

Versuch E1

Das Drehspulinstrument

4.18

I. Zielsetzung des Versuchs

Ein einfaches Drehspulinstrument soll durch Wahl geeigneter Vor- und Parallelwiderstände zur Messung von Strömen und Spannungen verwendet werden.

Elektromotorische Kraft (EMK) und Innenwiderstand sind wichtige Kenngrößen einer Spannungsquelle. Im Rahmen dieses Versuchs sollen diese beiden Größen einer Batterie ausgemessen werden.

Nichtlineare Widerstandselemente spielen eine wichtige Rolle auf dem Gebiet der Elektronik. Ausgemessen werden soll die Strom–Spannungs–Charakteristik einer Glühlampe und einer Halbleiterdiode.

II. Vorkenntnisse

1) allgemeine Vorkenntnisse

- Ohmsches Gesetz, Kirchhoffsche Regeln, Induktionsgesetz, Definition von Strom und Spannung
Literatur: Jedes Lehrbuch der Physik, Elektrizität

2) spezielle Vorkenntnisse

- Funktionsweise von Drehspulgalvanometern

Literatur: GERTHSEN KNESER VOGEL, Kapitel 7.5.1
W. WALCHER, Praktikum der Physik, Kap. 5.0.3.2
- Schwingungsgleichung des Drehspulgalvanometers
Literatur: WESTPHAL, Physikalisches Praktikum, Anhang II, A
- Meßbereichserweiterung
Literatur: W. WALCHER, Praktikum der Physik, Kap. 5.0.3.2
- Galvanische Elemente
Literatur: GERTHSEN KNESER VOGEL, Kapitel 6.5.1, 6.5.2
- Spannungsquellen
Literatur: AMELING, Grundlagen der Elektrotechnik I, Kap 2.5.4
HAUG, Grundzüge der Elektrotechnik, Kap 1.3.1, 1.3.3
- Elektromotorische Kraft
Literatur: AMELING, Grundlagen der Elektrotechnik I, Kap 2.4.0

Die Kapitelnummern der Literaturangaben beziehen sich auf ältere Auflagen (bes. Gerthsen) und können in neuen Auflagen verändert sein.

III. Theorie zum Versuch

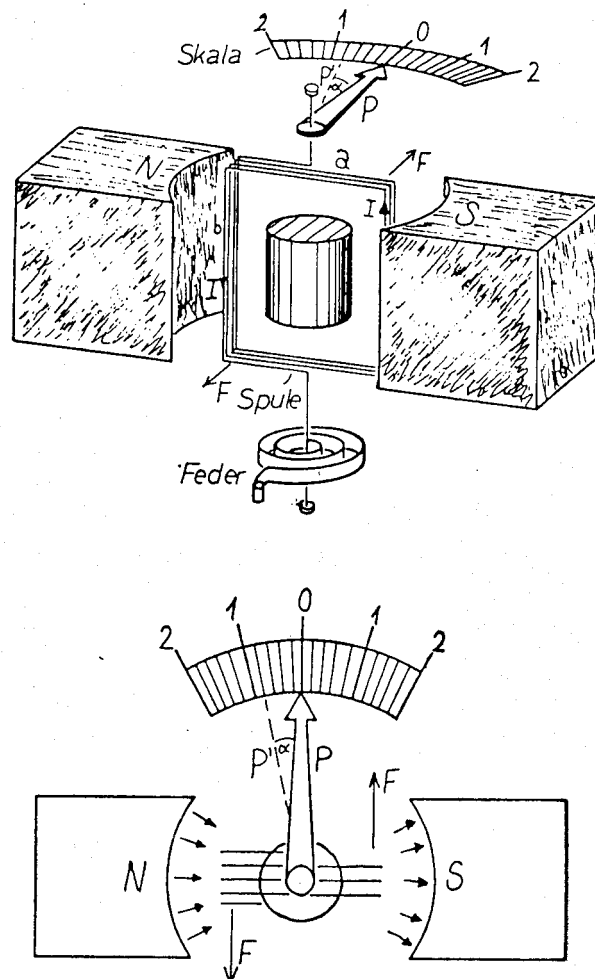
1) Strom- und Spannungsmeißinstrumente

Zur Messung des Stromes oder einer Spannung in einem Stromkreis (beide Größen können nach dem Ohmschen Gesetz über einen bekannten Meßwiderstand ineinander umgewandelt werden) benutzt man heute drei Meßverfahren:

1. Elektronenstrahloszillograph: Der Strahl wird um den momentanen Betrag der Spannung abgelenkt. Das Verfahren wird hauptsächlich zur Darstellung von zeitlich veränderlichen Spannungen verwendet. (Dieses Gerät wird nicht in diesem Versuch benutzt.)
2. Digitalmultimeter: Kernstück eines jeden digitalen Meßinstruments ist ein Analog-Digital-Umwandler (ADU). Die meist in analoger (= kontinuierlicher) Form vorliegende Meßgröße wird zunächst von dem ADU quantisiert. Der analoge Meßwert entspricht dann einer bestimmten Anzahl dieser Quanten (digitale Größe). Diese werden von einem elektronischen Zähler abgezählt, der anschließend die Ziffernanzeige steuert.

Diese Meßgeräte sind schnell ablesbar und von hoher Genauigkeit, denn das Meßverfahren hängt nicht von mechanischen, sondern nur von elektronischen Größen ab, deren Stabilisierung man besser in der Hand hat (z. B. sehr hoher Innenwiderstand beim DMM). Da sie heute teilweise auch sehr preiswert erhältlich sind, haben DMMs die Galvanometer auf vielen Einsatzgebieten abgelöst.

3. Das Galvanometer: das Galvanometer war bis vor einigen Jahren das preiswerteste und gebräuchlichste Strommeßinstrument. Eine drehbar aufgehängte Spule in einem konstanten, homogenen Magnetfeld B erfährt je nach Stromdurchfluß ein Drehmoment, das dem Strom proportional ist. Ein an der Spule befestigter Zeiger mißt den Ausschlag.



Die beiden Polschuhe und ein runder Eisenkern sind so angebracht, daß im Drehraum der Spule die magnetischen Feldlinien vom Nordpol zum Eisenkern hin- und vom Eisenkern weg zum Südpol hinlaufen. Auf der linken Seite (Nordpol) fließt der Strom durch die b -Seite der Spule nach unten, auf der rechten Seite (Südpol) nach oben. (Im genannten Feldlinienverlauf wirkt dann auf die rechte Spulenseite eine Kraft nach hinten, in der Skizze zur Skala weisend.)

Wegen der Lorentzkraft $\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$ wirkt daher bei Stromdurchfluß auf die beiden Spulenseiten ein Drehmoment D :

$$D = 2(F \frac{a}{2}) = Fa \quad a = \text{Breite der Spulenseite}$$

Da der Strom mit der Driftgeschwindigkeit der Elektronen \vec{v} verbunden ist, gilt für die Kraft F auf eine Spulenseite:

$$F = IBb \quad b = \text{Länge der Spulenseite}$$

Wenn in der Zeit dt die Elektronen diesen Weg $b = v dt$ zurücklegen, ist durch jeden Leiterquerschnitt in dieser Zeit die Ladung dQ geflossen. Das entspricht einem Strom $I = dQ/dt$. Die Ladung dQ entspricht der Gesamtladung q in der Spulenseite der Länge b . Also:

$$I = \frac{dQ}{dt} = q \frac{1}{dt}, \text{ so daß } F = IbB = \frac{q}{dt} v dt B = qvB$$

Damit folgt für das Drehmoment:

$$D = Fa = IbBa$$

Besitzt die Spule n Wicklungen, so ist das Gesamtdrehmoment:

$$D = nIBA, \quad A = ab = \text{Fläche der Spule}$$

Bei einem Galvanometer ist nBA eine Konstante G .

In dem so beschriebenen Drehspulinstrument würde sich die Spule um (maximal) 90° drehen, und dann (nach einigen Schwingungen) dort stehenbleiben. Würde sie weiterdrehen, so würde sie (von den dann für sie vertauschten Nord- und Südpolen) ein rücktreibendes Drehmoment erfahren. Der Zeiger würde dann je nach Stromrichtung immer nur nach links oder rechts zeigen, unabhängig von der Stromstärke. Um einen konstanten, zur Stromstärke proportionalen Zeigerausschlag zu erhalten, muß ein rücktreibendes Drehmoment D_r mit einer Feder D angebracht werden, das linear mit dem Drehwinkel α anwächst:

$$D_r = -k\alpha$$

Der Zeiger schlägt so weit aus, bis beide Drehmomente entgegengesetzt gleich groß sind:

$$D + D_r = 0 \quad \text{oder} \quad \alpha = \frac{G}{k} I \quad (1)$$

das heißt aber, daß der Winkelausschlag dem Strom proportional ist. Bei einer Drehung der Spule infolge des primären Stroms I ändert sich jedoch der magnetische Fluß Φ durch die Spule, so daß nach dem Induktionsgesetz eine Spannung erzeugt wird, die einen Strom I' durch den außen angelegten Stromkreis verursacht. Für den magnetischen Fluß gilt in erster Näherung ($\sin \alpha = \alpha$):

$$\Phi = AB\alpha$$

und somit für den induzierten Strom I' :

$$I' = \frac{n}{R} \left(-\frac{d\Phi}{dt} \right) = -\frac{G}{R} \frac{d\alpha}{dt}$$

wobei $R = R_a + R_g$ der Gesamtwiderstand aus der Reihenschaltung aus Spulen- und Stromkreiswiderstand ist. Somit muß der Strom I in Gleichung (1) ersetzt werden durch den gesamten Strom:

$$I_g = I + I' = I - \frac{G}{R} \frac{d\alpha}{dt}$$

Berücksichtigt man nun noch mechanische Dämpfung, die normalerweise proportional der (Winkel-)Geschwindigkeit angesetzt wird,

$$D_d = -\rho \frac{d\alpha}{dt}$$

erhält man für die Bilanz der Drehmomente zu jedem Zeitpunkt unter Berücksichtigung der Beziehung zwischen Trägheitsmoment, Winkelbeschleunigung und Drehmoment:

$$\Theta \frac{d^2\alpha}{dt^2} = D + D_r + D_d$$

wobei Θ das Trägheitsmoment der Spule bezüglich der Drehachse ist. Damit hat man eine Schwingungsgleichung für den Zeigerausschlag der Drehspule:

$$\frac{d^2\alpha}{dt^2} + \frac{1}{\Theta} \left(\rho + \frac{G^2}{R_g + R_a} \right) \frac{d\alpha}{dt} + \frac{k\alpha}{\Theta} = \frac{GI}{\Theta}$$

Durch die Substitution

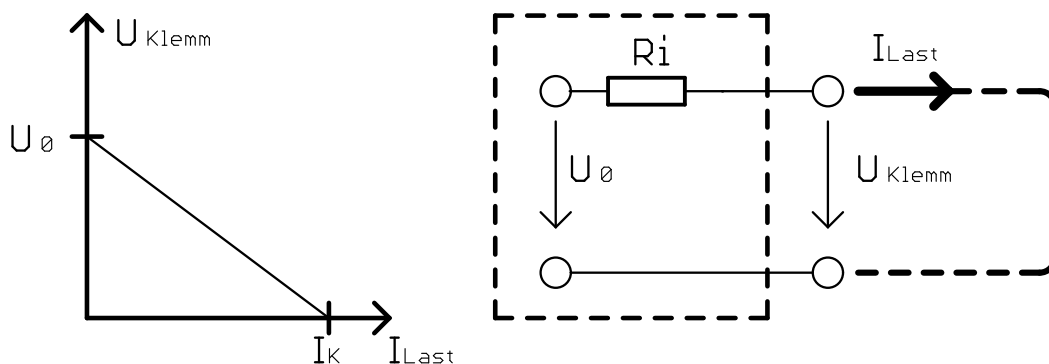
$$\alpha = \Psi + \frac{GI}{k}$$

erhält man die Form einer Schwingungsgleichung

$$\frac{d^2\Psi}{dt^2} + \tilde{A}\frac{d\Psi}{dt} + \tilde{B}\Psi = 0$$

Hierbei ist \tilde{A} ein Maß für die Dämpfung und \tilde{B} ein Maß für die Resonanzfrequenz. Auf das Dämpfungsmaß kann man durch die Wahl des Widerstandes R_g so Einfluß nehmen, daß der aperiodische Grenzfall eingestellt wird. Der Zeiger kriecht dabei in seine Ruhelage ohne überzuschwingen.

Spannungsquellen und Elektromotorische Kraft (EMK) Ideale Spannungsquellen besitzen unabhängig vom Strom, den sie an einen Lastwiderstand abgeben, eine konstante Spannung U . Dieses gilt auch für den Kurzschlußfall. Da aber insbesondere im Kurzschlußfall *reale* Spannungsquellen wie Batterien oder Netzgeräte keinen über alle Grenzen wachsenden Kurzschlußstrom liefern können, versucht man, das Verhalten einer realen Spannungsquelle anhand experimentell aufgenommener Belastungskennlinien (Klemmspannung gegen Belastungsstrom) mit einem Ersatzschaltbild zu deuten. Da die Belastungskennlinie in vielen Fällen eine Gerade ist, kann man ein einfaches Ersatzschaltbild einer realen Spannungsquelle angeben.



Für den Strom $I = 0$ ist die Quelle unbelastet. Sie hat, wie man sagt, Leerlauf. Für diesen Zustand hat die gemessene Spannung U den größtmöglichen Wert U_0 . Diese Leerlaufspannung heißt auch Quellenspannung oder Elektromotorische Kraft. Sie ist ein für die Spannungsquelle charakteristischer Wert. Zur weiteren Kennzeichnung des Verhaltens der Quelle hat man nun (siehe Ersatzschaltbild) einen Innenwiderstand eingeführt.

Für die von außen zugänglichen Klemmen mit der Spannung U gilt nun offenbar

$$U = U_0 - R_i I$$

Für $I = 0$ ist somit auch $U = U_0$, wie vorhin schon festgestellt wurde. Die Spannung U an den zugänglichen Klemmen verschwindet ($U = 0$) für: denn wenn die Quelle an ihren äußeren Klemmen kurzgeschlossen wird, ist die Spannung $U = 0$ erreicht, und der Strom erreicht den größtmöglichen Wert, den Kurzschlußstrom I_k . Aus der letzten Gleichung und der Belastungskennlinie ist nun für den Innenwiderstand der Quelle abzulesen:

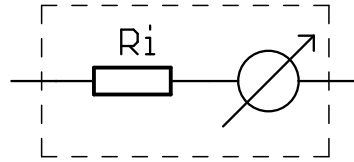
$$R_i = \frac{U_0}{I_k}$$

Die Ersatzschaltung mit den zugehörigen Gleichungen beschreibt vollkommen das Verhalten „wirklicher“ (linearer) Quellen und die Quellenspannung U_0 ist nun tatsächlich eine Größe, die sich bei Stromentnahme nicht ändert. Das beobachtete Absinken der außen an einer Quelle verfügbaren Spannung U wird allein durch den Innenwiderstand — über den Spannungsabfall $R_i I$ — verursacht. U_0 und R_i sind Größen, die nur meßtechnisch erfaßt werden können.

In der Schaltalgebra existiert analog zum Begriff „Spannungsquelle“ der Begriff „Stromquelle“. Die Rollen von U und I sind hier insofern vertauscht, als eine ideale Stromquelle an einem variablen Verbraucherwiderstand einen konstant bleibenden Strom liefert, auch für den Grenzfall des über alle Maßen wachsenden Verbraucherwiderstands. Eine weitere Erläuterung dieses Formalismus finden Sie im Anhang.

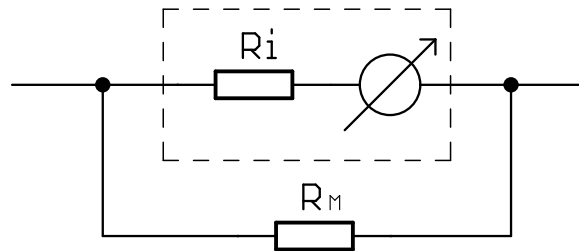
2) Meßbereichserweiterung

a) Strommeßbereichserweiterung



$$R_I = \text{Innenwiderstand}, R_M = \text{Strommeßwiderstand}$$

Das Ersatzschaltbild des Galvanometers besteht aus dem Innenwiderstand R_I (Spulenwiderstand des Instruments) und einem Meßwerk ohne Widerstand ($R = 0$). Der Zeigerausschlag des Galvanometers ist direkt dem Strom, der durch das Galvanometer fließt, proportional. Unser Instrument zeigt einen Vollausschlag bei $I_1 = 1 \text{ mA}$. Will man höhere Ströme messen, muß man zur Erweiterung des Meßbereichs Strommeßwiderstände (sogenannte Shunt-Widerstände) parallel zum Galvanometer schalten:



Das Galvanometer soll jetzt z. B. bis zu 100 mA messen können, d. h.

$$I_{max} = 100 I_1 \quad .$$

Nach der 2. Kirchhoffschen Regel gilt:

$$I_{max} = 100 I_1 = I_1 + I_2 \quad \Rightarrow \quad I_2 = 99 I_1$$

(Beachte: I_1 fließt durch R_i und Galvanometer, I_2 fließt durch R_M .)

Aufgrund der 1. Kirchhoffschen Regel folgt: $U_1 - U_2 = 0$

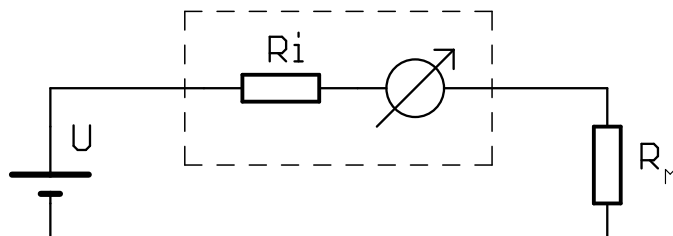
(U_1 : Spannungsabfall über R_I , U_2 : Spannungsabfall über R_M)

Daraus folgt mit dem Ohmschen Gesetz $U = R I$:

$$\begin{aligned} R_M I_2 &= R_I I_1 \\ R_M (99 I_1) &= R_I I_1 \quad \Rightarrow \quad R_M = \frac{1}{99} R_I \end{aligned}$$

b) Messung des Stroms I durch den Widerstand R_L

Zur **Messung des Stroms** wird ein Meßgerät immer **in Serie** mit dem Meßobjekt (hier R_L) geschaltet



$$R_I = \text{Innenwiderstand}, R_L = \text{Lastwiderstand}$$

Bei höheren Strömen wird der Meßbereich des Galvanometers wie in a) beschrieben durch den parallelen Widerstand R_M erweitert. Beachte: R_M liegt dabei nur parallel zum Galvanometer, nicht zu R_L !

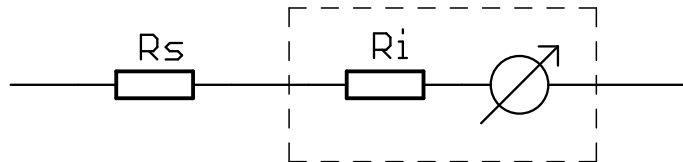
c) **Bau eines Spannungsmeßgerätes mit Vollausschlag bei U_{max}**

Ein Galvanometer mit Innenwiderstand R_i und Vollausschlag beim Strom I_1 hat zugleich Vollausschlag bei der Spannung $U_1 = R_i I_1$. Soll der Vollausschlag bei einer höheren Spannung U_{max} erfolgen (z. B. $U_{max} = 10 U_1$), so muß ein Vorwiderstand R_S in Serie mit dem Galvanometer geschaltet werden, so daß I_1 erst bei U_{max} fließt, also

$$U_{max} = (R_S + R_i) I_1$$

Soll nun $U_{max} = 10 U_1 = 10(R_i I_1)$ sein, so folgt

$$R_S + R_i = 10 R_i \Rightarrow R_S = 9 R_i$$

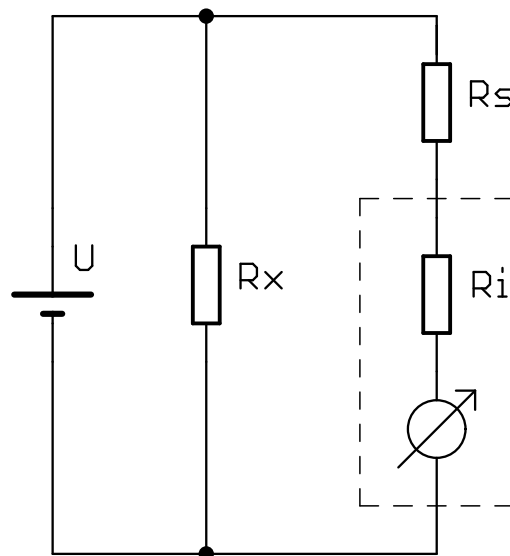


d) **Messung der Spannung U_x am Widerstand R_x**

Die Spannung U_x am unbekannten Widerstand R_x soll mit dem für höhere Spannungen erweiterten Galvanometer gemessen werden.

Zur **Messung von Spannungen** wird ein Meßgerät immer **parallel** zum Meßobjekt (hier R_x) geschaltet

Beachte: Der Widerstand R_S für den erweiterten Meßbereich bleibt in Serie zum Galvanometer geschaltet!



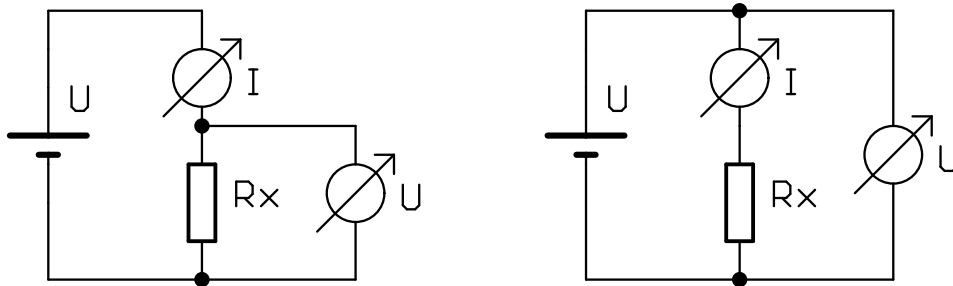
I wird am Galvanometer abgelesen, R_S und R_i sind bekannt. Durch R_S und das Galvanometer fließt der gleiche Strom I . Auch hier kann man aus dem Strom, der durch R_S und R_i fließt, über die 1. Kirchhoffsche Regel die Spannung, die über Widerstand R_x abfällt, bestimmen:

$$U_x = (R_S + R_i) I$$

R_S muß geeignet für maximale Spannungen U_{max} gewählt werden. Um die Genauigkeit der jeweiligen Messung bestimmen zu können, ist es erforderlich, das Ersatzschaltbild des Meßkreises mit allen Innenwiderständen nach den Kirchhoffschen Regeln analysieren zu können.

IV. Versuchsdurchführung

- ① Berechnen Sie den Innenwiderstand eines Drehspulmeßgerätes. Das Instrument zeigt Vollausschlag bei einem Strom von 1 mA bzw. einer Spannung von 200 mV.
- ② Bauen Sie aus diesem Instrument mit Hilfe der Ihnen zur Verfügung stehenden Widerstände R_1 bis R_5 ein Strommeßgerät mit Vollausschlag bei 300 mA. Wie groß ist sein Innenwiderstand?
- ③ Das soeben gebaute Strom-Meßinstrument soll bei der Bestimmung des unbekannten Widerstands R_x benutzt werden. Der Widerstand soll durch Strom- und Spannungsmessung mit folgenden beiden Schaltungen bestimmt werden:



Berücksichtigen Sie bei der Bestimmung von R_x die Innenwiderstände der in der Schaltung vorhandenen Meßinstrumente. Fertigen Sie zur Berechnung jeweils ein Ersatzschaltbild an.

Zur Spannungsmessung benutzen Sie das Digitalmultimeter (DMM) mit einem Innenwiderstand von $10\text{ M}\Omega$. Als Spannungsquelle steht Ihnen ein Netzgerät zur Verfügung. Benutzen Sie einen der variablen Ausgänge. Stellen Sie zunächst — bevor Sie die Schaltungen zusammenstecken — mit Hilfe des DMM die Ausgangsspannung von ca. 1 V ein. Der Knopf für die Strombegrenzung ist auf Maximum zu stellen.

Achtung: Während Sie eine Schaltung zusammenstecken, muß das Netzgerät ausgeschaltet sein. Erst nach Fertigstellung der Schaltung darf das Netzgerät eingeschaltet werden (Meßinstrumente hierbei beobachten!)

- ④ Bauen Sie nun mit dem Drehpulnstrument und den Widerständen R_1 bis R_5 ein Spannungsmeßgerät mit Vollausschlag bei 1,75 V. Wie groß ist sein Innenwiderstand?

Verwenden Sie dieses Gerät zur Messung der Spannung der Batterie. Messen Sie dieselbe Spannung mit dem DMM und dem Vielzweckmeßgerät (Unigor). Den Innenwiderstand des Unigors entnehmen Sie einer Tabelle auf der Rückseite des Meßgerätes.

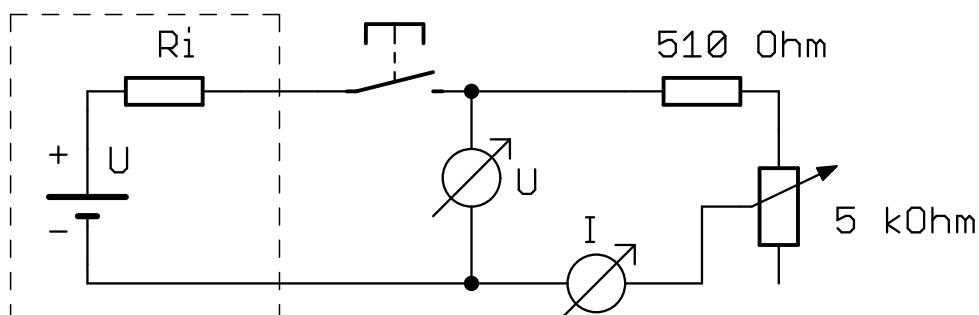
Erklären Sie die unterschiedlichen Meßergebnisse.

Achtung: Die Batterie sollte nur durch kurzen Druck auf den Taster belastet werden. Warum?

- ⑤ Messen Sie den Innenwiderstand der Batterie (Schaltschema unten!). Er wird größer sein als bei einer normalen Batterie, da ein „zusätzlicher Innenwiderstand“ eingebaut ist. Verwenden Sie zur Spannungsmessung das Vielzweckinstrument (Unigor).

Messen Sie U und I und tragen Sie U gegen I auf.

Bestimmen Sie U_0 und R_i .

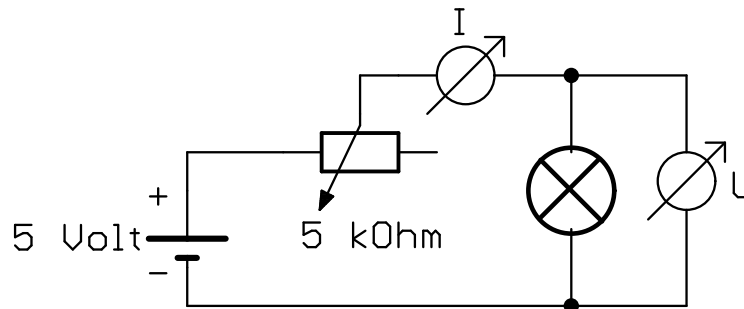


- ⑥ Messen Sie die Strom-Spannungs-Charakteristik (Kennlinie) einer Glühlampe und einer Diode. **Schaltschema siehe unten.**

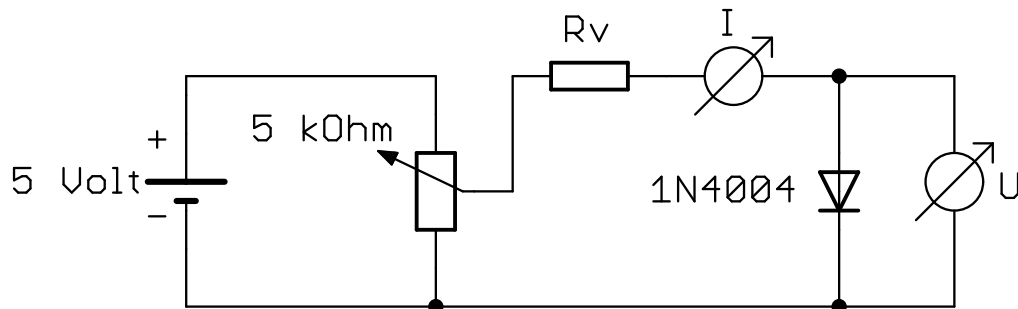
Stellen Sie die Ergebnisse graphisch dar.

Verwenden Sie zur Spannungsmessung das DMM und zur Strommessung das Unigor. **Als Spannungsquelle benutzen Sie den mittleren Ausgang des Netzgerätes mit der festen Ausgangsspannung von 5 V.**

- a) zur Messung der Kennlinie der Glühlampe



- b) zur Messung der Kennlinie einer Diode



Was bewirkt der Vorwiderstand R_v ? ($R_v = 16 \Omega$)

Anhang A

1. Geräteliste

1 Meßplatzeinheit mit 1 Gleichspannungsquelle HM8040

oder 1 regelbare Gleichspannungsquelle

1 Digitalmultimeter, z. B. Voltcraft 91

1 Vielzweckmeßgerät „UNIGOR“ 1 Versuchskasten (Steckbrett) mit: - 1 Drehspulinstrument

- 1 Batterie

- 1 Taster

- 1 Potentiometer

- 1 Glühlampe

- 1 Diode

- diverse Widerständen

2. Farbcode der Widerstände

Ziffer	Farbe	Zehnerpotenz
0	schwarz	10^0
1	braun	10^1
2	rot	10^2
3	orange	10^3
4	gelb	10^4
5	grün	10^5
6	blau	10^6
7	violett	10^7
8	grau	10^8
9	weiß	10^9
	gold	10^{-1}
	silber	10^{-2}

Die Widerstände sind durch 4 Farbringe gekennzeichnet: Zwei dieser Ringe geben Ziffern an, der dritte einer Zehnerpotenz, der vierte die Fehlertoleranz (gold = 5 %, silbern 10 %).

Beispiel: gelb - violett - braun - gold
 4 7 10^1 5 % = $470 \Omega \pm 23,5 \Omega$

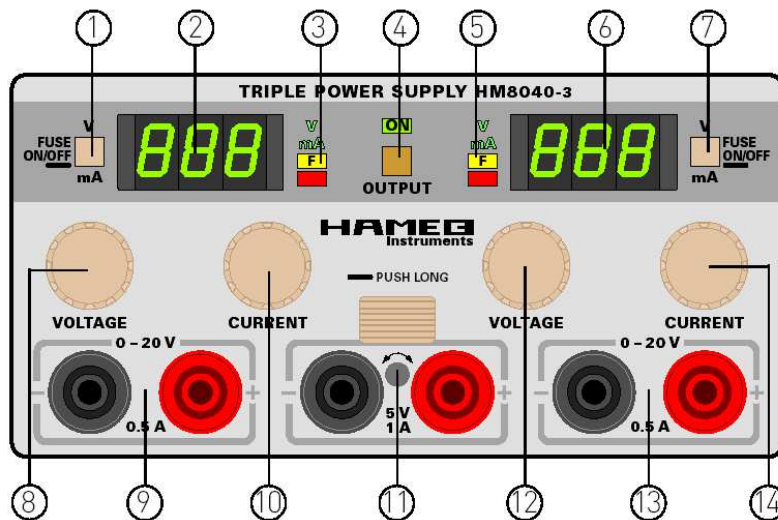
Es werden auch Metallfilmwiderstände mit 1% Toleranz und sechs Ringen verwendet. Bei ihnen geben die ersten drei Ringe Ziffern an, der vierte die Zehnerpotenz. Der fünfte Ring bezeichnet die Toleranz (braun = 1 %, rot = 2 %) und der sechste Ring einen Temperaturkoeffizienten (rot = $50 \mu/K$).

Gerätebeschreibungen

Netzgerät



Abbildung 1: Netzgerät: HAMEG-HM8040-3



Bedienelemente

④ OUTPUT

Ein-/ Ausschalten aller Ausgänge

⑪ 5V / 1A

5 V-Ausgang, mit Trimmer einstellbar
± ca.10%, max. 1 A, kurzschlussfest

20 V-Ausgang links

① V / mA / Fuse

Umschalten der Anzeige zwischen V und mA
Umschalten zwischen den Betriebsarten
„elektronische Sicherung“ und „Strombegrenzung“

② Display

3-stellige Anzeige (7-Segment LEDs)

- ③ V (LED) Spannungsanzeige gewählt
- mA (LED) Stromanzeige gewählt
- F (LED) elektronische Sicherung aktiv (Fuse)
- I_{\max} (LED) Strombegrenzung I_{\max} erreicht

⑧ VOLTAGE

Einstellen der Spannung 0...20 V

⑨ 0-20 V

Sicherheitsbuchsen, 20 V-Ausgang links

⑩ CURRENT

Strombegrenzung I_{\max} 0...0,5 A

20 V-Ausgang rechts

⑦ V / mA / Fuse

Umschalten der Anzeige zwischen V und mA
Umschalten zwischen den Betriebsarten
„elektronische Sicherung“ und „Strombegrenzung“

⑥ Display

3-stellige Anzeige (7-Segment LEDs)

- ⑤ V (LED) Spannungsanzeige gewählt
- mA (LED) Stromanzeige gewählt
- F (LED) elektronische Sicherung aktiv (Fuse)
- I_{\max} (LED) Strombegrenzung I_{\max} erreicht

⑫ VOLTAGE

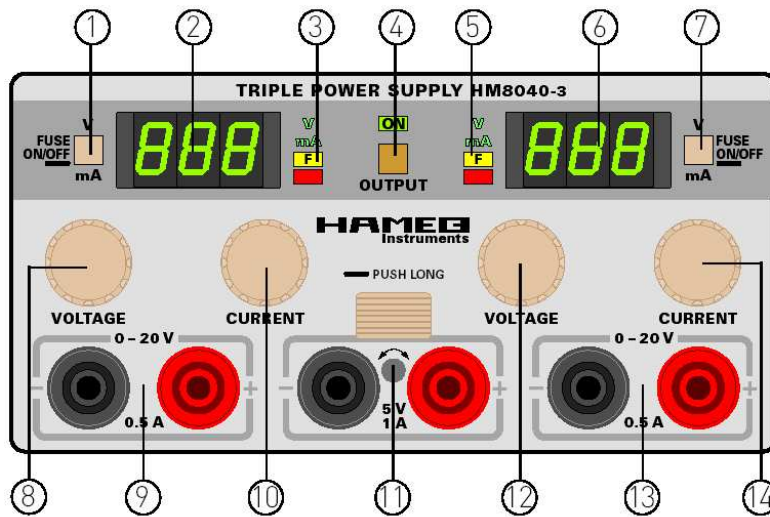
Einstellen der Spannung 0...20 V

⑬ 0-20 V

Sicherheitsbuchsen, 20 V-Ausgang rechts

⑭ CURRENT

Strombegrenzung I_{\max} 0...0,5 A



Bedienelemente und Anzeigen

① ⑦ V / mA / Fuse

- Taste „kurz“ betätigen: Umschalten der Anzeige des 7-Segment LED Displays zwischen Spannung (V) und Strom (mA)
- Taste „lang“ betätigen: Umschalten zwischen „Strombegrenzung“ und „elektronischer Sicherung“.

③ ⑤ V / mA / F (4 x LED)

V

Die Spannung an den Sicherheitsbuchsen wird mit 0,1 V Auflösung angezeigt.

mA

Der Ausgangsstrom mit einer Auflösung von 1 mA angezeigt.

F

Ist die elektronische Sicherung aktiv leuchtet diese LED.

I_{max}

Ist die Strombegrenzung aktiv und wird I_{max} erreicht leuchtet die unterste LED.

Strombegrenzung

Nach Einschalten des Netzgerätes befindet sich dieses immer im Modus „Strombegrenzung“. Mit CURRENT ⑩ ⑭ kann unabhängig für den rechten und linken 20 V-Ausgang je ein Wert I_{max} für die Strombegrenzung eingestellt werden. Wird an einem Ausgang, der mit CURRENT ⑩ ⑭ ein-

gestellte Strom I_{max} erreicht, wird der Strom auf I_{max} begrenzt. Der andere Ausgang funktioniert normal weiter. Wird auch dort I_{max} erreicht, geht dieser Ausgang ebenfalls in Begrenzung.

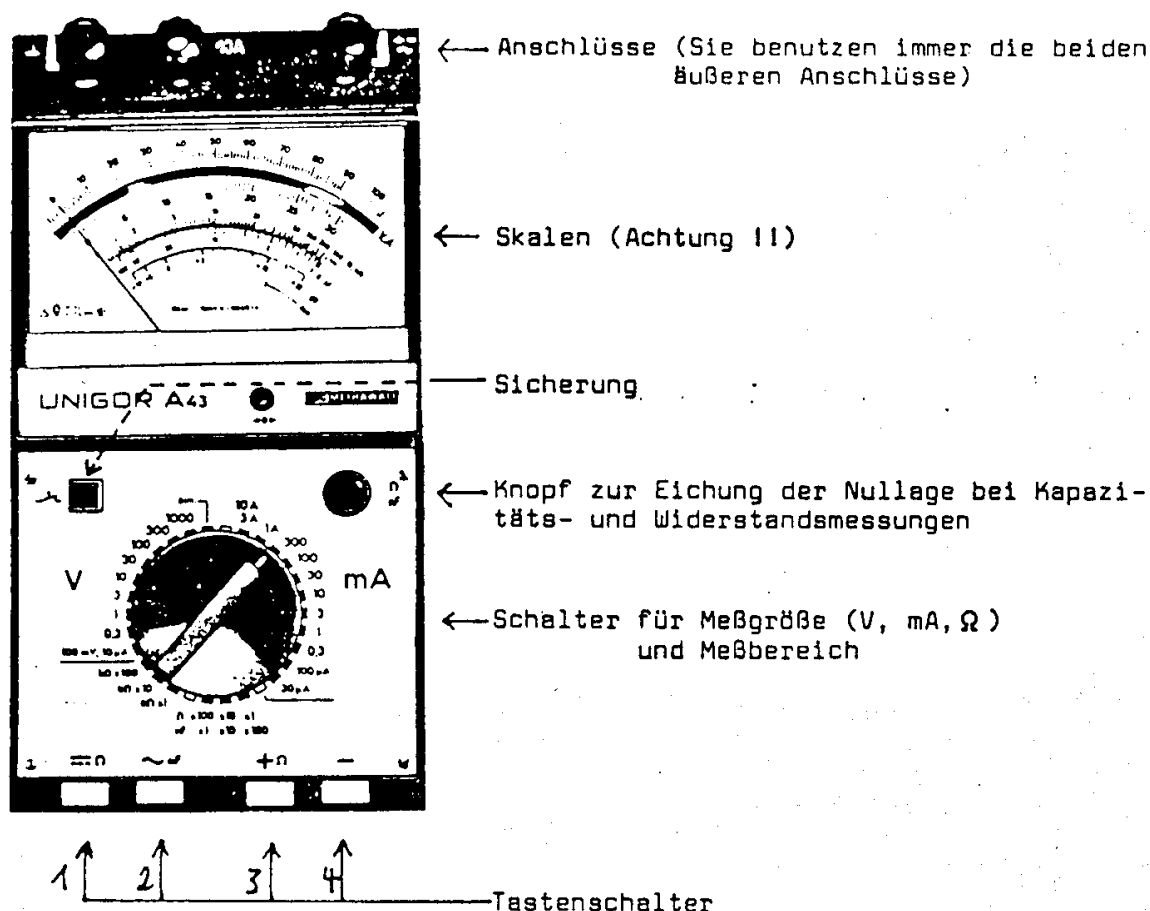
Um I_{max} einzustellen, wird der entsprechende Ausgang kurzgeschlossen und mit CURRENT ⑩ ⑭ der Wert von I_{max} eingestellt. Die unterste, rote LED ③ ⑤ leuchtet und signalisiert, dass sich der Ausgang in der Strombegrenzung befindet.

Elektronische Sicherung (Fuse)

Bevor der Modus „elektronische Sicherung“ gewählt wird, sind die Grenzwerte mit CURRENT ⑩ ⑭ einzustellen. Um die Grenzwerte einzustellen, wird im Modus „Strombegrenzung“ der entsprechende Ausgang kurzgeschlossen und mit CURRENT ⑩ ⑭ der Wert von I_{max} eingestellt. Der Kurzschluss des Ausgangs wird nun entfernt. Die Taste V/mA/Fuse ① ⑦ wird „lang“ betätigt. Die LED F ③ ⑤ leuchtet, das HM8040-3 befindet sich im Modus „elektronische Sicherung“. Wird jetzt der Grenzwert I_{max} eines Ausgangs erreicht, werden alle Ausgänge abgeschaltet. Um den Modus elektronische Sicherung zu verlassen, ist die Taste V/mA/Fuse ① ⑦ erneut „lang“ zu betätigen.

Beispiel:

Der linke 20 V-Ausgang befindet sich im Modus „Strombegrenzung“ und der rechte 20 V-Ausgang im Modus „elektronische Sicherung“. Wird im linken Ausgang der mit CURRENT ⑭ eingestellte Strom I_{max} erreicht, wird der Strom im linken Ausgang auf I_{max} begrenzt. Der rechte Aus-

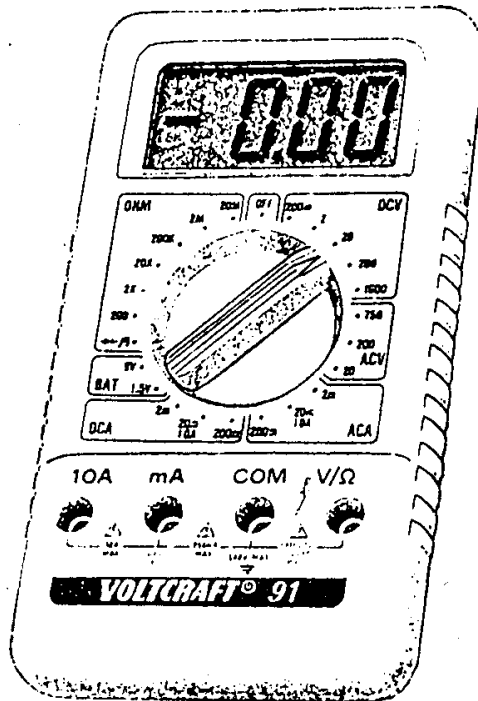


Mit dem Drehschalter wählen Sie die Meßgröße und deren Meßbereich; es ist darauf zu achten, daß von der entsprechenden Skala abgelesen wird. Beginnen Sie stets mit dem größten Meßbereich. Für Ihre Messungen benötigen Sie immer nur die beiden äußeren Anschlüsse.

Bei gedrücktem Schalter 1 können Sie Gleichspannungen messen. Die Tastenschalter 3 und 4 dienen der Umpolung bei Spannungsmessungen. Bei gedrücktem Schalter 2 können Sie Wechselspannungen oder Kapazitäten messen. Für Widerstandsmessungen müssen die Tastenschalter 1 und 3 gedrückt werden. Dazu muß im Gerät eine Batterie eingesetzt sein (Test dieser Batterie in Stellung „Batt.“ des Drehschalters).

Da die am Meßplatz befindlichen Unigors nicht alle vom Typ A 43 sind, beachten Sie die Unterseite des Gerätes, wo alle technischen Daten angegeben sind und die Funktionsweise des Unigors exakt beschrieben wird.

Digitalmultimeter VC 91



Das VC 91 ist hier als Beispielgerät gezeigt, es werden verschiedene DMM-Typen eingesetzt, deren Aufbau aber sehr ähnlich ist. Mit dem DMM können Sie Gleich- und Wechselspannungen (DCV bzw. ACV), Gleich- und Wechselströme (DCA bzw. ACA) sowie Widerstände (OHM) messen; in der Stellung mit dem Dioden- und Notenzeichen arbeitet das Gerät als Diodentester und Durchgangsprüfer. In Stellung BAT werden Batterien mit einem Strom von 100 mA (1,5 V) oder 6 mA (9 V) geprüft.

Ströme werden über die Buchsen „mA“ oder „10A“ und „COM“ gemessen. Alle anderen Messungen laufen über die Buchsen „V/Ω“ und „COM“. **Die Strommeßbereiche (außer 10 A) sind bei dem meisten geräten durch eine Schmelzsicherung 0,2 A (bei anderen Geröäten: 0,8 A oder 2 A!) geschützt. Falls bei Ihrem Gerät keine Strommessung möglich ist, bitten Sie den Assistenten, die Sicherung zu prüfen und verwenden ein anderes Gerät. Niemals dürfen Gleichspannungen über: 1000 V oder Wechselspannungen über 750 V angelegt werden!**

Die Meßgenauigkeiten (rel. Fehler des Ablesewertes, hinzu kommt 1 Digit (± 1 auf der letzten Stelle)):

- Gleichspannung: $\pm 0,5 \%$
- Wechselspannung: $\pm 1,2 \%$ bei 40 bis 400 Hz
 - Gleichstrom: $\pm 1 \%$, im 10 A-Bereich $\pm 2 \%$ + 3 Digits
- Wechselstrom: $\pm 1,2 \%$, im 10 A-Bereich $\pm 2 \%$, immer + 3 Digits
- Widerstand: $\pm 1 \%$, im 20 MΩ-Bereich $\pm 2 \%$ + 3 Digits

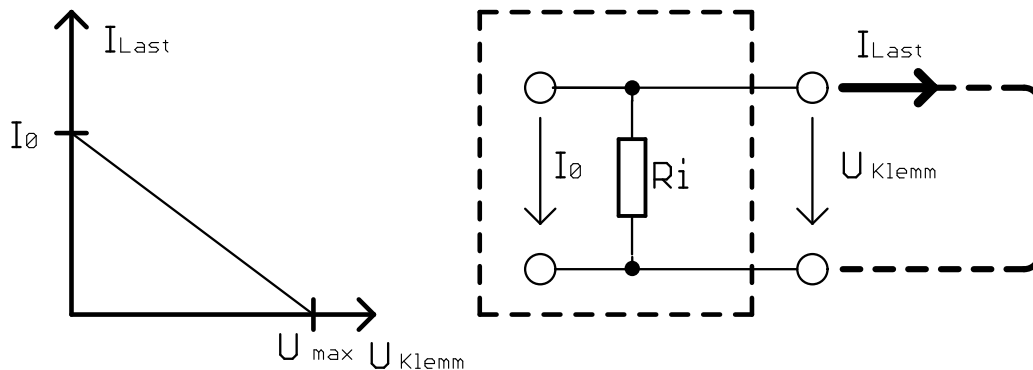
Anhang B

Der Begriff „Stromquelle“

Analog zum Begriff „Spannungsquelle“ verwendet man in der Schaltalgebra manchmal den Begriff „Stromquelle“. Eine *ideale Stromquelle* liefert an einen variablen Verbraucherwiderstand einen konstant bleibenden Strom, auch für den Grenzfall unendlich großen Verbraucherwiderstandes.

Reale Stromquellen können insbesondere im Fall des über alle Maßen wachsenden Lastwiderstandes keine unendlich große Spannung erzeugen, um den Strom konstant zu halten. Daher kann man reale Spannungsquellen wie Batterie, Netzgeräte usw. auch als reale Stromquelle betrachten.

Das Verhalten einer realen Stromquelle kann man anhand experimentell aufgenommener Belastungskennlinien (U - I -Diagramm) darstellen. Im Falle einer linearen Stromquelle (lineare Belastungskurve) kann man folgendes Ersatzschaltbild aufstellen:



Bei verschwindendem Klemmstrom (gleichbedeutend mit unendlich großem Lastwiderstand), wird eine maximale Klemmspannung gemessen.

$$U_{max} = I_0 R_i$$

Im Kurzschlußfall (Lastwiderstand = 0) fließt der Strom

$$I_k = I_0$$

Einsetzen ergibt für den Innenwiderstand:

$$R_i = \frac{U_{max}}{I_k}$$

Die in beiden Ersatzschaltbildern angenommenen Innenwiderstände sind also identisch, da sie sich jeweils als Quotient aus der Leerlaufspannung und Kurzschlußstrom ergeben. Ebenso stellen Spannungs- und Stromquellenkennlinien denselben Zusammenhang im U - I - bzw. I - U -Diagramm dar. Dementsprechend gibt es zwei Ersatzschaltbilder, die die gleiche Quelle einmal als reale Stromquelle und einmal als reale Spannungsquelle deuten.

Die Wahl zwischen den beiden Darstellungen wird dadurch bestimmt, welche der beiden Darstellungen der idealen Strom- oder Spannungsquelle näher kommt. Bei kleinem R_i wählt man die Spannungsquellendarstellung, wogegen bei großem R_i die Stromquellendarstellung angebracht ist. Das kann man auch an einem U - I -Diagramm nachvollziehen, wenn man sich eine (ideale) Strom- und eine (ideale) Spannungsquelle einzeichnet.

Machen Sie sich diesen Sachverhalt anhand der Belastungskennlinien klar!