



УКРАЇНА

(19) UA (11) 45849 (13) A

(51) 6 G01R7/02, G01K7/18

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ  
НА ВІНАХІДВИДАЄТЬСЯ ПІД  
ВІДПОВІДАЛЬНІСТЬ  
ВЛАСНИКА  
ПАТЕНТУ

## (54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ВІДХИЛЕННЯ ОПОРУ

1

2

(21) 2001075252

(22) 29 10 2001

(24) 15 04 2002

(46) 15 04 2002, Бюл. № 4, 2002 р

(72) Мамаєв Валерій Миколайович

(73) МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВО-НАВЧАЛЬНИЙ  
ЦЕНТР ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА СИСТЕМ

(57) Пристрій для виміру відхилення опору, що містить перетворювач, джерело живлення, перший вихід якого з'єднаний з першими виводами першого і другого допоміжних резисторів моста, резистивний датчик, включений у перше плече моста, перший вивід якого з'єднаний із другим виводом

першого допоміжного резистора і першим входом перетворювача, резистор порівняння, включений у друге плече моста, перший вивід якого з'єднаний із другим виводом другого допоміжного резистора і з другим входом перетворювача, другий вивід резистора порівняння з'єднаний з другим виходом джерела живлення, який відрізняється тим, що другий вивід резистивного датчика з'єднаний із третім входом перетворювача і першим виводом резистора опорної напруги, другий вивід резистора опорної напруги з'єднаний з четвертим входом перетворювача і спільною точкою другого виводу резистора порівняння і другого виходу джерела живлення

Винахід відноситься до вимірювальної техніки і може бути використаний для виміру малих відхилень від заданого значення опору, а також для виміру інших величин, що за допомогою резисторних перетворювачів (терморезисторів, фоторезисторів, тензорезисторів і т.д.) перетворюються в опір.

Відомий пристрій для виміру температури (див. ав. св. № 614340 G01 D0 7/16), заснований на вимірі опору, що містить термометр опору, включений у ланцюг вимірювального джерела струму, що компенсує джерело живлення, один із затисків якого через резистор і опір лінії зв'язку з'єднаний з першим потенційним виводом термометра опору, операційний підсилювач (ОП) з негативним зворотним зв'язком, до входу, що не інвертує, якого через опір лінії зв'язку підключений другий потенційний вивід термометра опору, до входу, що інвертує, ОП і резистору порівняння через резистор підключене третє джерело напруги, інші затиски джерел напруги і резистора порівняння з'єднані з загальною шиною.

Загальними ознаками пропонованого і відомого пристрою є чотириох затискне включення резистивного датчика, що забезпечує зменшення впливу сполучних проводів. Причиною, що заважає досягти поставленої задачі у відомому пристрої є те, що через те, що струм третього джерела напруги розгалужується на резистори, що приводить

до похибки, джерело струму і джерело напруги не взаємозв'язані і не забезпечується однакова їхня залежність від зовнішніх впливів (при зміні напруги живлення пристрою, при зміні температури), включення джерела напруги, що компенсує, не забезпечує компенсації впливу зміни опору лінії зв'язку, компенсуючий струм змінюється зі зміною опору.

Пристрій (див. патент Великобританії № 2107877 G 01 K7/20) містить схему подвійного моста, джерело струму, підключене до діагоналі моста через датчик струму. До вимірювальної діагоналі моста підключений диференціальний вольтметр.

Загальними ознаками пропонованого і відомого пристрою є чотириох затискне включення резистивного датчика в схему моста. Причиною, що заважає досягти поставленої задачі у відомому пристрої, є введення додаткового резистора, що приводить до додаткової похибки, зв'язаної зі зміною характеристик резистора, не лінійність вихідного моста, що зв'язано зі зміною опору резистивного датчика, а також застосування диференціального вольтметра з додатковим входом для підключення виходів датчика струму, що істотно обмежує можливість застосування пристрою.

З відомих пристроїв для виміру малих відхилень опору найбільш близьким по технічній сутності і результату, що досягається, є пристрій для

(13) A

(11) 45849

(19) UA

виміру зміни опору (див мал 10 46, стор 260 В С Гутников Интегральная электроника в измерительных устройствах — 2-е изд., перераб и доп — Л ЭНЕРГОАТОИЗДАТ Ленингр отд-ние, 1988 — 304с), пристрій для виміру відхилення опору, що містить перетворювач напруга-значення вимірюваного сигналу, джерело живлення мостової схеми, перший затиск якого підключений до перших виводів першого і другого допоміжного резистора мостової схеми, резистивний датчик, включений у перше плече моста і резистора порівняння, включеного в друге плече моста

Загальними ознаками прототипу і пропонованого пристрою є те, що пристрій містить перетворювач, джерело живлення, перший вихід якого з'єднаний з першими виводами першого і другого допоміжних резисторів моста, резистивний датчик, включений у перше плече моста, перший вивід якого з'єднаний із другим виводом першого допоміжного резистора і першим входом перетворювача, резистор порівняння, включений у друге плече моста, перший вивід якого з'єднаний із другим виводом другого допоміжного резистора і з другим входом перетворювача, другий вивід резистора порівняння з'єднаний із другим виводом джерела живлення

Причиною, що заважає досягти поставленої задачі є те, що опорна напруга у відомому пристрої знімається з додаткового дільника, підключеного до джерела живлення моста. Таке рішення не дозволяє одержати лінійну залежність вихідної напруги, оскільки зміна струму, що протікає через резистивний датчик, не зв'язана зі струмом, який протікає через додатковий дільник, що є причиною нелінійної залежності вихідної напруги моста при лінійній зміні опору резистивного датчика

В основу винаходу поставлена задача створити такий пристрій для виміру відхилення опору, у якому, завдяки введенню нових елементів, була б усунута нелінійна залежність вихідної напруги моста при лінійній зміні опору датчика і опроцесні вимоги до джерела опорної напруги, що дозволить спростити пристрій і підвищити точність виміру

Рішення поставленої задачі досягається тим, що пристрій для виміру відхилення опору, що містить перетворювач, джерело живлення, перший вихід якого з'єднаний з першими виводами першого і другого допоміжних резисторів моста, резистивний датчик, включений у перше плече моста, перший вивід якого з'єднаний із другим виводом першого допоміжного резистора і першим входом перетворювача, резистор порівняння, включений у друге плече моста, перший вивід якого з'єднаний із другим виводом другого допоміжного резистора і з другим входом перетворювача, другий вивід резистора порівняння з'єднаний із другим виводом джерела живлення, а другий вивід резистивного датчика з'єднаний із третім входом перетворювача і першим виводом резистора опорної напруги, другий вивід резистора опорної напруги з'єднаний з четвертим входом перетворювача і спільною точкою другого виводу резистора порівняння і другого виходу джерела живлення

Відмінними ознаками пропонованого пристрою є те, що, другий вивід резистивного датчика з'єднаний із третім входом перетворювача і першим

виводом резистора опорної напруги, другий вивід резистора опорної напруги з'єднаний з четвертим входом перетворювача і спільною точкою другого виводу резистора порівняння і другого виходу джерела живлення

Уведення послідовно з резистивним датчиком додаткового резистора, що виконує функцію джерела опорної напруги, дозволило одержати лінійну залежність вихідної напруги при лінійній зміні опору резистивного датчика, а також спростити джерело опорної напруги, шляхом виключення додаткових резисторів

Лінійна залежність вихідного сигналу при лінійній зміні вимірюваного параметра і виключення джерела опорної напруги в пропонованому пристрої забезпечується за рахунок застосування резистора 2, включеного послідовно з резистивним датчиком, через який протікає той же струм, що і через датчик. Як видно з виразу (8), результат виміру лінійно залежить від зміни опору і не залежить від джерела живлення моста, що забезпечується за рахунок принципового виключення значення напруги з формул розрахунку похибки. Це створює можливість істотно знизити вимоги до джерела живлення в частині його стабільності, виключає необхідність в окремому джерелі опорної напруги. Включення резистивного датчика разом з резистором порівняння практично виключає вплив сполучних проводів, що дозволяє віддаляти датчик від пристрою перетворення на відстань до 100м без утрати точності виміру. Завдяки перерахованим умовам, істотно (у півтора-два рази) знижується споживана ним енергія від джерела живлення (головним чином за рахунок виключення панціюв стабілізації). Скорочення кількості елементів схеми забезпечує підвищення його надійності, зниження собівартості, підвищення його технологічності

На фіг 1 представлена схема пристрою для виміру зміни опору

На фіг 2 представлений приклад реалізації цифрового термометра на основі пропонованого рішення

Пристрій містить резистивний датчик 1, включений у перше плече моста, перший вивід якого з'єднаний із другим виводом першого допоміжного резистора 5 і з першим входом перетворювача 7 напруга-значення вимірюваного сигналу, другий вивід резистивного датчика 1 з'єднаний з першим виводом резистора опорної напруги 2 і з третім входом перетворювача 7 напруга-значення вимірюваного сигналу, другий вивід резистора опорної напруги 2 з'єднаний з четвертим входом перетворювача 7 напруга-значення вимірюваного сигналу, другим виводом резистора порівняння і другим виводом джерела живлення 6, перший вивід резистора порівняння 3, включеного в друге плече моста, з'єднаний із другим виводом другого допоміжного резистора 4 і другим входом перетворювача 7 напруга-значення вимірюваного сигналу, а другий вивід резистора порівняння 3 з'єднаний із спільною точкою другого виводу резистора опорної напруги 2, другого виходу джерела живлення 6 і четвертим входом перетворювача 7 напруга-значення вимірюваного сигналу

Пристрій працює в такий спосіб. У результаті

проходження струму через резистор порівняння 3 і резистивний датчик 1 на перший і другий вхід перетворювача 7 напруга-значення вимірюваного сигналу подається диференціальна напруга, рівна спаданню напруги на резисторі порівняння 3 і резистивному датчику 1. На третій і четвертий вхід перетворювача 7 напруга-значення вимірюваного сигналу подається сигнал, що дорівнює спаданню напруги на резисторі опорної напруги 2, що подається на перетворювач 7 напруга-значення вимірюваного сигналу як опорна напруга. Напруга  $U_a$  на першому потенційному виводу резистивного датчика 1 дорівнює

$$U_a = I_1(R_d + R), \quad (1)$$

де  $R_d$  – опір резистивного датчика,

$$I_1 = \frac{E}{R_2 + R_{12} + R_d + R},$$

$R'$  – опір резистора,

$E$  – напруга живлення моста,

$R_{12}$  – опір сполучних проводів

З огляду на те, що  $R_d = R_0 + \Delta R$ , де  $R_0$  – опір резистивного датчика 1 для початкових умов, що відповідає початку вимірюваного діапазону,  $\Delta R$  – відхилення опору резистивного датчика від значення  $R_0$ , вираз (1) має вид

$$U = I(R + \Delta R + R) + (I_1 + I_2)R, \quad (2)$$

$$\text{де } I_2 = \frac{E}{R + R + R}$$

$R_{16}$  – опір сполучних проводів

Напруга  $U_b$  на потенційному виводу резистора порівняння 9

$$U_b = I_3 R_0 + (I_1 + I_2) R_0, \quad (3)$$

де  $R$  – опір резистора порівняння

З огляду на те, що  $R_2 = R_1 = R_0 m$ ,  $R = R_0 + R'$ ,  $R_{11} = R_{12}$  (для початкових умов), де  $m$  – безрозмірний коефіцієнт,

$$\Delta U = U - U_b = I_1(R_0 + R) - I_2 R, \quad (4)$$

Після підстановки вищевказаних умов і простих перетворень

$$\Delta U = \frac{NR(R_0 + m + R_0)}{[R_0 + m + R_0 + R + \Delta R][R_0 + m + R_0]} \quad (5)$$

Перетворювач 7 виконує функцію перетворення вихідної напруги  $\Delta U$  у показання  $n$  пристрою з використанням спадання напруги на резисторі 2 як опорної напруги. Перетворювач 7 напруга-значення вимірюваного сигналу видає показання, коли

$$\Delta U = U_a k_1 \frac{n}{N}, \quad (6)$$

$$\text{де } U_a = \frac{E R'}{R_0 + m + R_0 + \Delta R + R + R'}$$

$N$  – число, що відповідає кінцевому значенню вимірюваної величини  $\Delta R$ ,

$n$  – число, що відповідають частині  $n/N$  опорної напруги при видачі показань,

$k_2$  – число, що визначає задане відношення  $\Delta U$  до  $U_{оп} \cdot (n/N)$ , при якому пристрій видає результат виміру (стан рівноваги)

Після підстановки в (6) значення  $\Delta U$  з (5) і простих перетворень одержимо

$$\frac{\Delta R}{R_{11}} = k_1 \cdot R \frac{n}{N} \cdot \frac{1}{R_0 m + R_{11}}$$

звідки видно, що значення  $\Delta R$  не залежить від напруги джерела живлення, тому можуть бути знижені вимоги до стабільності джерела живлення, а також виключається необхідність в окремому джерелі опорної напруги. По цій же причині виключається поява нелінійності функції перетворення через зміну струму джерела живлення при зміні  $\Delta R$

Складова  $R_{11}/(R_0 m + R_{11}) \ll 1$  (Дійсно, якщо прийняти  $R_{11} = 10 \text{ Ом}$ , що відповідає довжині сполучних проводів порядку  $100 \text{ м}$ ,  $R_0 = 50 \text{ Ом}$ ,  $R_1 = R_2 = 10 \text{ кОм}$ ,  $m = R_1/R_0 = 200$ , то  $R_{11}/(R_0 m + R_{11}) = 0,001$ . Крім того, вплив постійної складової може бути врахований при точному визначенні  $R'$ . Додаткова похибка визначається при зміні опору сполучних проводів під впливом факторів зовнішнього середовища. Наприклад, для мідних проводів  $\Delta R_{11} = R_{11} \alpha \cdot t$ , де  $\alpha = 4,26 \cdot 10^{-3} \text{ } 1/^\circ\text{C}$ , що зменшить вплив складової  $R_{11}/(R_0 m + R_{11})$  ще на два порядки.)

З урахуванням вищесказаного,

$$\Delta R = k_2 \frac{n}{N}$$

Для випадку виміру температури  $\Delta R = R_0 \cdot \alpha \cdot t$ , де  $R' = R_0 k_1$ ,

$$t = \frac{k_1 k_2 n}{\alpha N} = k \cdot n$$

$$\text{де } k = \frac{k_2 k_1}{\alpha} \frac{1}{N}$$

За умови, що  $k = 1$ , відлік температури проводиться в одиницях температури ( $^\circ\text{C}$ ). Замість термометра опору може бути включений будь-який резистивний чутливий елемент, наприклад, тензорезистор, фоторезистор і т.д. При цьому розрахунок схеми ведеться по формулі (7), де замість  $\Delta R$  підставляється зміна опору чутливого елемента, визначена по його функції перетворення

Причому ніяких змін у схемі пристрою не потрібно

Наприклад, для тензорезистора вираження для співвідношення деформації

$$h = \frac{1}{K} \frac{\Delta R}{R_0},$$

де  $K$  – безрозмірний коефіцієнт пропорційності, що визначає чутливість тензорезистора до деформації,

$R_0$  – опір резистивного тензорезистора при відсутності деформації,  $\Delta R$  – зміна опору резистивного тензорезистора при впливі деформації

Після підстановки в (7) значення  $\Delta R$ , і з огляду на те, що  $R' = R_0 k_1$ , деформація резистивного тензорезистора визначається виразом

$$h = \frac{k_2 n}{K N} k_1$$

У випадку виміру відхилення  $\Delta R$  опору резистора від заданого значення за умови, що  $k = 1$ , число  $n$  виражається в одиницях опору

На фіг. 2 показаний приклад реалізації пропонуваного пристрою для виміру температури з застосуванням аналого-цифрового перетворювача (АЦП), виконаного на мікросхемі К572ПВ2 і з вико-

ристанням цифрового індикатора ИЖЦ5/8. Стандартні нависні елементи на фіг. 2 не показані. Мікросхема К572ПВ2 видає максимальне показання на індикаторі ИЖЦ5/8 1999 при  $U_{оп} = 100\text{m}$  і  $U_{вх} = 199,9\text{m}$ . Отже, з виразу (8) виходить  $k_2 = 1,999$ . Приймаючи загальне число "сходинок"  $N = 1999$  і задаючись умовою, щоб показання були в десятих частках градуса, з виразу (8) одержуємо  $k_1 = 0,426$ . Значення  $E$  вибирається з умови застосування мікросхеми К572ПВ2, щоб  $U_{оп} = 100\text{m}$  і  $U_{вх}$  було не більше  $200\text{m}$ . Діапазон виміру для даного пристрою складе  $\pm 199,9^\circ\text{C}$ .

Випробування пристрою показали, що при вимірі температури від мінус  $50^\circ\text{C}$  до плюс  $50^\circ\text{C}$  погрішність виміру не перевищує  $0,05\%$ . При випробуваннях замість мідного термометра опору був застосований магазин опорів Р4831 кл.  $0,02/2 \cdot 10^{-6}$ . Зміна показань, викликувана збільшенням опору ланки зв'язку до  $100\text{Om}$ , не перевищила  $0,02\%$ .

Як показано вище, результат виміру за допомогою приведених на фіг. 2 пристроїв не залежить від змін  $E$ . Значення струму  $I$  повинне лише забезпечувати вимоги чутливості застосованого в цих перетворювачах нуль-індикатора (нуль-органа). Стабілізація напруги живлення пристрою повинна бути забезпечена лише в межах нормальних умов функціонування застосовуваних елементів (наприклад,  $\pm 5\%$  для К57211В2).

При підключенні АЦП К572ПВ4 на виході перетворювача (АЦП) буде представлений восьми-

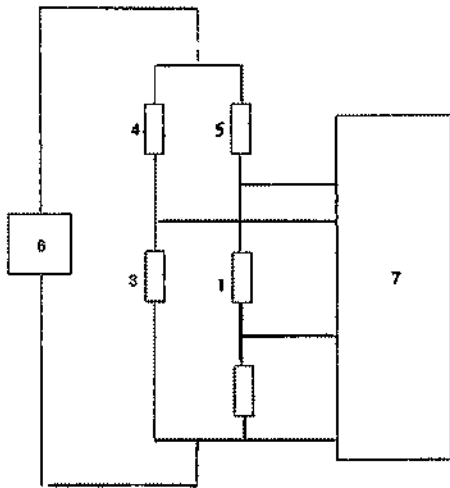
розрядний двоїчний код, який можна використовувати для подальшої обробки.

Якщо АЦП не має диференціального входу для вимірюваного сигналу, то між виходом мостової схеми й АЦП включається диференціальний підсилювач, коефіцієнт підсилення якого вибирається виходячи з вимог узгодження рівнів вихідної напруги мостової схеми і вхідної напруги АЦП.

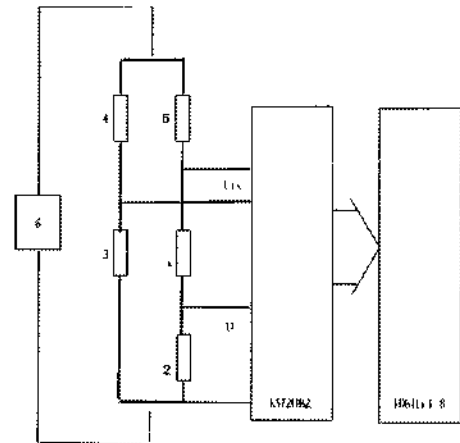
На даному принципі можуть бути виконані також пристрої для

- сигналізації про відхилення вимірюваного параметра від заданого значення,
- регулювання технологічних процесів по відхиленню вимірюваних параметрів від заданого значення,
- сортування прецизійних резисторів по відхиленню їхнього опору від номінального значення,
- виміру електричного опору замість складних вимірювальних мостів.

Пристрій може бути легко реалізований у виробничих умовах при серійному виробництві, оскільки, як показано у вищенаведеному прикладі (див. фіг. 2), у пристрої застосовується елементна база широкого застосування. Налаштування пристрою у виробничих умовах може провадитись за допомогою магазину опорів типу Р4831. Параметри резистивного датчика для виміру температури визначаються незалежно в двох реперних точках МПТШ.



Фиг. 1



Фиг. 2

ДП «Український інститут промислової власності» (Укрпатент)

вул. Сим'ї Хохлових, 15, м. Київ, 04119, Україна

(044) 456 – 20 – 90

ТОВ «Міжнародний науковий комітет»

вул. Артема, 77, м. Київ, 04050, Україна

(044) 216 – 32 – 71