

УДК 536.531:004.855.5 (043.3)

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНИХ ВИМІРЮВАНЬ МЕТОДАМИ DATA MINING

І.С. Зубрецька, аспірант,
Д.О. Дубовицький, магістр,
Г.І. Войченко, к.т.н., доц.,

Київський національний університет технологій та дизайну

Ключові слова: вимірювання температури, градувальні характеристики термістори, нейронні мережі, нечіткі функції приналежності.

При температурних вимірюваннях в нафтовій, газовій, харчовій, фармацевтичній промисловості, в медичній і автомобільній техніці, побутовій і промисловій електроніці широкого використання в якості чутливих елементів засобів вимірювальної техніки набули NTC-термістори – терморезистори з негативним температурним коефіцієнтом опору, які характеризуються високою чутливістю, малою інерційністю, стійкістю до хімічних і механічних впливів, компактністю, високим електричним опором і відносно низькою вартістю [1]. Однак застосування NTC-термісторів обмежується нелінійністю температурної залежності опору від температури і значним розкидом характеристик. Це обумовлює необхідність нормування функції перетворення та компенсації нелінійності (лінеаризації) індивідуальних градувальних характеристик (ГХ) у робочому діапазоні температур для підвищення точності їх апроксимації та зменшення систематичної складової похибки вимірювання температури [2].

Вирішення цього завдання класичним методом Стейнхарта і Харта [3] з використанням поліноміальної моделі третього порядку має суттєвий недолік – похибка градування датчика залежить від вибору трьох вузлових інтерполяційних точок з інтервалом не менше 10 °С для знаходження параметрів моделі на окремих ділянках робочого діапазону температур. Альтернативним способом компенсації нелінійності передавальної функції NTC-термісторів є використання методів інтелектуального аналізу даних – Data Mining. Аналіз методів, моделей і нормативних документів у цій області показав, що застосування адаптивних і стійких непараметричних методів інтелектуальної обробки вимірювальної інформації, основними з яких є штучні нейронні мережі (НМ) та нечітке логічне моделювання, дозволить підвищити точність побудови ГХ первинних перетворювачів температури [4]. В основу теорії цих підходів покладені теореми існування, Хехт-Нільсена, Коско і Ванга, відповідно до яких можна із заданою точністю апроксимувати будь-яку одновимірну або багатовимірну залежність виду «вхід–вихід».

Оцінку точності результатів моделювання на основі поліноміальної та нейромережної апроксимації функції перетворення NTC-термістора, а також апроксимації з використанням нечітких функцій приналежності здійснювали за критеріями середньоквадратичної MSE (Mean Squared Error) і відносної MPE (Mean Percentage Error) похибки. Показано, що апроксимація на основі НМ і нечітких функцій приналежності є точнішою порівняно з поліноміальною

апроксимацією, оскільки значення MSE і MPE та їх стандартні відхилення для розроблених непараметричних моделей менше, ніж для параметричної моделі Стейнхарта-Харта і поліноміальних моделей інших порядків. Проведений статистичний аналіз результатів нейромережного моделювання показав, що найкращу апроксимацію R/T -характеристики отримано на основі персептронів з використанням алгоритму навчання Back Propagation.

Аналіз властивостей різних видів НМ дозволив зробити припущення про підвищення точності побудови ГХ NTC-термісторів у робочому діапазоні температур можливо на основі радіально-базисних НМ, оскільки для рівномірної апроксимації будь-якої неперервної функції на компактному безлічі значень може бути використано сімейство RBF-мереж. В результаті комплексних експериментальних досліджень передавальних функцій NTC-термісторів в робочому діапазоні температур з використанням кліматичної камери КРК 400 з робочим температурним режимом від -80 до 185°C , системи збору і обробки даних Agilent 34970A, NTC-термісторів Agilent T10 До і TDK B57861S з похибкою $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$, номінальним опором $10\ \text{Om}$ при температурі 25°C і опорного термометра опору Pt100 з похибкою $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$. У результаті експериментальних досліджень запропоновано методику проведення випробувань і автоматичного збору вимірювальної інформації по величинам електричного опору NTC-термісторів і температури об'єкта вимірювання.

У результаті обчислювальних експериментів розроблена методика обробки вимірювальної інформації з використанням RBF-мереж і обґрунтовано доцільність їх використання при тестуванні програмного забезпечення засобів вимірювальної техніки і автоматизації процедур побудови індивідуальних ГХ і періодичного калібрування NTC-термісторів [5].

Список використаних джерел

1. ГСИ. Термопреобразователи сопротивления из платины, меди и никеля. Общие технические требования и методы испытаний: ГОСТ 6651-2009. [Введен 2011-01-01]. М.: Стандартинформ, 2011. 27 с.
2. Семенов Л. А., Сирая Т. Н. Методы построения градуировочных характеристик средств измерения. М.: Изд-во стандартов, 1986. 128 с.
3. John S. Steinhart, Stanley R. Hart, Calibration curves for thermistors, Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts, Vol. 15, Issue 4, August 1968, P. 497-503.
4. Запорожец О. В., Овчарова Т. А., Руженцев И. В. Компенсация нелинейности полупроводникового терморезистора с помощью искусственной нейронной сети // Системи обробки інформації. №6(131). 2015. С. 64–67.
5. Федин С. С., Зубрецькая И. С., Поликарпов А. А. Обеспечение точности построения градуировочных характеристик NTC-термисторов на основе нейронных сетей с радиальными базисными функциями // Метрологія та прилади. 2017. 1(63). С. 37–46.