

2. Вимірювальний перетворювач з часовим представленням інформації: патент на корисну модель №5086 Україна, МКИ G01B9/02/ Ю.В.Шабатура. Заявлено 01.07.04; опубліковано 15.02.05 Бюл. №2.
3. Індуктивно-резонансний вимірювальний перетворювач з часовим представленням вимірювальної інформації: патент на корисну модель №7264 Україна, МКИ G01N27/72/ Ю.В.Шабатура. Заявлено 15.11.04; опубліковано 15.06.05 Бюл. №6.
4. Шабатура Ю.В. Індуктивно-резонансний вимірювальний перетворювач ІВС з часовим представленням інформації.: Наукові праці Донецького національного технічного університету. – Донецьк, 2005.– С. 156–163.
5. Кублановский А.С. Переходные процессы. – М., 1974. 6. Адуллаев А.А., Набиев И.А., Гусейнов М.Ш., Исаев Д.Г. Дискретные средства преобразования и сбора измерительной информации. – М., 1982.

УДК 621.317

І.Я. Обух, В.О. Яцук, П.П. Скебський
Національний університет “Львівська політехніка”
кафедра метрології, стандартизації та сертифікації

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ УНІФІКАЦІЇ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ СЕНСОРІВ ТЕМПЕРАТУРИ

© Обух І.Я., Яцук В.О., Скебський П.П., 2006

Проаналізовано результати вимірювань для різних типів транзисторів та максимальний розкид показів цифрового термометра для кожного типу транзистора без послідовно увімкненого опору та з послідовно ввімкненим опором. Проаналізовано результати вимірювань для одного типу транзистора за умов, що сенсори температури розташовувались в нуль-термостаті, в паровому термостаті та при температурі довкілля.

The results of measurements for different kinds of transistors in determined conditions and the showings of numerical thermometer of each type are analyzed in this paper.

1. Вступ. Напівпровідникові прилади практично одразу ж після їхнього створення використовувались як температурні сенсори [1, 2]. Від температури залежить більшість параметрів р-п-переходів: прямі і зворотні струми, спадки напруги на прямозмішених переходах, опір бази, коефіцієнт підсилення струму, гранична частота підсилення транзисторів тощо [3]. З практичного погляду найкращий комплекс характеристик – лінійність, ширина діапазону вимірювання, стабільність, ідентичність параметрів різних зразків, простота реалізації – притаманні спадку напруги на прямозміщеному р-п-переході [4]. Однак через великий технологічний розкид параметрів (до ± 30 $^{\circ}\text{C}$ від зразка до зразка при кімнатних температурах) їхнє застосування досі обмежувалось тільки лабораторними умовами. Для уніфікації характеристик перетворення діодних сенсорів запропонований метод модуляції їхнього вимірювального струму із знаходженням різниць результатів перетворень спадків напруги на них при трьох значеннях цього струму [5, 6]. Але цим методом практично можна користуватися тільки для германієвих р-п-переходів. Тому в [7] досліджено потенційні можливості методу модуляції струмів для перспективніших і широкодіапазонних кремнієвих сенсорів.

2. Обґрунтування вибору напівпровідникових сенсорів для експериментального дослідження уніфікації. Як напівпровідникові сенсори можна використовувати будь-які діоди, зокрема безкорпусні, що уможливорює “точкові” вимірювання температури. Точність вимірювання температури визначається тільки похибками відношення опорів резисторів, може сягати значень

тисячних процента, причому стабільність цих відношень буде набагато вищою від стабільності окремого резистора.

В експериментальних дослідженнях як сенсори температури використовували довільно вибрані кремнієві транзистори р-п-р і п-р-п типів, увімкнено за схемою транзисторного діода із закороченими переходами бази та колектора. Вихідні сигнали сенсорів вимірювались без і з послідовно увімкненим резистором 200 Ом, а сенсори перемикались за допомогою звичайного роз'єму.

Для дослідження брали десять транзисторів різних типів, вибраних довільно, без пасивного термостата для встановлення розкиду показів цифрового термометра, який працює в комплекті з будь-яким із десяти серійних транзисторів різного типу, що увімкнені як транзисторні діоди із закороченими виводами бази та колектора.

В результаті таких досліджень виявився великий розкид показів цифрового термометра навіть для одного типу сенсорів, тому що в кімнаті був великий температурний градієнт. Отже, можна сказати, що комутувати транзистори за допомогою звичайного роз'єму недоцільно, оскільки якщо він знаходиться разом із сенсором в звичайних умовах, на нього впливають різноманітні зміни температури. Також при комутуванні транзистора в роз'ємі виникає контактна електрорушійна сила, внаслідок чого як сам роз'єм, так і транзистор розігріваються, і ми не можемо визначити точного показу термометра.

Отже, виконавши дослідження, дійшли висновку, що транзистори потрібно помістити в пасивний термостат, причому звичайний роз'єм замінити на роз'єм без термо-ЕРС і помістити його разом із транзисторами в цей самий термостат. Тому ми комутували не сенсори в роз'ємі, а виводи вимірювача температури, що, своєю чергою, дало змогу набагато зменшити зовнішній вплив на сенсори температури.

Виконавши вимірювання для різних типів сенсорів, ми обчислили максимальний розкид показів цифрового термометра для кожного типу транзистора без послідовно увімкненого опору та з послідовно ввімкненим опором за формулами

$$\Delta_{\max} = N_{i\max} - N_c,$$

$$\Delta_{\min} = N_{i\min} - N_c,$$

де $N_{i\max}$, $N_{i\min}$, N_c – відповідно максимальний, мінімальний і середній покази термометра. Виконали дослідження уніфікації діодів для різних типів транзисторів, в результаті чого отримали значення, подані в табл. 1.

Таблиця 1

Значення максимального розкиду показів цифрового термометра без послідовно ввімкненого опору та з послідовно ввімкненим опором

Тип транзистора	КТ3102Г	КТ3107Ж	КТ3102К	C557C	C547C
Максимальний розкид показів цифрового термометра:					
без послідовно увімкненого опору	$\Delta_{\min} = -1^{\circ}\text{C}$	$\Delta_{\min} = -0,3^{\circ}\text{C}$	$\Delta_{\min} = -0,6^{\circ}\text{C}$	$\Delta_{\min} = -0,9^{\circ}\text{C}$	$\Delta_{\min} = -0,6^{\circ}\text{C}$
	$\Delta_{\max} = 1,8^{\circ}\text{C}$	$\Delta_{\max} = 0,5^{\circ}\text{C}$	$\Delta_{\max} = 0,8^{\circ}\text{C}$	$\Delta_{\max} = 1,1^{\circ}\text{C}$	$\Delta_{\max} = 0,7^{\circ}\text{C}$
з послідовно ввімкненим опором	$\Delta_{\min} = -1^{\circ}\text{C}$	$\Delta_{\min} = -0,4^{\circ}\text{C}$	$\Delta_{\min} = -0,7^{\circ}\text{C}$	$\Delta_{\min} = -1,8^{\circ}\text{C}$	$\Delta_{\min} = -0,7^{\circ}\text{C}$

	$\Delta_{\max}=1,9^{\circ}\text{C}$	$\Delta_{\max}=0,6^{\circ}\text{C}$	$\Delta_{\max}=0,9^{\circ}\text{C}$	$\Delta_{\max}=1,8^{\circ}\text{C}$	$\Delta_{\max}=0,7^{\circ}\text{C}$
--	-------------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------

Виконавши обчислення, можна зробити висновок, що для експериментальних досліджень потрібно взяти сенсори на основі транзисторів типу КТ3107Ж.

3. Мета роботи. Метою лабораторних досліджень було встановлення реальних статичних характеристик перетворення цифрового термометра, який працював в комплекті з різними напівпровідниковими сенсорами. Як напівпровідникові сенсори температури використовували серійно виготовлені транзистори типу КТ3107Ж. Досліджували вісім довільно вибраних транзисторів типу КТ3107Ж. Також необхідно було встановити вплив послідовно увімкненого із р–п-переходом опору, значення якого дорівнює 200 Ом. В остаточному результаті потрібно було встановити розкид показів цифрового термометра, який працював в комплекті з будь-яким із восьми серійних транзисторів, увімкнених як транзисторні діоди із закороченими выводами бази та колектора.

4. Аналіз досліджень уніфікації напівпровідникових сенсорів температури. Були створені певні умови для лабораторних досліджень, зокрема температура довкілля становила $20,54^{\circ}\text{C}$, атмосферний тиск 730 мм рт. ст., а відносна вологість була 60%. Варто зазначити, що були відсутні зовнішні стрясання, вібрації та електромагнітні поля, що могли впливати на результати досліджень.

Як сенсори температури використовували довільно вибрані транзистори (типу КТ3107Ж), увімкнені за схемою транзисторного діода із закороченими переходами бази та колектора. Сенсори температури розташовувались в нуль-термостаті (номінальне значення температури 0°C), в паровому термостаті (номінальне значення температури $+100^{\circ}\text{C}$) та при температурі довкілля. У всіх трьох випадках температура вимірювалась зразковим термометром типу ТО-Ц024-10.

Вихідні сигнали сенсорів комутувались за допомогою спеціального лабораторного перемикача выводів сенсорів без термо-ЕРС, а їхні вихідні сигнали вимірювались експериментальним зразком цифрового термометра.

Отримавши результати вимірювань, розраховували середній показ цифрового термометра для двох варіантів: без послідовно увімкненого опору та з послідовно увімкненим опором відповідно за такими формулами

$$N_c^0 = \frac{1}{8} \cdot \sum_{i=1}^n N_{ci}^m, \quad N_{cR}^0 = \frac{1}{8} \cdot \sum_{i=1}^n N_{cRi}^m \quad (3)$$

де N_{ci}^m – показ термометра без послідовно увімкненого опору; N_{cRi}^m – показ термометра з послідовно увімкненим опором.

У табл. 2 наведено середні покази цифрового термометра, що містився в нуль-термостаті, в паровому термостаті та за температури довкілля.

Таблиця 2

Середні покази цифрового термометра в нуль-термостаті, в паровому термостаті та за температури довкілля

Середній показ цифрового термометра	у нуль-термостаті	в паровому термостаті	за температурою довкілля
без послідовно увімкненого опору	0,1 $^{\circ}\text{C}$	99,6 $^{\circ}\text{C}$	20,8 $^{\circ}\text{C}$
з послідовно увімкненим опором	0,04 $^{\circ}\text{C}$	99,7 $^{\circ}\text{C}$	20,9 $^{\circ}\text{C}$
Показ зразкового термометра	0,04 $^{\circ}\text{C}$	98,48 $^{\circ}\text{C}$	20,54 $^{\circ}\text{C}$

Отримавши попередні результати вимірювань та виконавши певні розрахунки, можна визначити максимальний розкид показів цифрового термометра без послідовно увімкненого опору та з послідовно увімкненим опором за такими формулами

$$\Delta_{\max} = N_{i\max}^0 - N_c^0, \quad (4)$$

$$\Delta_{\max} = N_{i\max}^0 - N_{cR}^0 \quad (5)$$

Результати розрахунків за (4) та (5) зведені в табл.3.

Таблиця 3

Значення максимального розкиду показів цифрового термометра без послідовно увімкненого опору та з послідовно увімкненим опором в нуль-термостаті, в паровому термостаті та за температури довкілля

Максимальний розкид показів цифрового термометра	у нуль-термостаті	у паровому термостаті	за температури довкілля
без послідовно увімкненого опору	$\Delta_{\min} = -0,1^\circ\text{C}$ $\Delta_{\max} = +0,2^\circ\text{C}$	$\Delta_{\min} = -0,3^\circ\text{C}$ $\Delta_{\max} = +0,4^\circ\text{C}$	$\Delta_{\min} = -0,2^\circ\text{C}$ $\Delta_{\max} = +0,2^\circ\text{C}$
з послідовно увімкненим опором	$\Delta_{\min} = -0,1^\circ\text{C}$ $\Delta_{\max} = +0,2^\circ\text{C}$	$\Delta_{\min} = -0,3^\circ\text{C}$ $\Delta_{\max} = +0,4^\circ\text{C}$	$\Delta_{\min} = -0,2^\circ\text{C}$ $\Delta_{\max} = +0,3^\circ\text{C}$

5. Висновки. Отже, дослідження показали, що перспективними як сенсори температури є серійні транзистори типу КТ3107Ж. Виконавши всі необхідні експериментальні дослідження та отримавши певні результати, можна зробити висновок, що в розробленому макеті цифрового термометра забезпечена практична незалежність показів від впливу опорів ліній зв'язку. Важливо також відзначити те, що розкид його показів від зразка до зразка не перевищив $+0,3\text{ K}$, причому для 60 % від всієї кількості транзисторів цього розкиду не було виявлено.

1. Albrecht H. I. *Transistors as thermometers and bolometers* // *Geof. Pure e appl.* 1957, v. 37, № 2, p. 191-196.
2. McNamara A.G. *Semiconductor diodes and transistors as electrical thermometers* // *Rev. Sci. Instrum.*, vol. 33, 1962. – P. 330–320.
3. Степаненко И.П. *Основы теории транзисторов и транзисторных схем.* – М., 1977.
4. Фогельсон И.Б. *Транзисторные термодатчики.* – М., 1972.
5. Патент 10540А. Україна, МКВ G01K7/22. 1996 р.
6. Патент 15274А. Україна, МКВ G01R19/00. 1997 р.
7. Столярчук П., Яцук В., Яцук Ю. *Унифікація параметрів напівпровідникових сенсорів // Вимірювальна техніка та метрологія, 2002. – № 9. – С. 65–69.*
8. Патент 23648А. Україна, МКВ G01K7/02.
9. Shwarts Yu.M., Borblik V.L., Kulich N.R., Venger E.F., Sokolov V.N. *Limiting characteristics of diode temperature sensors* // *Sensors and actuators*, 86(2000).
10. Василюк В.М. *Принципи побудови високоточних сенсорів на основі р–п-переходу // Вимірювальна техніка та метрологія, №53, 1998.*

УДК 536.55

С.П. Яцишин

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

**АЛГОРИТМІЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ ГРАНИЧНОДОПУСТИМОЇ
ПОХИБКИ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ТЕМПЕРАТУРИ**

© Яцишин С.П., 2006

Керуючись даними досліджень стабільності показів широкого класу перетворювачів температури, запропоновано способи оптимізації граничнодопустимої похибки, що