



Politechnika Wrocławska

Laboratorium Metrologii

Ćwiczenie nr 8 Pomiary temperatury.

I. Zagadnienia do przygotowania na kartkówkę:

1. Zdefiniuj jednostki: kelwin, stopień Celsjusza, stopień Fahrenheita. Ilu kelwinom i ilu stopniom Fahrenheita odpowiada temperatura 23 °C?
2. Wymień i opisz dwie podstawowe grupy czujników. Do której z grup zaliczymy termoparę, a do której termistor?
3. Na jakiej zasadzie działają czujniki termorezystancyjne? Rozwiń i opisz znaczenie skrótów PTC i NTC.
4. Na jakiej zasadzie działają czujniki termoelektryczne? Opisz w skrócie zjawisko Seebecka.
5. Opisz zasadę działania bimetalicznych i ciśnieniowych czujników temperatury. Sporządź odpowiednie rysunki schematyczne.
6. Rozwiń skrót TWR. Zdefiniuj ten współczynnik. Oblicz w przybliżeniu rezystancję czujnika Pt100 w temperaturze 50 °C, wiedząc, że TWR platyny to 0,00385 K⁻¹.

Uwaga! Na zajęcia należy przynieść 1 arkusz papieru milimetrowego formatu A4.

II. Literatura:

1. A. Chwaleba, M. Poniński, A. Siedlecki, *Metrologia elektryczna*, WNT, Warszawa 1998.

W czasie wykonywania ćwiczeń przestrzegaj przepisów BHP!

1. Wstęp

Pomiar temperatury należy do najbardziej rozpowszechnionych zarówno w życiu codziennym, jak i w laboratoriach badawczych czy zakładach przemysłowych. Uzyskanie informacji o temperaturze powietrza (by wiedzieć, jak się ubrać), o temperaturze silnika (aby się nie przegrzał) czy też sterowanie temperaturą procesu technologicznego wymaga różnej dokładności pomiaru. Czasami wystarczające jest określenie subiektywne – ciepło, chłodno, zimno, gorąco. Wiele przypadków wymaga jednak mniej lub bardziej dokładnego pomiaru. Niektóre procesy wymagają natomiast kontroli temperatury w szerokim zakresie. Najczęściej są to procesy obróbki materiałów. Przykładem urządzenia może być tutaj piec tunelowy, który jest urządzeniem o pracy ciągłej do termicznej obróbki materiału. Jego zadaniem jest podgrzewać, wypalać i chłodzić według szczegółowo ustalonego profilu temperatury. Gospodarka cieplna pieca polega na zastosowaniu ciepła gorących spalin oraz wykorzystaniu ciepła stygnącego materiału. Wypalane wyroby posuwają się w tunelu na wózkach piecowych, pośrodku którego umieszczona jest stała strefa najwyższej temperatury. Piec składa się z trzech stref, podgrzewania, wypalania i chłodzenia. Dla kontroli temperatury powietrza w piecu montuje się szereg termopar na całej długości pieca, co pozwala na kontrolę i rejestrację zmian temperatury w każdej strefie. Temperatury odczytuje się i zapisuje z każdym pchnięciem wózków do pieca. Kontrolowane temperatury sięgają 1000 °C. Dla jeszcze innych procesów krytyczna jest stabilizacja temperatury na poziomie ułamków stopni Celsjusza. Przykładem mogą być precyzyjne pomiary interferometryczne z wykorzystaniem laserów półprzewodnikowych – zmiana temperatury lasera powoduje zmianę długości fali promieniowania lasera, więc nawet najmniejsze wahanie temperatury struktury emitującej światło zaburza pomiary.

Podstawowa jednostka temperatury zdefiniowana jest w układzie SI następująco:

1 K (kelwin) jest to 1/273,16 temperatury termodynamicznej punktu potrójnego wody o składzie izotopowym: 0,00015576 mola ²H na jeden mol ¹H, 0,0003799 mola ¹⁷O na jeden mol ¹⁶O i 0,0020052 mola ¹⁸O na jeden mol ¹⁶O¹.

Do jednostek temperatury stosowanych na świecie należą:

1 K – jeden kelwin², jednostka bezwzględna; 0 K to najniższa możliwa temperatura we Wszechświecie.

1 °C – jeden stopień Celsjusza³; 0 °C to temperatura zamarzania wody (odpowiada to 273,15 K). Przyrost temperatury o jeden stopień Celsjusza odpowiada jej przyrostowi o jeden kelwin.

1 °F – jeden stopień Fahrenheita⁴; jednostka używana przede wszystkim w krajach anglosaskich. 0 °C to 32 °F oraz 100 °C to 212 °F, a zatem temperatura w stopniach Fahrenheita $T_{[°F]}$ ma się do temperatury w stopniach Celsjusza $T_{[°C]}$ następująco:

$$T_{[°F]} = 9/5 \cdot T_{[°C]} + 32.$$

Przemysłowe zakresy mierzonych temperatur mają ogromną rozpiętość. Od temperatur bliskich zeru bezwzłędnemu (ułamki kelwina) w kriogenice po tysiące kelwinów w hutach czy reaktorach. Konkretnie zastosowanie wymaga zatem dobrania czujników temperatury o odpowiednich parametrach. W ramach laboratorium mierzone będą czujniki, w których zakresie pomiarowym zawiera się temperatura pokojowa.

¹ Definicja kelwina została uzupełniona o skład izotopowy wody w 2005 roku: http://www.bipm.org/en/si/si_brochure/chapter2/2-1/kelvin.html.

² Nazwa jednostki pochodzi od tytułu szlacheckiego Williama Thomsona (lorda Kelvina; 1824–1907), brytyjskiego fizyka i matematyka, profesora Uniwersytetu w Glasgow.

³ Anders Celsius (1701–1744) – szwedzki fizyk i astronom, profesor Uniwersytetu w Uppsali.

⁴ Daniel Gabriel Fahrenheit (1686–1736) – fizyk pochodzenia niemieckiego; większość życia pracował w Hadze.

2. Czujniki temperatury

Pomiary wielkości nieelektrycznych wymagają przetwornika mierzonej wielkości na mierzalną wielkość elektryczną. Funkcję takiego przetwornika spełniają czujniki. Można je podzielić na dwie grupy:

- czujniki generacyjne, które generują ładunek elektryczny o wartości proporcjonalnej do mierzonej wielkości fizycznej,
- czujniki parametryczne, których parametry elektryczne (oporność, pojemność, indukcyjność) zmieniają się pod wpływem działania wielkości nieelektrycznej.

W niniejszym ćwiczeniu mierzoną wielkością nieelektryczną jest temperatura. Najczęściej stosowane czujniki temperatury to:

- a) czujniki rezystancyjne,
- b) czujniki półprzewodnikowe,
- c) termopary,
- d) czujniki bimetaliczne,
- e) czujniki ciśnieniowe,
- f) pirometry.

Zasadę działania poszczególnych czujników opisano w kolejnych podrozdziałach.

2.1. Czujniki rezystancyjne: termorezystory i termistory

Termorezystory są to elementy, których rezystancja zmienia się w sposób mierzalny wraz ze zmianą temperatury otoczenia. Zmiany te są charakterystyczne dla każdego termorezystora i wyrażone za pomocą **temperaturowego współczynnika rezystancji (TWR)**. Współczynnik ten określa względną zmianę rezystancji wywołaną zmianą temperatury o 1 °C. Oznaczamy go symbolem α . Znając rezystancję R_p termorezystora w temperaturze początkowej T_p , możemy określić jego rezystancję R w dowolnej innej temperaturze T :

$$R = R_p \cdot (1 + \alpha (T - T_p)) .$$

Podstawowe parametry charakteryzujące termorezystor to:

- rezystancja nominalna w T_0 , najczęściej $T_0 = 25$ °C (zapisywana jako R_{25}),
- tolerancja rezystancji,
- TWR,
- maksymalna dopuszczalna moc, jaką element może rozproszyć.

Zasada działania czujników rezystancyjnych polega na wykorzystaniu zjawiska zmiany rezystancji metali wraz z ich temperaturą. Ze wzrostem temperatury wzrasta amplituda drgań atomów w sieci krystalicznej przewodnika oraz wzrasta prawdopodobieństwo zderzeń elektronów swobodnych i jonów, co ze względu na hamowanie ruchu ładunków powoduje wzrost rezystancji.

Metale stosowane na rezystory termometryczne powinny charakteryzować się:

- możliwie dużym cieplnym współczynnikiem zmian rezystancji,
- możliwie dużą rezystywnością zapewniającą wykonanie rezystorów o małych wymiarach,
- możliwie wysoką temperaturą topnienia,
- stałością właściwości fizycznych,
- odpornością na korozję,
- powtarzalnością właściwości elementów o identycznych kształtach,
- ciągłością zależności rezystancji od temperatury bez wystąpienia histerezy.

Metalem, który najlepiej łączy w sobie wyszczególnione powyżej właściwości i ma jednocześnie dodatni TWR jest platyna (Pt). W ćwiczeniu stosowane są termorezystory Pt100. Zależność między temperaturą a rezystancją w platynowych rezystorach termometrycznych opisują następujące równania:

Dla temperatury t z zakresu od -200 °C do 0 °C :

$$R_t = R_0 \cdot \left(1 + At + Bt^2 + C \cdot (t - 100\text{ °C}) \cdot t^3 \right),$$

zaś dla temperatury t z zakresu od 0 °C do $+850\text{ °C}$:

$$R_t = R_0 \cdot (1 + At + Bt^2) .$$

W praktyce okazuje się jednak, iż współczynniki B i C są o kilka rzędów mniejsze niż współczynnik A. W związku z tym dla umiarkowanych temperatur można pominąć człony o wyższych potęgach i przyjąć, że zależność rezystancji od temperatury dla czujnika Pt100 jest liniowa.

Według normy PN-EN 60751 nominalna rezystancja czujnika Pt100 wynosi $100,00\ \Omega$ w temperaturze 0 °C . Dostępne są również czujniki rezystancyjne o nominalnych wartościach $500\ \Omega$ (Pt500) oraz $1000\ \Omega$ (Pt1000). Charakteryzują się one znacznie większą dokładnością (większa rozdzielczość rezystancji w stosunku do temperatury).

Dopuszczalne tolerancje błędów dla platynowych czujników rezystancyjnych zostały dokładnie opisane w normie PN-EN 60751:1997+A2. Norma ta rozróżnia dwie klasy dokładności: A i B. Istnieje również możliwość zastosowania rezystorów platynowych o podwyższonej dokładności, tj. klasy 1/3 B oraz 1/10 B. Jednak rezystory te są ograniczone zakresem temperatury stosowania.

Poniżej zostały podane wzory na obliczanie dopuszczalnej odchyłki dla wyżej wymienionych klas dokładności wraz z dopuszczalnymi temperaturami pracy.

Klasa **A**:

$$\Delta t = (0,15 + 0,002 \cdot |t|) \text{ dla } t \in \langle -200\text{ °C}; +600\text{ °C} \rangle$$

Klasa **B**:

$$\Delta t = (0,30 + 0,005 \cdot |t|) \text{ dla } t \in \langle -200\text{ °C}; +850\text{ °C} \rangle$$

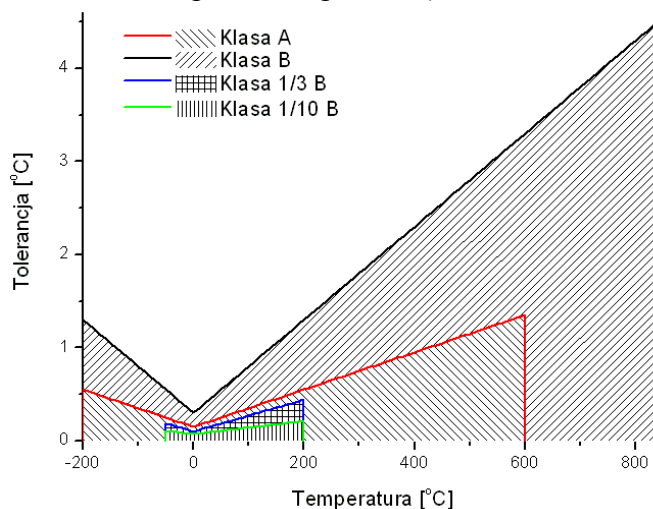
Klasa **1/3 B**:

$$\Delta t = (0,10 + 0,0017 \cdot |t|) \text{ dla } t \in \langle -50\text{ °C}; +200\text{ °C} \rangle$$

Klasa **1/10 B**:

$$\Delta t = (0,07 + 0,0007 \cdot |t|) \text{ dla } t \in \langle -50\text{ °C}; +200\text{ °C} \rangle$$

Zależności te ilustruje rysunek poniżej (zakresowany obszar dla każdej z klas oznacza zakres dopuszczalnych wartości niepewności pomiaru):



Drugą grupą rezystancyjnych czujników temperatury są **termistory**. Materiałem do produkcji termistorów są przede wszystkim tlenki, siarczki i krzemiany metali (niklu, kobaltu, miedzi, uranu itp.). Rezystywność materiałów używanych do produkcji termistorów mieści się w granicach $10^{-4} \div 10^{12} \Omega \cdot m$. Zależność rezystancji od temperatury dla termistorów przedstawia ogólnie wzór:

$$R_T = A \cdot \exp\left(\frac{B}{T}\right),$$

gdzie:

A – współczynnik odpowiadający rezystancji dla temperatury dążącej do nieskończoności

B – stała materiałowa.

Wyróżniamy dwa typy termistorów: **PTC** i **NTC**. Rezystancja termistora typu **PTC** (ang. *positive temperature coefficient*) wzrasta wraz z przyrostem temperatury względem temperatury nominalnej. Innymi słowy, takie termistory charakteryzują się dodatnim współczynnikiem temperaturowym. Z kolei rezystancja termistora typu **NTC** (ang. *negative temperature coefficient*) maleje wraz z przyrostem temperatury względem temperatury nominalnej. Charakteryzują się więc one ujemnym współczynnikiem temperaturowym.

Współczynnik temperaturowy termistora α_T określamy zależnością:

$$\alpha_T = \frac{1}{R_T} \cdot \frac{dR_T}{dT}$$

W temperaturze pokojowej (25 °C) współczynnik ten dla termistorów typu NTC waha się od $-2,5 \%/K$ do $-6 \%/K$.

W celu określenia sygnału wyjściowego z rezystancyjnego czujnika temperatury zadajemy przepływ prądu o stałym natężeniu oraz mierzymy spadek napięcia na rezystorze czujnikowym zgodnie z prawem Ohma:

$$U = R \cdot I$$

Prąd pomiarowy powinien mieć niewielkie natężenie, aby nie powodować nagrzewania się rezystora. Moc wydzielana na rezystorze wynosi $P = I^2 \cdot R$. Zazwyczaj można przyjąć, że prąd pomiarowy o natężeniu 1 mA nie wnosi istotnych błędów (maksymalne zalecane natężenia prądu zasilania nie przekraczają 7 mA). Dla termorezystora Pt100 w temperaturze 0 °C przy natężeniu prądu zasilania $I_{zas} = 1 \text{ mA}$ uzyskuje się spadek napięcia 100 mV, czyli napięcie łatwo mierzalne za pomocą standardowych multimetrów laboratoryjnych. Napięcie z czujnika należy dostarczyć do przyrządu pomiarowego w postaci nieprzekłamanej. W tym celu stosuje się kilka układów podłączenia doprowadzeń. Najprostsze połączenie termorezystora do omomierza odbywa się za pomocą dwóch przewodów. Przewody mają jednak własną niewielką rezystancję, co skutkuje błędem systematycznym w pomiarze temperatury – uzyska się wynik wskazujący na temperaturę wyższą (dodatni TWR albo PTC) albo niższą (ujemny TWR albo NTC) od rzeczywistej. Dla długich przewodów wpływ rezystancji doprowadzeń jest istotny i wymaga się od miernika funkcji kompensacji rezystancji przewodów. W przypadku stosowania krótkich połączeń w układzie pomiarowym, błąd wprowadzany przez doprowadzenia jest pomijalnie mały. Najlepszym rozwiązaniem jest zastosowanie 4-przewodowego pomiaru rezystancji.

2.2. Czujniki termoelektryczne (termopary)

Termopary odznaczają się dużą niezawodnością, dokładnością i elastycznością konstrukcji, co pozwala na ich zastosowanie w różnych warunkach. Materiały stosowane na termoelementy powinny w miarę możliwości wykazywać następujące cechy:

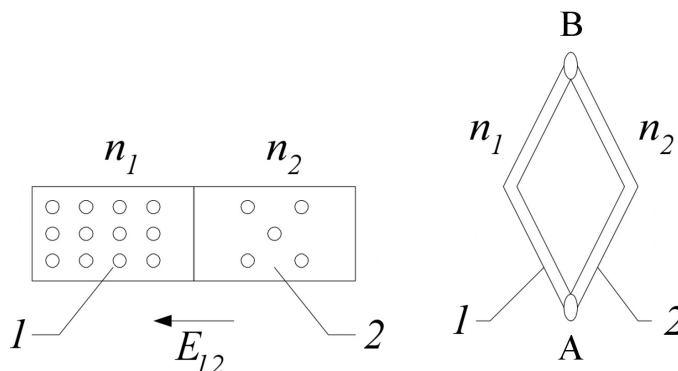
- duża temperatura topnienia,
- duża dopuszczalna temperatura pracy ciągłej,
- duża odporność na wpływy atmosferyczne,
- możliwie mała rezystywność,
- mały cieplny współczynnik rezystancji,
- stałość powyższych właściwości w czasie.

Podstawowym elementem termometru termoelektrycznego jest czujnik generacyjny, stanowiący ogniwo termoelektryczne. Ogniwo termoelektryczne jest zestawem dwóch przewodników lub półprzewodników wykonanym w postaci przetwornika temperatura-SEM (powtarzalny efekt Seebecka).

W praktyce działanie termopar opiera się na zjawiskach Seebecka⁵, Peltiera⁶ i Thomsona⁷. Najistotniejsze jest zjawisko Seebecka, które polega na powstawaniu siły elektromotorycznej i przepływie prądu elektrycznego w zamkniętym obwodzie termoelektrycznym w miejscu styku dwóch metali lub półprzewodników o różnych temperaturach. Na styku dwóch różnych metali pojawia się kontaktowa różnica potencjałów określona zależnością:

$$E_{12} = -\frac{1}{e}(A_1 - A_2) + \frac{k_B T}{e} \cdot \ln \frac{n_1}{n_2} .$$

Pierwszy ze składników we wzorze zależy od prac wyjścia elektronów A_1 i A_2 z tych metali, przy czym $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$ C oznacza ładunek elektronu. Drugi składnik (dyfuzyjna różnica potencjałów) zależy od temperatury bezwzględnej T styku metali oraz koncentracji n_1 i n_2 swobodnych elektronów, natomiast $k_B = 1,381 \cdot 10^{-23}$ J·K⁻¹ to stała Boltzmana.



Jeżeli zastosuje się dwa metale 1 i 2 złączone ze sobą w punktach A i B, a temperatury spoin wynoszą odpowiednio T_1 i T_2 i liczba swobodnych elektronów w tych metalach wynosi odpowiednio n_1 i n_2 , to – przy założeniu, że różnica prac wyjścia jest bardzo mała – siła elektromotoryczna (termoelektryczna) w tak utworzonym obwodzie zamkniętym (zgodnie z prawami Kirchhoffa) wynosi:

$$E = E_{12} + E_{21} = \frac{k_B}{e} \cdot \left(\ln \frac{n_1}{n_2} \right) \cdot (T_A - T_B) = C \cdot (T_A - T_B) .$$

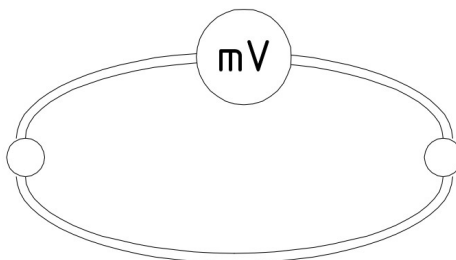
⁵ Thomas Johann Seebeck (1770–1831) – niemiecki fizyk, członek Berlińskiej Akademii Nauk.

⁶ Jean Charles Athanase Peltier (1785–1845) – francuski fizyk.

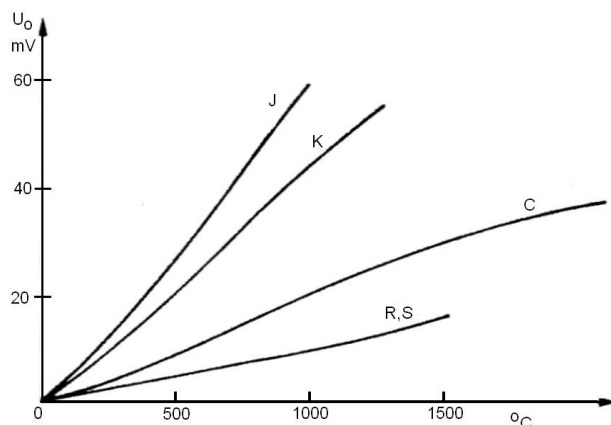
⁷ William Thomson, lord Kelvin (1824–1907) – brytyjski fizyk i matematyk, profesor Uniwersytetu w Glasgow.

Siła termoelektryczna powstaje jako różnica stykowych sił elektromotorycznych E_{12} i E_{21} w efekcie tego, że $T_A \neq T_B$. Stała C zależy od stosowanych metali. Przykładowo dla termoelementu złożonego z platyny i niklu współczynnik ten wynosi $C_{Pt-Ni} = -15 \mu\text{V/K}$, a dla platyny i krzemu – $C_{Pt-Si} = 440 \mu\text{V/K}$. W powyższym wzorze T_A jest temperaturą złącza pomiarowego, natomiast T_B – temperaturą złącza odniesienia. Złącze odniesienia jest wymagane dla poprawnego działania, ewentualnie zastosować można jego elektryczny odpowiednik.

Na rysunku poniżej pokazano sposób dołączenia przyrządu pomiarowego dla pomiaru siły termoelektrycznej. Punkty połączenia ogniwa termoelektrycznego z zaciskami przyrządu powinny mieć jednakową temperaturę. W termoparach najczęściej stosowana do dokładnych pomiarów temperatury wykorzystuje się złącze platyna-platynorod.



Wyróżnia się kilka rodzajów termopar, oznaczanych symbolicznie literami: J, K, B, R, S, T, C, E, N. Różnią się one zakresami pomiarowymi oraz materiałami, z których wykonano złącze pomiarowe. Największą liniowość charakterystyki przetwarzania $U=f(T)$ wykazuje termopara typu K. Poniżej przedstawiono rodzinę charakterystyk termopar.



Charakterystyki termoelementów

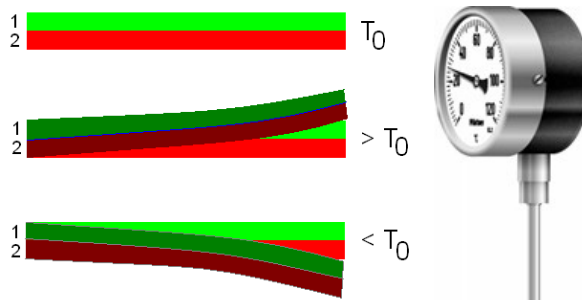
Typ	Element		C [$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$] ⁸	Zakres [$^\circ\text{C}$]
	+	-		
J	żelazo	konstantan	52,7	-210 ÷ 1200
K	chromel	alumel	41,0	-270 ÷ 1350
R, S	platynorod	platyna	6,5	0 ÷ 1750
T	miedź	konstantan	42,8	-270 ÷ 400
C	wolfram 5% - ren	wolfram 26% - ren	14,5	0 ÷ 2320

W ćwiczeniu do pomiaru temperatury stosowana będzie termopara typu K.

⁸ Wartość dla $t_1 = 0^\circ\text{C}$ i $t_2 = 100^\circ\text{C}$, źródło: NIST ITS-90 Thermocouple Database (<http://srdata.nist.gov/its90/main/>).

2.3. Czujniki bimetaliczne

Bimetal to trwale połączone na całej powierzchni dwa różne pod względem właściwości fizykochemicznych metale lub stopy. Do wykorzystania w pomiarach temperatury wytwarza się bimetale termometryczne. Cechują się one różnym współczynnikiem rozszerzalności cieplnej. Skutkiem tej różnicy jest to, że pod wpływem zmiany temperatury następuje wygięcie płytki. Przykładowy termometr bimetaliczny pokazano na rysunku poniżej. Znajdują one zastosowanie w grzejnictwie, wentylacji, klimatyzacji i przemyśle spożywczym.



$T = T_0$ – temperatura równowagi stopu bimetalicznego,

$T > T_0$ – materiał 2 ma większy współczynnik rozszerzalności termicznej i wydłuża się bardziej niż materiał 1,

$T < T_0$ – materiał 2 ma większy współczynnik rozszerzalności termicznej i kurczy się bardziej niż materiał 1.

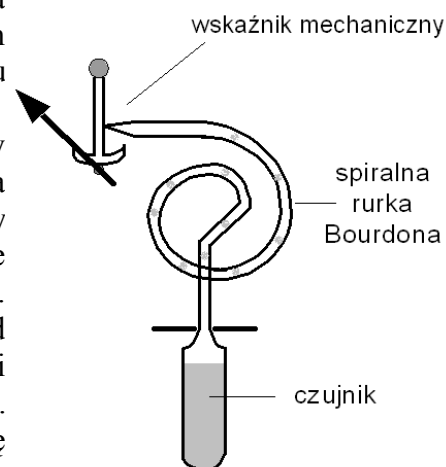
Jeśli zwinąć bimetal w sprężynkę i na wolnym końcu umieścić wskazówkę, to zmiana temperatury spowoduje rozwijanie lub zwijanie sprężynki i wychylenie wskazówki.

2.4. Czujniki ciśnieniowe

Zasada działania czujnika ciśnieniowego opiera się na zmianie ciśnienia cieczy lub gazu pod wpływem zmiany temperatury. Termometr tego rodzaju przedstawia rysunek obok.

Ciecz termometryczna wypełnia zamknięty układ złożony z czujnika, układu pomiarowego (rurka Bourdona) i kapilary łączącej. Zmiana temperatury czujnika powoduje zmianę ciśnienia w układzie i w konsekwencji odkształcenie rurki Bourdona. Odkształcenie to jest przenoszone na układ wskazówkowy. Pozwala to na określenie funkcji odkształcenia odpowiadającej danej temperaturze. Funkcja ta, określona empirycznie, wyznacza skalę temperatury termometru. Jako cieczy termometrycznych używa się: rtęci ($-30 \div 600$ °C), nafty lub innych. Klasa dokładności termometrów ciśnieniowych wynosi do 1,5%.

Rurki Bourdona są okrągłymi rurkami o przekroju owalnym. Ciśnienie medium napiera na wnętrze takiej rurki powodując zaokrąglenie jej przekroju. Powstanie krzywizny powoduje naprężenie pierścienia rurki i jej wygięcie. Swobodna końcówka rurki wykonuje ruch, który odzwierciedla pomiar ciśnienia. Ruch ten powoduje odpowiednie odchylenie wskazówki.



2.5. Czujniki pirometryczne

Pirometr jest przyrządem pomiarowym do bezdotykowego pomiaru temperatury. Działa w oparciu o analizę promieniowania cieplnego emitowanego przez badane ciała. Wszystkie ciała o temperaturze wyższej od temperatury zera bezwzględnego emitują promieniowanie cieplne o podobnej charakterystyce zwanej promieniowaniem ciała doskonale czarnego. Proste pirometry mierzą ilość emitowanej energii przez pomiar temperatury elementu na który pada promieniowanie. Do pomiaru temperatur powyżej 600 °C używane są pirometry optyczne, w których jasność świecenia badanego obiektu jest porównywana z jasnością obiektu wzorcowego (np. żarnika). Pirometry służą do bezkontaktowego pomiaru temperatury obiektów ruchomych, niedostępnych lub niebezpiecznych w dotyku. Charakteryzują się dużym zakresem mierzonych temperatur.

3. Przebieg ćwiczenia

**Podczas wykonywania ćwiczenia należy przestrzegać zasad BHP.
Nie dotykać rozgrzanego blatu stolika pomiarowego ani rezystora mocy –
może to skutkować poparzeniem!**

Celem ćwiczenia jest uzyskanie charakterystyki termopary typu K oraz pomiar temperatury obudowy rezystora dużej mocy podczas pracy.

1. Włączyć multimetr Agilent 34401A i wybrać pomiar napięcia stałego. Wybrać najniższy zakres pomiarowy (100 mV).
2. Włączyć zasilanie stolika temperaturowego – włącznik znajduje się obok przewodu zasilającego. Przyciskami „+” oraz „-” ustawiamy żadaną temperaturę. Drugi ze wskazań to bieżąca temperatura blatu stolika.
3. Umieścić termoparę na środku blatu stolika, przykryć gąbką i przycisnąć obciążnikiem.
4. Dla zakresu temperatur od -5 °C do +100 °C zmierzyć napięcie na zaciskach termopary. Pomiarów dokonywać co 5 °C.
5. Przełączyć multimetr Agilent 34401A w tryb czteropunktowego pomiaru rezystancji.
6. Ustawić zasilacz laboratoryjny na maksymalną możliwą wartość ograniczenia prądowego.
7. Ustawić napięcie wyjściowe zasilacza na 0,5 V. Wyłączyć zasilacz.
8. Zmierzyć (czteropunktowo) rezystancję czujnika Pt100.
9. Włączyć zasilacz. Poczekać na stabilizację wskazania omomierza i zanotować rezystancję czujnika Pt100. Następnie zwiększać napięcie wyjściowe zasilacza co 0,5 V, za każdym razem poczekać na stabilizację wskazania omomierza i odczytać rezystancję.
10. Ostatni odczyt wykonać dla napięcia zasilacza równego 4,0 V.
11. Wyłączyć zasilacz laboratoryjny.
12. Obliczyć zmierzoną temperaturę rezystora według danych katalogowych czujnika Pt100.
13. Sporządzić na papierze milimetrowym charakterystykę napięcia termopary w zależności od temperatury oraz temperatury obudowy rezystora HS50 w zależności od mocy na nim wydzielanej (dwa osobne rysunki na jednej stronie A4).