

Stanowisko pomiarowe do badania par czujników temperatury liczników ciepła

mgr inż. Tadeusz Goszczyński
mgr inż. Elżbieta Jachczyk
doc. dr inż. Jacek Korytkowski
Przemysłowy Instytut Automatyki
i Pomiarów w Warszawie

Omówiono przeznaczenie komputerowego stanowiska do sprawdzania dokładności charakterystyk par czujników temperatury elektronicznych liczników ciepła. Podano wzory aproksymacyjne charakterystyk rezystancyjnych czujników temperatury i omówiono metodykę sprawdzania tych charakterystyk. Opisano konfigurację stanowiska oraz jego właściwości funkcjonalne. Omówiono funkcje komputerowego programu PARY realizującego procedurę przygotowania i wykonania na stanowisku badań par czujników temperatury liczników ciepła.

Wysoka cena energii cieplnej dostarczanej odbiorcom za pośrednictwem wody gorącej, zwanej popularnie ciepłem, oraz dążność do stworzenia motywacji do oszczędzania spowodowały wprowadzenie obowiązku instalowania u nowych odbiorców ciepła liczników ciepła wody – ciepłomierzy.

Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów w Warszawie opracowuje specjalizowaną aparaturę do sprawdzania ciepłomierzy: uniwersalny mikroprocesorowy tester TEC-300 [1, 2], laboratoryjne komputerowe stanowisko TEC-LEG do sprawdzania elektronicznych przeliczników ciepła [6], oraz modelowe laboratoryjne stanowisko pomiarowe KAL-401 do sprawdzania dokładności par rezystancyjnych czujników temperatury ciepłomierzy [3].

Należy podkreślić, że parowane rezystancyjne czujniki temperatury stanowią bardzo ważne elementy pomiarowe współczesnego elektronicznego ciepłomierza. Ciepłomierz taki składa się z następujących elementów: mikroprocesorowego przelicznika ciepła realizującego algorytm pomiaru wielkości wejściowych i wyliczenia energii cieplnej, tachometrycznego przetwornika przepływu wody oraz pary rezystancyjnych czujników pomiaru temperatury wody zasilania i temperatury wody powrotu.

Obecnie powszechnie stosuje się w ciepłomierzach selekcjonowane i odpowiednio dobierane w pary rezystancyjne czujniki temperatury typu Pt 100 [4] lub Pt 500, lub rzadziej Pt 1000. Pary rezystancyjnych czujników temperatury muszą podlegać badaniom w celu potwierdzenia, spełnienia odpowiednich wymagań, aby przy współpracy z przelicznikami ciepła zapewnić wymagane klasy dokładności pomiaru energii cieplnej całego układu pomiarowego ciepłomierza.

Komputerowe stanowisko KAL-401 umożliwi operatywne sprawdzanie par czujników temperatury ciepłomie-

rzy. Kryteria sprawdzania par czujników temperatury na stanowisku KAL-401 są zgodne z międzynarodowymi zaleceniami normalizacyjnymi OIML [5], projektem Normy Europejskiej dotyczącym ciepłomierzy (projekt niepublikowany, ale znany w postaci np. projektu Normy Niemieckiej DIN EN 1434-5) oraz zaleceniami GUM.

Zadania stanowiska i metoda badania par czujników

Para czujników ciepłomierza zawiera czujnik mierzący temperaturę wody zasilania i czujnik mierzący temperaturę wody powrotu w układzie pomiarowym licznika ciepła. Zadaniem tej pary czujników jest dostarczenie do elektronicznego przelicznika ciepła w celu zrealizowania jego algorytmu [5, 6] trzech informacji: o wartości bezwzględnej temperatury wody zasilania T_z , o wartości bezwzględnej temperatury wody powrotu T_p oraz o wartości różnicy tych temperatur D_T .

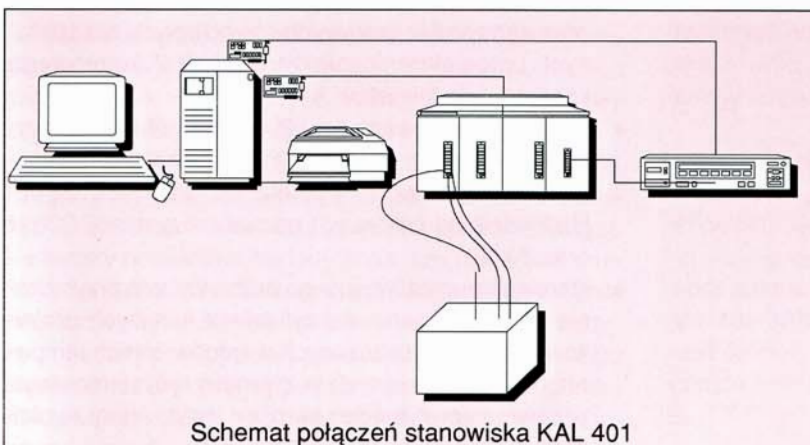
Głównym zadaniem komputerowego stanowiska KAL-401 jest sprawdzenie dla każdego czujnika ciepłomierza dokładności pomiaru wartości bezwzględnej temperatury w zakresie roboczym temperatur od minimalnej T_{min} do maksymalnej T_{max} oraz sprawdzenie dla każdej pary czujników dokładności pomiaru różnicy temperatur D_T w całym zakresie roboczym temperatur.

Wykonywanie tego zadania jest ułatwione dzięki następującym właściwościom funkcjonalnym stanowiska:

- umożliwianie dokładnego pomiaru rezystancji badanych czujników w trzech temperaturach;
- wyliczanie błędów pomiaru temperatury każdego czujnika w funkcji temperatury;
- wyliczanie błędów względnych pomiaru różnicy temperatur dla czujników zadeklarowanych

jako pary dla zadanych zakresów pomiarowych różnicy temperatury od minimalnego ($D_{min} = 3 \text{ }^\circ\text{C}$) do maksymalnego (D_{max});

- realizowanie wybranych programów pomiaru zestawu czujników;
- umożliwianie prezentacji wyników pomiarów na monitorze i drukowanie raportu z badania wraz z oceną błędów dla każdej pary czujników, a także zapamiętywanie na twardym dysku komputera wyników pomiarów w celu ewentualnego późniejszego wykorzystania.



Metoda sprawdzania charakterystyk rezystancyjnych platynowych czujników temperatury wykorzystuje wzór aproksymacyjny zależności rezystancji platyny od temperatury podany przez zalecenie normalizacyjne IEC 751 [4] w postaci:

$$r = R_0(1 + A T + B T^2). \quad (1)$$

gdzie: r – rezystancja idealnego czujnika platynowego
 R_0 , A , B – stałe dla idealnego czujnika platynowego, ich wartości podaje dokument [2]

T – temperatura w °C

Ze wzoru (1) wynika, że wystarczy dokonać trzech pomiarów $r_1^{(n)}$, $r_2^{(n)}$, $r_3^{(n)}$ wartości rezystancji dla n -tego czujnika w trzech różnych temperaturach T_1 , T_2 , T_3 , aby jednoznacznie określić stałe $R_0^{(n)}$, $A^{(n)}$ oraz $B^{(n)}$ równania aproksymacyjnego tego nieidealnego czujnika temperatury. Po wyliczeniu wartości tych stałych można następującym wzorem opisać równanie błędu bezwzględnego dla n -tego czujnika:

$$\delta = R_0^{(n)} - R_0 + (R_0^{(n)} A^{(n)} - R_0 A) T + (R_0^{(n)} B^{(n)} - R_0 B) T^2 \quad (2)$$

Po wyliczeniu wartości stałych równania aproksymacyjnego dla drugiego czujnika pary oznaczonego $n+1$ można następującym wzorem opisać równanie różnicy rezystancji czujników n oraz $n+1$ zadeklarowanych jako para czujników pomiarowych umieszczonych odpowiednio w temperaturach T_1 i T_2 :

$$\Delta = R_0^{(n)} - R_0^{(n+1)} + R_0^{(n)} A^{(n)} T_1 - R_0^{(n+1)} A^{(n+1)} T_2 + R_0^{(n)} B^{(n)} T_1^2 - R_0^{(n+1)} B^{(n+1)} T_2^2. \quad (3)$$

Wyprowadzone wzory (2) oraz (3) wykorzystuje program komputerowy stanowiska w celu wyliczenia i sprawdzenia czy określone egzemplarze czujników zadeklarowane jako para czujników spełniają odpowiednie wymagania dokładności w całym zakresie charakterystyki roboczej.

Zgodnie z projektem Normy Europejskiej dotyczącej ciepłomierzy (np. DIN EN 1434-5) oraz zaleceniami GUM każda para czujników pomiarowych powinna być sprawdzana w trzech temperaturach T_1 , T_2 , T_3 , zawartych w opisanych niżej zakresach:

- $35^\circ\text{C} \leq T_1 \leq 45^\circ\text{C}$ lub $T_{\min} \leq T_1 \leq T_{\min} + 10^\circ\text{C}$, jeżeli określona w decyzji o zatwierdzeniu typu ciepłomierza wartość T_{\min} jest mniejsza od 20°C ;
- $75^\circ\text{C} \leq T_2 \leq 85^\circ\text{C}$;
- $T_{\max} - 30^\circ\text{C} \leq T_3 \leq T_{\max}$, gdzie T_{\max} – górna granica zakresu temperatury określona w zatwierdzeniu typu ciepłomierza (lub typu pary czujników temperatury).

Na modelowym stanowisku KAL-401 można nastawić dowolne temperatury sprawdzania czujników, a więc i te podane wyżej zgodne z międzynarodowymi wymaganiami normalizacyjnymi:

Dopuszczalny błąd bezwzględny pomiaru temperatury czujnika nie powinien przekraczać 2°C , co odpowiada dla czujnika typu Pt 100 wartości ok. 800 mΩ wyrażonej wzorem (2).

Błędy względne pomiaru różnicy temperatur dla zadeklarowanej pary czujników na stanowisku KAL-401 wyznaczane są w całym przedziale zmian temperatur zasilania i powrotu dla charakterystycznych wartości różnicy temperatur mierzonych przez parę od D_{\min} (np. 3°C) aż do D_{\max} (np. $T_{\max} - 40^\circ\text{C}$).

W tabeli zamieszczonej niżej podano kilka charakterystycznych punktów, dla których przytoczono, zgodnie z polskimi przepisami o ciepłomierzach, wartości błędów względnych granicznych dopuszczalnych pomiaru różnicy temperatur E_{T_d} oraz odpowiadające dopuszczalne błędy bezwzględne $E_{T_d} \cdot \Delta$ wyrażone w mΩ dla pary czujników typu Pt 100. Przy czym jako D_{\min} przyjęto 3°C a jako D_{\max} przyjęto 160°C . W tabeli oznaczono temperaturę czujnika gorącego T_G oraz zimnego T_Z .

	T_G [°C]	T_Z [°C]	E_{T_d} [%]	$E_{T_d} \cdot \Delta$ [mΩ]
1	$T_{\min}+3$	T_{\min}	3,5	ok. 41
2	80	77	3,5	ok. 40
3	30	20	2,5	ok. 97
4	102	92	2,5	ok. 95
5	T_{\max}	$T_{\max}-10$	2,5	ok. 93
5	40	20	1,25	ok. 97
6	112	92	1,25	ok. 95
7	T_{\max}	$T_{\max}-20$	1,25	ok. 92
8	200	40	1,25	ok. 754

Różnice rezystancji stanowiące dopuszczalne graniczne błędy rezystancji czujników podaje kolumna piąta umieszczonej w artykule tabeli. Najmniejszy błąd różnicy rezystancji wynosi ok. 40 mΩ. Z tego wyprowadzić można wymaganie na dopuszczalny błąd pomiaru rezystancji dla samego stanowiska pomiarowego. Zazwyczaj przyjmuje się (np. wg normy EN 61298-1:1995), że układ pomiarowy może wносить błędy własne czterokrotnie mniejsze od wielkości mierzonych przez ten układ. W tej sytuacji należy wymagać od stanowiska pomiarowego błędu własnego pomiaru rezystancji co najwyżej 10 mΩ przy pomiarze rezystancji ok. 130 Ω, (Pt 100, 80°C). Oznacza to wymaganie dokładności 0,007 % przy pomiarach rezystancji o wartości ok. 130 Ω. Dokładność taką zapewnia zrealizowane modelowe stanowisko KAL-401 o konfiguracji opisanej poniżej.

Konfiguracja stanowiska

Komputerowe stanowisko KAL 401 składa się z zestawu:

- komputera typu PC 486DX z kartą interfejsu IEC-625 oraz kartą wyjść cyfrowych równoległych rozdzielonych optoelektronicznie, monitora 14" kolorowego i drukarki do formatów A4;
- multimetru cyfrowego typu 2002 firmy KEITHLEY wyposażonego w interfejs IEC-625. Multimetr ten umożliwia czteroprzewodowy pomiar rezystancji z dużą dokładnością na zakresach pomiaru rezystancji 200 Ω oraz 2 kΩ;
- sterownika umożliwiającego automatyczne przyłączenie do wejść multimetru cyfrowego kolejnych czujników typu Pt umieszczonych w odpowiednich temperaturach wytwarzanych w zewnętrznym termostacie zapewniającym bardzo stabilne temperatury kąpielii ($0,01^\circ\text{C}$).



Widok stanowiska KAL 401

Komputer zawiera w „slotach” magistrali ISA dodatkowe karty: wyjść i wejść cyfrowych izolowanych galwanicznie oraz kartę interfejsu IEC 625 dla zapewnienia bezpośredniej komunikacji ze sterownikiem stanowiska i multimetrem.

Stanowisko KAL 401 korzysta z następujących niezbędnych urządzeń dodatkowych:

- termostatu z regulacją temperatury umożliwiającą utrzymanie temperatury w zakresie $+20\dots+180\text{ }^{\circ}\text{C}$ o stabilności nastawy $\pm 0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dla podwyższenia sprawności wykonywania pomiarów liczba termostatów może być zwiększona do trzech i odpowiadać liczbie 3 punktów pomiarowych temperatury czujników niezbędnych do obliczenia wszystkich współczynników funkcji (2) aproksymacyjnej charakterystyki czujników;
- czujnika wzorcowego temperatury, zwanego referencyjnym termometrem kontrolnym typu Pt 25 do pomiaru temperatury w termostacie, o dopuszczalnym błędzie $\pm 0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Sterownik zawiera zasilacze dostarczające galwanicznie izolowane napięcia potrzebne do prawidłowej pracy układów komutacji poszczególnych rezystancyjnych czujników temperatury oraz napięcie do zasilania obwodów wyjść separowanych galwanicznie karty wyjść cyfrowych z komputera.

Opisana wyżej konfiguracja zestawu i program komputera nazwany PARY umożliwia, po dołączeniu badanych par czujników temperatury oraz multimetru do stanowiska, realizowanie przebiegu badań automatycznie.

Program PARY pracuje w środowisku WINDOWS. Program ten umożliwia przyjmowanie danych o badanych parach czujników, obsługuje jednocześnie wszystkie kanały pomiarowe badanych par czujników temperatury i termometru referencyjnego, zapamiętuje wyniki pomiarów, wylicza dane charakterystyk aproksymacyjnych badanych czujników, określa błędy czujników oraz błędy par czujników, wyświetla tabele wyników pomiarów par czujników, umożliwia drukowanie oraz archiwizowanie wyników badań dokonanych na stanowisku.

Przy opracowaniu wyżej opisanego modelowego stanowiska komputerowego KAL 401 wykorzystano doświadczenia autorów uzyskane przy konstrukcji: komputerowego stanowiska badań ciepłomierzy SBC-1 zbudowanego w 1990 roku dla OBRC w Warszawie, mikroprocesorowego uniwersalnego testera TEC 300 opracowanego w 1992 roku i produkowanego dla przedsiębiorstw energetyki ciepłej w całej Polsce oraz komputerowego stanowiska TEC-LEG do badań przeliczników ciepła opracowanego w ramach projektu celowego dofinansowanego przez Komitet Badań Naukowych [7].

Prace obejmujące opracowanie modelu komputerowego stanowiska KAL 401 były finansowane ze środków własnych Instytutu. Zrealizowana w modelu stanowiska metodologia badań par czujników według zaleceń GUM i uzyskane pozytywne wyniki badań modelu tego stanowiska upoważniły do rozpoczęcia

prac nad prototypem stanowiska KAL-LEG w ramach nowego projektu celowego zatwierdzonego przez KBN. Stanowisko pomiarowe KAL-LEG przejdzie badania w GUM dopuszczające według obowiązujących przepisów do stosowania w kraju do sprawdzania par czujników liczników ciepła.

W przyszłości po pojawieniu się polskiej normy na liczniki ciepła, stanowisko KAL-LEG uzyska uprawnienia do badań legalizacyjnych par czujników temperatury tych liczników ciepła. Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów przyjmuje zamówienia na realizację stanowisk pomiarowych do badań par czujników temperatury ciepłomierzy na rok 1998.

Bibliografia:

- [1] Goszczyński T., Kowalski J.: Uniwersalny tester liczników ciepła. Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja nr 11/1993, s. 351-352.
- [2] Goszczyński T., Korytkowski J.: Uniwersalny tester elektronicznych przeliczników ciepła oraz nowe laboratoryjne stanowiska do badań elementów pomiarowych ciepłomierzy. Informacja INSTAL nr 6/1996, Warszawa, s. 21-24.
- [3] Goszczyński T., Jachczyk E., Korytkowski J.: Komputerowe stanowisko do badania charakterystyk par czujników temperatury przeznaczonych do elektronicznych liczników energii cieplnej. Referaty konferencji AUTOMATION '97, Marzec 1997 r., Warszawa, Tom 2, s. 405-412.
- [4] IEC Publication 751. Industrial platinum resistance thermometer sensors.
- [5] Organisation internationale de metrologie legale. International Recommendation. Heat meters. OIML R 75. Edition 1988 (E). Paryż.
- [6] Korytkowski J.: Aproksymacja nieliniowych algorytmów licznika energii cieplnej z platynowymi rezystancyjnymi czujnikami temperatury. PAK Pomiary Automatyka Kontrola nr 8/ 1985, s. 191-193.
- [7] Goszczyński T., Korytkowski J.: Stanowisko pomiarowe TEC-LEG do badań przeliczników ciepła. PAR Pomiary Automatyka Robotyka nr 4/1997 s. 0-2.

Abstracts

Laboratory Computer Testing System for Examining the Accuracy of Pairs of Temperature Probes for Electronic Heat Meter Calculators

Tadeusz Goszczyński, Elżbieta Jachczyk, Jacek Korytkowski – p. 17

The authors present computer testing system for examining the accuracy of pairs of temperature probes for electronic heat meter calculators. Approximation equations of resistance temperature probe characteristics are given and the testing method of these characteristic is described. The configuration of the system and functional properties are described. The computer program PARY for executing the test procedure is described.