

$$L_{\Sigma}^m = L_{\Sigma}^{m_1} + L_{\Sigma}^{m_2} = (N + 2I)(2^m - 1)/2 + (2N - 3I)3I/2. \quad (8)$$

Для класичного методу сортування: $L_{\Sigma} = (N + 1)(N - 1)/2$.

Для конкретних числових значень $m = 7$ та $I = 10$, отримуємо: $L_{\Sigma} = 819200$, $L_{\Sigma}^m = 120500$, $L_{\Sigma} / L_{\Sigma}^m = 6,8$, а для $m = 10$ та $I = 10$ відповідно: $L_{\Sigma} = 52 \cdot 10^6$, $L_{\Sigma}^m = 5,5 \cdot 10^5$, $L_{\Sigma} / L_{\Sigma}^m = 10$.

Як видно, отримується значне скорочення операцій порівняння. На останньому кроці визначається ДХ ІКМ. Особливо необхідно підкреслити експресивний характер розглянутого методу. Оцінювання ДХ проводиться одночасно у всій смузі частот досліджуваного ІКМ, при цьому фаза накопичення гістограми розподілу кодів 10-розрядного ІКМ з часом перетворення 10 нс триває лише 0,1с. Час розрахунку параметрів ДХ ІКМ на основі такої гістограми дорівнює $0,2 \div 0,5$ с залежно від типу ПК, що використовується та параметру, що розраховується.

Висновки

Виконано дослідження властивостей ПВС з метою його можливого використання як тестового сигналу при визначенні ДХ ІКМ і показано, що даний сигнал має переваги у порівнянні з одночастотним сигналом при визначенні ДХ ІКМ, в плані забезпечення адекватності умов вимірювання умовам його реальної експлуатації.

Виконано оцінювання продуктивності запропонованого методу. Показано, що загальна тривалість процесу визначення ДХ 10-розрядного ІКМ з часом перетворення 10нс дорівнює 0,1с. Гармонічний тестовий сигнал потребує тільки для проведення експерименту на одній частоті при тому ж рівні статичної достовірності біля 5с. З урахуванням того, що при контролі на гармонічному сигналі необхідно знімати гістограму розподілу кодів на кількох частотах, можна стверджувати, що запропонований метод дозволяє отримати вигоду у часі більш, ніж на порядок, при одночасному забезпеченні умов вимірювання, адекватних реальним умовам експлуатації ІКМ.

Література

1. Бакланов И.Г. Технологии измерений в современных телекоммуникациях/ И.Г. Бакланов – М.: ЭКО-ТРЕНД3, 2007. – 354 с.
2. Кестер У. Аналого-цифровое преобразование / Под ред. Уолта Кестера – М.: Техносфера, 2007. – 1016 с.

Надійшла до редакції
5.2.2012 р.

УДК 621.382; 681.586.776

О.В. ОСАДЧУК, С.В. БАРАБАН, А.О. СЕМЕНОВ

Вінницький національний технічний університет

ВИЗНАЧЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АВТОГЕНЕРАТОРНОГО ЗАСОБУ З ВІД'ЄМНИМ ОПОРОМ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ТВЕРДОФАЗНИХ СИСТЕМ

У роботі проаналізовано причини появи похибок при термоаналітичному дослідженні твердофазних систем автогенераторним засобом з від'ємним опором. Оцінено значення похибок, отримано величину систематичної похибки розробленого приладу. Проведене порівняння з метрологічними показниками термодинамічних перетворювачів підтверджує переваги досліджень твердофазних систем запропонованим автогенераторним засобом з від'ємним опором.

In this work there has been analyzed the reasons, why errors occur when hard-phase systems are investigated thermoanalytically with a self-excited oscillating device with negative resistance. The error's value has been estimated, the systematic error's value of the developed device has been obtained. The comparison with metrological indices of the thermocouple converters confirms advantages of the hard-phase systems' investigation with the self-excited oscillating device proposed.

Ключові слова: похибка, автогенераторний засіб, від'ємний опір.

Вступ

Вірогідність інформації про властивості досліджуваного зразка при термоаналітичному дослідженні визначається як вибором величин, які характеризують об'єкт, так і похибкою, яка існує при вимірюванні цих величин. При виборі методів і засобів визначення фазових перетворень матеріалів необхідно узгоджувати властивості зразка із властивостями використаних при його дослідженні приладів. Недотримання цієї умови є причиною зниження вірогідності отриманої при дослідженні інформації.

Іншою важливою причиною, яка впливає на вірогідність цієї інформації є існування похибок вимірювання. Похибки існують при будь-якому вимірюванні. Виходячи з практичних потреб, вирішують

яку необхідно отримати точність. З цього можна зробити висновок, що вимірювання характеризується не тільки результатом, який є числовим значенням вимірюваної величини, а також похибкою, яка при цьому отримана.

Перейдемо до визначення повної похибки в процесі визначення величини фазового перетворення напівпровідникового матеріалу за допомогою автогенераторного вимірювального перетворювача на основі піроструктури.

Аналіз похибок автогенераторного засобу на основі поєднання піроструктури і Бі-МОН транзисторної структури з від'ємним опором

Причини появи похибки багаточисленні та мають різноманітну природу, пов'язану з наступними факторами: використання безконтактного методу вимірювання температури, вплив електричної схеми приладу, інерційність процесу визначення фазового перетворення, помилки при перетворенні виміряної частоти у цифровий код.

Проаналізуємо похибки, які виникають при визначенні фазових перетворень речовин, від використання засобів вимірювання температури речовин за їх випромінюванням. Вирази для відповідної складової похибки можна визначити з рівнянь вимірювання температури $\Delta T = f(e_i, I_i, T_{YM})$ шляхом розкладу їх у ряд Тейлора в околі результатів вимірювання аргументів I_i, e_i, I_i [1]

$$\Delta_T \cong \frac{\partial f}{\partial X_1} \Delta_1 + \frac{\partial f}{\partial X_2} \Delta_2 + \dots + \frac{\partial f}{\partial X_n} \Delta_n + \Delta_M, \quad (1)$$

де Δ_M – складова методичної похибки, зумовлена невідповідністю функційної залежності між величинами.

Інструментальна складова похибки залежить від якості самого засобу вимірювання і виникає внаслідок недосконалості засобів вимірювальної техніки та залежності їхніх властивостей від впливу зовнішніх умов. При вимірюванні температури за випромінюванням інструментальна похибка зумовлена неточністю вимірювання потоку випромінювання від досліджуваного об'єкта внаслідок впливу параметрів оптичної системи, електричної схеми, особливостей приймача випромінювання та зміни їх характеристик у часі.

Вираз складових інструментальної похибки вимірювання температури за випромінюванням визначається як сума часткових похідних від виразу умовної температури за інтенсивностями потоку випромінювання, які сприймає пірометричний перетворювач на основі транзисторних структур з від'ємним опором. Загальний вираз, який описує складову інструментальної похибки від зміни інтенсивностей потоку випромінювання, що сприймає пірометричний перетворювач на основі транзисторної структури з від'ємним опором (ТСВО), має вигляд:

$$d_{in} = K_{in} \cdot \sum k_i \cdot \frac{\Delta I_i}{I_i}, \quad (2)$$

де K_{in} – передавальний коефіцієнт складової інструментальної похибки вимірювання температури, вираз та значення якого залежать від відповідного методу пірометрії; $k_i = \pm 1$ залежно від використаного методу; i – кількість робочих спектральних каналів.

Для розроблених автогенераторних засобів на основі реактивних властивостей транзисторних структур з від'ємним опором [2] значення інструментальної похибки (2) становить 0,3 %.

На точність вимірювання температури за випромінюванням також значний вплив має методична похибка вимірювання. Згідно з ДСТУ 2681-94 та теорією похибок [3] методична похибка – це складова похибки вимірювання, яка зумовлена неадекватністю об'єкта вимірювання та його моделі, прийнятої при вимірюванні. Основними чинниками, які спричиняють виникнення методичної похибки вимірювання температури за випромінюванням є використані теоретичні спрощення (зокрема використання формули Віна та неврахування не монохроматичності спектральних каналів), відсутність достовірної інформації про випромінювальні властивості досліджуваного об'єкта, нехтування впливом фонового випромінювання та проміжного середовища.

Методична похибка автогенераторних приладів визначення фазових перетворень речовин зумовлена впливом випромінювальних властивостей об'єкта, використання обмеженої ділянки спектру при використанні пірометричного перетворювача на основі ТСВО, впливом проміжного середовища через яке проходить випромінювання від об'єкта до засобу вимірювання.

Вираз складової методичної похибки вимірювання температури за випромінюванням при визначенні фазових перетворень речовин визначається як сума часткових похідних від виразу визначення термодинамічної температури цим методом за e_i, I_i . Загальний вираз складової методичної похибки матиме вигляд

$$d_{мет} = K_{мет} \cdot \left(\sum_{i=1}^n m_i \cdot \frac{\Delta e_i}{e_i} + \sum_{i=1}^n p_i \cdot \frac{\Delta I_i}{I_i} \right), \quad (3)$$

де $K_{мет}$ – передавальний коефіцієнт складової методичної похибки вимірювання температури, значення якого залежать від методу пірометрії; m та p – коефіцієнти впливу складових похибок.

Значення методичної похибки розроблених автогенераторних засобів визначення фазових перетворень речовин за формулою (3) буде становити 0,1 %.

Похибки, які виникають при від впливу електричної схеми автогенераторного приладу для диференційно-термічного аналізу (ДТА), мають таку природу:

d_1 – похибка вимірювання, яка виникає у результаті нестабільності частоти генератора;

d_2 – похибка вимірювання, яка виникає у результаті зміни температури навколишнього середовища;

d_3 – похибка через нестабільність джерела живлення транзисторної структури;

d_4 – похибка через власні шуми і зовнішні наводки на вхідне коло електронного частотоміра.

Похибки, які виникають під час процесу перетворення частоти в цифровий код, викликані застосуванням мікроконтролеру, мають наступну природу:

d_5 – похибка квантування;

d_6 – похибка малозначущого розряду;

d_7 – похибка через нестабільність кварцового генератора.

Оцінка величини d_1 визначається на основі формули (4)

$$d_1 = \frac{\Delta W}{W_0} = \frac{r^2 A_0}{(R'_g)^2} \left[\frac{1}{3} Q a_1 a_2 + \frac{A_0}{192} (27 Q a_1 a_3 - 32 a_2^2) + \frac{A_0^2}{20} (8 Q a_1 a_4 + 5 a_2 a_3) + \frac{A_0^3}{24} (5 Q a_1 a_5 - 8 a_2 a_4) \right] \quad (4)$$

де $r = \sqrt{\frac{L}{C}}$ – характеристичний опір контуру; L – зовнішня індуктивність; C – еквівалентна ємність транзисторної структури; A_0 – відносне значення амплітуди коливань у нульовому наближенні, яке обчислюється за формулою

$$A_0 = \sqrt{\frac{-3a_3 + \sqrt{9a_3^2 - 40 \cdot Q \cdot a_5 \left(a_1 + \frac{R'_g}{R_H} + \frac{R_L R'_g}{r^2} \right)}}{5a_5}}, \quad (5)$$

де $R'_g = \frac{U_{\min}}{I_{\max}}$ – диференційний від'ємний опір, $\frac{R'_g}{R_H} = 2$, R_L – опір індуктивного елементу; Q – добротність контуру, ($Q = 150$); a_1, a_2, a_3, a_4, a_5 – коефіцієнти апроксимації, які визначаються з системи рівнянь (6).

$$\begin{cases} a_1 = -2S_1(1-g) - 4S_2(1-g)^3 - 6S_3(1-g)^5; \\ a_2 = S_1 + 6S_2(1-g)^2 + 15S_3(1-g)^4; \\ a_3 = 4S_2(1-g) - 20S_3(1-g)^3; \\ a_4 = S_2 + 15S_3(1-g)^2; \\ S_1 = (a(2-3b^2) - b^6(1-a)) / (b^4(1-b^2)^2); \\ S_2 = (2b^6(1-a) - a(1-3b^4)) / (b^4(1-b^2)^2); \\ S_3 = (a(1-b^2)^2 - b^4) / (b^4(1-b^2)^2); \end{cases} \quad (6)$$

де $a = (I_{\max} - I_{\min}) / I_{\max}$; $b = (U_{\min} - U_{\max}) / U_{\min}$; $g = U_0 / U_{\min}$; I_{\max}, I_{\min} – максимальне та мінімальне значення струму на спадаючій ділянці статичної ВАХ автогенераторного вимірювального перетворювача (АВП); U_{\max}, U_{\min} – напруги, які відповідають I_{\max}, I_{\min} ; U_0 – напруга зміщення, яка відраховується від початку координат (рис.); $W_0 = 1 / \sqrt{LC}$ – циклічна частота.

Згідно проведених розрахунків за виразами (6), (5), (4) похибка вимірювання d_1 становить

$15 \cdot 10^{-4} \%$.

Похибка вимірювання d_2 , яка виникає у результаті зміни температури навколишнього середовища визначається

$$d_2 = \frac{f_T}{f_H} \cdot 100\% = 0,25\% , \quad (7)$$

де f_T – частота генерації при зміні температури навколишнього середовища на 1°C , Гц, f_H – носійна частота АВП.

Якщо використати термостабілізацію схеми автогенераторного вимірювального перетворювача можна досягнути зміну температури навколишнього середовища в межах $0,1^\circ\text{C}$. Тоді похибка від девіації частоти

$$d_2 = \frac{f_T}{f_H} \cdot 100\% = 0,05\% . \quad (8)$$

Щоб визначити похибку d_3 , пов'язану зі зміною частоти генерації від коливань напруги живлення необхідно попередньо знайти зміну вихідної частоти АВП від зміни напруги живлення на 1% . Для даної схеми АВП напруга живлення складає $U_1 = 3\text{ В}$, тоді зміна її буде $0,03\text{ В}$, що відповідає зміні вихідної частоти генерації на 3000 Гц . Похибка нестабільності джерела живлення буде визначатися

$$d_3 = \frac{f_1}{f_H} \cdot 100\% = 0,1\% . \quad (9)$$

Для стабілізації напруги живлення було використано стабілізатор напруги LM7805. Лінійна стабілізація даної мікросхеми становить 5 мВ [4], їй відповідає зміна частоти генерації 300 Гц . Тоді похибка буде рівна

$$d_3 = \frac{f_1}{f_H} \cdot 100\% = 0,01\% . \quad (10)$$

Похибку d_4 , яка виникає у результаті власних шумів і сторонніх наводок, оцінюють експериментальним шляхом. Позначимо показник вихідного приладу за рахунок шумів і наводок A_n , а показник вихідного приладу в процесі калібрування A_{KL} . Тоді розподіл випадкової величини A_n дозволяє визначити математичне очікування M_{A_n} і середньоквадратичне відхилення S_{A_n} , отже

$$d_4 = \frac{M_{A_n}}{A_{KL}^2} \cdot S_{A_n} = \frac{0,01}{0,5} \cdot 0,005 = 0,0001\% . \quad (11)$$

Визначимо похибки, які виникають під час процесу перетворення частоти в цифровий код. Оскільки мікроконтролер використовується в режимі роботи частотоміра, тому визначимо похибку квантування частотоміра d_5 для часу вимірювання $t_{вим} = 0,001\text{ с}$.

Похибка квантування визначається виразом [5]

$$d_5 = \frac{1}{f_c \cdot t_{вим}} \cdot 100\% = \frac{1}{5300 \cdot 0,001} \cdot 100\% = 0,019\% , \quad (12)$$

де f_c – верхня межа вимірюваної частоти для схеми АВП на основі піроструктури.

Похибка малозначущого розряду d_6 виникає при виконанні обчислювальних операцій через обмеженість розрядності мікроконтролера [6]

$$d_6 = 2^{-n} \cdot 100\% = 2^{-16} \cdot 100\% = 0,0015\% . \quad (13)$$

Похибка нестабільності кварцового генератора для USB-частотоміра має значення $d_7 = 0,003\%$.

Повна похибка автогенераторного вимірювального перетворювача для визначення фазових перетворень визначається як результуюча знайдених похибок [7]

$$d_\Sigma = \sqrt{d_{IH}^2 + d_{MET}^2 + d_1^2 + d_2^2 + d_3^2 + d_4^2 + d_5^2 + d_6^2 + d_7^2} = 0,37\% . \quad (14)$$

Граничне значення повної похибки буде мати значення: $\pm 3d_\Sigma = \pm 1,11$.

Оскільки вимірювана величина є функцією часу, то внаслідок інерційності засобів вимірювання та інших причин виникає динамічна похибка засобу для визначення фазових перетворень матеріалів, яка є складовою похибки. Для розроблених автогенераторних вимірювальних перетворювачів на основі реактивних властивостей напівпровідникових матеріалів час ввімкнення складає близько 20 нс , тому

динамічна похибка, що виникає в результаті визначення температури фазового перетворення на п'ять порядків менша, ніж статичні похибки самого засобу. В даному випадку динамічні похибки не вносять суттєвого впливу на результуючу похибку приладу, тому в роботі вони не розглядаються.

В табл. 1 подані параметри існуючих і розробленого засобів для дослідження твердофазних систем.

Таблиця 1

Вимірювальні засоби при ДТА

Тип вимірювального засобу	Матеріал		Точність, °С	Макс. сист. пох., %	Рівень вихідного сигналу
ТПП	Платина-родій Pt-Rh (10 % Rh)	Платина Pt	1,5	0,25	16,715 мВ
ТПР	Платина-родій Pt-Rh (30 % Rh)	Платина Pt	1	0,5	24,007 мВ
ТВР	Вольфрам-реній W-Re (5 % RE)	Вольфрам – реній W-Re (20 % Re)	4,5	1	40 мВ
Автоген-ий. на ос-ві ТСВО	Структура метал-піроелектрик-напівпровідник		0,7	0,37	2,5 В

Висновки

Проаналізовано причини появи похибок при дослідженні твердофазних систем автогенераторним засобом на основі піроструктури і Бі-МОН транзисторної структури з від'ємним опором, оцінено їх значення. Визначено, що максимальне значення систематичної похибки розробленого приладу становить 0,37 %. Проведено порівняння з широко використовуваними при ДТА аналізі термометричними засобами.

Література

1. Луцик Я.Т., Гук О.П., Лах О.І., Стадник Б.І. Вимірювання температури: теорія та практика. Львів: Бескід-Біт. – 2006. – 580 с.
2. Осадчук В.С. Розробка мікроелектронних перетворювачів теплової потужності у частоту на основі транзисторних структур з від'ємним опором / Осадчук В.С., Осадчук О.В., Барабан С.В., Ільченко О.М // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2008 – № 1 – С. 133 – 139.
3. Дорожовець М. М. Опрацювання результатів вимірювання: навч. посіб. / М. М. Дорожовець. – Львів: Вид-во нац. ун-ту «Львів. політехніка», 2007. – 624 с.
4. ISBN 978-966-553-640-6.
5. Стабілізатор напруги LM7805 документація [Електронний ресурс]. – Режим доступу к статье: <http://www.avrlab.com/node/29>.
6. Поджаренко В.О. Вимірювання і комп'ютерно-вимірювальна техніка / В.О. Поджаренко, В.В. Кухарчук. – Київ: НМК ВО, 1991 – 240 с.
7. Райс В. Как работают аналогово-цифровые преобразователи и что можно узнать из спецификации на АЦП? [Электронный ресурс] / Райс В // Компоненты и технологии. – 2005. – № 3. Режим доступа к статье: <http://www.efo.ru/doc/Silabs/Silabs.pl?2089>.
8. Электрические измерения: учебник для вузов / [Байда Л.И., Добротворский Н.С., Душин Е.М. и др.]; под ред. А.В. Фремке и Душина Е.М. – Л.: Энергия, 1980. – 392 с.

Надійшла до редакції
15.2.2012 р.