

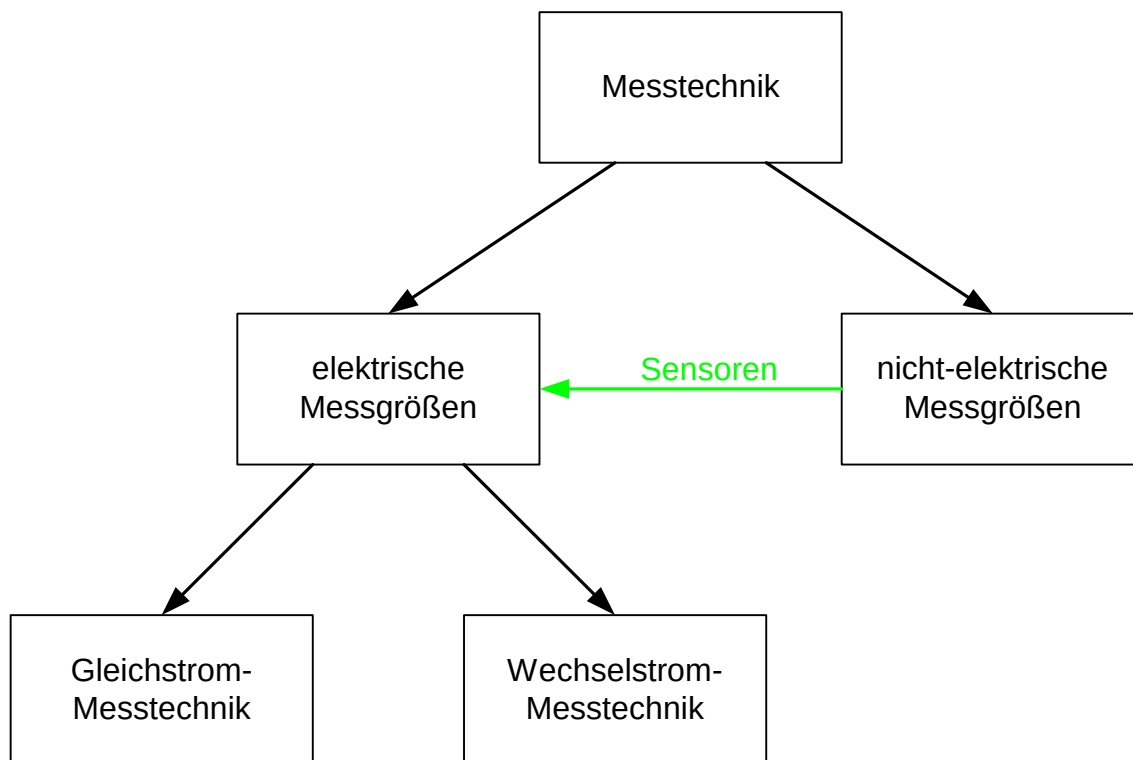
Inhalt

Inhalt.....	1
Messung nicht elektrischer Messgrößen	2
1.1. Allgemeines.....	2
1.2. Messkette	2
1.3. Sensoren.....	4
1.3.1 Überblick	4
1.3.2 Thermoelement (aktiver Sensor).....	6
1.3.3 Piezoelektrische Sensoren (aktiver Sensor).....	7
1.3.4 Schleifdrahtgeber (passiver Sensor)	9
1.3.5 Widerstands-Drucksensoren, Widerstands-Dehnungssensoren (passive Sensoren).....	10
1.3.6 Metallwiderstands-Temperaturfühler (passiver Sensor)	15
1.3.7 PTC/NTC- Temperaturfühler (passiver Sensor)	17
1.3.8 Tauchanker-Sensor (passiver Sensor).....	18
1.3.9 kapazitive Sensoren (passiver Sensor).....	20

Hinweis: Tietze Schenk, Kapitel 21, Übersicht über Sensoren

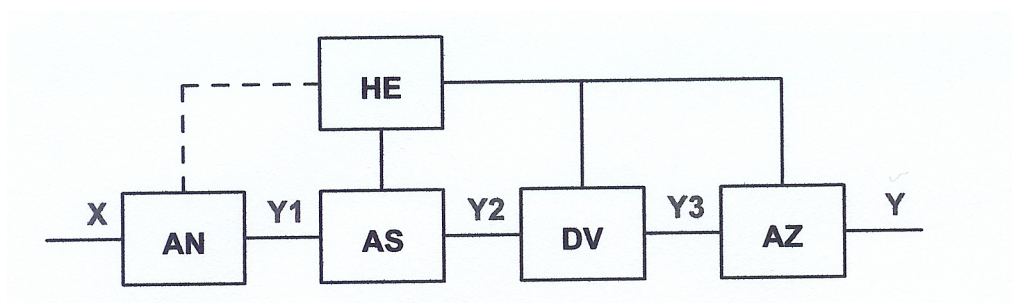
Messung nicht elektrischer Messgrößen

1.1. Allgemeines



1.2. Messkette

Nichtelektrische Größen werden mittels einer Messkette erfasst:



X: nichtelektrische Messgröße

Y: Ausgangssignal und Messsignal Y1, Y2, Y3

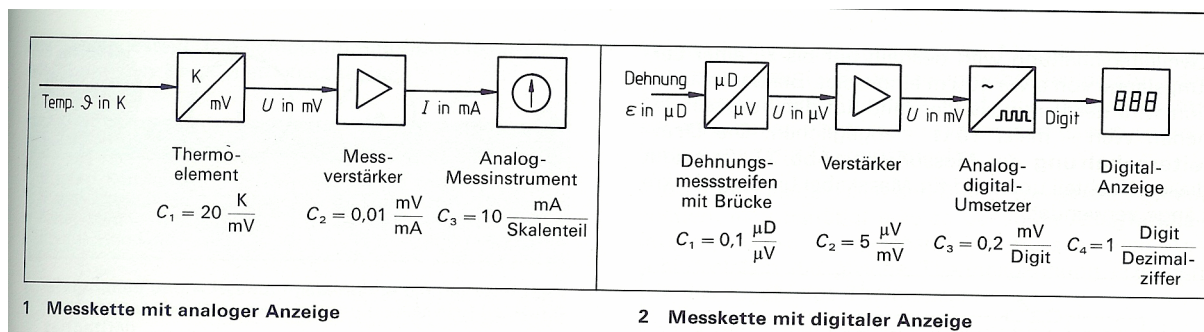
AN : Im Aufnehmer (Messaufnehmer, Transducer) sind alle Bauglieder einschließlich Messfühler zur Umformung der physikalischen Größen in eine elektrische Größe.

- AS: In der Anpassschaltung (Signalumformer) wird das analoge Eingangssignal entsprechend der geforderten Kennlinie in das Ausgangssignal umgeformt.
- DV: In der Datenverarbeitung/-erfassung werden die Messdaten digitalisiert und zwischengespeichert. Durch einen Rechner können Korrekturen des Messwertes bzw. der Verknüpfung mehrerer Messwerte durchgeführt werden
- AZ: In dieser Baugruppe erfolgt die Umwandlung der elektrischen Größe in eine für den Menschen verständliche Anzeige: (z.B. Lampe, Zeiger, digitale Anzeige, Bildschirm, Drucker)
- HE: Hilfsenergie (Stromversorgung) wird für alle Glieder der Messkette benötigt mit Ausnahme der aktiven Aufnehmer (z.B. Thermoelemente)

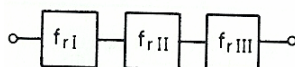
Jedem Glied der Messkette wird ein Messkettenkoeffizient c_1, c_2, c_3 zugeordnet.

$$C = \text{Eingangsgröße} / \text{Ausgangsgröße}$$

Der gesamte Messkettenkoeffizient ergibt sich durch Multiplikation aller Messkettenkoeffizienten und gibt daher den Zusammenhang zwischen Bereich der Eingangsgröße dem Anzeigebereich an.



Fehlerfortpflanzung in einer Messkette



$$f_{rg} = \pm \sqrt{f_{rI}^2 + f_{rII}^2 + \dots}$$

f_{rg} prozentualer Gesamtfehler
 f_{rI}, f_{rII} prozentuale Einzelfehler

1.3. Sensoren

1.3.1 Überblick

Sensoren wandeln nichtelektrische in elektrische Größen um. Man unterscheidet aktive und passive Sensoren.

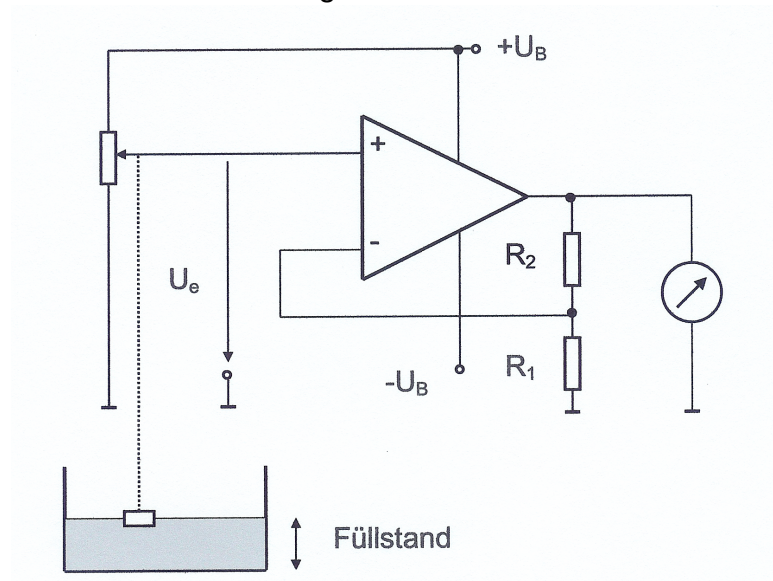
Aktive Sensoren sind solche, die bei Einwirkung einer nichtelektrischen Größe eine Spannung abgeben:

- Tachogenerator (Drehzahlerfassung)
- Fotoelement (Lichtstärke)
- Thermoelement (Temperatur)
- Quarzkristalle (Druck, Kraft)
- Hallgenerator (Magnetfelder)

Passive Sensoren sind solche, die bei Einwirken einer nichtelektrischen Größe ihre elektrischen Eigenschaften ändern (z.B.: ohmschen Widerstand, Kapazität, Induktivität, ..)

- Metallwiderstand (Temperatur)
- Heißleiter/Kaltleiter (Temperatur)
- Drehpotentiometer (Position)
- Fotodioden (Lichtstärke)
- Dehnungsmessstreifen (Zug, Druck, Spannung)
- Feldplatte (Magnetfeld)

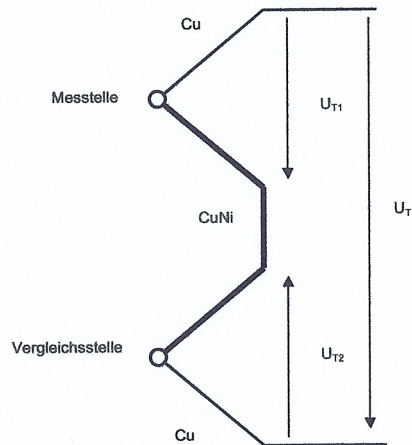
Beispiel: Messung des Füllstandes eines Flüssigkeitsbehälters:



Ein Potentiometerschleifer ist mechanisch mit einem Schwimmer gekoppelt. Potentiometer und Schwimmer bilden den Sensor, der eine dem Füllstand proportionale Spannung liefert. Der invertierende Verstärker ist der Messumformer und passt die Sensorspannung an das Anzeigeinstrument an. Das Anzeigeinstrument wandelt die Spannung in einen Zeigerausschlag um, der dem Füllstand proportional ist.

1.3.2 Thermoelement (aktiver Sensor)

Thermoelemente dienen der Temperaturmessung. Sie beruhen auf dem thermoelektrischen Effekt. Zwei Metalle oder Legierungen (ein Thermopaar) werden an einem Punkt verschweißt oder verlötet. Über den Kontakt eine entsteht eine temperaturabhängige Spannung, die Thermospannung.



$$U_T = U_{T1} - U_{T2}$$

Die Messstelle wird auf die Temperatur T₁ erhitzt, die Temperatur der Vergleichsstelle wird konstant auf T₂ gehalten. Ein analoges Anzeigeelement zeigt die Thermospannung U_T an.

$$U_T = U_{T1} - U_{T2}$$

$$U_{T1} = k \cdot T_1$$

$$U_{T2} = k \cdot T_2$$

$$U_T = k \cdot (T_1 - T_2) \quad k: \text{Thermoempfindlichkeit}$$

Die gemessene Spannung hängt von der Temperaturdifferenz ab. Die Empfindlichkeiten werden auf Platin bezogen angegeben.

Beispiel: Nickel-Chrom/Nickel $k_{\text{NiCrNi}} = k_{\text{NiPt}} - k_{\text{CrPt}}$

$$k_{\text{NiCrNi}} = 0,04 \text{ mV / K}$$

Anwendungsbereich: -200 bis 1300 Grad

Der Einsatzbereich von Thermoelementen liegt zwischen -200 Grad und 2500 Grad.

1.3.3 Piezoelektrische Sensoren (aktiver Sensor)

Der Piezoeffekt beruht auf der Eigenschaft einiger kristalliner Stoffe, auf der Oberfläche elektrische Ladungen zu bilden, wenn man sie elastischen Spannungen aussetzt. Dieser Effekt tritt z.B. bei Quarz, Turmalin, Bariumtitanat auf. Der Piezoeffekt ist auch umkehrbar (Anlegen einer Spannung bringt mechanische Verformung).

Piezoelektrische Aufnehmer sind besonders für schnelle Vorgänge geeignet, da die Ladungsbildung praktisch verzögerungsfrei erfolgt. Für Messzwecke wird fast ausschließlich Quarz verwendet, da dieser eine geringe Temperaturabhängigkeit aufweist und durch sein hohes E-Modul von ca. $8 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$ praktisch eine weglose Messung erlaubt.

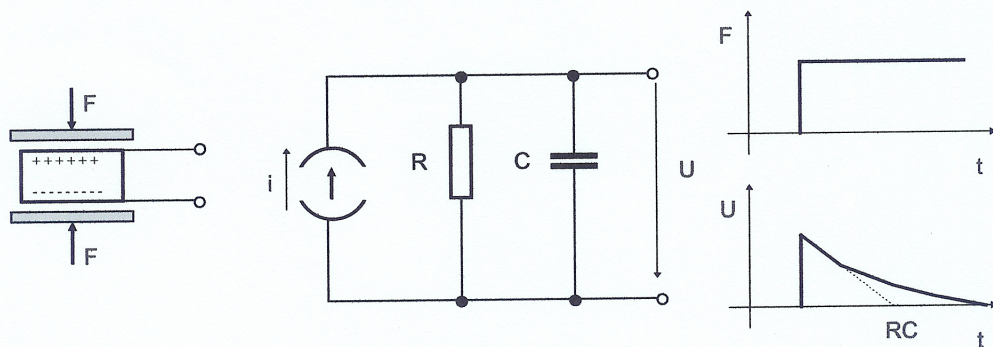
Eine Zug- oder Druckkraft in Richtung der elektrischen Achse erzeugt Ladungen an der senkrecht zu dieser Achse stehenden Flächen.

$$Q = k_p \cdot F$$

Zur Messung der Ladung wird die Quarzoberfläche metallisiert, sodass ein Kondensator entsteht.

$$U = Q/C$$

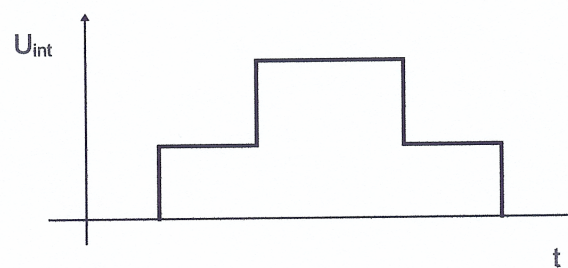
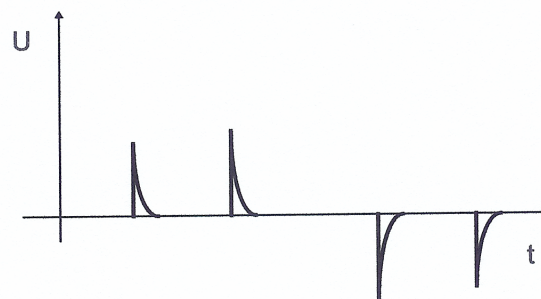
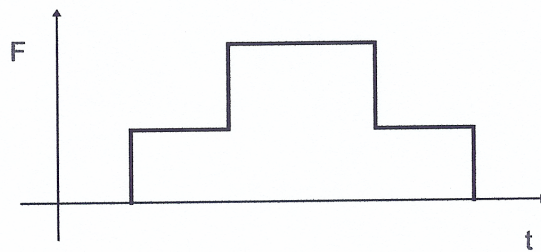
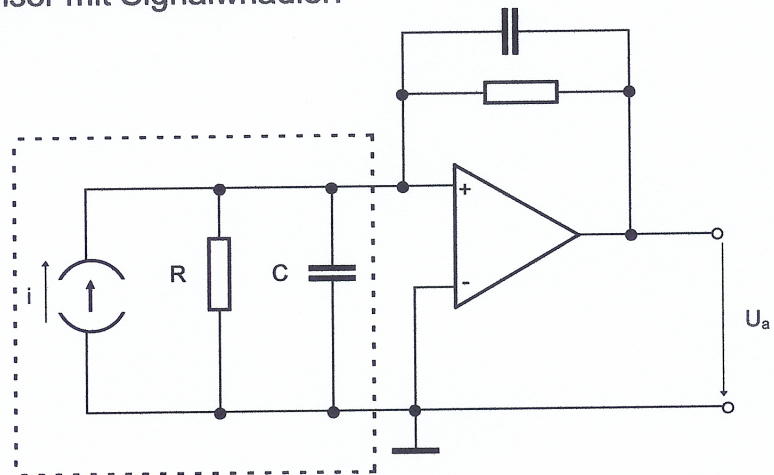
Kraftaufnehmer und elektr. Ersatzschaltbild:



$$i = dQ/dt = k \cdot dF/dt; \quad dQ/dt - U/R - C \cdot dU/dt = 0$$

$$U(t) = Q_0/C \cdot e^{-(t/RC)}$$

Piezosensor mit Signalwandler:



1.3.4 Schleifdrahtgeber (passiver Sensor)

Leiterwiderstand R :

$$R = \frac{\varrho \cdot l}{A}$$

R ... Leiterwiderstand in Ω

ϱ ... spezifischer Widerstand in $\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$

l ... Leiterlänge in m

A ... Leiterquerschnitt in mm^2

Die einfachste Art die Länge des Widerstandes zu ändern, besteht darin einen Abgriff am Widerstand zu verschieben. (Änderung von l ergibt Änderung von R).

Diese Schleifdrahtgeber können als Längs- oder Drehwiderstände ausgebildet sein (Schiebewiderstand, Potentiometer). Mit Hilfe einer Kraft oder eines Drehmomentes kann eine Längs- oder Drehbewegung in eine Widerstandsänderung und damit in eine Spannungsteilung bzw. Stromänderung umgewandelt werden. Bei entsprechend hochohmigen Spannungsabgriff ergibt sich ein linearer Zusammenhang zwischen dem Weg des Schleifers und der abgegriffenen Spannung (belasteter / unbelasteter Spannungsteiler).

Spezielle Schleifdrahtgeber werden als Messpotentiometer mit nichtlinearem Zusammenhang gebaut. Diese sog. Funktionspotentiometer können quadratische, sinusförmige oder andere den speziellen Erfordernissen angepasste Kennlinien aufweisen.

Anwendung:

- Wegmessung bis etwa 60mm
- Winkelmessung bis ca. 355°
- Linearitätsfehler 0,1 bis 0,3%

Nachteile:

- Verschleißteile
- Kontaktprobleme

1.3.5 Widerstands-Drucksensoren, Widerstands-Dehnungssensoren (passive Sensoren)

Leiterwiderstand R :

$$R = \frac{\varrho \cdot l}{A}$$

R ... Leiterwiderstand in Ω

ϱ ... spezifischer Widerstand in $\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$

l ... Leiterlänge in m

A ... Leiterquerschnitt in mm^2

Durch Strecken oder Stauchen eines Drahtes ändern sich seine Länge, seine Querschnittsfläche und sein spez. Widerstand. Alle drei widerstandsbestimmenden Größen eines Drahtleiters bleiben also nicht konstant. Die Änderungen sind richtungsabhängig und im elastischen Bereich proportional der wirksamen Beanspruchung.

R ... Widerstand des mechan. unbelasteten Drahtes

R' ... Widerstand des gedehnten Drahtes

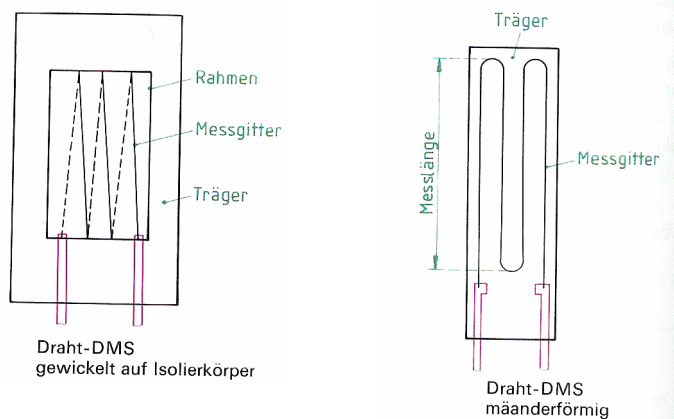
$$R' = (\rho + \Delta\rho) \cdot \frac{l + \Delta l}{A - \Delta A}$$

$$k = \frac{(R' - R)}{R} \cdot \frac{l}{\Delta l} \quad \text{Steilheit des Aufnehmers}$$

Bei Konstantan als Drahtmaterial heben sich die Auswirkungen von Volumen- und Leitfähigkeitsänderung auf. Die Steilheit dieses Sensors ist daher 2. Die Widerstandsänderung über die Temperatur ist vernachlässigbar und damit ist diese Legierung besonders für Dehnungsmessungen geeignet.

Um eine messbare Widerstandsänderung zu erreichen, sind große Längen erforderlich. Man unterscheidet Drahtdehnungsmessstreifen und Folienmessstreifen.

1.3.5.1 Drahtdehnungsmessstreifen (Draht-DMS)

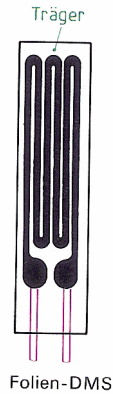


Auf einem Träger aus getränktem Papier oder Kunstharz wird der Widerstandsdraht (z.B. Konstantan, Durchmesser 25µm) mäanderförmig aufgeklebt oder dreieckförmig auf einem dünnen Isolierkörper gewickelt, das sog. Messgitter. Dieser Draht-DMS wird dann mit einem Spezialkleber schlupffrei auf das zu untersuchende Bauteil geklebt.

Anwendung:

- aktive Messlänge zwischen 2 bis 25mm
- Nennwiderstand 120 Ohm, 600 Ohm; Toleranz $\pm 0,25\%$
- K-Faktor: Konstantan $k = 2,1$; NiCr: $k = 2,2$
- Maximale Dehnung: 5000 bis 50000 µm/m

1.3.5.2 Foliendehnungsmessstreifen (Folien- DMS)



Für größere Dehnungen verwendet man Folien- DMS. Auf einen Kunstharzträger wird eine dünne (2 bis 10µm dicke) Metallschicht aufgebracht, aus der mit einem photochemischen Ätzverfahren der „Draht“ des Messgitters herausgeätzt wird. Diese Folien- DMS wird dann mit einem Spezialkleber schlupffrei auf das zu untersuchende Bauteil geklebt.

Anwendung:

- aktive Messlänge zwischen 0,75 bis 23mm
- Nennwiderstand 120 Ohm, 300 Ohm, 350 Ohm, 600 Ohm; Toleranz $\pm 0,5\%$
- K-Faktor: $k = 2,0$
- Maximale Dehnung: 50000 bis 80000 $\mu\text{m}/\text{m}$

1.3.5.3 Messschaltungen mit DMS

Bei dem maximalen Widerstand von 600 Ohm ist bei den üblichen Dehnungen mit einer Widerstandsänderung von 10mOhm bis etwa 5 Ohm zu rechnen. Um so geringe Widerstandsänderungen zu messen, wird zweckmäßigerweise eine Widerstandsbrücke mit vier gleichen Widerständen aufgebaut. Im mechanisch unbelasteten Zustand ist die Messbrücke abgeglichen und daher die Brückenspannung $U_B = 0V$.

Bei einer „Viertelbrücke“ (ein Widerstand ist ein DMS) ergibt sich bei auftretenden Dehnungen eine Brückenspannung von

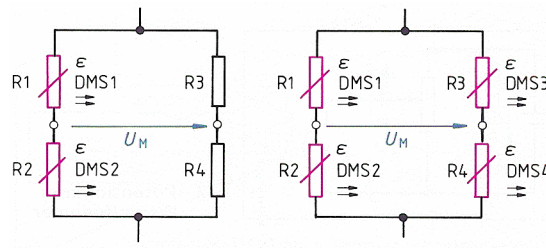
$$U_B = \frac{U}{4} \cdot \frac{\Delta R}{R} = \frac{U}{4} \cdot k \cdot \frac{\Delta l}{l}$$

Bei einer „Halbbrücke“ (zwei Widerstände sind DMS) ergibt sich bei auftretenden Dehnungen eine Brückenspannung von

$$U_B = \frac{U}{2} \cdot \frac{\Delta R}{R} = \frac{U}{2} \cdot k \cdot \frac{\Delta l}{l}$$

Bei einer „Vollbrücke“ (alle Widerstände sind DMS) ergibt sich bei auftretenden Dehnungen eine Brückenspannung von

$$U_B = U \cdot \frac{\Delta R}{R} = U \cdot k \cdot \frac{\Delta l}{l}$$



1.3.5.4 Messung von Kraft, Druck, Biegespannung und Drehmoment mit DMS

$$\text{Kraft } F = E \cdot A \cdot \frac{\Delta l}{l}$$

E.....Elastizitätsmodul (z.B.: Stahl $E_{\text{st}} = 21 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$)

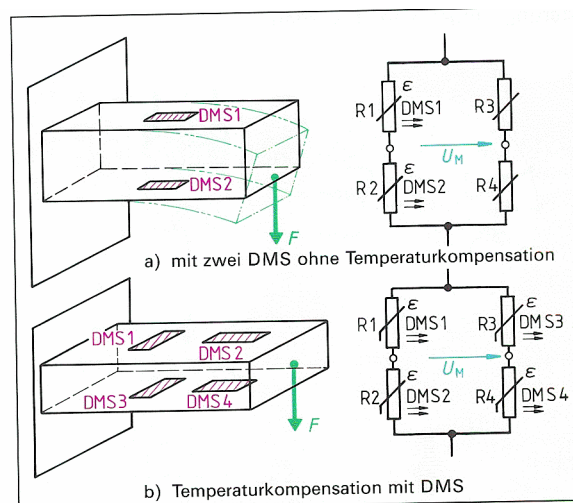
A.....Querschnittsfläche in mm^2

l.....ungedehnte Länge

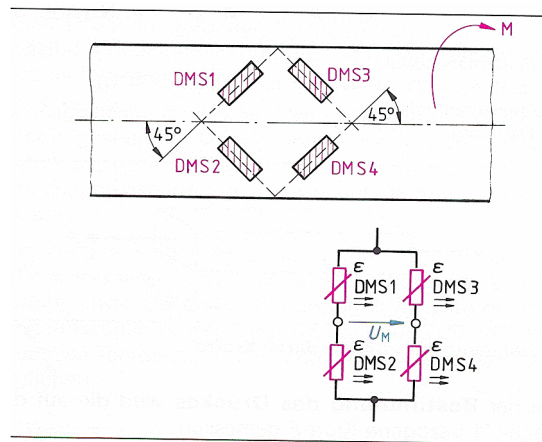
$$\text{Druck } p = \frac{F}{A} \text{ N/mm}^2 = \text{Pa}$$

Die Dehnung $\frac{\Delta l}{l}$ zur Bestimmung der Kraft bzw. des Druckes kann mit DMS gemessen werden.

Mittel geeigneter Anordnung der DMS lässt sich auch die Biegespannung eines Körpers messen. Bei einem auf Biegung beanspruchten Messobjekt treten in den äußeren Fasern Dehnungen und in den inneren Fasern Stauchungen auf, die mit zwei bzw. vier DMS gemessen werden können.



Wird ein Stab durch ein Drehmoment beansprucht, so erfolgt eine schraubenförmige Verformung. Ordnet man vier DMS unter 45° zur Stabachse an so erfahren die DMS1 und DMS4 eine Dehnung und die DMS2 und DMS3 eine Stauchung.



Neben den bisher vorgestellten DMS mit einem Messgitter existieren DMS mit mehreren teilweise sehr komplexen Messgittern für Spezialanwendungen, z.B. Messgitter, die in bestimmten Winkel zueinander auf einem Träger aufgebracht sind, oder wie bei Drucksensoren, wo die Durchbiegung einer Membran in eine Widerstandsänderung umgewandelt wird.

1.3.6 Metallwiderstands-Temperaturfühler (passiver Sensor)

Der Widerstand reiner Metalle nimmt über einen großen Temperaturbereich nahezu linear mit der Temperatur zu. Dieser Effekt wird für passive Sensoren ausgenutzt, indem man dünne Drähte aus Platin oder Nickel auf Glas oder Keramikkörper wickelt. Durch die lineare Änderung vereinfacht sich die o. a. Gleichung auf :

$$\Delta R = R_0 \cdot \alpha \cdot \Delta \delta$$

ΔRWiderstandsänderung [Ω]

R_0 Nennwiderstand bei 0 °C [Ω]

αlinearer Temperaturkoeffizient [K^{-1}]

$\Delta \delta$Temperaturdifferenz zu 0 °C [K]

Der Nennwiderstand ist genormt und beträgt sowohl für Nickel als auch für Platin 100 Ohm für 0 °C, daraus folgt auch die Bezeichnung Ni100 bzw. Pt100.

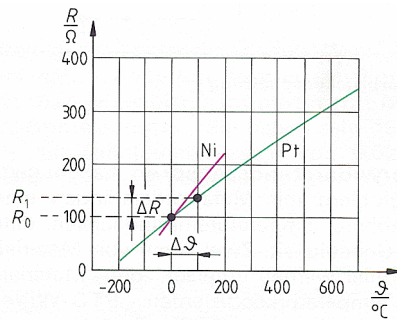
Bauformen: Drahtgewickelter Widerstandssensor über Keramik oder Glas
Dünnschicht- Widerstandssensor,

Einsatzgebiet:

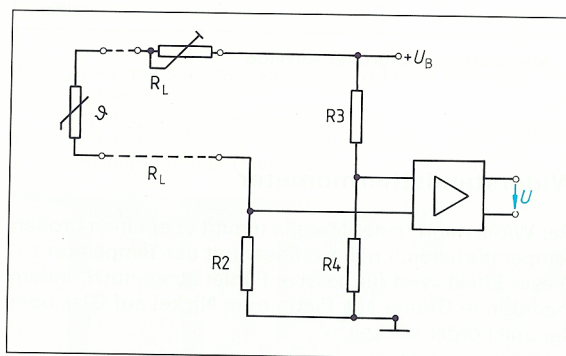
Temperaturmessung mit geringer Temperaturempfindlichkeit (langsame Änderung), relativ genau

Anwendbarer Messbereich Platin -200 bis 800 °C

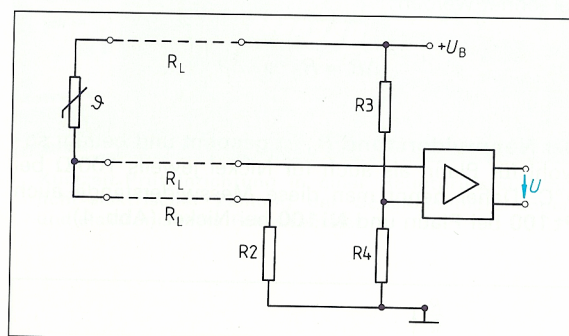
Anwendbarer Messbereich Nickel -60 bis 200 °C



Zur Messung der Temperatur wird die Widerstandsänderung in einer Brückenschaltung bestimmt. Da die Temperaturfühler meist von der Brückenschaltung abgesetzt sind (Außentemperatur, Fahrbahntemperatur,...) , wirken sich Temperaturschwankungen der Zuleitungswiderstände R_L auf die Temperaturmessung als Messfehler aus. Je nach Entfernung des Temperaturfühlers von der Messbrücke verwendet man bis zu einer Zuleitungslänge von etwa 400m die Zweileiterschaltung die auf einen Zuleitungswiderstand von 10 Ohm abgeglichen wird. Für Zuleitungslängen bis etwa 10km wird die Dreileiterschaltung angewendet, wobei die Zuleitungswiderstände sich ohne zusätzlichen Abgleich kompensieren mit dem Nachteil des höheren Kabelaufwandes (drei statt zwei Anschlussleitungen).



1 Zweileiterbrückenschaltung

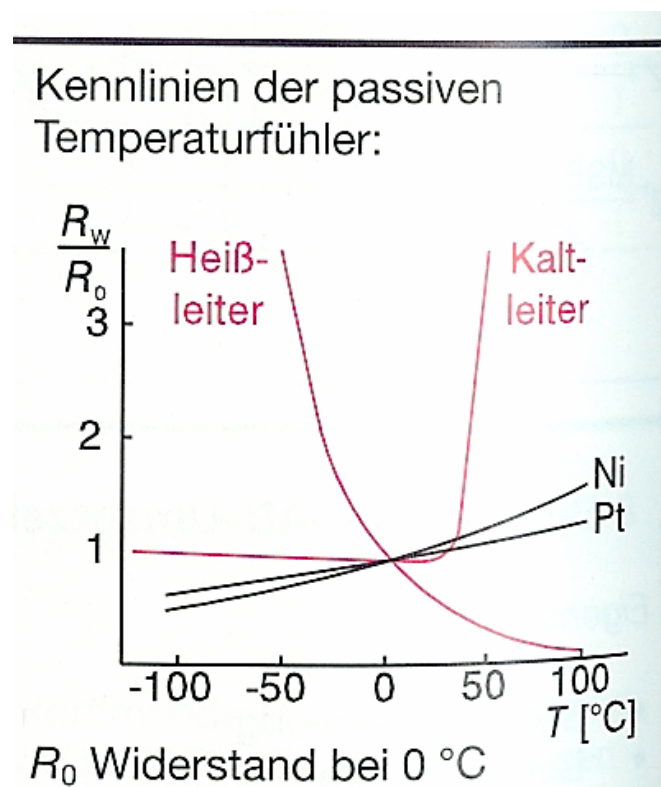


2 Dreileiterbrückenschaltung

1.3.7 PTC/NTC- Temperaturfühler (passiver Sensor)

Bei nichtlinearen Sensoren unterscheidet Materialien mit einem positiven Temperatur-Koeffizienten – PTC- Widerstände oder Kaltleiter - und Materialien mit einem negativen Temperatur-Koeffizienten – NTC- Widerstände oder Heißleiter. Mit beiden Materialien können schnell reagierende Temperaturfühler gebaut werden, die auf geringe Temperaturunterschiede reagieren (Oberflächentemp.- Messung). Die max. Messendtemperatur liegt bei einigen 100 Grad Celsius.

Heißleiter (NTC) gesinterte Metalloxide und oxidische Mischkristalle	– 40 °C bis 400 °C Genauigkeit: ca. 2% Ansprechzeit: 10 s bis 1 min
Kaltleiter (PTC) Bariumtitanat mit Zusätzen von Metalloxiden und -salzen	60 °C bis 200 °C Genauigkeit: ca. 5% Ansprechzeit: 10 s bis 1 min



Zur Messung der Temperatur wird die Widerstandsänderung ΔR in einer Brückenschaltung (Anpassschaltung) bestimmt. Zur Anwendung kommen wieder die Zweileiter- bzw. Dreileiterschaltung (siehe Metallwiderstands-Temperaturfühler).

1.3.8 Tauchanker-Sensor (passiver Sensor)

Die Induktivität einer schlanken Zylinder-Spule ergibt sich zu

$$L = \frac{N^2 \cdot \mu \cdot A}{l}$$

L.....Induktivität [H]

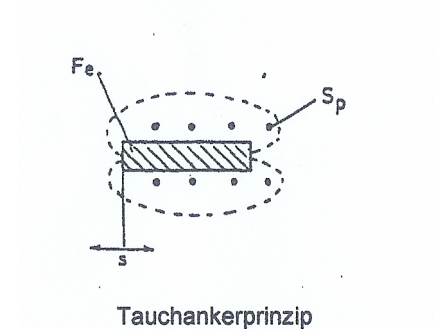
N.....Windungszahl []

μPermeabilität []

A....Spulenfläche [m²]

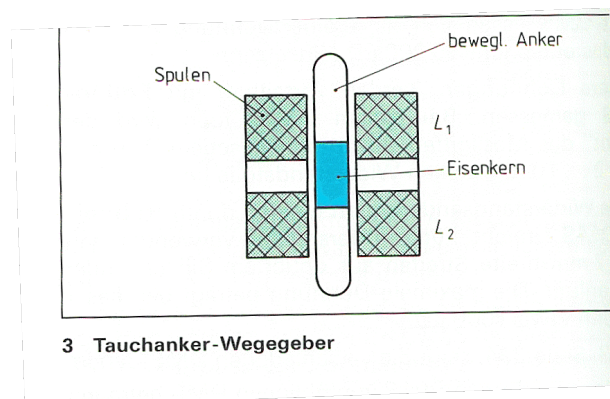
l.....Länge [m]

Tauchankerprinzip:

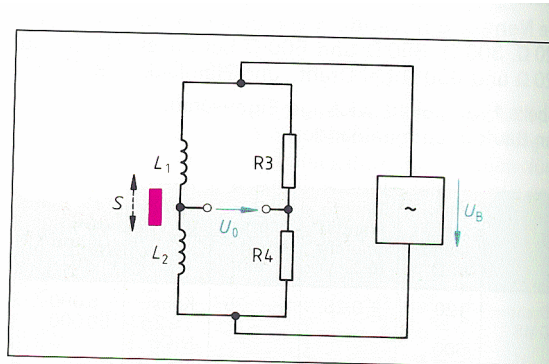


Verschiebt man den Kern aus ferromagnetischem Material (beweglicher Tauchanker) in der Spule Sp, so wird ein mehr oder minder großer Teil der Feldlinien im Eisen bzw. in der Luft verlaufen. Daher ändert sich die Induktivität und es entsteht eine Induktivitätsänderung ΔL in Abhängigkeit des Weges s des Eisenkerns.

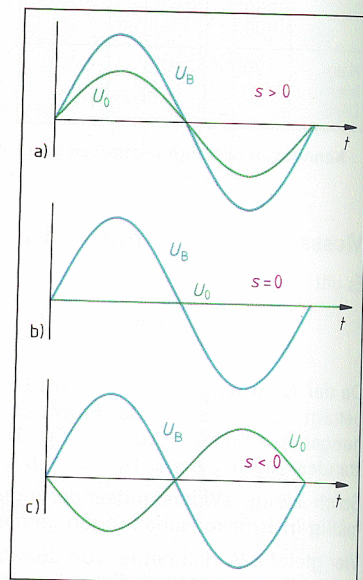
Meist verwendet man Anordnungen mit zwei Spulen. Verschiebt man den Tauchanker um den Weg s so erfolgt in der einen Spule eine Induktivitätserhöhung um ΔL und in der anderen eine Induktivitätserniedrigung um ΔL . Durch eine entsprechende Konstruktion kann eine weitgehend lineare Induktivitätsänderung in Abhängigkeit vom Weg erreicht werden.



Zur Bestimmung der Induktivitätsänderung verwendet man eine Wechselstrom-Messbrücke. In der Mittelstellung des Tauchankers ist die Brücke abgeglichen und die Spannung $U_0 = 0V$. Bewegt sich der Anker, so wird die Brücke verstimmt und es entsteht eine Brückenspannung, die sich je nach Bewegungsrichtung in Phase oder gegenphasig zur Brückenspannung U_B befindet.



4 Wechselstrombrücke mit Tauchanker



5 Amplitude und Phase der Tauchanker, Wechselstrombrücke für
a) $s > 0$
b) $s = 0$
c) $s < 0$

Anwendung: Wegmessung, Kraftmessung

Messbereich ca. 80% der Spulenlänge

Vorteile: robust, kein Verschleiß, auch für große Wege

Nachteile: ev. nichtlinear, Beeinflussung bei magnet. Störfelder

1.3.9 kapazitive Sensoren (passiver Sensor)

1.3.9.1 Allgemein

Die Kapazität eines Plattenkondensators ergibt sich zu

$$C = \epsilon_0 \times \epsilon_r \times \frac{A}{d}$$

$$\epsilon_0 = 8,8542 \cdot 10^{-12} \frac{As}{Vm}$$

ϵ_r ... relative Dielektrizitätskonstante

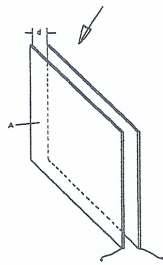
A...Fläche der Platten

D...Abstand der Platten

Die Ladung Q ergibt aus Spannung U mal Kapazität C ($Q=C \cdot U$)

Die Kapazität eines Plattenkondensators lässt sich also durch Änderung der sich gegenüberstehenden Flächen, durch Variation des Plattenabstandes und durch die relative Dielektrizitätskonstante beeinflussen.

1.3.9.2 Kapazitiver Sensor mit Abstandsänderung



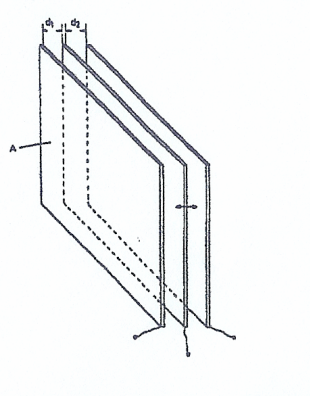
Ändert man bei einem Plattenkondensator den Abstand d auf $d+\Delta d$ ergibt sich

$$C = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot A}{d + \Delta d} \approx \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot A}{d} \cdot \left[1 - \frac{\Delta d}{d} + \left(\frac{\Delta d}{d} \right)^2 - \dots \right]$$

Für relativ kleine Abstandsänderungen $\frac{\Delta d}{d}$ ergibt sich praktisch ein linearer

Zusammenhang zwischen $\frac{\Delta C}{C}$ und $\frac{\Delta d}{d}$. Bei $\frac{\Delta d}{d} = 0,1$ beträgt die Abweichung der Linearität bereits 10%, bei $\frac{\Delta d}{d} = 0,01$ noch 1%.

Für größere Bereiche der linearen Kapazitätsänderung verwendet man einen s.g. Differenzkondensator.



Verstellt man die mittlere Platte um einen Weg Δd , so erhält man in einer geeigneten Brückenordnung (siehe voriges Kapitel: Tauchanker) für die Kapazitätsänderung

$$C = C_1 - C_2 \approx -\frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot A}{d} \cdot \left[2 \frac{\Delta d}{d} + 2 \left(\frac{\Delta d}{d} \right)^3 + \dots \right]$$

Wie beim induktiven Queranker mit Doppeldrossel ergibt auch hier das Differenzenprinzip neben einer Verdopplung der Empfindlichkeit eine Vergrößerung des linearen Bereiches. Bei $\frac{\Delta d}{d} = 0,1$ beträgt die Abweichung der Linearität nur mehr 1%.

Anwendung:

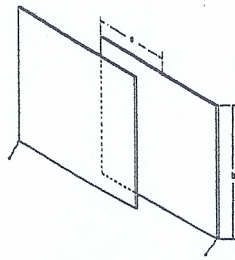
Wegänderung bis 1mm

Linearitätsfehler: 1% bis 3%

Vorteil: kleine Messkräfte

Nachteil: Empfindlichkeit nicht linear, sehr großer Innenwiderstand, kurze Zuleitungen erforderlich, anfällig auf elektr. Störfelder.

1.3.9.3 *Kapazitiver Sensor mit Flächenänderung*



Für die dargestellte Anordnung ist in die Kapazitätsgleichung die von beiden Platten gemeinsam überdeckte Fläche $A = b \cdot s$ einzusetzen. Verschiebt man die Platten gegeneinander um einen Weg Δs ändert sich die gemeinsam überdeckte Fläche und man erhält bei rechteckigen Flächen eine lineare Flächenänderung, die eine lineare Kapazitätsänderung ergibt. Durch entsprechende Formgebung der beiden Platten kann auch eine gewünschte andere Abhängigkeit (quadratisch, logarithmisch, ..) hergestellt werden. Verwendet man Platten die Kreis- bzw. Kreissegmentflächen darstellen und diese drehbar lagert erhält man den bekannten Drehkondensator, der zur Winkelmessung geeignet ist.

Anwendung:

Wegmessung, Winkelmessung

Messbereich: einige cm, bei Winkel bis 180°

Linearitätsfehler: sehr klein

Vorteil: Lineare Abhängigkeit, auch andere Funktionen herstellbar

Nachteil: exakter mechanischer Aufbau, sehr hochohmig

1.3.9.4 *Kapazitiver Sensor mit geändertem Dielektrikum*

Kapazitive Aufnehmer, die mit der Änderung von ϵ arbeiten, werden hauptsächlich zur Bestimmung des Stoffgehaltes bei vollständiger Füllung, zur Messung des Niveaustandes bei teilweiser Füllung oder zur Dickenmessung verwendet.

z.B.: wird ein Platten- oder Zylinderkondensator vollständig mit dem zu bestimmenden Material M gefüllt und die Kapazität gemessen ergibt sich gegenüber dem gleichen Kondensator mit Luftfüllung folgende Proportion:

$$\frac{C_M}{C_{Luft}} = \frac{\epsilon_M}{\epsilon_{Luft}}$$

Da Wasser eine gegenüber Luft wesentlich höhere Dielektrizitätskonstante besitzt, kann der Wassergehalt von nichtleitenden Materialien bestimmt werden (Bodenfeuchtigkeit). Ist eine Vergleichsmessung notwendig, sollen die zu prüfenden Stoffe in ihrer Dielektrizitätskonstante nicht sehr voneinander abweichen.

Durch den großen Unterschied in der Dielektrizitätskonstante zwischen Luft und vielen festen und flüssigen Stoffen, aber vor allem zwischen Luft und Wasser kann auch eine kapazitive Höhen- und Füllstandsmessung realisiert werden (Füllstand eines Behälters, Eisdicke).

Der gesamte Kondensator ist mit der Höhe h_2 z.B. mit Wasser ($\epsilon_r = 80$) gefüllt, der Rest mit Luft ($\epsilon_r = 1$). Das entspricht einer Parallelschaltung zweier Kapazitäten und ergibt

$$\frac{\Delta C}{C_{\text{Luft}}} = \frac{h_2}{h_{\text{max}}} \cdot (\epsilon_{r2} - 1)$$

Ermittelt man für unterschiedliche Füllhöhen die Kapazitätswerte, kann die Anzeige direkt in Füllstandswerten kalibriert werden. Von Vorteil ist dass das System trägheitslos arbeitet.

Berührungslose Messung von Schichtdicken nichtleitender Materialien (Kunststoffbahnen, Gewebepapieren, Lackschichten, Garne, Folien) wird das Material zwischen den Platten eines Kondensators durchgeführt. Bei Schaumstoffen kann bei bekannten Abmessungen und bekannter Dielektrizitätskonstante des homogenen Materials den Luftanteil ermitteln.

Anwendung:

Weg- und Dickenmessung

Vorteil: berührungslos

Nachteil: Nichtlinear, sehr hochohmig