

Termopary bez tajemnic – cz. 1

Podstawowym parametrem większości procesów przemysłowych jest temperatura. Jej pomiar, stabilizacja lub utrzymanie zadanego gradientu warunkuje bezpieczeństwo i optymalizację procesów w automatyce. Z uwagi na powszechną potrzebę kontroli temperatury, rynek oferuje mnogość rozwiązań, z których najpopularniejszym są termopary.

Pomiar temperatury może być zrealizowany z wykorzystaniem różnych rodzajów czujników ale to termopary noszą dumne miano najbardziej rozpowszechnionych. Powodów popularności tych relatywnie prostych w konstrukcji urządzeń jest mniej więcej tyle, co ich typów. Ale po kolei...

Termopara swą popularność zawdzięcza szerokiemu zakresowi pomiarowemu, małej bezwładności czasowej oraz prostej budowie i niezawodności. Nie bez znaczenia jest też fakt, iż termopary znajdują zastosowanie zarówno w pomiarze materiałów sypkich jak i cieczy oraz gazów. Mogą być one stosowane w strefach zagrożenia wybuchem, w środowiskach (mediach) agresywnych chemicznie, w procesach o wysokiej temperaturze i ciśnieniu. Aż trudno uwierzyć, że do wykonania tak wszechstronnego i wytrzymałego urządzenia wystarczą skręcone razem lub zespawane druty odpowiednich stopów.

Zasada działania termopar

W 1821 roku, niemiecki fizyk (pochodzenia estońskiego) Thomas Johann Seebeck odkrył, że styk pomiędzy dwoma metalami generuje napięcie będące funkcją temperatury. Termopara to po prostu praktyczne wykorzystanie zjawiska Seebecka. Jest to czujnik temperatury złożony z dwóch drutów zbudowanych z różnych metali, połączonych razem z jednego końca. Metale te na rysunku 1 są oznaczone jako „stop 1” i „stop 2” i tworzą styki J1 i J4.

Historycznie rzecz ujmując, pomiary temperatury z wykorzystaniem termopar były oparte na drugim termoelementie służącym do mierzenia znanej temperatury jako temperatury odniesienia. Najłatwiejszym i najbardziej precyzyjnym sposobem uzyskania temperatury odniesienia było zanurzenie styku odniesienia (J4) w kąpiel lodowej, co spowodowało nadanie mu nazwy „styk zimny”. Wielkość generowanego w ten sposób napięcia zależy teraz od różnicy temperatur pomiędzy stykami J1 i J4 oraz od rodzajów metali użytych w stopie 1 i stopie 2. Wynik można opisać następującym równaniem:

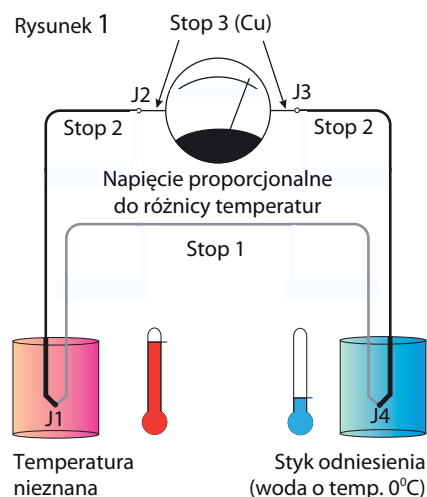
$$V = \alpha (T_{\text{NIEZNANA}} - T_{\text{ODN}})$$

gdzie α jest współczynnikiem Seebecka. Różne termopary mają różne współczynniki, których wartości są publikowane w większości notek informacyjnych termopar. Przy takiej konfiguracji wystarczyłoby jedynie odczytać napięcie, następnie odnaleźć odpowiadającą mu temperaturę w tabeli dla stopu 1/stopu 2 termopary w odniesieniu do temperatury 0°C.

Zauważmy, że podłączenie termopary do woltomierza tworzy dodatkowe, potencjalnie niechciane styki J2 i J3. W efekcie styki te także są termoparami, ale mają one podobny skład i przeciwną polaryzację. Jeśli temperatury styków J2 i J3 są takie same (warunek, który może być osiągnięty

stosunkowo łatwo poprzez odpowiednie zaprojektowanie sprzętu), to styki te nie będą miały wpływu na pomiar.

Rysunek 1



Zasada działania termopary

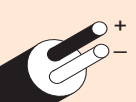
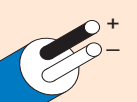
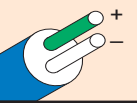
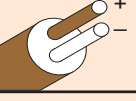
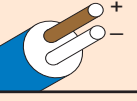
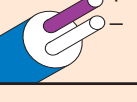
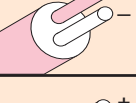
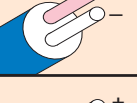
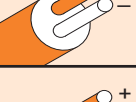
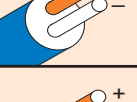
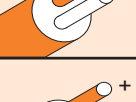
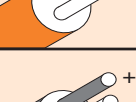
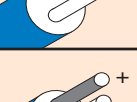
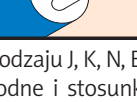
W celu ułatwienia dokonywania pomiarów przemysłowych, zastosowano uproszczenia systemu pomiarowego. Dzisiejsze urządzenia pomiarowe posiadają kompensację elektroniczną spiny odniesienia realizowaną przez pomiar temperatury zacisków przyłączeniowych termopary. Wyeliminowano także nieliniowość charakterystyki termopar stosując przybliżenia liniowe (z zastosowaniem tablic – PN-EN 60584-1) lub przybliżenia arytmetyczne. W niektórych przypadkach stosuje się kombinację obu metod.

TABELA 1

Typ termoelementu	Klasa 1		Klasa 2		Klasa 3	
	Zakres stosowania °C	Tolerancja °C	Zakres stosowania °C	Tolerancja °C	Zakres stosowania °C	Tolerancja °C
T Cu-CuNi	od -40 do +125 od +125 do +350	±0,5 od -40 ± 0,004/t/	do +133 ±1 od +133 do +350	od -67 ± 0,0075/t/	do +40 ±1 od -200 do -67	± 0,015/t/
E NiCr-CuNi	od -40 do +375 od +375 do +800	±1,5 od -40 ± 0,004/t/	do +333 ±2,5 od +333 do +900	od -167 ± 0,0075/t/	do +40 ±2,5 od -200 do -167	± 0,015/t/
J Fe-CuNi	od -40 do +375 od +375 do +750	±1,5 od -40 ± 0,004/t/	do +333 ±2,5 od +333 do +750	± 0,0075/t/		
K NiCr-Ni	od -40 do +375 od +375 do +1000	±1,5 od -40 ± 0,004/t/	do +333 ±2,5 od +333 do +1200	od -167 ± 0,0075/t/	do +40 ±2, od -200 do -167	± 0,015/t/
N NiCrSi-NiSi	od -40 do +375 od +375 do +1000	±1,5 od -40 ± 0,004/t/	do +333 ±2,5 od +333 do +1200	± 0,0075/t/		
R PtRh13-Pt	od 0 do +1000 od +1100	±1 od 0 ± (1+0,003	do +600 ± 1,5 od +600 do +1600	± 0,0025/t/		
S PtRh10-Pt	do +1600	(/t/-1100))				
B PtRh30-PtRh6		od +600	do +1700 od +800 do +1700	± 0,0025 /t/ ± 0,005/t/	od +600 do +800	±4

Rodzaje termopar

Do budowy termopar wykorzystuje się kilka rodzajów stopów metali. Każdy stop oferuje charakterystyki przeznaczone do specyficznych zastosowań. Jak pokazano w TABELI 1, do stopów tych przypisano standardowe kody literowe. Każdy rodzaj drutu termopary można zidentyfikować za pomocą barwnego kodu dla poszczególnych przewodników. Istnieje kilka stosowanych na całym świecie systemów barwnego kodowania. Najczęściej stosowane są oznaczenia barwne wg PN-EN 60584-3, gdzie ujemne wyprowadzenie jest oznaczane kolorem białym, a kolory przewodnika dodatniego i zewnętrznej izolacji są zależne od typu termopary. Szczegółowy system barw jest przedstawiony w TABELI 2.

TABELA 2		
Termopary standardowe	Termopary do stref zagrożonych wybuchem	Kod kolorów
		J
		K
		T
		E
		N
		R
		S
		U
		B

Termopary rodzaju J, K, N, E i T są ekonomiczne, niezawodne i stosunkowo dokładne. Ponad 90% wszystkich termopar należy

do tej właśnie grupy. Zakres ich zastosowań rozciąga się od -200°C do 1250°C .

Typ E – stopy odpowiednie dla temperatur od -200°C do 900°C . Dają się stosować w atmosferze od próżni do łagodnie utleniającej, a także w bardzo niskich temperaturach. Rodzaj E daje największe napięcie wyjściowe spośród wszystkich termopar zbudowanych z metali podstawowych.

Typ J – stopy odpowiednie dla niższych temperatur (-40°C do 750°C). Nie powinny być używane powyżej 760°C . Ekonomiczne i niezawodne. Popularne w przemyśle chemicznym (produkcja plastiku), ale używane również jako termopary ogólnego zastosowania w określonym zakresie temperatur.

Typ K – standard przemysłowy dla temperatur od -200°C do 1200°C . Termopary typu K mogą korodować w środowiskach odtłuszczanych chemicznie.

Typ N – podobne do termopar typu K, ale bardziej odporne na utlenianie i bardziej stabilne w górnym zakresie pomiarowym.

Typ T – stopy odpowiednie dla temperatur od -200°C do 350°C .

Metale szlachetne

Termopary typu R, S i B są zbudowane z platyny i rodru. Są one więc określane mianem „termopar szlachetnych”. Jako klasa są one bardziej dokładne i stabilne niż typy metali podstawowych, ale również i droższe. Są stosowane do mierzenia temperatur do 1700°C oraz jako źródła odniesienia do testowania innych typów. Aby uniknąć możliwości zanieczyszczenia w wyższych temperaturach oparami innych metali, powinny być używane wewnątrz nie-metalowych osłon.

Typ R – dla wysokich temperatur (do 1600°C). Mają skłonność do zanieczyszczenia się, gdy kontaktują się z innymi metalami. Stabilne w atmosferze utleniającej, ale ulegają degradacji w próżni lub atmosferze rozrzedzonej.

Typ S – standard przemysłowy dla wysokich temperatur do 1600°C , podobne do typu R, stosowane również jako czujniki wzorcowe.

Typ B – podobne do typów R i S, ale użyteczne do 1700°C . Najlepiej stosować w temperaturach powyżej 600°C .

Termoelementy do bardzo wysokich temperatur

Pomiar temperatur do 2320°C umożliwiają termopary wolframowo-renowe:



Czujnik głowicowy



Czujnik płaszczowy



Czujnik przewodowy

Typ C W5Re-W26Re

Typ G W-W26Re

Typ D W3Re-W25Re

Termopary te są jednak rzadko stosowane z uwagi na swoją kruchość i wymóg stosowania w atmosferze obojętnej (szybkie utlenianie).

Ciąg dalszy nastąpi

Termopary – urządzenia proste w konstrukcji i użytkowaniu, zainstalowane są w tysiącach aplikacji na całym świecie. Już sama skala ich zastosowania daje powody do stwierdzenia, iż informacji na ich temat nigdy nie jest zbyt dużo. Mam nadzieję, że artykuł, który macie Państwo za sobą przybliżył lub odświeżył wiedzę na temat zasad działania i typów tych popularnych czujników temperatury.

Co oczywiste, z uwagi na ograniczenia redakcyjne nie sposób nawet w największym skrócie omówić najważniejsze zagadnienia związane z kontaktowym pomiarem temperatury za pomocą termopar. Dlatego też, w przyszłym wydaniu naszego magazynu zamieszczona zostanie część druga.



Opracowanie na podstawie artykułu zamieszczonego w „Automatyka, Podzespoły, Aplikacje” nr 12/2006

Stanisław Stanisz

Ukończył Wydział Odlewnictwa na Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. W Introlu pracuje od 2003 roku, obecnie na stanowisku kierownika działu Czujników temperatury.

tel. 032/7890150
e-mail: czujtemp@introl.pl