

З.Р. Мичуда // Бюл. ПВ. 1997. №3. 14. Матецька Л.А., Мичуда З.Р. Логарифмічний аналого-цифровий перетворювач з накопиченням заряду // Вісник "Львівська політехніка", Л., 2000. Вип.389, С. 140-146. 15. Матецька Л.А., Мичуда З.Р. Логарифмічний аналого-цифровий перетворювач з накопиченням заряду на послідовно включених конденсаторах // Зб.наукових праць «Комп'ютерні технології друкарства».-Л., 2000. – №5. С. 36-43. 16. Мичуда З.Р. Аналого-цифрові перетворювачі з логарифмічною харак-

теристикою перетворення. Огляд. Частина 2 // Міжвідомчий наук.-техн. зб. «Вимірювальна техніка і метрологія».- Л., 2000, Вип.57, С.14-25. 17. Мичуда З.Р. Моделювання впливу паразитних міжелектродних ємностей логарифмічних АЦП з накопиченням заряду на пасивних конденсаторних комірках // Міжвідомчий наук.-техн. зб. «Вимірювальна техніка і метрологія».- Л., 2001, Вип. 58, – С. 26-32. 18. Патент 43364 Україна. Спосіб логарифмічного аналого-цифрового перетворення/ З.Р.Мичуда// Бюл.№11, 2001.

УДК 621.317

## **БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНІ СЕНСОРИ: КОНЦЕПЦІЯ СУЧАСНОГО ВИКОРИСТАННЯ**

© Віктор Засименко, Богдан Голюка, 2002

Національний університет "Львівська політехніка", кафедра "Метрологія, стандартизація та сертифікація",  
вул. С.Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

*Пропонується новий напрямок розвитку багатофункціональних сенсорів, які дають змогу одним вимірювальним перетворювачем забезпечувати одночасне вимірювання двох і більше фізичних величин, як правило, без потреби вилучення додаткових похибок.*

*Предлагается новое направление развития многофункциональных сенсоров, которые позволяют одним измерительным преобразователем обеспечивать одновременное измерение двух и больше физических величин, как правило, без необходимости изъятия дополнительных погрешностей.*

*Offers a new area of development many functional sensors, which allow by one measuring transformer to provide a simultaneous measuring of two and more physical sizes, as regulation without withdrawal need of additional errors.*

Прогресуючий розвиток мікропроцесорної техніки вимагає нового підходу до створення, вдосконалення та розширення можливостей первинних вимірювальних перетворювачів, яких часто називають просто сенсорами [1]. Сенсори, що вимірюють одну фізичну величину, при дії на них інших впливних факторів (чинників), спричиняють додаткові похибки при виході цих факторів за певні межі. Розвиток мікропроцесорної техніки вимагає достовірної інформації про впливні фактори для усунення цього впливу за допомогою інших сенсорів, чутливих до цього впливу.

Отже, знання математичних моделей, що охоплюють всі впливні фактори, дає змогу уникнути додаткової систематичної похибки [2].

**Формулювання задачі.** У [2] детально викладена концепція застосування математичних моделей вимірювальних перетворювачів у реальних умовах експлуатації, з якої випливає доцільність формулювання чи

побудови математичних моделей для усунення додаткових похибок. Можливі два варіанти вирішення цієї задачі:

– подати споживачеві математичну модель результуючої похибки для реальних умов експлуатації, тоді при відомих значеннях впливних факторів можливо оцінити результуючу похибку;

– самим засобом вимірювання, як правило, із використанням мікропроцесорної техніки ввести необхідні поправки на дію впливних факторів.

Перше рішення є громіздким, незручним, трудозатратним. Друге – вимагає програмного забезпечення, матеріального ускладнення, є дорогим, не зовсім надійним і не повністю усуває додаткові похибки. Крім того, обидва рішення мають спільний недолік, оскільки вимагають додаткових однофункціональних сенсорів.

Для усунення вказаних недоліків достатньо застосувати багатофункціональні сенсори (БФС), оскільки

переважна більшість однофункціональних сенсорів (БФС) в реальних умовах експлуатації є перетворювачами кількох фізичних величин.

**Визначення функціональності сенсорів.** Функціональністю сенсора, оскільки такий термін відсутній в основному стандарті з метрологічної термінології [1], будемо вважати кількість параметрів (чи фізичних величин), що використані ним для сумісного вимірювання.

Однофункціональний сенсор (БФС) звичайно вимірює одну фізичну величину.

Багатофункціональним сенсором (БФС) будемо вважати такий, що реалізує кілька вимірювальних перетворень, тобто є перетворювачем одночасно кількох фізичних величин, в якому вихідний сигнал функціонально пов'язаний з двома або більше вхідними вимірювальними фізичними величинами, використовуваними для сумісних вимірювань.

До деякої міри такий підхід відображений у [3, 4, 5]. Зокрема, у [5] під БФС розуміють сенсори з роздільними неодноразово діючими вимірювальними параметрами. В такому секторі є змога керувати градуовальною характеристикою терморезистора, вимірюючи один з фізичних параметрів або температуру, або деформацію, не передбачивши, на жаль, одночасного вимірювання двох параметрів.

Тим не менше, як відзначають у [2], переважна більшість вимірювальних перетворювачів у реальних умовах є перетворювачами кількох фізичних величин, значущість яких визначається коефіцієнтами регресії. Наприклад, при поданні функції перетворення у вигляді:

$$U_c = U_0 + f(x) + A_1 t + A_2 p + A_3 v + A_4 t p + A_5 t v + A_6 p v + A_7 t p v + A_8 t x + A_9 p x + A_{10} v x + A_{11} t p x + A_{12} t v x + A_{13} p v x + A_{14} t p v x. \quad (1)$$

Вимірювальними параметрами можна вважати:

–  $x$  як основний вимірювальний параметр;  
– температуру навколишнього середовища  $t$ , тиск  $p$  і вологість  $v$  як не впливні, а допоміжні вимірювальні параметри.

Отже, оцінюючи функцію впливу, подану у вигляді математичної моделі (1), можна вважати, що такий сенсор, який чутливий не тільки до основної фізичної величини  $x$ , але й до допоміжних  $t$ ,  $v$  і  $p$ , є багатофункціональним.

Додатки цих параметрів  $x$ ,  $t$ ,  $v$  і  $p$  є параметрами взаємовпливу, які при їх неврахуванні створюватимуть додаткові похибки БФС [6].

Схема на рисунку передбачає увімкнення БФС  $n$ -вимірюваних параметрів:  $X_1, X_2, \dots, X_n$ .

Схема складається з таких блоків: 1 – БФС, 2 – блок зміни чутливості до дії вхідних вимірюваних параметрів, 3 – синхронізуючий пристрій, 4 – багатоканалний аналого-цифровий перетворювач АЦП, 5 – мікропроцесорна система МПС.

Використання блока зміни чутливості пов'язане з необхідністю зміни коефіцієнтів регресії виразу (1), відображаючи тим самим в наступних вихідних функціях почергову  $U_c$  значущість одного параметра порівняно з іншим. Вказане покажемо на прикладі використання БФС для сумісного вимірювання тиску і температури за допомогою регульованості градуовальної характеристики у вигляді системи рівнянь:

$$\begin{cases} U_{c1} = 2 + 3p + 5t \\ U_{c2} = 4 + 6p + 2t, \end{cases} \quad (2)$$

де перше рівняння системи (2) веде себе більшою мірою як терморезистор при вимірюванні температури  $t$ , а друге – як терморезистор при вимірюванні тиску  $p$ , оскільки відповідні чутливості співвідносяться:

$$\begin{cases} \frac{\partial U_{c1}}{\partial t} > \frac{\partial U_{c2}}{\partial t} \\ \frac{\partial U_{c2}}{\partial p} > \frac{\partial U_{c1}}{\partial p} \end{cases}, \quad (3)$$

Розв'язуючи систему рівнянь (2), отримаємо:

$$\begin{aligned} t &= \frac{2U_{c1} - U_{c2}}{8}, \\ p &= \frac{U_{c1} - 2}{3} - \frac{5}{3} \cdot \frac{2U_{c1} - U_{c2}}{8}, \end{aligned} \quad (4)$$

як шукані значення вимірюваних величин температури і тиску.

Із загального розв'язання системи лінійних рівнянь виду:

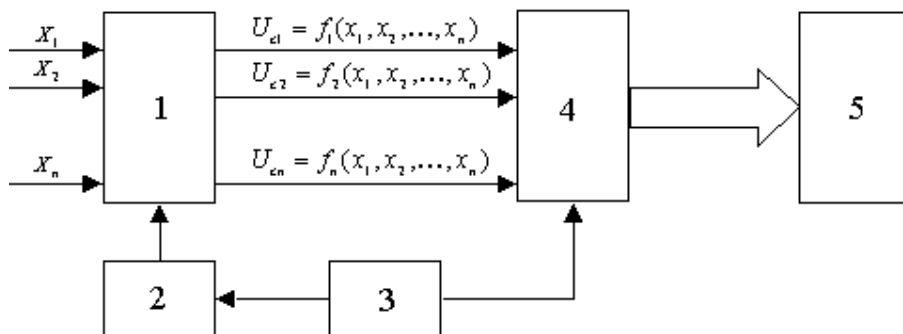
$$\begin{cases} U_{c1} = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 \\ U_{c2} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 \end{cases} \quad (5)$$

розв'язки виду:

$$\begin{cases} x_1 = \frac{U_{c1} - a_0}{a_1} - \frac{a_2}{a_1} x_2 \\ x_2 = \frac{U_{c2} a_1 - b_0 a_1 - b_1 U_{c1} + a_0 b_1}{a_1 b_0 - a_2 b_1} \end{cases} \quad (6)$$

задають умови їх існування:

$$\frac{a_2}{a_1} \neq \frac{b_2}{b_1}, \quad a_1 \neq 0. \quad (7)$$



Структурна схема вмикання БФС

**Приклади використання сенсорів як БФС**

БФС	Фактори зміни чутливості	Вимірювані параметри
Плівковий напівпровідниковий транзистор [3]	Опір навантаження або струм живлення	t, v, p
Термобатарея [2,6]	Схема увімкнення компенсуючого резистора	E(T), t, v
Термобатарея [2,6]	Набір світлофільтрів	E(T), λ, t
Напівпровідниковий мікротермістор [4, 5]	Струм живлення	t, v, p, v
Фотодіод [2, 6, 8]	Зміна класичних схем увімкнення	t(λ), E(λ, T), t
Фототранзистор [7, 8]	Схема увімкнення	E(T, λ), t(λ), t
Напівпровідниковий ниткоподібний кристал [4, 5]	Рівень початкового напруження	t, p, H <sub>m</sub> , v
Термоелектричний чутливий елемент [7, 8]	Схема увімкнення, рівень початкового напруження	E(T), p, t, f, H <sub>ст</sub>

Вказані умови повинні забезпечуватись БФС при дії блока під час зміни чутливості.

$$\begin{aligned}
 a_1 &= \frac{\partial U_{c1}}{\partial x_1}; & a_2 &= \frac{\partial U_{c1}}{\partial x_2}; \\
 b_1 &= \frac{\partial U_{c2}}{\partial x_1}; & b_2 &= \frac{\partial U_{c2}}{\partial x_2};
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

Розв'язання системи рівнянь (5) дещо ускладнюється при появі в цих рівняннях членів взаємовпливу  $a_{12}x_1x_2$  і  $b_{12}x_1x_2$ , оскільки для визначення вимірюваних значень необхідно розв'язати квадратні рівняння типу:

$$\begin{aligned}
 (a_1b_{12} - b_1a_{12})X_1^2 + (a_{12}U_{c2} - b_{12}U_{c1} + a_0b_{12} + a_1b_2 - \\
 - b_1a_2 - b_0a_{12})X_1 = b_2U_{c1} - a_2U_{c2} - b_0a_2
 \end{aligned}
 \tag{9}$$

**Приклади реалізації БФС.** Як було показано, для реалізації БФС необхідна кількість математичних моделей дорівнює кількості вимірювальних приладів, а варіювання чутливістю для кожного з вимірюваних параметрів згідно з вимогами (7) здійснюється внесенням певних змін в БФС, наприклад, за допомогою окремого блока.

У таблиці наведено ряд сенсорів, які при внесенні відповідних змін щодо фактора зміни чутливості можуть виконувати роль БФС для вимірювання ряду фізичних величин, наприклад, оточуючої температури t; тиску p; вологості v; інтенсивності потоку випромінювання E; функціонально пов'язаної з температурою об'єкта T і довжиною хвилі λ; власної температури t, функціонально пов'язаної з довжиною хвилі λ; швидкості руху оточуючого повітря v; частоти вібрації f; напруженостей електростатичного H<sub>l</sub> та магнітного полів H<sub>m</sub>.

Як видно з таблиці, основною вимірюваною величиною для більшості сенсорів, використовуваних як БФС, є оточуюча температура t. У таких БФС при вимірюванні інших параметрів, крім t, відпадатиме необхідність в методах температурного статкування сенсора чи його температурної компенсації.

Тим не менше слід мати на увазі, що при використанні оточуючої температури як вимірюваної величини в БФС можуть виникнути деякі ускладнення,

оскільки температура для деяких типів фотоелектричних сенсорів істотно визначає довжини хвилі випромінювання [8].

### **Висновки**

1. БФС пропонується вжити в стандарті [1] як коефіцієнтну одиницю.

2. БФС повинні подаватись у вигляді математичних моделей.

3. Кількість видозмінних математичних моделей повинна дорівнювати кількості вимірюваних величин БФС.

4. При вимірюванні чутливості щодо вимірюваних величин необхідно сформулювати певні вимоги, наприклад у формі (7).

1. ДСТУ 2681-94 ДСЗЄВ. Метрологія. Терміни та визначення. – К., 1994. 2. Засименко В.М. Застосування ма-

тематичних моделей вимірювальних перетворювачів в реальних умовах експлуатації // Вимірювальна техніка та метрологія. №55. 1999. С. 97-101. 3. Поліщук С.С. Методи та засоби вимірювання електричних та неелектричних величин – Львів, 2000. 4. Байцар Р.І., Вартава С.С. Напівпровідникові мікропроцесори – Львів, 2001. 5. Байцар Р.І., Вартава С.С., Гінгін М.М., Дем'ян М.Л. Нові типи багатифункціональних сенсорів // Методи та прибори контролю якості. – №6. – 2000. – С. 92-95. 6. Засименко В.М., Бичківський Р.В., Мазурчак О.В. Нормування додаткових похибок вимірювальних перетворювачів за їх математичними моделями, // *Metody i technika przetwarzania signalow w rotiarach fizycznych*, – Rzeszow, 2000. S. 115-119. 7. Фотоэлектрические полупроводниковые приемники излучения и фотоприемные устройства. М., 1991. 8. Итанин Г.П., Панков Э.Д., Ануреев А.Л., Пельциков Г.Д. Источники и приемники излучения. – СПб, 1999.

УДК 621.382.323:536.53

## **МЕТОД ПОКРАЩАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕМПЕРАТУРНИХ СЕНСОРІВ НА ОСНОВІ P-N-ПЕРЕХОДУ**

© Василь Яцук, Юрій Яцук\*

Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра “Метрологія, стандартизація і сертифікація”,  
\* “Інформаційно-вимірювальна техніка”, вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

*Проаналізовано сучасний стан проблеми вимірювання температури з використанням сенсорів на основі p-n-переходів. Запропонований метод модуляції вимірювального струму p-n-переходу для уніфікації, лінеаризації та підвищення часової стабільності вимірювачів температури. Подана функція перетворення, встановлені температурні межі використання, проаналізовані похибки вимірювачів температури за допомогою сенсорів на основі p-n-переходу з модуляцією вимірювального струму.*

*Проанализировано современное состояние проблемы измерения температуры с использованием сенсоров на основе p-n-перехода. Предложен метод модуляции измерительного тока p-n-перехода для унификации, линейризации и повышения временной стабильности измерителей температуры. Представлена функция преобразования, установлены границы температурного диапазона, проанализированы погрешности измерителей температуры с использованием сенсоров на основе p-n-перехода при модуляции измерительного тока.*

*The main problems of design and use p-n junction sensors and thermometers are analyzed in this paper. The new measurement current modulation method for unification, linearization and increasing stability of p-n junction thermometer is proposed. Designed of thermometer conversation function, established of temperature boundaries of p-n junction sensor using, analyzed of temperature measurement errors by p-n junction sensor with pulse current modulation.*

### **Вступ**

Практично одразу після створення напівпровідникових діодів та транзисторів було запропоновано використовувати їх як параметричні температурні сенсори [1]. Однак через великий технологічний

розкид параметрів (до  $\pm 30$  °С від зразка до зразка при кімнатних температурах) їх практичне використання обмежувалось лабораторними умовами. Корегування цього розкиду в схемах вторинних перетворювачів або приладів – доволі трудомістка та складна