

Linearyzatory czujników temperatury

Zastosowanie opornika termometrycznego Pt100 do pomiaru temperatury

Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie studentów ze sposobami aproksymacji nieliniowej charakterystyki rezystora termometrycznego Pt100 linią prostą. Zadaniem ćwiczącego jest optymalny dobór parametrów prostej oraz wyznaczenie nieliniowości czujnika.

Wprowadzenie do tematu

Platynowe oporniki termometryczne są często stosowane do pomiaru temperatury w przedziale od -200°C do 850°C metodami elektrycznymi. Zaletą czujników platynowych jest jednoznacznie zdefiniowana charakterystyka (norma PN-83/M.-53852), stosunkowo szeroki zakres temperaturowy, wadą zaś znaczna nieliniowość.

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

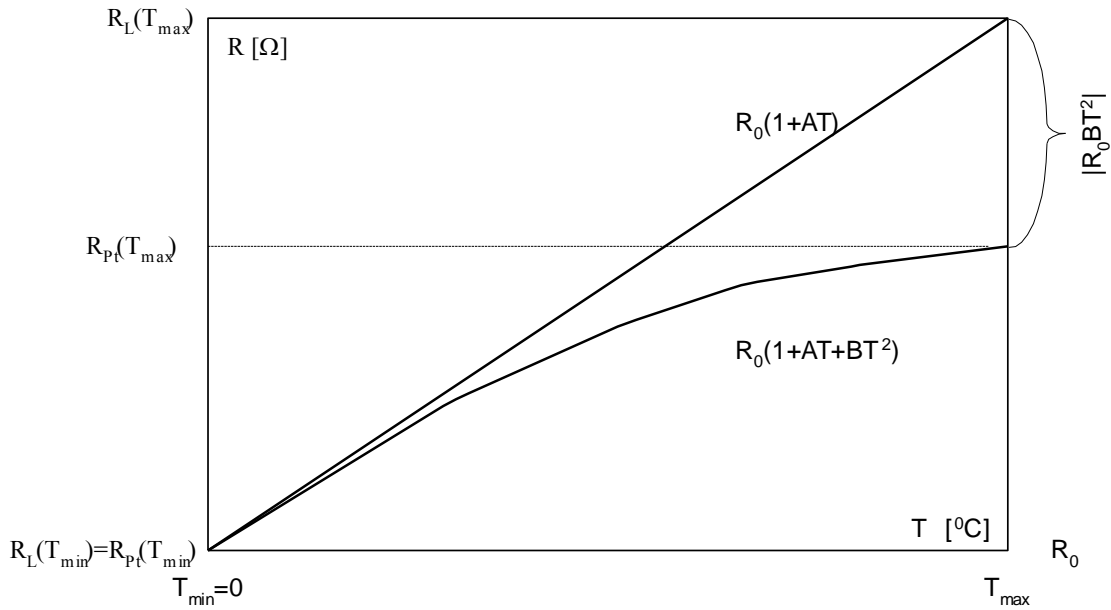
$$R_{Pt}(T) = R_0(1 + AT + BT^2) \quad (1)$$

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.

W przypadku niewielkiego zakresu zmian temperatury w pobliżu 0°C , pomija się człon kwadratowy we wzorze (1). Otrzymuje się przybliżoną, ale liniową zależność na rezystancję czujnika termometrycznego w funkcji temperatury

$$R_L(T) = R_0 + R_0 A T \quad (2)$$



Rysunek 1. Aproksymacja charakterystyki PT100 linią prostą (pominięcie członu $R_0 B T^2$).

Różnica pomiędzy R_L a R_{Pt} rośnie proporcjonalnie do kwadratu temperatury.

$$\Delta R = R_L - R_{Pt} = R_0 B T^2. \quad (3)$$

Największy błąd powyższej metody linearyzacji jest przy temperaturze będącej zakresem pomiarowym i wynosi $\Delta R = R_0 B T_{\max}^2$, gdzie T_{\max} – górny zakres pomiarowy.

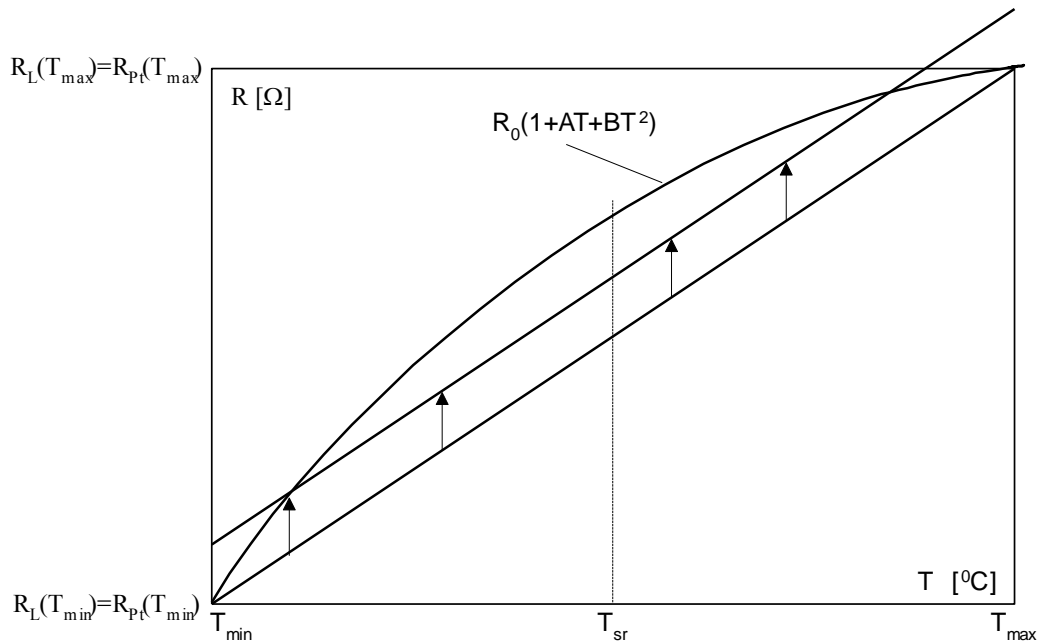
Dokładniejszym, liniowym przybliżeniem charakterystyki czujnika Pt100 jest przeprowadzenie prostej przecinającej się z krzywą $R_{Pt} = f(T)$ na końcach zakresu pomiarowego

$$R_L(T) = R_{Pt}(T_{\min}) + \frac{R_{Pt}(T_{\max}) - R_{Pt}(T_{\min})}{T_{\max} - T_{\min}} T \quad (4)$$

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 Pt100 w temperaturze T_{\min} i T_{\max} .

Po wstawieniu do zależności (4) wartości $R_{Pt}(T_{\min})$ i $R_{Pt}(T_{\max})$ obliczonych ze wzoru (1) otrzymuje się

$$R_L(T) = R_0(1 + AT_{\min} + BT_{\min}^2) + R_0[A + B(T_{\min} + T_{\max})]T \quad (5)$$



Rysunek 2. Aproxymacja charakterystyki PT100 linią prostą przecinającą się w dwu punktach.

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

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

ΔR można zmniejszyć o połowę przesuując 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 wytwórców układów scalonych produkujących jednocukładowe linearyzatory analogowe. Technika mikroprocesorowa umożliwia obliczanie temperatury z rezystancji opornika termometrycznego. Po przekształceniu wzoru (1) temperaturę wyznacza się z zależności

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

Nieliniowość Charakterystyki oraz Rezystancja R_0 w temperaturze 0°C utrudnia bezpośrednie zamianę rezystancji na stopnie Celcjusza lub bezpośrednie podłączenie do wejścia przetwornika analogowo cyfrowego. W takich przypadkach stosuje się wejściowy układ formujący.

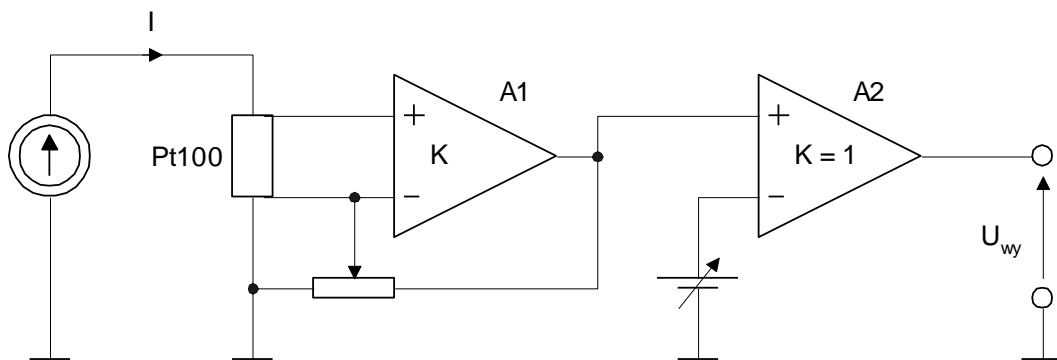
Przykład

Do pomiaru temperatury z zakresie od 0°C do 800°C stosowany jest opornik termometryczny Pt100 zasilany ze źródła prądowego o wartości 1mA. Przy 0°C napięcie na Pt100 wynosi

100mV zaś przy 800°C 390,26mV. Zakres dopuszczalnego napięcia na wejściu przetwornika A/C wynosi od 0V do 5V. Układ formujący spowoduje, że przy 0°C na wejście przetwornika podane będzie napięcie 0V a przy 800°C 5V.

Układ formujący.

Na rysunku przedstawiony jest schemat układu formującego sygnał napięciowy z czujnika Pt100 spowodowany przepływem prądu I . Wzmacniacz różnicowy A2 sumuje napięcie U_{DC} ze wzmacnionym przez wzmacniacz A1 sygnałem napięciowym z czujnika Pt100.



Rysunek 3. Schemat blokowy układu formującego - dopasowującego

Napięcie na wyjściu układu formującego zależne jest od rezystancji termopornika

$$U_{wy}(R_{Pt}) = I R_{Pt} K + U_{DC} \quad (7)$$

Przykładowy sposób obliczania parametrów układu formującego.

Zadaniem jest obliczenie parametrów układu formującego (wzmocnienie K oraz przesunięcie U_{DC}) tak aby woltomierz podłączony do wyjścia wskazywał dla $T_{min} = 0^\circ\text{C}$: 0,00V, dla $T_{max} = 800^\circ\text{C}$: 8,00V. Przez Pt100 przepływa prąd ze źródła prądowego o wartości 5mA.

a) Aproksymacja prostą otrzymaną pominięciem członu $R_0 B T^2$.

$$R_L(T) = R_0 + R_0 A T$$

$$U_{wy}(R_L) = I R_L K + U_{DC} \quad (*)$$

Obliczenia rezystancji na granicach przedziału.

$$R_L(0^\circ\text{C}) = 100,00\Omega;$$

$$R_L(800^\circ\text{C}) = 100\Omega + 100\Omega * 3,90802 * 10^{-3} \text{C}^{-1} * 800^\circ\text{C} = 412,64\Omega$$

Wyznaczanie wzmacnienia K .

Dla $T_{\min} = 0^{\circ}\text{C}$ na R_L jest napięcie $U_{we}(T_{\min})=500\text{mV}$,

Dla $T_{\max} = 800^{\circ}\text{C}$ na R_L jest napięcie $U_{we}(T_{\max})=2063,2\text{mV}$

$$K = \frac{U_{wy}(T_{\max}) - U_{wy}(T_{\min})}{U_{we}(T_{\max}) - U_{we}(T_{\min})} = \frac{8\text{V} - 0\text{V}}{2,0632\text{V} - 0,5\text{V}} \approx 5,1177 \frac{\text{V}}{\text{V}}$$

Wyznaczanie przesunięcia U_{DC} .

Z zależności (*) wynika: $U_{DC} = U_{wy}(T_{\min}) - I R_L(T_{\min}) K = U_{wy}(T_{\min}) - K U_{we}(T_{\min})$.

$$U_{DC} = 0\text{V} - 5,1177 * 0,5\text{V} = -2,5589\text{V}$$

- b) Obliczenia dla prostej $R_L=f(T)$ przecinającej się z $R_{Pt}=f(T)$ w punktach T_{\min} i T_{\max} .

Obliczenia przeprowadza się w sposób identyczny jak w pkt a.

Rezystancji na granicach przedziału.

$$R_L(0^{\circ}\text{C})=R_{Pt}(0^{\circ}\text{C})=100,00\Omega;$$

$$R_L(800^{\circ}\text{C})=R_{Pt}(800^{\circ}\text{C})=375,51\Omega$$

Wyznaczanie wzmacnienia K .

Dla $T_{\min} = 0^{\circ}\text{C}$ na R_L jest napięcie $U_{we}(T_{\min})=500\text{mV}$,

Dla $T_{\max} = 800^{\circ}\text{C}$ na R_L jest napięcie $U_{we}(T_{\max})=1877,55\text{mV}$

$$K = \frac{U_{wy}(T_{\max}) - U_{wy}(T_{\min})}{U_{we}(T_{\max}) - U_{we}(T_{\min})} = \frac{8\text{V} - 0\text{V}}{1,37755\text{V}} \approx 5,8074 \frac{\text{V}}{\text{V}}$$

$$U_{DC} = 0\text{V} - 5,8074 * 0,5\text{V} = -2,9037\text{V}$$

- c) Obliczenia dla prostej $R_L=f(T)$ przecinającej się z $R_{Pt}=f(T)$ w punktach T_{\min} i T_{\max} przesuniętej równoległe do góry.

Dla wzmacnienia K i przesunięcia U_{DC} obliczonego tak jak w punkcie b należy dokonać korekcji przesunięcia U_{DC} o wartość

$$\Delta U_{DC} = \frac{U_{wy}(R_{Pt}(T_{sr})) - U_{wy}(R_L(T_{sr}))}{2} = \frac{I[R_{Pt}(T_{sr}) - R_L(T_{sr})]}{2}$$

Program ćwiczenia

Dla $T_{\min}=0^{\circ}\text{C}$ oraz wartości T_{\max} , $U_{wy}(T_{\min})$, $U_{wy}(T_{\max})$ podanych przez prowadzącego wyznaczyć parametry układu formującego sygnał z termorezystora (K i U_{DC}) oraz zbadać funkcje przetwarzania $U_{wy}=f(T)$ dla przypadków gdy charakterystykę Pt100 przyjęto jako liniową.

- a) Pominięto człon R_0BT^2 .

- b) Prosta $R_L=f(T)$ przecina się z charakterystyką rzeczywistą termorezystora $R_{Pt}=f(T)$ na początku i końcu zakresu pomiarowego,
- c) Prosta $R_L=f(T)$ o takim samym nachyleniu co w podpunkcie b jest przesunięta równolegle w górę w celu zmniejszenia o połowę błędu nieliniowości.

W ćwiczeniu należy użyć symulator opornika termometrycznego Pt100 lub nastawiać rezystancję na opornicy dekadowej po odczytaniu wartości z tabeli lub obliczeniu z zależności (1). Przed przystąpieniem do pomiarów sprawdzić stałość prądu przepływającego przez Pt100 dla zmian od wartości $R_{Pt}(T_{min})$ do $R_{Pt}(T_{max})$.

Przykładowa tabela pomiarowa

Ustawienia: $K=.....V/V$ $U_{wy}(T_{min})=.....V$ $U_{DC}=.....V$ $U_{wy}(T_{max})=.....V$ $I=.....mA$										Metoda aproksymacji $R_{Pt}=f(T)$			
Lp	T [°C]	R_{Pt} [Ω]	R_L [Ω]	ΔR [Ω]	δR [%]	T_L [°C]	ΔT [°C]	δT [%]	U_{wy} [V]	$U_{wy}(R_L)$ [V]	ΔU_{wy} [V]	δU_{wy} [%]	
1	0												
2	50												
3	100												

Dane w tabeli:

Lp: numer pomiaru,

T: temperatura ustawiana na symulatorze Pt100,

R_{Pt} : rezystancja Pt100 w temperaturze T obliczona z zależności 1 lub odczytana z tabeli,

R_L : rezystancja prostej aproksymującej czujnik Pt100,

ΔR : $R_{Pt}-R_L$,

T_L : Temperatura odpowiadająca rezystancji R_L ,

$$T_L = \frac{T_{max} - T_{min}}{U_{wy}(T_{max}) - U_{wy}(T_{min})} U_{wy}(T) = \frac{T_{max} - T_{min}}{R_L(T_{max}) - R_L(T_{min})} R_{Pt}(T)$$

U_{wy} : napięcie na wyjściu układu formującego.

$U_{wy}(R_L)$: napięcie na wyjściu układu formującego dla rezystancji R_L , $U_{wy}(R_L)=I \cdot R_L \cdot K + U_{DC}$,

ΔU_{wy} : $U_{wy} - U_{wy}(R_L)$.

Zadania i pytania kontrolne

1. Zaproponuj algorytm ustawiania wzmocnienia K oraz przesunięcia U_{DC} układu formującego o schemacie blokowym przedstawionym na rysunku 3.
2. Oblicz wzmocnienie K oraz przesunięcie U_{DC} układu dopasowującego sygnał z czujnika rezystancyjnego, którego rezystancja zmienia się w przedziale 50Ω do 300Ω tak aby wykorzystany był cały zakres przetwornika analogowo cyfrowego. Schemat blokowy układu przedstawiony jest na rysunku 3. Prąd płynący przez czujnik 1mA . Dopuszczalne napięcie na wejściu przetwornika A/C od 0V do 5V .