3.4 Brücke mit Dehnungsmessstreifen (DMS)

Sachworte: Ausschlag-Widerstandsmessbrücke, Brückenspannung, widerstandsabhängige Sensoren, Dehnungsmessstreifen, Messung von Dehnungen

Eine Brückenschaltung wird von einer von einer Gleichspannungsquelle U_V (Bild 1) oder von einer Gleichstromquelle I_V (Bild 2) gespeist.

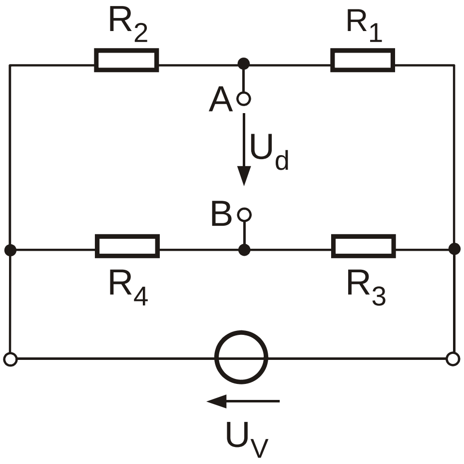


Bild 1

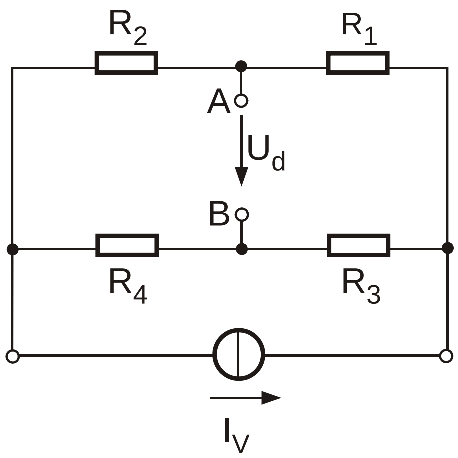


Bild 2

a) Berechnen Sie für die Brücke nach Bild 1 die Brückendiagonalspannung U_d im Leerlauf abhängig von R_1, R_2, R_3, R_4 und U_1.

Im Buch wurde in Kapitel 3.3.1 die allgemeine Formel (3.14) für eine Widerstandsbrücke im Leerlauf abgeleitet, wobei die rechte Masche 1 über R_1 und R_3 verwendet wurde.

$$U_d(I=0A)=U_V\,\frac{R_2R_3-R_1R_4}{(R_1+R_2)(R_3+R_4)} \qquad (1)$$

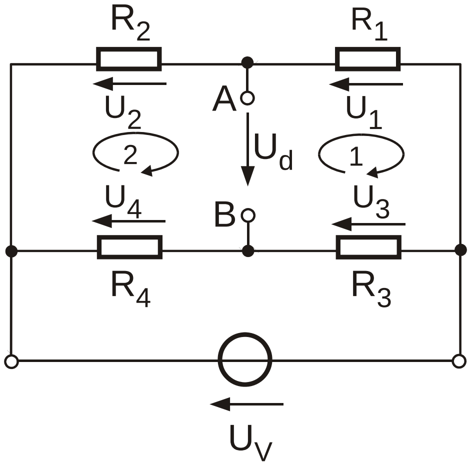


Bild 3

Zur Übung soll nun Gl. (1) unter Einbeziehung der linken Masche 2 nochmals hergeleitet werden.

Am Widerstand R_2 wird die Teilspannung U_2

$$U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_V \qquad (2)$$

und am Widerstand R_4 die Teilspannung U_4

$$U_4 = \frac{R_4}{R_3 + R_4} U_V \qquad (3)$$

abgegriffen. Aus der Maschengleichung

$$U_d + U_4 - U_2 = 0 \qquad (4)$$

berechnet sich die Diagonalspannung U_d im Leerlauf zu

$$U_d = U_2 - U_4$$

$$U_d = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_V - \frac{R_4}{R_3 + R_4} U_V$$

und auf einen gemeinsamen Nenner gebracht zu:

$$U_d = \frac{R_2\left(R_3 + R_4\right) - R_4\left(R_1 + R_2\right)}{\left(R_1 + R_2\right)\left(R_3 + R_4\right)} U_V$$

$$U_d = \frac{R_2 R_3 - R_1 R_4}{\left(R_1 + R_2\right)\left(R_3 + R_4\right)} U_V \qquad (5)$$

Offensichtlich sind die Ergebnisse von Gl. (1) und (5) identisch.

b) Berechnen Sie für die stromgespeiste Brücke (Bild 2) die Brückendiagonalspannung U_d im Leerlauf abhängig von R_1, R_2, R_3, R_4 und I_V.

Die Herleitung von U_d, die auch im Buch in Kapitel 3.32 Formel 3.22 zu finden ist, soll hier nochmals gezeigt werden.

Der Speisestrom I_V bewirkt an der Brücke eine Speisespannung U_v

$$U_v = \left(R_1 + R_2\right) \| \left(R_3 + R_4\right) \cdot I_V = \frac{\left(R_1 + R_2\right)\left(R_3 + R_4\right)}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} I_V \qquad (6)$$

Damit lässt sich Gl. (6) in die für eine spannungsgespeiste Brücke berechnete Formel (1) oder (5) einsetzen mit dem Ergebnis:

$$U_d = \frac{R_2 R_3 - R_1 R_4}{\left(R_1 + R_2\right)\left(R_3 + R_4\right)} U_V = \frac{R_2 R_3 - R_1 R_4}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} I_V \qquad (7)$$

c) Erklären Sie die Begriffe „Viertelbrücke“, Halbbrücke“ und „Vollbrücke“.

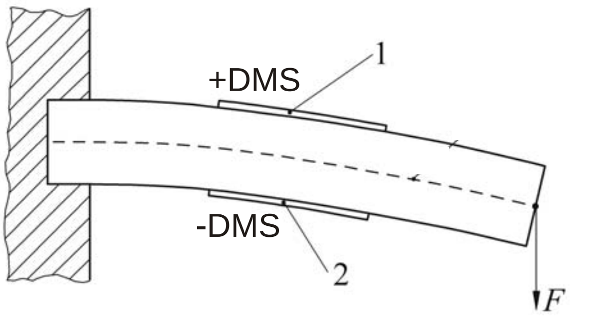
Die Begriffe beziehen sich auf die Zahl der eingesetzten Sensoren, je nachdem ob von den Sensoren 1, 2 oder alle 4 der möglichen 4 Brückenpositionen belegt werden.

Viertelbrücke	*1 Sensor*
Halbbrücke	*2 Sensoren*
Vollbrücke	*4 Sensoren*

Nachfolgend werden als widerstandsabhängige Sensoren Dehnungsmessstreifen (DMS) in die Brückenschaltung eingesetzt. Damit sollen an einem Biegebalken die Normalspannungen ε erfasst werden. Es können zugbeanspruchte „+DMS“ sowie druckbeanspruchte „-DMS“ eingesetzt werden. Zur Ergänzung der Brücke bei Viertel- und Halbbrücken sind Widerstände der Größe R zu verwenden.

d) Was versteht man unter einem „zugbeanspruchten“ und einem „druckbeanspruchten“ DMS?

Bei einer auf einen Biegebalken (Bild 4) angreifenden Kraft F wird die Balkenoberseite durch die entstehende Zugkraft um Δl (Dehnung $\varepsilon = \Delta l/l > 0$) gedehnt und entsprechend die Balkenunterseite durch die wirkende Druckkraft um $-\Delta l$ (Dehnung $\varepsilon = -\Delta l/l < 0$) verkürzt, d.h. gestaucht. Ein auf der Balkenoberseite platzierter „+DMS“ wird also zugbeansprucht, ein auf der Balkenunterseite platzierter „-DMS“ wird druckbeansprucht.



1: zugbeanspruchter DMS
2: druckbeanspruchter DMS

Bild 4

Damit lassen sich die Widerstände R_x der DMS (Grundwiderstand R; k-Faktor k) angeben:

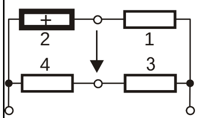
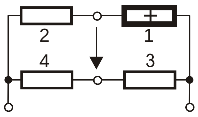
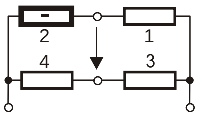
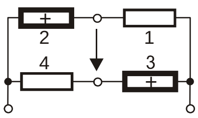
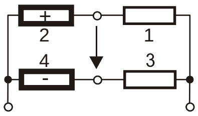
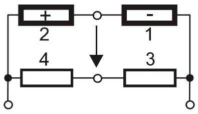
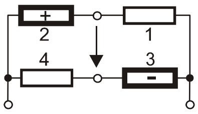
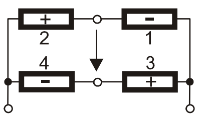
zugbeanspruchter „+DMS“ $$R_x = R(1+k\varepsilon) \Rightarrow \Delta R = R_x - R = +R\,k \cdot \varepsilon \qquad (8)$$

druckbeanspruchter „-DMS“ $$R_x = R(1-k\varepsilon) \Rightarrow \Delta R = R_x - R = -R\,k \cdot \varepsilon \qquad (9)$$

e) Geben Sie die mögliche Schaltungsvarianten an, um mit zug- und/oder druckbeanspruchten DMS Viertel-, Halb- sowie Vollbrücken aufzubauen.

Die Tabelle zeigt die 8 möglichen Varianten, um DMS zu einer Brücke zu verschalten. Ein „+“ kennzeichnet einen zugbeanspruchten DMS, ein „-“ kennzeichnet einen druckbeanspruchten DMS. Die Varianten 1 bis 3 stellen eine Viertelbrücke (1 Sensor), die Varianten 4 bis 7 ein Halbbrücke (2 Sensoren) und Variante 8 eine Vollbrücke (4 Sensoren) dar.

Die Ergebnisse für die Leerlauf- Diagonalspannung U_d wurden mit Hilfe der Gl. (1) oder (5) bzw. (7) ermittelt und sind ggf. Näherungen für $\Delta R/R << 1$. Dabei sind nicht mit DMS besetzte Positionen mit Widerständen der Größe R besetzt. Zu beachten ist, dass in den angegebenen Formeln die Widerstandsänderung ΔR sowie die Dehnung ε stets positiv einzusetzen sind. Das bei einer Druckbeanspruchung zu berücksichtigende Vorzeichen bei $\Delta R < 0$ bzw. $\varepsilon < 0$ ist in den angegebenen Formeln bereits berücksichtigt.

			U_d bei Speisung mit U_v		U_d bei Speisung mit I_v	
Viertelbrücke	1		$\approx \frac{U_V}{4}\frac{\Delta R}{R}$	$\approx \frac{U_V}{4}k \cdot \varepsilon$	$\approx \frac{I_V}{4}\Delta R$	$\approx \frac{I_V}{4}Rk \cdot \varepsilon$
	2		$\approx -\frac{U_V}{4}\frac{\Delta R}{R}$	$\approx -\frac{U_V}{4}k \cdot \varepsilon$	$\approx -\frac{I_V}{4}\Delta R$	$\approx -\frac{I_V}{4}Rk \cdot \varepsilon$
	3		$\approx -\frac{U_V}{4}\frac{\Delta R}{R}$	$\approx -\frac{U_V}{4}k \cdot \varepsilon$	$\approx -\frac{I_V}{4}\Delta R$	$\approx -\frac{I_V}{4}Rk \cdot \varepsilon$
Halbbrücke	4		$\approx \frac{U_V}{2}\frac{\Delta R}{R}$	$\approx \frac{U_V}{2}k \cdot \varepsilon$	$= \frac{I_V}{2}\Delta R$	$= \frac{I_V}{2}Rk \cdot \varepsilon$
	5		$\approx \frac{U_V}{2}\frac{\Delta R}{R}$	$\approx \frac{U_V}{2}k \cdot \varepsilon$	$= \frac{I_V}{2}\Delta R$	$= \frac{I_V}{2}Rk \cdot \varepsilon$
	6		$= \frac{U_V}{2}\frac{\Delta R}{R}$	$= \frac{U_V}{2}k \cdot \varepsilon$	$= \frac{I_V}{2}\Delta R$	$= \frac{I_V}{2}Rk \cdot \varepsilon$
	7		$\approx -\frac{U_V}{4}\left(\frac{\Delta R}{R}\right)^2$	$\approx -\frac{U_V}{4}k^2 \cdot \varepsilon^2$	$= -\frac{I_V}{4}\frac{\Delta R}{R}\Delta R$	$= -\frac{I_V}{4}Rk^2 \cdot \varepsilon^2$
Vollbrücke	8		$= U_V\frac{\Delta R}{R}$	$= U_V k \cdot \varepsilon$	$= I_V \Delta R$	$= I_V Rk \cdot \varepsilon$

f) Diskutieren Sie die Schaltungsvarianten von e) hinsichtlich

- **der Brückenempfindlichkeit $E = U_d / U_V$**
- **der Linearität der Brückenspannung U_d**
- **des Temperatureinflusses der DMS auf die Brückenspannung U_d.**

Die Tabelle in e) zeigt, dass sich die <u>Brückenempfindlichkeit</u> E bei einer Halbbrücke (Variante 4 bis 7) gegenüber einer Viertelbrücke (Variante 1 bis 3) verdoppelt und sich wiederum bei einer Vollbrücke (Variante 8) gegenüber einer Halbbrücke verdoppelt. Somit weist eine Vollbrücke die 4-fache Empfindlichkeit gegenüber einer Viertelbrücke auf.

Eine <u>exakte Linearität</u> zwischen der Widerstandsänderung ΔR zw. der Dehnung ε zeigen nur bestimmte Varianten der Halbbrücken (alle stromgespeisten Varianten 4 bis 7 und die spannungsgespeiste Variante 6) sowie die Vollbrücke (Variante 8).

Durch <u>Temperatureinflüsse</u> ändert sich der Widerstand R_x eines DMS zusätzlich zu dem durch die Dehnung hervorgerufenen Messeffekt $\Delta R(\varepsilon)$ um $\Delta R(\vartheta)$ aufgrund des Temperaturkoeffizientes des DMS-Widerstandes. Einflüsse aufgrund unterschiedlicher Längenausdehungskoeffizienten von DMS und Balkenmaterial kommen hinzu, werden aber nachfolgend <u>nicht</u> betrachtet.

zugbeanspruchter „+DMS“ $\quad R_x = \Delta R(\varepsilon) + \Delta R(\vartheta) \qquad (10)$

druckbeanspruchter „-DMS“ $\quad R_x = -\Delta R(\varepsilon) + \Delta R(\vartheta) \qquad (11)$

Die Auswertung der Formeln (1) und (4) bzw. (6) ergibt folgende Situation für die Brückenspannung U_d:

Viertelbrücken werden durch Temperaturänderungen des DMS beeinflusst.

Die Halbbrücken der Variante 5 und 6 sowie die Vollbrücke (Variante 8) sind unempfindlich gegenüber Temperatureinflüssen der DMS. Dieser Sachverhalt ergibt sich auch durch die einfache Überlegung, dass eine Spannungsteilung zwischen zwei sich gleichmäßig um $\Delta R(\vartheta)$ vergrößerten Widerständen davon unberührt konstant bleibt.