

Sensorik:

▪ 2. Temperaturmessung

→ berührende Messung (Wärmeleitung):

- thermoresistive Sensoren: - metallische Sensoren (Pt-100, Ni-100)
- keramische Sensoren (Heißleiter NTC, Kaltleiter PTC)
- thermoelektrische Sensoren: - Thermoelemente

→ berührungslose Messung: - Strahlungspyrometer (Wärmestrahlung)

$$T = t_{\circ C} + 273,15 \text{ K}$$

Metallische Sensoren:

Pt-100: $R_0 = 100\Omega$ [bei 0°C]

Temperaturabhängigkeit des Widerstandes:

$$R = R_0 \cdot \left[1 + A \cdot t_{\circ C} + B \cdot t_{\circ C}^2 + C \cdot (t_{\circ C} - 100^\circ\text{C}) \cdot t_{\circ C}^3 \right]$$

Zweileiterschaltung:

$$U_M = I_{K1} \cdot R_T + I_{K1} \cdot (R_{L1} + R_{K1} + R_{L2} + R_{K2})$$

Dreileiterschaltung:

$$U_M = -I_{K1} \cdot (R_{L3} + R_{K3}) + I_{K2} \cdot R_T + I_{K2} \cdot (R_{L2} + R_{K2}) = I_K \cdot R_T + I_K \cdot (R_{L2} + R_{K2} - R_{L3} - R_{K3})$$

$$I_{K1} = I_{K2} = I_K$$

Vierleiterschaltung:

$$U_M = I_K \cdot R_T$$

Brückenschaltung:

- Messwiderstand an Stelle 1

$$U_B = U_0 \cdot \left(\frac{R_T}{R + R_T} - \frac{1}{2} \right) = \frac{U_0}{2} \cdot \frac{R_T - R}{R_T + R}$$

Temperaturmessung (2.)

Einfluss des Messstromes:

$$P_V = I_M^2 \cdot R = G_{th} \cdot (T - T_U) = G_{th} \cdot \Delta T$$

$$\rightarrow I_{M,\max} = \sqrt{\frac{G_{th} \cdot \Delta T}{R}} \quad \Delta T = \text{Unterschied zwischen Umgebung}$$

$G_{th} = \text{Wärmeleitwert in [mW/K]}$

Für kleine Temperaturmessbereiche (B und C vernachlässigt) gilt:

$$R_t = R_0 \cdot [1 + \alpha \cdot (t_{0C} - t_0)] \quad \text{Materialkonstanten} \rightarrow \text{siehe Seite 10}$$

Keramische Sensoren:

Kaltleiter (positiver Temperaturkoeffizient, PTC):

Nennwiderstand: R_N (Widerstandswert des Kaltleiters bei der Temperatur T_N (normal 25°C))

Für den Bereich des starken Widerstandsanstieges kann folgende Beziehung verwendet werden:

$$R(T) = R_N \cdot e^{A \cdot (T - T_N)} \quad \text{typischer Wert für A: 0,16/K}$$

Heißleiter (negativer Temperaturkoeffizient, NTC):

Temperaturverhalten:

$$R_T = R_N \cdot e^{B \cdot \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_N}\right)} \quad \text{typischer Wert für B: 3970 K}$$

Durch Parallelschalten eines Widerstandes zu einem NTC kann eine Linearisierung erreicht werden!

$$R_P = R_{TM} \cdot \frac{B - 2 \cdot T_M}{B + 2 \cdot T_M} \quad T_M: \text{mittlere Temperatur } T_M$$

Temperaturkoeffizient:

$$\alpha_{HL} = \frac{1}{R_T} \cdot \frac{dR_T}{dT} = -\frac{B}{T^2}$$

Wichtig: alle Temperaturen in K angeben !!!

Temperaturmessung (2.)

Thermoelemente:

Thermoelektrische Spannungsreihe → siehe Seite 16

$$K_{AB} = K_{AP} - K_{BP}$$

$$U_T = K_{AB} \cdot (T_M - T_V) \quad (\text{ohne Kompensation})$$

Gutes Beispiel: Klausur SS 2001

Strahlungspyrometer: → siehe Seite 20ff

▪ 3. Sensoren für Kraft, Druck, Drehmoment und Beschleunigung

Zugbeanspruchung:

$$\sigma \equiv \frac{F}{A} \quad \dots \text{ Normalspannung} \quad \sigma > 0 \text{ Zug}; \quad \sigma < 0 \text{ Druck}$$

$$\varepsilon_l \equiv \frac{\bar{l} - l}{l} = \frac{\Delta l}{l} = \frac{F}{A \cdot E} \quad \dots \text{ Längsdehnung} \quad \varepsilon > 0 \text{ Zug}; \quad \varepsilon < 0 \text{ Druck} \quad \text{Einheit: } \left[\frac{\mu\text{m}}{\text{m}} \right]$$

$$\varepsilon_q \equiv \frac{\bar{m} - m}{m} = \frac{\Delta m}{m} = -\frac{F}{A \cdot E} \quad \dots \text{ Querdehnung}$$

$$\sigma = E \cdot \varepsilon_l \quad \dots \text{ linear-elastisches Werkstoffverhalten (Hookesches Gesetz)}$$

$$\varepsilon_q = \nu \cdot \varepsilon_l \quad \dots \text{ Querdehnungsgesetz}$$

E ... Elastizitätsmodul

ν ... Querkontraktionszahl

Sensoren für Kraft, Druck, Drehmoment und Beschleunigung (3.)

Biegebeanspruchung:

$$\sigma_x(z) = \frac{M_b}{I_y} \cdot z \quad I_y \dots \text{axiales Flächenmoment 2. Ordnung bezüglich der y-Achse [mm}^4\text{]}$$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{I_y} \cdot z_{\max.}$$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b}$$

$$W_b \equiv \frac{I_y}{z_{\max.}}$$

σ_b ... Biegespannung

W_b ... Widerstandsmoment bei Biegung [mm³]

$$\varepsilon_b = \frac{\sigma_b}{E} \quad (\text{an der Stelle } z_{\max.}) \quad \rightarrow \quad M_b = F \cdot l$$

DMS:

$$R = R_0 \cdot (1 + k \cdot \varepsilon)$$

Viertelbrücke:

$$U_A = U_0 \cdot \frac{1}{4} \cdot k \cdot \varepsilon$$

$$U_A = U_0 \cdot \frac{1}{4} \cdot \frac{\Delta R}{R}$$

Vollbrücke:

$$U_A = U_0 \cdot \frac{k}{4} \cdot (\varepsilon_1 - \varepsilon_2 - \varepsilon_3 + \varepsilon_4)$$

abhängig von Positionierung (hier: $\frac{1}{2}$ $\frac{3}{4}$)
(gegenläufiges Verhalten: 1,4 - 2,3)

$$k\text{-Faktor: } k = \frac{\Delta R / R_0}{\varepsilon}$$

Sensoren für Kraft, Druck, Drehmoment und Beschleunigung (3.)

Trägerfrequenzmessverstärker und Phasenselektiver Gleichrichter: → siehe Seite 31ff

Beschleunigungssensor: → siehe Seite 39

Piezelektrische Sensoren mit Ladungsverstärker

$$U_a = -\frac{Q}{\left(C_g + \frac{C_g}{V} + \frac{C_k}{V}\right)} \Rightarrow V \rightarrow \infty: U_a \approx -\frac{Q}{C_g}$$

Magnetoelastische Sensoren: → siehe Seite 46

Kapazitive Sensoren:

$$C = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot \frac{A}{l}$$

▪ 4. Initiatoren

→ siehe Seite 49ff

▪ 5. Sensoren für Weg, Drehzahl und Drehwinkel

→ siehe Seite 59ff

▪ 6. Grundlagen digitaler Messsysteme → siehe Seite 69ff

Quantisierungsfehler:

$$LSB = \frac{Full\ Scale}{2^n} \Rightarrow n - \text{Bit}$$

Linearitätsfehler:

Differentielle Nichtlinearität (DNL): Abweichung von der idealen Quantisierungsbreite (1 LSB) → Fehler größer ± 1 LSB → Missing Code

Integrale Nichtlinearität (INL): Abweichung der Stufenmitte von der idealen Codemitte

Störsignal bei Dual – Slope Verfahren:

$$T_1 = \text{Integrationszeit} \quad T_s = \text{Periodendauer Störfrequenz} \quad t = \text{Einflussdauer Störung}$$

$$U_m = U_T + \hat{u}_s \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \quad \rightarrow \quad U_m = U_T + \frac{\hat{u}_s}{T_1} \cdot \int_0^t \sin(\omega \cdot t + \varphi) \cdot dt$$

$$\text{Beispiel: } U_m = U_T - \frac{\hat{u}_s}{T_1 \cdot \omega} \cdot \cos(\omega \cdot t) \Big|_0^t = U_T - \frac{\hat{u}_s}{T_1 \cdot \omega} \cdot \left[\cos\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{t}{T_s}\right) - \cos(0) \right]$$

$$t = T_s/2: \quad U_m = U_T - \frac{\hat{u}_s}{T_1 \cdot \omega} \cdot [\cos(\pi) - 1] = U_T + \frac{2 \cdot \hat{u}_s}{T_1 \cdot \omega} \quad U_m = U_T + \frac{2 \cdot \hat{u}_s \cdot T_s}{T_1 \cdot 2 \cdot \pi} = U_T + \frac{\hat{u}_s \cdot T_s}{T_1 \pi}$$

Allgemein für Fläche unter einer Sinushalbwellen gilt:

$$A = \frac{2}{\pi} \cdot \text{Höhe} \cdot \text{Breite}$$

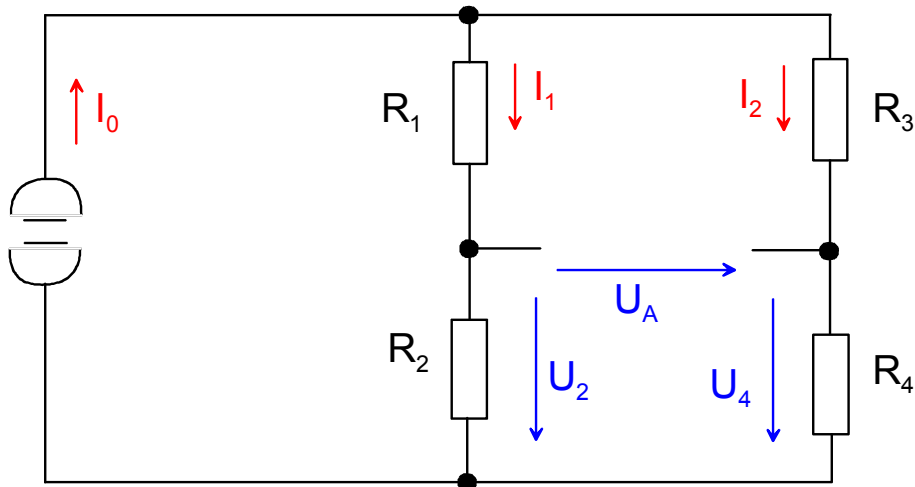
in Bezug auf eine Gleichspannung in einem bestimmten Intervall gilt → $U = \frac{2}{\pi} \cdot \hat{u} \cdot \frac{t}{T_1}$

D/A – Umsetzer

Wägeverfahren:

$$U_a = \frac{U_{ref}}{7} \cdot (4 \cdot S_2 + 2 \cdot S_1 + S_0) \quad \text{siehe Seite 79}$$

Stromteilerregel anhand eines Beispiels:



$$\frac{I_1}{I_0} = \frac{(R_1 + R_2) \parallel (R_3 + R_4)}{(R_1 + R_2)} \Rightarrow \frac{I_1}{I_0} = \frac{(R_3 + R_4)}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4}$$

$$U_A = U_2 - U_4$$

$$U_2 = I_1 \cdot R_2$$

$$U_4 = I_2 \cdot R_4$$

$$I_1 = I_0 \cdot \frac{(R_3 + R_4)}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} \quad I_2 = I_0 \cdot \frac{(R_1 + R_2)}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4}$$

$$U_A = I_0 \cdot \left(\frac{R_2 \cdot (R_3 + R_4)}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} - \frac{R_4 \cdot (R_1 + R_2)}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} \right)$$

$$U_A = I_0 \cdot \left(\frac{R_2 \cdot R_3 - R_1 \cdot R_4}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} \right)$$

$$U_A = U_2 - U_4$$

Spannung U_2 ist gleich I_0 mal der Widerstand R_2 mal dem gesamten Widerstand des anderen Zweiges $R_3 + R_4$. Alles geteilt durch alle Widerstände $R_1 + R_2 + R_3 + R_4$.

Spannung U_4 ist gleich I_0 mal der Widerstand R_4 mal dem gesamten Widerstand des anderen Zweiges $R_1 + R_2$. Alles geteilt durch alle Widerstände $R_1 + R_2 + R_3 + R_4$.