

## ZASTOSOWANIE RÓWNAŃ NIELINIOWYCH DWÓCH ZMIENNYCH W DOPASOWYWANIU CHARAKTERYSTYKI TERMISTORA NTC DO WYMAGAŃ STEROWNIKA PIECA CENTRALNEGO OGRZEWANIA

### THE USE OF TWO-VARIABLE NONLINEAR EQUATIONS IN ADJUSTING THE CHARACTERISTICS OF THE NTC THERMISTOR TO THE REQUIREMENTS OF THE CENTRAL HEATING FURNACE CONTROLLER

Sławomir Andrzej Torbus, Karolina Mroczyńska  
Uniwersytet Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy, Instytut Matematyki

**Słowa kluczowe:** termistor, temperaturowy współczynnik rezystancji (TWR), algorytm doboru termistora do pieca C.O., równanie nieliniowe dwóch zmiennych, dopasowanie charakterystyk temperaturowych

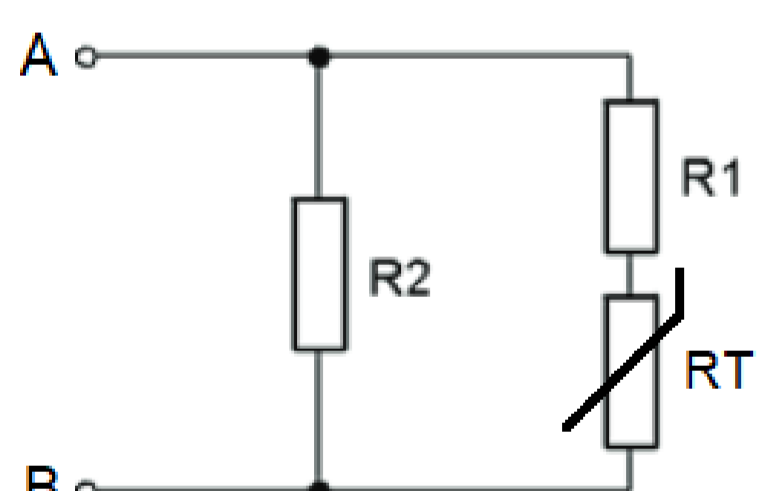
Współczesne piece C.O. są wyposażone w sterowniki, których zadaniami są:

- zarządzanie procesem wytwarzania ciepła i rozprowadzania go po systemie grzewczym,
- dobór poszczególnych parametrów, aby umożliwić ekonomiczne spalanie i zapewnić użytkownikom komfort cieplny,
- kontrola sposobu ogrzewania.

Interesujące nas sterowanie temperaturą odbywa się za pomocą programatora, który pobiera dane o niej z czujnika temperatury – **termistora** – umieszczonego w pomieszczeniu, który dostarcza informację w postaci rezystancji o aktualnej temperaturze, a na tej podstawie następuje sterowanie pracą regulatora temperatury kotła, przy użyciu algorytmu PID (proporcjonalno-całkująco-różniczkującego).

Bez prawidłowo działającego termorezystancyjnego czujnika temperatury – **termistora** – nie byłoby możliwe prawidłowe sterowanie pracą pieca C.O. Tego typu termometry nie mają wystandaryzowanej charakterystyki temperaturowej, dlatego koniecznym jest opracowanie algorytmu, który umożliwi zastąpienie uszkodzonego termoelementu innym, którego charakterystyka temperaturowa jest odmienna od charakterystyki uszkodzonego, przy użyciu powszechnie dostępnych rezystorów.

Czujniki termorezystancyjne w obudowach metalowych



Schemat układu zastępczego umożliwiającego dopasowanie znacząco różniących się od siebie charakterystyk temperaturowych

Dostępne na rynku termistory nie są znormalizowane, ponieważ posiada indywidualną charakterystykę temperaturową, a więc układ sterowania piecem C.O. dedykowany jest konkretnemu termistorowi. W przypadku awarii termoelementu należy dokonać wymiany termistora na nowy o innej charakterystyce temperaturowej. W tym celu należy zastosować układ zastępczy.

Na podstawie schematu zastępczego zdefiniowano model matematyczny opisany funkcją dwóch zmiennych  $f(R_1, R_2)$ , która reprezentuje rezystancję zastępczą dwójnika pasywnego, widzianą z zacisków A i B, przy założeniu, że  $R_T$  jest stałą:

$$f(R_1, R_2) = \frac{(R_1 + R_T) \cdot R_2}{R_1 + R_2 + R_T}$$

Zakładając, że  $f(R_1, R_2) \rightarrow R_{TT}$ , gdzie  $R_{TT}$  jest rezystancją czujnika dedykowanego do sterownika w temperaturze  $t$  [ $\Omega$ ], otrzymuje się implikację:

$$\frac{(R_1 + R_T) \cdot R_2}{R_1 + R_2 + R_T} \rightarrow R_{TT} \Rightarrow \frac{(R_1 + R_T) \cdot R_2}{R_1 + R_2 + R_T} - R_{TT} \rightarrow 0$$

oraz wynikające z niej zależności:

$$\frac{(R_1 + R_T) \cdot R_2}{R_1 + R_2 + R_T} - R_{TT} = 0$$

$$R_1 \cdot (R_2 - R_{TT}) + R_2 \cdot (R_T - R_{TT}) - R_T \cdot R_{TT} = 0$$

Czujniki rezystancyjne działają na zasadzie zmiany ich rezystancji pod wpływem temperatury. Niemal wszystkie metale zwiększają swoją rezystancję wraz ze wzrostem temperatury, w materiałach izolacyjnych, elektrolitach oraz wybranych półprzewodnikach przy wzroście temperatury obserwuje się jej spadek. Parametrem charakterystycznym termistora jest temperaturowy współczynnik rezystancji  $\alpha_T$ , charakteryzujący materiał, z którego jest on wykonany. Na ogół metale mają dodatnią wartość tego współczynnika, a półprzewodniki ujemną. Zależność rezystancji od temperatury, w przypadku **termistorów**, opisuje wzór:

$$R_T = R_0 \cdot e^{\frac{W_g}{2 \cdot k \cdot T}} \quad [\Omega]$$

gdzie:  $T$  – temperatura [K],  $R_T$  – rezystancja czujnika w temperaturze  $t$  [ $\Omega$ ],  $R_0$  – rezystancja w temperaturze odniesienia nazywana stałą termistora [ $\Omega$ ],  $k$  – stała Boltzmanna [eV/K],  $W_g$  – szerokość pasma przerwy zabronionej [eV]. W przypadku termistorów, temperaturowy współczynnik rezystancji (TWR)  $\alpha_T$  jest zdefiniowany następująco:

$$\alpha_T = \frac{1}{R_T} \cdot \frac{\partial R_T}{\partial T} = -\frac{B}{T^2} \left[ \frac{1}{K} \right]$$

gdzie:  $B$  [K] – stała materiałowa charakteryzująca półprzewodnik, z którego wykonany został termistor.

Czujniki termorezystancyjne wykonane z półprzewodnika – **termistory** – charakteryzują się około 10 razy większą czułością od czujników termorezystancyjnych wykonanych z metalu – **termorezystorów** – w zakresie temperatur od  $-100$  °C do  $+50$  °C.

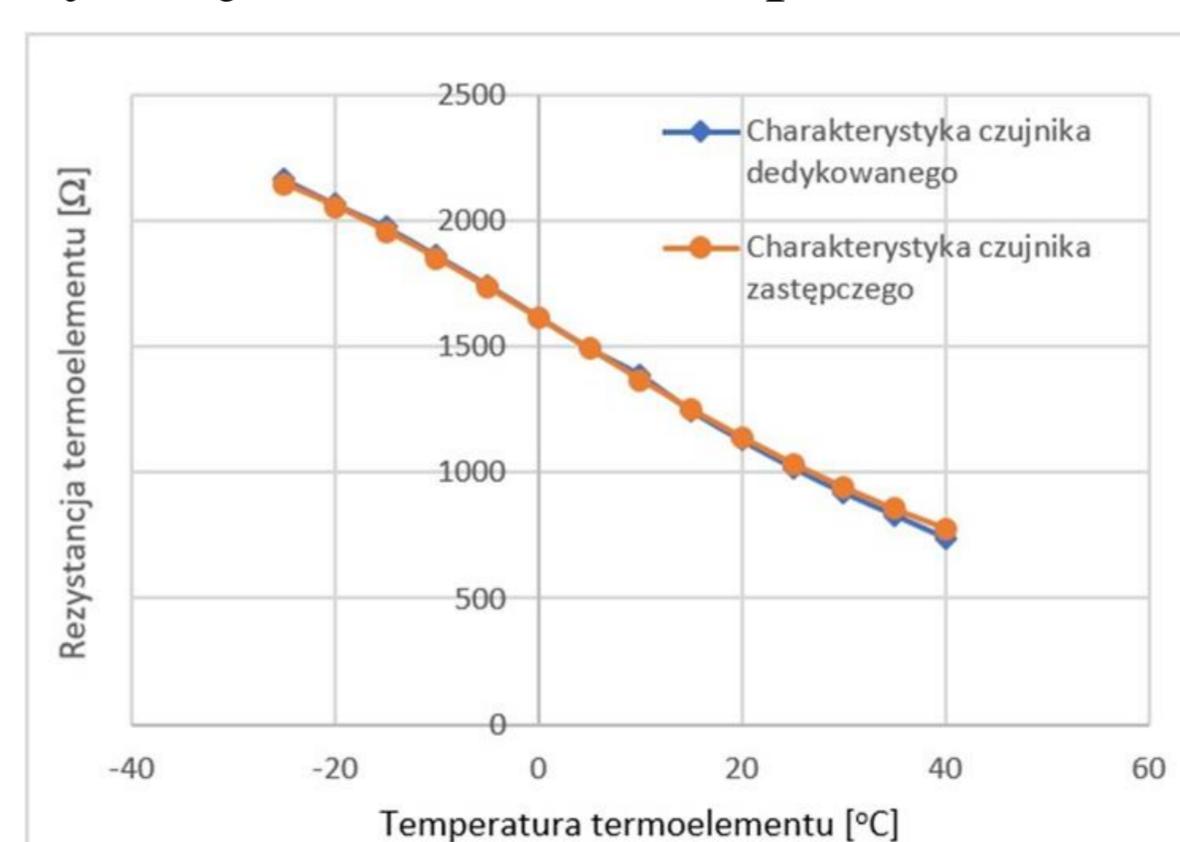
Szukając rozwiązania przy założeniu, że  $R_1$  jest parametrem otrzymuje się, że  $R_2$  jest zawsze dodatnie, a to nie przybliży nas do wyznaczenia wartości szukanej rezystancji. Zakładając, że  $R_2$  jest parametrem, wtedy  $R_1$  przyjmuje postać:

$$R_1 = \frac{R_T \cdot R_{TT} - R_2 \cdot (R_T - R_{TT})}{R_2 - R_{TT}}$$

Biorąc po uwagę założenia dotyczące  $R_1$ ,  $R_T$ ,  $R_{TT}$  otrzymuje się:

$$R_1 > 0 \Leftrightarrow \begin{cases} R_T \cdot R_{TT} - R_2 \cdot (R_T - R_{TT}) > 0 \\ R_2 - R_{TT} > 0 \end{cases} \Rightarrow R_2 \in \left( R_{TT}; \frac{R_T \cdot R_{TT}}{R_T - R_{TT}} \right)$$

W ten sposób ograniczono zbiór rozwiązań poszukiwanych wartości rezystorów  $R_1$  i  $R_2$ . Na rysunku widać pełne dopasowanie charakterystyk, które uzyskuje się w sytuacji zastosowania zaprezentowanego algorytmu.



Charakterystyk temperaturowych czujnika dedykowanego oraz zastępczego dla wartości rezystancji rezystorów dodatkowych  $R_1$  i  $R_2$  dobranych przy użyciu zaproponowanego algorytmu

Przedstawiony algorytm jest prawidłowy, co potwierdziły testy. Jego stosowanie pozwoli na prawidłowe dopasowanie charakterystyki temperaturowej czujnika zastępczego do charakterystyki temperaturowej czujnika dedykowanego układowi sterowania piecem C.O. Dzięki temu nastąpi prawidłowe przekazywanie informacji w postaci rezystancji o aktualnej temperaturze, a na tej podstawie właściwe sterowanie pracą regulatora temperatury kotła oraz sposobem ogrzewania domu jednorodzinnego czy budynku wielorodzinnego bądź przemysłowego.