

УДК 621. 385. 883

О.З. ГотраНаціональний університет “Львівська політехніка”,
кафедра інформаційно-виміральної техніки**ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕРМОСЕНСОРНИХ
ПРИСТРОЇВ З ПЕРЕТВОРЕННЯМ НА ДИФЕРЕНЦІЙНОМУ КАСКАДІ****О. Hotra**Lviv Polytechnic National University,
Information measuring technique dept.**INVESTIGATION OF CHARACTERISTICS OF THERMOSENSOR
DEVICES WITH TRANSFORMATION ON DIFFERENTIAL CASCADE**

© Готра О.З., 2001

Запропоновано спосіб формування сигналу термосенсорних пристроїв на основі диференційного каскаду. Розглянуто структуру вузла первинного перетворення твердотільних термосенсорних інтегральних схем із перетворенням на диференційному каскаді. Проведено дослідження характеристик цих пристроїв. Показано, що чутливість запропонованого перетворювача становить $\approx 10\%$ на градус.

The method of signal formation of thermosensor devices based on differential cascade is proposed. The structure of the preprocessing unit of solid state thermosensor integrated circuits with transformation on bipolar circuit is given in this paper. The characteristics of these devices are investigated. It is shown that the sensitivity of proposed transformator is approximately equal 10% per degree.

Вступ. Твердотільні термосенсорні інтегральні схеми (ІС) є одним з класів сучасних сенсорних пристроїв, які найбільш динамічно розвиваються. Їх характеризує висока чутливість, можливість функціонування з низьковольтними джерелами живлення, стабільність, мінімальна собівартість тощо [1, 2]. Однак вихідний сигнал таких ІС є функцією абсолютної температури, що не дає змоги забезпечити високу чутливість у вузькому температурному діапазоні. Зокрема, при застосуванні традиційних термосенсорних ІС (AD 590 Analog Devices, STP 35 Texas Instrument) в діапазоні кімнатних температур для забезпечення їх чутливості в $0,1^\circ$ необхідно вимірювати сигнал з похибкою не більше ніж $0,03\%$. Разом з тим, перед сучасними пристроями вимірювання температур стоять завдання забезпечення чутливості в $0,01^\circ$ і більше. Серед таких пристроїв можна відзначити мікроелектронні сканери температур, температурні сенсори екзо- та ендотермічних біохімічних реакцій, температурно-градієнтні перетворювачі тощо [3].

Частковим розв'язанням завдання підвищення чутливості термосенсорних ІС є формування сигналу у вигляді різниці двох напруг, перша з яких є функцією абсолютної температури (що є вихідним сигналом типових термосенсорних ІС), а друга – опорною температурнонезалежною напругою. Однак таке рішення характеризується значними структурними витратами, і внаслідок цього – високою собівартістю.

У цій роботі досліджуються характеристики термосенсорних пристроїв з перетворенням на диференційному каскаді. Такий спосіб перетворення передбачає можливість формування сигналу, величина якого зведена до певної відносної температури [4]. Це дає можливість створювати високочутливі ІС з заданим діапазоном вимірювання, зокрема однокристальні термометри для біомедичного застосування.

Принцип функціонування. Розглянемо принцип формування відліку відносних температур із вторинним перетворенням на основі диференційного каскаду. Перетворювач з вихідним сигналом, яким є струм в колі живлення ІС, містить вузол первинного перетворення, диференційний каскад, операційний підсилювач та резистори масштабування вихідного струму R_2, R_3 (рис. 1). Особливістю запропонованого рішення є зміщення диференційного каскаду струмом з лінійною температурною характеристикою, який формується функціональним стабілізатором [4]. Це підвищує крутизну перетворення вихідного сигналу та спрощує структуру ІС.

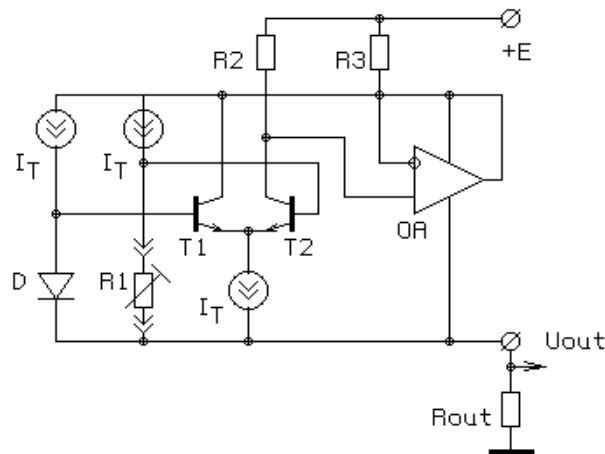


Рис. 1. Принцип перетворення термосенсорної ІС на диференційному каскаді

Вихідна напруга перетворювача визначається, як

$$U_{out} = I_{out} R_{out} = (I(R_2) + I(R_3)) R_{out}, \quad (1)$$

де R – відповідні резистори (рис.1).

Оскільки $I(R_2)R_2 = I(R_3)R_3$, то

$$U_{out} = I(R_2) \left(1 + \frac{R_2}{R_3} \right) R_{out}. \quad (2)$$

Визначимо струм

$$I(R_2) = I_e(T_2) = I_d, \quad (3)$$

$$I_d = \frac{I_T}{2} + \frac{I_T}{1 + \exp((U_{T-} - U_{T+}) / \varphi_T)},$$

де I_T – струм зміщення диференційного каскаду; $U_{T-} - U_{T+}$ – диференційна складова вхідної напруги каскаду, яка формується вузлом первинного перетворювача.

В іншому транзисторі диференційного каскаду струм становить

$$I_e(T_1) = \frac{I_T}{2} + \frac{I_T}{1 + \exp((U_{T+} - U_{T-}) / \varphi_T)}, \quad (4)$$

де φ_T – температурний потенціал.

Тоді диференційна складова вихідного струму становитиме

$$\Delta I_c = \frac{I_T}{2} \operatorname{th} \frac{U_{T+} - U_{T-}}{2\varphi_T}. \quad (5)$$

Це дає змогу визначити

$$I_d = \frac{I_T}{2} \left(1 + \operatorname{th} \frac{U_{T+} - U_{T-}}{2\varphi_T} \right), \quad (6)$$

а після розкладу функції гіперболічного тангенса у степеневий ряд

$$\operatorname{th} x = x - \frac{1}{3}x^3 + \frac{2}{15}x^5 - \dots, \quad (7)$$

отримаємо

$$I_d = \frac{I_T}{2} \left(1 + \frac{U_{T+} - U_{T-}}{2\varphi_T} - \frac{(U_{T+} - U_{T-})^3}{24\varphi_T^3} + \frac{(U_{T+} - U_{T-})^5}{240\varphi_T^5} - \dots \right). \quad (8)$$

При $U_{T-} - U_{T+} \ll 2\varphi_T$, що у вузькому температурному діапазоні можна прийняти з достатньою точністю, розглянемо тільки перші два члени ряду. Враховуючи, що струм I_T формується функціональним стабілізатором струму [4],

$$I_T = \frac{\varphi_T \ln p}{R_E}, \quad (9)$$

де p – коефіцієнт масштабування струму у функціональному стабілізаторі; R_E – значення струмозадаючого резистора, визначимо

$$I_d = \frac{\ln p}{4R_E} \left(2 \frac{k}{q} + \frac{d}{dT} (U_{T+} - U_{T-}) \right). \quad (10)$$

І хоча абсолютним рівнем диференційної складової $U_{T+} - U_{T-}$ порівняно з $2\varphi_T$ можна знехтувати, однак температурна залежність вихідного струму I_d визначається саме цією диференційною складовою

$$\frac{dI_d}{dT} = \frac{\ln p}{4R_E} \left(2 \frac{k}{q} + \frac{d}{dT} (U_{T+} - U_{T-}) \right). \quad (11)$$

При опорній температурі T_0 величина диференційної напруги становить $U_{T+} - U_{T-} = 0$, а її температурна залежність

$$\frac{d}{dT} (U_{T+} - U_{T-}) \approx 4 \text{ мВ/К}. \quad (12)$$

Оскільки чисельно $K/q \approx 0,1 \text{ мВ/К}$, то

$$\frac{dI_d}{dT} \approx \frac{\ln p}{4R_E} \left(0,2 \frac{\text{мВ}}{\text{К}} + 4,0 \frac{\text{мВ}}{\text{К}} \right), \quad (13)$$

а, отже, температурний коефіцієнт вихідного струму порівняно зі шкалою абсолютної температури за рахунок перетворення на диференційному каскаді зростає приблизно у 20 разів. Причому це зростання не пов'язане зі зміною синфазної складової у сигналі та у першому наближенні не залежить від зміни опорної температури.

Відзначимо принципову важливість складової $2\varphi_T$ у вихідному сигналі. Так, при безпосередньому вимірюванні струмів у диференційному каскаді можна було б сформувати вихідний сигнал виключно у диференційній формі ΔI_c . Однак з подальшим перетворенням сигналу в адекватну величину струму кола живлення ІС, складова $2\varphi_T$ з відповідним кое-

фіцієнтом перетворення у струм дає змогу обмежити зменшення струму I_{out} на рівні, який не менший від струму споживання операційного підсилювача, стабілізатора тощо.

Результати досліджень. На рис. 2, а показані розрахункові температурні залежності вихідного струму диференційного каскаду $I_d(T)$ та для порівняння струму $I_T(T)$, величина якого є лінійною функцією абсолютної температури. Так, при зміні температури на $\Delta T=10$ К величина $I_T(T)$ змінюється тільки в 1,03 рази (3%), а $I_d(T)$ – приблизно у 2,0 рази (100%). Нормовані значення приростів $Y_{T0}=I_T(T)/I_T(T_0)$ та $Y_d=I_d(T)/I_d(T_0)$ для $T=T_0\pm 5$ К, $T_0=300$ К показано на рис. 2, б.

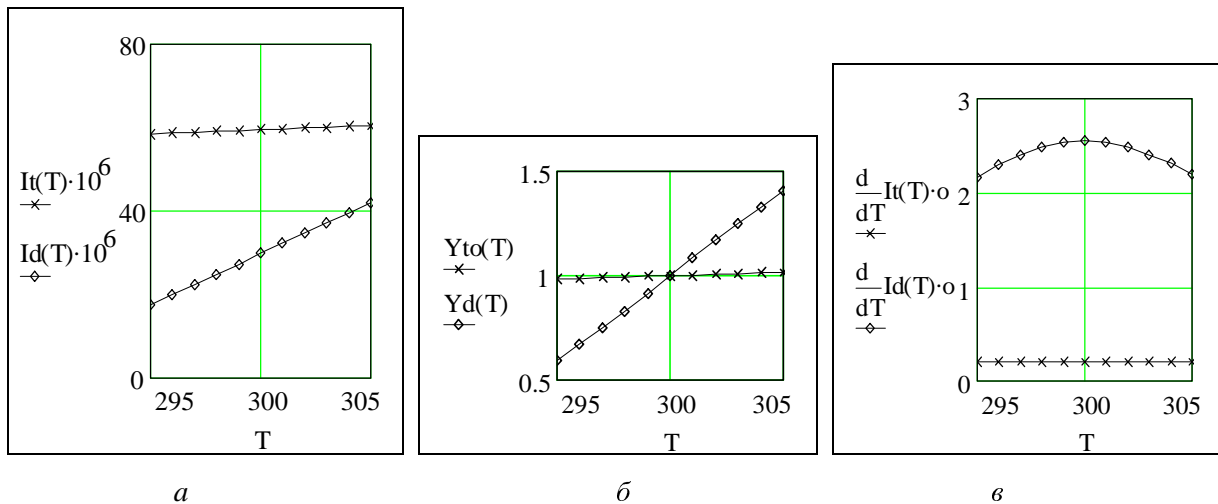


Рис. 2. Температурні залежності струму функціонального стабілізатора $I_T(T)$ і струму диференційного каскаду $I_d(T)$ (а), їх нормовані величини (б) та похідні (в) при $\Delta T=5$ К

Визначимо нелінійність функції $I_d(T)$. Оскільки в аналітичній формі похідна

$$\frac{d}{dT} I_d(T) = \frac{d}{dT} \left[\frac{I_T}{2} \left(1 + \operatorname{th} \frac{U_{T+} - U_{T-}}{2\phi_T} \right) \right] \quad (14)$$

є громіздкою, диференціювання доцільно виконати у числовій формі. Результати диференціювання в діапазоні температур $T=300\pm 5$ К показані на рис. 2, в (на графіку множник 0 – стала величина). Для порівняння крутизна функції $I_d(T)$ та її нелінійність збігаються з відповідними значеннями функції $I_T(T)$.

Як видно з цих залежностей нелінійність вихідного струму орієнтовно становить 10 %. Така нелінійність зумовлюється неповним виконанням умови $U_{T+} - U_{T-} \ll 2\phi_T$. При звуженні діапазону вимірювання на 1 ± 2 градуси нелінійність зменшується до 1 %. Отже, застосування запропонованого вузла перетворення на диференційному каскаді в термосенсорних ІС з вузьким діапазоном вимірювання, зокрема температурні сканери чи температурно-градієнтні ІС, забезпечує підвищення чутливості до 30 разів без зростання складності схеми.

Висновки. У роботі запропоновано спосіб формування сигналу термосенсорних пристроїв на основі диференційного каскаду. Термосенсорні пристрої на перетворювачі такого типу забезпечують високу чутливість та можливість формування відліку відносно певного значення опорної температури. Проаналізовано роботу температурного перетворювача та його характеристики. Показано, що порівняно з традиційними термосенсорними ІС, вихід-

ний сигнал яких є функцією абсолютної температури, запропонований перетворювач забезпечує підвищення чутливості до 30 разів. У діапазоні кімнатних температур чутливість перетворювача становить $\approx 10\%$ на градус. Галузями застосування такого перетворювача є мікроелектронні сканери температур, температурні сенсори екзо- та ендотермічних біохімічних реакцій, температурно-градієнтні перетворювачі тощо.

1. Коровин Н.И. Приборы и системы управления, 1992. – №10. – С. 14–16.
2. Голубь Б.С. Измерение, контроль, автоматика, 1990. – №1. – С. 24–26. 3. Gotra Z.Yu., Golyaka R.L., Khalavka A.I. et al. // Journal of Electrical Engineering, 1997. – 48. – № 11–12. – P.307–311. 4. Gotra O., Stadnyk B., Golyaka R., Potencki J. Proceedings of the 22-nd Conference of IMAPS Poland, Zakopane, Oct. 1998. – Krakow, 1999. – P.175–178.

УДК 621.375.826

Г.А. Петровська, І.В. Демкович, Я.В. Бобицький
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра лазерної техніки та оптоелектронних систем

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМІЧНИХ СПОТВОРЕНЬ В ОПТИЧНИХ ЕЛЕМЕНТАХ ГАЗОВИХ ЛАЗЕРІВ

G.A. Petrovska, I.V. Demkovytsch, Y.V. Bobytski
Lviv Polytechnic National University,
chair of laser technic and optoelectronic systems

RESEARCH OF THERMAL DISTORTIONS IN OPTICAL ELEMENTS OF GAS LASERS

© Петровська Г.А, Демкович І.В, Бобицький Я.В., 2001

Розроблено програмне забезпечення для моделювання температурних полів та відповідних їм деформацій в оптичних елементах потужних лазерів, яке дає змогу враховувати довільні просторово-часові розподіли лазерного випромінювання, поверхневе та об'ємне поглинання у зразку, а також особливості тепловідведення від поверхонь оптичного елемента. Проведено теоретичні та експериментальні дослідження термічних спотворень у дзеркалах аргонних лазерів.

Software for simulation of temperature fields and strains in the high-power lasers optical elements was elaborated. It allows to take into account any spatially-temporary distributions of a laser radiation, surface and volumetric absorption in a sample and also features of a heat rejection from surfaces of a mirror. Theoretical and experimental researches of thermal distortions in mirrors of argon lasers are conducted.

Вступ. Одним із факторів, які необхідно враховувати при проектуванні потужних лазерів, є теплові ефекти в оптичних елементах, що виникають під дією потужного лазерного випромінювання. У газових лазерах такі ефекти зумовлені поглинанням в пасивних елементах резонатора (дзеркалах, вікнах Брюстера, призмах, еталонах Фабрі–Перо тощо.). Термічні спотворення в резонаторах призводять до погіршення енергетичних та просторово-часових характеристик випромінювання, зміни стійкості резонаторів і навіть до руйнування оптичних елементів [1].