

Oleksandra HOTRA
Oksana BOYKO

TRANZYSTOROWO-REZYSTANCYJNY UKŁAD KOMPENSACJI WPŁYWU TEMPERATURY WOLNYCH KOŃCÓW TERMOPARY

STRESZCZENIE *Przedstawiono układ kompensacji temperatury wolnych końców termopary z wykorzystaniem tranzystorowego źródła napięcia zależnego od temperatury, który umożliwia zmniejszenie błędu bezwzględnego kompensacji poniżej $0,1^{\circ}\text{C}$ dla różnych typów termopar.*

Słowa kluczowe: *termopary, kompensacja temperatury wolnych końców.*

1. WPROWADZENIE

Temperatura należy do podstawowych parametrów wielu procesów w różnych gałęziach przemysłu, jak również w badaniach naukowych. Efektywność procesów technologicznych i badań naukowych w znacznym stopniu

dr hab. inż. Oleksandra HOTRA¹⁾
e-mail: o.hotra@pollub.pl

dr inż. Oksana BOYKO²⁾
e-mail: oxana_bojko@ukr.net

1) Politechnika Lubelska,
Instytut Elektrotechniki i Informatyki

2) Narodowy Uniwersytet Medyczny we Lwowie,
Katedra Informatyki Medycznej

zależy od dokładnego mierzenia i regulowania temperatury. Do celów pomiarowo-kontrolnych w przemyśle i badaniach doświadczalnych szeroko stosowane są pierwotne przetworniki termoelektryczne, czyli termopary. Wartości siły termoelektrycznej (STE) generowanej jako sygnał wyjściowy termopar zależą od różnicy temperatury spiny roboczej i temperatury wolnych końców. Zatem dokładność pomiarów temperatury termoparami zależy w znacznym stopniu od dokładności kompensacji wpływu zmian temperatury wolnych końców [3]. W szczególności od dokładności kompensacji wpływu zmian temperatury wolnych końców zależy dokładność pomiaru temperatury w przedziale $20\div 60^{\circ}\text{C}$ ($10\div 100^{\circ}\text{C}$) [1].

W celu kompensacji wpływu zmian temperatury wolnych końców termopar stosowane są rezystancyjne układy mostkowe zawierające rezystory o rezystancji zależnej od temperatury (tzw. termorezystory) [2]. Wyjściowe napięcie kompensujące U_k układu opisane jest wyrażeniem

$$U_k = U_s k(t), \quad (1)$$

gdzie:

- U_s – napięcie zasilania rezystancyjnego układu mostkowego,
- $k(t)$ – współczynnik przetwarzania układu mostkowego jako funkcja temperatury wolnych końców.

Jednakże klasyczny rezystancyjny układ mostkowy nie odtwarza ściśle zależności siły termoelektrycznej termopary od zmian temperatury wolnych końców.

Dokładność pomiarów temperatury zależy w sposób istotny od wahań temperatury wolnych końców (zwłaszcza pomiarów temperatury w zakresie $10\div 100^{\circ}\text{C}$), dlatego badanie i ulepszanie układów kompensacji wpływu zmian temperatury wolnych końców ma duże znaczenie praktyczne.

2. BUDOWA UKŁADU KOMPENSACYJNEGO

Poprawa dokładności odtworzenia wartości siły termoelektrycznej termopar dla szerokiego zakresu zmian temperatury ich wolnych końców jest możliwa pod warunkiem zastosowania jako źródła do zasilania rezystancyjnego układu mostkowego – źródła napięciowego w postaci układu zależnego od temperatury. Przy tym najbardziej efektywne jest zastosowanie źródła zasilania o napięciu wyjściowym opisanym zależnością funkcyjną w postaci wyrażenia

$$U_s = U_n + \Delta U_t \cdot t, \quad (2)$$

gdzie:

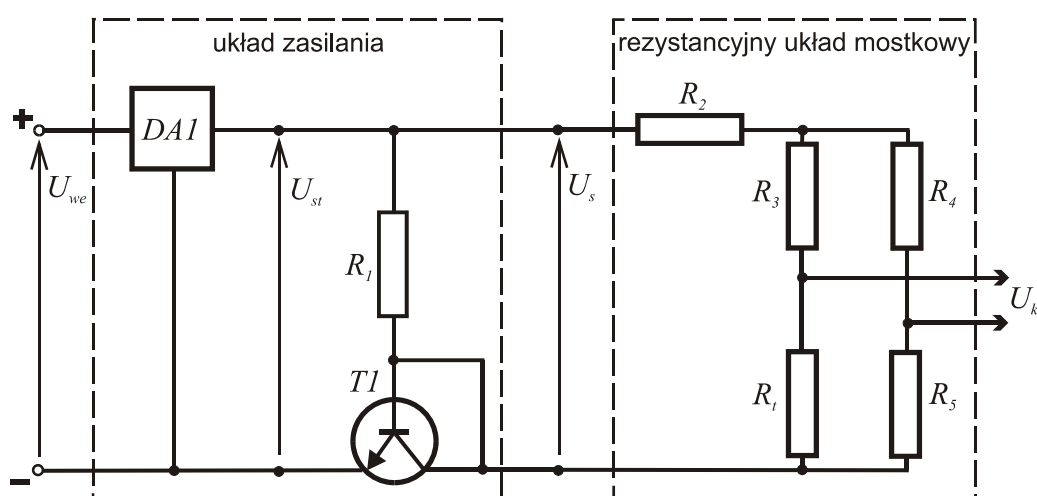
- U_n – wartość znamionowa napięcia wyjściowego dla temperatury wolnych końców $t_c = 0^\circ\text{C}$,
- ΔU_t – wartość zmiany napięcia wyjściowego odpowiadająca zmianie temperatury wolnych końców o 1°C ,
- t – temperatura wolnych końców.

Wówczas wartość napięcia kompensującego można wyznaczyć korzystając z wyrażenia

$$U_k = (U_n + \Delta U_t t) k(t) = U_n k(t) + \Delta U_t t k(t). \quad (3)$$

Z analizy powyższego wyrażenia wynika, że – w porównaniu z wyrażeniem (1) – jego drugi człon stanowi dodatkową nieliniową składową napięcia kompensującego. Dlatego rezystancyjny układ mostkowy zasilany napięciem o wartości zależnej od temperatury wolnych końców może odtwarzać wartości siły termoelektrycznej termopar, w przypadku zmian temperatury wolnych końców, z większą dokładnością.

Na rysunku 1 przedstawiono uproszczony schemat elektryczny układu kompensującego zmiany siły elektromotorycznej termopary pod wpływem zmiany temperatury wolnych końców. Układ składa się ze źródła napięcia zależnego od temperatury oraz z kompensacyjnego (rezystancyjnego) układu mostkowego zawierającego termorezystor.



Rys. 1. Uproszczony schemat tranzystorowo-rezystancyjnego układu kompensacji wpływu zmian temperatury wolnych końców termopary

Głównym elementem układu zasilania jest regulowany stabilizator prądu stałego DA1, przy czym do szyny napięć ujemnych przyłączono tranzystor T1 typu *n-p-n*.

Zależność napięcia wyjściowego układu zasilania od temperatury wynika z zależności temperaturowej napięcia baza-emiter tranzystora T1. Zatem wartość napięcia wyjściowego można opisać wyrażeniem

$$U_s = U_{st} - U_{be0} + \Delta U_t \cdot t, \quad (5)$$

gdzie:

- U_{st} – wartość napięcia wyjściowego stabilizatora DA1;
- U_{be0} – wartość napięcia baza-emiter tranzystora T1 w temperaturze 0°C,
- ΔU_t – wartość zmiany napięcia baza-emiter odpowiadająca zmianie temperatury o 1°C.

Uśredniona wartość zmiany napięcia baza-emiter spowodowanej zmianą temperatury o 1°C w przypadku półprzewodnikowych tranzystorów krzemowych dla zakresu zmian temperatury -10...60°C wynosi 1,8 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ (przy odpowiednio dobranej wartości rezystancji rezystora R_t).

Struktura układu kompensacyjnego oparta jest na układzie mostkowym zależnym od temperatury, złożonym z precyzyjnych rezystorów R_3 , R_4 , R_5 , oraz termorezystora R_t ; w szereg z układem mostkowym połączony jest rezystor R_2 .

Wartość wyjściowego napięcia kompensującego U_k wyznacza się ze wzoru:

$$U_k = \frac{(U_{st} - U_{be0} + \Delta U_t \cdot t) R_M}{R_2 + R_M} \left(\frac{R_t}{R_3 + R_t} - \frac{R_5}{R_4 + R_5} \right), \quad (7)$$

gdzie:

$$R_M = \frac{(R_3 + R_t)(R_4 + R_5)}{R_3 + R_4 + R_5 + R_t} - \text{całkowita rezystancja zastępcza układu mostkowego.}$$

Poprzez odpowiedni dobór wartości U_{st} , U_{be0} , ΔU_t i R_2 uzyskuje się wymaganą dokładność formowania napięcia kompensującego dla różnych typów termopar. Niezbędne jest przy tym zapewnienie sposobami konstrukcyjnymi jednakowej, wyrównanej temperatury termorezystora R_t , tranzystora T1 oraz wolnych końców termopary.

W opracowanym mostkowym układzie kompensacyjnym zastosowano rezystory o jednakowych wartościach rezystancji: $R_3 = R_4 = R_5 = R_0$, gdzie R_0 oznacza wartość rezystancji termorezystora w temperaturze 0°C. W badanym układzie kompensacyjnym jako termorezystor R_t zastosowano rezystor typu TOM 100 Ohm.

3. BADANIA EKSPERYMENTALNE EFEKTYWNOŚCI OPRACOWANEGO UKŁADU KOMPENSACYJNEGO

Optymalnym wskaźnikiem służącym do celów oszacowania efektywności układów kompensacyjnych jest wartość błędu bezwzględnego kompensacji temperaturowej napięcia (STE) wyrażona w stopniach skali temperatury:

$$\Delta_t = \frac{E(t_c) - U_k}{\Delta e_{mean}} = \frac{(E(t_c) - U_k) \cdot (t_{max} - t_{min})}{E_{max} - E_{min}} \quad (9)$$

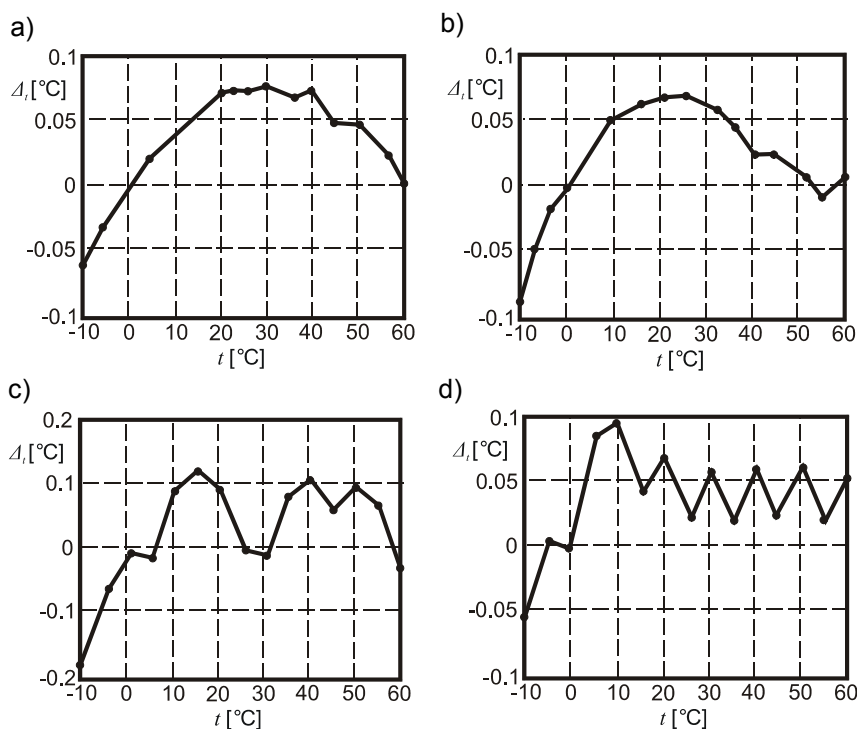
gdzie:

$E(t_c)$ – wartość rzeczywista siły termoelektrycznej termopary dla temperatury wolnych końców t_c ;

Δe_{mean} – uśredniona wartość zmiany siły termoelektrycznej termopary odpowiadająca zmianie temperatury wolnych końców o 1°C ;

E_{min}, E_{max} – wartości siły termoelektrycznej termopary odpowiednio dla temperatury wolnych końców t_{min} i t_{max} .

Wykresy zależności błędu bezwzględnego kompensacji wpływu zmian temperatury wolnych końców jako funkcji temperatury wolnych końców przedstawione są na rysunku 2.



Rys. 2. Zależności błędu bezwzględnego kompensacji od wartości temperatury wolnych końców termopar typu: a) chromel-kopel (L), b) chromel-alumel (K), c) platyna-platynorod (R), d) platyna-platynorod (S)

Na podstawie otrzymanych wykresów zależności błędu bezwzględnego napięcia kompensacyjnego od temperatury wolnych końców (rys. 2) formowanego za pomocą opracowanego układu kompensacyjnego (rys. 1) można stwierdzić, że dla zakresu zmian temperatury wolnych końców $-10...60^{\circ}\text{C}$ wartość błędu bezwzględnego kompensacji nie przekracza $0,1^{\circ}\text{C}$ dla termopar typu chromel-kopel (L), chromel-alumel (K), platyna-platynorod (S), oraz nie przekracza $0,2^{\circ}\text{C}$ dla termopar typu platyna-platynorod (R).

4. WNIOSKI

Zastosowanie źródła napięcia zależnego od temperatury do zasilania układu mostkowego prowadzi do wystąpienia składowej kwadratowej w wyjściowym napięciu kompensującym układ kompensacyjnego, dzięki czemu możliwa jest poprawa dokładności odtworzenia wartości siły termoelektrycznej termopary (STE) w warunkach zmian temperatury wolnych końców termopar.

Optymalnym sposobem uzyskania wymaganej zależności temperaturowej dla źródła napięcia zasilającego mostkowy układ rezystancyjny jest włączenie tranzystora w szynę zasilania.

Efektywność opracowanego układu kompensacyjnego została w pełni potwierdzona wynikami badań eksperymentalnych prototypowej wersji układu. Błąd bezwzględny formowania wymaganej wartości napięcia kompensującego dla różnych typów termopar nie przekraczał $0,1^{\circ}\text{C}$.

LITERATURA

1. Hotra O.: Microprocessor temperature meter for dentistry investigation. Przegląd Elektrotechniczny, 7, pp.63-65, 2010.
2. Dale R. Patrick, Stephen W. Fardo.: Industrial electronics: devices and systems. The Fairmont Press, 671p., 2000.
3. Utpal Sarma, P.K. Boruah: Design and development of a high precision thermocouple based smart industrial thermometer with on line linearisation and data logging feature. Measurement, 43, pp.1589-1594, 2010.

TRANSISTOR-RESISTIVE CIRCUIT
FOR TEMPERATURE COMPENSATION
OF COLD JUNCTIONS OF THERMOCOUPLE

Oleksandra HOTRA, Oksana BOYKO

ABSTRACT *The circuit for temperature compensation of cold junctions of thermocouple that includes the temperature-dependent transistor voltage source is proposed. The circuit allows reducing the absolute compensation error to less than 0.1°C for different types of thermocouples.*

