

– Lösungen –  
9. Sensorik

– **Elektronik für Informatiker** –  
von den Grundlagen bis zur Mikrocontroller-Applikation

Manfred Rost      Sandro Wefel

23. November 2021

<https://doi.org/10.1515/9783110609066>

Verlag: De Gruyter Oldenbourg

© 2021  
All Rights Reserved

**Anmerkung:** Bildnummern und Seitenzahlen beziehen sich auf die 2. Auflage des Buches.

# 9 Sensorik

9.1 Ein Sensor ist ein für Messzwecke genutzter Wandler, der eine nichtelektrische Eingangsgröße auf eine elektrische Ausgangsgröße abbildet. Er erlaubt das elektrische Messen nichtelektrischer Größen und ist das erste, dem Messprozess nächste Glied in der Messkette.

9.2

9.2.1

- Sicherheitstechnik, z.B.
  - Beschleunigungssensoren zur Steuerung des Airbags,
  - Drucksensoren zur Überwachung des Reifendrucks;
- Überwachung von Motorfunktionen, z.B.
  - Lambda-Sonde zur Abgasüberwachung,
  - Klopfsensor zur Vermeidung unkontrollierter Verbrennung;
- Erhöhung des Fahrkomforts, z.B.
  - Ultraschall-Abstandssensorsystem als Einparkhilfe,
  - Regensensor zur Steuerung des Scheibenwischers.

9.2.2

- kapazitive Sensoren als Bedienelemente (Touchscreen)
- Helligkeitssensor zur Anpassung der Display-Helligkeit
- Beschleunigungssensor (-en) zur Erkennung von Lageänderungen

9.2.3

- Körpertemperatur: Temperatursensor im Fieberthermometer,
- Blutdruck: Druck- (Schall-) Sensor zur Erfassung der sog. Korotkoff-Geräusche in Verbindung mit Armmanschette und Pumpsystem,
- Blutzuckerkonzentration: Glucose-Biosensor (Teststreifen) in Verbindungen mit Handmessgeräten.

Zusammenfassend kann man feststellen, dass der Fortschritt in vielen Gebieten der Technik wesentlich durch den Einsatz neuer Sensoren oder Sensorsysteme bestimmt wird.

## 9.3

- Spannung: (hochohmige) Verstärker
- Strom: I/U-Wandler
- Ladung: Ladungsverstärker

## 9.4

- Spannungsteiler und Spannungsmessung
- Brückenschaltungen
- Messoszillatoren

9.5 Der Begriff Querempfindlichkeit beschreibt, dass das Ausgangssignal eines Sensors oft nicht nur von der gewünschten Zielgröße, sondern noch von weiteren Größen, wie z.B. der Temperatur, abhängig ist.

9.6 Wir berechnen zunächst die Änderung des Widerstandwertes für die minimale und die maximale Temperatur

$$|\Delta R(\vartheta = -40^\circ\text{C})| = 12\ \Omega \quad \text{und} \quad \Delta R(\vartheta = 60^\circ\text{C}) = 8\ \Omega.$$

Die maximale Abweichung tritt bei  $\vartheta = -40^\circ\text{C}$  auf; der Relative Fehler beträgt dort

$$\left| \frac{\Delta R(\vartheta)}{R_{20^\circ\text{C}}} \right| = 1,2\%.$$

Diese Querempfindlichkeit bezüglich der Temperatur kann man durch separate Messung der Temperatur und rechnerische Korrektur kompensieren.

9.7 Wir ermitteln zuerst das betriebsspannungsunabhängige Ausgangssignal.  
Nach Gleichung 9.1 gilt

$$U_a = U_B \cdot \frac{R_0 \pm \Delta R}{R_1 + R_0 \pm \Delta R}.$$

Wir nennen den dimensionslosen Term

$$\frac{R_0 \pm \Delta R}{R_1 + R_0 \pm \Delta R} = R_{\text{Verhältnis}}$$

und können für die Abhängigkeit des Ausgangssignals von der Betriebsspannung dann schreiben

$$U_a(\pm\Delta U) = U_B \cdot \left(1 \pm \frac{\Delta U}{U_B}\right) \cdot R_{\text{Verhältnis}}.$$

Schwankungen der Betriebsspannung werden mit dem Term  $\pm \frac{\Delta U}{U_B}$  beschrieben.

Will man Einflüsse von Schwankungen der Betriebsspannung eliminieren, so muss man entweder die Betriebsspannung konstant halten oder man muss Verhältnismessungen, sogenannte ratiometrische Messungen, machen. Ratiometrische Verfahren werden oft im Zusammenhang mit ADC angewandt.

## 9.8

9.8.1 Mit Gleichung 9.3 und den auf Seite 369 angegebenen Koeffizienten a und b erhalten wir für  $\vartheta = 300\text{ }^\circ\text{C}$

$$R(\vartheta) = R_0 \cdot (1 + a \cdot \vartheta + b \cdot \vartheta^2) = 212\ \Omega.$$

9.8.2 Die Brückenspannung ergibt sich als Differenz der Spannungen über  $R_2$  (PT100) und  $R_4$ , wenn zwischen a und b kein Strom fließt.

$$U_{Br} = \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} - \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right) \cdot U_1.$$

Für die beiden Temperaturen erhält man

$$U_{Br}(\vartheta = 0\text{ }^\circ\text{C}) = 0\text{ V} \quad \text{und} \quad U_{Br}(\vartheta = 300\text{ }^\circ\text{C}) = 0,179\text{ V}.$$

9.8.3 Die notwendige Verstärkung findet man als Quotient

$$V = \frac{U_a}{U_{Br}} = \frac{5\text{ V}}{0,179\text{ V}} = 27,933.$$

Der Verstärkereingang muss für beide Signalleitungen hochohmig sein, damit die Spannungsdifferenz  $U_{Br}$  nicht verfälscht wird. Um das zu erreichen, wird einem Subtrahierer nach Abb. 6.31 (OV III in unten stehender Abbildung) zu einem Instrumentenverstärker aufgerüstet, indem beiden Eingängen des Subtrahierers ein nicht-invertierender Verstärker (OV I und OV II) vorgeschaltet wird.

Die Verstärkung des Instrumentenverstärkers berechnet sich zu

$$V_{Instverst} = \frac{R_d}{R_c} \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot R_b}{R_a}\right)$$

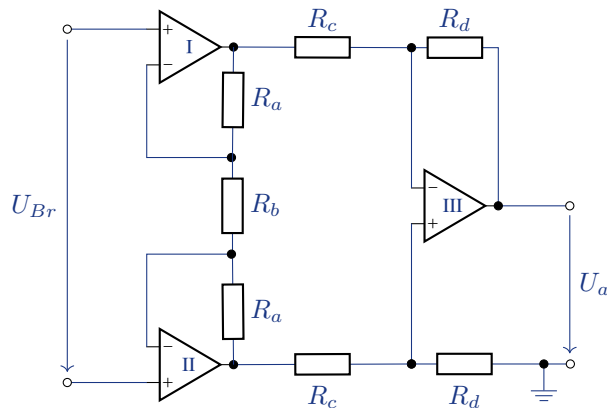
oder wenn  $R_c = R_d$  gilt zu

$$V_{Instverst} = 1 + \frac{2 \cdot R_b}{R_a}.$$

Es sei  $R_c = R_d$  und  $R_a = 10 \text{ k}\Omega$ . Um die gewünschte Verstärkung zu erreichen, muss gelten

$$R_b = 13,466 \cdot R_a = 134,6 \text{ k}\Omega.$$

Solche ein Widerstandswert ist praktisch nur durch Abgleich einzustellen.



Instrumentenverstärker

#### 9.8.4

$$U_a(\vartheta) = \left( \frac{R_2 \cdot (1 + a \cdot \vartheta + b \cdot \vartheta^2)}{R_1 + R_2 \cdot (1 + a \cdot \vartheta + b \cdot \vartheta^2)} - \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right) \cdot V \cdot U_1$$

Da alle Widerstände in der Brücke bei  $(\vartheta) = 0^\circ \text{C}$  den Wert von  $100 \Omega$  haben, kann man mit den anderen gegebenen Werten diesen Ausdruck vereinfachen

$$U_a(\vartheta) = \left( \frac{(1 + a \cdot \vartheta + b \cdot \vartheta^2)}{1 + 1 \cdot (1 + a \cdot \vartheta + b \cdot \vartheta^2)} - \frac{1}{2} \right) \cdot 27,933 \text{ V}$$

9.8.5

$$\Delta U_{Br}(\Delta U_1) = U_{Br} \cdot \frac{\Delta U_1}{U_1}$$

- 9.9 Wie alle Sensoren bilden Touchscreens nichtelektrische Einflüsse, das sind hier externe Berührungen, auf elektrische Größen ab. Aus den elektrischen Größen werden die Koordinaten des Berührungspunktes auf dem Touchscreen ermittelt. Touchscreens zählen zu den „Human Interface Devices“.
- 9.10 Bei resistiven Touchscreens stehen sich zwei flächenhafte Widerstandsschichten in dichtem Abstand gegenüber, ohne im Ruhezustand Kontakt miteinander zu haben. Die Widerstandsschicht auf der Bedienerseite ist auf eine flexible Folie aufgebracht. Die Folie wird bei Bedienung punktuell so niedergedrückt, dass ein ohmscher Kontakt zur zweiten Widerstandsschicht entsteht. Das System kann nun als zweidimensionaler Spannungsteiler betrachtet werden. Durch zwei Widerstandsmessungen kann der Kontaktpunkt in x- und in y-Richtung bestimmt werden. Die Bestimmung mehrerer Positionen ist damit nicht möglich (siehe Abb. 9.8 im Buch).
- 9.11 Ein kapazitiver Touchscreen lässt sich als Array kapazitiver Sensoren verstehen. Das Kapazitätsarray wird durch streifenförmige transparente Leitungen (ITO-Schichten) gebildet, die als Zeilenleitungen und Spaltenleitungen orthogonal zueinander angeordnet sind. Zwischen den Spalten- und den Zeilenleitungen liegt ein ebenfalls transparentes Dielektrikum. Das gesamte Kapazitätsarray ist durch ein Deckglas geschützt und wird periodisch über die Zeilen- und Spaltenleitungen ausgelesen. Wenn man mit einem Finger den Touchscreen berührt verändert sich lokal die Kapazität. Der Berührungspunkt ergibt sich aus den Zeilen- und Spaltenleitungen. Bei diesem Touchscreentyp können mehrerer Positionen in einem Durchlauf erfasst werden (siehe Abb. 9.10. im Buch).
- 9.12 Touchscreen-Controller sind spezielle Schaltkreise zur Abfrage von Touchscreens.
- Controller für resistive Touchscreens müssen periodisch zwei Widerstandsmessungen durchführen, die Werte Digitalisieren und über eine Schnittstelle zur Weiterverarbeitung bereitstellen.
- Controller für kapazitive Touchscreens müssen periodisch alle Kapazitäten des Arrays adressieren und messen, Kontaktpunkte bestimmen und die Daten über eine Schnittstelle zur Weiterverarbeitung bereitstellen.