

Литература

1. А. с. 1075145 СССР. Устройство для измерения спектральных характеристик сигналов акустической эмиссии / Ю.И.Лыков, А.И.Горбунов, В.Н.Овчарук // Бюллетень ОИПОТЗ. – 1984. – №7.
2. Лыков Ю.И. Установка «Спектр» для анализа спектральных характеристик акустической эмиссии / Лыков Ю.И., Горбунов А.И., Овчарук В.Н., Острицкий А.С. // Дефектоскопия. – 1988. – №1. – С. 31-36.
3. Горбунов А.И., Лыков Ю.И. Влияние амплитудно-частотной характеристики объекта на спектральные характеристики сигналов акустической эмиссии // Дефектоскопия. – 1986. – №9. – С. 39-45.
4. А. с. 534624 СССР. Способ изготовления пьезоэлектрических преобразователей / В.Н.Колмогоров, Г.Ф. Пашенко // Бюллетень ОИПОТЗ. – 1976. – №43. – С. 162.
5. Лыков Ю.И., Овчарук В.Н. Анализ спектральных характеристик сигналов акустической эмиссии от усталостной трещины // Дефектоскопия. – 1986. – №8. – С. 92-95.
6. А. с. 1527577 СССР. Способ обнаружения развивающихся трещин / Ю.И.Лыков, В.Н.Овчарук // Бюллетень ОИПОТЗ. – 1989. – №45.
7. Гришко В.Г., Лихацкий С.Н., Стрельченко В.А., Лыков Ю.И., Овчарук В.Н., Добровольский Ю.В. Методика идентификации механических характеристик материалов по сигналам акустической эмиссии // Проблемы прочности. – 1984. – №1. – С. 89-92.
8. Гогоци Г.А., Гришаков С.В., Неговский А.Н., Нероденко В.Н. Исследование прочности конструкционных неметаллических материалов // Заводская лаборатория. – 1981. – №4. – С. 79-82

Надійшла до редакції
17.12.2012 р.

УДК 658.562.42

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

Вінницький національний технічний університет

ЗАСІБ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ СТРУКТУРНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ ТВЕРДОФАЗНИХ СИСТЕМ

У роботі теоретично встановлено залежність реактивних властивостей транзисторних структур з від'ємним опором від радіаційної температури, що дало можливість побудувати модель вимірювального контролю у вигляді передаточної функції метал-піроелектрик-напівпровідник, що підвищує точність відновлення сигналів на скінченій дискретній вибірці. Дану залежність покладено в основу роботи засобу неруйнівного контролю структурних перетворень твердофазних систем.

Ключові слова: неруйнівний контроль, частотний вимірювальний перетворювач, транзисторна структура з від'ємним опором, піроелектричний чутливий елемент, засіб контролю.

The theoretical dependence reactive properties of transistor structures with negative resistance from radiation temperature is set, enabling to build a model of measuring control in the form of the transfer function of structure metal-pyroelectric-semiconductor, which increases the accuracy of signal restoration at finite discrete sample. This dependency is on the basis of non-destructive device for control structural transformations of solid systems.

Keywords: nondestructive control, frequency measuring transducer, transistor structure with negative resistance, pyroelectric sensor element, device for control.

Вступ

Робота присвячена розробки моделі засобу неруйнівного контролю молекулярної структури твердих матеріалів. Відомі засоби неруйнівного контролю параметрів твердофазних систем, до яких відносяться метали і напівпровідники, є громіздкими, високовартісними, працюють переважно в ручному режимі, мають низьку точність, чутливість, достовірність та швидкодію [1]. З огляду на це, очевидно є необхідність розв'язання науково-технічної задачі розвитку засобів неруйнівного контролю структурних перетворень твердофазних систем.

Характеристики існуючих засобів неруйнівного контролю структурних перетворень твердофазних систем можна покращити шляхом використання частотних вимірювальних перетворювачів (ЧВП) температури на основі транзисторних структур з від'ємним опором (ТСВО). Такі вимірювальні перетворювачі мають ряд переваг перед існуючими, які полягають в наступному: висока завадостійкість, що забезпечує високу точність вимірювання, потужний вихідний сигнал, що дозволяє відмовитись від підсилювачів при подальшій обробці сигналу, простота конструкції, що підвищує економічність приладу, можливість передачі інформації на відстань [2].

Постановка завдання

Метою роботи є дослідження засобу неруйнівного контролю структурних перетворень твердофазних систем на основі частотних вимірювальних перетворювачів.

Модель вимірювального каналу засобу неруйнівного контролю

Вимірювання температури фазових перетворень твердих матеріалів відбувається безконтактним способом частотним вимірювальним перетворювачем. Теплове випромінювання падає на чутливий

піроелектричний елемент ЧВП і спричинює його нагрівання. Зміна температури на поверхні чутливого піроелектричного елемента приводить до зміни поляризації піроелектрика, яка викликає перерозподіл заряду, що спричинює зміну напруги на вихідних клеммах піроелементу. Зміна напруги чутливого елемента впливає на зміну електрофізичних параметрів (напруги і ємності переходів) транзисторної структури з від'ємним опором, що призводить до зміни частоти вихідного сигналу ЧВП. На рис. 1 представлено структурну схему вимірювального перетворення температури твердофазних систем у зміну частоти вихідного сигналу.

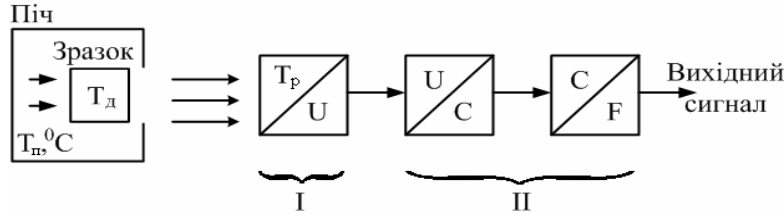


Рис. 1. Структурна схема вимірювального перетворення

На рис. 1 використані такі позначення: T_n – температура нагрівання печі; T_d – температура досліджуваного зразка твердого матеріалу; E – потік теплового випромінювання досліджуваного зразка, викликаний його нагріванням; T_p – радіаційна температура; I – вимірювальне перетворення у чутливому піроелектричному елементі; II – вимірювальне перетворення у транзисторній структурі з від'ємним опором. Таким чином, дійсне значення температури досліджуваного зразка [3]

$$T_d = \frac{T_p}{\sqrt[4]{\varepsilon}}, \tag{1}$$

де ε - випромінювальна здатність досліджуваного зразка.

Розробимо математичну модель вимірювального перетворювача для знаходження аналітичного і графічного відображення функції перетворення $F(T)$. Математичне моделювання вимірювального перетворювача температури проведемо для схеми метал-піроелектрик-напівпровідник з від'ємним опором (рис. 2).

Схема вимірювального перетворювача складається з біполярного і польового транзисторів, живлення яких здійснює джерело постійної напруги $U_{ж}$ (рис. 2). У даній Бі-МОН транзисторній структурі на електродах колектор-стік транзисторів VT_1 і VT_2 існує від'ємний опір. Підключення зовнішньої індуктивності L до електродів колектор-стік дозволяє створити генератор електричних коливань, частота генерації якого залежить від радіаційної температури, що потрапляє на чутливий елемент PE .

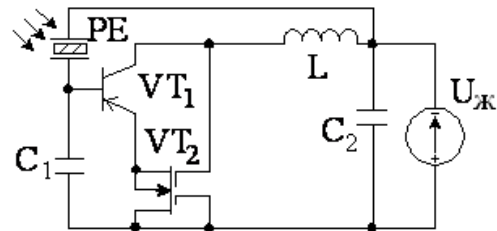


Рис. 2. Електрична схема вимірювального перетворювача на основі структури метал-піроелектрик-напівпровідник

Оскільки піроелектричні первинні перетворювачі являють собою динамічну систему, аналіз роботи досліджуваної структури проведемо в межах тривалості активного імпульсу теплового випромінювання. При потраплянні сигналу на чутливий елемент, піроелектрик нагрівається, в результаті чого сигнал, що виникає, заряджає як сам піроелектричний конденсатор, так і вхідну ємність транзистора. Значення потужності теплового випромінювання, необхідного для спрацювання первинного перетворювача, знаходяться в межах одиниць мікровоат.

Якщо на одній поверхні піроелектрика потенціал постійний, а на іншій змінюється, то [4]

$$\Delta U = \frac{p \cdot \delta \cdot \Delta T}{\varepsilon \cdot \varepsilon_0}, \tag{2}$$

де p – піроелектричний коефіцієнт; δ - товщина піроелектрика; ΔT - зміна температури; ε - діелектрична проникність матеріалу піроелектрика; ε_0 - діелектрична стала.

Підставляючи вираз для зміни температури в піроелектрику, отримуємо

$$\Delta U = \frac{p \cdot \delta}{\varepsilon \cdot \varepsilon_0} \cdot \frac{T \cdot A \cdot \eta}{\alpha} \cdot \frac{1}{\tau^2} \cdot \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right), \tag{3}$$

де A – площа поглинаючого шару на поверхні чутливого елемента; η - коефіцієнт емісії піроелементу; α - коефіцієнт, що характеризує тепловіддачу шляхом теплопровідності та випромінювання; τ - постійна, що не залежить від температури та часу; t – час; T – радіаційна температура.

Тоді, поєднуючи вираз напруги піроелементу з виразом для напруги база-емітер, а також вважаючи, що ввімкнення піроелементу відбувається в момент появи випромінювання, отримаємо залежність напруги база-емітер біполярного транзистора від температури

$$U_{\delta e} = \frac{3}{2\theta} \left(U_{nop} - \frac{p \cdot \delta \cdot A \cdot \eta}{\tau^2 \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot \alpha} \right) \cdot T, \quad (4)$$

де $U_{\delta e}$ – напруга між базою і емітером біполярного транзистора; θ – корегувальний коефіцієнт [°C].
Зміна напруги переходів транзисторної структури викликає зміну ємностей переходів ТСВО. Бар’єрна ємність ТСВО описується виразом [5]:

$$C_{j\delta e}(U_{\delta e}) = \begin{cases} C_{je} \left(1 - \frac{U_{\delta e}(T)}{U_{je}} \right)^{-M_{je}} & \text{при } U_{\delta e} \leq F_{\kappa} U_{je}, \\ C_{je} (1 - F_{\kappa})^{-(1+M_{je})} \left(1 - F_{\kappa} (1 + M_{je}) + M_{je} \frac{U_{\delta e}(T)}{U_{je}} \right) & \text{при } U_{\delta e} > F_{\kappa} U_{je}, \end{cases} \quad (5)$$

де M_{je} – коефіцієнт, який враховує плавність емітерного переходу; U_{je} – контактна різниця потенціалів емітерного переходу; C_{je} – ємність емітерного переходу при нульовому зміщенні; F_{κ} – коефіцієнт нелінійності бар’єрних ємностей прямозміщених переходів.

Ємність переходу база-колектор в залежності від температури має вигляд [5]:

$$C_{j\delta k}(U_{\delta k}) = \begin{cases} C_{jk} \left(1 - \frac{U_{\delta k}(T)}{U_{jk}} \right)^{-M_{jk}} & \text{при } U_{\delta k} \leq F_{\kappa} U_{jk}, \\ C_{jk} (1 - F_{\kappa})^{-(1+M_{jk})} \left(1 - F_{\kappa} (1 + M_{jk}) + M_{jk} \frac{U_{\delta k}(T)}{U_{jk}} \right) & \text{при } U_{\delta k} > F_{\kappa} U_{jk}, \end{cases} \quad (6)$$

де $U_{\delta k}$ – напруга між базою і колектором біполярного транзистора; M_{jk} – коефіцієнт, який враховує плавність колекторного переходу; U_{jk} – контактна різниця потенціалів колекторного переходу; C_{jk} – ємність колекторного переходу при нульовому зміщенні; F_{κ} – коефіцієнт нелінійності ємностей база-колектор прямозміщених переходів.

Зміна ємності транзисторної структури зумовлює зміну частоти повторення електричних коливань на виході перетворювача за формулою Томпсона. Для схеми вимірювального перетворювача представленого на рис. 2 вираз функції перетворення матиме вигляд

$$F(C) = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{C_{j\delta e}(U_{\delta e}) + C_{j\delta k}(U_{\delta k})}{C_{j\delta e}(U_{\delta e}) \cdot C_{j\delta k}(U_{\delta k}) \cdot L}}, \quad (7)$$

де L – індуктивність котушки в електричній схемі вимірювального перетворювача температури.

Аналitiчну залежність вихідної частоти від температури $F = f(T)$ можна отримати послідовної підстановкою у вираз (7) залежностей (5) і (6). Графічну залежність вихідної частоти вимірювального перетворювача від температури зображено на рис. 3.

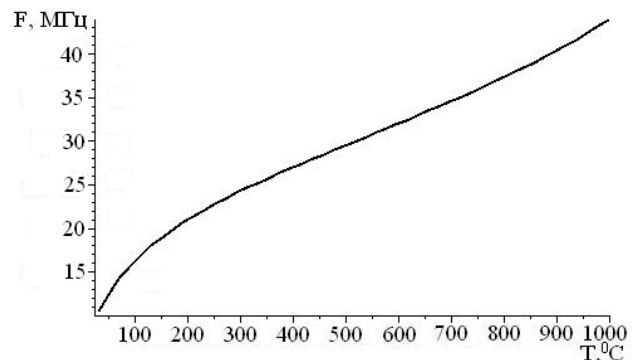


Рис. 3. Функція перетворення розробленого вимірювального перетворювача

Як видно з рис. 3 при зміні температури від 0 °C до 1000 °C вихідна частота пристрою змінюється від 10 МГц до 44 МГц.

Засіб неруйнівного контролю структурних перетворень твердофазних систем

На рис. 4 представлено структурну схему частотного вимірювального перетворювача, яка включає вимірювальний перетворювач, електрична схема якого наведена на рис. 2.

Неруйнівний контроль структурних перетворень твердофазних систем здійснюється на основі диференційно-термічного аналізу. Для його проведення необхідно вимірювати температуру не тільки досліджуваного зразка матеріалу, що потрапив на аналіз, але і температуру термічно інертної речовини, температуру нагрівальної печі. На рис. 5 зображено структурну схему засобу неруйнівного контролю структурних перетворень твердофазних систем.



Рис. 4. Структурна схема частотного вимірювального перетворювача

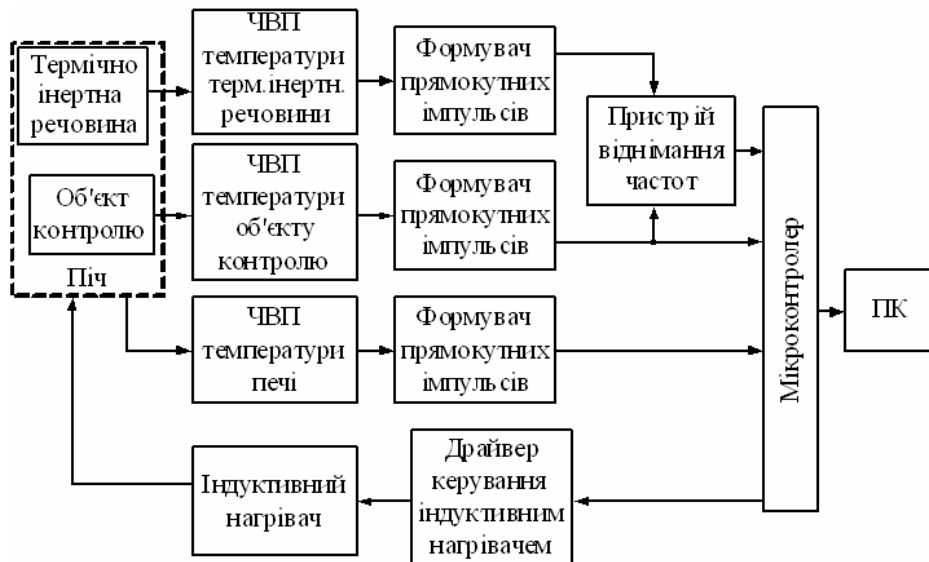


Рис. 5. Структурна схема засобу неруйнівного контролю структурних перетворень твердофазних систем

При однаковій температурі двох зразків (досліджуваного і термічноінертного) вихідний сигнал буде рівний нулю, а при протіканні ендо- і екзотермічних реакцій в досліджуваному зразку на термограмі при відповідних температурах з'являються піки, спрямовані в протилежні сторони. Засіб неруйнівного контролю містить піч з індуктивним нагрівом. Температура в печі контролюється і регулюється мікроконтролером, частотним вимірювальним перетворювачем, індуктивним нагрівачем, драйвером керування індуктивним нагрівачем.

Висновки

В даній статті запропоновано математичну модель частотного вимірювального перетворювача радіаційної температури, яка відрізняється від існуючих тим, що враховує вплив температури на елементи еквівалентної схеми ЧВП, що дозволило отримати рівняння перетворення, яке пов'язує вихідну величину – частоту та вхідну – радіаційну температуру. Також у роботі розроблено структурну схему засобу неруйнівного контролю структурних перетворень твердофазних систем на основі частотних вимірювальних перетворювачів.

Література

1. Жуковский Валентин Семенович. Термодинамика и кинетика твердофазных реакций / В.С. Жуковский, А.Н. Петров. – Свердловск: Уральский государственный университет, 1987. – 168 с.
2. Осадчук В.С. Анализ современных способов измерения температуры / В.С. Осадчук, О.В. Осадчук, С.В. Барабан / Матеріали 5-ої Міжнародної науково-практичної конференції «Актуальные проблемы современных наук-2009» /Номер 22/ Технические науки/ Электротехника и радиоэлектроника/ Przemysl. Nauka i studia, 2009. – С. 40-50.
3. Луцик Я.Т. Энциклопедия термометрии / Я.Т. Луцик, Л.К. Буняк, Ю.К. Рудавський, Б.І. Стадник. – Львів: Вид-во НУ "Львівська політехніка". – 2003. – 428 с.
4. Новик В.К. Пирозлектрические преобразователи / В.К. Новик, Н.Д. Гаврилова, Н.Б. Фельдман. – М.: Советское радио, 1979. – 176 с.
5. Antognetti Paolo. Semiconductor devices modeling with SPICE / P. Antognetti, G. Massobrio. – Negraw-Hill, Inc. – New York, 1988. – 391 p.

Надійшла до редакції
7.03.2013 р.