

ВИМІРЮВАЛЬНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ

УДК 536.5

ПЕРЕХІДНІ ТЕПЛОВІ ПРОЦЕСИ У ЧУТЛИВИХ ЕЛЕМЕНТАХ ШУМОВИХ ТЕРМОПЕРЕТВОРЮВАЧІВ У РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ

© Яцишин Святослав¹, Микитин Ігор¹, Домінюк Тарас¹, Стадник Богдан^{1,2}, 2006

¹Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра інформаційно-вимірних технологій,
вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

²Ряшівська політехніка, Ряшів, Польща

Розглянуто зв'язок перехідних теплових процесів у чутливих елементах з короткочасними змінами номінальної статичної характеристики, які зумовлені зовнішніми та внутрішніми чинниками. Подано результати експериментальних досліджень цих процесів у термометричних матеріалах під час швидкого розігрівання чутливого елемента газовим потоком та подальшого охолодження.

Рассмотрена связь переходных тепловых процессов в чувствительных элементах с кратковременными изменениями номинальной статической характеристики, которые обусловлены внешними и внутренними факторами. Представлены результаты экспериментальных исследований этих процессов в термометрических материалах во время быстрого разогрева чувствительного элемента газовым потоком и последующего охлаждения.

It was discussed the transitional thermal processes in the sensor's material, related to the brief changes of nominal static characteristics, which were caused by external and internal factors. The results of noise processes' investigation in thermometric materials during their intensive warming-up by the gas stream and the next cooling were delayed.

Вступ. Проблеми точності і стабільності показів шумових перетворювачів температури (ШПТ) вважають провідними у термометрії [1]. Розроблення нових принципів виконання вторинних приладів, побудованих на швидкому перетворенні Фурє неперіодичних шумових сигналів з їхнім подальшим аналізом за допомогою швидкодіючих сучасних комп'ютерних засобів, дала змогу реалізувати ШПТ, що працюють у режимі реального часу. Зокрема, за умови використання швидких аналогово-цифрових перетворювачів (до 2 МГц) можна забезпечити дискретність аналізу сигналів до 10^{-6} с у часовій області або до 1 МГц у частотній області. Цей клас ШПТ можна використовувати для вивчення перехідних теплових процесів у чутливих елементах (ЧЕ), пов'язаних з короткочасними змінами номінальної статичної характеристики, які зумовлені зовнішніми та внутрішніми чинниками.

Метою роботи можна вважати виявлення впливу зміни температури на функцію перетворення ШПТ, оскільки зі зміною температури термодинамічний стан матеріалу ЧЕ підлягає спрямованій девіації, насамперед, через електричні шуми.

Експериментальні дані.

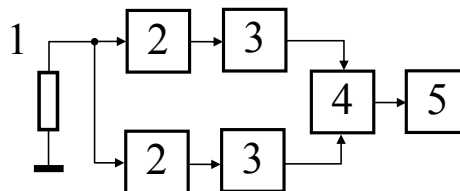


Рис.1. Структурна схема шумового термометра. 1 – первинний перетворювач; 2 – кореляційний підсилювач; 3 – АЦП; 4 – USB інтерфейс; 5 – комп'ютер.

1 – первинний перетворювач;
2 – кореляційний підсилювач;
3 – АЦП; 4 – USB інтерфейс; 5 – комп'ютер

Для шумових досліджень чутливих елементів у діапазоні частот 0...125кГц розроблено спеціалізований ШПТ, структурна схема якого подана на рис. 1.

До входу кореляційного підсилювача 2 під'єднано досліджуваний зразок 1. Коефіцієнт підсилення кожного каналу кореляційного підсилювача становив 1000 або 100, залежно від рівня корисного сигналу. Підсилений шумовий сигнал подавався на аналого-цифрові перетворювачі 3, цифрові дані з яких через USB інтерфейс 4 передавались до комп'ютера 5, де здійснювалось остаточне опрацювання даних.

Основні результати досліджень.

Досліджувалися зразки дроту вольфрам-ренію (довжина 100 мм, товщина 0.2 мм, опір 0.98 Ом) та міді (довжина 100 мм, товщина 0.5 мм, опір 0.01 Ом).

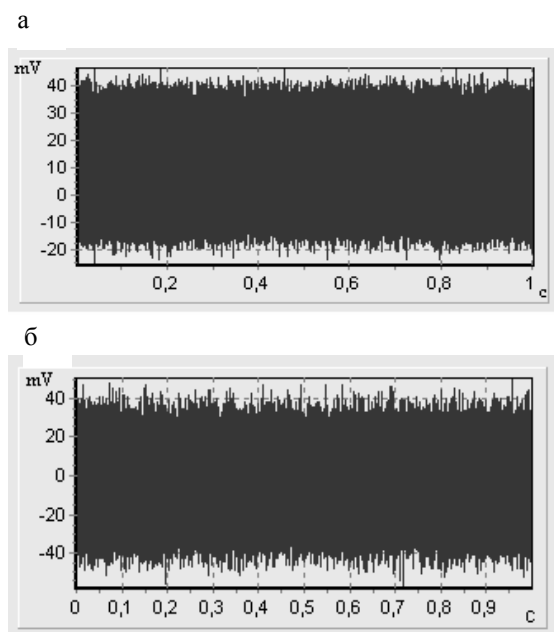


Рис.2. Шумовий сигнал досліджуваного зразка без нагріву: а – вольфрам-реній; б – мідь

Шумову напругу вимірювали упродовж 20 с. Перші досліди виконувалися без будь-яких впливів на досліджуваний зразок. Типовий вигляд отриманої шумової напруги показано на рис. 2 – неперервні випадкові коливання щодо певного постійного рівня.

У разі розігрівання газовим потоком обмеженої ділянки зразка довжиною 10–15 мм до температури 900–950°C спостерігалися перехідні шумові процеси, типовий характер яких показано на рис.3. На проміжку від початку вимірювань до десяти секунд зразок не

нагрівався. Від 10с до 15с – зразок перебував у нагрітому стані. Далі дротину охолоджували до температури довкілля. Оскільки за даними [2] стала теплової інерції тонкого дроту становить близько 0,1 с, то наведений на рис. 3 характерний вигляд зміни інтенсивності теплових електричних шумів за умови нагрівання (ліва частина кривої) чи за умови охолодження внаслідок відведення газового потоку на бік (права частина кривої) може бути зумовлений лише спрямованим відхиленням характеристик як результату дії на чутливий елемент. Така поведінка шумів могла бути викликана також накладанням нерівномірного градієнта температури на реальний матеріал з внутрішніми дефектами (ефект Бріджмена) [3].

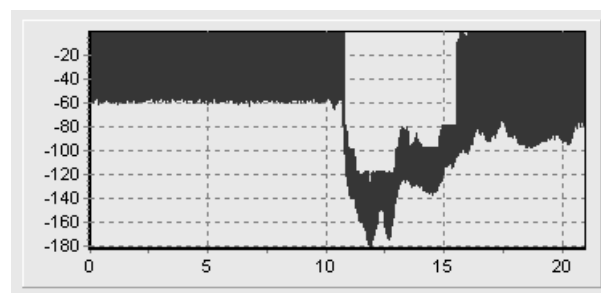


Рис.3. Типовий перехідний шумовий процес у досліджуваному зразку під час нагріву

На рис. 4 подано сам перехідний процес відповідно для вольфрам-ренію та міді.

Підстави прогнозування змін функцій перетворення. Шлях зміни функцій перетворення, що ґрунтується на таких характеристиках, як термо-ЕРС, потужність теплових електричних шумів і електричний опір ЧЕ, лежить через флуктуаційно-дисипаційні відхилення, названі шумами [4]. Електротеплове походження основного виду шумів ЧЕ, засобів електротермометрії відповідає переважанню двох ступенів вільності основного рівняння статистичної термодинаміки нерівноважних процесів: електричного та теплового ступенів. Усі інші ступені вільності: механічний, хемічний, магнетний та поверхнево-зернограничний – причетні до виникнення функцій впливу на номінальні статичні характеристики ЧЕ. Ці функції визначаються, значною мірою, технологічною – переважно механічно-термічною – передісторією ЧЕ [5].

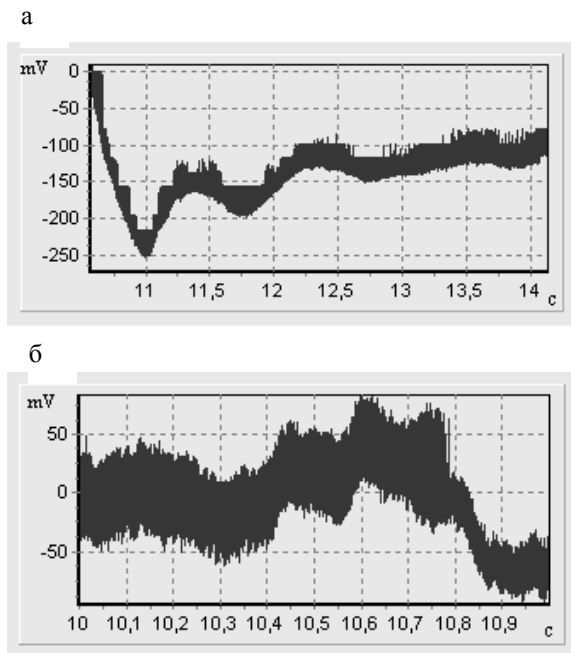


Рис.4. Шумовий сигнал досліджуваного зразка під час нагрівання: а – вольфрам-рентки, б – мов

Розглянемо ЧЕ як квазізамкнуту термодинамічну підсистему ще більшої системи контрольованого середовища. Ймовірність переходу цієї підсистеми з одного стану до іншого, які відрізняються енергетично на ΔW , визначається виразом [6]:

$$P \sim \exp[-\Delta W / kT]. \quad (1)$$

З іншого боку, ΔW це робота, яку повинно здійснити зовнішнє середовище над цією термодинамічною підсистемою, змінюючи внутрішню енергію U цієї підсистеми на ΔU , k – стала Больцмана, T – температура.

Тому (1) можна записати:

$$P \sim \exp[-\Delta U / kT] \quad (2)$$

Фундаментальне рівняння Гіббса та рівняння Гіббса–Дюгема, що доповнює його, передбачають зв'язок приросту внутрішньої енергії від зміни теплового ступеня вільності TS :

$$\Delta U = \Delta(TS) = T\Delta S + S\Delta T, \quad (3)$$

підставивши яке у (2), отримаємо:

$$P \sim \exp(-\Delta S / k) \exp\left(-\frac{S\Delta T}{kT}\right), \quad (4)$$

де S – ентропія.

За умови мінімальної швидкості продукування ентропії [6], яка є загальнішим випадком відомого

закону збереження ентропії, незмінною ($dS = 0$) можна вважати:

$$\frac{dS(t)}{dt} = c \rightarrow \min, \quad (5)$$

де c – стала.

Тоді ентропію підсистеми ЧЕ, виведеної зі стану термодинамічної рівноваги внаслідок зміни температури зовнішнього середовища на $\Delta T = T - T_0$, де T_0 – початкова температура, можна апроксимувати лінійною залежністю:

$$S(t) = S_0 + \Delta S = S_0 + ct. \quad (6)$$

Підставивши (6) у (4), отримаємо ймовірність переходу цієї підсистеми з одного стану до іншого:

$$P = A \exp(-c\Delta t / k) \exp\left(-\frac{(S_0 + ct)\Delta T}{kT}\right) = f(\Delta t) f(t, T, \Delta T) \quad (7)$$

Згрупувавши в (7) показники степеня, які залежать від часу, отримаємо вираз:

$$P = A \exp\left(-\frac{S_0 \Delta T}{kT}\right) \exp\left(-\frac{cT\Delta t + ct\Delta T}{kT}\right) = f(\Delta T) f(t, \Delta t, T, \Delta T) \quad (8)$$

за умови, що $T \gg T_0$, тобто у вихідному стані ЧЕ перебуває за низьких (кімнатних) температур, вираз (8) спроститься до:

$$P = A \exp\left(-\frac{S_0}{k}\right) \exp\left(-\frac{c\Delta t + ct}{k}\right) = A_1 f(t, \Delta t) \quad (9)$$

де $A_1 = A \exp(-S_0/k)$. Як бачимо, ймовірність переходу є величиною, пропорційною до передісторії матеріалу ($\exp(-S_0/k)$) та змін характеристик ЧЕ з часом $\exp(-(c\Delta t + ct)/k)$. Це означає, що під час значних температурних стрибків зміни функції перет-

ворення ШПТ практично не залежать від температури, а лише від передісторії матеріалу ЧЕ.

Висновок. За незначних температурних змін величина температурного стрибка поряд з ентропією та часом визначають ймовірність переходу ЧЕ з одного термодинамічного стану до іншого. За значних змін температури найвпливовішим є ентропійний чинник, який визначав інтенсивність перехідних процесів у матеріалі ЧЕ і контролювався потужністю теплових електричних шумів. Тоді ймовірність переходу залежала від передісторії матеріалу ЧЕ.

У перспективі плануються досліджень термометричних матеріалів різного походження, технології виготовлення та попередньої обробки – механічної, термічної тощо.

1. Jacyszyn S., Stadnyk B., Lucyk J. i in. Efekty szumowe w termometrii // *Pomiary, automatyka, kontrola*. – 2003. – № 7/8. – S.15–17.

2. Самсонов Г.В., Стаднык Б.И. и др. Температурные измерения. Справочник. Киев–Львов. – 1986.

3. Анатыхук Л.И. том2. Термoeлектрические преобразователи энергии. Институт термoeлектричества: Киев–Черновцы. – 2003.

4. Стаднык Б.І., Яцишин С.П. Електромеханохімічні шуми термометричних матеріалів // *Термоелектрика*. – 2003. – №1. – С.56–64.

5. Федик И.И., Стаднык Б.И. и др. Термо-э.д.с. и механические напряжения // *Теплофизика высоких температур*. – Т.32. – 1978. – С.376–382.

6. Булатов Н.К., Лундин А.В. Термодинамика необратимых физико-химических процессов. М. – 198

УДК 539.3

ПОШИРЕННЯ ІМПУЛЬСНИХ ХВИЛЬ У СТРИЖНІ СКІНЧЕННОГО РОЗМІРУ

© Сулим Георгій, Опанасович Віктор, Сіверс Світлана, 2006

Львівський національний університет імені Івана Франка,
кафедра механіки, вул. Університетська, 1, 79000,
Львів, Україна

Запропоновано математичну модель поширення пружних імпульсних хвиль у короткому стрижні за одноразового поздовжнього удару кулькою. Отримано аналітичні залежності для описання параметрів імпульсів деформації стискання та переміщення поверхні торця.

Адекватність математичної моделі підтверджується результатами вимірювань, отриманих за допомогою напівпровідникових тензорезисторів та ємнісного перетворювача.

Зроблено енергетичний аналіз системи стрижень-кулька.

Предложена математическая модель распространения упругих импульсных волн в коротком стержне при однократном продольном ударе шариком. Получены аналитические зависимости для описания параметров импульсов деформации сжатия и перемещения поверхности торца. Адекватность математической модели подтверждается результатами измерений, полученных с помощью полупроводниковых тензорезисторов и емкостного преобразователя.

Выполнен энергетический анализ системы стержень-шарик.

The mathematical model of the elastic pulse waves propagation in the short rod due to one-once longitudinal impact of the ball has been proposed. Analytical dependences for the description parameters of the pulses compressive deformation and butt surface displacement have been obtained. The adequacy of the mathematical model was estimated for the results obtained by measuring with help of semiconductor wiskers strain-resistor gages and capacity gauge. Energetical analysis of the system of the rod-ball is made.

Вступ. Процеси поширення імпульсних напружень у твердому деформівному тілі часто досліджують тензометричним методом, причому імпульсні напруження у стрижні генерують, ударяючи по ньому іншим

тілом (ударником). Змінюючи швидкість руху ударника, його матеріал, форму і геометричні розміри, у дослідах отримують імпульси напружень різної амплітуди і тривалості [1]. Теоретично задача поширення ім-