Моделювання Термометричної Характеристики Термісторів

Роман Малачівський
кафедра прикладної математики
Національний університет «Львівська політехніка»
Львів, Україна
Roman.Malachivsky@gmail.com

Modeling of Thermometric Characteristics of Thermistors

Roman Malachivskyi
dept. of Applied Mathematics
Lviv Polytechnic National University
Lviv, Ukraine
Roman.Malachivsky@gmail.com

***Анотація*—Для моделювання термометричної характеристики термісторів запропоновано використання мінімаксного (чебишовського) наближення раціональним виразом. Раціональні моделі термометричної характеристики термісторів забезпечують вищу точність відтворення температури в порівнянні з поліноміальними моделями. Перевагу раціональних моделей проілюстровано на реальних результатах калібрування термометричної характеристики термістора.**

Раціональні моделі термометричної характеристики термісторів забезпечують також задовільну часову стабільність відтворення температури.

***Abstract*—To model the thermometric characteristic of thermistors, it is proposed to utilize minimax (Chebyshev) approximation by rational expression. Rational models of thermometric characteristic of thermistors provide higher accuracy in reproducing temperature compared to polynomial models. The advantage of rational models is illustrated based on real calibration results of the thermometric characteristic of a thermistor.**

Rational models of thermometric characteristic of thermistors also ensure satisfactory temporal stability in temperature reproduction.

Ключові слова—термістор, термометрична характеристика, часова стабільність, метод найменших квадратів, мінімаксне (чебишовське) наближення, раціональний вираз

Keywords—thermistor, thermometric characteristic, temporal stability, least squares method, minimax (Chebyshev) approximation, rational expression

I. Вступ

Термістор – це напівпровідниковий резистор, який використовують для вимірювання температури в діапазоні від – 80ºС до +300ºС [1, 2]. У порівнянні з металічними сенсорами термістори характеризуються високою чутливістю, кращою стійкістю до механічних ударів і вібрації, невеликими розмірами й невисокою вартістю. Технологічна простота виготовлення засобів вимірювання температури з використанням термісторів і їхня висока роздільна здатність сприяє зростанню їхнього застосування [1. 2]. Водночас зростає попит на застосування термісторів для більш точного вимірювання температури [1, 3]. Зараз доступні термістори для температурних діапазонів у межах від – 20°С до 60°С зі стабільністю в кілька десятих мілікельвіна на рік [3], а забезпечувана точність вимірювання температури наближається до точності платинових термометрів. Проте застосування термісторів для вимірювання температури з високою точністю ускладнюється суттєвою нелінійністю їхніх термометричних характеристик, що зумовлює відповідні вимоги щодо їхнього калібрування. Для опису термометричних характеристик термісторів використовують моделі, значення параметрів яких обчислюють за методом найменших квадратів [1, 2]. У цій праці для побудови моделей термометричної характеристики термісторів пропонується використання мінімаксного (чебишовського) наближення раціональним виразом.

II. Побудова моделей термометричної характеристики термісторів

Для опису термометричної характеристики термісторів використовують узагальнення моделі Стейнхарта-Харта [1, 2]

$$\frac{1}{T} = \sum_{i=0}^{n} c_i \, ln\left(\frac{R}{R_0}\right)^i, \qquad (1)$$

де R_0 – технічно зручний еталонний опір, а c_i, $i = \overline{1, n}$ – невідомі параметри, які обчислюються за результатами калібрування. Точність відтворення термометричної характеристики термістора досліджували на результатах калібрування термістора MEAS типу 46013 в діапазоні температур від 4.9939 ºС до 60.0836 ºС [1].

Модель (1) лінійно залежить від невідомих параметрів і для обчислення їхніх значень використовують метод найменших квадратів [1, 2]. Отримані в праці [1] моделі термометричної характеристики вигляду (1) при $n = 4$ з використанням методу найменших квадратів відтворюють значення температури в досліджуваному діапазоні з абсолютною похибкою 0,00086°К за даними калібрування за травень 2014 р. і з похибкою 0,0015°К – за даними калібрування за лютий 2015 р.

В праці [3] для обчислення параметрів моделі термометричної характеристики термістора використали мінімаксне наближення. Отримана в [3] модель вигляду (1) при $n = 3$

$$T_{3,14} = 1/Q_{3,14}(x), \qquad x = ln(R_T/R_s), \qquad (2)$$

де

$$Q_{3,14}(x) = 5.78216036867_{10}{}^{-8} x^3 + 2.2566107516_{10}{}^{-6} x^2 + \\ + 2.5652396097358_{10}{}^{-4} x + 3.3543783803395_{10}{}^{-3},$$

відтворює дані калібрування за травень 2014 з абсолютною похибкою 0.00064°К, а модель для даних за лютий 2015

$$T_{3,15} = 1/Q_{3,15}(x), \qquad (3)$$

де

$$Q_{3,15}(x) = 5.95286858_{10}{}^{-8} x^3 + 2.26833814569_{10}{}^{-6} x^2 + \\ + 2.565282293_{10}{}^{-4} x + 3.354376775_{10}{}^{-3},$$

забезпечує абсолютну похибку відтворення температури – 0.00087°К.

Моделі (2) і (3) підтверджують, що використання мінімаксного наближення для обчислення параметрів моделей термометричної характеристики термістора в порівнянні з методом найменших квадратів забезпечило вищу точність відтворення температури в досліджуваному діапазоні при меншій кількості параметрів.

Точність відтворення температури в досліджуваному діапазоні можна підвищити, використовуючи для моделювання термометричних характеристик термістора раціональні вирази. Для даних калібрування за травень 2014 р. [1] отримано модель

$$T_{14}(x) = \frac{4268.786635 - 28.33192273x - 0.7000487623x^2}{14.31912375 + x},$$

яка забезпечує відтворення температури з абсолютною похибкою 0.00062°К, а для даних калібрування за лютий 2015 р. модель

$$T_{15}(x) = \frac{4290.5196966 - 30.00166194x - 0.58919341176x^2}{14.392028456 + x},$$

яка забезпечує відтворення температури з абсолютною похибкою 0.00073°К. В цих моделях $x = ln(R_T/R_s)$. Значення параметрів моделей $T_{14}(x)$ і $T_{15}(x)$ обчислено за методом мінімаксного наближення раціональним виразом, описаним в праці [4].

Моделі $T_{14}(x)$ і $T_{15}(x)$ термометричних характеристик забезпечують задовільну часову стабільність термістора при вимірюванні температури. Максимальне значення розбіжності між значеннями моделей $T_{14}(x)$ і $T_{15}(x)$ термометричної характеристики досліджуваного термістора становить 1.3 $[mK]$.

Отже, результати проведеного дослідження підтверджують доцільність використання мінімаксного наближення раціональним виразом для обчислення параметрів моделей термометричної характеристики термісторів.

Література References

[1] Steffen Rudtsch, Christoph von Rohden, “Calibration and self-validation of thermistors for high-precision temperature measurements,” Measurement: Journal of the International Measurement Confederation, 2015, 76, pp. 1–6.

[2] V. F. Mitin et al., "Nanocrystalline SiC Film thermistors for cryogenic applications," Review of Scientific Instruments. Vol. 89, no. 2, Feb 2018, pp. 025004-1–025004-5. https://doi.org/10.1063/1.5024505

[3] Р. П. Малачівський, Р. А. Бунь, О. В. Шевчук, “Апроксимація термометричної характеристки термісторів,” Комп'ютерні технології друкарства, no. 2(50), 2023. С. 91-100.

[4] P. S. Malachivskyy, Y. V Pizyur, R. P. Malachivskyi, “Chebyshev approximation by a rational expression for functions of many variables,” Cybernetics and Systems Analysis, Vol. 56. no. 5, 2020. pp. 811-819. https://doi.org/10.1007/s10559-020-00302-0