

## КОРЕКЦІЯ ПОХИБОК ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ НЕЙРОННИМИ МЕРЕЖАМИ

Васильків Н.М.<sup>1)</sup>, Кочан В.В.<sup>2)</sup>, Обаль В.В.<sup>3)</sup>

*Тернопільський національний економічний університет*

<sup>1)</sup> к.т.н., доцент; <sup>2)</sup> к.т.н., професор; <sup>3)</sup> магістрант

### I. Постановка проблеми

Термопари та термоелектричні перетворювачі на їх базі – одні з найбільш широко вживаних давачів температури, їх популярність в значній мірі визначає конструктивна простота та невисока вартість при дуже широкому діапазоні вимірювання [1]. Однак похибки термопар, спричинені впливом на результат вимірювання температури вільних кінців, початковим відхиленням функції перетворення від номінальної, часовим дрейфом функції перетворення, набутою в процесі тривалої експлуатації термоелектричною неоднорідністю термоелектродів [1 - 3], а також нелінійність функції перетворення, вимагають застосування численних методів корекції, куди входять різноманітні функціональні перетворення. Виконання цих функціональних перетворень з допомогою типових засобів оброблення даних сучасних систем – 8-бітних мікроконтролерів – зумовлює певні труднощі через різноманіття використовуваних методів перетворення та обмежені ресурси мікроконтролерів. Тому уніфікація методів функціонального перетворення залишається актуальною задачею.

При корекції перелічених вище похибок термопар найчастіше під час функціонального перетворення використовують функції наступного виду – поліноми різного порядку (від 2 до 12), експоненти, дробово-раціональні функції різного порядку (від 1 до 4), сплайни різного виду тощо [4]. Всі ці методи мають різну, зазвичай невелику, обчислювальну складність. Однак вони вимагають індивідуальних підпрограм, що ускладнює програмне забезпечення мікроконтролерів і суперечить принципам створення уніфікованого модульного програмного забезпечення.

### II. Мета роботи

Метою дослідження є оцінка можливості використання нейронних мереж перцептронного типу, як універсального методу функціонального перетворення в мікроконтролерних системах прецизійного вимірювання температури з допомогою термопар.

### III. Правила оброблення даних при отриманні значення вимірюваної температури

Оброблення вихідного коду аналого-цифрового перетворювача (АЦП) під час прецизійного вимірювання температури з допомогою термопар повинно передбачати наступні процедури:

- 1) цифрову фільтрацію для зменшення рівня шумів АЦП та залишкових завад нормального виду [4];
- 2) корекцію впливу на результат вимірювання температури вільних кінців термопар [5];
- 3) масштабне перетворення вихідного коду (приведення значень термо-е.р.с. до значень температури);
- 4) лінеаризацію функції перетворення термопари [5];
- 5) індивідуальну корекцію початкового відхилення функції перетворення термопари від номінальної;
- 6) індивідуальну корекцію часового дрейфу функції перетворення термопар [2];
- 7) індивідуальну корекцію набутої в процесі тривалої експлуатації термоелектричної неоднорідності електродів термопар [3];
- 8) обчислення індивідуальної похибки вимірювання каналу вимірювання температури [2].

Використання нейронних мереж для виконання перелічених процедур в більшості випадків надлишкове. Однак використання єдиної нейронної мережі мінімально достатньої конфігурації зі змінними ваговими коефіцієнтами і зміщеннями може забезпечити меншу похибку виконання перетворень або зменшити часову складність оброблення даних при заданій точності оброблення.

Для досягнення такого результату доцільно спочатку ввести наступні правила:

**А.** Перелічені вище процедури повинні виконуватися таким чином, щоб не втрачати точність при їх проведенні за рахунок збільшення похибки дискретності. Наприклад, термопари типу хромель-алюмель генерують при температурі робочого кінця 1000°C і близькій до нуля температурі вільних кінців термо-е.р.с. приблизно 40 мВ. Нехай використовується представлення чисел в 8-бітному мікроконтролері як двох байт (16 розрядів), тобто максимальне число 65536. При традиційному

масштабуванні отриману термо-е.р.с. ділять на 4 і отримують значення, близьке до значення вимірюваної температури (в десятках °С). При цьому похибка дискретності зростає в 4 рази і стає рівною 0,1°С, що досить багато з огляду на наступне використання цього значення при обробленні даних під час корекції перелічених вище похибок, зважаючи на необхідність отримати сумарну похибку вимірювання температури близько 1°С. Для зменшення впливу дискретності можна використати чотириохбайтне представлення чисел (long), однак це різко збільшує вимоги до оперативної пам'яті мікроконтролера та часову складність алгоритмів оброблення даних. Пропонується всі обчислення коригуючих поправок виконувати з врахуваннями того, що один біт результату перетворення становить 0,025°С, тобто збільшити їх в 4 рази. Через те, що дійсна термо-е.р.с. термопар типу хромель-алюмель дещо вища за 40 мВ, слід передбачити відповідну поправку. Тоді масштабування результату можна провести лише один раз, як кінцеву операцію, а під час оброблення результатів вплив похибки дискретності зменшиться в 4 рази.

**В.** Перелічені вище процедури оброблення даних повинні здебільшого виконуватися не шляхом прямого функціонального перетворення, а шляхом корекції, тобто сумування з основним кодом відповідних поправок. Тобто обчислення результату  $N_Y$  слід проводити не згідно формули  $N_Y = f(N_X)$  (де  $N_X$  – оброблювані дані), а згідно формули  $N_Y = N_X + \varphi(N_X)$ . В такому випадку похибки дискретності також менше впливають на результат вимірювання.

**С.** При використанні для оброблення даних формули  $N_Y = N_X + \varphi(N_X)$  функція перетворення  $\varphi$  може мати простіший вид, через те, що її похибки на результат оброблення впливають менше, особливо, якщо  $N_X \gg \varphi(N_X)$ , тоді похибки функції перетворення  $\varphi$  стають похибками другого порядку малості.

#### **IV. Нейронні мережі як універсальний метод функціонального перетворення**

Виконання при обробленні вихідного коду АЦП перелічених вище правил **А, В, С** відноситься також і до нейронних мереж, які виконують перелічені вище процедури 1-8. Аналіз (шляхом імітаційного моделювання) показав, що для реалізації цих процедур необхідним і достатнім є тришаровий персептрон, який має у прихованому шарі три нейрони із сигмоїдною функцією активації та один лінійний вихідний нейрон. Кількість вхідних розподільчих нейронів залежить від типу процедури. Аналіз показав, що у багатьох випадках (процедури 2 – 5) достатньо одного вхідного нейрона, а максимальна кількість вхідних нейронів для інших процедур не перевищує п'яти. В такому разі для процедур 2 – 5 сумарна кількість вагових коефіцієнтів і зміщень не перевищує 40, для решти процедур ця кількість не перевищує 80, тобто для їх зберігання потрібно 240 байт пам'яті програм.

При використанні нейронних мереж персептронного типу максимальну часову складність має обчислення сигмоїдної функції активації нейронів схованого шару. Зазвичай, для обчислення функції  $e^{-x}$  використовують ряд Тейлора [4]. Правило **С** дозволяє суттєво скоротити необхідну кількість членів ряду – імітаційне моделювання показало достатність в більшості випадків використання 5 членів ряду, лише при цифровій фільтрації необхідно 6 – 7 членів ряду.

#### **Висновок**

Як показали проведені дослідження, використання нейронних мереж персептронного типу, як універсального уніфікованого засобу функціонального перетворення, при розробленні засобів вимірювання температури термопарами має деякі переваги та дає змогу створення типового модульного програмного забезпечення відповідних приладів та систем.

#### **Список використаних джерел**

1. Вимірювання температури: теорія та практика / Я.Т.Луцик, О.П.Гук, О.І.Лях, Б.І.Стадник.–Львів:“Бескид Біт”, 2006.– 560с.
2. Саченко А.А. Разработка методов повышения точности и создание систем прецизионного измерения температуры для промышленных технологий: дис. ... доктора техн. наук : 05.11.16 / А.А. Саченко. – Ленинград, 1988. – 278 с.
3. Васильків Н.М. Підвищення точності вимірювання температури термопарами в процесі експлуатації: автореф. дис.на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.11.04 «Прилади та методи вимірювання теплових величин» / Н.М.Васильків. – Львів, 2011. – 20 с.
4. Обробка сигналів: підручник / В.П. Бабак, В.С. Хандецький, Е. Шрюфер. – К.: Либідь, 1996. – 392 с.
5. Белоусов И.А. Повышение точности многоканальных измерительных устройств с термоэлектрическими преобразователями: автореф. дис.. на соискание научн. степени канд. техн. наук: спец. 05.11.05 «Методы и средства измерения электрических и магнитных величин» / И.А. Белоусов - Львов, 1991. – 20 с.