

УДК 006.91

Ю.М. Туз, О.В. Козир, А.В. Порхун

НТУУ «Київський політехнічний інститут», Київ

СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕРМОПАР ЗА ДОПОМОГОЮ РАДІОІМПУЛЬСУ СТРУМУ

В статті проаналізовано існуючі методи ідентифікації динамічних характеристик термопар. Запропоновано метод експериментального визначення динамічних характеристик термопар, який полягає в створенні ступінчатого тестового впливу на чутливий елемент термопар, за рахунок пропускання радіоімпульсу струму через термопару і в паралельній реєстрації його перехідної характеристики. Приведено схему тестового обладнання, характеристики вихідного сигналу та результати виконаних випробувань.

Ключові слова: термопара, динамічні характеристики, передавальна функція, радіоімпульс струму, термоЕРС, вимірювання температури, нестационарна температура, LabVIEW.

Вступ

Постановка проблеми. Вимірювання нестационарних температур в більшості випадків проводять за допомогою контактних засобів вимірювання, серед яких найпоширенішими є термопар, завдяки їх високій точності вимірювання, простоті конструкції та легкості використання [1].

Для вимірювання нестационарних температур (наприклад, коротких теплових імпульсів при вибухах, температури полум'я) термопара повинна відповідати вимогам міцності, внаслідок великих значень імпульсів тиску і високих температур, що накладає вимоги на геометричні параметри термопар і матеріал, з якого вона повинна бути виготовлена. Збільшення маси чутливого елемента термопар збільшує її теплову інерцію, що в свою чергу впливає на точність вимірювання нестационарних температур і обмежує область застосування термопар.

Тому визначення динамічних характеристик термопар є важливим з точки зору розуміння складних термодинамічних процесів, розширення сфери їх застосування і підвищення точності вимірювання нестационарних температур. Також дані про динамічні характеристики можуть бути використані для моніторингу в реальному часі процесів старіння термопар на місці експлуатації, без необхідності демонтажу.

Аналіз останніх досягнень та публікацій. Існує декілька способів створення стрибкоподібного впливу температури на термопару. Найбільш відомі – це створення стрибку температури на чутливому елементі за рахунок використання зовнішніх теплових джерел. Так звані випробування із зануренням, полягають в зануренні термоперетворювача із повітря в потік рідини [2], або почергове омивання чутливого елемента спочатку холодною, а потім гарячою рідиною [3]. Іншим варіантом є використання газових потоків різної температури з стрибкоподібним переміщенням термоперетворювача з одного шару в інший [4]. Незважаючи на те що ці способи відносяться

до прямих і дозволяють наблизитись до реальних умов вимірювання, їх застосування пов'язане з труднощами конструктивного характеру та в створенні стрибкоподібного впливу на термопару. Також ці способи обмежені по амплітуді стрибку температури і не можуть бути використані для високотемпературних термопар. Також стрибок температури може бути створений за рахунок внутрішнього розігріву чутливого елемента термопар. В [5] розігрів термопар здійснювався змінним, а в [6] постійним струмом з наступною реєстрацією електрорушійної сили (ЕРС) після вимикання струму. В подальшому на основі спадної перехідної характеристики визначається стала часу термопар, модель якої представляється у вигляді аперіодичної ланки першого порядку. При аналізі тільки спадної перехідної характеристики при знеструмленій термопарі виключає вплив термоелектричних ефектів (Пельть'є, Томсона) при розігріві постійним струмом, змінної складової на змінному струмі, що є перевагами цих методів. Динамічні характеристики термопар відрізняються при спаді температури і при її наростанні. Тому описані методи дають неповний опис динамічних характеристик.

Мета статті. В даній роботі пропонується спосіб визначення динамічних характеристик термопар за рахунок пропускання через термопару радіоімпульсу струму і паралельній реєстрації термоЕРС, яка виникає на вільних кінцях термопар. Ширина радіоімпульсу збільшується до досягнення вихідним сигналом термопар, який безперервно реєструється, в тому числі і після закінчення дії імпульсу, усталених максимального і мінімального значень.

Викладення основного матеріалу

Серед динамічних характеристик, таких як диференційні рівняння, амплітудо- і фазо-частотних, перехідних та імпульсно-перехідних характеристик, найбільш придатними при експериментальних випробувань термопарних перетворювачів є передавальна функція:

$$W(p) = E(p)/\Theta(p),$$

де в операторній формі і за нульових початкових умов представлено: $W(p)$ - передавальна функція термопар; $E(p)$ - вихідний сигнал термопар – термоелектрорушійна сила (термоЕРС); $\Theta(p)$ - вхідний сигнал – температура, оригінал якої є стрибок температури необмежений в часі. На практиці замість необмеженого в часі стрибка температури використовують стрибок скінченної тривалості, при умові, що стала часу термопарі набагато менша тривалості стрибка.

Використання радіоімпульсу струму дозволяє позбутись ефекту Пельтьє, який виникає на злоти термопарі в залежності від напрямку протікання струму і дозволяє реєструвати перехідний процес термопарі для отримання передаточної функції. Радіоімпульс пропускають через термопару періодично з постійним збільшенням тривалості і амплітуди радіоімпульсу. Після досягнення термопарою стану рівноваги, визначають динамічні характеристики термопарі з отриманих діаграм залежності термоЕРС від часу.

Періодичність пропускання радіоімпульсу становить декілька хвилин, що дозволяє позбутись передісторії попередніх теплових станів в яких перебувала термопара і тим самим підвищити точність визначення динамічних характеристик. Тривалість пропускання струму через термопару варіюється в залежності від типу термопарі і може складати від декількох мілісекунд до десятків секунд, що потрібно для того щоб термопара досягла стаціонарного режиму.

Використання радіоімпульсу струму дає можливість виділити сигнал термоЕРС за рахунок рознесення частотним характеристикам радіоімпульсу струму і сигналу термоЕРС. Періодичне пропускання через термопару радіоімпульсу струму, із планомірним збільшенням тривалості дії радіоімпульсу, доки термопара не досягне стійкого стаціонарного стану рівноваги, а також безперервна реєстрація термоЕРС на кінцях термопарі на протязі всього дослідження, а після цього визначення динамічних характеристик термопарі з отриманих залежностей термоЕРС від часу дозволяє підвищити точність визначення динамічних характеристик термопар.

Спосіб визначення динамічних характеристик термопар реалізується наступним чином (рис. 1).

Спочатку встановлюють мінімальні значення тривалості дії радіоімпульсу і мінімальні та максимальні значення амплітуди струму, в залежності від типу термопарі, а також крок їх збільшення і кількість випробувань. Генератор радіоімпульсу приєднують до вільних кінців термопарі з паралельним приєднанням вимірювального каналу. Спочатку починається реєстрація сигналу термоЕРС, а через деякий проміжок часу вмикають генератор радіоімпульсу. Радіоімпульс струму проходить через дослі-

джувану термопару і розігріває злут тільки за рахунок ефекту Джоуля. На вільних кінцях термопарі виникає термоЕРС, яка разом з радіоімпульсом поступає у вимірювальний канал. Сигнал термоЕРС відділяється від радіоімпульсу фільтром нижніх частот, підсилюється і переводиться в цифровий код. Разом з реєстрацією сигналу термоЕРС відбувається потоковий запис отриманих даних в файл на ПК.

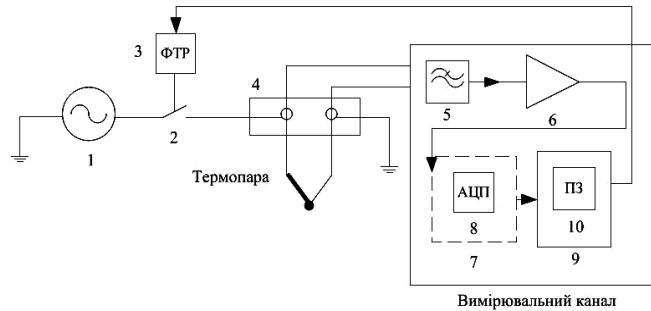


Рис. 1. Структурна схема визначення динамічних характеристик термопар:

1 – генератор радіоімпульсу струму; 2 – перемикач; 3 – формувач тривалості радіоімпульсу (ФТР); 4 – вхідний пристрій для кріплення вільних кінців досліджуваної термопарі; 5 – аналоговий фільтр нижніх частот, 6 – підсилювач сигналу термоЕРС; 7 – вимірювальний модуль; 8 – аналого-цифровий перетворювач (АЦП); 9 – ПК; 10 – програмне забезпечення (ПЗ)

Після припинення подачі струму на термопару продовжується реєстрація термоЕРС до повного охолодження термопарі. Процедура повторюється знову із збільшенням тривалості радіоімпульсу. Випробування повторюються доки термопара не досягне стаціонарного стану (рис. 2).

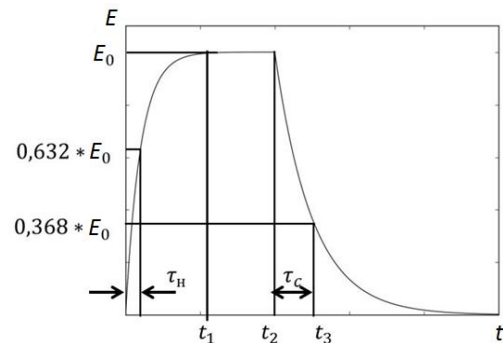


Рис. 2. Перехідний процес термопарі

Дана вимога є надзвичайно важливою оскільки тільки після досягнення термопарою стаціонарного стану можна перейти до визначення динамічних характеристик термопар, які в найпростішому випадку знаходяться з використанням рівнянь (1), де E_0 - термоЕРС термопарі в стаціонарному стані; τ_n - постійна часу по передньому фронту, τ_c - постійна часу по задньому фронту перехідного процесу термопарі (рис. 2). Експериментальні досліди проводились за допомогою обладнання компанії National Instruments і програмного забезпечення LabVIEW [7].

Результати, отримані при дослідженні різних типів термопар (рис. 3), дозволили підтвердити можливість застосування даного способу визначення динамічних характеристик термопар [8].

$$E(t) = \begin{cases} E_0(1 - e^{-t/\tau_H}) & t \leq t_1; \\ E_0 & t_1 < t \leq t_2; \\ E_0 e^{-t/\tau_c} & t > t_2, \end{cases} \quad (1)$$

$$\tau_H = t_3 - t_2.$$

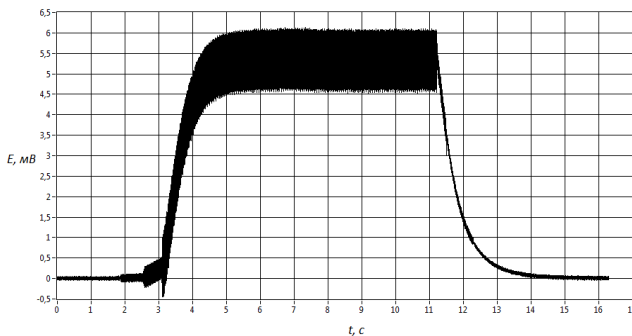


Рис. 3. Експериментальні дані, отримані при дослідженні термопар класу А1

Використання цього способу дозволяє більш точно визначати динамічні характеристики термопар, що в свою чергу дозволяє підвищити точність вимірювання нестационарних температур і розширити сферу застосування термопар.

Висновок

Використання запропонованого в статті способу дозволяє підвищити точність визначення динамічних характеристик термоперетворювачів, а як наслідок і точність вимірювання нестационарних температур, зменшити час проведення випробувань, вимагає використання мінімального набору інструментів, для проведення вимірювань і може бути

застосований як в лабораторних вимірюваннях, так і напряму на місці встановлення термопар.

Список літератури

1. Луцук Я.Т. Вимірювання температури: теорія і практика. / Я.Т. Луцук, О.П. Гук, О.І. Лах, Б.І. Стадник. – Львів: Видавництво «БескидБіт», 2006. – 560 с.
2. ГОСТ Р МЭК 62385-2012. Атомные станции. Контроль и управление, важные для безопасности. Методы оценки рабочих характеристик измерительных каналов систем безопасности [Текст]. – Введен 2013-06-01. – М.: Стандартинформ, 2013. – С. 28.
3. А. с. 909592 СССР, МКП³ G 01 K 15/00. Устройство для определения динамических и статических характеристик непогружаемых термоприемников [Текст] / В.Т. Стадник, Е.И. Фандеев, Г.А. Луцаев (СССР). – № 2970522/18-10; заявл. 30.07.80; опубл. 28.02.82, Бюл. № 8. – 4 с.
4. Пат. 95326 UA, МПК G01P 21/00 (2015.01) Способ прямого визначення динамічних характеристик термоперетворювачів [Текст] / Болонов М.І., Чуніс Д.А., Кузнецов Д.М.; заявник Донецький національний університет. – № у 2014 05589; заявл. 26.05.2014; опубл. 25.12.2014, Бюл. № 24, 2014.
5. Hashemian H.M. Maintenance of process instrumentation in nuclear power plants / H.M. Hashemian. – Springer, 2006. – 308 p.
6. Ідентифікація статичних та динамічних характеристик термоперетворювачів: автореф. дис ... канд. техн. наук: 05.11.04 / Столярчук Володимир Петрович. – Львів: Б.в., 2012. – 19 с.
7. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://ni.com>.
8. Туз Ю.М. Автоматизированная система идентификации динамических параметров термопар / Ю.М. Туз, О.В. Козырь, А.В. Порхун // «Инженерные и научные приложения на базе технологий NI NIDays-2015»: Сборник трудов XIV международной научно-практической конференции, Москва 27 ноября 2015 г. – М.: ДМК-пресс, 2015. С. 237-239.

Надійшла до редколегії 9.04.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. І.П. Захаров, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків.

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕРМОПАР С ПОМОЩЬЮ РАДИОИМПУЛЬСА ТОКА

Ю.М. Туз, О.В. Козырь, А.В. Порхун

В статье проанализировано существующие методы динамической идентификации термопар. Предложен метод экспериментального определения динамических характеристик термопар, который состоит в создании ступенчатого тестового воздействия на чувствительный элемент термопары за счет пропуска через нее радиоимпульса тока и в параллельном регистрировании его переходной характеристики. Приведена схема тестового оборудования, характеристики выходного сигнала и результаты проведенных исследований.

Ключевые слова: термопара, динамические характеристики, передаточная функция, радиоимпульс тока, термоЭДС, измерение температуры, нестационарная температура, LabVIEW.

A TECHNIQUE FOR DYNAMIC IDENTIFICATION OF THERMOCOUPLES BY MEANS OF RADIO PULSE CURRENT

Yu.M. Tuz, O.V. Kozyr, A.V. Porkhun

In this article the analysis of preset techniques for dynamic identification of thermocouples is expressed. The proposed technique includes step temperature changing in thermocouple input by means of cycling passing the radio pulse current through it until the steady state of thermocouple will be achieved with parallel transient response registration.

Keywords: thermocouple, dynamic response, transfer function, radio pulse current, thermoelectromotive force, transient temperature measurement.