



Politechnika Wroclawska

Katedra Techniki Ciepłej W9/K51

Miernictwo i systemy pomiarowe – Lab.

Charakterystyki termometrów oporowych metalowych i półprzewodnikowych. Linia dwu- i trójprzewodowa

Instrukcja do ćwiczenia nr 3

Opracował: dr inż. Wiesław Wędrychowicz

Wrocław, 2021.

Wstęp teoretyczny¹

1. Budowa

Pomiar temperatury w warunkach przemysłowych realizowany jest obecnie w przeważającej liczbie przypadków z wykorzystaniem termometrów oporowych wyposażonych w oporniki platynowe.

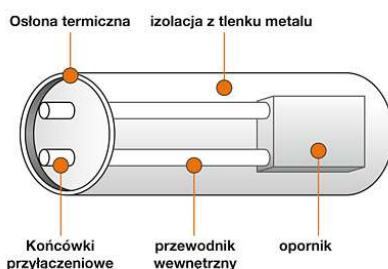
Główne zalety w porównaniu ze standardowymi czujnikami:

- Niewielkie wymiary.
- Budowa zamknięta.
- Krótki czas reakcji.
- Wysoka odporność na temperaturę.
- Odporność na trudne warunki chemiczne i mechaniczne.
- Długi czas pracy i stabilność działania.

Dzięki zamkniętej budowie termometrów oporowych istnieje możliwość stosowania ich bez konieczności umieszczania w dodatkowych osłonach.

Termometr oporowy składa się zawsze z następujących elementów:

- Opornik do pomiaru temperatury, zazwyczaj Pt100 (istnieje możliwość zastosowania innych wartości oporowych),
- Przewody wewnętrzne (przewód doprowadzający i odprowadzający),
- Materiał izolujący (tlenek metalu w proszku),
- Rura osłonowa.



Rys. 1 Budowa termometru oporowego

Najważniejszym komponentem jest umieszczony w czubku czujnika czuły na temperaturę rezystor pomiarowy. Przez rezystor przepływa dodatkowy prąd, o natężeniu od 0,1 do 10 mA, który nie powinien jednak przekraczać 1 mA by zapobiec nagrzewaniu czujnika przez prąd pomiarowy, a następnie mierzona jest rezystancja elektryczna. Na podstawie wyników tego pomiaru możliwe jest dokładne ustalenie temperatury otoczenia opornika, zgodnie z normą DIN EN 60751, która standaryzuje opór w zakresie od -200°C do +850°C.

W jednym czujniku zamontować można maksymalnie trzy oporniki.

Rezystory, które wykazują opór elektryczny dokładnie 100 omów w temperaturze 0°C określa się jako termometry typu Pt100, w przypadku rezystorów o oporze 500 omów w 0°C mówimy o termometrach typu Pt500, a przy 1000 omów w 0°C – Pt1000.

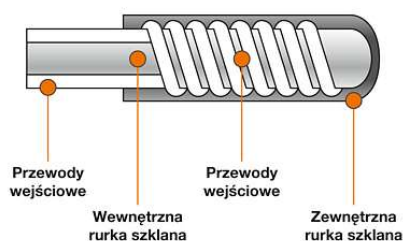
2. Czujniki oporowe nawinięte na obiekty szklane

Zakres temperatury, w zależności od rodzaju szkła od -196°C do 350°C lub -20°C do 450°C. W przypadku tego rodzaju rezystorów platynowy kabel oporowy nawinięty jest bifilarnie na pręt lub rurkę szklaną i dostosowany do żądanej tolerancji (dokładność pomiarowa).

Na tej cewce natapia się kolejną rurkę szklaną. Rozróżnia się rezystory szklane wykonane ze szkła hartowanego i miękkiego. Oporniki szklane ze szkła hartowanego stosuje się w temperaturach od -20°C

¹ Materiały zaczerpnięte z Guenther Polska Sp. z o.o. ul. Wrocławska 24 B 55-090 Długołęka

do $+450^{\circ}\text{C}$. Są one szczególnie odporne na uszkodzenia mechaniczne i chemiczne. Ponadto charakteryzują się niezwykle szybkim czasem reakcji, bowiem cewka pomiarowa znajduje się zaraz pod powierzchnią szkła. Wadą natomiast jest to, że rezystory te ze względu na różne wartości współczynnika rozszerzalności szkła hartowanego oraz platyny mają skłonność do histerezy. Ponadto od temperatury 350°C szkło staje się przewodnikiem elektrycznym, powodując tym samym zaniżanie pomiaru temperatury. Oporniki z miękkiego szkła nie wykazują żadnych skłonności do histerezy, bowiem platyna i miękkie szkło rozszerzają się w tym samym stopniu. Maksymalna temperatura w jakiej stosuje się tego rodzaju rezystory nie przekracza $+350^{\circ}\text{C}$. Oporniki pomiarowe z miękkiego szkła można wytwarzać w bardzo niewielkich rozmiarach, dlatego też nadają się szczególnie do zastosowań w czujnikach małych i laboratoryjnych, jak również do pomiarów powierzchniowych w sytuacjach, gdy konieczne jest dokonanie pomiaru przy zachowaniu minimalnej odległości pomiędzy czujnikiem a mierzonym obiektem. Oporniki te – ze względu na swoją budowę – można zanurzać bezpośrednio w mierzonym medium tak jak np. w przypadku czujników laboratoryjnych zanurzanych w cieczach.



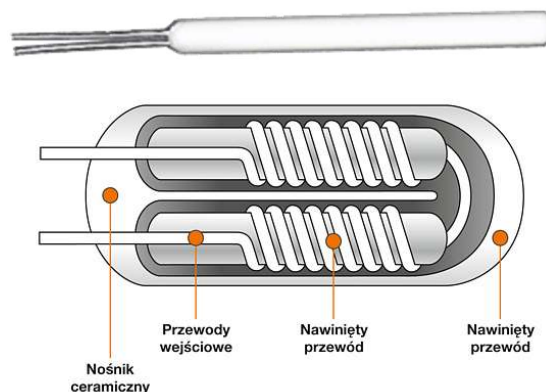
Rys. 2 Czujniki oporowe nawinięte na objekty szklane

3. Czujniki oporowe nawinięte na objekty ceramiczne

Zakres temperatur, w jakich czujniki te mogą być stosowane – zależnie od typu – obejmuje od -196°C do 850°C . Ceramiczne termometry oporowe oferowane są w wykonaniach z jednym, dwoma lub trzema obwodami pomiarowymi. Główną zaletą tego typu czujników jest możliwość stosowania ich w temperaturach od -196°C do 850°C .

Nośniki oporowe składają się z ceramicznej kapilary wyposażonej w 2, 4 lub 6 otworów. W dwóch położonych obok siebie kapilarach umieszcza się dwa połączone na jednym końcu oporowe kable platynowe. Po dokonaniu wyrównania do wymaganej tolerancji, kable spawają się na wolnych końcach, przestrzeń niewykorzystana wewnątrz termometrów wypełniana jest pyłem ceramicznym, a otwarte końce rurek zostają zasklepione.

Budowa tego rodzaju czujników ma na celu zapewnienie jak największej odporności na uszkodzenia mechaniczne i chemiczne. Ponieważ oporniki umieszczone są swobodnie w kapilarach, ceramiczne termometry oporowe z jednej strony nie wykazują skłonności do hysterezy, z drugiej jednak są dość wrażliwe na wstrząsy. Ceramiczne termometry oporowe charakteryzują się najwyższą dokładnością pomiarową wśród wszystkich termometrów oporowych, dlatego też stosowane są w najbardziej wymagających warunkach pomiarowych.



Rys. 3 Czujniki oporowe nawinięte na objekty szklane

4. Termometry oporowe na nośnikach ceramicznych

Zakres temperatur, w jakich czujniki te mogą być stosowane: od 70°C do +500°C, a w przypadku typów specjalnych 196°C do +500°C.

Warstwa platyny konieczna do pomiaru temperatury nanoszona jest na czujnik jedną z następujących metod:

- W technologii sitodruku,
- W technologii osadzania z fazy gazowej
- W technologii napyłania

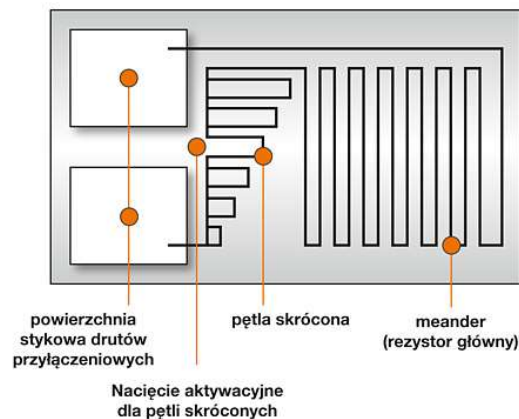
W przypadku wszystkich trzech powyższych technologii możliwe jest laserowe kształtowanie opornika.

W przypadku technologii pierwszej, możliwe jest także nadrukowanie opornika od razu. W przypadku technologii cienkowarstwowych do kształtowania oporników stosuje się obecnie – podobnie jak w przypadku półprzewodników - fotolitografię i napyłanie.

Precyzyjna obróbka jest zawsze wykonywana przy użyciu lasera. W tym przypadku, w produkcji wykorzystywane są tak zwane przewody skracane lub wyrównawcze o różnej długości (a co za tym idzie o różnej rezystancji) w formie meandrów, które aktywowane są w razie konieczności poprzez przerwanie głównego przewodu.



Rys.4. Warstwowe oporniki pomiarowe



Rys. 5 Budowa czujnika oporowego osłonegowego

Powierzchnia meandrów pokryta jest stopionym szkłem. Rezystory te są w normalnych warunkach odporne na wahania temperatury. Histeresa tych oporników ma podobny charakter jak w przypadku czujników szklanych. Rezystory warstwowe są niewielkich rozmiarów – liczą kilka milimetrów – i stanowią najtańszy typ spośród wszystkich termometrów oporowych, zapewniając jednocześnie dość dobrą dokładność pomiarową.

5. Wartości podstawowe dla oporników zgodnych z normą DIN EN 60751

Norma nakłada następujące związki pomiędzy temperaturą, a oporem elektrycznym:

Dla temperatur między -200°C a 0°C :

$$R_t = R_0 (1 + At + Bt^2 + C (t-100^{\circ}\text{C}) t^3)$$

Dla temperatur między 0°C a 850°C :

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

W przypadku powszechnie stosowanych w branży czujników platynowych powyższe równania wykorzystują następujące stałe:

$$A = 3,9083 \cdot 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$$

$$B = -5,775 \cdot 10^{-7} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-2}$$

$$C = -4,183 \cdot 10^{-12} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-4}$$

Współczynnik temperatury α dla powyższych termometrów oporowych określa się następująco:

$$\alpha = (R_{100} - R_0)(100 \cdot R_0)^{-1} = I \quad \text{ma wartość liczbową } 0,00385^{\circ}\text{C}^{-1}$$

gdzie:

R_{100} : Opór przy 100°C

R_0 : Opór przy 0°C

6. Wartości nominalne

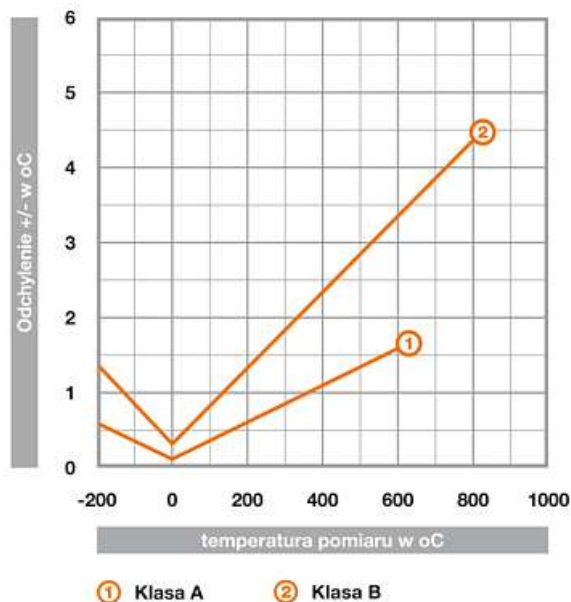
Wartości podstawowe dla oporności nominalnej 100W zgodnie z IST 90 w $\text{W}/^{\circ}\text{C}$ wskazano w normie DIN EN 60751 na poziomie od -200°C do $+850^{\circ}\text{C}$. W przypadku oporników o innych wartościach (np. 10 W lub 1000 W) wartości wymienione w tabeli należy pomnożyć lub podzielić.

7. Dokładność pomiarowa

Tolerancję dokładności pomiarowej rezystorów określono w normie DIN EN 60751 w podziale na dwie klasy:

	Klasa A	Klasa B
Maksymalna tolerancja przy 0°C (+/-)	0,15 $^{\circ}\text{C}$	0,3 $^{\circ}\text{C}$
Maksymalna tolerancja przy 200°C (+/-)	0,55 $^{\circ}\text{C}$	1,3 $^{\circ}\text{C}$
Maksymalna tolerancja przy 400°C (+/-)	0,95 $^{\circ}\text{C}$	2,3 $^{\circ}\text{C}$
Maksymalna tolerancja przy 600°C (+/-)	1,35 $^{\circ}\text{C}$	3,3 $^{\circ}\text{C}$

Tab. 1 Dopuszczalna dokładność pomiarowa rezystorów platynowych zgodnie z normą DIN EN 60751.



Rys. 6. Maksymalna dopuszczalna dokładność pomiarowa.

Dokładność pomiarowa określona w normie DIN EN 60751 musi zostać zachowana w całym zakresie temperatur wskazanym w normie.

8. Czas reakcji

Zgodnie z normą DIN EN 60751, istnieje konieczność podawania informacji na temat czasu reakcji rezystorów pomiarowych i termometrów (czas, w jakim temperatura spada o połowę wobec temperatury potencjalnej $t_{0,5}$). Sygnał odpowiedzi czujnika na skok temperatury zostaje zapisany. Pomiar dokonywany jest w przepływie powietrza z prędkością 1 m/s oraz w wodzie płynącej z prędkością 0,4 m/s.

Czas reakcji w wodzie wynosi:

- Szkło – opory pomiarowe: między 0,14 a 0,8 s
- Ceramika – opory pomiarowe: między 0,2 a 0,4 s
- Płaszcz – opory pomiarowe: między 0,1 a 0,3 s

Te duże zakresy wskazują, że wartości te są ściśle związane z konstrukcją rezystorów pomiarowych. W przypadku wkładów pomiarowych wykonanych np. zgodnie z normą DIN 43762, ten czas reakcji wynosi między 6 a 9 s.

W przypadku czujników z wkładem pomiarowym wykonanych np. zgodnie z normą DIN 43772, ten czas reakcji wynosi między 36 a 40 s.

Zmiany te i zakresy zależne są od następujących czynników:

- masy podgrzewanego materiału,
- współczynników przewodności cieplnej między materiałami,
- oporów energii cieplnej materiałów,
- rozpraszania energii cieplnej termometru z kąpielą, w której dokonywany jest pomiar (wzdłużnie),
- budowy wkładu pomiarowego w armaturze ochronnej.

9. Oporność izolacji

Rezystancja izolacji stanowi równoległy wskaźnik oporu w stosunku do oporu mierzonego i prowadzi w rezultacie do obniżenia wskazań temperatury. Przy produkcji i stosowaniu termometrów oporowych należy szczególną uwagę przywiązywać do zapewnienia odpowiednio wysokiego oporu izolacji między przewodami a obudową ochronną czujnika, jak i pomiędzy poszczególnymi przewodami. Norma DIN EN 60751 nakazuje, by rezystancja izolacji, która musi zostać osiągnięta, była mierzona w temperaturze

pokojowej (15°C do 35°C) przy stałym napięciu (10 do 100 V) przy wilgotności względnej powietrza <80% i wynosiła minimum 100 omów .

Ponieważ wraz ze wzrostem temperatury spada rezystancja izolacji, w zależności od temperatury, oporność izolacji również została odpowiednio określona w normach. Pomiar należy prowadzić przy maksymalnie 10 V prądu stałego pomiędzy wszystkimi przewodami i rurą osłonową. Konieczne jest zapewnienie następujących minimalnych oporności izolacji:

Masykalna dopuszczalna temperatura w °C	Najniższy opór izolacji w MΩ
100 - 300	10
301 - 500	2
501 - 800	0,5

Tab. 2 Minimalne oporności izolacji

Powodami spadku rezystancji izolacji są m.in.:

- Wilgoć materiałów izolacyjnych,
- Parowanie materiałów przewodzących,
- Przewodnictwo materiałów izolacyjnych.

10. Błąd samonagrzewania

W celu uzyskania pomiaru oporności w odpowiedniej temperaturze, opornik czujnika musi zostać podłączony zgodnie z odpowiednim schematem. Innymi słowy, prąd musi przepływać przez opornik pomiarowy. Prąd ten powoduje wzrost temperatury rezystora, który opisać można następującym wzorem:

$$N_w = I^2 * R_t$$

Energia ta przekształca się w energię cieplną i powoduje zakłamania wskazań pomiarowych. W normie DIN EN 60751 wskazano, że efektywne rozproszenie energii powinno utrzymywać się na poziomie 0,1mW. Taki błąd pomiaru określany jest mianem „współczynnika samonagrzewania" (EK) i wyrażany jest w jednostkach k/mW.

Według danych producenta, współczynnik ten mierzony jest w wodzie, w następujących warunkach:

- Opory szkła: między 0,04 a 0,4 k/mW
- Opory ceramiki: między 0,06 a 0,21 k/mW
- Opory płaszczy: między 0,1 a 0,3 k/mW

Rozbieżności te wskazują, że wartości te zależą w dużym stopniu od budowy opornika pomiarowego. Oznacza to, że przy dalszej obróbce rezystorów pomiarowych np. przy montowaniu we wkładach pomiarowych, należy zwrócić szczególną uwagę, by stosowano wyłącznie materiały, które charakteryzują się doskonałym sprzężeniem cieplnym, lub przewodnością cieplną, bowiem w przeciwnym przypadku wartość EK znacznie wzrasta.

We wkładach pomiarowych wykonanych np. zgodnie z normą DIN 43762, współczynnik samonagrzewania wynosi:

- Dla oporników pojedynczych – między 0,015 a 0,038 K/mW,
- Dla oporników podwójnych – między 0,02 a 0,045 K/mW,

Należy także pamiętać, iż ze względu na konieczność zastosowania armatury ochronnej, uzyskiwana jest średnio wartość ok. 0,15 K/mW.

Dzięki zastosowaniu następującego wzoru:

$$EK = DJ / N_w \text{ (K/mW)}$$

możliwe jest dzięki przekształceniu w następujący wzór:

$$DJ = EK * N_w ((K * mW) / mW)$$

wyliczenie oczekiwanego błędu pomiarowego wynikającego z samonagrzewania dla każdego natężenia prądu pomiarowego.

11. Dodatkowe siły elektromagnetyczne (EMF)

Przy produkcji rezystorów pomiarowych łączone są różne materiały:

- Platyna,
- Stopy platyny,
- Złoto,
- Stopy złota,
- Metale lutownicze itp.

Wszelkie połączenia tych metali stanowią w praktyce termopary, które w obiegu pomiarowym generują napięcie termiczne, które może powodować przekłamanie wyniku pomiaru temperatury. Ten sam problem występuje nie tylko w przypadku rezystorów pomiarowych, ale także w przypadku wkładów pomiarowych.

12. Rodzaje połączeń rezystorów pomiarowych

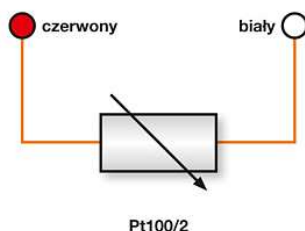
a. Połączenia dwuprzewodowe

Czujnik ma dwa przyłącza, do których podłączony jest kabel dwużyłowy w celu zapewnienia sterowania. Problem w tym przypadku polega na tym, że przewody mają własny opór elektryczny, który zwiększa opór całkowity i w ten sposób – w zależności od długości czujnika – prowadzi do zwiększenia w mniejszym lub większym stopniu wyniku pomiaru oporu całego czujnika.

Aby skompensować ten efekt konieczne jest sprawdzenie oporu na przewodach i wprowadzenie wyniku jako wielkość korekcyjną w systemie sterowania czujnikiem. W praktyce – w związku z powyższym – termometry oporowe 2-przewodowe rzadko dają dokładne wyniki pomiarowe. Opór własny przewodów zmienia się także w sytuacji zmiany temperatury otoczenia i/lub wilgotności powietrza.

Termometry oporowe tego rodzaju stosowane są zatem jedynie do pomiaru temperatury w warunkach, gdy nie ma konieczności zapewnienia tolerancji mniejszej niż kilka stopni, np. wody do chłodzenia.

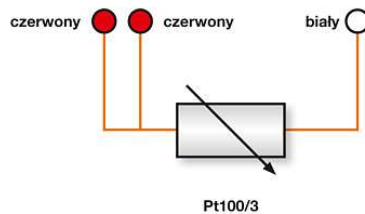
W przypadku czujników oporowych o wysokiej wartości omowej (Pt500, Pt1000) błąd pomiarowy ulega zmniejszeniu odpowiednio o współczynnik 5 lub 10, dzięki czemu pomiar – w kontrolowanych warunkach – jest nieco dokładniejszy.



Rys.7 obwód dwuprzewodowy

b. Połączenia trójprzewodowe

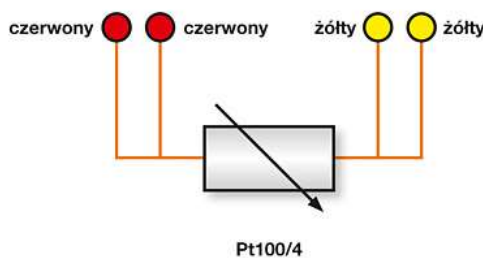
Termometry oporowe wykonane z technice trójprzewodowej działają w taki sam sposób jak czujniki dwuprzewodowe, jednak nie ma konieczności dokonywania korekty o oporność przewodów. Dodatkowy przewód łączy się z przyłączem opornika pomiarowego. W ten sposób powstaje drugi obieg pomiarowy, który stale wskazuje bieżący opór samych przewodów. W jednostce kontrolnej pomiar ten jest automatycznie odejmowany od wartości pomiaru dokonanego przez cały czujnik. Pozwala to na natychmiastowe wskazanie faktycznego pomiaru oporu przez czujnik.



Rys.8 obwód trójprzewodowy

c. Połączenia czteroprzewodowe

W przeciwieństwie do połączeń trójprzewodowych, gdzie badany jest opór tylko jednego z dwóch przewodów pomiarowych czujnika, w połączeniach czteroprzewodowych mierzone są opory obu przewodów łączących. Wyniki pomiaru są zatem zawsze bardzo dokładne, nawet wówczas, gdy każdy z przewodów pomiarowych w czujniku wykazuje różny opór własny.



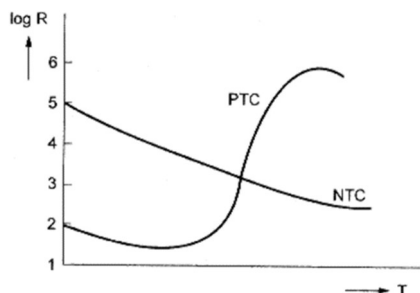
Rys. 9 obwód czteroprzewodowy

13. Termorezystory półprzewodnikowe

Termorezystory półprzewodnikowe (termistory), w zakresie od -100°C do $+50^{\circ}\text{C}$ mają czułość ok. 10 razy większą od termorezystorów metalowych. Nazwa termistor jest skrótem od wyrażenia: „Thermally Sensitive Resistor”. W zależności od wykonania można je stosować do pomiarów wartości temperatury od -150°C do 800°C . Współczynniki zmian rezystancji termistorów wraz z temperaturą mogą być dodatnie lub ujemne (rys. 10). Do pomiarów temperatury są stosowane głównie termistory z ujemnym współczynnikiem zmian rezystancji – typ NTC (Negative Temperature Coefficient). Termistory typu PTC (Positive Temperature Coefficient) charakteryzują się dodatnim temperaturowym współczynnikiem zmian rezystancji i znane są też pod nazwą pozystory. Termistory PTC stosowane są głównie do sygnalizacji przekroczenia określonej temperatury. Rezystancja termistorów NTC zawiera się w zakresie od $10\ \Omega$ do $40\ \text{M}\Omega$. Termistor CTR (ang. Critical Temperature Resistor) jest nieliniowym rezystorem, o skokowej zmianie rezystancji w wąskim przedziale temperatury. Podobnie jak NTC charakteryzują się ujemnym współczynnikiem temperaturowym rezystancji, z tą jednak różnicą, że w termistorze CTR po osiągnięciu wartości temperatur krytycznej następuje skokowe zmniejszenie rezystancji termistora, a tym samym raptowne zmniejszenie spadku napęcia na nim.

W porównaniu z metalowymi rezystorami termometrycznymi, termistory wykazują następujące zalety:

- większe cieplne współczynniki zmian rezystancji, zapewniające wyższe dokładności pomiaru,
- wielokrotnie większe rezystancje, eliminujące praktycznie wpływ rezystancji przewodów łączeniowych na wskazania,
- mniejsze wymiary.



Rys. 10 Charakterystyka termorezystorów półprzewodnikowych NTC i PTC

14. Kalibracja

Podstawy

Kalibrację czujników temperatury wykonuje się wówczas, gdy na podstawie norm lub wymogów prawnych konieczne jest zapewnienie zgodności z przepisami międzynarodowymi. Normy jakościowe i normy bezpieczeństwa zgodne z DIN EN ISO 9000 wymagają, by wszystkie środki miernicze i kontrolne konieczne dla zapewnienia odpowiedniej jakości poddawane były kalibracji pod kątem spełnienia norm krajowych i międzynarodowych opartych na jednostkach SI. Ponadto, kalibracja może być konieczna w sytuacjach, gdy wymagane jest zapewnienie mniejszej tolerancji (większej dokładności pomiarowej) niż ta wymagana na mocy normy DIN EN 60751, lub też w celu kontroli długoterminowego działania czujnika temperatury.

Kalibracja oznacza, że konieczne jest ustalenie poziomu odchyłek pomiarowych na całym czujniku temperatury lub łańcuchu pomiarowym (czujnik i przetwornik). W czasie kalibracji nie dokonuje się żadnej zmiany badanego materiału. W urządzeniach pomiarowych w czasie dokonywania pomiaru ustalana jest różnica pomiędzy temperaturą wskazywaną przez urządzenie pomiarowe a wartością referencyjną. Nie dokonuje się żadnych zmian w samym urządzeniu pomiarowym, np. przestawienie punktu uznawanego za punkt zerowy.

Kalibracja czujników temperatury odbywa się na dwa sposoby: kalibracja w stałych punktach pomiarowych oraz kalibracja według metody porównawczej.

Kalibracja w stałych punktach pomiarowych

Kalibracja w stałych punktach pomiarowych stosowana jest przede wszystkim w normalnych termometrach oporowych typu Pt zgodnych z ITS 90 (Międzynarodowa skala temperatury z 1990 r.).

Stale punkty pomiarowe to punkty fazowe najczystszych substancji (punkt krystalizacji, topnienia i punkt potrójny).

Pomiar temperatury w stałych punktach pomiarowych odbywa się w cieczy lub w pionowym piecu wielostrefowym. Temperatura w stałych punktach pomiarowych może być mierzona z wykorzystaniem otwartego lub zamkniętego zbiornika szklanego, zawierającego odpowiedni materiał (wodę lub metal) w najczystszej formie >99,9999%.

Kalibracja w stałych punktach pomiarowych odbywa się w temperaturach od 0,01°C (punkt potrójny wody) a 921°C z dokładnością od 0,5mK do 5mK. Kalibracja w stałych punktach pomiarowych wiąże się z dużymi nakładami czasowymi i sprzętowymi, dlatego też tego rodzaju kalibrację przeprowadza się w państwowych punktach referencyjnych i kilku laboratoriach kalibracyjnych DKD .

Kalibracja według metody porównawczej

Większość czujników temperatury stosowanych w przemyśle poddawana jest kalibracji według metody porównawczej.

W porównaniu z kalibracją w stałych punktach pomiarowych, kalibracja według metody porównawczej jest znacznie prostsza w realizacji.

W czasie kalibracji badane materiały umieszczane są w cieczy lub w piecu kontrolnym wraz z jednym lub dwoma zwykłymi termometrami.

Ciecze wykorzystywane do kalibracji obejmują następujące substancje:

Etanol od -100°C do 0°C

Woda 0°C do 99°C

Olej silikonowy 50°C do 250°C

Mieszanki soli 180°C do 630°C

Cyna 250°C do 630°C

Pomiary porównawcze w piecu kontrolnym można wykonywać do temperatury 1600°C.

Badane materiały oraz termometry referencyjne umieszczane są w strefie o jednolitej i stałej temperaturze.

Badane materiały umieszczane są w instalacji kontrolnej w taki sposób, aby wyeliminować jakąkolwiek możliwość błędu wynikającego z rozproszenia ciepła.

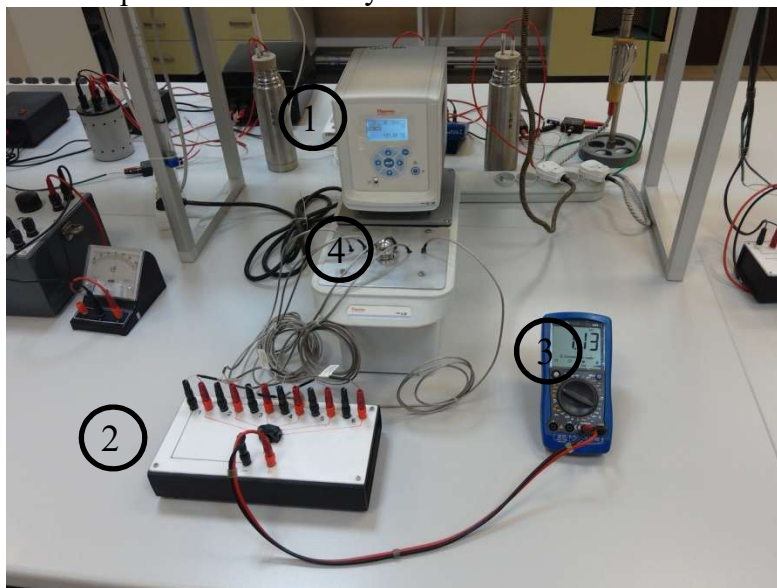
Przed dokonaniem kalibracji, badane materiały badane są pod kątem funkcjonalnym i izolacyjnym zgodnie z normą DIN EN 60751.

Referencyjnymi urządzeniami pomiarowymi są termometry oporowe typu Pt lub termopary, które zostały skalibrowane w państwowym punkcie kontrolnym lub w laboratorium DKD.

Po stabilizacji cieczy lub pieca kontrolnego badane materiały poddawane są pomiarowi z porównaniem z termometrami referencyjnymi. Wyniki kalibracji potwierdzone są odpowiednim certyfikatem kalibracji.

Stanowisko pomiarowe

Stanowisko pomiarowe przedstawiono na rysunku 10.



Rys 10. Stanowisko pomiarowe

Stanowisko pomiarowe składa się z następujących urządzeń:

1. Ultratermostat
2. Przełącznik elektryczny
3. Miernik uniwersalny – omomierz
4. Zestaw 6 rezystancyjnych czujników temperatury.

Przebieg ćwiczenia

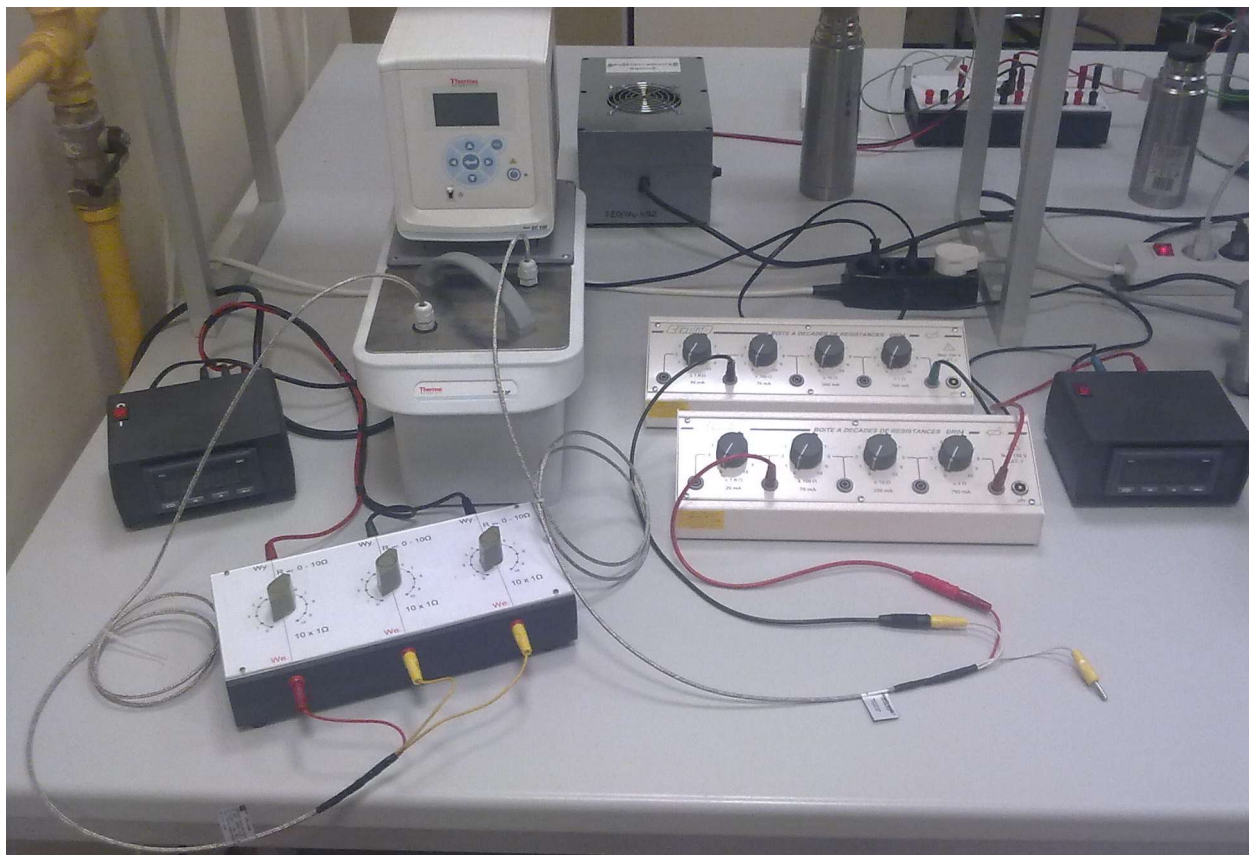
1. Zapoznać się z połączeniami i obwodami elektrycznymi. Odczytać typ czujników temperatury.
2. Włączyć ultratermostat (1) i nastawić temperaturę 25°C . Uruchomić obieg wodny.
3. Włączyć omomierz.

Uwaga: Wszystkich odczytów należy dokonać każdorazowo po ustaleniu się temperatury w ultratermostacie.

4. Na przełączniku elektrycznym ustawić pomiar w obwodzie pierwszego czujnika temperatury.
5. Sprawdzić czy zakres omomierza zapewnia pomiar z najlepszą dokładnością.
6. Zanotować wskazanie w protokole.
7. Przełączyć na pomiar w kolejnym obwodzie czujnika temperatury i powtórzyć p. 5 i 6.
8. Po wykonaniu pomiarów dla wszystkich czujników zwiększyć nastawę ultratermostatu do następnej temperatury. Pomiary wykonać dla następujących temperatur: 25°C , 30°C , 40°C , 50°C , 55°C , 60°C ,

65°C, 70°C, 75°C, 80°C, 85°C, 90°C. Wykonać czynności z punktów 4 – 8. Po wykonaniu ostatniego pomiaru ustawić temperaturę na 15°C. Nie wyłączać ultratermostatu.

Druga część ćwiczenia polega na obserwacji wskazań termometrów oporowych połączonych linią 2 przewodową i trójprzewodową. Przy ustalonej temperaturze czujnika umieszczonego w termostacie, należy zmieniać rezystancję linii łączącej czujnik z przetwornikiem. Na podstawie obserwacji wskazań temperatury w obu przypadkach wyciągnąć wnioski.



Sprawozdanie:

Na wykresie przedstawić charakterystyki $R(t_{wz})$ dla wszystkich czujników oraz charakterystykę wg. PN-EN 60751 (patrz załącznik).

Sporządzić wykres błędu pomiaru temperatury w funkcji temperatury dla każdego czujnika.

Dla czujników PtXXX wyznaczyć ich czułość ($K = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{\Delta R}{\Delta T}$).

Wnioski z obserwacji zachowania linii dwu- i trójprzewodowej.

Podsumowanie

CHARAKTERYSTYKI REZYSTORÓW TERMOMETRYCZNYCH

PN-EN 60751+A2

Rezystor Pt100					
Temperatura (°C)	Rezystancja (Ω)	Temperatura (°C)	Rezystancja (Ω)	Temperatura (°C)	Rezystancja (Ω)
-200	18,52	160	161,06	520	287,62
-180	27,10	180	168,48	540	294,21
-160	35,55	200	175,86	560	300,75
-140	43,88	220	183,19	580	307,26
-120	52,12	240	190,47	600	313,71
-100	60,26	260	197,72	620	320,11
-80	68,34	280	204,91	640	326,48
-60	76,34	300	212,05	660	332,79
-40	84,27	320	219,15	680	339,06
-20	92,16	340	226,21	700	345,28
0	100,00	360	233,21	720	351,45
20	107,79	380	240,17	740	357,58
40	115,54	400	247,09	760	363,67
60	123,25	420	253,95	780	369,71
80	130,90	440	260,78	800	375,70
100	138,51	460	267,55	820	381,64
120	146,07	480	274,29	840	387,54
140	153,59	500	280,98	850	390,48

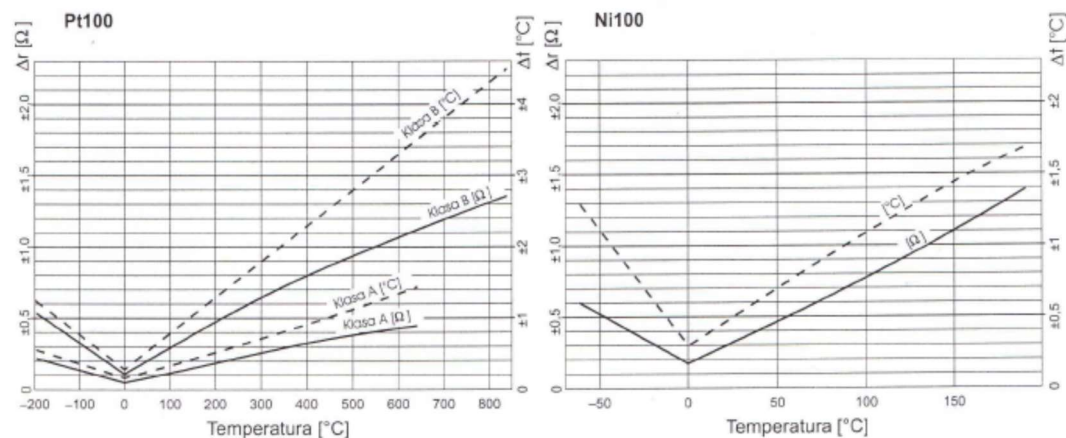
Rezystor Ni100	
Temperatura (°C)	Rezystancja (Ω)
-60	69,51
-40	79,06
-20	89,26
0	100,00
20	111,25
40	123,01
60	135,30
80	148,19
100	161,71
120	175,94
140	190,93
160	206,70
180	223,10

Pt500 = 5xPt100
Pt1000 = 10xPt100

Dopuszczalne odchyłki rezystancji Δr i temperatury Δt

Klasa tolerancji	Tolerancja
A	$0,15 + 0,002 [t]^*$
B	$0,3 + 0,005 [t]^*$

*[t] = moduł temperatury w stopniach Celsjusza (bez uwzględniania znaku)



LUMEL S.A., ul. Sulechowska 1, 65-022 Zielona Góra, Dział Sprzedaży tel.: 068 329 51 80, 068 329 52 60, 068 329 53 06, 068 329 53 74; fax: 068 325 56 50
e-mail: sprzedaz@lumel.com.pl / www.lumel.com.pl

31

Ćwiczenie nr 3

Miernictwo i systemy pomiarowe

Protokół pomiarowy z dnia godzina

Temperatura otoczenia:°C ,

<div style="display: inline-block; text-align: right; font-size: small;">Typ czujnika</div> t_{wz}
°C	R1	R2	R3	R4	R5	R6
25	...Ω	...Ω	...Ω	...Ω	...Ω	...Ω
30	...Ω	...Ω	...Ω	...Ω	...Ω	...Ω
40	...Ω	...Ω	...Ω	...Ω	...Ω	...Ω
50	...Ω	...Ω	...Ω	...Ω	...Ω	...Ω
55	...Ω	...Ω	...Ω	...Ω	...Ω	...Ω
60	...Ω	...Ω	...Ω	...Ω	...Ω	...Ω
65	...Ω	...Ω	...Ω	...Ω	...Ω	...Ω
70	...Ω	...Ω	...Ω	...Ω	...Ω	...Ω
75	...Ω	...Ω	...Ω	...Ω	...Ω	...Ω
80	...Ω	...Ω	...Ω	...Ω	...Ω	...Ω
85	...Ω	...Ω	...Ω	...Ω	...Ω	...Ω
90	...Ω	...Ω	...Ω	...Ω	...Ω	...Ω

Wykonawcy:

- | | |
|---------|----------|
| 1. | 7. |
| 2. | 8. |
| 3. | 9. |
| 4. | 10. |
| 5. | 11. |
| 6. | 12. |

Uwagi i obserwacje:
Linia dwuprzewodowa:

Linia trójprzewodowa:

