

Dokładne pomiary temperatury wielokanałowym miernikiem-rejestratorem¹

Wojciech Pierzgalski,
Paweł Studziński *

Artykuł dotyczy nowego systemowego miernika-rejestratora, który jest przeznaczony do wielokanałowych pomiarów wielkości elektrycznych i nieelektrycznych takich jak: temperatura, ciśnienie lub wilgotność. Przedstawiono strukturę układu do pomiarów temperatury oraz omówiono błędy pomiaru temperatury.

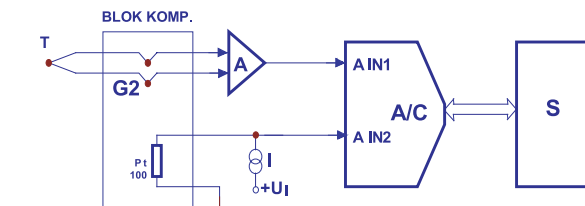
Accuracy measurements of temperature with scanning instrument. The new scanning instrument for measurement of electrical and nonelectrical quantities such temperature, pressure and humidity is presented in the paper. The structure of temperature measurement circuit of that instrument is given. Errors of temperature measurements are discussed.

Wstęp

W referacie przedstawiono miernik-rejestrator temperatury typu DM23, który jest przeznaczony do wielokanałowych pomiarów i rejestracji temperatury. Pomiary temperatury mogą być wykonywane termoelementami: B, E, J, K, N, R, S i T lub termorezystorami Pt 100 i Pt 1000. Ponadto miernik jest przystosowany do współpracy z: przetwornikami dowolnych wielkości z wyjściem prądowym (0... ±20 mA, 4...20 mA), przetwornikami dowolnych wielkości z wyjściem napięciowym (0...20 mV, 0... 200 mV, 0... 2 V i 0...10 V). Przyrząd umożliwia także pomiary wielkości elektrycznych: napięcia stałego, prądu stałego i rezystancji. Przyrząd jest wyposażony w 10 kanałów pomiarowych dwuprzewodowych lub w 5 kanałów czteroprzewodowych, przy czym każdy z kanałów jest przełączany za pomocą przełącznika zawierającego dwa specjalne kontaktrony o bardzo małych siłach termoelektrycznych. Przyrząd umożliwia zaprogramowanie: numeru kanału, typu przetwornika, zakresów pomiarowych przetwornika, granicy dolnej i granicy górnej zakresu pomiarowego, szybkości przełączania kanałów.

Dokładne pomiary temperatury

Współczesne multimetry cyfrowe mogą być stosunkowo łatwo przystosowane do dokładnych pomiarów



Rys. 1. Typowa struktura układu do pomiaru temperatury za pomocą termoelementów

temperatury z użyciem czujników rezystancyjnych [1-3]. Na rys. 1 przedstawiono przykład toru do pomiarów temperatury przy wykorzystaniu termoelementów, zastosowany w multimetrze DM22, który jest aktualnie produkowany w OBR METROL w Zielonej Górze.

Sygnał napięciowy z termoelementu, poprzez blok kompensacji zimnych końców i wzmacniacz prądu stałego A, jest podawany na wejście A_{IN1} przetwornika analogowo-cyfrowego. Wejście A_{IN2} przetwornika współpracuje z układem kompensacji zimnych końców. Rozdzielenie pomiarów sygnału z termoelementu i sygnału zależnego od temperatury zimnych końców umożliwia, w sposób programowy, dostosowanie toru pomiarowego do pomiaru ośmiu typów termoelementów. W przyrządzie zastosowano nowoczesny przetwornik A/C typu sigma-delta, który jest szczególnie przydatny do pomiarów wielkości nieliniowych, a w szczególności sygnałów z termoelementów lub termorezystorów [1].

Dokładność pomiaru temperatury toru pomiarowego (rys. 1) zależy głównie od dokładności określenia tem-

¹ Projekt celowy Komitetu Badań Naukowych nr 8T 10 041 2000 C/5357

* Mgr inż. Wojciech Pierzgalski – Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Metrologii Elektrycznej METROL, dr inż. Paweł Studziński – Przemysłowy Instytut Elektroniki

peratury odniesienia oraz od wartości mierzonej temperatury [4]. Największe błędy pomiaru temperatury dotyczą temperatur bliskich dolnej granicy zakresu pomiarowego [5].

Dokładność wyznaczenia temperatury odniesienia zależy od:

- różnicy temperatur pomocniczego czujnika temperatury i zacisków służących do dołączenia końców termoelementu
- dokładności pomiaru temperatury pomocniczego czujnika.

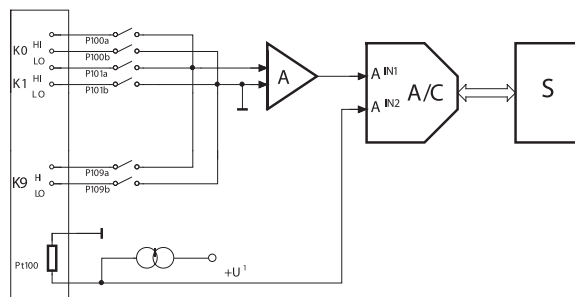
Błąd wyznaczenia temperatury odniesienia może być większy od 1°C . Zastosowanie dodatkowej procedury kalibracyjnej umożliwia istotne ograniczenie błędu systematycznego temperatury odniesienia.

Wielokanałowe pomiary temperatury

Typowa struktura do wielokanałowych pomiarów temperatury jest zbudowana z multiplexera analogowego i toru jednokanałowego przeznaczanego do pomiarów temperatury. Do wejść multiplexera są dołączone zaciski wejściowe poszczególnych kanałów pomiarowych. Analogicznie do toru pomiarowego z rys. 1, również w omawianym układzie należy określać temperaturę poszczególnych zacisków wejściowych. Z wcześniejszych rozważań wynika, że zastosowanie typowych gniazd wejściowych nie zapewnia dostatecznego wyrównania temperatur gniazd, zwłaszcza przy zmianach temperatury otoczenia. Zastosowanie do każdego gniazda wejściowego pomocniczego czujnika temperatury oraz wykorzystanie procedur kalibracyjnych, które opisano powyżej jest mało skuteczne i nieefektywne ekonomicznie.

W przypadku wielokanałowych pomiarów temperatury ważne jest, aby wybór kanału pomiarowego nie wywierał istotnego wpływu na dokładność pomiaru temperatury. W praktyce oznacza to, że dokładność względna pomiaru temperatury dwóch wybranych kanałów pomiarowych powinna być większa niż dokładności pomiaru pojedynczego kanału pomiarowego. Z uwagi na znaczne wymagania dokładności pomiaru temperatury rozważanego miernika-rejestratora stwarza to szczególne wymagania do konstrukcji toru pomiarowego temperatury.

Istotne zwiększenie dokładności pomiaru temperatury odniesienia poszczególnych kanałów pomiarowych można uzyskać poprzez lepsze wyrównanie temperatur zacisków wejściowych. W mierniku-rejestratorze w torze pomiarowym temperatur wg rys. 2 zastosowano specjalny blok izotermiczny, w którym umieszczono zaciski wejściowe kanałów pomiarowych i pomocniczy czujnik temperatury. Cechą szczególną tego bloku jest to, że każda para zacisków Hi i Lo kanału pomiarowego, wykonanych w postaci połączeń pod wkręt miedziany, jest dołączona do dwóch identycznych płytek miedzianych, które przylegają do siebie i są elektrycznie izolowane. Pary płytek poszczególnych kanałów



Rys. 2. Struktura układu do pomiaru temperatur miernika-rejestratora

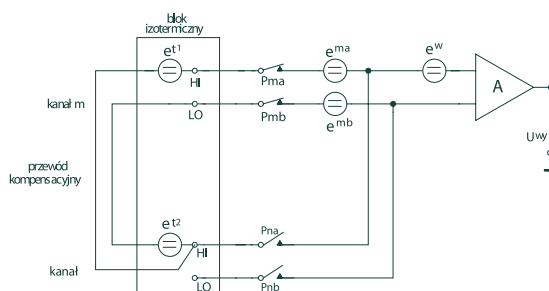
są umieszczone pomiędzy dwiema dodatkowymi płytami miedzianymi, które zapewniają dobre wyrównanie temperatury zacisków pomiarowych.

Przy dużej rozdzielczości pomiaru temperatury, rzędu $0,01^{\circ}\text{C}$, należy także zwrócić uwagę na dryfty zera i szumy wzmacniacza napięcia stałego A oraz na siły termoelektryczne przełączników. W układzie z rys. 2 multiplexer analogowy jest zbudowany z zastosowaniem specjalnych przełączników o niewielkich siłach termoelektrycznych. Zaciski wejściowe Hi i Lo każdego z kanałów są dołączone do układu za pomocą pojedynczego przełącznika zawierającego dwa kontaktrony o niewielkich siłach termoelektrycznych. Wykorzystując efekt symetrii układu, można zmniejszyć wypadkową siłę termoelektryczną pary kontaktronów do około $0,1\ \mu\text{V}$.

Pomiar różnicy temperatur zacisków wejściowych

Aby móc dokonać weryfikacji założeń dotyczących parametrów bloku izotermicznego, opracowano metodę pomiaru różnicy temperatur zacisków wejściowych poszczególnych kanałów pomiarowych.

Koncepcja pomiaru różnicy temperatur pomiędzy zaciskami dwóch kanałów o nr m i n została przedstawiona na rys. 3. Przy włączonym kanale m i wyłączonym kanale n kontaktrony P_{ma} i P_{mb} są zwarte, a kontaktrony P_{na} i P_{nb} rozwarte. Do wejścia kanału m dołączono przewody kompensacyjne termoelementu typu K. Drugie końce tych przewodów kompensacyjnych zwarto i dołączono do zacisku Hi kanału n.



Rys. 3. Struktura układu do pomiaru różnicy temperatur

Wybór typu termoelementu był podyktowany tym, aby termoelement wykazywał w temperaturze otoczenia stosunkowo dużą wartość współczynnika Seebecka [5]. Łatwo zauważyć, że jeżeli temperatura zacisków kanału m wynosi t_1 , a temperatura zacisków kanału n wynosi t_2 , to napięcie wyjściowe wzmacniacza A jest równe:

$$U_{wy} = W (e_w + e_{m1} + e_{m2} + e_{t1} - e_{t2}) \quad (1)$$

gdzie:

W – współczynnik wzmocnienia wzmacniacza A,
 e_w – napięcie niezrównoważenia wzmacniacza A,
 e_{ma} , e_{mb} – siły termoelektryczne przekaźnika m, odpowiednio kontaktrony: a, b,

e_{t1} – wypadkowa siła termoelektryczna pomiędzy zaciskami Hi i Lo kanału m wywołana dołączeniem przewodów kompensacyjnych termoelementu K,

e_{t2} – siła termoelektryczna na zwartych końcach przewodów kompensacyjnych typu K, które dołączone są do zacisku Hi kanału n.

Wyrażenie $(e_{t1} - e_{t2})$ jest miarą różnicy temperatur t_1 i t_2 zacisków kanałów m i n. Aby wyznaczyć wartość tego wyrażenia, należy oprócz pomiaru napięcia U_{wy} określić napięcie $U_{wy'}$, które odpowiada sygnałowi na wyjściu wzmacniacza w przypadku zwarcia zacisków Hi i Lo kanału m za pomocą zwory miedzianej. Przy założeniu, że napięcie niezrównoważenia wzmacniacza oraz siły termoelektryczne nie ulegają zmianom w trakcie pomiarów, można napisać:

$$U_{wy'} = W (e_w + e_{m1} + e_{m2}) \quad (2)$$

oraz

$$e_{t1} - e_{t2} = (U_{wy} - U_{wy'}) / W \quad (3)$$

Na podstawie ostatniej zależności oraz tablic charakterystyk termoelementów można wyznaczyć wartość różnicy temperatur pomiędzy zaciskami wejściowymi kanałów m i n.

Przeprowadzone pomiary różnicy temperatur kanałów nr 1 i 5 w mierniku-rejestratorze pozwoliły oszacować różnicę temperatur na poziomie 0,03 °C.

Podsumowanie

Referat dotyczy dokładnych pomiarów temperatury, które mogą być wykonywane za pomocą wielokanałowego miernika-rejestratora. Przeanalizowano tor pomiarowy do pomiaru temperatury zbudowany z multimetru cyfrowego i termoelementu. Dokładność pomiaru temperatury tego toru zależy głównie od dokładności określenia temperatury odniesienia. Dokładność wyznaczenia temperatury odniesienia zależy od:

- różnicy temperatur pomocniczego czujnika temperatury i zacisków służących do dołączenia końców termoelementu
- dokładności pomiaru temperatury pomocniczego czujnika.

Opisano strukturę do wielokanałowych pomiarów temperatury. Na szczególną uwagę zasługuje konstrukcja bloku izotermicznego, w którym umieszczono zaciski wejściowe kanałów pomiarowych i pomocniczy czujnik temperatury. Aby móc dokonać weryfikacji założeń dotyczących parametrów bloku izotermicznego, opracowano metodę pomiaru różnicy temperatur zacisków wejściowych poszczególnych kanałów pomiarowych. Wyniki badań w zakresie wielokanałowych pomiarów temperatury umożliwiły budowę miernika-rejestratora – tablica 1.

Tablica 1. Parametry miernika-rejestratora DM23

Lp.	Przedmiot pomiaru	Zakres pomiaru	Dokładność pomiaru
1.	Temperatura (termorezystory: Pt 100, Pt 1000)	-200 °C ... +600 °C	±0,2 °C
2.	Temperatura (termoelementy: B, E, J, K, N, R, S, T)	Zależny od termoelementu	±0,2 °C ... ±1,5 °C (zależnie od termoelementu)
3.	Napięcie stałe	0,1 μV ... 10 V	±0,01 %
4.	Prąd stały	0-20 mA / 4-20 mA	±0,1 %
5.	Rezystancja	1 mΩ ... 2 kΩ	±0,02 %

Bibliografia

- [1] Studziński P., Reska D.: *Multimetr cyfrowy do dokładnych pomiarów temperatury*. Elektronizacja nr 10/2001 s. 31-33.
- [2] 2000 Multimeter, Keithley, *Catalog and Reference Guide*, 1998.
- [3] *Multifunctional Digital Multimeter/Thermometer Model OM-7563, OMEGA*, Complete Temperature Measurement Handbook and Encyclopaedia, Volume 28, 1992.
- [4] Studziński P.: *Dokładność pomiaru temperatury za pomocą multimetru cyfrowego*. IV Krajowa Konferencja „Systemy Pomiarowe w Badaniach Naukowych i w Przemysle” Zielona Góra 2002. Opublikowane w *Pomiary, Automatyka, Kontrola* nr 7/8, 2002.
- [5] Michalski L., Eckersdorf K., Kucharski J.: *Termometria. Przyrządy i metody*. Politechnika Łódzka, Łódź 1998.
- [6] *Wyrażanie niepewności pomiaru*. Przewodnik ISO 1994 wyd. GUM, Warszawa 1994