

2.4.1 Temperaturmessung mit Thermoelement und Vergleichsstelle

Sachworte: Temperaturmessung, Thermoelement, Thermoempfindlichkeit, Ausgleichsleitung, Vergleichsstelle, Messverstärker

Mit der dargestellten Messanordnung soll die Celsius-Temperatur ϑ_1 , bestimmt werden. Der Messverstärker besitzt einen idealen Spannungseingang. Thermoefekte innerhalb des Verstärkers werden vernachlässigt.

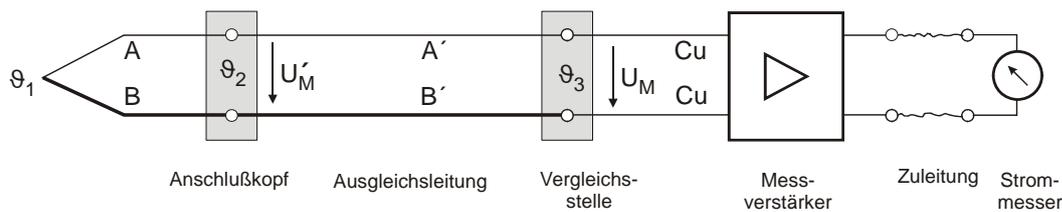


Bild 1

a) Was sind Ausgleichsleitungen und welchen Zweck erfüllen sie?

Ausgleichsleitungen haben dieselben thermoelektrischen Eigenschaften wie die Thermodrähte. Sie sind für einen eingeschränkten Bereich von Umgebungstemperatur und Umgebungsfuchte ausgelegt und damit preisgünstiger als Thermodrähte.

b) Geben Sie die Spannung U_M als Summe der Kontaktspannungen $k_{xy} \cdot T_i$ an, wobei T_i absolute Temperaturen in K darstellen.

$$k_{AB}T_1 + k_{BB'}T_2 + k_{B'Cu}T_3 - U_M + k_{CuA'}T_3 + k_{A'A}T_2 = 0 \quad (1)$$

Beim Übergang vom Thermodraht auf die entsprechende Ausgleichsleitung entsteht keine Thermospannung wegen

$$k_{XX'} = 0 \quad (2)$$

sodass sich Gl. (1) vereinfacht zu:

$$U_M = k_{AB}T_1 + k_{B'Cu}T_3 + k_{CuA'}T_3 \quad (3)$$

Mit

$$k_{B'Cu} = k_{BCu} \quad ; \quad k_{CuA'} = k_{CuA} \quad (4)$$

$$(k_{BCu} + k_{CuA})T_3 = (k_{BCu} - k_{ACu})T_3 = -k_{AB}T_3 \quad (5)$$

geht Gl. (3) über in

$$U_M = k_{AB}(T_1 - T_3) = k_{AB}(\vartheta_1 - \vartheta_3) \quad (6)$$

Gl. (6) liefert zwei wichtige Erkenntnisse: Das Thermoelement misst Temperaturdifferenzen. Um ϑ_1 zu ermitteln, muss die Vergleichsstellentemperatur ϑ_3 bekannt sein.

c) Welche Maßnahmen können ergriffen werden, um eine konstante und bekannte Temperatur ϑ_3 der Vergleichsstelle zu erhalten?

- Verwendung eines Thermostaten mit geregelter Temperatur.
- Verwendung einer Kompensationsdose mit temperaturempfindlichem Widerstand.

d) Die beiden Ausgleichsleitungen A' und B' (Bild 1) wurden irrtümlich vertauscht. Wie groß ist dann die Messspannung U_M ?

Die Teilspannungen im Messkreis sind jetzt:

$$k_{AB}T_1 + k_{BA}T_2 + k_{A'Cu}T_3 - U_M + k_{CuB'}T_3 + k_{B'A}T_2 = 0 \quad (7)$$

$$k_{AB}T_1 + k_{BA}T_2 + k_{ACu}T_3 - U_M + k_{CuB}T_3 + k_{BA}T_2 = 0 \quad (8)$$

$$k_{AB}(T_1 - 2T_2 + T_3) - U_M = 0 \quad (9)$$

$$U_M = k_{AB}[(T_1 - T_2) + (T_3 - T_2)] = k_{AB}[(\vartheta_1 - \vartheta_2) + (\vartheta_3 - \vartheta_2)] \quad (10)$$

e) Temperaturen ϑ_1 von 0 °C bis 100 °C sollen mit einem Eisen/Konstantan-Thermoelement erfasst werden bei einer Vergleichsstellentemperatur von $\vartheta_3 = 20^\circ\text{C}$.

$$k_{FePt} = 1,9 \frac{\text{mV}}{100 \text{ K}}; \quad k_{KonstPt} = -3,1 \frac{\text{mV}}{100 \text{ K}} \quad (11)$$

e1) Wie groß ist k_{AB} in mV/100 K?

$$k_{FeKonst} = \frac{[1,9 - (-3,1)]\text{mV}}{100 \text{ K}} = +5 \frac{\text{mV}}{100 \text{ K}} \quad (12)$$

e2) Wie groß ist U_M bei 20°C und bei 100°C?

$$U_M(20^\circ\text{C}) = k_{FeKonst}(\vartheta_1 - \vartheta_3) = \frac{5\text{mV}}{100 \text{ K}}(20^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) = 0\text{mV} \quad (13)$$

$$U_M(100^\circ\text{C}) = 5 \frac{\text{mV}}{100 \text{ K}}(100^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) = 4 \text{ mV} \quad (14)$$

- f) Die Temperatur ϑ_1 soll mit Hilfe eines Messverstärkers auf einem Strommesser (Vollausschlag bei $I_0 = 1 \text{ mA}$) so angezeigt werden, dass bei $100 \text{ }^\circ\text{C}$ Vollausschlag erreicht wird. Die Zuleitungswiderstände können variieren.

f1) Wählen Sie einen geeigneten Messverstärker aus

Gewählt wird ein Spannungsverstärker mit Stromausgang, ein sog. u/i -Verstärker. Der Spannungsverstärker misst hochohmig. Die Zuleitungswiderstände spielen wegen des eingepprägten Ausgangsstroms, der durch den Strommesser fließt, keine Rolle.

f2) Skizzieren und dimensionieren Sie den Messverstärker

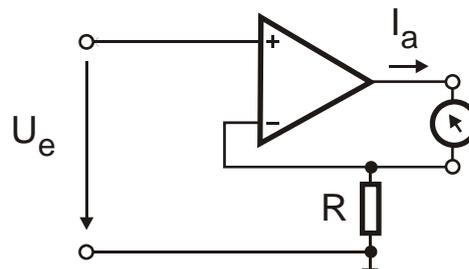


Bild 2 u/i -Verstärker

Einen idealen Operationsverstärker vorausgesetzt gilt nach Kapitel 2.3.1 des Buches:

$$I_a = \frac{U_e}{R} \Rightarrow R = \frac{U_e}{I_a} = \frac{4 \text{ mV}}{1 \text{ mA}} = 4 \Omega \quad \text{da } U_e = U_M = 4 \text{ mV} \quad (15)$$

- g) Im Messverstärker können sich an den auf unterschiedlichen Temperaturen liegenden Materialpaarungen auch Thermospannungen bilden. Wie können Sie überprüfen, ob dies der Fall ist?

Durch ein Umpolen der Thermoelementspannung U_M werden die Verstärker-Thermoelementspannungen sichtbar.

Beträgt z.B. die Thermoelementspannung $U_M = +4 \text{ mV}$ und die Verstärker-Thermospannung $U_V = +0,3 \text{ mV}$, so ist die verstärkte Spannung

$$U_e = U_M + U_V = (4,0 + 0,3) \text{ mV} = 4,3 \text{ mV} \quad (16)$$

Wird jetzt die Thermoelementspannung durch Vertauschen der Klemmen umgepolt, so wird folgende Spannung verstärkt:

$$U_e^* = -U_M + U_V = (-4,0 + 0,3) \text{ mV} = -3,7 \text{ mV}$$

$$|-3,7| \text{ mV} \neq |4,3| \text{ mV} \quad \text{d.h. allg. } |U_e^*| \neq |U_e| \quad (17)$$

Der Ausgangsstrom I_a unterscheidet sich in seinem Betrag und macht die Verstärker-Thermospannung sichtbar.

信