

Callendar-Van Dusen-Gleichungen bei der Kalibrierung von Platin-Widerstandsthermometern

WIKA Datenblatt IN 00.29

Die Genauigkeit eines Platin-Widerstandsthermometers (PRTs) kann durch Berechnung von Koeffizienten verbessert werden.

PRTs werden in der Regel in einem, vom Anwender gewünschten, Temperaturbereich an mehreren Temperaturpunkten kalibriert. Verwendet wird das Thermometer üblicherweise nicht exakt an den Kalibrierpunkten, sondern auch dazwischen. Häufig wird deshalb vom Anwender eine kontinuierliche Beschreibung des Zusammenhangs von Temperatur und Widerstand über den kompletten genutzten Temperaturbereich gefordert.

In den meisten Fällen wird dies durch Angabe einer mathematischen Gleichung erreicht, die durch Approximation der gemessenen Temperaturpunkte ermittelt wird.

Weit verbreitet ist die Callendar-van-Dusen-Gleichung (CvD), die auch in der DIN EN 60751 zur Darstellung der so genannten DIN-Kennlinie genutzt wird.

Für gängige Pt100-Typen ist sie für moderate Anforderungen an die Messunsicherheit über einen weiten Temperaturbereich geeignet.

Die Koeffizienten A, B, C und die Umrechnung in α , δ , β

Das Verhältnis zwischen Widerstand und Temperatur für Platin-Widerstandsthermometer kann durch ein Polynom beschrieben werden.

Vormals verwendete Hugh Longbourne Callendar (1863 - 1930), britischer Physiker, eine einfache quadratische Gleichung für die Temperaturmessung. Milton S. van Dusen, amerikanischer Chemiker, fand später heraus, dass eine Größe dritter Ordnung erforderlich war, um das Verhältnis bei Temperaturen unter 0 °C ausreichend zu beschreiben. Dies führte zu den Callendar-van Dusen-Gleichungen, die heute noch gültig sind:

Für $t > 0$ °C:

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

Für $t < 0$ °C:

$$R_t = R_0 (1 + At + Bt^2 + C (t - 100) t^3)$$

Legende:

t = Temperatur in °C

R_t = Widerstand bei Temperatur t

R_0 = Widerstand bei 0 °C

Diese Gleichungen bildeten von 1927 bis 1990 die Grundlage für die internationale Temperaturskala von 1927 (ITS-27). Seit 1990 wird auf nationaler Ebene eine komplexere Gleichung verwendet (wie in der Internationale Temperaturskala von 1990 (ITS-90) beschrieben); die Callendar-van Dusen-Gleichungen sind jedoch bei industriellen Platin-Widerstandsthermometern nach wie vor weit verbreitet.

Früher wurden die Gleichungen in einer anderen, aber äquivalenten Form dargestellt:

Für $t > 0$ °C:

$$R_t = R_0 \left\{ 1 + \alpha \left[t + \delta \frac{t}{100} \left(1 - \frac{t}{100} \right) \right] \right\}$$

Für $t < 0$ °C:

$$R_t = R_0 \left\{ 1 + \alpha \left[t + \delta \frac{t}{100} \left(1 - \frac{t}{100} \right) + \beta \left(\frac{t}{100} \right)^3 \left(1 - \frac{t}{100} \right) \right] \right\}$$

Auch wenn diese Form komplizierter als die Version mit den Koeffizienten A, B und C zu sein scheint, so ist es doch einfacher, die Koeffizienten von den Kalibrierdaten abzuleiten. Vor dem Zeitalter der Taschenrechner und Computer wurde diese Form daher bevorzugt. Auch heute wird sie noch häufig verwendet, insbesondere in den USA.

Diese Formen der Gleichung sind gleichwertig und es ist sehr einfach, die Koeffizienten von einer in die andere Form umzurechnen:

$$A = \alpha \left\{ 1 + \frac{\delta}{100} \right\}$$

$$B = \frac{-\alpha\delta}{10^4}$$

$$C = \frac{-\alpha\beta}{10^8}$$

$$\alpha = A + 100B$$

$$\delta = \frac{-10^4 \cdot B}{(A + 100B)} = \frac{-10^4 \cdot B}{\alpha}$$

$$\beta = \frac{-10^8 \cdot C}{(A + 100B)} = \frac{-10^8 \cdot C}{\alpha}$$

Um höchste Genauigkeit zu erzielen, sollte ein Platin-Widerstandsthermometer (PRT) zur Erzeugung der Koeffizienten A, B, C oder α , δ , β individuell kalibriert werden.

Für weniger genaue Temperaturmessungen können auch generische Werte verwendet werden. Bei generischen Koeffizienten hängt die Genauigkeit der Temperaturmessung von mehreren Faktoren ab, wobei die Reinheit des Platins den bedeutendsten Faktor darstellt.

Die Reinheit des Platins wird durch den Wert α angegeben, der als durchschnittliche Steigung der Geraden zwischen dem Eispunkt und dem Dampfunkt auf der Widerstandstemperturkurve einfach ermittelt werden kann:

$$\alpha = \frac{R_{100^\circ\text{C}} - R_{0^\circ\text{C}}}{100 \cdot R_{0^\circ\text{C}}}$$

Industrielle PRTs haben normalerweise einen Alpha-Nennwert von $\alpha = 3,85 \cdot 10^{-3}$ pro °C.

Für PRTs dieser Klasse nennt die Norm EN 60751:1995 folgende Werte für die Koeffizienten:

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

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

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

Umgerechnet lauten diese Werte folgendermaßen:

$$\alpha = 3,85 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\delta = 1,500 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\beta = 0,1086$$

