

301 – Strom- und Spannungsmessung

Dieser Versuch beschäftigt sich mit der Messung von Strom, Spannung und Widerstand und untersucht dabei im Besonderen den Einfluss der Messgeräte auf die zu bestimmende Messgröße. Dazu werden die Innenwiderstände von Analog-Multimetern in Strom- und Spannungsbereichen bestimmt, ihre Einwirkung auf das Messergebnis untersucht und Korrekturmöglichkeiten aufgezeigt. Die Größe eines ohmschen Widerstandes wird mittels unterschiedlicher Methoden ermittelt: durch gleichzeitige Strom- und Spannungsmessung, mit Hilfe einer Wheatstoneschen Brückenschaltung sowie mit einem Digital-Multimeter. Besonderes Augenmerk liegt dabei auf einer realistischen Einschätzung der erreichbaren Messgenauigkeiten.

1. Aufgaben

- 1.1 Bestimmen Sie die Innenwiderstände von Analog-Multimetern in Spannungs- und Strommessbereichen.
- 1.2 Untersuchen Sie, wie Volt- und Amperemeter die Messung in Abhängigkeit von ihren Innenwiderständen verfälschen, und ermitteln Sie daraus die Leerlaufspannung bzw. den Kurzschlussstrom.
- 1.3 Bestimmen Sie den Wert eines Festwiderstandes durch unterschiedliche Methoden.

2. Grundlagen

Stichworte:

Ohmsches Gesetz, Spannungsteiler, Innenwiderstand, Messbereichserweiterung, Wheatstonebrücke, absoluter und relativer Fehler

2.1 Grundgesetze des elektrischen Stromkreises

Wird an einen elektrischen Leiter (z.B. Metalldraht) eine Spannung U angelegt, so fließt ein Strom I , welcher aufgrund des Widerstandes R (des Drahtes) nur einen endlich großen Wert annehmen kann.

Es gilt das **Ohmsche Gesetz:**

$U = R \cdot I$ (Strom und Spannung sind einander proportional; Proportionalitätsfaktor ist der Widerstand),

oder umgestellt nach I und R :

$I = U / R$ (die Größe des fließenden Stromes ist bei fester Spannung umgekehrt proportional zum (Gesamt-) Widerstand des Stromkreises) und

$R = U / I$ (durch Messen von Strom und Spannung lässt sich der Widerstand ermitteln).

An einem **Spannungsteiler** (im einfachsten Fall zwei in Reihe geschaltete Widerstände R_1 und R_2 ; vgl. Bild 1a) wird die Gesamtspannung U im Verhältnis der Widerstände aufgeteilt:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

Der durch beide Widerstände fließende Strom ist derselbe: $I = U / (R_1 + R_2)$. Man sagt: Der Strom I führt am Widerstand R_1 zu einem „Spannungsabfall“ von $U_1 = I \cdot R_1$ sowie an R_2 zu einem Spannungsabfall von $U_2 = I \cdot R_2$. Beide Spannungsabfälle addieren sich zur Gesamtspannung U .

Gibt es eine **Verzweigung** im Stromkreis (z.B. zwei parallel geschaltete Widerstände; vgl. Bild 1b), so liegt über beiden Widerständen unabhängig von ihrer Größe die volle Spannung U an, und es fließen die Teilströme $I_1 = U / R_1$ bzw. $I_2 = U / R_2$ welche sich zum Gesamtstrom I addieren.

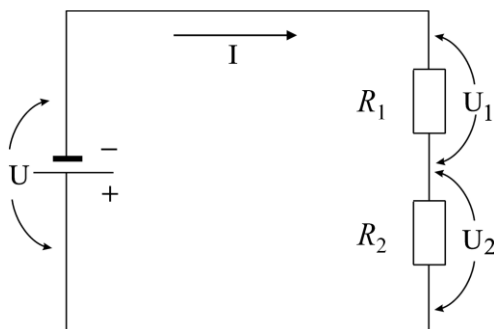


Bild 1a: Spannungsteiler.

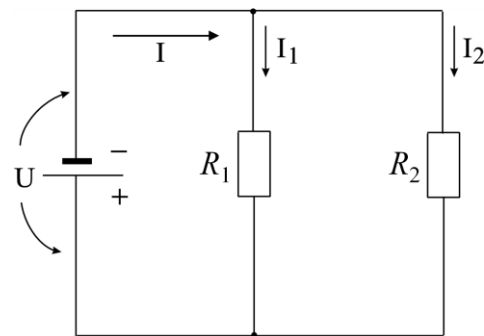


Bild 1b: Verzweigung.

Verallgemeinert finden sich diese Überlegungen in den sogenannten „Kirchhoffschen Regeln“ („Maschensatz“ und „Knotensatz“) wieder (z.B. /7/ oder /11/, siehe Web-Literaturverzeichnis oder Internet).

2.2 Reale Spannungsquellen

Bei der Darstellung des Spannungsteilers in Bild 1a wurde von einer idealen Spannungsquelle ausgegangen. Reale Spannungsquellen besitzen aber einen **Innenwiderstand** R_i , der im Falle eines Stromflusses zu einem Spannungsabfall und damit zu einer Verringerung der für den Verbraucher zur Verfügung stehenden Spannung führt (vgl. Bild 2) Nur wenn kein Strom fließt (äußerer Widerstand unendlich, kein Verbraucher angeschlossen), liegt die volle **Leerlaufspannung** U_0 an. Sobald ein äußerer Verbraucher (Lastwiderstand R_L) angeschlossen ist, wird die Spannung im Verhältnis R_i/R_L geteilt, und am Ausgang der Spannungsquelle misst man nur noch die Klemmenspannung U , deren Wert sich aus der Spannungsteilerregel (Gl. 1) ergibt:

$$\frac{U}{U_0} = \frac{R_L}{R_i + R_L} \quad (2).$$

Ist der äußere Widerstand gleich Null (Kurzschluss), so befindet sich nur noch der Innenwiderstand im Stromkreis, und es fließt der **Kurzschlussstrom** I_K :

$$I_K = \frac{U_0}{R_i} \quad (3).$$

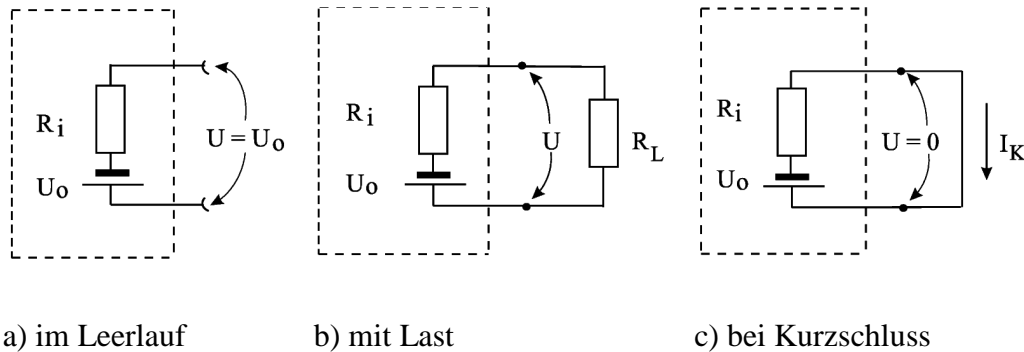


Bild 2: Spannungsquelle.

Es ist eine grundlegende Aussage der Elektrotechnik, dass eine beliebige Spannungsquelle (verallgemeinert: ein „aktiver Zweipol“) unabhängig von ihrer tatsächlichen internen Beschaltung immer durch zwei der drei Größen: Leerlaufspannung, Innenwiderstand und Kurzschlussstrom eindeutig charakterisiert ist und damit im **Ersatzschaltbild** z.B. durch eine ideale Quelle U_0 mit in Reihe geschaltetem R_i dargestellt werden kann.

Auf die Bedeutung des Innenwiderstandes bei der Messung von Strom und Spannung wird im Abschnitt 2.4 eingegangen.

2.3 Vielfachmesser

Analoge Vielfachmesser besitzen ein Drehspulmesswerk. Die Spule, welche von dem zu messenden Strom durchflossen werden soll, befindet sich drehbar gelagert und mit einem Zeiger verbunden im Feld eines Permanentmagneten und wird von einer Rückstellfeder in Nulllage gehalten. Bei Stromfluss wirkt eine Kraft, welche ein Verdrehen der Spule und damit einen Ausschlag des Zeigers auf der Skala zur Folge hat.

Die meisten der im Praktikum verwendeten Vielfachmesser sind so eingerichtet, dass ein Strom von $50 \mu\text{A}$ zum Vollausschlag des Zeigers führt. Da außerdem der Widerstand des Messwerkes auf $2 \text{ k}\Omega$ dimensioniert ist, erreicht man den Vollausschlag auch durch Anlegen einer Spannung von $U = R \cdot I = 2 \text{ k}\Omega \cdot 50 \mu\text{A} = 100 \text{ mV}$. Damit ergibt sich der Grundmessbereich (ohne zusätzliche Widerstände) zu $100 \text{ mV}/50 \mu\text{A}$.

Im Allgemeinen sollen natürlich auch größere Spannungen und Ströme gemessen werden. Dazu ist eine sogenannte **Messbereichserweiterung** erforderlich. Diese wird durch Reihenschaltung (Spannungsmessbereiche) bzw. Parallelschaltung (Strommessbereiche) geeignet dimensionierter Widerstände realisiert.

Beispiel: Gewünschter Messbereich 1 V (Vollausschlag)

es wird ein Widerstand von $18 \text{ k}\Omega$ in Reihe mit der Spule vom Messwerk ($2 \text{ k}\Omega$) geschaltet; dies entspricht einem Spannungsteiler $9:1$, d.h. bei 1 V angelegter Spannung fallen 0.9 V am Widerstand ab und $0.1 \text{ V} = 100 \text{ mV}$ an der Spule (= Vollausschlag).

Analog muss z. B. im Bereich 10 V ein Vorwiderstand von 198 k Ω verwendet werden (Spannungsteiler 99:1). Je höher die zu messende Spannung, desto größer der in Reihe geschaltete Widerstand.

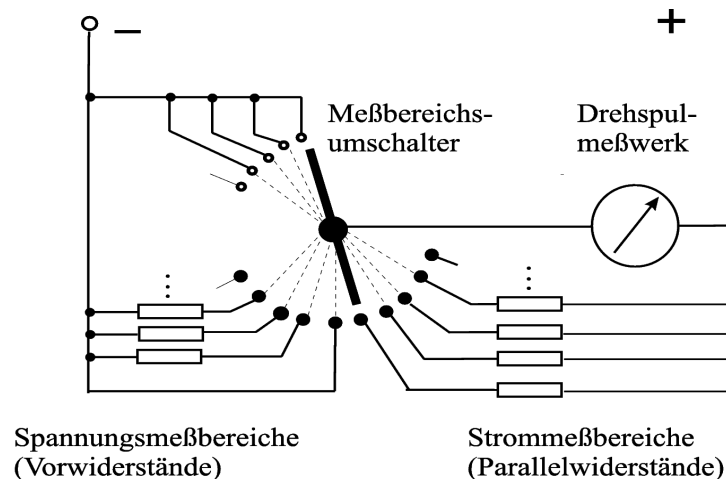


Bild 3: Prinzipschaltbild des Vielfachmessers.

Zur Erweiterung des Strommessbereiches werden kleinere Widerstände parallel zur Messspule geschaltet.

Beispiel: Gewünschter Messbereich 1 mA (Vollausschlag)

Es wird ein Widerstand von 105,3 Ω parallel zur Spule vom Messwerk (2 k Ω) geschaltet; dies entspricht einer Stromaufteilung $105,3 \Omega : 2 \text{ k}\Omega = 1:19$, d.h. von 1 mA fließen 0,95 mA über den Parallelwiderstand und 0,05 mA = 50 μA durch die Spule (= Vollausschlag).

Je mehr Strom fließt, desto kleiner muss der Parallelwiderstand sein!

Der Innenwiderstand des Messgerätes (welcher uns in den folgenden Kapiteln beschäftigen wird) ist demzufolge in jedem Messbereich ein anderer (in unserem ersten Beispiel (Voltmeter, Messbereich 1V) ist $R_{VM} = 18 \text{ k}\Omega + 2 \text{ k}\Omega = 20 \text{ k}\Omega$).

Hinweis: In den Strommessbereichen setzt man oft eine Kombination aus Reihen- und Parallelwiderständen ein, so dass die gemessenen Innenwiderstände nicht immer mit der vereinfachten Rechnung übereinstimmen.

2.4 Einfluss des Innenwiderstandes auf Spannungs- und Strommessung

Angenommen, Ihnen wird die Aufgabe gestellt, die Leerlaufspannung einer Spannungsquelle zu messen. Sie schließen das Messgerät an und ... müssten eigentlich stutzig werden, denn die Spannungsquelle befindet sich ja von diesem Moment an gar nicht mehr im Leerlauf! Durch das Gerät fließt ein Strom (logisch, sonst würde sich die Drehspule nicht bewegen), d.h. der Innenwiderstand des Messgerätes stellt einen Lastwiderstand gemäß Abschnitt 2.2 (Bild 2b) dar. Damit ist die vom Messgerät angezeigte Spannung U kleiner als die tatsächliche Leerlaufspannung U_0 . Die Größe der Abweichung hängt vom Verhältnis der Innenwiderstände ab:

dem des Messgerätes zu dem der Spannungsquelle (entspricht R_L zu R_i in Gl.2). Günstig ist immer ein hochohmiges Voltmeter an einer niederohmigen Quelle, wie es z.B. beim Messen der Netzspannung aus der Steckdose ($\sim 230\text{V}$, R_i sehr klein) mit einem üblichen Multimeter (Messbereich 250V , R_{VM} sehr groß) der Fall wäre, wo praktisch keine Verfälschung nachweisbar ist. In ungünstigen Fällen (R_{VM} und R_i in derselben Größenordnung, siehe Aufgabe 1.2) kann diese Verfälschung aber beachtlich sein.

Das Problem ist im Übrigen nicht auf ausgesprochene „Spannungsquellen“ beschränkt, sondern betrifft jede Spannungsmessung an irgendeiner Stelle in einer elektrischen Schaltung. Es gilt natürlich analog auch für die Messung von Strömen, wo der zu große Widerstand des Amperemeters ($R_{AM} \neq 0$) zur Fehlmessung führt.

Man kann sogar noch weiter verallgemeinern: Es ist ein grundsätzliches Problem der Messtechnik, den Einfluss des Messgerätes auf die zu messende Größe zu beachten, zu minimieren oder ggf. zu korrigieren (Korrektur z. B. wie in Abschnitt 2.5.1 beschrieben).

2.5 Widerstandsmessung

2.5.1 Widerstandsmessung durch Messung von Strom und Spannung

Die Widerstandsmessung beruht im Allgemeinen auf dem Ohmschen Gesetz, d.h. auf der (gleichzeitigen) Messung von Strom und Spannung. Es taucht dabei das Problem auf, dass immer nur eine der beiden Größen „richtig“ gemessen werden kann. Die andere wird durch das zweite Messgerät (dessen nicht zu vernachlässigenden Innenwiderstand) verfälscht.

Im Bild 4a (*stromrichtige* Schaltung) fließt durch das Amperemeter derselbe Strom wie durch den Widerstand, da beide in Reihe geschaltet sind. Die Spannung wird aber nicht nur über R sondern über $R+R_{AM}$ gemessen und ist dadurch mit einem systematischen Fehler behaftet. Sie ist zu groß. Berechnet man also R über die Gleichung $R = U / I$, so erhält man einen *zu großen* Widerstandswert.

Ist der Innenwiderstand des Amperemeters R_{AM} im verwendeten Messbereich bekannt, so kann der systematische Fehler in einfacher Weise korrigiert werden:

$$R = \frac{U}{I} - R_{AM} \quad (4).$$

Im Bild 4b (*spannungsrichtige* Schaltung) misst das Voltmeter die Spannung über R , so wie es sein muss. Jedoch zeigt jetzt das Amperemeter einen zu großen Strom an: den durch R fließenden plus einen zusätzlichen Anteil $I_{VM} = U / R_{VM}$, der durch das Voltmeter fließt. Damit wird der aus $R = U / I$ berechnete Widerstand *zu klein*. Eine Korrektur kann bei Kenntnis von R_{VM} im verwendeten Messbereich erfolgen, indem der „überschüssige“ Strom abgezogen wird:

$$R = \frac{U}{I - I_{VM}} = \frac{U}{I - \frac{U}{R_{VM}}} \quad (5).$$

Sind die Innenwiderstände nicht bekannt, so gilt die Faustregel: große Widerstände werden stromrichtig gemessen, kleine spannungsrichtig.

Frage an Physikstudenten: Warum?

Hinweis: Erfolgt die Messung mit Digitalmultimetern, so ist in jedem Fall die spannungsrichtige Schaltung vorzuziehen, weil bei diesen Geräten R_{VM} groß genug ist, um die Korrektur vernachlässigen zu können.

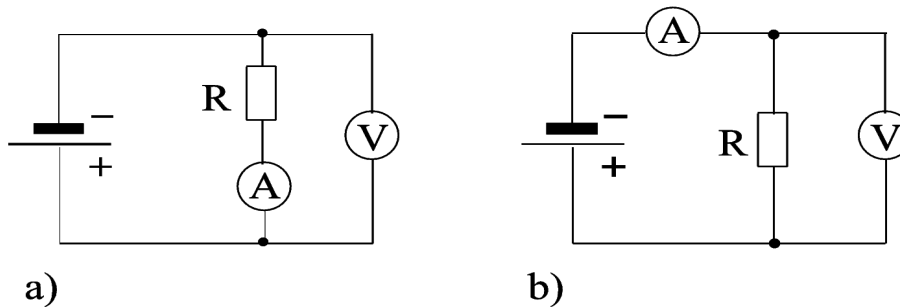


Bild 4: a) stromrichtige Schaltung und b) spannungsrichtige Schaltung.

2.5.2 Widerstandsmessung mit einer Wheatstoneschen Brücke

Eine Wheatstonesche Brücke besteht aus vier Widerständen, die entsprechend Bild 5 miteinander verbunden sind.

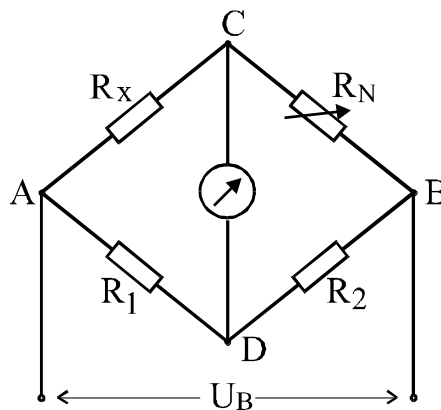


Bild 5: Wheatstonesche Brücke.

Zwischen den Punkten A und B liegt die Brückenspannung, zwischen C und D ist ein Messinstrument geschaltet. Durch geeignete Wahl der Widerstandswerte R_1 , R_2 , R_X und R_N kann erreicht werden, dass die Punkte C und D auf gleichem Potential liegen und damit durch das Instrument kein Strom fließt. Die Brücke ist dann abgeglichen. Die Abgleichbedingung lautet:

$$\frac{R_X}{R_N} = \frac{R_1}{R_2} \quad \text{daraus folgt} \quad R_X = R_N \cdot \frac{R_1}{R_2} \quad (1).$$

Ein unbekannter Widerstand R_X lässt sich also aus dem (veränderlichen) Vergleichswiderstand R_N und dem Verhältnis R_1/R_2 zweier bekannter Festwiderstände über Gl.(1) ermitteln. Lesen Sie dazu auch z.B. /1/ Abschnitt E 1.2!

3. Versuchsdurchführung

3.1 Messplatzbeschreibung

An den Ausgang eines Gleichspannungs-Netzgerätes ($U_{\max} = 30 \text{ V}$) wird eine in einem Kästchen fest verdrahtete Widerstands-Kombination angeschlossen, welche zwei Ausgänge besitzt: Spannungsquelle Q1 (hochohmig) und Q2 (niederohmig). Weiterhin befindet sich in dem Kästchen ein unbekannter Widerstand R_x . Zur Spannungs- und Strommessung dienen zwei Analog-Vielfachmesser: M1 und M2. Eine vorhandene Widerstands-Dekadenreihe kann als veränderlicher Lastwiderstand sowie als Widerstandsnormal der Brückenschaltung verwendet werden. Vervollständigt wird das Ganze durch ein Messbrücken-Nullinstrument, einen Spannungsteiler $R1 / R2$ sowie ein Digital-Multimeter als zusätzliches Widerstandsmessgerät.

3.2 Bestimmung der Innenwiderstände von Volt- und Amperemeter

Zur Vereinfachung legen wir fest, M1 als Voltmeter und M2 als Amperemeter zu benutzen (es wäre auch die umgekehrte Variante möglich).

3.2.1 Der Innenwiderstand R_{VM} des Voltmeters M1 ist im Messbereich 3V zu bestimmen. Dazu wird M1 als Spannungsmesser an Q1 angeschlossen und gleichzeitig mit M2 der durch das Messgerät fließende Strom gemessen (Bild 6a).

Um eine möglichst hohe Messgenauigkeit zu erreichen, ist bei beiden Messungen in der Nähe des Endausschlages des jeweiligen Meßbereiches zu arbeiten. Vergleichen Sie Ihre Ergebnisse mit Herstellerangaben bzw. mit den Erwartungen gemäß Abschnitt 2.3!

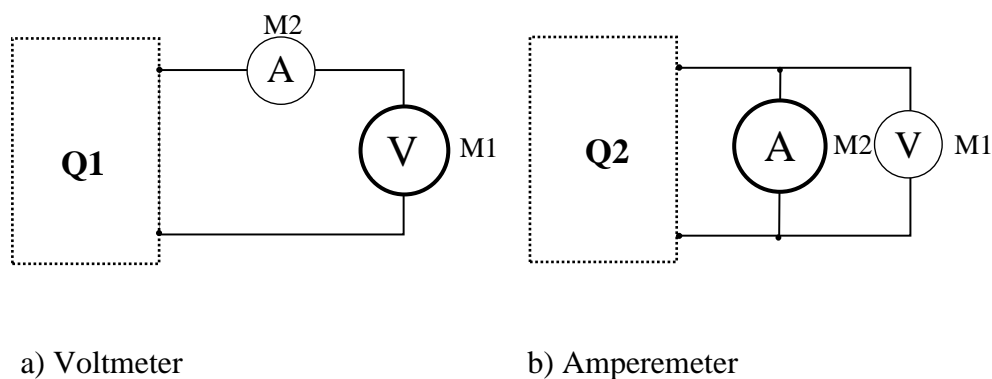


Bild 6: Messung des Innenwiderstandes: a) des Voltmeters und b) des Amperemeters.

3.2.2 Der Innenwiderstand R_{AM} des Amperemeters M2 ist im Messbereich 5 mA zu bestimmen. Dazu wird M2 als Strommesser an Q2 angeschlossen und gleichzeitig mit M1 der Spannungsabfall über dem Messgerät gemessen (Bild 6b).

3.3 Verfälschung von Spannungs- und Strommessung

Die hier vorgestellte Methode zur Korrektur systematischer Fehler durch *Extrapolieren* ist von prinzipieller Wichtigkeit und nicht auf das konkrete Messproblem beschränkt (vgl. dazu Internet: „Protokolle/Hinweise zum Extrapolieren“).

3.3.1 Bestimmung der Leerlaufspannung einer Spannungsquelle

Um den Effekt (Verfälschung der Messung aufgrund des nicht unendlich großen Widerstandes des Voltmeters) deutlich zu machen, wird im Versuch der ungünstigste Fall simuliert und die Messung an einer hochohmigen Quelle (Q1) durchgeführt.

Schließen Sie das Voltmeter M1 an Q1 an, verwenden Sie den gleichen Messbereich wie unter 3.2.1 und stellen Sie Vollausschlag ein. Verringern Sie nun stufenweise den Lastwiderstand durch Parallelschaltung von Dekadenwiderständen (parallel zu R_{VM} , Bild 7a) in ca. fünf Stufen bei $R_p = \infty$ (d.h. R_p nicht angeschlossen) beginnend.

Notieren Sie jeweils die vom Voltmeter angezeigte Klemmenspannung U . Zur Auswertung stellen Sie $1/U$ über $1/R_L$ grafisch dar ($1/R_L = 1/R_{VM} + 1/R_p$). Verlängern Sie die dabei entstehende Gerade, bis sie die Ordinatenachse schneidet (Abszissenwert $1/R_L = 0$ entspricht einem idealen Voltmeter mit $R_{VM} = \infty$). Der Schnittpunkt ist gleich $1/U_o$!

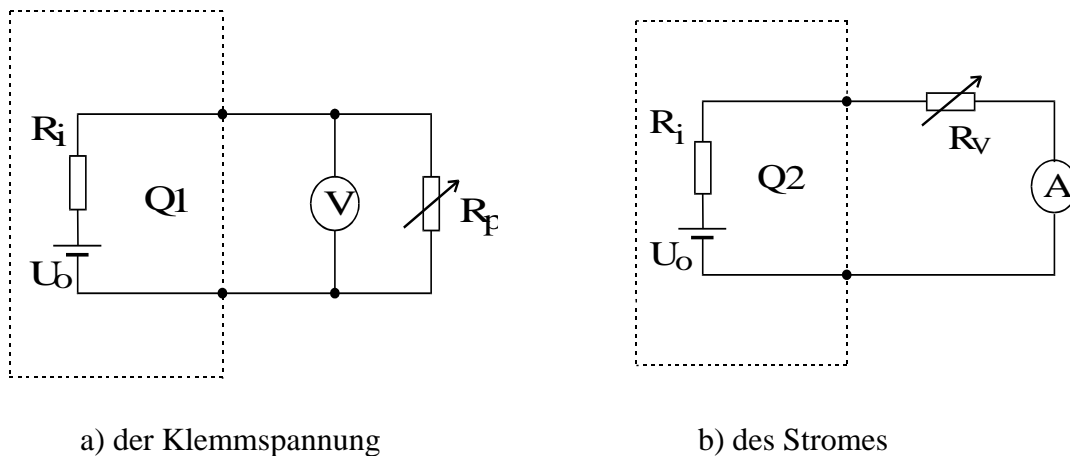


Bild 7: Messung der Lastabhängigkeit.

3.3.2 Bestimmung des Kurzschlussstromes

Die Messung und Auswertung verläuft analog zu 3.3.1. Das Amperemeter M2 wird an eine niederohmige Quelle (Q2) angeschlossen (gleicher Messbereich wie 3.2.2, Maximalausschlag), der Lastwiderstand durch Reihenschaltung von Dekadenwiderständen (Bild 7b) stufenweise (Beginn bei $R_v = 0$) erhöht und der jeweilige Strom I notiert.

Stellen Sie $1/I$ in Abhängigkeit von R_L ($R_L = R_{AM} + R_v$) grafisch dar und extrapolieren Sie auf $R_L = 0$. Der Achsenschnittpunkt ist $1/I_K$.

Vergleichen Sie Ihre Ergebnisse für U_o und I_K mit den ursprünglich (ohne Parallel- bzw. Vorwiderstände) von den Messgeräten angezeigten Werten!

3.4 Messung eines unbekanntes Widerstandes

3.4.1 ... durch Strom- und Spannungsmessung

Bestimmen Sie den unbekanntes Widerstand R_x nacheinander in stromrichtiger und spannungsrichtiger Schaltung jeweils durch gleichzeitige Strom- und Spannungsmessung (Bild 4). Als Spannungsquelle dient der Ausgang Q2. Nutzen Sie wenn möglich diejenigen Messbereiche, deren Innenwiderstände Sie bereits bestimmt haben (ansonsten R_{VM} und R_{AM} den Geräteangaben entnehmen oder gemäß Abschnitt 2.3 berechnen).

Berechnen Sie für beide Schaltungen (stromrichtig und spannungsrichtig) den unbekanntes Widerstand R_x

- nach dem Ohmschen Gesetz (ohne Korrektur) und
- mit der jeweiligen Korrekturformel (Gl. 4 bzw. 5).

Ist bei den im Versuch vorliegenden Werten für R_x , R_{VM} und R_{AM} die strom- oder die spannungsrichtige Schaltung günstiger, falls man nur nach dem Ohmschen Gesetz rechnet und auf die Korrektur verzichtet?

Vergleichen Sie Ihr Ergebnis außerdem mit der Messung des Widerstandes mittels eines digitalen Widerstandsmessers.

3.4.2 ... mit einer Wheatstone-Brücke

Bauen Sie eine Wheatstonesche Brückenschaltung auf. Die Spannung kann direkt vom Stromversorgungsgerät genommen werden, sollte dabei aber $U = 5 \text{ V}$ nicht überschreiten, um das empfindliche Messwerk nicht zu beschädigen.

Da durch den vorhandenen Spannungsteiler das Verhältnis $R_1 : R_2$ auf $1 : 1$ festgelegt ist, ergibt sich aus Gl.6 vereinfachend $R_x = R_N$!

3.5 Messgenauigkeit

Auf den Skalenfeld der Vielfachmesser sind die wichtigsten Eigenschaften durch Symbole angegeben: Messwerkart (meist Drehspulinstrument), Betriebslage, Prüfspannung, und die Güteklasse in % (meist 1.5 für Gleichstrom und 2.5 für Wechselstrom). Die Güteklasse gibt die Messgerätetoleranz an, und zwar in Prozent vom Endwert des jeweils eingestellten Messbereiches. Dieser Wert und (hinzuaddiert) die Ablesegenauigkeit der Skala ergeben zusammen den absoluten Fehler ΔU bzw. ΔI des Messwertes.

Beispiel einer Spannungsmessung :

Gleichspannungsmessbereich 3 V ; Güteklasse 1.5 ; 1 Skalenteilstrich (Skt.) 0.1 V
 abgelesener Wert: $U = 2.63 \text{ V}$

Messgerätetoleranz: $\pm 1.5 \% \text{ von } 3 \text{ V} \rightarrow \Delta U^{(1)} = \pm 0.045 \text{ V}$
 Ablesegenauigkeit: $\pm \text{ein Zehntel (!) Skt.} \rightarrow \Delta U^{(2)} = \pm 0.01 \text{ V}$
 absoluter Fehler des Messwertes: $\Delta U = \Delta U^{(1)} + \Delta U^{(2)} = 0.055 \text{ V} \approx 0.06 \text{ V}$

Ergebnis: $U = (2.63 \pm 0.06) \text{ V}$
 relativer Fehler: $\Delta U / U = 0.06 / 2.63 = 0.023 \text{ (2.3 \%)}$

Eine Bemerkung zur Güteklasse: Mit der Güteklasse 1.5 wird vom Hersteller ein sehr großzügig bemessener Toleranzbereich vorgegeben. Die im Versuch eingesetzten Analog-Multimetern erweisen sich bei Kontrollmessungen als wesentlich genauer. Es ist realistischer, den Gerätefehler (anstatt 1.5%) mit 0.5% vom Skalenendwert anzusetzen.

Beachten Sie, dass der Messfehler davon abhängt, in welchem Teil der Skala abgelesen wird. Misst man kleinere Werte ohne den Messbereich zu verändern, so ist zwar der absolute Fehler ΔU derselbe (gleicher Skalenendwert, gleiche Skalenteilung), aber der relative Fehler $\Delta U/U$ wird deutlich größer und damit die Messung ungenauer.

Beispiel $U = 0.86 \text{ V}$ (Messbereich 3V): $\Delta U = \pm 0.06 \text{ V} \rightarrow \Delta U/U = 0.070$ (7.0 %)!

Eine Verbesserung ergibt sich in diesem Fall durch Umschalten auf den nächst niedrigeren Messbereich (Skalenendwert 1 V, 1 Skt. = 0.02 V):

$$\begin{aligned}\Delta U^{(1)} \text{ ist dann } & \pm 1.5 \% \text{ von } 1 \text{ V} = \pm 0.015 \text{ V} \\ \Delta U^{(2)} \text{ ist dann } & \pm 0.004 \text{ V} \text{ (geschätzte Genauigkeit: } \pm \text{ zwei Zehntel Skt.)}.\end{aligned}$$

Daraus folgt: $\Delta U = 0.019 \text{ V} \approx 0.02 \text{ V}$ und $\Delta U/U$ liegt wieder bei $0.02/0.86 = 2.3 \%$

Merkregel: Der Messbereich sollte immer so gewählt werden, dass in der oberen Hälfte (noch besser: im oberen Drittel) der Skala abgelesen werden kann.

Weitere Hinweise: Beachten Sie die unterschiedlichen Skalen für Gleichstrom (schwarz) und Wechselstrom (rot) bei den Strommessungen sowie bei Spannungsmessungen für 1er-Messbereiche (1V, 10V, 100V, ..) und 3er-Messbereiche (3V, 30V, 300V). Für Messungen im Bereich 100 mV / 50 μ A ist der Anschluss **V Ω** (nicht mA) zu benutzen.

Literatur:

siehe Link: http://www.physik.uni-jena.de/Literatur_p_131600.html