



Wydział Elektryczny,
Katedra Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych
Laboratorium Przetwarzania i Analizy Sygnałów Elektrycznych
(bud A5, sala 310)

Wydział/Kierunek	Nazwa zajęć laboratoryjnych	Nr zajęć
Elektryczny/ AiR	Pomiary przemysłowe	5 – seria 1
Elektryczny/ ETK	Pomiary elektryczne wielkości nieelektrycznych	5
Chemiczny	Pomiary w aparaturze procesowej	5

Tytuł:

**Wyznaczanie charakterystyk statycznych czujników
temperatury**

1 Rezystancyjne czujniki temperatury

W pomiarach wielkości fizycznych często stosuje się czujniki przetwarzające wielkość nieelektryczną na rezystancję. Pomiar rezystancji o typowych wartościach nie jest technicznie trudny do realizacji. W aparaturze kontrolno- pomiarowej do pomiaru temperatury stosowane są rezystancyjne czujniki:

- a) metalowe (platyna, miedź, nikiel),
- b) termistory (półprzewodniki – tlenki metali)
- c) półprzewodnikowe krzemowe (domieszkowanie typu n).

Różnią się one czułością, zakresem mierzonych temperatur, powtarzalnością i kształtem charakterystyk oraz zmiennością w czasie ich parametrów. Celem ćwiczenia jest wyznaczenie podstawowych parametrów charakterystyk statycznych rezystancyjnych czujników temperatury.

1.1 Termorezystory platynowe

Platynowe oporniki termometryczne są często stosowane do pomiaru temperatury. Teoretyczny zakres pracy czujnika jest szeroki i wynosi od -200°C do 850°C . Dla poszczególnych konstrukcji czujnika platynowego zakres może być inny ze względu na różne czynniki (np. dopuszczalna temperatura pracy izolacji przewodów). Zaletą czujników platynowych jest jednoznacznie zdefiniowana charakterystyka (norma EN60751) wadą zaś stosunkowo mały współczynnik temperaturowy (TC). Dla zmian temperatury do kilkudziesięciu stopni może być traktowany jak czujnik liniowy.

W zakresie temperatur od 0°C do 850°C rezystancja określona jest zależnością

$$R_{Pt}(T) = R_0(1 + AT + BT^2) \quad (1)$$

w której: R_0 – opór nominalny rezystora termometrycznego w temperaturze 0°C (100Ω dla Pt100), $A = 3,90802 \cdot 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, $B = -5,802 \cdot 10^{-7} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-2}$.

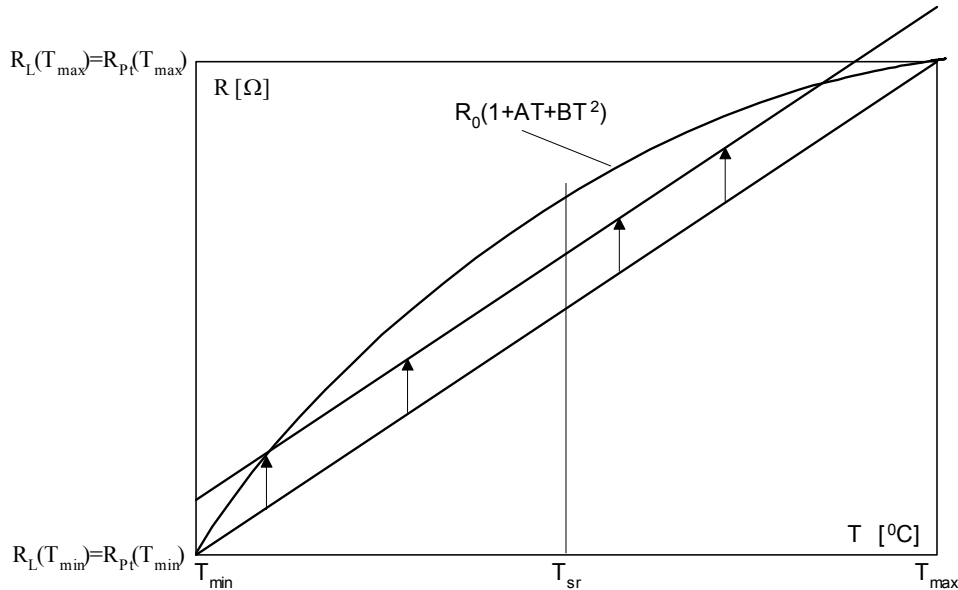
W technice pomiarowej pożądana jest liniowa zależność pomiędzy mierzoną wielkością fizyczną a wartością otrzymywaną na wyjściu czujnika. Liniowym przybliżeniem charakterystyki czujnika platynowego jest przeprowadzenie prostej przecinającej się z krzywą $R_{Pt}=f(T)$ na końcach zakresu pomiarowego

$$R_L(T) = R_{Pt}(T_{\min}) + \frac{R_{Pt}(T_{\max}) - R_{Pt}(T_{\min})}{T_{\max} - T_{\min}} T \quad (2)$$

gdzie: T_{\min} , T_{\max} to odpowiednio temperatura minimalna i temperatura maksymalna zakresu pomiarowego, a $R_{Pt}(T_{\min})$, $R_{Pt}(T_{\max})$ to rezystancje czujnika w temperaturze T_{\min} i T_{\max} .

Po wstawieniu do zależności (2) wartości $R_{Pt}(T_{\min})$ i $R_{Pt}(T_{\max})$ obliczonych ze wzoru (1) otrzymuje się

$$R_L(T) = R_0(1 + A T_{\min} + B T_{\min}^2) + R_0[A + B(T_{\min} + T_{\max})]T \quad (3)$$



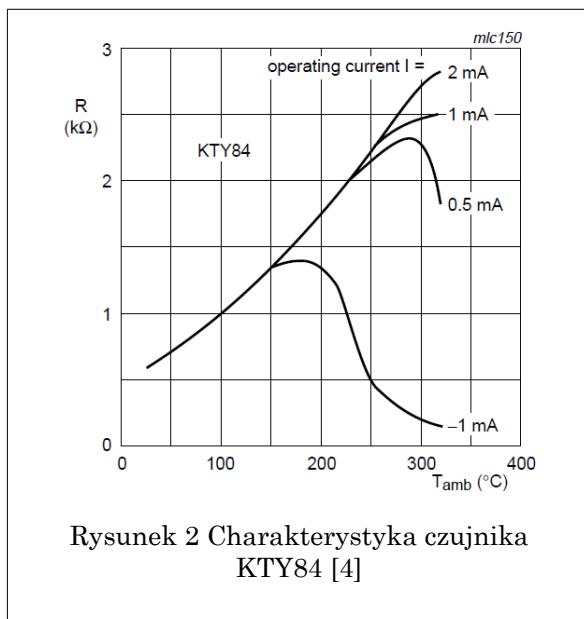
Rysunek 1. Aproxymacja charakterystyki czujnika Pt linią prostą przecinającą się w dwóch punktach.

Różnica $\Delta R = R_L - R_{Pt} = R_0[A T_{min} + B T_{min}^2 + B(T_{min} + T_{max})T - BT^2]$ jest największa, gdy

$$\frac{d}{dT} \Delta R = 0 \quad ; \quad \text{co zachodzi w środku zakresu temperaturowego} \quad T_{sr} = \frac{T_{min} + T_{max}}{2} \quad . \quad \text{Różnicę}$$

ΔR można zmniejszyć o połowę przesuwając równolegle w górę charakterystykę $R_L = f(T)$. Do dokładniejszej linearyzacji charakterystyk temperaturowych czujników platynowych były budowane układy linearyzujące o konstrukcjach bardziej lub mniej złożonych, realizujące różne zasady działania. Obecnie problem linearyzacji został rozwiązany przez producentów układów scalonych wytwarzających jednocukłowe linearyzatory analogowe. Technika mikroprocesorowa umożliwia obliczanie temperatury z rezystancji opornika termometrycznego. Po przekształceniu wzoru (1) temperaturę wyznacza się z zależności

$$T(R_{Pt}) = \frac{-A}{2B} - \sqrt{\left(\frac{A}{2B}\right)^2 - \frac{1}{B} \left(1 - \frac{R_{Pt}}{R_0}\right)} \quad (6)$$



Rysunek 2 Charakterystyka czujnika KTY84 [4]

Prostym algorytmem implementowanym w mikroprocesorach, nie wymagającym dużej ilości obliczeń, jest podział charakterystyki na przedziały oraz aproksymacja liniowa w tych przedziałach.

1.2 Czujnik krzemowy KTY 84

Czujnik KTY84 to półprzewodnikowy czujnik rezystancyjny mający dodatni współczynnik temperaturowy wynoszący $TC=0,74\%/^{\circ}C$ w temperaturze $25^{\circ}C$. Zakres temperatury pracy od $-40^{\circ}C$ do $+300^{\circ}C$. Zmienność TC w tym

zakresie od 0,84 do 0,29%/°C. Zalecany prąd przepływający przez czujnik to 2mA. Zmiana kierunku przepływu prądu zmienia kształt charakterystyki. Ze względu na małe rozmiary nie zaleca się pracy przy większym prądzie pomiarowym – dodatkowy błąd związany z samoogrzewaniem się czujnika.

1.3 Termistor NTC

Termistory wytwarzane są z tlenków niklu, żelaza, kobaltu miedzi, magnezu, tytanu. Do pomiaru temperatury wykorzystuje się termistory o ujemnym współczynniku temperaturowym (NTC – Negative Temperature Coefficient), dla których zależność rezystancji od temperatury (podawanej w °C) można opisać wzorem:

$$R_T = R_{25} e^{B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{298,15} \right)},$$

gdzie: R_{25} to rezystancja czujnika w temperaturze 25°C, B -stała zależna od materiału termistora zawierająca się w przedziale pomiędzy 2000 a 4000.

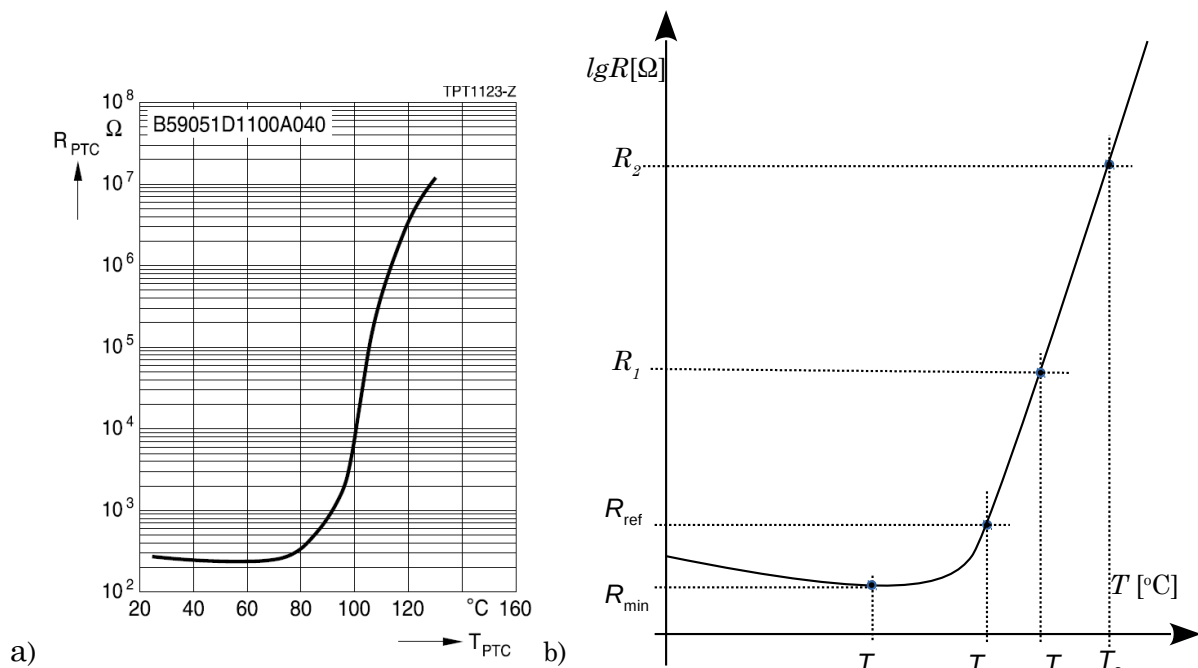
Czułość względna termistora zależy od temperatury i w 25°C wynosi około 4%/°C

$$\frac{dR}{R \Delta T} = \frac{-B}{T^2}$$

Termistory stosuje się zazwyczaj do kompensacji temperaturowej w układach elektronicznych [2] oraz do pomiarów różnicy lub przyrostu temperatur.

1.4 Termistor PTC

Termistory zwiększające rezystancje wraz ze wzrostem temperatury (PTC-Positive Temperature Coefficient) rzadko są stosowane do celów pomiarowych. Wzrost rezystancji jest gwałtowny po przekroczeniu pewnej temperatury – nazywanej temperaturą Curie. Element taki może być stosowany w układach regulacji temperatury i zabezpieczeniu przed przegrzaniem lub zniszczeniem. Rezystancja po przekroczeniu temperatury Curie zwiększa się o skokowo kilka rzędów (rysunek 3). Ważnym parametrem katalogowym termistora PTC jest temperatura Curie nazywana w notach aplikacyjnych temperatura referencyjną T_{ref} lub temperaturą krytyczną i rezystancja w tej temperaturze R_{ref} . Przyjmuje się, że T_{ref} jest w punkcie w którym rezystancja elementu jest dwukrotnie większa od najniższej temperatury na charakterystyce R_{min} .



Rysunek 3. Charakterystyka termistora PTC a) oraz określenie temperatury referencyjnej (Curie) i rezystancji [5]

Powyżej temperatury referencyjnej T_{ref} współczynnik temperaturowy (TC ang. - temperature coefficient) α można obliczyć z dwóch punktów (T_1, R_1) i (T_2, R_2) znajdujących się na odcinku liniowym (w skali logarytmicznej)

$$\alpha = \frac{\ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)}{T_2 - T_1} ;$$

Gdy przyjmiemy jeden z punktów (T_{ref}, R_{ref}) to wartość rezystancji R_x w temperaturze T_x oblicza się z zależności:

$$R_x = R_{ref} e^{\alpha(T_x - T_{ref})} .$$

1.5 Termistor CTR

Termistor o temperaturze krytycznej (CTR – Critical Temperature Resistor) jest szczególnym przypadkiem termistora o ujemnym współczynniku temperaturowym. Rezystancja termistorów CTR skokowo maleje. Skok wartości dochodzi do 5 rzędów w zakresie małej zmiany temperatury (około 1°C).

Specjalne wykonane termistory CTR są stosowane do jako szeregowo ograniczniki (tłumienia impulsów rozruchowych). Mają stosunkową dużą rezystancję spoczynkową w temperaturze 25°C, która po kilku sekundach gwałtownie maleje z chwilą osiągnięcia zadanego prądu roboczego. Podłączane szeregowo ograniczają prąd startowy, zabezpieczając układy prostownicze, zasilacze impulsowe UPS, silniki itp.

Parametrami termistorów CTR wykorzystywanego jako ograniczniki prądu są: R_{25} - rezystancja w temperaturze 25°C (typowe parametry 3Ω - 300Ω), maksymalny prąd ciągły

(0,2A - 20A) i rezystancja tym prądzie (ok 100x mniejsza od R_{25}). Termiczna stała czasowa (10s-180s).

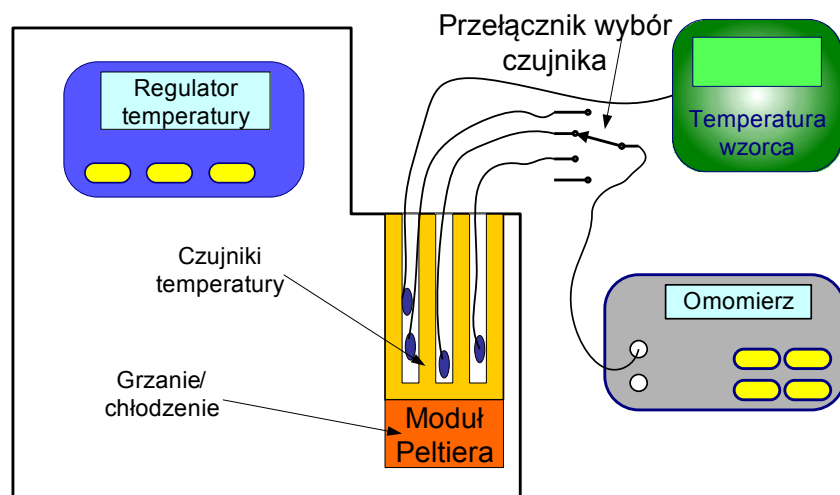
2 Przebieg ćwiczenia

Schemat blokowy stanowiska pomiarowego przedstawia rysunek 4. Do chłodzenia lub ogrzewania komory wykorzystywany jest moduł Peltiera. Do wyboru czujnika służy przełącznik. Ze względu na położenie czujnika, który jest podłączony do regulatora, poza komorą termostatyczną, temperaturę żadaną ustawiać kilka stopni niższą (gdy jest poniżej temperatury w laboratorium) lub wyższą.

Zmierzyć rezystancję czujników w zakresie temperatury od 0 do 100°C lub w innym zakresie podanym przez prowadzącego. Badane czujniki: termistor NTC, KTY84, termistor PTC, czujnik platynowy Pt500. Czujnik platynowy może pełnić rolę termometru wzorcowego.

Kolejność postępowania:

Na regulatorze temperatury ustawić temperaturę. Czekać do momentu gdy termometr wzorcowy pokazuje żadaną temperaturę. Wykonać pomiar rezystancji czujników (w możliwie krótkim czasie). Ustawić kolejną wartość temperatury na regulatorze.



Rysunek 4 . Schemat blokowy stanowiska do badania charakterystyk czujników temperatury.

Tabela pomiarowa

T [°C]	Pt500 R [Ω]	NTC R [Ω]	PTC R [Ω]	KTY84 R [Ω]
0				
10				
20				
25				
30				
..				
90				
100				

3 Sprawozdanie

Sprawozdanie powinno zawierać:

- graficzne przedstawienie charakterystyk czujników temperatury $R=f(T)$.
- wykres zmiany wartości współczynnika temperaturowego od temperatury $TC=f(T)$.
- aproksymacje liniową charakterystyk $R=f(T)$
- aproksymacje liniową przedziałową (np dla 2 przedziałów).

Obliczyć maksymalny błąd nieliniowości badanych czujników.

Dla elementu PTC wyznaczyć temperaturę referencyjną i współczynnik temperaturowy.

4 Literatura

- [1] Rząsa M., Kiczma B. – Elektryczne i elektroniczne czujniki temperatury, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2005,
- [2] Zakrzewski Jan – Czujniki i przetworniki pomiarowe, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2004
- [3] Piotrowski Janusz – red. – Czujniki i metody pomiarowe wybranych wielkości fizycznych i składu chemicznego, Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Warszawa 2009.
- [4] KTY84 series Silicon temperature sensors - Product data sheet – www.nxp.com (2017.02.22)
- [5] PTC Thermistors - General technical information, EPCOS - <https://en.tdk.eu/sensors> (2017.02.22)
- [6] Resistive Products Application Note - NTC Thermistors – www.vishay.com (2017.02.22)
- [7] NTCLE100E3 – NTC thermistors, Radial Leaded, Standard Precision - www.vishay.com (2017.02.22)
- [8] PN-EN 60751:2009 - Czujniki platynowe przemysłowych termometrów rezystancyjnych i platynowe czujniki temperatury