

1. Filseth E. SPICE extention dynamically model thermal properties//ED. 1988. Vol.33. №8. P.169-180. 2. Маклауд Д. Программа PSPICE, версия 4 - новое крупное достижение в области смешанного моделирования // Электроника. 1988. №26. С.81-82. 3. Соклофф С. Аналоговые интегральные схемы/Пер. с англ. М., 1988.

УДК 621.382

О.З.Готра, В.Каліта*

ДУ “Львівська політехніка”, кафедра інформаційно-вимірювальної техніки
*Жешувська політехніка, кафедра електронних систем

ВИСОКОЧУТЛИВІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ДЛЯ ОДНОКРИСТАЛЬНИХ ТЕРМОСЕНСОРНИХ ІНТЕГРАЛЬНИХ СХЕМ

© О.З.Готра, В.Каліта, 2000

Аналізуються схеми термосенсорних пристроїв з експоненційною характеристикою перетворення. Виготовлені у вигляді однокристальних біполярних ІС, дані пристрої дозволяють отримати гранично високу чутливість в околицях опорної температури при мінімальних структурних затратах. В основі функціонування запропонованих ІС покладено принцип вимірювання та подальшого перетворення струму через прямозміщений рп-перехід при фіксації на ньому заданої напруги, що визначає опорну точку вимірювання температури. Сфера застосування ІС – системи керування термостатами, елементи захисту від перегріву, протипожежна сигналізація.

The circuits of thermosensitive devices with exponential transduction characteristic are analysed. Made as single-chip bipolar IC these devices allow to receive maximum sensitivity in the range of reference temperature at minimum structure expenditures. The functioning of proposed IC is based on principle of measuring and further transduction of current through direct biased p-n-junction at fixation on it the defined voltage which determines the reference point of temperature measuring. IC can be used in systems of thermostat controlling, elements of overheating protection, fire-prevention signalling.

Вступ

Одним із напрямків розвитку сучасної термометрії є створення однокристальних термосенсорних ІС з пороговою характеристикою перемикавання. Серед них – серія функціонально завершених пристроїв регулювання температури Е20, ТС620 фірми Elmwood. За допомогою зовнішніх резисторів в таких ІС можна встановити температуру переходу схем із замкненого в розімкнений стан, і тим самим задати температуру стабілізації або температуру аварійного вимикання об'єкта контролю [1].

У цій роботі аналізується проблема формування проміжної між лінійною та пороговою характеристиками перетворення, що дозволяє поєднати функції як вимірювання температури, так і формування релейного режиму перетворювача. Як функція перетворення

вибрано експоненційну залежність. Далі буде показано, що це зумовлено можливістю мінімізувати структурні затрати в термосенсорних ІС.

Принцип перетворення

Температурна характеристика вихідного сигналу формується значенням струму через р-n-перехід при заданій на ньому напрузі. Оскільки із схемотехнічного погляду зміна струму через р-n-перехід у мікропотужних ІС є доцільною лише в певних межах, зокрема $\backslash(0.5-50)\mu\text{кА}$, типова величина діапазону вимірювання знаходиться в межах $T_0 \pm 10^\circ\text{C}$, а при зміні опорної температури T_0 передбачається відповідна корекція опорної напруги на р-n-переході. Можливі варіанти реалізації термосенсорних ІС такої групи наведені на рис.1. Схеми відрізняються за способами формування напруги на р-n-переході та подальшого перетворення у вихідний сигнал.

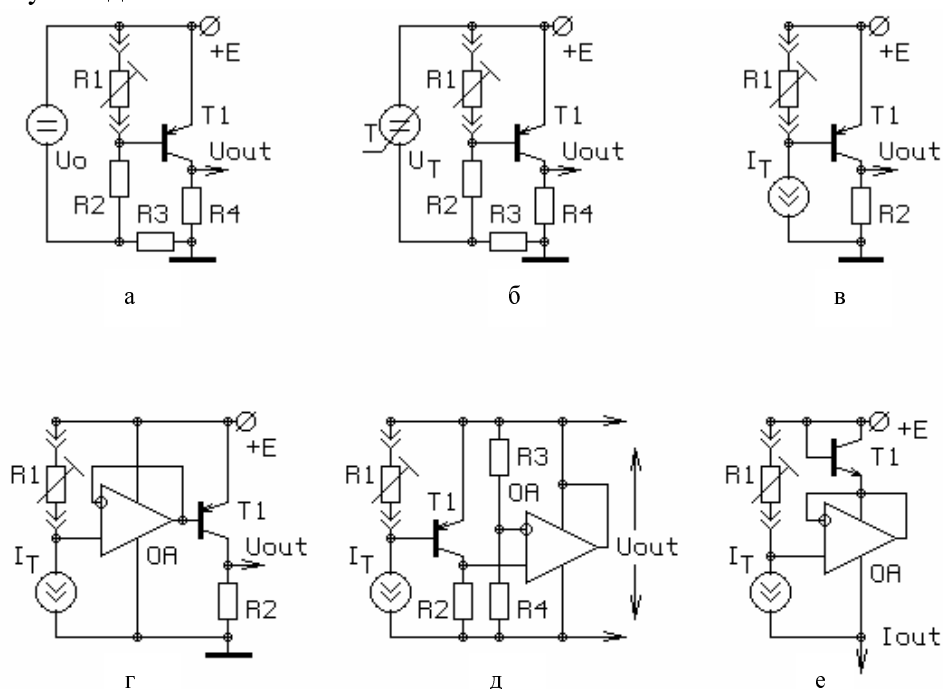


Рис.1. Структури термосенсорних ІС з експоненційною характеристикою

Розглянемо характеристику перетворення першої із наведених схем (рис.1,а). Визначимо залежність нормованого значення струму через р-n-перехід від температури $Y_0 = I(T)/I(T_0)$, де $I(T)$, $I(T_0)$ – струм через р-n-перехід відповідно при температурі вимірювання T та опорній температурі T_0 . Для цього, використавши рівняння прямої ВАХ р-n-переходу

$$I = I_s \exp \frac{U_{pn} q}{kT},$$

$$I_s = C T^\theta \exp \left(- \frac{E_{G0} q}{kT} \right),$$

де I , U_{pn} – струм через р-n-перехід та відповідно напруга на ньому; I_s – струм насичення; C – константа; E_{G0} – ширина забороненої зони напівпровідника при $T=0$; k – стала Больцмана; q – заряд електрона; T – абсолютна температура; θ – коефіцієнт, що враховує нелінійність температурної залежності ВАХ, запишемо систему:

$$\begin{cases} I(T) = CT^\theta \exp\left[\frac{q}{kT}(U_T - E_{G0})\right], \\ I(T_0) = CT_0^\theta \exp\left[\frac{q}{kT_0}(U_{T0} - E_{G0})\right]. \end{cases}$$

Розділивши перше рівняння на друге при умові незалежності напруги на р-n-переході від температури $U_T = U_{T0} = U_0(R_1/(R_1 + R_2))$, отримаємо

$$Y_0 = \frac{I(T)}{I(T_0)} = \left(\frac{T}{T_0}\right)^\theta \exp\left[\frac{q}{k}(U_{T0} - E_{G0})\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)\right],$$

для відомого значення опорної температури T_0 визначається величина напруги U_{T0} , при якій струм через р-n-перехід $I(T_0)$ набуває значення:

$$I(T_0) = \sqrt{I_{\min} I_{\max}},$$

де I_{\min} , I_{\max} – відповідно мінімальне та максимальне значення струму через р-n-перехід.

У разі зміни опорної температури діапазон зміни струму через р-n-перехід повинен залишатись незмінним, що забезпечується відповідною корекцією опорної напруги:

$$U_{T0}(T_{i0}) = U_{T0} \frac{T_{i0}}{T_0} - E_{G0} \frac{T_{i0} - T_0}{T_{i0}} - \theta \frac{kT_{i0}}{q} \ln\left(\frac{T_{i0}}{T_0}\right).$$

Підвищити температурну залежність вихідного струму можна, замінивши джерело U_0 на температурно-кероване джерело U_T (рис.1,б). При цьому компонента з додатним ТКУ формується джерелом струму I_T з лінійною температурною залежністю. Отже, схема перетворювача спрощується до варіанта, наведеного на рис.1,в. Тоді відносний приріст струму становить:

$$Y_t = \left(\frac{T}{T_0}\right)^\theta \exp\left[\frac{q}{kT_0} \left(\frac{U_{T0}T - E_{G0}T_0}{T} - (U_{T0} - E_{G0})\right)\right].$$

Як впливає з даних розрахунку, при зміні температури на $\Delta T=10K$ приріст вихідного струму приблизно становить $Y_0 = 2.3$ та $Y_t = 4.9$ при відповідному зміщенні транзистора температурно-стабільною U_{T0} та температурно-залежною U_T напругами. Це відповідає крутості перетворення 9%/K та 17%/K для даних режимів зміщення. Порівняно з перетворювачами з лінійною характеристикою відносно абсолютної температури, для яких крутість перетворення при $T=300K$ становить 0.3 %/K, чутливість зростає відповідно у 30 та 60 разів.

Дослідження температурної характеристики

З метою дослідження залежності коефіцієнта перетворення термосенсорної ІС з експоненційною характеристикою введемо показник, який числово визначається як приріст логарифму вихідного сигналу. Для функцій Y_0 та Y_t цей показник відповідно становить:

$$\lambda_0 = \frac{d}{dT} \ln Y_0; \quad \lambda_t = \frac{d}{dT} \ln Y_t.$$

На рис.2 -4 наведено графіки температурних залежностей функцій Y_0 в лінійному масштабі (а), функцій Y_0 , Y_t в логарифмічному масштабі (б) та показників λ_0 , λ_t (в) відповідно для величин опорних температур 250K, 300K, 350K. Дані свідчать, що показники λ_0 , λ_t зменшуються з підвищенням температури, причому зміна λ_t є більшою, ніж λ_0 .

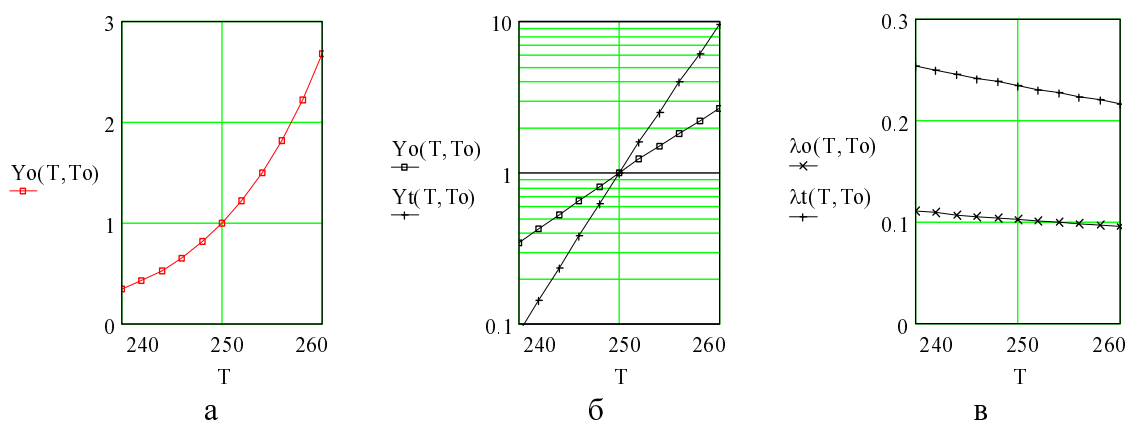


Рис. 2. Температурні залежності функцій Y_0 в лінійному масштабі (а), функцій Y_0, Y_t в логарифмічному масштабі (б) та показників λ_0, λ_t (в) при $T_0 = 250\text{K}$

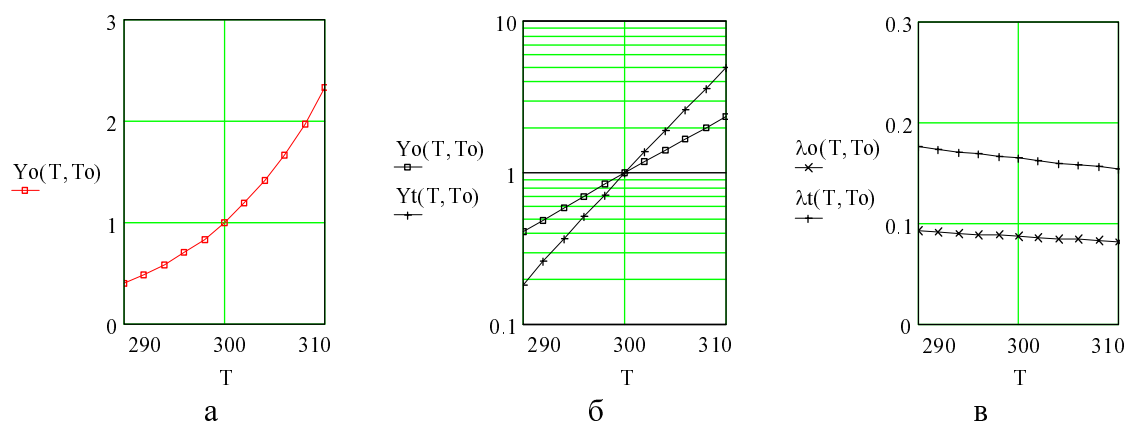


Рис. 3. Температурні залежності функцій Y_0 в лінійному масштабі (а), функцій Y_0, Y_t в логарифмічному масштабі (б) та показників λ_0, λ_t (в) при $T_0 = 300\text{K}$

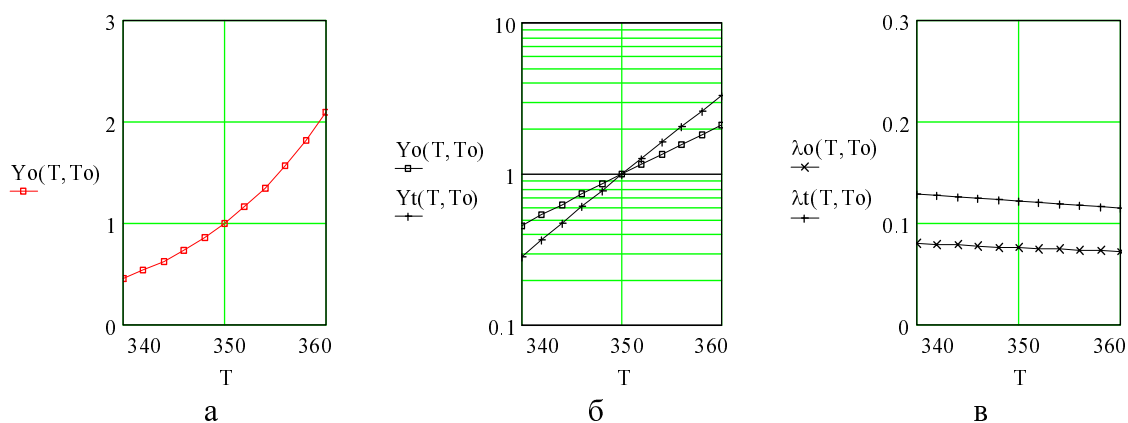


Рис. 4. Температурні залежності функцій Y_0 в лінійному масштабі (а), функцій Y_0, Y_t в логарифмічному масштабі (б) та показників λ_0, λ_t (в) при $T_0 = 350\text{K}$

Реалізація термосенсорних ІС

На рис. 1,г наведено можливий варіант реалізації термосенсорної ІС з експоненційною характеристикою (ТІСЕХ). Операційний підсилювач (ОП) ОА підтримує на емітерному р-п-переході T_1 напругу U_t , що запобігає впливу базового струму транзистора T_1 на цю напругу. Таке схемне рішення має недолік – високе значення вихідного імпедансу. Більш ефективні

рішення структурної реалізації TICEX наведено на рис.1,д,б. Ці схеми побудовані за принципом поєднання сигнальних шин та шин живлення [2].

Перша з них є температурно-керованим джерелом напруги

$$U_{out} = \frac{R_3 + R_4}{R_4} R_2 I(T)$$

з крутістю перетворення Y_t . Приймаючи, що в колі живлення схема навантажена на резистор (режим живлення ІС без резистора навантаження є недопустимим), принцип вторинного перетворення сигналу полягає в адекватній до напруги $R_2 I(T)$ зміні напруги на клеммах живлення ІС, що забезпечується керуванням операційним підсилювачем струму в колі живлення. Як відзначалось, такий принцип вторинного перетворення використано в термосенсорах ІС типу STP35 (Texas Instruments). Однак детальніший аналіз показує, що формування температурно-керованої напруги на виходах живлення ІС з експоненційною характеристикою перетворення не має достатньої ефективності. Це пояснюється неможливістю забезпечити нормальне функціонування компонентів ІС – джерела опорного струму, операційного підсилювача тощо при прямуванні до нуля напруги на виходах живлення ІС. Отже, існує обмеження U_{out} на нижній межі діапазону, яка становить величину не менше 3В. Формування експоненційної характеристики відносно $(U_{out})_{min} = 3В$ пов'язано з використанням джерел живлення з підвищеними значеннями напруги. Це призводить до збільшення розсіювальної потужності в термосенсорній ІС, що є недопустимо та не відповідає вимогам до низьковольтних джерел живлення сучасної електроніки.

Проблему розв'язують завдяки використанню двополярних джерел живлення з $U(E) = (U_{out})_{min}$ або під'єднанням термосенсорної ІС до плюсового виводу живлення $E+$ з формуванням характеристики типу $U = U(E+) - U_{out}$. Однак в останньому варіанті вихідна напруга спадає з ростом температури, а її значення визначається напругою живлення, що накладає додаткові вимоги до стабілізації кола живлення пристрою.

Значно ефективніше розв'язує проблему живлення TICEX застосування схеми з формуванням вихідного сигналу у вигляді струму в колі живлення $I_{out} = I_t + I(T)$. Перша компонента I_t має лінійну температурну залежність, друга – експоненційну. Реалізація такого способу перетворення розкрита у схемі рис.1,е. Перетворення відбувається на р-n-переході, що включений в колі живлення системи. ОП формує струм через р-n-перехід, величина якого зумовлює падіння напруги $U_{ев}(T_1) = I_t R_1$. Умовою нормального функціонування схеми є мінімальна величина струму через емітерний перехід T_1 не менше струму живлення ОП та інших видів ІС. При виконанні цієї умови та умови $I_t \ll I(T)$ ОП формує вихідний струм $I_{out} \cong I(T)$. Орієнтовні значення окремих складових становлять $I_t = (5 \div 10)$ мкА, $I(T) = (10 \dots 500)$ мкА. Залежно від умов тепловідводу від термосенсорної ІС та вимог до температурного впливу ІС на середовище вимірювання верхня межа $I(T)$ може змінюватись. Відзначимо, що хоч вимога до мінімальної напруги живлення термосенсорної ІС зі струмовим виходом (рис.1,б) аналогічна до ІС з виходом по напрузі (рис.1,д), формування вихідного сигналу першої з них має істотні переваги. Так, ІС зі струмовим виходом, що під'єднана до плюсової шини живлення та через резистор навантаження R_{out} до нульової шини, дозволяє формувати вихідну напругу в діапазоні $R_{out}(I_{out})_{min} \dots (U(E+) - (U_{out})_{min})$. При $I_{out} = (25 \dots 1000)$ мкА, $R_{out} = 2К$ вихідна напруга знаходиться в межах $(0.05 \dots 2)$ В. Для мінімально допустимої величини напруги на виводах живлення ІС $(U_{out})_{min} = 3В$ достатньо використати однополярне джерело живлення 5В.

Висновки

Розглянуто метод формування в термосенсорних ІС експоненційної характеристики перетворення. Досліджено залежність функції перетворення при заданих величинах опорної температури та діапазону вимірювання. Метод полягає у формуванні та подальшому перетворенні струму через прямозміщений р-п-перехід при фіксації на ньому температурно-незалежної напруги, або, з метою підвищення чутливості, – напруги з лінійною температурною залежністю. Крутість перетворення термосенсорних ІС становить відповідно 9%/К та 17%/К. Відрізняючись мінімальними структурними затратами, мінімальним енергоспоживанням та можливістю працювати з низьковольтним джерелом живлення, розроблені ІС можуть знайти широке застосування в сучасних системах керування термостатами, елементами захисту від перегріву, протипожежній сигналізації тощо.

1. Solid-state temperature sensors share housing with their support circuitry // Sensors.- 1992.-9, №8.-Р.8. 2. Готра З.Ю., Голяка Р.Л., Морозов Ю.В., Чапля Є.Я. Вторинні перетворювачі сенсорних ІС з живленням по сигнальній шині // Препринт №6-96 ЦММ ІППММ ім.Підстригача НАН України. 1996. 39с.

УДК 621.382

Waldemar Wojcik, Andrzej Smolarz, Andrzej Kotyra
Technical University of Lublin, Faculty of Electrical Engineering

APPLICATION OF FINITE ELEMENTS METHOD FOR OPTIMISATION OF OPTICAL FIBRE PROBE DESIGNED TO OPERATE IN HARSH CONDITIONS

© Waldemar Wojcik, Andrzej Smolarz, Andrzej Kotyra, 2000

In the work we describe the process of design of fibre-optic probe for the flame monitoring system by method of finite elements. Probe made according to the design has successfully passed tests made in industrial boiler OP650.

Описано процес розробки волоконно-оптичного зонду для систем моніторингу полум'я методом скінченних елементів. Виготовлений зонд успішно пройшов випробування в промисловому бойлері OP650.

1. Introduction

Burning of pulverised coal in power boilers produce important emission of pollution into atmosphere. In order to reduce it the combustion process was modified. The so called stage combustion was introduced, considerably decreasing NO_x emission. Installation of new generation, low-emission burners is the basic way to implement this method of combustion. In case of such burners combustion proceeds with an air deficiency in the first zones of the flame, what results in temperature decrease (comparing with older burners) preventing synthesis of the so called thermal NO_x. The combustion is incomplete. Then, in further zones of the flame, excess air is being supplied allowing completion of oxidation process i.e. full combustion. In such an organisation of combustion process the amount of unburned particles rises what means losses in combustion