

GRUNDLAGEN DER ELEKTROTECHNIK

Versuch 2: Messungen an linearen und nichtlinearen Widerständen

1 Versuchsdurchführung

1.1 Linearer Widerstand

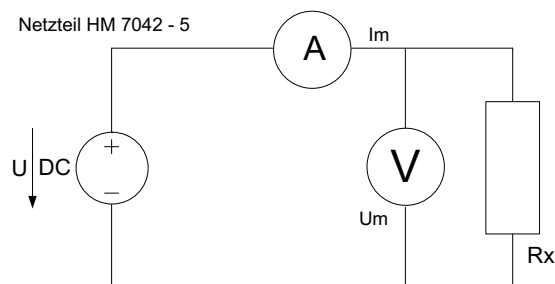
1.1.1 Vorbereitung

Der Widerstand R_x ist mit dem digitalen Vielfachmessgerät zu messen. Wie hoch darf die Messspannung gewählt werden, wenn die Verlustleistung im Widerstand 200 mW nicht überschreiten darf?

1.1.2 Kennlinie

Es ist die Strom-Spannungskennlinie $I = f(U)$ von R_x in spannungsrichtiger Schaltung aufzunehmen für $U = 0,1 \text{ V}; 0,2 \text{ V}; 0,3 \text{ V}; 0,4 \text{ V}$ und $0,5 \text{ V}$.

Es ist die folgende Messschaltung zu verwenden. Verwenden Sie bitte den Präzisionsdigitalmultimeter für die Strommessung.



Dabei sind die Spannungs- und Strommesswerte der beiden verwendeten Digitalmultimeter in einer Tabelle zu protokollieren.

Die Messwerte sind grafisch darzustellen. Aus der Widerstandskennlinie ist der Widerstandswert R_x zu ermitteln.

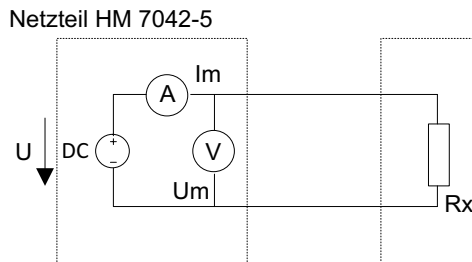
Für $U = 0,5 \text{ V}$ ist der relative Messfehler für R_x mit Hilfe der Klassenfehler der Messgeräte (hier: 1% vom eingestellten Messbereich, d.h. bei einem Messbereich von 100 mV beträgt der Fehler $\pm 1 \text{ mV}$) zu berechnen.

1.2 Messung kleiner Widerstände

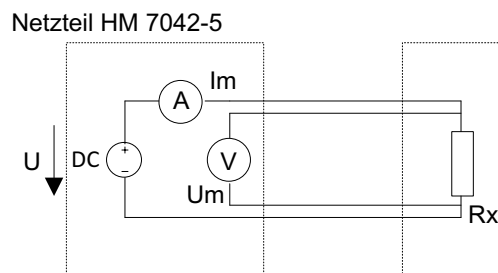
Für die Messung von sehr kleinen Widerständen wird die Vierleitermessung (auch Kelvin-Kontaktierung genannt) angewandt. Um die Methoden zu vergleichen, soll ein sehr kleiner Widerstand – Drahtprobe R_x - sowohl konventionell mit der Zweileitermessung und auch mit der Vierleitermessung bestimmt werden.

Die Messung soll spannungsrichtig erfolgen. Dazu soll folgende Messschaltung aufgebaut werden (benutzen Sie dazu die längsten verfügbaren Messleitungen).

Messen Sie mit dem Strom $I_m = 100 \text{ mA}$ die Spannung U_m . Protokollieren Sie die Messwerte.



Anschließend sollten Sie den Versuch wiederholen, indem Sie die Messgeräte auf eine Vierpunktmessung (Kelvin-Kontaktierung) verschalten. Achten Sie darauf, dass der Strom und die Spannung möglichst nahe am zu messenden Widerstand zugeführt werden.



Vergleichen Sie die Ergebnisse für den Widerstandswert aus der Zwei- und der Vierpunktmessung und erklären Sie den Unterschied. Begründen Sie bitte auch, warum die Vierpunktmessung den kleineren Fehler aufweist, obwohl deutlich mehr Messleitungen verwendet werden.

Prüfen Sie die errechneten Widerstandswerte mit einem digitalen Milliohmometer nach und protokollieren Sie die Messungen. Anschließend berechnen Sie daraus den spezifischen elektrischen Widerstand ρ ($\Omega \text{ mm}^2 / \text{m}$) aus der Drahtlänge und dem Durchmesser. Um welches Material könnte es sich handeln?

1.3 Glühlampe

Die Strom- Spannungskennlinie einer Glühlampe ist für $U = 10 \text{ mV}$ bis 15 V aufzunehmen und graphisch darzustellen. Dazu kann die unter 1.1.2 verwendete Schaltung weiter benutzt werden. Der Widerstand ist dabei lediglich durch die Glühlampe zu ersetzen.

Schritte: $U = 10 \text{ mV}$, 50 mV , 100 mV , 500 mV , 1 V , 5 V , 10 V und 15 V

Aus dieser Darstellung sind Kaltwiderstand, Betriebswiderstand sowie die Werte a und b der Stromformel:

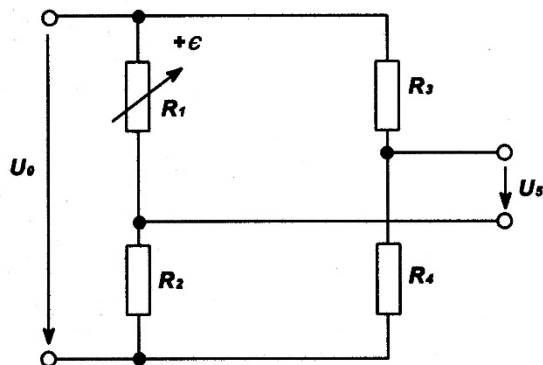
$$\frac{I}{1 \text{ mA}} = a \left(\frac{U}{1 \text{ V}} \right)^b =$$

zu berechnen. Danach ist der Widerstand der Glühlampe mit einem Digitalmultimeter zu messen.

2 Aufbau der Waageeinrichtung mit dem Biegestab

2.1 Wheatstone'sche Viertelbrücke

Bauen Sie mit dem Dehnungsmessstreifen DMS1 und den Widerständen R_2 (Widerstandsdekade), R_3 (Festwiderstand = $1\text{ k}\Omega$) und R_4 (Festwiderstand = $1\text{ k}\Omega$) eine Viertelbrücke gemäß folgender Schaltung auf. Die Brückenquerspannung U_5 ist mit dem Präzisionsdigitalmultimeter anzuzeigen und mittels Veränderung des Widerstandes R_2 - ohne Belastung des Biegebalkens - auf null abzugleichen. Die Versorgungsspannung der Brücke beträgt $U_0 = 6\text{ V}$.



Messen Sie die Brückenausgangsspannung bei Belastung des Biegebalkens mit einer Masse $m = 0\text{ g}$; 100 g ; 200 g ; 300 g ; 400 g und 500 g .

Bei der abgeglichenen Brücke berechnen Sie den maximalen Fehler des DMS. Dabei sind die Fehler der Widerstände R_2 , R_3 und R_4 zu benutzen, die auf den Widerständen angegeben sind. Zusätzlich bestimmen Sie die Empfindlichkeit der Anordnung für $m = 500\text{ g}$.

2.2 Wheatstone'sche Vollbrücke

Bauen Sie mit den Dehnungsmessstreifen DMS1 bis DMS4 eine Vollbrücke auf.

Bei einer Masse von $m = 0\text{ g}$ ist die Brücke durch Parallelschalten eines Abgleichwiderstands auf eine Brückenspannung von $U_5 = 0\text{ V}$ einzustellen.

Messen Sie die Brückenausgangsspannung bei Belastung des Biegebalkens mit einer Masse $m = 0\text{ g}$, 100 g , 200 g , 300 g , 400 g und 500 g .

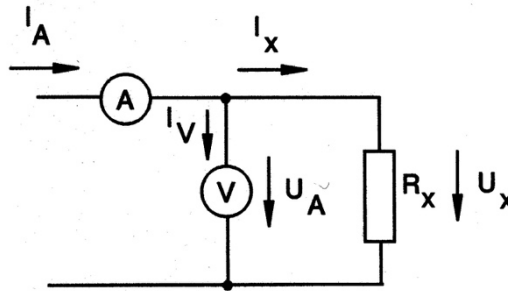
Wie groß muss die Versorgungsspannung U_0 gewählt werden, damit bei der Belastung des Biegebalkens mit den Massen $m = 100\text{ g}$, 200 g , 300 g , 400 g und 500 g die Brückenspannung die entsprechenden Werte $U_5 = 1\text{ mV}$, 2 mV , 3 mV , 4 mV und 5 mV annimmt, d.h. 1 mV für 100 g , 2 mV für 200 g , 5 mV für 500 g ?

Vergleichen Sie die Empfindlichkeit der Vollbrücke mit der der Viertelbrücke.

3 Hinweise zu Versuchsauswertung und Protokoll

3.1 Zufälliger Fehler bei einer spannungsrichtigen Schaltung

Der zufällige Fehler ergibt sich aus den Fehlern der Messgeräte.



In der Berechnungsgleichung verursacht der Term $1/R_V$ (reziproker Innenwiderstand des Spannungsmessers) den systematischen Fehler.

Die gemessene Spannung U_A und der gemessene Strom I_A sind mit einem zufälligen Fehler $\pm \Delta U_A$ bzw. $\pm \Delta I_A$ behaftet. Erweitert um den zufälligen Fehler lautet die Berechnungsformel der spannungsrichtigen Schaltung:

$$\frac{1}{R_x} = \frac{I_A \pm \Delta I_A}{U_A \pm \Delta U_A} - \frac{1}{R_V}$$

Nach Gauss wird die maximale Messunsicherheit näherungsweise bestimmt durch

$$\bar{y} = \left| \left(\frac{\delta f}{\delta x_1} \right)_0 dx_1 \right| + \dots + \left| \left(\frac{\delta f}{\delta x_n} \right)_0 dx_n \right| =$$

D.h., die Spannung U an den Enden eines elektrischen Widerstandes hängt mit der Stromstärke I eines ihn durchfließenden Gleichstromes durch das Ohm'sche Gesetz zusammen

$$R = \frac{U}{I}$$

Ist U mit dU und I mit dI fehlerhaft gemessen, so hat man als Obergrenze für den Fehler in R

$$\Delta R \sim dR = \frac{\delta R}{\delta U} dU + \frac{\delta R}{\delta I} dI = \quad dR \leq \left| \frac{1}{I} dU \right| + \left| -\frac{U}{I^2} dI \right| =$$

Der relative Fehler beträgt $\Delta R_{\%} = \frac{\bar{\Delta R}}{R} 100$

3.2 Kennlinie einer Glühlampe

In diesem Versuch soll die Kennlinie, d.h. der Zusammenhang zwischen Spannung und Strom einer Glühlampe ausgemessen werden. Dieser Zusammenhang kann mathematisch durch folgende Potenzfunktion angenähert werden:

$$I = a \cdot I_0 \left(\frac{U}{U_0} \right)^b$$

Nach Aufnahme der Messwerte sind die Koeffizienten a und b zu berechnen. Hierzu ist die Gleichung nach a und b aufzulösen. Die Spannung U_0 wird zu 1 V gewählt, der Strom I_0 zu 1 mA, dieses ist erforderlich, um für ein Logarithmieren die Gleichung dimensionslos zu machen.

Der Faktor a lässt sich ermitteln, wenn der Quotient $U / U_0 = 1$ wird. Dann gilt:

$$a = \frac{I}{1 \text{ mA}}$$

Hier ist für I der Wert einzusetzen, der sich bei der Spannung $U = 1 \text{ V}$ ergibt, da dann der Quotient $U / U_0 = 1$ wird. Um die Gleichung nach b aufzulösen, ist sie zu logarithmieren:

$$\lg \left(\frac{I}{I_0} \right) = b * \lg \left(\frac{U}{U_0} \right) + \lg a$$

oder

$$b = \frac{\lg \left(\frac{I}{I_0} \right) - \lg a}{\lg \left(\frac{U}{U_0} \right)}$$

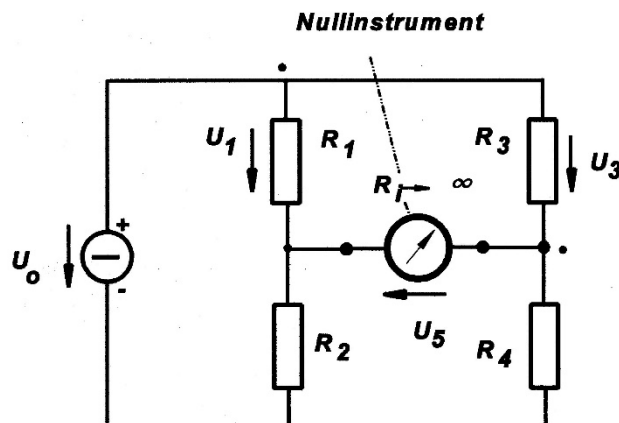
bzw.

$$b = \frac{\lg \left(\frac{I}{1 \text{ mA}} \right) - \lg a}{\lg \left(\frac{U}{1 \text{ V}} \right)}$$

Der gemessene Strom bei einer Spannung von 15 V ist einzusetzen und b auszurechnen.

3.3 Berechnung der Brückenspannung U_5

Wir betrachten beispielhaft die folgende Schaltung:



Es gilt: $U_1 = U_0 \frac{R_1}{R_1 + R_2}$ und $U_3 = U_0 \frac{R_3}{R_3 + R_4}$

Die Spannung U_5 ergibt sich aus dem Maschenumlauf: $U_5 = U_3 - U_1$

Eingesetzt ergibt sich: $U_5 = U_0 \left(\frac{R_3}{R_3 + R_4} - \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right)$