

# Linearisierung von Widerstands-Sensorkennlinien (3)

In [1] wurden die Möglichkeiten einer Linearisierung von Widerstandskennlinien und die Forderungen daran erläutert. In [2] wurde das Verhalten linearer und nichtlinearer Widerstände in der Reihen- sowie Parallelschaltung untersucht. Abschließend wird nun der Linearisierungswiderstand ermittelt.

## Linearisierungswiderstand

**Parallel- oder Reihenlinearisierung?** In diesem Schritt muss nun ein Ansatz gefunden werden, den „richtigen“ Widerstandswert für den in Reihe oder parallel zuzuschaltenden Widerstand zu ermitteln. Dieser Widerstand soll im Folgenden als Linearisierungswiderstand  $R_{lin}$  bezeichnet werden. Die zugehörigen Schaltungen zeigen die Bilder 1 und 2. Bezüglich der Ausgangsspannung  $U_{\vartheta}$  gilt für die Parallellinearisierung:

$$U_{\vartheta} = I_{konst} \cdot R_{lin} \cdot \frac{R_1}{R_{lin} + R_1}$$

$$U_{\vartheta} = I_{konst} \cdot R_{lin} \cdot k_{\vartheta}$$

und für die Reihenlinearisierung:

$$U_{\vartheta} = U_{konst} \cdot \frac{R_1}{R_{lin} + R_1}$$

$$U_{\vartheta} = U_{konst} \cdot k_{\vartheta}$$

Da beide Gleichungen einander prinzipiell entsprechen  $U_{\vartheta} = U \cdot k_{\vartheta}$ , kann die Ermittlung des Linearisierungswiderstandes entweder über die Reihenlinearisierung oder über die Parallellinearisierung durchgeführt werden.

**Idealfall.** Im Bild 3 ist der Idealfall der Linearisierung dargestellt. Der temperaturabhängige Widerstand  $R_1$  führt bei der Parallelschaltung mit dem passenden Widerstand  $R_{lin}$  zu einem Gesamtwiderstand  $R_p$ , für den gilt:  $R_p \sim \vartheta$ .

**Arbeitsbereich.** Wie kann nun der erforderliche Linearisierungswiderstand  $R_{lin}$  berechnet werden? Dazu liefert die Darstellung in Bild 4 den Ansatz. Mit steigendem Wert des Sensorelements  $R_{\vartheta}$  steigt der Wert der Parallelschaltung  $R_p$  ( $R_{\vartheta} \parallel R_{lin}$ ) langsamer (Bild 4). Um eine möglichst gute Linearisierung zu erreichen, sollte der Arbeitsbereich ( $\vartheta_u \dots \vartheta_o$ ), in dem der Sensor betrieben wird, bekannt sein. Mit diesen Angaben ergeben sich dann auch die zugehörigen Widerstandswerte:

$$R_{\vartheta u}, R_{\vartheta m} \text{ und } R_{\vartheta o}$$

**Linearisierungsbedingung.** Mathematisch ist die Linearität dann gegeben, wenn gilt:

$$\Delta r_1 = \Delta r_2$$

Die Kennlinie verläuft linear, wenn die Widerstandsänderung in der unteren „Temperaturhälfte“ gleich der in der oberen „Temperaturhälfte“ ist.

Die Lösung sollte den Widerstandswert des Linearisierungswiderstandes ergeben, der für einen vorgegebenen Arbeits-

bereich eine möglichst hohe Linearität der Schaltung liefert:

$$R_p = f(R_u, R_m, R_o)$$

Dieser kann dann entweder in Reihen- oder in Parallelschaltung mit dem temperaturabhängigen Widerstand  $R_{\vartheta}$  betrieben werden und liefert:  $U_m \sim \vartheta$

## Berechnung des Linearisierungswiderstandes

**Ansatz:**  $\Delta r_1 = \Delta r_2$

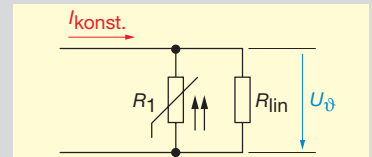
Es gilt:

$$(R_{\vartheta m} \parallel R_{lin}) - (R_{\vartheta u} \parallel R_{lin}) = (R_{\vartheta o} \parallel R_{lin}) - (R_{\vartheta m} \parallel R_{lin})$$

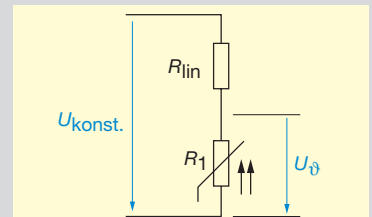
II – Parallelschaltung

$$\frac{R_{\vartheta m} \cdot R_{lin}}{R_{\vartheta m} + R_{lin}} - \frac{R_{\vartheta u} \cdot R_{lin}}{R_{\vartheta u} + R_{lin}} = \frac{R_{\vartheta o} \cdot R_{lin}}{R_{\vartheta o} + R_{lin}} - \frac{R_{\vartheta m} \cdot R_{lin}}{R_{\vartheta m} + R_{lin}}$$

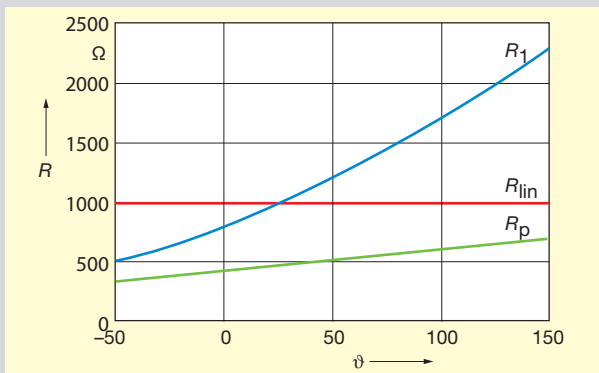
Damit liegt eine Gleichung mit einer Unbekannten ( $R_{lin}$ ) vor, die nach dieser Unbekannten umgestellt werden kann.



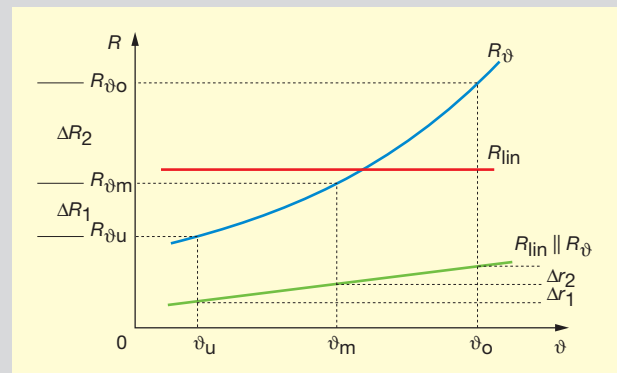
1 Parallellinearisierung



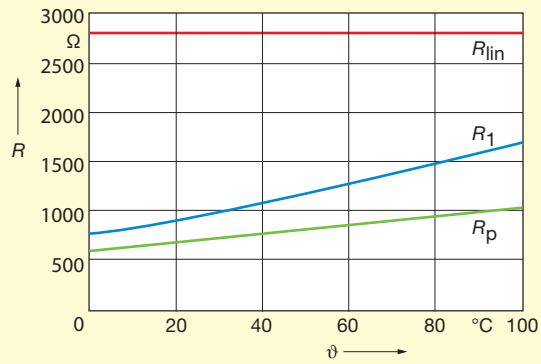
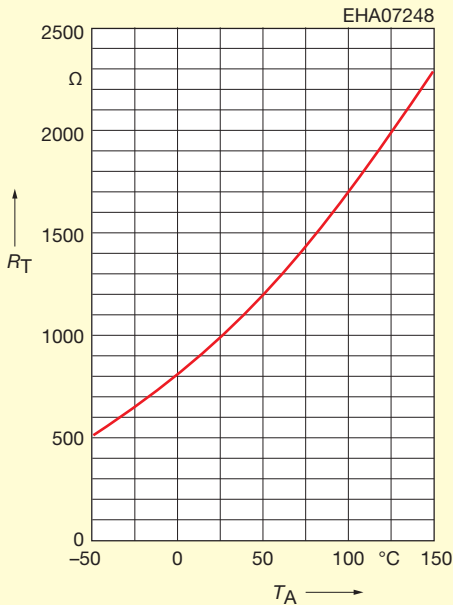
2 Reihenlinearisierung



3 Parallelschaltung  $R_p = f(\vartheta)$



4 Linearisierungsfunktion



⑥ Grafische Darstellung der Lösung

⑤ Kennlinie eines KTY-Sensors [3]

**Lösung.**

$$R_{lin} = \frac{R_{\vartheta m} \cdot (R_{\vartheta u} + R_{\vartheta o}) - 2 \cdot R_{\vartheta u} \cdot R_{\vartheta o}}{R_{\vartheta u} + R_{\vartheta o} - 2 \cdot R_{\vartheta m}}$$

Zur Dimensionierung des Linearisierungswiderstandes wird zunächst der Temperaturbereich der Linearisierung festgelegt und anschließend werden für die Temperaturen  $\vartheta_u$ ,  $\vartheta_o$  und  $\vartheta_m$  die zugehörigen Widerstandswerte von der Kennlinie des Temperaturwiderstandes abgelesen.

**Nachweis.** Die Linearisierung kann mit der Parallelschaltung oder der Reihenschaltung durchgeführt werden. Es kann daher mit beiden Schaltungen linearisiert werden.

Da die Konstantspannung einfacher bereitzustellen ist und die Empfindlichkeit der Schaltung höher ist als bei der Parallelschaltung, wird in der Regel diese Variante bevorzugt.

**Beispielrechnung**

Für den Temperatursensor KTY mit der Kennlinie in Bild ⑤ soll für den Temperaturbereich 0...100 °C der erforderliche Linearisierungswiderstand bestimmt und anschließend die Linearität grafisch nachgewiesen werden.

Widerstandswerte für die Temperaturen 0 °C, 50 °C, und 100 °C.

$$R_{\vartheta 0} = 800 \Omega \quad R_{\vartheta 50} = 1200 \Omega$$

$$R_{\vartheta 100} = 1700 \Omega$$

Zwischenergebnis: Der Sensor ist in diesem Bereich nicht linear, da

$$R_{\vartheta 50} - R_{\vartheta 0} \neq R_{\vartheta 100} - R_{\vartheta 50}$$

$$R_{lin} = \frac{1200 \Omega \cdot (800 \Omega + 1700 \Omega) - 2 \cdot 800 \Omega \cdot 1700 \Omega}{800 \Omega + 1700 \Omega - 2 \cdot 1200 \Omega}$$

$$R_{lin} = \frac{1200 \Omega \cdot 2500 \Omega - 1600 \Omega \cdot 1700 \Omega}{2500 \Omega - 2400 \Omega}$$

$$R_{lin} = 2800 \Omega$$

Die Auswertung der grafischen Lösung in Bild ⑥ liefert für den Widerstand  $R_p$  folgende Werte:

$$R_{p0} = 622,22 \Omega \quad R_{p50} = 840 \Omega$$

$$R_{p100} = 1057,78 \Omega$$

Damit beträgt

$$R_{p50} - R_{p0} = 217,78 \Omega \quad \text{und}$$

$$R_{p100} - R_{p50} = 217,78 \Omega$$

und die Linearisierungsbedingung  $\Delta r_1 = \Delta r_2$  ist erfüllt. *J. Uphaus*

**Literatur**

- [1] Uphaus, J.: Linearisierung von Widerstandssensorkennlinien (1). Elektropraktiker Berlin, 64(2010)6, Lernen und Können S. 10.
- [2] Uphaus, J.: Linearisierung von Widerstandssensorkennlinien (2). Elektropraktiker Berlin, 64(2010)7, Lernen und Können S. 8-9.
- [3] Valvo Datenbuch: Halbleiter-Sensoren. Hüthig Verlag GmbH, Heidelberg 1985.
- [4] Uphaus, J.: Regelungstechnik – Projekte für den Lernfeldunterricht; Aufgaben, Anwendungen, Simulationen Arbeitsheft. 2. Auflage. Troisdorf: Bildungsverlag EINS 2008.