



УКРАЇНА

(19) UA (11) 81330 (13) C2
(51) МПК (2006)
G01K 7/16
G01K 7/34

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ

1

(21) а200600545
(22) 20.01.2006
(24) 25.12.2007
(72) ЯЦУК ВАСИЛЬ ОЛЕКСАНДРОВИЧ, UA
(73) НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ЛЬВІВСЬКА
ПОЛІТЕХНІКА", UA, ЯЦУК ВАСИЛЬ
ОЛЕКСАНДРОВИЧ, UA
(56) UA 59763 A, 15.09.2003
SU 1328688 A1, 07.08.1987
SU 1682824 A1, 07.10.1988
JP 5283749, 29.10.1993
(57) Пристрій для вимірювання температури, який
містить вимірювальний діод, призначений для
розташування у вимірюваному середовищі і
підключений одним виводом до виходу генератора
струму, джерело опорної напруги, перший вихід
якого під'єднаний до входу подільника напруги,
перший вихід якого та другий вихід джерела
опорної напруги сполучені із загальною
заземленою шиною пристрою, диференціальний
підсилювач, суматор, вольтметр і блок керування,
який відрізняється тим, що додатково містить
джерело напруги, три резистори, чотири
конденсатори, десять ключів і повторювач
напруги, причому другий вивід вимірювального
діода сполучений із входом генератора струму,
першим виводом першого резистора та виходами
першого і другого ключів, вхід першого ключа
через другий резистор, а вхід другого ключа через
третій резистор підключені до точки з'єднання
другого виводу першого резистора та першого

2

виходу джерела напруги, вихід генератора струму
через перший конденсатор сполучений із входами
третього ключа і повторювача напруги, вихід якого
сполучений із входами четвертого і п'ятого ключів,
вихід якого під'єднаний до входу шостого ключа та
першого входу суматора, до другого входу якого
підключені входи сьомого та восьмого ключів,
вихід якого під'єднаний до другого виходу
подільника напруги, вихід суматора сполучений із
входами дев'ятого та десятого ключів, вихід якого
підключений до першої обклашки третього
конденсатора та першого входу диференціального
підсилювача, другий вхід якого з'єднаний із
першою обкладкою четвертого конденсатора та
виходом десятого ключа, до виходу
диференціального підсилювача підключений
перший вхід вольтметра, другий вхід якого
з'єднаний із першим виходом джерела опорної
напруги, виходи третього, четвертого, шостого,
дев'ятого та десятого ключів, другі обклашки
третього та четвертого конденсаторів сполучені з
загальною заземленою шиною пристрою, перший
вихід блока керування під'єднаний до входу
керування першого ключа, другий його вихід - до
входу керування четвертого ключа, третій його
вихід - до входу керування третього ключа,
четвертий його вихід - до входів керування
другого, п'ятого, восьмого та десятого ключів,
п'ятий його вихід - до входів керування шостого та
сьомого ключів, а шостий його вихід - до входу
керування вольтметра.

Винахід відноситься до техніки
вимірювання температури і може бути
використаний для підвищення точності
вимірювання температури і забезпечення
взаємозамінності напівпровідникових сенсорів з р-
п переходом, особливо при реалізації його в
мікроелектронному виконанні.

Відомий пристрій для вимірювання
температури, який містить напівпровідниковий
діод, розміщений у вимірюваному середовищі,
диференціальний підсилювач, подільник напруги і

вихідний вольтметр [патент України 10540, МКВ
G01K7/22, 1996р.].

Через технологічний розкид параметрів
чотирьох діодів (декілька процентів у межах однієї
мікросхеми) та нерівність амплітуд додатного та
від'ємного імпульсів генератора змінної напруги і
температурну залежність параметрів
струмозадавальних діодів виникатимуть адитивна
та мультиплікативна складова похибки
вимірювання температури, що не забезпечує
взаємозамінності напівпровідникових сенсорів.
Крім того, у цьому пристрої для вимірювання

(13) C2

(11) 81330

(19) UA

температури виникатимуть додатково адитивна, мультиплікативна та нелінійна складові похибки за рахунок технологічного розкиду параметрів діодів (їх зворотних струмів, температурних коефіцієнтів зворотних струмів та опорів баз і виводів областей бази і емітера) та омичного опору двопровідної лінії зв'язку сенсора з вимірювачем напруги, її розкиду в залежності від довжини ліній, а також зміни їх опору при змінах умов довкілля. Крім того, виникатиме методична похибка за рахунок нерівності температур усіх чотирьох діодів.

Відомий також пристрій для вимірювання температури, який містить вимірювальний діод, призначений для розташування у вимірюваному середовищі і підключений одним виводом до виходу генератора струму, джерело опорної напруги, перший вихід якого під'єднаний до входу подільника напруги, перший вихід якого та другий вихід джерела опорної напруги сполучені із спільною шиною пристрою, диференціальний підсилювач, суматор, вольтметр і блок керування [патент України, 59763А, МКВ G01K7/22, 2003 р.]. Виходи генератора струму та другого подільника напруги через перемикач полярності та диференціальний підсилювач підключені до першого входу суматора, до другого входу якого під'єднаний вихід першого подільника напруги. Вихід суматора через підсумовувальний блок пам'яті підключений до входу вольтметра. Входи керування тривходового комутатора, перемикача полярності та підсумовувального блоку пам'яті підключені до виходів блоку керування.

Через похибки підсумовувального блоку пам'яті (точність задання сталої часу інтегрування та еквівалентну напругу зміщення його підсилювачів), похибки трьох подільників напруги, а також диференціального підсилювача та суматора, виникатиме значна адитивна складова похибки, яка не забезпечує інваріантності до впливу опорів бази, виводів електродів діода та з'єднувальних ліній. Окрім того, похибки від неточності значень резисторів диференціального підсилювача, суматора, подільників напруги, а також значень сталої часу підсумовувального блоку пам'яті та еквівалентна напруга зміщення генератора струму спричинюють значну мультиплікативну складову похибки, що також не забезпечує повної взаємозамінності напівпровідникових сенсорів. Практична реалізація такого пристрою для вимірювання температури для роботи з діодними сенсорами пов'язана з використанням значної кількості прецизійних елементів, що суттєво здорожує термометр, зростають його масо-габаритні показники, а також погіршуються метрологічні показники при зміні робочих умов експлуатації, особливо температури довкілля. Такий пристрій технічно складно реалізувати в мікроелектронному виконанні.

В основу винаходу покладена задача створення пристрою для вимірювання температури, в якому нового конструктивного виконання та схеми задання струму через відкритий р-п перехід, а також схеми з комутованими конденсаторами для опрацювання спадків напруг на ньому, забезпечувались би

високі точність та лінійність вимірювання температури, інваріантність до опорів бази діода, виводів областей бази та емітера діода і двопровідної лінії зв'язку, та результат вимірювання не залежав би від індивідуальних електрофізичних параметрів діодів, параметрів двопровідної лінії зв'язку, забезпечувалась би лінійність перетворення та високі точність і завадостійкість та можливість суттєвого спрощення реалізації термометра, особливо в мікроелектронному виконанні.

Поставлена задача вирішується тим, що пристрій для вимірювання температури, який містить вимірювальний діод, призначений для розміщення у вимірюваному середовищі і підключений одним виводом до виходу генератора струму, джерело опорної напруги, перший вихід якого під'єднаний до входу подільника напруги, перший вихід якого та другий вихід джерела опорної напруги сполучені із спільною шиною пристрою, диференціальний підсилювач, суматор, вольтметр і блок керування, згідно з винаходом, введені джерело напруги, три резистори, чотири конденсатори, десять ключів і повторювач напруги, причому другий вивід вимірювального діода сполучений із входом генератора струму, першим виводом першого резистора та виходами першого і другого ключів, вхід першого ключа через другий резистор, а вхід другого ключа через третій резистор підключені до точки з'єднання другого виводу першої резистора та першого виводу джерела напруги, вихід генератора струму через перший конденсатор сполучений із входами третього ключа і повторювача напруги, вихід якого сполучений із входами четвертого і п'ятого ключів, вихід якого під'єднаний до входу шостого ключа та першого входу суматора, до другого входу якого підключені входи сьомого та восьмого ключів, вихід якого під'єднаний до другого виходу подільника напруги, вихід суматора сполучений із входами дев'ятого та десятого ключів, вихід якого підключений до першої обкладки третього конденсатора та першого входу диференціального підсилювача, другий вхід якого з'єднаний із першою обкладкою четвертого конденсатора та виходом дев'ятого ключа, до виходу диференціального підсилювача підключений перший вхід вольтметра, другий вхід якого з'єднаний із першим виходом джерела опорної напруги, виходи третього, четвертого, шостого, дев'ятого та десятого ключів, другі обкладки третього та четвертого конденсаторів сполучені зі спільною шиною пристрою, перший вихід блоку керування під'єднаний до входу керування першого ключа, другий його вихід - до входу керування четвертого ключа, третій його вихід - до входу керування третього ключа, четвертий його вихід - до входів керування другого, п'ятого, восьмого та десятого ключів, п'ятий його вихід - до входів керування шостого та сьомого ключів, а шостий його вихід - до входу керування вольтметра.

Це дозволяє в пристрої для вимірювання температури з діодним сенсором, при використанні тільки трьох прецизійних резисторів,

джерела напруги довільного значення та перетворювача напруга-струм точно задавати всі три значення вимірювального прямого струму діода. Використання для опрацювання спадків напруг на відкритому р-п переході схеми на основі комутованих конденсаторів дозволяє виділити, запам'ятати та підсилити інформативну вихідну напругу, пропорційну до абсолютного значення вимірюваної температури, або відповідного значення у шкалі Цельсія, а також забезпечити її незалежність від опорів бази діода, виводів бази та емітера діода і двопровідної лінії зв'язку. Оскільки, вихідна напруга пристрою залежить тільки від співвідношення точно відомих значень опорів трьох струмозадавальних резисторів, та коефіцієнтів передачі суматора і диференціального підсилювача, то, тим самим, забезпечується висока точність і лінійність вимірювання температури та взаємозамінність сенсорів. Так як схема опрацювання спадків напруги на відкритому р-п переході побудована з використанням схемотехніки комутованих конденсаторів, яка широко застосовується в сучасній мікроелектронній технології, зокрема в мікроелектронних Δ - Σ АЦП, то запропонований пристрій легко може бути реалізований як інтегральна мікросхема або ж як вбудований у інші мікросхеми канал вимірювання температури чіпа.

На фіг. зображена структурна схема пристрою для вимірювання температури з напівпровідниковими сенсорами. Пристрій для вимірювання температури містить джерело напруги 1, перший 2, другий 3 та третій 4 резистори, перший 5 і другий 6 ключі, генератор струму 7, вимірювальний діод 8, перший 9, другий 10, третій 11 та четвертий 12 конденсатори, повторювач напруги 13, суматор напруги 14, джерело опорної напруги 15, подільник напруги 16, диференціальний підсилювач 17, вольтметр 18, третій 19, четвертий 20, п'ятий 21, шостий 22, сьомий 23, восьмий 24, дев'ятий 25 та десятий 26 ключі та блок керування 27.

Перші виводи всіх трьох резисторів 2, 3, 4 сполучені з першим виходом джерела напруги 1. Другий вивід резистора 2 сполучений з першим виводом вимірювального діода 8, входом генератора струму 7 та виходами ключів 5 і 6. Вхід ключа 5 з'єднаний з другим виводом резистора 3, а вхід ключа 6 - з другим виводом резистора 4. Вихід генератора струму 7 з'єднаний з другим виводом вимірювального діода 8 та через перший конденсатор 9 - із входами повторювача напруги 13 та ключа 19. Вихід повторювача напруги 13 через конденсатор 10 з'єднаний із входами ключів 20 і 21. Вихід ключа 21 сполучений із входом ключа 22 і першим входом суматора 14, до другого входу якого під'єднані входи ключів 23 і 24. Вихід ключа 24 з'єднаний з першим виходом подільника напруги 16, вхід якого сполучений з першим виходом джерела опорної напруги 15 і другим входом вольтметра 18. Вихід суматора з'єднаний із входами ключів 25 і 26. Вихід ключа 25 сполучений з першою обкладкою конденсатора 11 і першим входом диференціального підсилювача, а вихід ключа 26 - з першою обкладкою

конденсатора 12 і другим входом диференціального підсилювача, вихід якого підключений до першого входу вольтметра. Другі виходи джерела напруги 1, подільника напруги 16 та джерела опорної напруги 16, другі обкладки конденсаторів 11, 12 і виходи ключів 19, 20, 22, 23 сполучені зі спільною шиною пристрою. До першого виходу блоку керування 27 під'єднаний вхід керування ключа 5, до другого його виходу - вхід керування ключа 20, до третього його виходу - вхід керування ключа 19, до четвертого його виходу - входи керування ключів 6, 21, 24, 26, до п'ятого його виходу - входи керування ключів 22, 23, 25 і до шостого його виходу - вхід керування вольтметра 18.

Пристрій для вимірювання температури працює так.

Вимірювальний діод 8 поміщають у вимірюване середовище. Від генератора струму 7 через діод 8 пропускають імпульси струму I_1 , I_2 , I_3 , амплітудне значення яких задається точно відомими значеннями опорів резисторів 2, 3, 4 та значенням напруги U , джерела напруги 1, а тривалість - часом замикання ключів 5 і 6. Для модуляції трьох значень струмів та реалізації алгоритму опрацювання спадів напруги на відкритому р-п переході діода 8 з допомогою перемикачів комутованих конденсаторів 9, 10, 11, 12, блок керування 27 циклічно виробляє на своїх виходах періодичні імпульсні послідовності, загальна тривалість кожного з циклів складається із суми тривалостей чотирьох рівно тривалих тактових імпульсів. В кожному із циклів на першому виході блок керування 27 формує імпульс тривалістю, рівній сумарній тривалості другого та третього тактових імпульсів, на другому його виході - імпульс тривалістю, рівною тривалості другого тактового імпульсу, на третьому його виході - два імпульси, тривалість першого з яких рівна тривалості першого тактового імпульсу, а другого - тривалості третього тактового імпульсу, на четвертому його виході - імпульс тривалістю, рівній тривалості четвертого тактового імпульсу і на п'ятому його виході - імпульс тривалістю рівною сумарній тривалості перших трьох тактових імпульсів циклу. В першому такті кожного циклу через діод 8 пропускають струм I_1 , значення якого визначається напругою U джерела напруги 1 та опором R_1 резистора 2, у другому та третьому тактах - струм I_2 , значення якого визначається напругою U джерела напруги 1 та паралельно включеними опорами R_1 та R_2 резисторів 2 та 3, у четвертому такті - струм I_3 , значення якого визначається напругою U джерела напруги 1 та паралельно включеними опорами R_1 та R_3 резисторів 2 та 4.

В першому такті сигналами з третього та п'ятого виходів блоку керування 27 замикають на спільну шину пристрою ключі 19, 22, 23 та замикають ключ 25 і заряджають конденсатор 11 до напруги $U_{c31} = \Delta_a$, рівної еквівалентній адитивній складовій похибки пристрою. Конденсатор 9 заряджають до напруги $U_{c11} = U_1$, значення якої рівне спаду напруги U_1 на діоді 8, через який протікає струм I_1 . В другому такті сигналами з

першого, другого та п'ятого виходів блоку керування 27 замикають ключі 5 і замикають на спільну шину пристрою ключі 20, 22, 23 та замикають ключ 25 і заряджають конденсатор 11 до напруги $U_{c32}=U_{c31}=\Delta_a$, рівної еквівалентній адитивній складовій похибки пристрою. Конденсатор 10 заряджають до напруги $U_{c22}=U_2-U_1$, значення якої рівне різниці спаду напруги U_2 на діоді 8, через який протікає струм I_2 та напруги на конденсаторі 9, яка запам'яталася у першому такті, $U_{c11}=U_1$. В третьому такті сигналами з першого, третього та п'ятого виходів блоку керування 27 замикають на спільну шину пристрою ключі 19, 22, 23 та замикають ключі 5 та 25 і заряджають конденсатор 11 до напруги $U_{c33}=U_{c32}=U_{c31}=\Delta_a$, рівної еквівалентній адитивній складовій похибки пристрою. Конденсатор 9 заряджають до напруги $U_{c13}=U_2$ значення якої рівне спаду напруги U_2 на діоді 8, через який протікає струм I_2 . В четвертому такті сигналом з четвертого виходу блоку керування 27 замикають ключі 6, 21, 24, 26, отримують напругу на конденсаторі 9 $U_{c14}=U_2-U_3$, значення якої рівне різниці спадів напруги U_2 , U_3 на діоді 8, через який протікають струми I_2 , I_3 , який підсумовують з напругою на конденсаторі 10, що запам'яталася в попередніх тактах, $U_{c24}=U_{c14}+U_{c22}=2U_2-U_1-U_3$ і подають до першого входу суматора 14. До другого входу суматора 14 подають вихідну напругу подільника напруги 16 $U_0=mE_0$, де m - коефіцієнт передачі подільника напруги 16, E_0 - вихідна напруга джерела опорної напруги 15. З допомогою суматора знаходять алгебричну суму напруг на обох його входах та підсилюють її в k_c разів та заряджають нею конденсатор 12 до напруги $U_{c44}=k_c(2U_2-U_1-U_3-mE_0)+\Delta_a$. З допомогою диференціального підсилювача 17 знаходять різницю напруг на конденсаторах 12 та 11, підсилюють її $k_{дп}$ разів та у вольтметрі перетворюють в показ N_x

$$N_x = k_c k_{дп} k_{АЦП} \frac{2U_2 - U_1 - U_3}{E_0}, \quad (1)$$

де $k_c, k_{дп}, k_{АЦП}$ - коефіцієнти перетворення, відповідно, суматора 14, диференціального підсилювача 17 та АЦП вольтметра 18.

При виборі значення вимірювального струму діода в діапазоні вимірювання від -100 до +200°C не більшим 1 мА, з похибкою не більшою від 0,1 мВ або 0,05°C, залежність спаду напруги на відкритому р-п переході подається у вигляді [Засименко В.М., Яцук В.О. Якісна оцінка метрологічних характеристик температурних каналів індивідуальних теплолічильників // Вісник Національного університету "Львівська політехніка", №445. - Львів, 2002. - С. 155-160.]

$$U_i = (R_B + R_B + R_{л})_i - (m_0 + m_T T_x) E_0 \cdot G_T \cdot \Theta_x + \varphi_T \ln \frac{I_i}{I_{SO}}, \quad (2)$$

де $R_{BO} \frac{\ln(1+\delta)}{\delta}$ - температурна залежність опору бази;

R_{BO} - опір бази при температурі $\Theta = 0^\circ \text{C}$ ($T_0=273,15 \text{ K}$);

$\delta = \delta_0 + \delta_T T_x$ - коефіцієнт інжекції;

δ_0 - коефіцієнт інжекції при $T_x=T_0$,

δ_T - температурний коефіцієнт інжекції;

m_0 - коефіцієнт, що враховує дрейфову

складову вимірювального струму при $\Theta = 0^\circ \text{C}$;

m_T - температурний коефіцієнт дрейфового струму;

E_0 - ширина забороненої зони напівпровідника при $T_x=T_0$,

G_T - температурний коефіцієнт ширини забороненої зони напівпровідника;

R_B - опір виводів областей бази та емітера діода;

$R_{л}$ - опір лінії зв'язку;

$\varphi_T = \frac{kT_x}{q}$ - температурний потенціал;

k - стала Больцмана;

q - заряд електрона;

T_x - вимірювана температура;

I_i - значення вимірюваного струму через відкритий р-п перехід в і-тому проміжку часу;

I_{SO} - значення теплового струму р-п переходу при $T_x=T_0$.

Із врахуванням співвідношення (2) та значень вимірювальних струмів

$$I_1 = \frac{U + \Delta_{ГС}}{R_1}, \quad (3)$$

$$I_2 = \frac{U + \Delta_{ГС}}{R_1} \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_2}, \quad (4)$$

$$I_3 = \frac{U + \Delta_{ГС}}{R_1} \cdot \frac{R_1 + R_3}{R_3}, \quad (5)$$

де U - напруга джерела напруги 1;

$\Delta_{ГС}$ - еквівалентна напруга зміщення генератора струму,

показ N_x вольтметра 18 дорівнюватиме

$$N_x = \frac{k_c k_{дп} k_{АЦП}}{E_0} \left[(R_B + R_B + R_{л})(U + \Delta_{ГС}) \left(\frac{2}{R_2} - \frac{1}{R_3} \right) + \frac{kT_x}{q} \ln \left(\frac{R_1 R_3}{R_2} \cdot \frac{1 + R_2/R_1}{1 + R_3/R_1} \right) - m E_0 \right], \quad (6)$$

Якщо вибрати таке співвідношення між опорними резисторів 3 і 4

$$\frac{2}{R_2} - \frac{1}{R_3} = 0, \quad (7)$$

та прийняти, що виконується умова

$$\frac{kT_0}{q} \ln \left(\frac{R_1 R_3}{R_2} \cdot \frac{1 + R_2/R_1}{1 + R_3/R_1} \right) = m E_0, \quad (8)$$

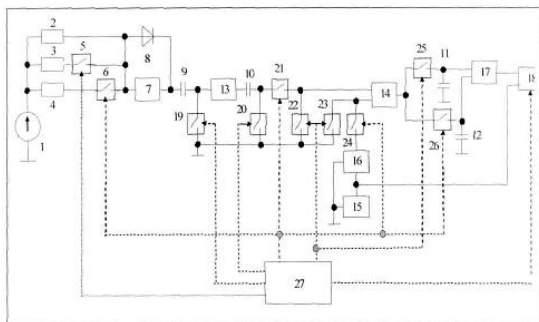
де $T_0 = 273,15$ К, то, остаточно, показ N_x вольтметра 18 запишемо як

$$N_x = \theta_x \frac{k k_c k_{дп} k_{АЦП}}{q E_0} \ln \left(\frac{R_1}{2} \cdot \frac{1 + 2R_3/R_1}{1 + R_3/R_1} \right). \quad (9)$$

З рівняння вимірювання (9) видно, що вимірюване значення температури θ_x пропорційне до значень фундаментальних сталих k та q , значень коефіцієнтів перетворення $k_c, k_{дп}, k_{АЦП}$, відповідно, суматора 14, диференціального підсилювача 17 та АЦП вольтметра 18, які можуть бути задані з потрібною точністю, та значення E_0 джерела опорної напруги 15 і не залежить від технологічних розкидів параметрів напівпровідникових діодів 8, чим забезпечується їх взаємозамінність. Забезпечується також інваріантність до впливу опорів бази діода, виводів електродів діода та з'єднувальних ліній за рахунок точного виконання рівності (7), яку на практиці можна підстроювати з метою коригування, окрім того, ще й адитивної складової похибки пристрою. зумовленої інструментальними похибками опорів резисторів 3 і 4.

Завдяки використанню схемотехніки комутованих конденсаторів 9, 10, 11, 12, в пристрої для вимірювання температури значно підвищена точність шляхом автоматичного коригування адитивної складової похибки пристрою, особливо при значних змінах параметрів довкілля, виключенню впливу коефіцієнта послаблення синфазної складової через неточність резисторів диференціального підсилювача 17 та усуненню впливу двох подільників напруги. Окрім того, запропонована структура пристрою для вимірювання температури може бути виготовлена в інтегральному виконанні, завдяки побудові його в базисі схемотехніки комутованих конденсаторів 9, 10, 11, 12, яка широко використовується в сучасних інтегральних АЦП, та зменшенню кількості прецизійних елементів.

Проведені лабораторні дослідження експериментального зразка цифрового пристрою для вимірювання температури в комплекті з декількома однотипними діодними сенсорами підтвердили досягнення задачі винаходу, поставленої в даній заявці на винахід.



Фіг.