

## ТРАНЗИСТОРНИЙ ВИМІРЮВАЛЬНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ БІОМЕДИЧНОГО ДИФЕРЕНЦІЙНОГО СКАНУЮЧОГО КАЛОРИМЕТРА

Р. Л. Голяка, О. В. Бойко, Н. В. Дорош, В. Ю. Ільканич

Львівський національний медичний університет ім. Д. Галицького  
Національний університет «Львівська політехніка»

Based on transistors the measurement transducer for biomedical differential scanning calorimetry sensor is proposed. The differential temperature measurements are provided by a differential n-p-n transistor stage and an ADuC834 24-Bit MicroConverter. The circuit and software of the sensor device developed are described. The main features of the sensor are: difference temperature measurement ranges – A)  $\pm 10^\circ\text{C}$ , B)  $\pm 30^\circ\text{C}$ ; difference temperature measurement resolution – better than  $0,001^\circ\text{C}$ ; temperature measurement ranges – from  $40^\circ\text{C}$  to  $100^\circ\text{C}$ ; supply voltage  $-5\text{ V} \pm 10\%$ ; interface – USB.

Диференціальна скануюча калориметрія (ДСК) базується на вимірюванні кількості енергії, поглиненої або виділеної зразком, при неперервному підвищенні чи зниженні температури. Цей метод є одним з найефективніших способів структурного аналізу, включаючи визначення області склування, значення температур плавлення й кристалізації, фазових переходів полімерів, температури термічної деструкції тощо. Застосування методу ДСК також дозволяє судити про наявність або відсутність антиоксиданта в полімері, антистатиків, поглиначів ультрафіолетового випромінювання, модифікаторів ударної міцності матеріалу [1]. Серед сучасних пристроїв, що забезпечують автоматизацію ДСК є, зокрема, диференціальний скануючий калориметр Diamond DSC компанії PerkinElmer. Первинними вимірювальними перетворювачами таких пристроїв є терморезистори або термопари [2].

За останній час ДСК знайшла своє використання в сенсорах біомедичного призначення. З їх допомогою проводять якісний та кількісний аналіз фармацевтичних засобів, білків, кісткової тканини, м'язів тощо [3, 4]. На жаль, існуючі пристрої ДСК не в повній мірі відповідають вимогам біомедичної сенсорики. Особливістю останньої є необхідність зменшення мінімально допустимої маси досліджуваної речовини (до декількох грам і менше), підвищення точності вимірювання, а також, відповідність вимогам сучасної біомедичної мікроелектроніки.

В рамках даної роботи вирішена задача підвищення експлуатаційних характеристик ДСК біомедичного призначення шляхом заміни вищезгаданих терморезисторів чи термопар на транзисторні вимірювальні перетворювачі. Сучасні транзистори характеризуються гранично малими розмірами (від декількох мікрометрів і до міліметра), а сигнальні перетворювачі диференціальних термометрів на їх ос-

нові, що реалізуються схемою диференціального каскаду, забезпечують суттєво вищу, у порівнянні з терморезисторами чи термопарами, температурну чутливість [5].

Диференціальний каскад описується системою рівнянь

$$\begin{cases} I_{C1} = \alpha_1 I_{E1} \\ I_{C2} = \alpha_2 I_{E2} \\ I_{E1} + I_{E2} = I_{\Sigma E} \end{cases},$$

де:  $I_{C1}$ ,  $I_{E1}$  – колекторний та емітерний струми транзистора  $T_1$ ;  $I_{C2}$ ,  $I_{E2}$  – аналогічно для транзистора  $T_2$ ;  $a_1$ ,  $a_2$  – коефіцієнти передачі струму цих транзисторів

(типово  $a = 0,99..0,995$ );  $I_{E1} = I_{SE10} \exp\left(\frac{V_{BE1}}{m_1 \varphi_T} - 1\right)$ ;

$I_{E2} = I_{SE20} \exp\left(\frac{V_{BE2}}{m_2 \varphi_T} - 1\right)$  – залежності емітерних

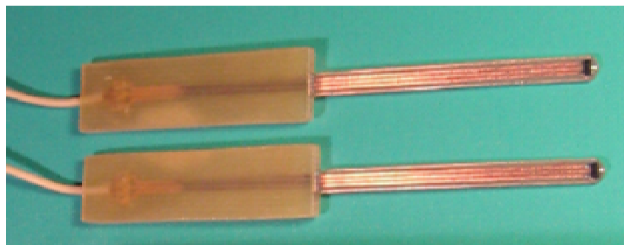
струмів транзисторів від напруги  $V_{BE1}$ ,  $V_{BE2}$  їх емітерно-базових p-n переходів;  $I_{SE10}$ ,  $I_{SE20}$ ,  $m_1$ ,  $m_2$  – відповідно, струми насичення та коефіцієнти неідеальності цих p-n переходів;  $\varphi_T = kT/q$  – температурний потенціал;  $k$  – стала Больцмана;  $T$  – абсолютна температура;  $q$  – заряд електрона;  $I_{SE}$  – сумарний струм, що втікає в емітерні p-n переходи транзисторів і типово задається або стабілізуючим резистором емітерних кол транзисторів, або джерелом стабільного струму в цих колах.

Інформативним сигналом різниці температур диференціального каскаду є різниця колекторних струмів  $DI_C(T) = I_{C2}(T) - I_{C1}(T)$  транзисторів, що обумовлена відповідною різницею їх температур. Температурно залежними параметрами транзисторів, що визначають інформативний сигнал є  $I_{SE0}(T)$ ,  $j_T(T)$ ,  $a(T)$ .

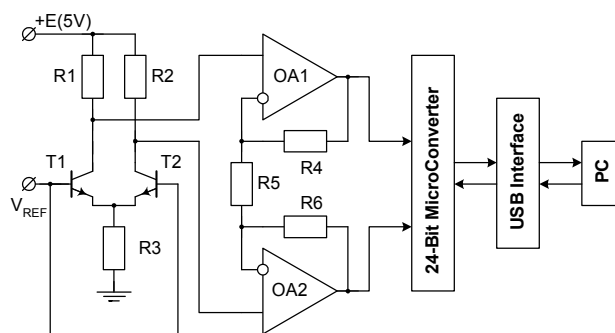
Диференційний каскад розроблено в рамках роботи транзисторного вимірювального перетворювача біомедичного диференційного скануючого калориметра побудовано на n-p-n транзисторах у мікрокорпусному конструктиві SOT23 з розмірами приблизно 1 x 2 x 3 (мм). Для дослідження параметрів транзистори змонтовані на зонди, зовнішній вигляд яких наведено на рисунку 1. З метою подальшого зменшення розмірів можуть використовуватися безкорпусні транзистори у «підвішеному» конструктивному виконанні чи з MEMs конструктивно-технологічний базис, зокрема мембранну конструкцію структури.

Функціональна блок-схема вимірювального перетворювача наведена на рисунку 2, а його програмне забезпечення – на рисунку 3. Крім диференційного каскаду (транзистори T1, T2, резистори R1, R2, R3) в склад вимірювального перетворювача входить сигнальний підсилювач (операційні підсилювачі OA1, OA2, резистори R4, R5, R6), 24-розрядний аналого-цифровий перетворювач з вбудованим мікроконтролером типу ADuC834 (24-Bit MicroConverter), USB інтерфейс (USB Interface) та персональний комп'ютер (PC).

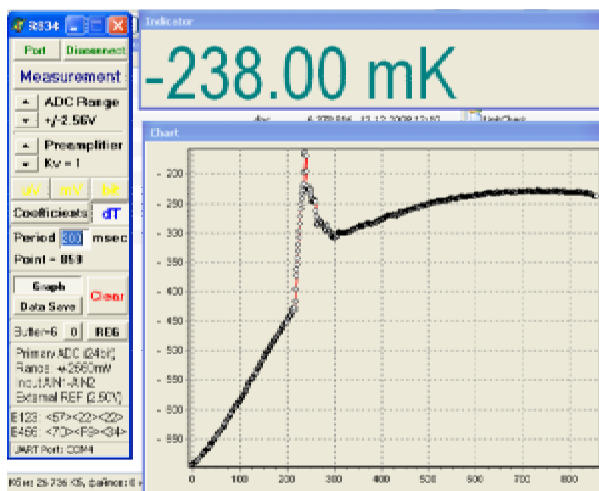
Основними експлуатаційними характеристиками розробленого транзисторного вимірювального пере-



**Рис. 1.** Зонди диференційного скануючого калориметра.



**Рис. 2.** Функціональна блок-схема вимірювального перетворювача.



**Рис. 3.** Вид програмного забезпечення диференційного скануючого калориметра.

творювача є: діапазон вимірювання різниці температур: А)  $\pm 10^{\circ}\text{C}$ , Б)  $\pm 30^{\circ}\text{C}$ ; роздільна здатність вимірювання різниці температур: не гірше  $0,001^{\circ}\text{C}$ ; робочий діапазон: від мінус  $40^{\circ}\text{C}$  до плюс  $100^{\circ}\text{C}$ ; напруга живлення:  $5\text{ V} \pm 10\%$ ; інтерфейс: USB.

### Література

- Behme Robert Heat of Fusion measurement of a low melting polymorph of carbamazepine that undergoes multiple phase changes during DSC analysis / Behme Robert, Brooke Dana // J. Pharm Sci. – 2006. – Vol 80. – Issue 10. – P. 986–990.
- Bruce Cassel Modulated Temperature DSC and the DSC 8500: A Step Up in Performance / Bruce Cassel, Robert Packer // PerkinElmer, Inc. <http://las.perkinelmer.com/>.
- Левицкий Д. И. Применение метода дифференциальной сканирующей калориметрии для структурно-функциональных исследований мышечных белков // Успехи биоло-

- гической химии. – 2004 – Т. 44 – С.133–170.
- Жнякина Л. Е. Система дифференциальной сканирующей калориметрии для исследования лекарственных объектов / Жнякина Л. Е., Мощенский Ю. В., Ткаченко М. Л. // Химико-фармацевтический журнал – 2005. – № 11. – С.46–49.
- Дифференциальный термометр с высокой разрешающей способностью / Готра З. Ю., Голяка Р. Л., Павлов С. В. [и др.] // Технология и конструирование в электронной аппаратуре – 2009 – № 6 – С. 19–23.