



Politechnika Wroclawska

Katedra Techniki Ciepłej W9/K51

Miernictwo i systemy pomiarowe – Lab

Budowa i wzorcowanie termopary typu T

Instrukcja do ćwiczenia nr 4

Opracował: dr inż. Wiesław Wędrychowicz

Wrocław, 2021r.

Wstęp teoretyczny

Termopara (nazywana również termoogniwem, termoelementem lub ogniwnem termoelektrycznym) wyróżnia się wieloma zaletami w porównaniu do innych rodzajów czujników temperatury.

W początkach XIX wieku (1821 r.) niemiecki fizyk Thomas Johann Seebeck odkrył, że styk pomiędzy dwoma metalami generuje napięcie będące funkcją temperatury. Termopara to po prostu praktyczne wykorzystanie zjawiska Seebecka.

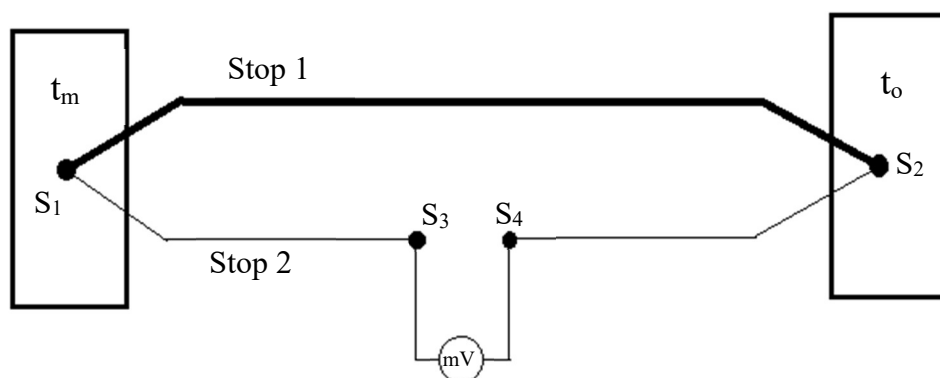
Termopara jest zatem elementem obwodu elektrycznego składającego się z dwóch przewodów wykonanych z różnych metali (mogą być metale czyste lub stopy metali).

Miejsce łączenia nazywa się „spoiną pomiarową” zaś pozostałe końce - zimnymi końcami. Przewody termoelementu nazywamy „termoelektrodami”. W tak utworzonym termoelemencie składającym się z różnych materiałów, powstaje siła termoelektryczna wtedy, gdy spoina i zimne końce utrzymywane są w różnych temperaturach. Czułość termoelementu zależy od siły termoelektrycznej materiałów, z których wykonane są termoelementy. Na termoelementy wybiera się zestawy materiałów, które w szeregu termoelektrycznym znajdują się daleko od siebie, co zapewnia występowanie dużych sił termoelektrycznych przy określonej różnicy temperatur. Właściwości typowych metali stosowanych w termoparach dają przewidywalne napięcia wyjściowe. Pozwala to użytkownikom wykorzystywać termopary w wielu zastosowaniach, w tym w środowiskach agresywnych chemicznie.

Fizyczna konstrukcja termopary jest prosta – spoiny wykonane są poprzez skręcenie, lutowanie lub spawanie drutów termoelektrod. Wszystkie metody dają podobny rezultat.

Termopary pokrywają szeroki zakres mierzonych temperatur, rozciągający się od -100°C aż do ponad 2500°C . Typowa dokładność pomiaru wynosi $\pm 1 - 2^{\circ}\text{C}$, co jest wystarczające w większości zastosowań przemysłowych.

Do wad termopar należy zaliczyć to, że napięcie wyjściowe termopary jest rzędu kilku mikrowoltów na stopień Celsjusza. Ponadto wyjście z termopary jest nieliniowe, więc konieczne jest stosowanie metod linearyzacyjnych stosowanych do konwersji napięć termopary na odczyty temperatury. Schemat połączenia termopary przedstawiono na rys. 1. Metale na tym rysunku oznaczone są jako „Stop 1” i „Stop 2” i tworzą styki S_1 i S_2 . Styk S_1 jest spoiną pomiarową, a styk S_2 tworzy drugi termoelement mierzący znaną temperaturę t_0 będącą temperaturą odniesienia.



Rys. 1. Schemat podłączenia termopary

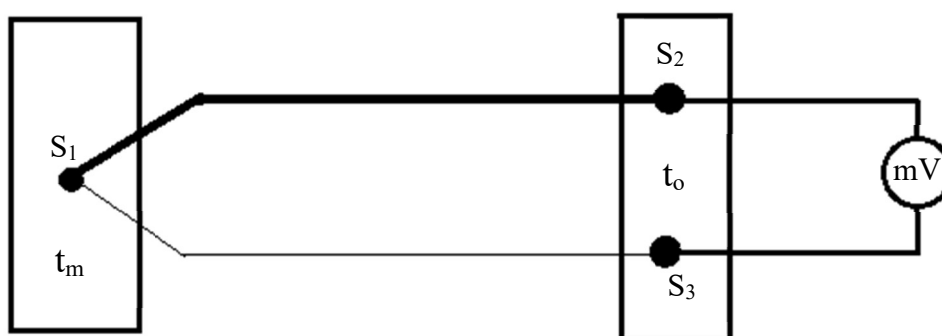
Ponieważ utrzymanie stałej, znanej temperatury spoiny odniesienia t_0 oparte było na (najłatwiejszym i najbardziej precyzyjnym sposobie stabilizacji temperatury) zanurzeniu styku odniesienia (S_2) w kąpeli lodowej, historycznie spowodowało to nadanie spoinie odniesienia nazwy „styku zimnego” lub „zimnych końców”.

Wielkość generowanego w ten sposób napięcia zależy od różnicy temperatur pomiędzy stykami S_1 i S_2 oraz od rodzajów metali użytych w stopie 1 i stopie 2. Wynik można opisać następującym równaniem:

$$V = \alpha (t_m - t_o)$$

gdzie α jest współczynnikiem Seebecka.

Należy pamiętać, że podłączenie termopary do woltomierza tworzy dodatkowe, potencjalnie niechciane styki S_3 i S_4 . W efekcie styki te także są termoparami, ale mają one podobny skład i wzajemnie przeciwną polaryzację. Prawo o metalach pośrednich (prawo trzeciego metalu) mówi, że umieszczenie trzeciego metalu pomiędzy dwoma różnymi metalami styku termopary nie będzie miało wpływu na napięcie wyjściowe dopóki dwa styki uformowane przez dodatkowy metal mają identyczną temperaturę. Z tego prawa wynika, że jeśli temperatury styków S_3 i S_4 są takie same, to styki te nie mają wpływu na pomiar. Również prawo trzeciego metalu ma znaczenie przy wykonywaniu spoin ponieważ można wykonać luty i spawy które wprowadzają trzeci metal pomiędzy termoelektrody nie zmieniając SEM gdyż znajdują się w tej samej temperaturze.



Rys. 2 Układ podłączenia termopary w układzie z jedną spoiną.

Innym sposobem połączenia termopary jest układ przedstawiony na rys. 2. W tym układzie również istotna jest znajomość temperatury odniesienia w jakiej znajdują się złącza termopary z przewodami kompensacyjnymi. Więcej informacji o termoparach znajduje się w instrukcji do ćw. 1.

W zależności od rodzaju użytych stopów metali uzyskuje się termopary o różnych własnościach. Termopary można podzielić na trzy grupy w zależności od zakresu pomiarowego:

	Zakres temperatur	Materiały drutów termoparowych
Grupa I	-200 .. +1200°C	brak metali szlachetnych
Grupa II	0 .. +1800°C	platynowo-rodowe
Grupa III	0 .. +2200°C	wolframowo-renowe

Termopara T należy do grupy I. Jest to najrzadziej używany typ termoelementu. Jego zakres pomiarowy wynosi od -200°C do +350°C, a czułość 30µV/°C. Klasy dokładności określa norma PN-EN 60584, która zawiera wzory do obliczania dopuszczalnych błędów pomiarowych.

Typ T (Cu-CuNi)

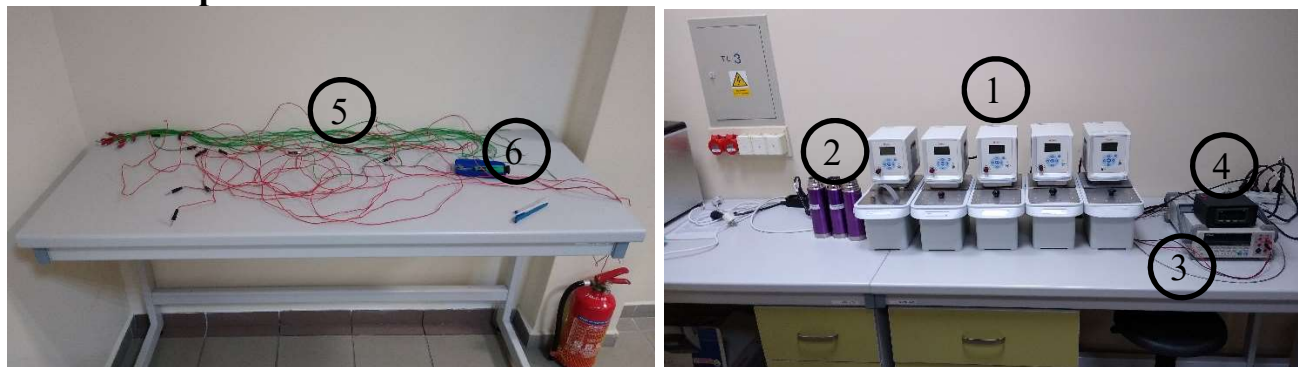
Klasa	Zakres temperatury	Dopuszczalny błąd
1	-40 °C .. +125 °C	± 0.5 °C
	+125 °C .. +350 °C	± 0.0040 x t
2	-40 °C .. +133 °C	± 1.0 °C
	+133 °C .. +350 °C	± 0.0075 x t

Prawo trzeciego metalu

Prawo trzeciego metalu mówi o tym, że wprowadzenie do obwodu złożonego z materiałów A i B (druty termopary) trzeciego metalu C nie wpływa na wartość wypadkowej siły termoelektrycznej pod warunkiem, że oba końce przewodu wykonanego z materiału C znajdują się w takiej samej temperaturze. Prawo to można uogólnić na dowolną liczbę metali włączonych szeregowo w dowolnych miejscach obwodu.

Prawo to jest wykorzystywane przy budowie termopary. Łączenie końców drutów termoparowych może być wykonane dowolną metodą np. przez lutowanie (wprowadzenie trzeciego metalu), spawanie, lub skręcenie z użyciem złączki. Warunkiem jest jednakowa temperatura na obu końcach trzeciego metalu, co nie jest trudne gdy jego wymiary nie są duże.

Stanowisko pomiarowe



W skład stanowiska pomiarowego wchodzi następujące elementy i urządzenia: ultratermostat wodny 5 szt. (1), termos 3 szt. (2), miliwoltomierz (3), termometr oporowy PT100 (4), zestaw drutów termoparowych miedzianych i z konstantanu (termopara T) jednostronnie zakończonych wtyczką bananową (5) dla każdego studenta co najmniej jedna para, złączki mosiężne z śrubkami zaciskowymi, śrubokręty (6).

Przebieg ćwiczenia:

1. Każdy student pobiera parę przewodów – jeden z Constantanu (czerwona izolacja) drugi miedziany (zielona izolacja).
2. Za pomocą złączki śrubowej (mosiężnej) należy złączyć końce drutów.
3. Z gotową termoparą należy podejść do stanowiska na którym znajdują się ultratermostaty i termosy.
4. Podłączyć końce termopary zakończone wtyczkami bananowymi do wyprowadzonych przewodów miliwoltomierza. Sprawdzić czy czujnik termometru przylega do złązek.
5. Wkładając kolejno termoparę do termosów i ultratermostatów odczytać wskazania miliwoltomierza i temperaturę zimnych końców.

Uwaga: Wszystkich odczytów należy dokonać każdorazowo po ustaleniu się temperatury końcówki termopary (gdy miliwoltomierz będzie pokazywał stabilne wskazanie).

6. Po zakończeniu pomiarów rozmontować termoparę i elementy odłożyć na miejsce.

Wzory

Dla temperatury otoczenia wg normy (zał. 1) odczytujemy $e_{zk} = \dots\dots\dots$ mV dla temperatury zimnych końców

$$e_{skomp.} = e_{zm} + e_{zk} \text{ mV} \quad [1]$$

gdzie:

$e_{skomp.}$ – SEM uwzględniające brak kompensacji zimnych końców

e_{zm} – SEM zmierzone bez kompensacji zimnych końców

e_{zk} – poprawka na brak kompensacji zimnych końców zależna od temperatury zimnych końców termopary¹

Odchyłki wskazań wykonanej termopary od wartości podanych w normie przedstawimy jako poprawkę wskazania:

$$\Delta e = e_{Norma} - e_{skomp.} \quad [2]$$

gdzie

Δe - odchyłka pomiaru SEM będąca poprawką do wskazania termopary

e_{Norma} – SEM z odpowiedniej tabeli (zał. 1)

$e_{skomp.}$ - SEM skompensowane

Sprawozdanie:

Ponieważ zimne końce termopary znajdowały się w temperaturze różnej od normatywnej należy uwzględnić poprawkę na temperaturę zimnych końców.

Po uwzględnieniu poprawki na temperaturę zimnych końców należy wyznaczyć charakterystykę termopary T. Na tym samym wykresie narysować charakterystykę termopary wg danych zaczerpniętych z normy (załącznik 1).

Określić niepewność pomiaru napięcia.

Wnioski

Załącznik 1

Charakterystyka termometryczna termopar typu **T (Cu-CuNi)**

Siła elektromotoryczna e_{mf} [mV] w funkcji temperatury. Norma PN-EN 60584-1.

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-20	-0,757	-0,720	-0,683	-0,646	-0,608	-0,571	-0,534	-0,496	-0,459	-0,421
-10	-0,383	-0,345	-0,307	-0,269	-0,231	-0,193	-0,154	-0,116	-0,077	-0,039
0	0,000	0,039	0,078	0,117	0,156	0,195	0,234	0,273	0,312	0,352
10	0,391	0,431	0,470	0,510	0,549	0,589	0,629	0,669	0,709	0,749
20	0,790	0,830	0,870	0,911	0,951	0,992	1,033	1,074	1,114	1,155
30	1,196	1,238	1,279	1,320	1,362	1,403	1,445	1,486	1,528	1,570
40	1,612	1,654	1,696	1,738	1,780	1,823	1,865	1,908	1,950	1,993
50	2,036	2,079	2,122	2,165	2,208	2,251	2,294	2,338	2,381	2,425
60	2,468	2,512	2,556	2,600	2,643	2,687	2,732	2,776	2,820	2,864
70	2,909	2,953	2,998	3,043	3,087	3,132	3,177	3,222	3,267	3,312
80	3,358	3,403	3,448	3,494	3,539	3,585	3,631	3,677	3,722	3,768
90	3,814	3,860	3,907	3,953	3,999	4,046	4,092	4,138	4,185	4,232
100	4,279	4,325	4,372	4,419	4,466	4,513	4,561	4,608	4,655	4,702
110	4,750	4,798	4,845	4,893	4,941	4,988	5,036	5,084	5,132	5,180

¹ Napięcie jakie wytworzyła by termopara gdyby zimne końce znajdowały się w temperaturze 0°C, a gorące w temperaturze powietrza.

