

УДК 681.518+621.391

## ЗМЕНШЕННЯ ПОХИБКИ ВИМІРЮВАЧА ТИСКУ З АВТОГЕНЕРАТОРНИМ ДАТЧИКОМ

**С.І. Кондрашов**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут" (НТУ "ХПІ")

**О.В. Гусельніков**, аспірант НТУ "ХПІ", м. Харків



С.І. Кондрашов



О.В. Гусельніков

*Розглянуто методику побудови високоточних вимірювачів тиску з автогенераторними датчиками та методи поліпшення їхніх точнісних характеристик. Наведено структурну схему та метрологічні характеристики такого приладу.*

*The method to construct high precision pressure meters with self-generator sensors and methods to improve their accuracy characteristics are described. The block diagram and metrological characteristics of such a device are given.*

Широке використання вимірювачів тиску в промисловості в сучасних системах вимірювання, контролю та управління висуває підвищені вимоги до їх вартісних, експлуатаційних та метрологічних характеристик. Так, при випробуваннях запірної арматури необхідні вимірювачі тиску газоподібних

середовищ у діапазоні 0...0,1 МПа з похибкою, що не перевищує 0,1 %. При цьому вихідний сигнал таких приладів необхідно отримати в цифровій формі для можливості його передачі на ЕОМ. Відомі на сьогодні високоточні промислові вимірювачі тиску мають такі недоліки, як висока вартість та складність конструкції.

Розроблено цифровий вимірювач тиску (ВТ) [1] з автогенераторним датчиком (АГД), вільний від цих недоліків. Такий ВТ складається з чутливого елемента (ЧЕ) – манометричної трубчастої пружини [2] радіусом 50 мм, еліптичного перерізу з діапазоном перетворення 0...0,1 МПа, двох первинних перетворювачів (ПП1, ПП2) – котушок змінної індуктивності, вимірювального (АГ1) та компенсаційного (АГ2) автогенераторів, мікроконтролера (МК), пульта керування (ПК) та цифрового відлікового приладу (ЦВП). ВТ працює в діапазоні 0...0,1 МПа з похибкою 0,1 %. Структурну схему ВТ наведено на рис. 1.

Прилад працює таким чином: за відсутності вимірюваної величини  $P=0$  на вході ПП1 вимірювального автогенератора, для виключення можливості виникнення режиму синхронізації генераторів, значення індуктивності ПП1 ( $L_1$ ) змінюють щодо значення індуктивності ПП2 ( $\Delta L_0$ ) так, що  $L_1=L_2+\Delta L_0=L_0+\Delta L_0$ .

При цьому АГ1 і АГ2 виробляють сигнали з частотами  $f_1=1/(2\pi\sqrt{L_1C})$  і  $f_2=f_0=1/(2\pi\sqrt{L_2C})$ . Зміна

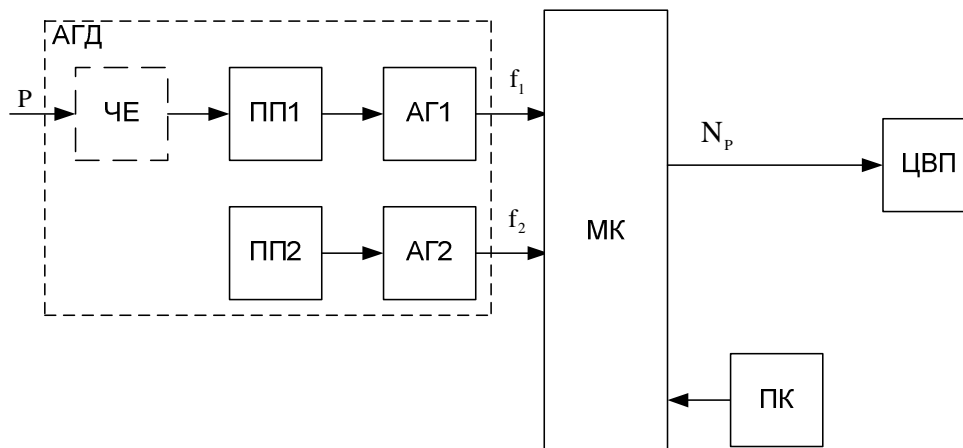


Рис 1. Структурна схема вимірювача тиску

вимірюваної величини  $\Delta P$  на приводить до зміни індуктивності ПП1 на  $\Delta L_1$ , при цьому АГ1 виробляє сигнал з частотою

$$f_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{C(L_1 + \Delta L_1)}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{C(L_0 + \Delta L_0 + \Delta L_1)}} =$$

$$= \frac{1}{2\pi\sqrt{L_0 C} \sqrt{1 + \frac{\Delta L_0}{L_0} + \frac{\Delta L_1}{L_0}}} = f_0 \left(1 + \frac{\Delta L_0}{L_0} + \frac{\Delta L_1}{L_0}\right)^{-0,5} =$$

$$= f_0 (1 + \varepsilon_0 + K_\Sigma P)^{-0,5},$$

де  $K_\Sigma = \Delta L_1 / (L_0 P)$  – коефіцієнт перетворення ЧЕ1 та ПП1;  $\varepsilon_0 = \Delta L_0 / L_0$  – відносне значення зміни індуктивності.

З вимірювального і компенсаційного автогенераторів вихідні сигнали  $f_1 = f_0 (1 + \varepsilon_0 + K_\Sigma P)^{-0,5}$  і  $f_2 = f_0$  надходять на входи МК, де за допомогою таймера і двох лічильників формуються інтервали часу  $\tau$  і числа імпульсів  $N_0 = \tau f_2^{-2}$  і  $N_1 = \tau f_1^{-2} = N_0 f_1^{-2} / f_2^{-2}$ , які зберігаються в оперативній пам'яті МК. Далі в блоці обчислення МК виконується формування вихідного сигналу ВТ у вигляді числового коду  $N_P$ :

$$N_P = N_1 - N_0 = N_0 \frac{f_2^2}{f_1^2} - N_0 =$$

$$= N_0 \left( \frac{f_0^2}{(f_0 (1 + \varepsilon_0 + K_\Sigma P)^{-0,5})^2} - 1 \right) = N_0 \varepsilon_0 + N_0 K_\Sigma P. \quad (1)$$

Як видно з рівняння (1), вимірюваний тиск лінійно пов'язаний з вихідним сигналом у разі, якщо забезпечені лінійні характеристики перетворення ЧЕ та ПП. Для зменшення результуючої похибки ВТ були застосовані такі рішення:

- робота ЧЕ на лінійній ділянці характеристики;
- отримання лінійної характеристики ПП;
- використання тестових методів.

Обмеження верхніх меж робочого діапазону ЧЕ зменшує його результуючу похибку, тому що при цьому зменшуються складові похибки нелінійності за рахунок звуження робочої ділянки характеристики перетворення ЧЕ і похибки від залишкової деформації за рахунок підвищення коефіцієнта запасу межі пружності. Аналіз ЧЕ, виконаного за такою схемою, дозволяє отримати результуючу похибку, що не перевищує 0,05 %. У табл. 1 наведено технічні характеристики використовуваного ЧЕ до та після модифікації.

В якості первинного перетворювача було застосовано розроблену авторами котушку змінної індуктивності [3], механічно з'єднану з рухомих кінцем ЧЕ. Котушку, параметри якої наведено в табл. 2, виготовлено з пружинного сталевих дроту

Таблиця 1

Вид	Зведена похибка, %	Максимальне переміщення рухомого кінця, l, мм
До модифікації	0,15	5
Після модифікації	0,05	2,5

(1X18Н9Т), хімічно покритого шаром міді для підвищення електропровідності.

Аналіз графіка залежності індуктивності котушки від її деформації (рис. 2) показав, що похибка нелінійності перетворення довжини котушки в параметр індуктивності не перевищує 0,1 %.

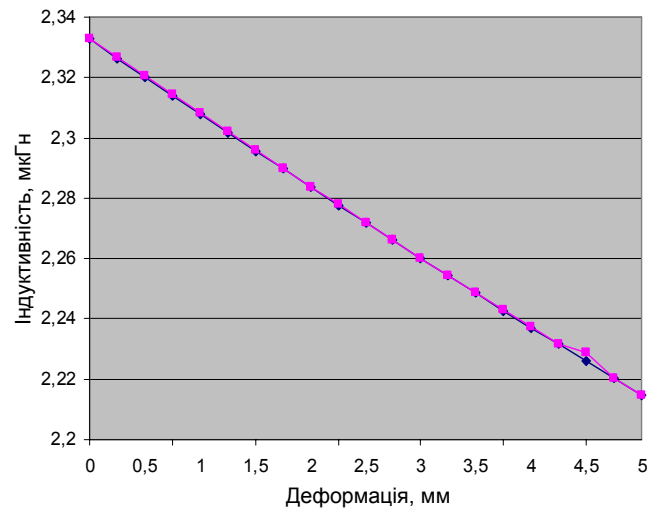


Рис. 2. Залежність індуктивності котушки від деформації: — розтягнення; — стиснення

Результуюча похибка ВТ має значущі адитивні ( $\Delta_{\Sigma a}$ ) і мультиплікативні ( $\delta_{\Sigma m}$ ) складові. Для зменшення результуючої похибки ВТ розглянемо застосування тестового методу [4].

Тестовий метод дозволяє виключити вплив на результат вимірювання параметрів ВТ і ряду інших складових результуючої похибки шляхом перетворення спеціальних тестів, функціонально пов'язаних із вимірюваною величиною, і обробки результату за заданим алгоритмом. Для реалізації тестового методу конструкція та алгоритм роботи вимірювача тиску змінено. ЧЕ 1 доповнено упором 3, а ПП 2 з одного боку закріплений за допомогою ексцентрика 4 (рис 3).

Алгоритм тестового методу такий. При дії на вхід ВТ вимірюваної величини  $P$  формується вихідний сигнал  $N_1 = KP(1 + \delta_{\Sigma i}) + \Delta_{\Sigma a}$ , який зберігається в пам'яті МК. Далі до вимірюваної величини  $P$  шляхом повороту ексцентрика, що викликає змі-

Таблиця 2

Діаметр дроту, мм	Число витків	Діаметр котушки, мм	Індуктивність, мкГн		Довжина котушки, мм	
			min	max	min	max
0,8	20	15	2,22	2,33	30	35

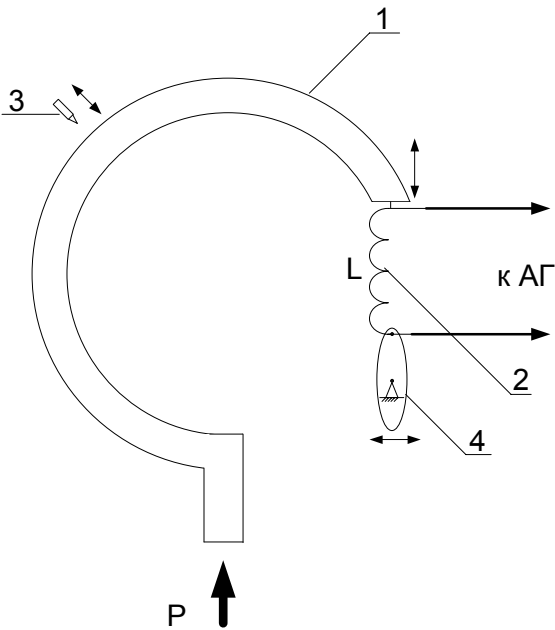


Рис. 3. Схема реалізації тестового методу

щення рухомого кінця манометричної пружини, додається зразкове значення величини  $\Delta P$  і формується вихідний сигнал  $N_2 = K(P + \Delta P)(1 + \delta_{\Sigma i}) + \Delta_{\Sigma a}$  (адитивний тест). Після цього чутливість ВТ змінюється в  $A$  раз, для чого необхідно підвести упор до зіткнення з манометричною пружиною, і формується вихідний сигнал  $N_3 = AKP(1 + \delta_{\Sigma i}) + \Delta_{\Sigma a}$  (мультиплікативний тест). Ці сигнали зберігаються в пам'яті МК, який управляє також переміщенням ексцентрика та упору. За результатами проведених вимірювань в МК складається система з трьох рівнянь:

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

Після вирішення цієї системи результат вимірювань можна записати у вигляді

$$P = \frac{N_3 - N_1}{N_2 - N_1} \frac{\Delta P}{A - 1}. \quad (2)$$

Як видно з рівняння (2), застосування спільного (адитивного і мультиплікативного) тестового методу дозволяє виключити адитивні і мультиплікативні складові похибки. Похибка результату в основному визначається похибкою формування тестових впливів ( $\Delta P, A$ ), значення якої набагато менше результуючої похибки ВТ до застосування тестового методу. Проведені експерименти показали, що із застосуванням тестових методів результуюча похибка ВТ не перевищує 0,05 %.

Отже, розроблений цифровий вимірювач тиску, після використання вищезазначених заходів, працює в діапазоні 0...0,1 МПа і його результуюча похибка не перевищує 0,05 %. ВТ має невелику ціну, забезпечує зручність експлуатації. Основне призначення розробленого приладу – випробування запірної арматури, а також він може застосовуватися для калібрування менш точних приладів для вимірювання тиску.

На базі розробленого ВТ можуть бути побудовані високоточні вимірювачі тиску з іншими ЧЕ (мембранами, мембранними коробками, силфонами та ін.) з різноманітними робочими діапазонами.

#### Список літератури

1. Кондрашов С.И. Метод построения универсальных преобразователей физических величин с частотным представлением измерительной информации / С.И. Кондрашов, А.В. Гусельников // Український метрологічний журнал. – 2011. – № 2. – С. 55–58.
2. Пономарев С.Д. Расчет упругих элементов машин и приборов / С.Д. Пономарев, Л.Е. Андреева. – М.: Машиностроение, 1980. – 326 с.
3. Пат. 53495 Україна. Спосіб виготовлення котушок змінної індуктивності / В.К. Гусельніков, С.І. Кондрашов, О.В. Гусельніков. – Опубл. 11.10.2010, Бюл. № 19.
4. Бромберг Э.М. Тестовые методы повышения точности измерений / Э.М. Бромберг, К.Л. Куликовский. – М.: Энергия, 1978. – 176 с.