	Fachbereich A/I Elektrotechnik Prof. Dr. W. Baier	
	Laborpraktikum	
Hochschule für angewandte Wissenschaften (FH) Wernigerode	Versuch: ET 2 Version: 29.03.08	Thema: Messung elektrischer Grundgrößen

Versuchsziele

1. Kennenlernen der Stromversorgungs- und Messgeräte
2. Messbereichserweiterung
3. Messungen am Grundstromkreis und Spannungsteilerregel
4. Anwendung der Stromteilerregel
5. Strom- und spannungsrichtige Widerstandsmessung
6. Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes

Versuchsgrundlagen und Versuchsvorbereitung

Die in der Versuchsdurchführung mit (A) gekennzeichneten Aufgaben sind vorher zu Hause schriftlich auszuarbeiten!

Beim Messen von Spannung oder Stromstärke treten Messfehler auf. Man unterscheidet systematische und zufällige Fehler. Systematische Messfehler resultieren sowohl aus der Ungenauigkeit der Messgeräte, als auch aus der Messmethode. Gerätefehler entstehen durch ungenaue Kalibrierung sowie durch Nichtlinearitäten zwischen der Messgröße und der Anzeige. Fehler, die durch die Messmethode bedingt sind, haben ihre Ursache oft im zu hohen Eigen-Energieumsatz des Messgerätes. Zufällige Messfehler sind nicht reproduzierbar und führen zur Streuung der Messwerte um einen statistischen Mittelwert.

Der zu erwartende Messfehler kann als Absolutwert (mit Einheit) oder als Relativwert (in Prozent) angegeben werden. Bei der Bestimmung einer Messgröße durch eine einzige Messung ist zur Beurteilung des Messergebnisses in der Regel der maximal zu erwartende absolute Messfehler interessant. Er berücksichtigt systematische Messabweichungen sowie den Quantisierungsfehler des Analog/Digital-Wandlers und wird vom Hersteller für die einzelnen Messbereiche angegeben.

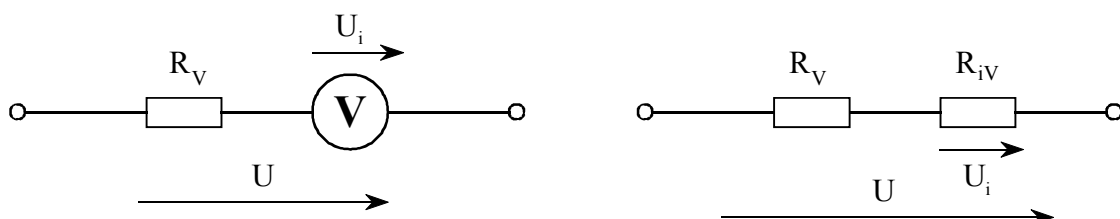
Der Messbereich soll immer so ausgewählt werden, dass mit maximal möglicher Auflösung gearbeitet wird (Überlauf beachten!). Bei Analoginstrumenten sollte die Anzeige im letzten Drittel des Skalenbereichs erfolgen.

Messbereichserweiterung

a) Erweiterung des Spannungsmessbereichs

Der Spannungsmessbereich soll von der Spannung U_i auf eine höhere Spannung U erweitert werden.

Dabei sei $p = \frac{U}{U_i}$ der Erweiterungsfaktor. In der rechten Abb. wird das zu erweiternde Voltmeter durch seinen Innenwiderstand R_{iV} dargestellt.



R_V - Vorwiderstand für die Messbereichserweiterung
 R_{iV} - Innenwiderstand des Voltmeters

Bild 1

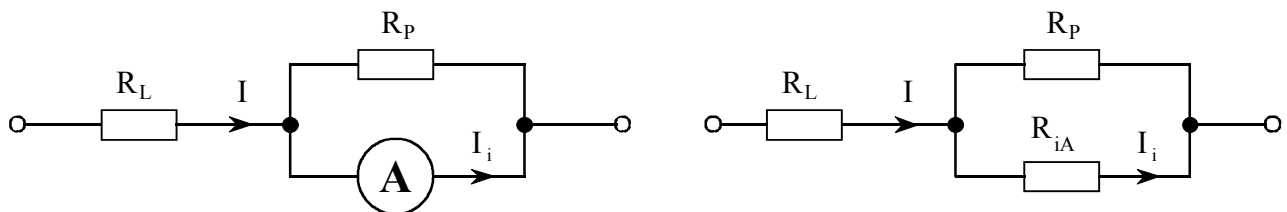
Der Vorwiderstand R_V für die Erweiterung des Spannungsmessbereichs kann mit Hilfe der Spannungsteilerregel berechnet werden:

$$\frac{U_i}{U} = \frac{U_i}{p U_i} = \frac{R_{iV}}{R_{iV} + R_V} \quad \text{daraus folgt: } p = 1 + \frac{R_V}{R_{iV}}$$

Für den Vorwiderstand erhält man: $R_V = (p - 1) R_{iV}$

b) Erweiterung des Strommessbereichs

Der Strommessbereich soll von der Stromstärke I_i auf eine höhere Stromstärke I erweitert werden. Dabei sei $p = \frac{I}{I_i}$ der Erweiterungsfaktor. In der rechten Abb. wird das zu erweiternde Amperemeter durch seinen Innenwiderstand R_{iA} dargestellt.



R_p - Parallelwiderstand für die Messbereichserweiterung (engl. Shunt)

Bild 2

R_{iA} - Innenwiderstand des Amperemeters

R_L - Lastwiderstand (Verbraucher)

Der Parallelwiderstand für die Erweiterung des Stromstärkemessbereichs kann mit Hilfe der Stromteilerregel berechnet werden:

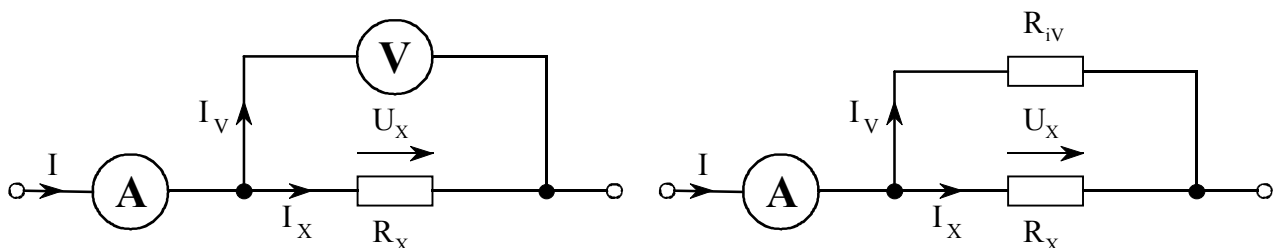
$$\frac{I_i}{I} = \frac{I_i}{p I_i} = \frac{R_p}{R_p + R_{iA}} \quad \text{daraus folgt: } p = 1 + \frac{R_{iA}}{R_p}$$

Für den Parallelwiderstand erhält man: $R_p = \frac{R_{iA}}{p - 1}$

Strom- und spannungsrichtige Widerstandsmessung

a) Spannungsrichtige Messschaltung

Der Spannungsabfall U_X am Messobjekt R_X wird direkt und damit unverfälscht gemessen, weil Widerstand und Voltmeter parallel geschaltet sind. Durch das Amperemeter fließt der Strom $I = I_X + I_V$. In der rechten Abb. wird das Voltmeter durch seinen Innenwiderstand R_{iV} dargestellt.



R_X - tatsächlicher Widerstand (Messobjekt)

Bild 3

R_{iV} - Innenwiderstand des Voltmeters

Der gemessene Widerstand R_X^* ergibt sich aus:

$$R_X^* = \frac{U_X}{I} = \frac{U_X}{I_X + I_V}$$

$$\frac{1}{R_X^*} = \frac{I_X}{U_X} + \frac{I_V}{U_X}$$

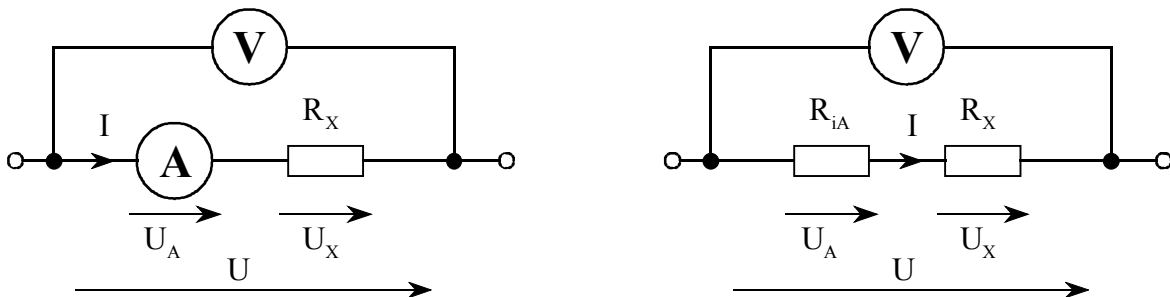
$$\frac{1}{R_X^*} = \frac{1}{R_X} + \frac{1}{R_{iV}}$$

$$R_X^* = R_X \parallel R_{iV} \text{ dh. } R_X^* < R_X$$

Der gemessene Strom I ist größer als der durch den Widerstand R_X fließende Strom I_X . Der gemessene Widerstand R_X^* ist damit kleiner als der tatsächliche Widerstand R_X des Messobjekts. Der Innenwiderstand R_{iV} des Voltmeters sollte im Vergleich zum Messobjekt sehr hochohmig sein, damit der Teilstrom I_V vernachlässigt werden kann. (ideales Voltmeter: $R_{iV} \rightarrow \infty$)

b) Stromrichtige Messschaltung

Bei der stromrichtigen Messung wird die durch den Widerstand R_X fließende Stromstärke I ohne Verfälschung gemessen, weil der Strom durch den Widerstand R_X auch durch das Amperemeter fließt. In der rechten Abb. wird das Amperemeter durch seinen Innenwiderstand R_{iA} dargestellt.



R_X - tatsächlicher Widerstand (Messobjekt)

R_{iA} - Innenwiderstand des Amperemeters

Bild 4

Die gemessene Spannung U ist um den Spannungsabfall U_A am Amperemeter größer als die Spannung U_X , die am Widerstand R_X anliegt.

Der gemessene Widerstand R_X^* ergibt sich aus:

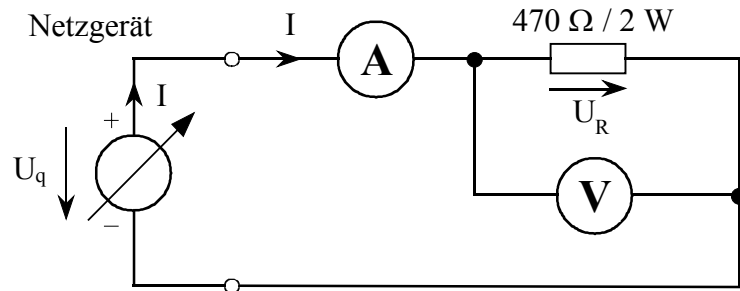
$$R_X^* = \frac{U}{I} = \frac{U_X + U_A}{I} = \frac{U_X}{I} + \frac{U_A}{I}$$

$$R_X^* = R_X + R_{iA} \text{ d.h. } R_X^* > R_X$$

Der gemessene Widerstand R_X^* ist damit größer als der tatsächliche Widerstand R_X , d. h. der Innenwiderstand des Amperemeters sollte im Vergleich zum Messobjekt sehr niederohmig sein, damit der Spannungsabfall am Amperemeter vernachlässigt werden kann. (ideales Amperemeter: $R_{iA} = 0$)

Versuchsdurchführung

1. Kennenlernen des Stromversorgungsgerätes



Spannungsmessung mit M - 4650 CR
($\pm 0,05\% + 3$ Digits)

Auflösung: 1 mV im 20 V - Bereich
10 mV im 200 V - Bereich
10 μ V im 200 mV-Bereich

Stromstärkemessung mit M - 3610 B
($\pm 1,2\% + 1$ Digit)

Auflösung: 100 μ A im 200 mA - Bereich

Bild 5

- A 1.1.** Welcher Spannungsabfall U_R stellt sich am Widerstand R bei einem am Stromversorgungsgerät eingestellten Konstantstrom von $I = 60$ mA ein?
- A 1.2.** Wie groß ist die dann am Widerstand R in Wärme umgesetzte Leistung P bei $I = 60$ mA?
- A 1.3.** Wie groß wäre die am Widerstand R umgesetzte Verlustleistung P ohne Strombegrenzung des Stromversorgungsgerätes bei $U_q = 30$ V?
- A 1.4.** Bei welcher Spannung U_q des Netzgerätes wäre der Widerstand R ohne Strombegrenzung mit einer max. Verlustleistung von $P = 2$ W überlastet?

Es ist die Messschaltung nach Bild 5 aufzubauen. Vor dem Einschalten des Netzgerätes sind folgende Grundeinstellungen vorzunehmen:

1. Der Spannungsregler ist auf Linksanschlag, der Stromregler auf Rechtsanschlag einzustellen.
2. Der Strommesser ist auf den 200 mA-Bereich (DCA), der Spannungsmesser ist auf den 200 V-Bereich (DCV) einzustellen. (DC: direct current; AC: alternating current)
3. Die Schaltung sollte noch einmal vom Laboringenieur überprüft werden. Netzgerät einschalten.
4. Die Spannung des Gleichspannungsnetzgerätes ist auf $U_q = 30$ V einzustellen.
5. Mit Hilfe des Strombegrenzungsreglers wird nun eine Stromstärke von $I = 60$ mA eingestellt. Dazu ist der Stromregler durch langsames Linksdrehen soweit zu verändern, bis die Stromstärke auf $I = 60$ mA abgesunken ist. Die auf 60 mA eingestellte Strombegrenzung soll im weiteren Versuch nicht mehr verändert werden (Schutzfunktion für die R-Dekade)!
6. Mit dem Spannungsregler ist eine Spannung von $U_q = 5$ V einzustellen.

Der Widerstand R wird nun durch die Widerstandsdekade RD 4E ersetzt.

An der Widerstandsdekade sind jeweils die Werte lt. Tabelle 1 einzustellen. Am Spannungsmesser ist der 20 V- Bereich einzustellen.

Die Messwerte werden in diesem Versuch zur Unterscheidung von den Rechenwerten mit einem Stern (*) gekennzeichnet.

A 1.6. Berechnen Sie die Stromstärke I für die einzelnen Widerstände in Tabelle 1!

M 1.7. Messen Sie die Stromstärke I^* und den Spannungsabfall U_R^* und ermitteln Sie daraus jeweils R^* für die einzelnen Widerstände in Tabelle 1! Tragen Sie alle Werte in Tabelle 1 ein!

- R^* aus den Messwerten von U_R^* und I^* berechneter Widerstandswert
 R aufgedruckter Widerstandswert (Nennwert)
 U_R^* Spannung (Messwert)
 I^* Stromstärke (Messwert)
 I Stromstärke (Rechenwert)

A 1.8. Berechnen Sie den relativen Fehler $F = (|R^* - R| / R) \cdot 100\%$ zwischen aufgedrucktem Widerstandswert und Messwert! Tragen Sie alle Werte in Tabelle 1 ein!

R / Ω	I / mA	I* / mA	U _R * / V	R* / Ω	F in %
250					
200					
150					
120					
100					
90					

Tabelle 1

2. Messbereichserweiterung

Der Messbereich des Analoginstruments MA 1H soll erweitert werden (Drehspulinstrument, Spannungsabfall $U_i = 158\text{ mV}$ bei $I_i = 50\text{ }\mu\text{A}$ Vollausschlag im kleinsten Messbereich).

A 2.1. Berechnen Sie den Innenwiderstand R_{iV} des Multimeters MA 1H!
Bei diesem Messgerät gilt im kleinsten Messbereich: $R_{iA} = R_{iV}$.

A 2.2. Berechnen Sie den für eine Spannungsmessbereichserweiterung notwendigen Vorwiderstand R_v !

A 2.3. Berechnen Sie den für eine Strommessbereichserweiterung notwendigen Parallelwiderstand R_p !

Entwerfen Sie alle Messschaltungen und zeigen Sie die Messschaltungen vor Versuchsaufbau dem Laborleiter!

Aus der Anzeige des MA 1H und aus dem Umrechnungsfaktor p sind die durch Messbereichserweiterung gemessenen Spannungen bzw. Ströme zu bestimmen. Zur Einstellung der Spannungen bzw. Stromstärken ist als Referenz- und Kontrollinstrument das Digitalmultimeter M-4650 CR einzusetzen! Die berechneten Widerstände sind mit Hilfe der Widerstandsdekade einzustellen. Bei der Strommessbereichserweiterung (b) ist zusätzlich ein Lastwiderstand $R_L = 100\text{ }\Omega$ / 2W (Festwiderstand) in Reihe zum Netzgerät zu schalten, um einen Kurzschluss zu vermeiden!

	Messbereich	Erweiterung auf	p	R_v	R_p	Messwert MA 1H	Kontrollwert M - 4650 CR
a)	0,158 V	0,5 V			—		
b)	50 μA	5 mA		—			

Tabelle 2

M 2.4. Vervollständigen Sie die Tabelle 2 mit den Messwerten!

3. Messungen am Grundstromkreis

Ein aktiver Zweipol soll durch eine ideale Spannungsquelle mit $U_q = 7 \text{ V}$ mit einem Innenwiderstand von $R_i = 100 \text{ } \Omega$ nachgebildet werden (Bild 6). Setzen Sie für R_a Festwiderstände ein! (keine Dekade!)

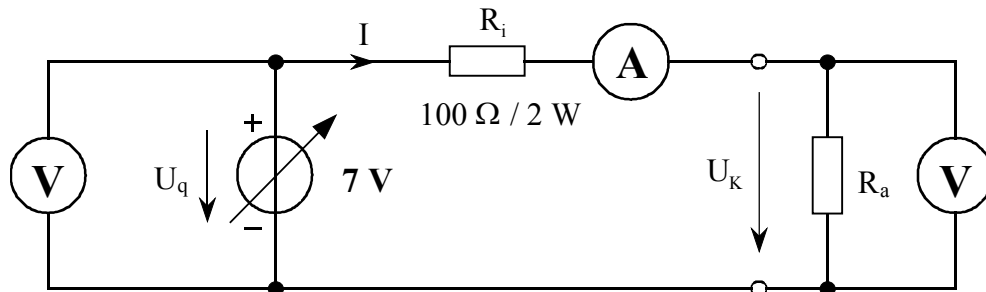


Bild 6

A 3.1. Berechnen Sie die Klemmenspannung U_K und Stromstärke I für alle Widerstände R_a und berechnen Sie die an R_a umgesetzte Leistung P_a !

M 3.2. Messen Sie U_K^* und I^* und vervollständigen Sie Tabelle 3!

3.3. Bestimmen Sie den Widerstand R_a^* aus den Messwerten von U_K^* und I^* !

3.4. Berechnen Sie den relativen Fehler $F = (|R_a - R_a^*| / R_a) \cdot 100 \%$ zwischen aufgedrucktem Widerstandswert und Messwert (Tabelle)!

R_a / Ω	U_K / V	I / mA	P_a / mW	U_K^*	I^*	R_a^*	F
100							
150							
220							
330							
470							
680							

Tabelle 3

4. Stromteilerregel

Wiederholen Sie alle 3 Varianten der „Stromteilerregel“ aus der Vorlesung „Grundlagen der Elektrotechnik“! Es ist die Messschaltung nach Bild 7 aufzubauen. Die Quellenspannung soll so eingestellt werden, dass am Widerstand R_2 eine Spannung von $U_2 = 7 \text{ V}$ anliegt. Der Widerstand R_1 beträgt 100Ω .

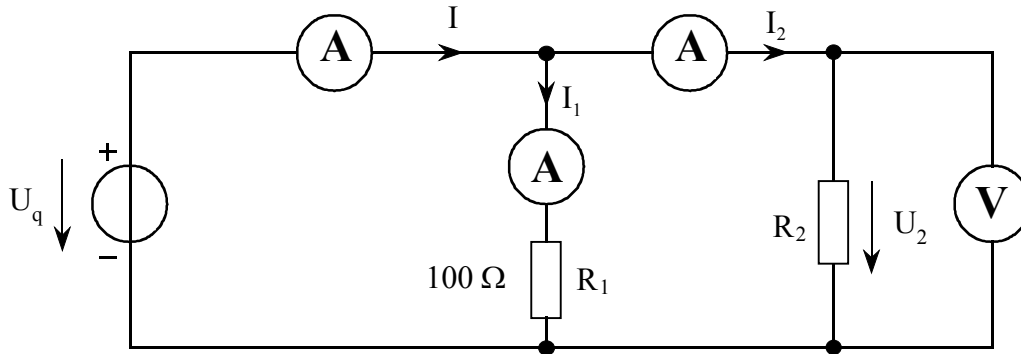


Bild 7

- A 4.1.** Berechnen Sie den Gesamtwiderstand der Schaltung und tragen Sie die Werte in Tabelle 4 ein!
- A 4.2.** Berechnen Sie die Gesamtstromstärke I sowie die Teilstromstärken I_1 und I_2 mit Hilfe der Stromteilerregel für alle Werte von R_2 !
- M 4.3.** Messen Sie die Gesamtstromstärke I und die Teilstromstärken I_1 , I_2 und vervollständigen Sie Tabelle 4!

R_2 / Ω	R_{ges} / Ω	I_1 / mA	I_2 / mA	I / mA	I_1^*	I_2^*	I^*
100							
150							
220							
330							
470							
680							

Tabelle 4

5. Strom- und spannungsrichtige Widerstandsmessung

- M 5.1.** Die Widerstände $R_1 = 30 \Omega$ ($2 \times 15 \Omega$ in Reihe) sowie $R_2 = 1 \text{ M}\Omega$ sind sowohl strom- als auch spannungsrichtig nachzumessen! Die Speisespannung soll $U_q = 7 \text{ V}$ betragen.
- 5.2.** Berechnen Sie für beide Messmethoden und beide Widerstände aus den Messergebnissen den relativen Fehler zwischen Messwert und aufgedrucktem Widerstandswert! Werten Sie beide Messmethoden aus!

6. Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes (Zusatzaufgabe)

- M 6.1.** Messen Sie den Kalt- und den Warmwiderstand einer $6 \text{ V} / 0,6 \text{ W}$ - Glühlampe!
Der Warmwiderstand wird bei Nennspannung ($U = 6 \text{ V}$) gemessen. Der Kaltwiderstand soll bei 1% des Nennstromes ($I = 1 \text{ mA}$) ermittelt werden.
- A 6.2.** Welche Temperatur hat der Glühfaden dieser Glühlampe bei Nennspannung, wenn eine Glühwendel mit einem Wolframfaden angenommen wird? ($\alpha_{20} = 4,1 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$, $\beta_{20} = 10^{-6} \text{ K}^{-2}$)