alex-gv88@rambler.ru)*

Национальный технический университет “ХПИ”, г. Харьков,  
Харьковский национальный экономический университет, г. Харьков

Разработан пьезокварцевый измеритель веса (ИВ) с диапазоном измерения  $(0,01 \div 0,1) \text{Н}$  и погрешностью 2% [1,2]. 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. Измеритель состоит из автогенераторного датчика (АГД), микроконтроллера и цифрового отсчетного устройства (ЦОУ). АГД включает в себя соединенные, воспринимающим 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;  $\rho$  - плотность материала;  $h$  - толщина пластины резонатора.

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

$$f_1 = E^{0,5} \rho^{-0,5} (2(h + \Delta h))^{-1} = E^{0,5} \rho^{-0,5} (2h(1 + \Delta h/h))^{-1} = f_0 (1 + \Delta h/h)^{-1} = f_0 (1 + K_\Sigma P)^{-1},$$

$$f_2 = E^{0,5} \rho^{-0,5} (2(h - \Delta h))^{-1} = E^{0,5} \rho^{-0,5} (2h(1 - \Delta h/h))^{-1} = f_0 (1 - \Delta h/h)^{-1} = f_0 (1 - K_\Sigma P)^{-1},$$

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

Сигналы с выходов автогенераторов подаются на МК где с помощью таймера и двух счетчиков формируются интервалы времени  $\tau$  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:

$$\Delta N_1 = N_1 - N_0 = N_0 K_\Sigma P, \quad \Delta N_2 = N_2 - N_0 = -N_0 K_\Sigma P.$$

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

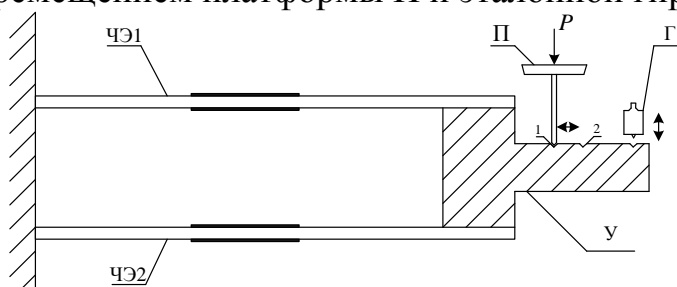


Рисунок 1 – Схема реализации тестового метода

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

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

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

$$P = ((N_3 - N_1)\Delta P)((N_2 - N_1)(A - 1))^{-1}.$$

Как видно из последнего уравнения применения общего (аддитивного и мультипликативного) тестового метода позволяет уменьшить аддитивные и мультипликативные составляющие погрешности до незначительных величин. Эксперименты показали, что с применением такого тестового метода результирующая погрешность разработанного ИВ не превышает 1%.

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