

---

**Beispiel 7.4** Elektrothermische Wandler

---

Elektrothermische Wandler wandeln elektrische Energie in Wärmeenergie und umgekehrt. Dabei tritt elektrischer Strom- sowie Wärmetransport auf. Gemäß [KWAAITAAL93] lassen sich für  $J_1 = J_{el}$ ,  $J_2 = J_{th}$ ,  $X_1 = E/T$  und  $X_2 = -\nabla T/T^2$  die Wandlergl. (7.40) finden:

$$\begin{pmatrix} J_{el} \\ J_{th} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{\rho} & \frac{1}{\rho} \alpha_s T^2 \\ \frac{1}{\rho} \alpha_s T^2 & \lambda T^2 + \frac{1}{\rho} \alpha_s^2 T^3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E/T \\ -\nabla T/T^2 \end{pmatrix} \quad (7.40)$$

Dabei sind  $\rho$  der spezifische Widerstand,  $\alpha_s$  der SEEBECK-Koeffizient und  $\lambda$  die Wärmeleitfähigkeit. Die Wandlergl. (7.40) enthalten verschiedene physikalische Gesetzmäßigkeiten:

Bei konstanter Temperatur  $\nabla T = 0$  folgt aus Gl. (7.40a) das OHMSche Gesetz:

$$J_{el} = \frac{1}{\rho \cdot E} \quad (7.41)$$

Ein Temperaturgradient  $\nabla T$  zwischen zwei Orten eines Leiters führt gemäß dem SEEBECK-Effekt zu einer Potenzialdifferenz  $\Delta U$  und damit einer elektrischen Feldstärke  $E$ . Für  $J_{el} = 0$  wird aus Gl. (7.40):

$$E = \alpha_s \nabla T \quad (7.42)$$

Wenn durch den Wandler kein Strom fließt ( $J_{el} = 0$ ; der stromlose Zustand ist die experimentelle Bedingung für die Messung der Wärmeleitfähigkeit) und ein Temperaturgradient  $\nabla T$  vorhanden ist, erhält man das FOURIERSche Wärmeleitungsgesetz. Durch Einsetzen von Gl. (2.42) für  $J_{el} = 0$  in Gl. (7.40b) ergibt sich

$$J_{th} = \frac{1}{\rho} \alpha_s^2 T \nabla T - \lambda \nabla T - \frac{1}{\rho} \alpha_s^2 T \nabla T = -\lambda \nabla T \quad (7.43)$$

Umgekehrt führt ein elektrischer Strom zu einem Wärmestrom, der zur thermoelektrischen Kühlung genutzt werden kann (PELTIER-Effekt). Dieser ergibt sich aus der Verkopplung der Gln. (7.40a) und (7.40b) für  $\nabla T = 0$ :

$$J_{th} = \alpha_s T J_{el} \quad (7.44)$$

SEEBECK- und PELTIER-Effekt gemäß den Gln. (7.42) und (7.44) sind die beiden thermoelektrischen Wandlereffekte.

Resistive Sensoren arbeiten auf der Grundlage von Gl. (7.41). Der Widerstand  $R$  ergibt sich mit  $I = J_{el} A$  und  $U = E \ell$  zu

$$R = \frac{U}{I} = \rho \cdot \frac{\ell}{A} \quad (7.45)$$

Spezifischer Widerstand  $\rho$ , Widerstandslänge  $\ell$  und -querschnitt  $A$  sind die Parameter, die durch die Sensormessgröße geändert werden können. Resistive Sensoren sind demgemäß, wie in Abschn. 7.1.2 ausgeführt, keine umkehrbaren, sondern parametrische Wandler.

---

**Danksagung:**

Die Autoren danken Herrn Prof. Friedemann Völklein, Fachhochschule Wiesbaden, Autor des Buches „Praxiswissen Mikrosystemtechnik“ (Friedrich Vieweg + Sohn Verlag 2006), herzlich für den Hinweis zur Korrektur!