

Versuch 7: Drehmomentenmessung, Gleichspannungsmessverstärker

1. Versuchsaufbau

1.1. Umfang des Versuches

Im Versuch werden folgende Themen behandelt:

- Aufbau und Kalibrierung eines Gleichspannungsmessverstärkers
- Drehmomentenmessung mit DMS
- Stromverstärkungsfaktor Transistor

1.2. Versuchsaufbau

In einer Welle wird durch eine außerhalb der Drehachse angreifende Kraft ein Torsionsmoment erzeugt. Die äußere Kraft wird durch Auflegen einer Masse m auf eine Waagschale aufgebracht. Das Drehmoment wird mit DMS unter $\pm 45^\circ$ zur Drehachse gemessen. Die Halbbrücke wird an einen Gleichspannungsmessverstärker angeschlossen. Nach Einstellen des Nullpunktes und Kalibrierung des Verstärkers kann das Ausgangssignal mit einem Voltmeter gemessen werden und eine Zuordnung zum Drehmoment angegeben werden.

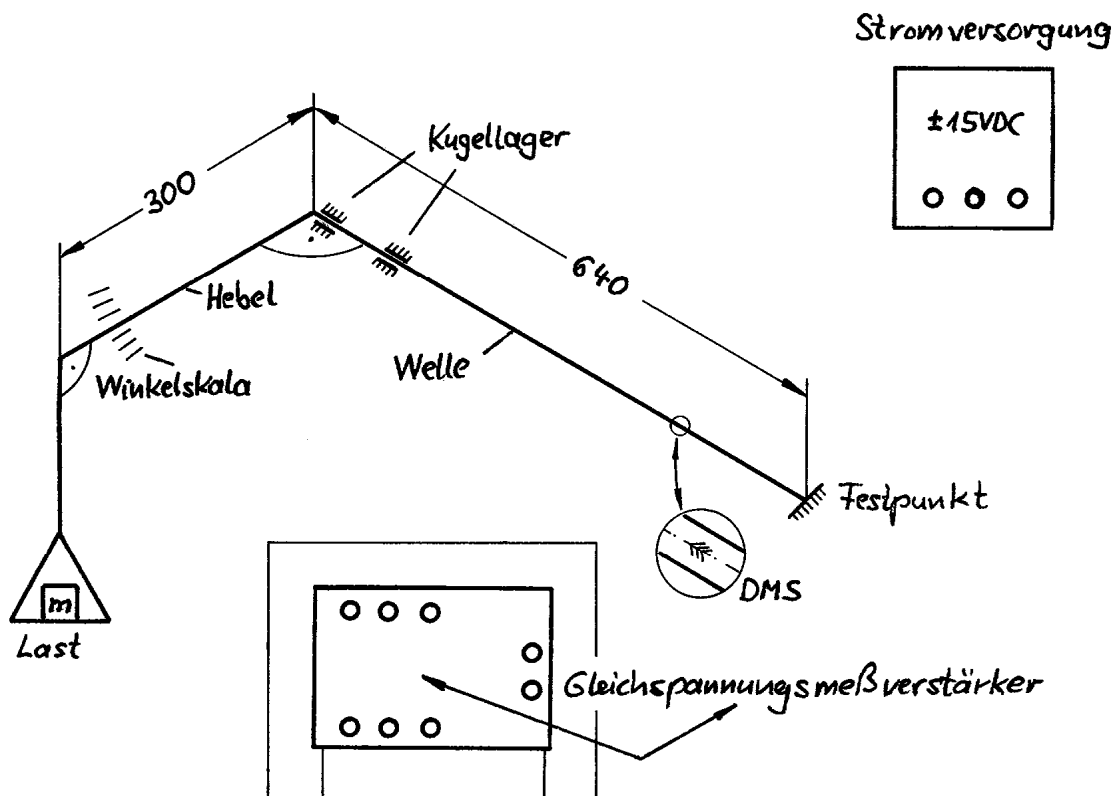
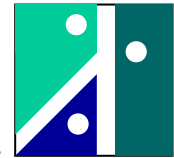


Bild 1: Versuchsaufbau



1.3. Gleichspannungsmessverstärker für Halbbrücke

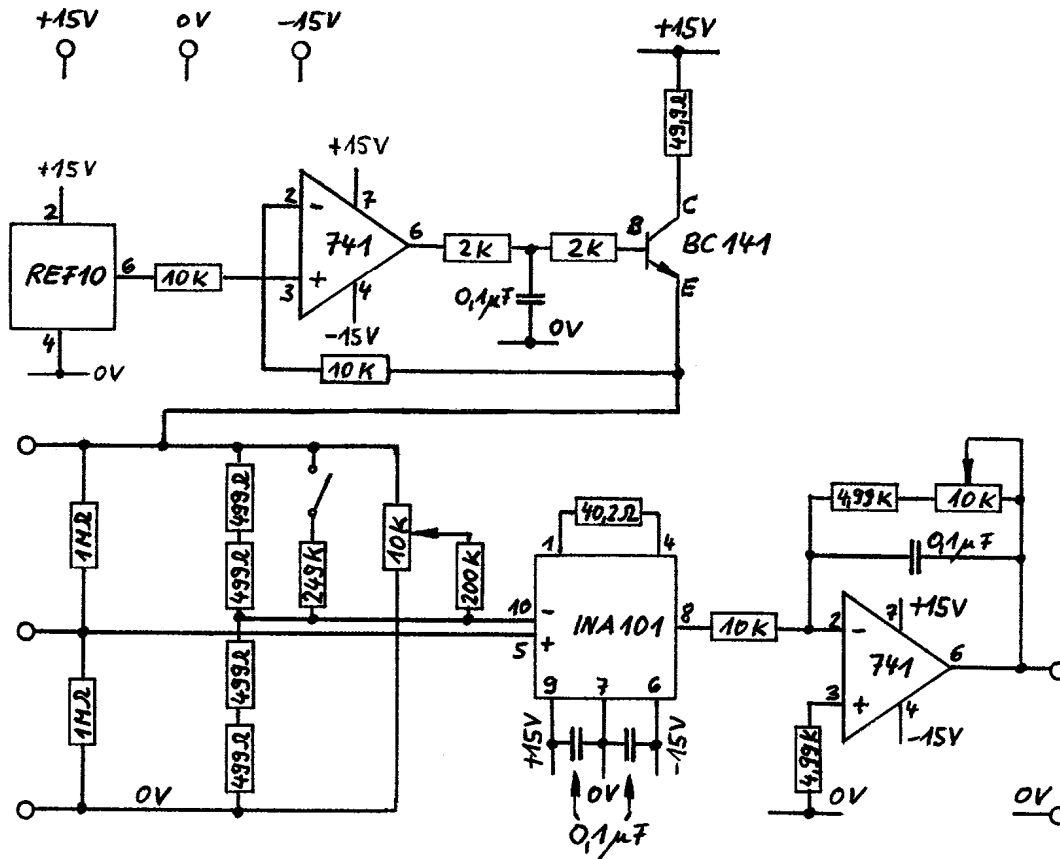


Bild 2: Gleichspannungsmessverstärker für Halbbrücke, Schaltplan

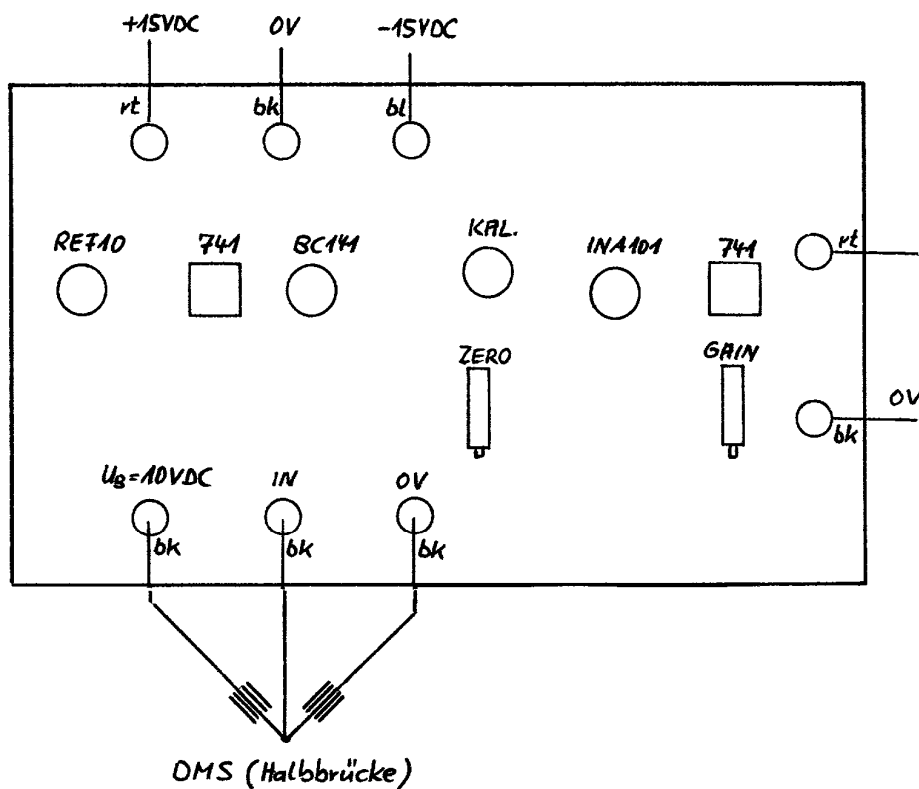
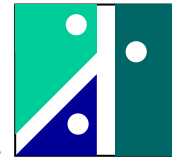


Bild 3: Gleichspannungsmessverstärker für Halbbrücke, Lageplan



Der in Bild 2 und 3 abgebildete Verstärker beinhaltet folgende Funktionen:

- Erzeugung einer konstanten Brückenspeisespannung
- Ergänzungshalbbrücke
- Kalibriervorrichtung
- Nullpunkteinstellung
- Einstellbare Verstärkung

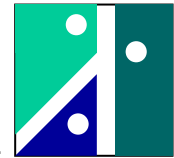
Kurzbeschreibung der Einzelfunktionen:

- REF 10 : Erzeugung einer Referenzspannung von +10,000 V
jedoch $|I_{\max}| \leq 10 \text{ mA}$
- 741 und BC 141 : Bereitstellung eines +10 V Ausgangssignals mit höherem zulässigen
Ausgangsstrom, hier : I_{erf} ca. 40 mA
- 2 * 10k : eigentlich nicht erforderlich, günstig bei Fehlersuche
- 2k - 0,1 μF - 2k : Stabilisierung des Spannungsregelkreises zur Erzeugung einer konstanten
Brückenspeisespannung
- 2 * 1 M Ω : setzt definiertes Eingangssignal für INA 101,
falls Halbbrücke nicht angeschlossen
- 4 * 499 Ω : Ergänzungshalbbrücke
- 249k und Taster : Kalibriervorrichtung
- Poti 10k + 200k : Nullpunkteinstellung
- INA 101 : Instrumentation Amplifier (Messverstärker)
- 40,2 Ω : Festlegung der Verstärkung auf GAIN ca. 1000
(siehe Datenblatt INA 101)
- 2 * 0,1 μF : Glättung Versorgungsspannung
- 741 (Ausgang) : Feineinstellung Gesamtverstärkung (500 bis 1500)
dabei : 0,1 μF (Tiefpass)

Die tatsächliche Lage der Bauteile auf der Platine wurde weitgehend so gewählt, wie sie auf dem Stromlaufplan abgebildet ist (normalerweise nicht der Fall).

Die Auslegung der einzelnen Bauelemente ist für den Betreiber des Messverstärkers ohne Bedeutung. Für den Anwender sind Anschlüsse und Eigenschaften des Verstärkers von Interesse. Die Anschlussverbindungen gehen aus dem Lageplan (Bild 3) hervor.

Zum Betrieb benötigt die Platine eine bipolare Versorgungsspannung von $\pm 15 \text{ VDC}$ (3 Steckkontakte). Der Anschluss der Halbbrücke erfordert ebenfalls 3 Steckkontakte. Das Ausgangssignal kann an 2 Ausgangsbuchsen abgegriffen werden.



1.4. Berechnungsgrundlagen

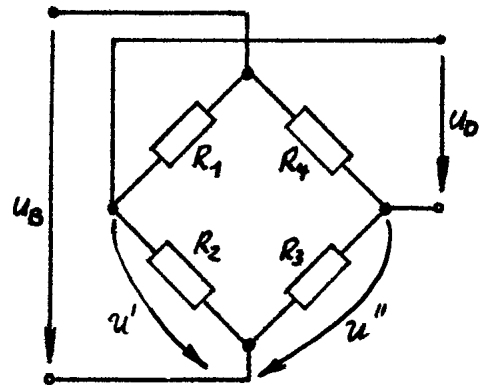
Bei der Wheatstone'schen Brückenschaltung müssen nicht alle Widerstände den gleichen Wert besitzen. Die Nennwiderstände der DMS sind vorgegeben (120 Ω). Die Ergänzungshalbbrücke hat nur die Aufgabe ein Spannungspotential der Größe $u_B/2$ zu erzeugen, damit der nachfolgende Differenzverstärker die Differenz u_D der beiden Signale u' und u'' bilden kann. Eine niederohmige Ergänzungshalbbrücke verursacht einen unnötig hohen Brückenspeisestrom. Eine hochohmige Ergänzungshalbbrücke führt zu verrauschten Signalen. Daher wird die Ergänzungshalbbrücke hier mit 1 kΩ Widerständen gebildet. Es ergeben sich folgende Abhängigkeiten:

Allgemein gilt:

$$\frac{u_D}{u_B} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} - \frac{R_3}{R_3 + R_4}$$

Sind die Widerstandsänderungen klein, so ergibt sich:

$$\frac{u_D}{u_B} = \frac{1}{4} \left(\frac{\Delta R_2}{R} + \frac{\Delta R_4}{R} - \frac{\Delta R_1}{R} - \frac{\Delta R_3}{R} \right)$$



Für die Messung mit DMS (Halbbrücke) setzt man:

Aktive DMS:

$$R_1 = R_0 - \Delta R$$

$$R_2 = R_0 + \Delta R$$

Ergänzungshalbbrücke:

$$R_3 = R_E$$

$$R_4 = R_E$$

Durch Einsetzen in die Ausgangsgleichung ergibt sich:

$$\frac{u_D}{u_B} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta R}{R_0} \quad \text{wobei:} \quad \frac{\Delta R}{R_0} = k \cdot \varepsilon_{DMS} \quad ; \quad \varepsilon_{DMS} = \frac{\tau}{2 \cdot G}$$

Zur Kalibrierung mit Parallelwiderstand setzt man:

DMS:

$$R_1 = R_0$$

$$R_2 = R_0$$

Ergänzungswiderstand mit Parallelwiderstand:

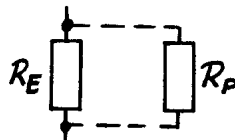
$$R_3 = R_E$$

$$R_4 = R_E + \Delta R_4$$

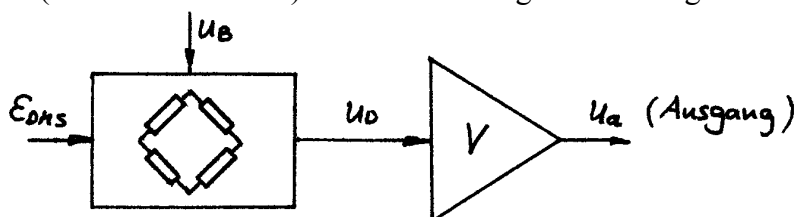
$$\Delta R_4 = -R_E^2 / R_P \quad \text{für } R_P \gg R_E$$

Unter Vernachlässigung der Glieder höherer Ordnung ergibt sich:

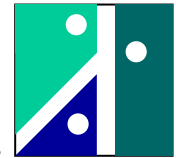
$$\left| \frac{u_D}{u_B} \right| = \frac{1}{4} \cdot \frac{R_E}{R_P}$$



Die Brückendiagonalspannung u_D (liegt im mV - Bereich) wird auf ein höheres Spannungsniveau verstärkt (INA 101 und 741). Der Verstärkungsfaktor V ergibt sich zu:



$$V = \frac{u_a}{u_D}$$



2.0. Versuchsaufgabe und Anleitung zur Durchführung

Zunächst werden von der Aufsicht die Grundzüge des Gleichspannungsverstärkers erläutert.

Erläutert werden:

Referenzspannungsquelle, Spannungsregelung, Änderung der Brückenspannung bei „Verstimmung“ der Messbrücke (Messung u' , u'' , u_D , u_a), Verstärkungsfaktor V , Kalibrierung mit 1mV/V , Nullpunkteinstellung.

2.1. Berechnung der Torsionsspannung

Bestimmen Sie rechnerisch die Torsionsspannung in der Welle (mit den Ansätzen aus der Mechanik).

Zahlenangaben : Masse : 5 kg Hilfestellung: $W_p = \frac{\pi \cdot d^3}{16}$
 Hebelarm : 300 mm
 Wellendurchmesser : 12 mm
 Erdbeschleunigung : 9,81 m/s^2

2.2. Bestimmung der Torsionsspannung aufgrund der DMS-Messtechnik

Zur Berechnung der Torsionsspannung (aufgrund der DMS-Messung) gibt es 2 Alternativen:

Alternative 1:

Berechnen Sie zunächst, welche Torsionsspannung in der Welle eine Brückenverstimmung von 1mV/V erzeugt.

Das Zwischenergebnis muss nun lauten: $\tau = \dots \text{N/mm}^2 (\hat{=} 1\text{mV/V})$

Zahlenangaben: G – Modul : 80000N/mm^2
 k – Faktor : 1,99 (Fehlerangabe : $\pm 1\%$)

Da die Verstärkung so eingestellt ist, dass eine Brückenverstimmung von 1mV/V ein Ausgangssignal von $u_a = 10,02 \text{V} \approx 10,0 \text{V}$ ergibt, kann die gesuchte Torsionsspannung mit einer geeigneten Dreisatzrechnung ermittelt werden.

Hilfestellung:

$$\begin{aligned} \tau = \dots \text{N/mm}^2 &\hat{=} 1\text{mV/V} \hat{=} 10,0 \text{V} \\ \tau_{\text{gesucht}} &\hat{=} \hat{=} \text{gemessene Ausgangsspannung bei Belastung} \end{aligned}$$

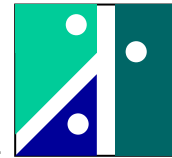
Alternative 2:

Nach der Messung der Ausgangsspannung u_a und unter Kenntnis des Verstärkungsfaktors V kann die Diagonalspannung u_D leicht berechnet werden.

$$V = \frac{u_a}{u_D}$$

Anschließend gelangt man durch Einsetzen in die angegebenen Gleichungen zur gesuchten Torsionsspannung.

$$\frac{u_D}{u_B} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta R}{R_0} \quad \text{wobei:} \quad \frac{\Delta R}{R_0} = k \cdot \varepsilon_{DMS} \quad ; \quad \varepsilon_{DMS} = \frac{\tau}{2 \cdot G}$$



2.3. Teilaufgabe zur Demonstration der Linearität

Ersetzen Sie die „5 kg-Massen“ durch einen wesentlich leichteren Gegenstand (z.B. ein Handy) und bestimmen Sie dessen Masse (Messung Änderung Ausgangssignal Messverstärker). Notieren Sie die Ausgangsspannung vor und nach der Belastung. Die Differenz geht in die Rechnung ein.

Dreisatz:

u_a (bei $m = 5 \text{ kg}$)	entspricht	5 kg
u_a (z.B. Handy)	entspricht	m z.B. Handy

Überprüfen Sie das Ergebnis mit der bereitgestellten Waage!

Anmerkung: Reibungseffekte und Nullpunktschwankungen setzen einer hohen Messgenauigkeit hier ihre Grenzen.

2.4. NPN Transistor BC 141

Bestimmen Sie den Stromverstärkungsfaktor des Transistors BC 141!

$$\text{Stromverstärkungsfaktor: } \beta = i_C / i_B$$

Messen Sie dazu die Spannungsabfälle über den betreffenden Vorwiderständen! Achten Sie bei der Messung darauf, dass Sie mit einer Messspitze niemals gleichzeitig 2 Bauteile berühren.

Achtung: Das Gehäuse des Transistors ist nicht potentialfrei.

Hinweise: Über Spannungsabfälle an den entsprechenden Widerständen i_B und i_C bestimmen. Die Position der Widerstände findet man unter Verwendung des Stromlaufplanes in Zusammenhang mit dem Lageplan.