

## 2.4.1 Temperaturmessung mit Thermoelement und Vergleichsstelle

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

Mit der dargestellten Messanordnung soll die Celsius-Temperatur  $\vartheta_1$ , bestimmt werden. Der Messverstärker besitzt einen idealen Spannungseingang. Thermoefekte innerhalb des Verstärkers werden vernachlässigt.

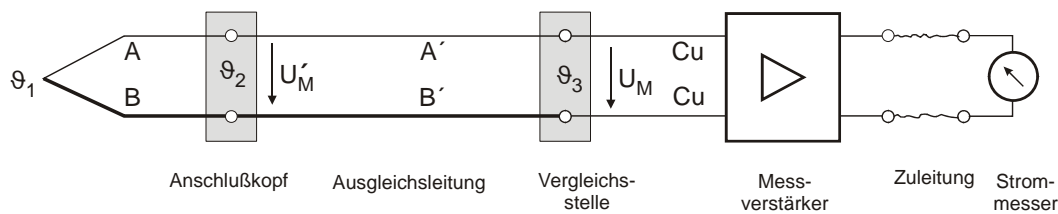


Bild 1

### 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  $\vartheta_1$  zu ermitteln, muss die Vergleichsstellentemperatur  $\vartheta_3$  bekannt sein.

**c) Welche Maßnahmen können ergriffen werden, um eine konstante und bekannte Temperatur  $\vartheta_3$  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  $\vartheta_1$  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  $\vartheta_1$  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

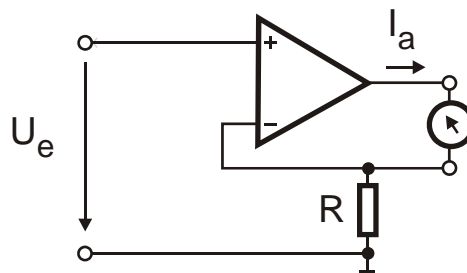


Bild 2  $u/i$ -Verstärker

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