

Übungsaufgabe

Widerstandskombination mit definiertem Temperaturkoeffizienten

In der Schaltungstechnik werden zur Temperaturkompensation gelegentlich Widerstände benötigt, bei denen neben dem Widerstandswert auch der Temperaturkoeffizient (TK) vorgegeben ist.

Nur selten wird man im Angebot temperaturabhängiger Widerstände genau den Typ finden, der sowohl im Widerstandswert als auch im Temperaturkoeffizienten mit den gesuchten Werten übereinstimmt.

Meist müssen die geforderten Werte durch Kombination temperaturabhängiger mit temperaturunabhängigen Widerständen eingestellt werden.

Als temperaturunabhängig sollen hier Widerstände gelten, deren Temperaturkoeffizient um einige Größenordnungen unter dem TK der in dieser Aufgabe verwendeten NTC-Widerstände liegt. Diese Bedingung wird z. B. von Metallschichtwiderständen erfüllt.

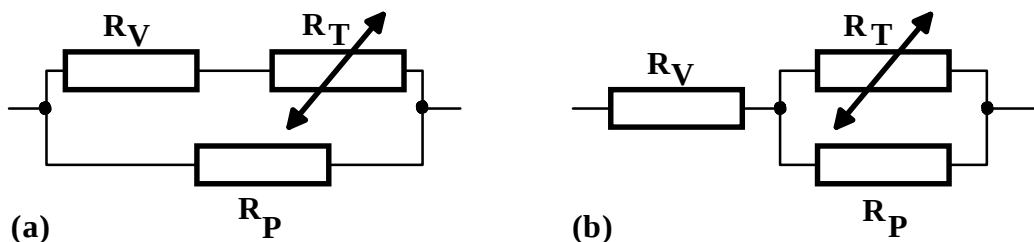


Bild 1

In Bild 1 sind zwei Schaltungsvarianten dargestellt, mit denen Widerstandswert und Temperaturkoeffizient unabhängig voneinander eingestellt werden sollen. Leiten Sie für die Schaltungsvarianten (a) und (b) ab, unter welchen Bedingungen dies möglich ist.

Gegeben:

NTC- Widerstand (Thermistor) mit $R_{T0} = 1,3\text{k}\Omega$ und $\alpha_0 = -0,03/^{\circ}\text{C}$

Gesucht:

Dimensionierung der Schaltungen nach Bild 2(a) und (b) mit dem gegebenen Thermistor, so daß sich ein resultierender Widerstand von $R_{g0} = 2\text{k}\Omega$ und ein resultierender Temperaturkoeffizient von $\alpha_0 = -0,02/^{\circ}\text{C}$ ergeben. Geben Sie für den Fall, daß der o. g. Thermistor nicht zur Verfügung steht, an, welche Bedingungen bezüglich Widerstand und TK andere Thermistoren erfüllen müßten.

Hinweis:

Beginnen Sie mit der Berechnung der resultierenden Werte für Widerstand und TK für die einfache Reihenschaltung und Parallelschaltung.

$$R(T) = R_0 \cdot \exp\left(\frac{B}{T} - \frac{B}{T_0}\right)$$

$$\frac{\partial R(T)}{\partial T} = R_0 \cdot \left(\frac{-B}{T^2}\right) \exp\left(\frac{B}{T} - \frac{B}{T_0}\right)$$

$$R(T) = R_0 \left(1 + \frac{\partial R(T)}{\partial T} \cdot \Delta T\right)$$

Reihenschaltung:

$$R_T = R_{T0}(1 + \alpha_0 \cdot \Delta T)$$

$$R_g = R_V + R_T$$

$$R_g = R_V + R_{T0}(1 + \alpha_0 \cdot \Delta T)$$

$$R_g = (R_V + R_{T0}) \cdot \left(1 + \frac{R_{T0}}{R_V + R_{T0}} \cdot \alpha_0 \cdot \Delta T\right)$$

$$R_g = R_{g0}(1 + \alpha_{g0} \cdot \Delta T)$$

Koeffizientenvergleich: $R_{g0} = R_V + R_{T0}$

$$\alpha_{g0} = \frac{R_{T0}}{R_V + R_{T0}} \cdot \alpha_0 = \frac{R_{T0}}{R_{g0}} \cdot \alpha_0$$

bzw.: $\alpha_0 \cdot R_{T0} = \alpha_{g0} \cdot R_{g0}$

Im Beispiel:

$$\alpha_0 \cdot R_{T0} = 1300\Omega \cdot 3 \cdot 10^{-2} \text{grad}^{-1} = 39\Omega \cdot \text{grad}^{-1}$$

$$\alpha_{g0} \cdot R_{g0} = 2000\Omega \cdot 2 \cdot 10^{-2} \text{grad}^{-1} = 40\Omega \cdot \text{grad}^{-1}$$

$$R_V = 2000\Omega - 1300\Omega = 700\Omega, \text{ dann } \alpha_{g0} = \frac{1300}{1300+700} \cdot 3 \cdot 10^{-2} \text{grad}^{-1} = 1.95 \cdot \text{grad}^{-1}$$

Parallelschaltung:

$$R_g = \frac{R_p \cdot R_{T0}(1 + \alpha_0 \cdot \Delta T)}{R_p + R_{T0}(1 + \alpha_0 \cdot \Delta T)}$$

$$R_g = R_{g0} + \frac{\partial R_g}{\partial R_T} \bigg|_{T=T_0} \cdot \Delta R_T$$

$$R'_g = \frac{(R_p + R_{T0}) \cdot R_p - R_p R_{T0}}{(R_p + R_{T0})^2} = \frac{R_p^2}{(R_p + R_{T0})^2}$$

$$R_g = \frac{R_p R_{T0}}{R_p + R_{T0}} + \frac{R_p^2}{(R_p + R_{T0})^2} \alpha_0 \cdot R \cdot_T \Delta T$$

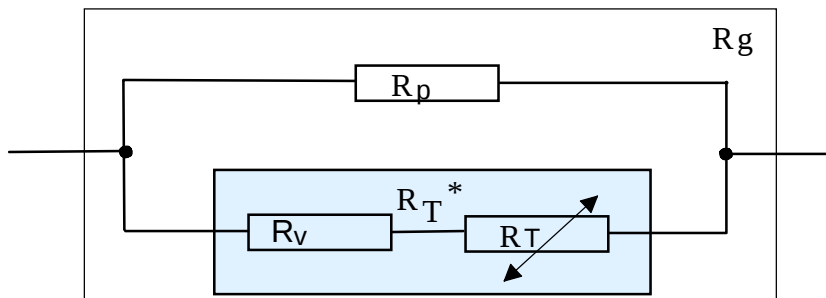
$$R_g = R_{g0} \left(1 + \frac{R_p R_{T0}}{(R_p + R_{T0}) R_{T0}} \alpha_0 \cdot R \cdot_T \Delta T\right)$$

$$R_g = R_{g0} \left(1 + \frac{R_{g0}}{R_{T0}} \alpha_0 \cdot R \cdot_T \Delta T\right)$$

$$\frac{R_{g0}}{\alpha_{g0}} = \frac{R_{T0}}{\alpha_0} \quad \text{und} \quad R_p = \frac{R_{g0}R_{T0}}{R_{T0}-R_{g0}} \quad \text{mit} \quad R_{T0} > R_{g0}$$

Reihen-Parallelschaltung:

Betrachtung der Parallelschaltung aus einem R_p und einer Reihenschaltung aus Thermistor und Vorwiderstand, die hier R_T^* .



Für die Reihenschaltung gilt:

$$R_T^* = R_{T0}^* (1 + \alpha_0^* \cdot \Delta T) \quad \text{*}-\text{Größen sind die resultierenden (g) Werte der Reihenschaltung}$$

In der Parallelschaltung ist:

$$R_T^* = \frac{R_{g0}}{\alpha_{g0}} \cdot \alpha_0^* \quad \text{mit:}$$

$$R_T^* = R_v + R_{T0} \quad \text{und} \quad \alpha_0^* = \frac{R_{T0}}{R_v + R_{T0}} \cdot \alpha_0$$

$$R_v = \sqrt{\frac{R_{g0}}{\alpha_{g0}} \cdot R_{T0} \cdot \alpha_0} - R_{T0}$$

$$R_p = \frac{R_{T0}^* \cdot R_{g0}}{R_{T0}^* - R_{g0}}$$

Folgende Voraussetzungen müssen erfüllt sein:

$$\frac{R_{g0}}{\alpha_{g0}} \cdot \alpha_0 > R_{T0} \quad \text{bzw.} \quad |R_{g0} \cdot \alpha_0| > |R_{T0} \cdot \alpha_{g0}| \quad \text{(I), damit } R_v > 0 \text{ wird.}$$

$$\text{und } R_T^* = R_v + R_{T0} = \sqrt{\frac{R_{g0}}{\alpha_{g0}} \cdot R_{T0} \cdot \alpha_0} - R_{T0} + R_{T0} > R_{g0}$$

(II), damit $R_p > 0$ wird.

$$\alpha_0 \text{ und } \alpha_{g0} \text{ müssen dasselbe Vorzeichen haben.} \quad \text{(III)}$$

Beispiel:

$$R_{T0} = 1,3K\Omega \quad \alpha_0 = -3\%/grd$$

$$R_{g0} = 2,0K\Omega \quad \alpha_{g0} = -2\%/grd$$

Bedingung II nicht erfüllt.

Andere Zahlenwerte:

$$R_{T0} = 2,7k\Omega \quad \alpha_0 = -3,6\%/grad$$

$$R_{g0} = 2,0k\Omega \quad \alpha_{g0} = -2\%/grad$$

$$R_V = \sqrt{\frac{2,7k\Omega \cdot grad}{-0,02}} \cdot 2,0k\Omega \cdot (-0,036)grad^{-1} - 2,7k\Omega = 417\Omega$$

$$R_V = \frac{(2,7+0,417) \cdot 2}{2,7+0,417-2} = 5,581k\Omega$$