

5. Messung nicht-elektrischer Größen:

Vorlesungsinhalte

5.1 Messung geometrischer Größen

- 5.1.1 Berührende Abstands- und Winkelmessung
- 5.1.2 Berührungslose Abstands- und Winkelmessung

5.2 Messung von Drücken, Kräften, Drehmomenten

- 5.2.1 Berührende Druck-, Kraft- und Drehmomentenmessung
- 5.2.2 Berührungslose Druck-, Kraft- und Drehmomentenmessung

5.3 Messung von Temperaturen

- 5.3.1 Berührende Temperaturmessung
- 5.3.2 Berührungslose Temperaturmessung

5.4 Messung von Volumen- und Massenströmen

- 5.4.1 Berührende Volumen- und Massenstrommessung
- 5.4.3 Berührungslose Volumen- und Massenstrommessung

5.5 Messung von Massen

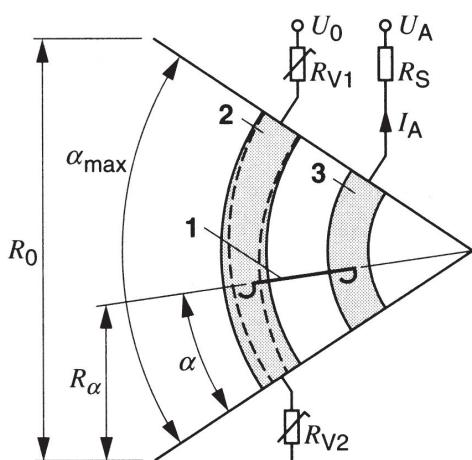
- 5.5.1 Ausschlagmethode
- 5.5.2 Elektronische Kompensationswaage

5. Messung nicht-elektrischer Größen

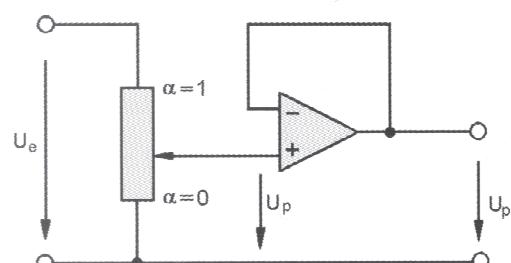
5. 1 Messung geometrischer Größen:

5.1.1 Berührende Abstands- und Winkelmessung:

5.1.1.1 Potentiometersysteme



Schleifpotentiometer
mit Schleifer (1), Widerstandsbahn (2),
Kontaktbahn (3)
(Bosch: Autoelektrik/Autoelektronik)



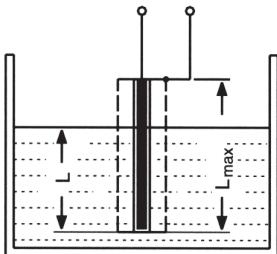
Potentiometer mit Spannungsfolgerschaltung
(S. Hesse, G. Schnell: Sensoren für die Prozess- und Fabrikautomation)

5. Messung nicht-elektrischer Größen

5.1 Messung geometrischer Größen:

5.1.1 Berührende Abstands- und Winkelmessung:

5.1.1.2 Kapazitive Systeme (1)

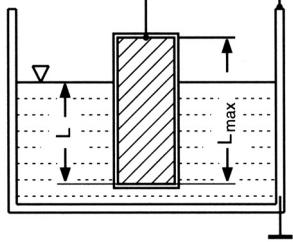


$$h = I_0 \cdot \left(\frac{C - C_0}{C_0} \right) \cdot \frac{1}{\epsilon_r - 1}$$

$$\frac{\Delta l}{l_0} = \frac{1}{(\epsilon_r - 1)} \cdot \frac{\Delta C}{C_0}$$

Kapazitive Füllstands-Messsysteme

(J. Niebuhr, G. Lindner: Physikalische Messtechnik mit Sensoren)



Auswerteschaltungen (Beispiele) :

- Wechselspannungs-Ausschlagbrücke / Viertelbrücke (3.3.5.2.1)
- Abgleich-Widerstandsmessbrücke (z.B. Kapazitätsmessbrücke nach Wien / 3.3.5.1.1)
- Wechselstrom- und -spannungsmessung (3.3.1)

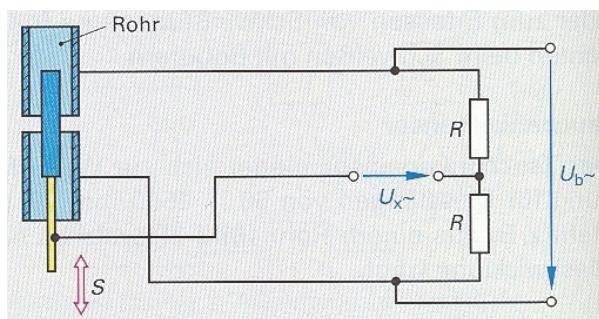
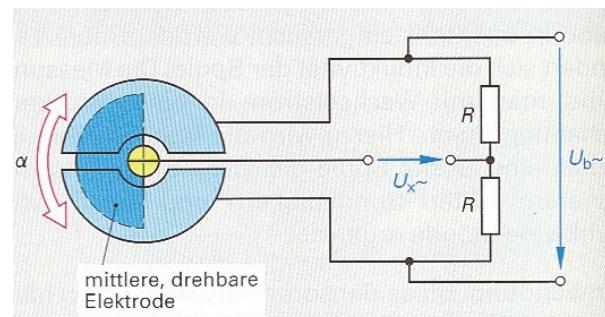
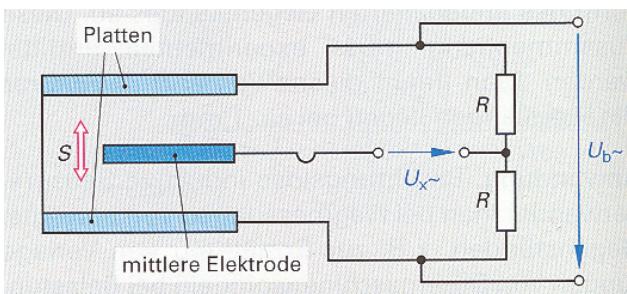
$$C = \frac{i}{\hat{u}} \cdot \frac{1}{2\pi \cdot f}$$

5. Messung nicht-elektrischer Größen

5.1 Messung geometrischer Größen:

5.1.1 Berührende Abstands- und Winkelmessung:

5.1.1.2 Kapazitive Systeme (2)



A. Baumann et. al.: Automatisierungstechnik

Differenzialkondensatoren

mit $\Delta l_1 = -\Delta l_2$, bzw. $\Delta A_1 = -\Delta A_2$:

$$\frac{\Delta l_1}{l_0} = -\frac{1}{2} \cdot \frac{U_0}{U_M} = -\frac{\Delta l_2}{l_0} \text{ bzw.}$$

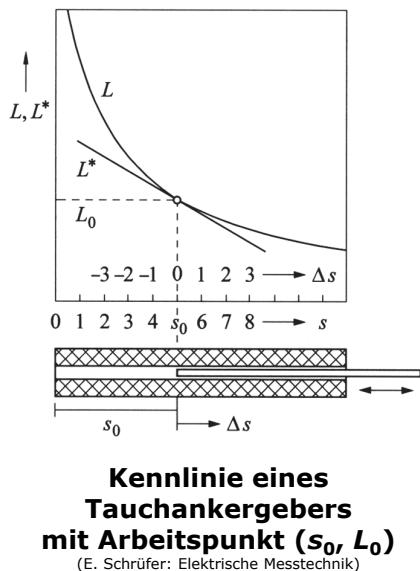
$$\frac{\Delta A_1}{A_0} = -\frac{1}{2} \cdot \frac{U_0}{U_M} = -\frac{\Delta A_2}{A_0}$$

5. Messung nicht-elektrischer Größen

5. 1 Messung geometrischer Größen:

5.1.1 Berührende Abstands- und Winkelmessung:

5.1.1.3 Induktive Systeme (1)



$$S = \frac{N^2 \cdot \mu_0 \cdot A}{L}$$

Auswerteschaltungen (Beispiele) :

- Wechselspannungs-Ausschlagbrücke / Viertelbrücke (3.3.5.2.1)
- Abgleich-Widerstandsmessbrücke (z.B. Induktivitätssmessbrücke nach Maxwell / 3.3.5.1.2 oder Maxwell-Wien / 3.3.5.1.3)
- Wechselstrom- und -spannungsmessung (3.3.1)

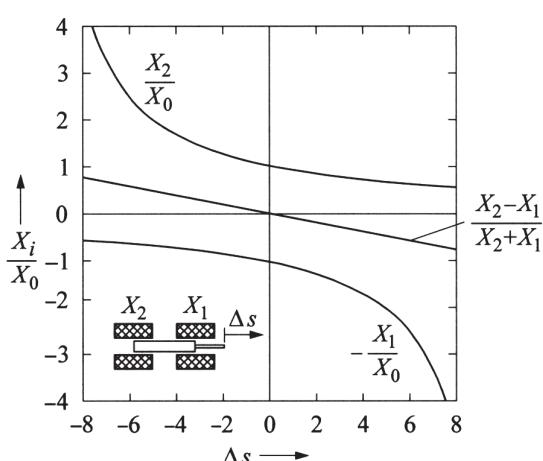
$$L = \frac{\hat{u}}{\hat{i}} \cdot \frac{1}{2\pi \cdot f}$$

5. Messung nicht-elektrischer Größen

5. 1 Messung geometrischer Größen:

5.1.1 Berührende Abstands- und Winkelmessung:

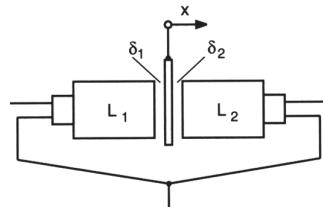
5.1.1.3 Induktive Systeme (2)



Differenzialdrosseln

mit $\Delta s_1 = -\Delta s_2$:

$$\frac{\Delta L_1}{L_0} = \frac{-2 \cdot \mu_r}{(I_{Fe} + 2 \cdot s_0 \cdot \mu_r)} \cdot \Delta s_1 = \frac{-\Delta L_2}{L_0}$$



Differenzialdrossel mit verstellbarem Queranker zur Abstandsmessung
(E. Schrüfer: Elektrische Messtechnik)

Auswerteschaltungen (Beispiele) :

- Wechselspannungs-Ausschlagbrücke / Halbbrücke (3.3.5.2.2)

5. Messung nicht-elektrischer Größen

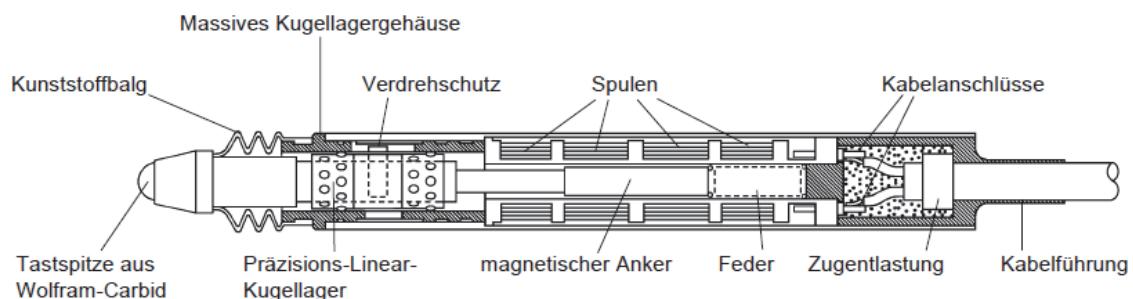
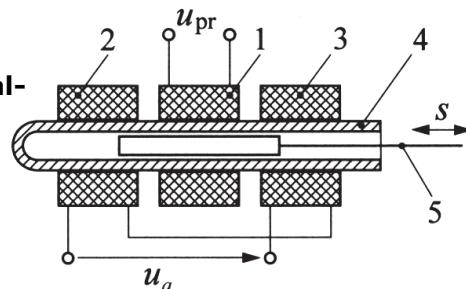
5.1 Messung geometrischer Größen:

5.1.1 Berührende Abstands- und Winkelmessung:

5.1.1.3 Induktive Systeme (3)

Prinzip eines Differential-Transformators (LVDT)

- 1: Primärspule
- 2, 3: Sekundärspulen
- 4: Hülse
- 5: verschiebbarer Kern
(E. Schrüfer: Elektrische Messtechnik)



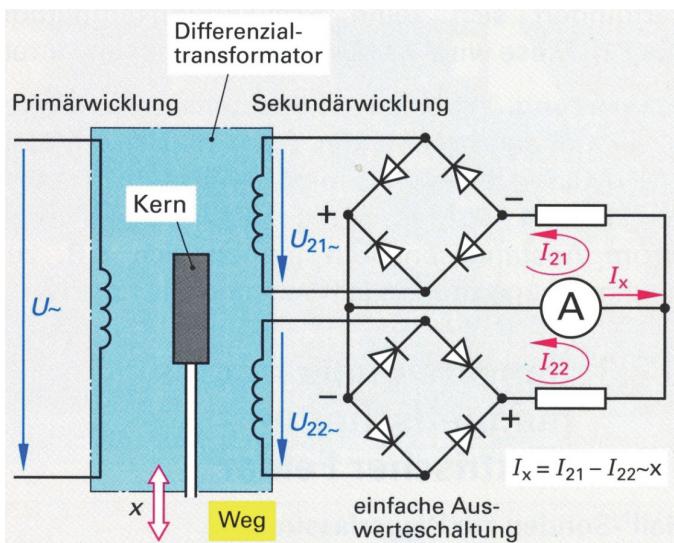
Technische Ausführung eines LVDT (Beispiel: ASM GmbH)

5. Messung nicht-elektrischer Größen

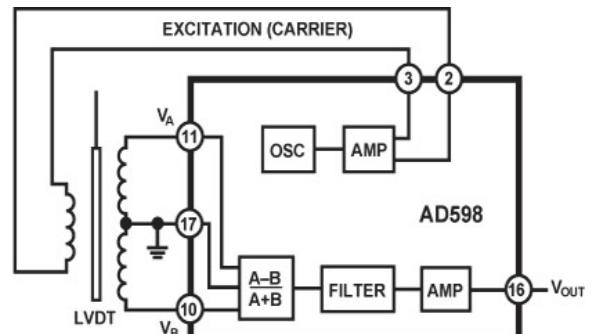
5.1 Messung geometrischer Größen:

5.1.1 Berührende Abstands- und Winkelmessung:

5.1.1.3 Induktive Systeme (4)



Prinzip der LVDT-Signalbildung
(A. Baumann et. al.: Automatisierungstechnik)



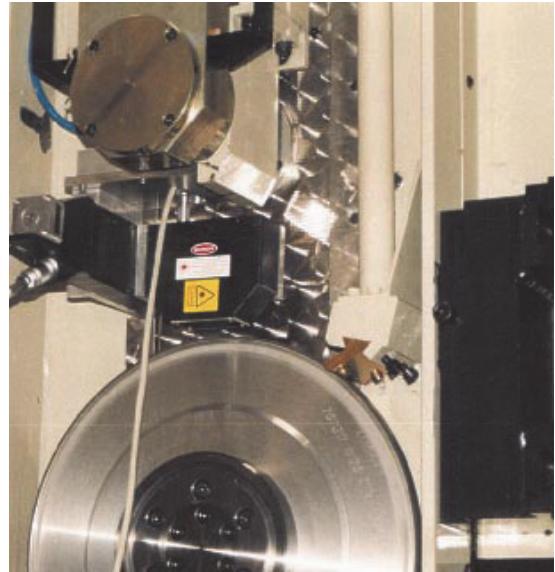
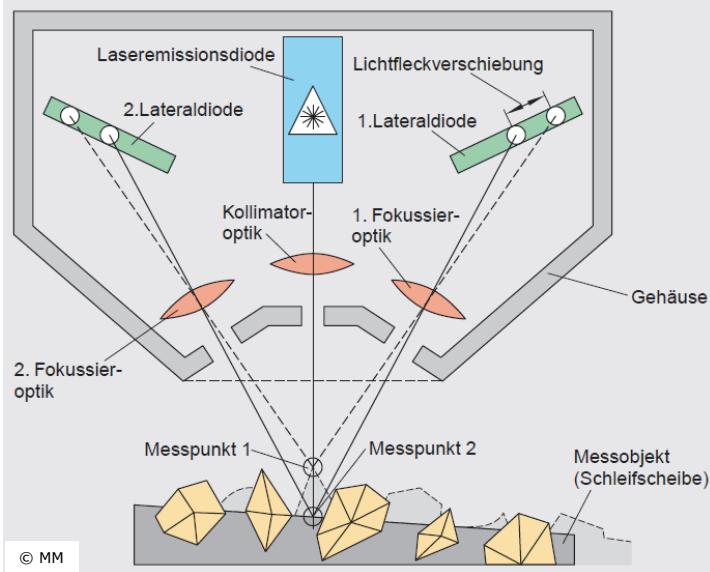
Beispiel eines integrierten Schaltkreises für Versorgung und Auswertung von LVDT-Sensorelementen
© Analog Devices

5. Messung nicht-elektrischer Größen

5.1 Messung geometrischer Größen:

5.1.2 Berührungslose Abstands- und Winkelmessung:

5.1.2.1 Optische Systeme (1)



**Applikationsbeispiel der Lasertriangulation:
Vermessung der Makro- und Mikrogeometrie von Schleifscheiben**

(O. Braun, U. Zitt: MM Maschinenmarkt 19/2000)

Fakultät Elektrotechnik, Medientechnik und Informatik- Vorlesung - Prof. Dr. László Juhász

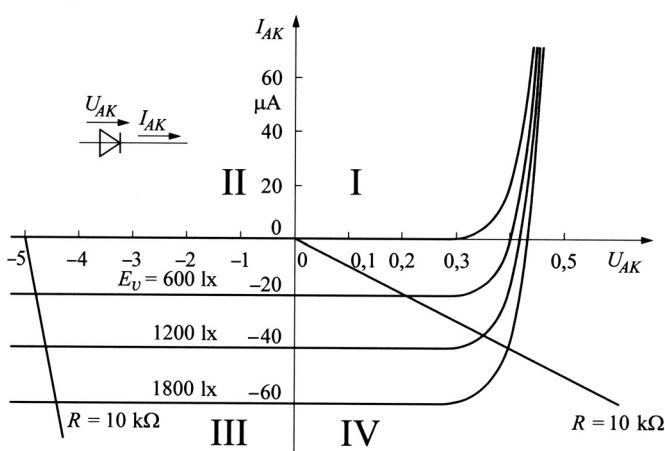
249

5. Messung nicht-elektrischer Größen

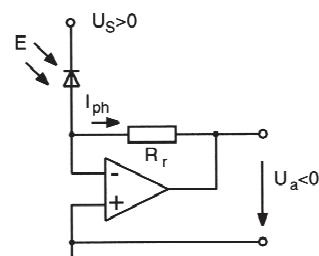
5.1 Messung geometrischer Größen:

5.1.2 Berührungslose Abstands- und Winkelmessung:

5.1.2.1 Optische Systeme (2)

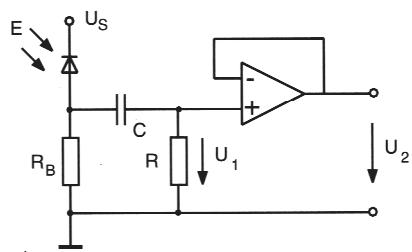


Kennlinienfeld der Si-Photodiode BPW20
(E. Schrüfer: Elektrische Messtechnik)



**Anpassungsschaltungen
für Photodioden**

(J. Niebuhr, G. Lindner: Physikalische Messtechnik mit Sensoren)



Fakultät Elektrotechnik, Medientechnik und Informatik- Vorlesung - Prof. Dr. László Juhász

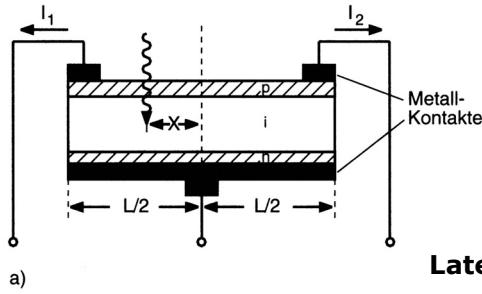
250

5. Messung nicht-elektrischer Größen

5. 1 Messung geometrischer Größen:

5.1.2 Berührungslose Abstands- und Winkelmessung:

5.1.2.1 Optische Systeme (3)

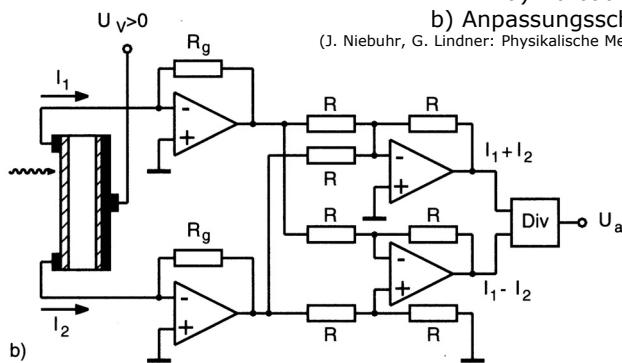


Lateraleffektdiode

a) Aufbau

b) Anpassungsschaltung

(J. Niebuhr, G. Lindner: Physikalische Messtechnik mit Sensoren)

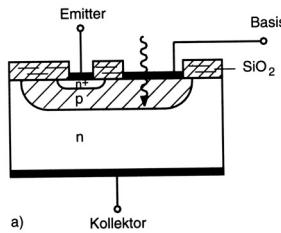


5. Messung nicht-elektrischer Größen

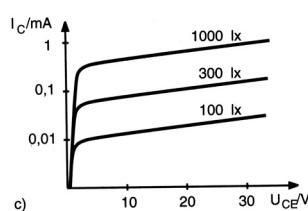
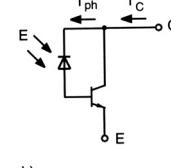
5. 1 Messung geometrischer Größen:

5.1.2 Berührungslose Abstands- und Winkelmessung:

5.1.2.1 Optische Systeme (4)



a) Kollektor



Phototransistor

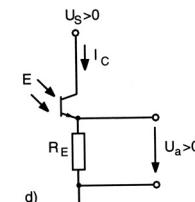
a) Aufbau

b) Ersatzschaltbild

c) Ausgangskennlinie

d) Anpassungsschaltung

(J. Niebuhr, G. Lindner: Physikalische Messtechnik mit Sensoren)

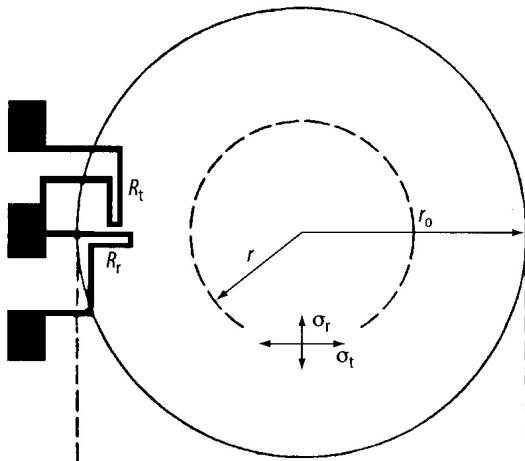


5. Messung nicht-elektrischer Größen

5.2 Messung von Drücken, Kräften, Drehmomenten:

5.2.1 Berührende Druck-, Kraft-, Drehmomentenmessung:

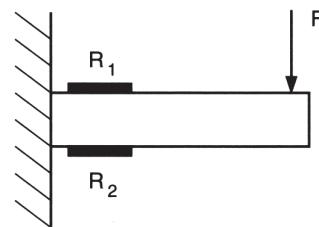
5.2.1.1 Resistive Systeme (1)



DMS-Applikation Druckmessung

(J. Niebuhr, G. Lindner: Physikalische Messtechnik mit Sensoren)

$$\varepsilon = \frac{1}{k} \cdot \frac{\Delta R}{R}$$



DMS-Applikation Wägung

(J. Niebuhr, G. Lindner: Physikalische Messtechnik mit Sensoren)

Auswerteschaltungen (Beispiele) :

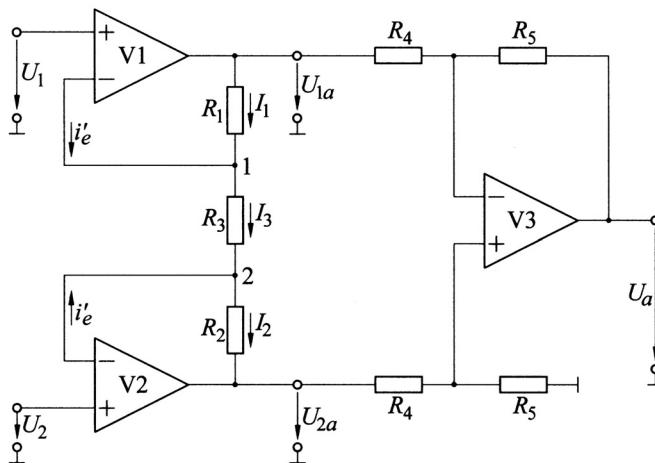
- Stromgespeiste Ausschlag-Widerstandsmessbrücke / Halbbrücke (3.2.5) bzw. Vollbrücke

5. Messung nicht-elektrischer Größen

5.2 Messung von Drücken, Kräften, Drehmomenten:

5.2.1 Berührende Druck-, Kraft-, Drehmomentenmessung:

5.2.1.1 Resistive Systeme (2)



Subtrahierer mit Elektrometerverstärker

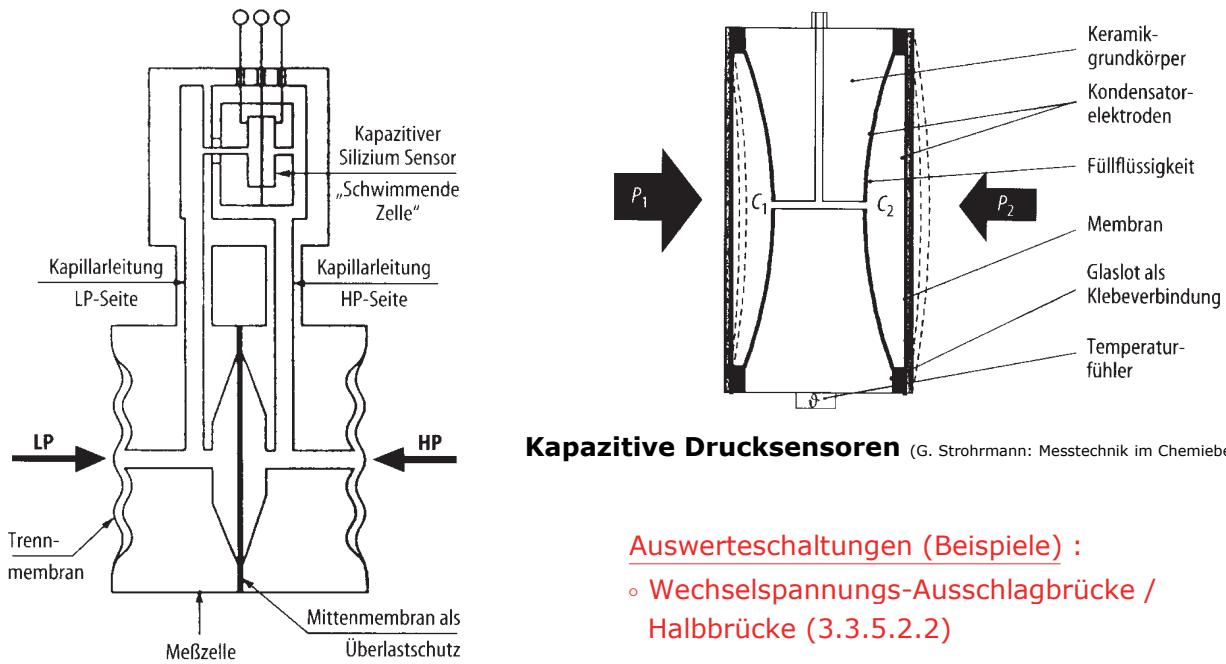
(E. Schrüfer: Elektrische Messtechnik)

5. Messung nicht-elektrischer Größen

5.2 Messung von Drücken, Kräften, Drehmomenten:

5.2.1 Berührende Druck-, Kraft-, Drehmomentenmessung:

5.2.1.2 Kapazitive Systeme



Auswerteschaltungen (Beispiele) :

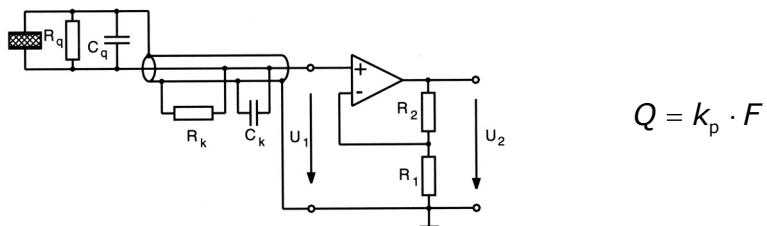
- Wechselspannungs-Ausschlagbrücke / Halbbrücke (3.3.5.2.2)

5. Messung nicht-elektrischer Größen

5.2 Messung von Drücken, Kräften, Drehmomenten:

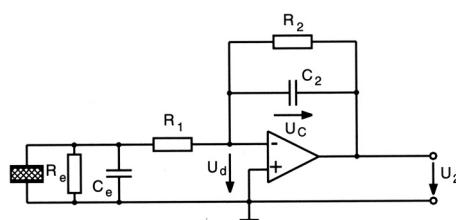
5.2.1 Berührende Druck-, Kraft-, Drehmomentenmessung:

5.2.1.3 Piezoelektrische Systeme (1)



Elektrometerschaltung an piezoelektrischen Sensoren

(J. Niebuhr, G. Lindner: Physikalische Messtechnik mit Sensoren)



Ladungsverstärkerschaltung an piezoelektrischen Sensoren

(J. Niebuhr, G. Lindner: Physikalische Messtechnik mit Sensoren)

5. Messung nicht-elektrischer Größen

5. 3 Messung von Temperaturen:

5.3.1 Berührende Temperaturmessung:

5.3.1.1 Resistive Systeme

Widerstandsthermometer (RTD):

Bsp.

$$\text{Pt 100 } (-200 \text{ }^{\circ}\text{C} \dots 0 \text{ }^{\circ}\text{C}): \quad R(\vartheta) = R_0 \cdot (1 + A \cdot \vartheta + B \cdot \vartheta^2 + C \cdot (\vartheta - 100 \text{ }^{\circ}\text{C}) \cdot \vartheta^3)$$

$$\text{Pt 100 } (0 \dots 850 \text{ }^{\circ}\text{C}): \quad R(\vartheta) = R_0 \cdot (1 + A \cdot \vartheta + B \cdot \vartheta^2)$$

$$\text{Ni 100 } (-60 \text{ }^{\circ}\text{C} \dots 250 \text{ }^{\circ}\text{C}): \quad R(\vartheta) = R_0 \cdot (1 + A \cdot \vartheta + B \cdot \vartheta^2 + C \cdot \vartheta^4 + D \cdot \vartheta^6)$$

Heißleiter (NTC-Widerstand):

$$R_T = R_N \cdot e^{B \cdot \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_N} \right)}$$

Halbleiter-Widerstandsthermometer

z.B: Si (-30 $^{\circ}$ C ... 130 $^{\circ}$ C):

$$R(\Delta\vartheta) = R_0 \cdot (1 + A \cdot \Delta\vartheta + B \cdot (\Delta\vartheta)^2 + C \cdot (\Delta\vartheta)^3)$$

$$A = 7,93 \cdot 10^{-3} / \text{ }^{\circ}\text{C}; \quad B = 1,93 \cdot 10^{-5} / (\text{ }^{\circ}\text{C})^2;$$

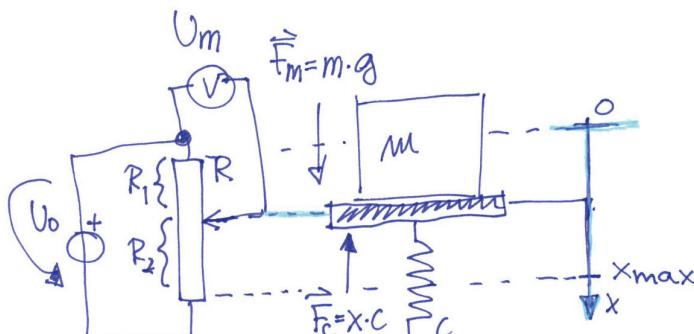
$$C = -4,82 \cdot 10^{-8} / (\text{ }^{\circ}\text{C})^3$$

$$R_0 = 2 \text{ k}\Omega; \quad \vartheta_0 = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

5. Messung nicht-elektrischer Größen

5. 5 Messung von Massen:

5.5.1 Ausschlagmessung



Häufig mechanisch
komplexer, in elektrischen
Brückenschaltungen
und/oder mit OPs.

$$U_m = \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{x}{x_{\max}}$$

$$x = m \cdot \frac{g}{c}$$

$$U_m = m \cdot \frac{g}{c \cdot x_{\max}}$$

$$\text{Gleichgewicht: } F_m = F_c$$

$$m \cdot g = c \cdot x$$

$$x = \frac{m \cdot g}{c}$$

$$U_m = k_{AM} \cdot m$$

Prinzip der Messung von Massen mittels mechanischer Ausschlag-Methode

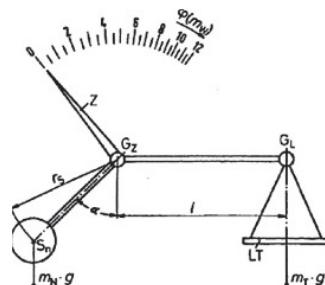
5. Messung nicht-elektrischer Größen

5. 5 Messung von Massen: 5.5.2 Elektronische Kompensationswaage

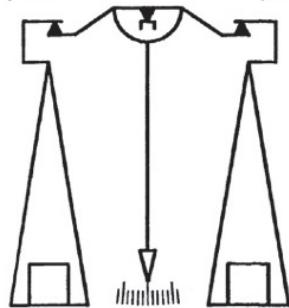
Mechanisches System Waage:

Klassische Präzisions-Feinwerktechnik

Neigungswaage:
mechanischer
Krafaufnehmer
 $\sum M = 0$



Balkenwaage:
Kraft-
kompensations-
prinzip



Gleicharmige Balkenwaage:

Historischer Massekomparator der
PTB, Laserinterferometer als
Positionsdetektor, $\Delta m = 8 \mu\text{g}$



Quelle: Czichos,
Mechatronik,
Vieweg Verlag,
2006

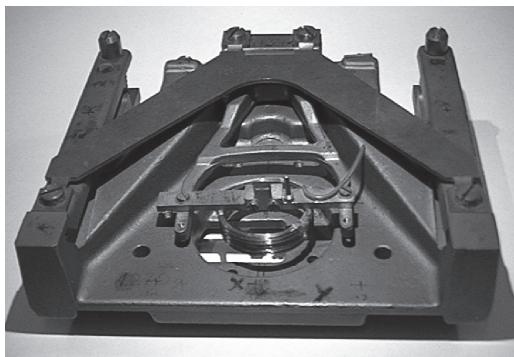
Mechanischer Neigungswaage und Balkenwaage.

Fakultät Elektrotechnik, Medientechnik und Informatik- Vorlesung - Prof. Dr. László Juhász

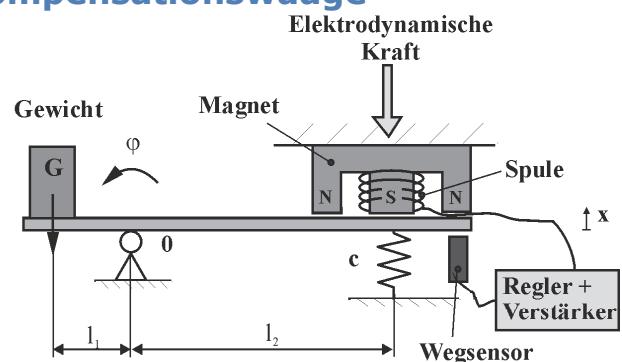
259

5. Messung nicht-elektrischer Größen

5. 5 Messung von Massen: 5.5.2 Elektronische Kompensationswaage



Modell-
bildung



Realsystem: Kompensationswaage

Modell der Waage

- Kraftkompensation durch elektrodynamischer Aktuator (wie z.B. im Lautsprechern).
- Optischer Wegsensor und Positionsregler, Sollwert ist konstant $\varphi^* = 0$.
- In der ausbalancierter stationäre Lage gilt:

$$\varphi = 0, \dot{\varphi} = 0, \ddot{\varphi} = 0 \Rightarrow \sum M = M_m + M_{ed} + M_c = 0$$

5. Messung nicht-elektrischer Größen

5. 5 Messung von Massen: 5.5.2 Elektronische Kompensationswaage

