


|   |   |  |
|---|---|--|
| Department Informations- und Elektrotechnik                 | Labor für Grundlagen der Elektrotechnik |  Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg<br>Hamburg University of Applied Sciences |
| Studiengruppe:  | <b>EE1- ETP1<br/>Labor 2</b>            | Protokollführer (Name, Vorname):   |
| Übungstag:  |   | Weitere Übungsteilnehmer:  |
| Professor:  |   | Testat:  |
| <b>Messungen an linearen und nichtlinearen Widerständen</b> |   |  |

BRM 10/09, KPL 03/12, 04/12, DHL 09/13

## 1. Einführung

Dieser Versuch soll verdeutlichen, dass bei einer Messung nur dann sinnvolle Ergebnisse erwartet werden können, wenn die eingesetzten Messgeräte und der Messaufbau zur Aufgabenstellung passen.

## 2. Strom- und spannungsrichtiges Messen von Widerständen

In diesem Teilversuch sollen die drei unterschiedlichen ohmschen Widerstände

$R_1 = 0,22\Omega$ ,  $R_2 = 1k\Omega$  und  $R_3 = 1M\Omega$

mit verschiedenen Methoden gemessen werden. Die Messmethoden sind hinsichtlich ihrer Brauchbarkeit für die einzelnen Widerstände zu vergleichen und die Ursachen der auftretenden Fehler sind zu diskutieren.

### a) Ohmmeter:

Messen Sie die 3 Widerstände jeweils in der Ohmmeter-Einstellung mit einem Digitalmultimeter METRAHit TECH (oder 18S, 26S), sowie mit einem Analogmultimeter Unigor nach. Führen Sie beim Analogmultimeter vor jeder Messung einen Abgleich durch. Verwenden Sie keine unnötig langen Messleitungen. Diskutieren Sie, welches Messgerät sich für welche Widerstände besser eignet und die Gründe dafür.

### b) Stromrichtige Messung:

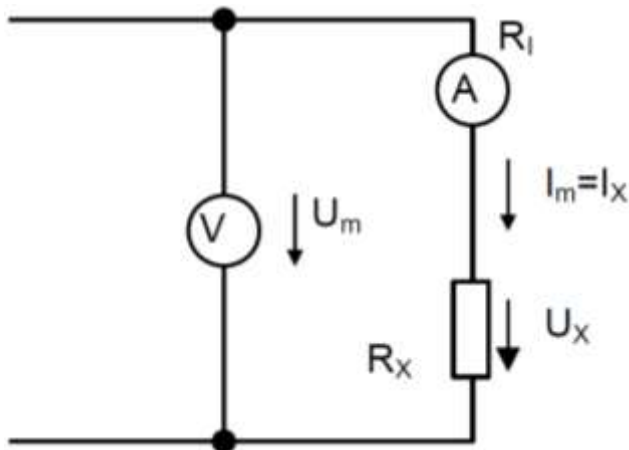
Verschalten Sie die Messgeräte wie im unten dargestellten Schaltbild so, dass der Strom durch den zu messenden Widerstand systematisch richtig erfasst wird. Als Spannungsquelle steht ein regelbares Labornetzgerät Hameg Triple Power Supply HM7042-5 zur Verfügung. Die Spannungsmessung soll mit einem Digitalmultimeter METRAHit TECH (oder 18S, 26S), die Strommessung mit einem Analogmultimeter Unigor durchgeführt werden.

Führen Sie für jeden Widerstand drei Messungen mit folgenden Einstellungen durch:

$R_1$ :  $I_m = 200mA, 500mA$  und  $800mA$

$R_2$ :  $U_m = 2V, 4V$  und  $6V$

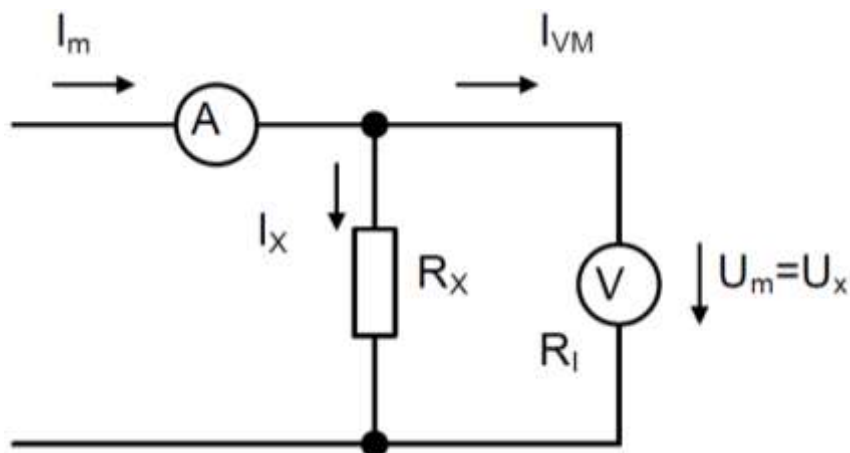
$R_3$ :  $U_m = 9V, 12V$  und  $15V$



Tragen Sie die 3 gemessenen Wertepaare je Widerstandswert in einen U-I-Graphen (x-Achse:  $I_m$ , Y-Achse:  $U_m$ ) ein und mitteln Sie die gemessenen Widerstandswerte, indem Sie eine Ausgleichsgerade durch die drei Punkte legen. Lesen Sie die ermittelten Widerstandswerte  $R_{mi1}$ ,  $R_{mi2}$ ,  $R_{mi3}$  an der Steigung der 3 Ausgleichsgeraden ab.

c) **Spannungsrichtige Messung:**

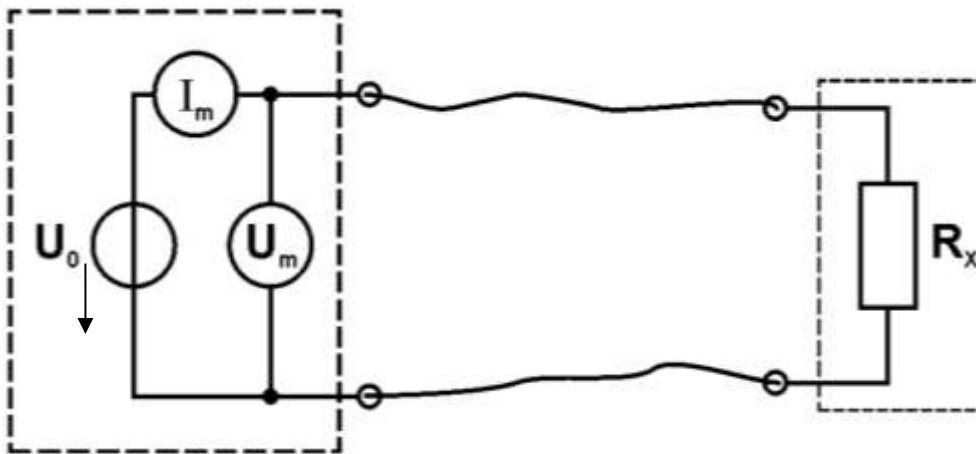
Verschalten Sie die Messgeräte wie im unten dargestellten Schaltbild so, dass die am zu bestimmenden Widerstand abfallende Spannung systematisch richtig gemessen wird. Als Spannungsquelle steht ein regelbares Labornetzgerät Hameg Triple Power Supply HM7042-5 zur Verfügung. Die Spannungsmessung soll mit einem Digitalmultimeter METRAHit TECH (oder 18S, 26S), die Strommessung mit einem Analogmultimeter Unigor durchgeführt werden. Führen Sie mit diesem Aufbau die Messungen aus Aufgabenteil b) erneut durch.



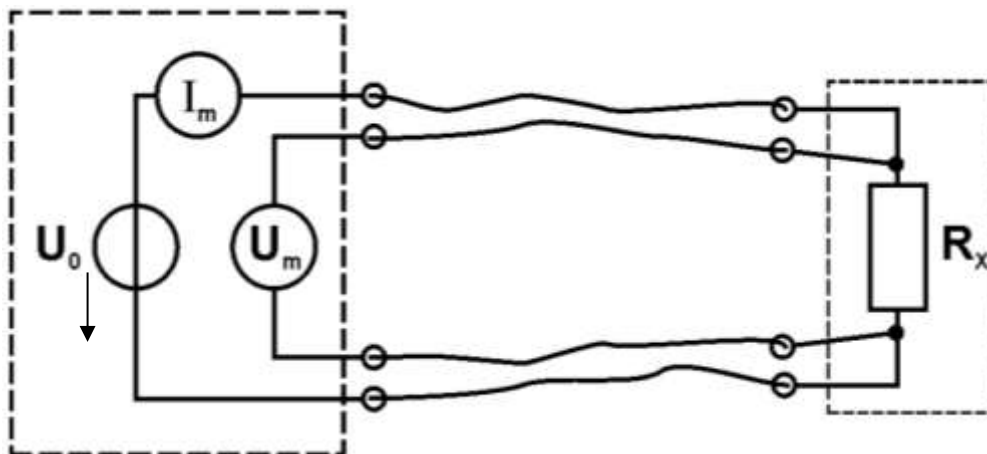
Ergänzen Sie die 3 gemessenen Wertepaare je Widerstandswert in dem U-I-Graphen aus Aufgabenteil b) und mitteln Sie die gemessenen Widerstandswerte, indem Sie eine Ausgleichsgerade durch die drei ergänzten Punkte legen. Lesen Sie die ermittelten Widerstandswerte  $R_{mu1}$ ,  $R_{mu2}$ ,  $R_{mu3}$  an der Steigung der 3 neuen Ausgleichsgeraden ab. Vergleichen Sie die Ergebnisse dieses Aufgabenteils mit denen aus Aufgabenteil b). Ermitteln Sie dazu die Abweichungen der Messergebnisse von den Nennwiderständen. Diskutieren Sie, welcher Messaufbau sich für welche Widerstände besser eignet und die Gründe dafür.

d) **Zweipunkt- und Vierpunktmessung:**

In dieser Teilaufgabe soll ein sehr kleiner Widerstand ( $R_1 = 0,22\Omega$ ) und ein größerer Widerstand ( $R_2 = 1k\Omega$ ) sowohl mit der Zweipunktmethode als auch mit der Vierpunktmethode bestimmt werden. Stellen Sie sich vor, die Messung findet in der Endkontrolle einer Produktionsmaschine für Widerstände statt. Die Messgeräte und der Messort sind durch den Aufbau der Maschine räumlich weit getrennt, so dass dazwischen lange Messleitungen benötigt werden. Als Spannungsquelle steht ein regelbares Labornetzgerät Hameg Triple Power Supply HM7042-5 zur Verfügung. Die Spannungsmessung soll mit einem Digitalmultimeter METRAHit 15S, die Strommessung mit einem Digitalmultimeter METRAHit TECH (oder 18S, 26S) durchgeführt werden. Die Messung soll spannungsrichtig erfolgen. Bauen Sie dazu die folgende Messschaltung auf und verwenden Sie die längsten verfügbaren Messleitungen:



Führen Sie die Messung einmal mit  $R_1$  ( $I_m = 800mA$ ) und einmal mit  $R_2$  ( $U_m = 10V$ ) durch. Wiederholen Sie den Versuch, indem Sie die Messgeräte für eine Vierpunkt- oder Kelvinmessung verschalten. Achten Sie darauf, dass Strom und Spannungspfad möglichst nahe am zu messenden Widerstand zusammengeführt werden.



Vergleichen Sie die Ergebnisse der Zwei- und Vierpunktmessung und erklären Sie den Unterschied. Warum produziert die Vierpunktmessung den kleineren Fehler, obwohl deutlich mehr Messleitung Verwendung findet?

### 3. Nichtlineare Widerstände

Im Laborpraktikum wird als nichtlinearer Widerstand eine Glühlampe (hps Typ-Nr. 9122.1) eingesetzt. Ihre nichtlineare Kennlinie zwischen Strom und angelegter Spannung lässt sich theoretisch in guter Näherung durch folgendes Potenzgesetz beschreiben:

$$\frac{I}{mA} = a \cdot \left( \frac{U}{V} \right)^b \quad \text{mit } a = 15,2 \text{ und } b = 0,55$$

Dieser Sachverhalt soll durch Messungen nachgewiesen werden. Zur Spannungsversorgung wird das Labornetzgerät Hameg Triple Power Supply HM7042-5 verwendet. Die Spannungsmessung soll mit einem Digitalmultimeter METRAHit 15S, die Strommessung mit einem Digitalmultimeter METRAHit TECH (oder 18S, 26S) durchgeführt werden.

a) **Vorbereitende Berechnungen:**

Berechnen Sie nach der obigen Gleichung den Glühlampenstrom als Funktion der anliegenden Spannung für  $U = 10\text{mV}, 50\text{mV}, 100\text{mV}, 500\text{mV}, 1\text{V}, 5\text{V}, 10\text{V}$  und  $15\text{V}$ . Zeichnen Sie mit den Ergebnissen das Funktionsdiagramm  $I = f(U)$  in doppelt-logarithmischem Maßstab. Wie lassen sich die Parameter  $a$  und  $b$  bestimmen?

b) **I-U-Kennlinienmessung:**

Durch gleichzeitige Strom- und Spannungsmessung ist die I-U-Kennlinie der Glühlampe punktweise für  $U = 10\text{ mV}$  bis  $15\text{ V}$  aufzunehmen und grafisch darzustellen. Dazu kann die unter 2c) gezeigte Schaltung verwendet werden. Der Widerstand ist dabei lediglich durch die Glühlampe zu ersetzen.

Wählen Sie folgende Spannungsschritte:  $U = 10\text{mV}, 20\text{ mV}, 30\text{ mV}, 50\text{mV}, 100\text{mV}, 200\text{mV}, 300\text{mV}, 500\text{mV}, 1\text{V}, 2\text{V}, 3\text{V}, 5\text{V}, 8\text{V}, 9\text{V}, 10\text{V}, 11\text{V}, 12\text{V}, 13\text{V}, 14\text{V}$  und  $15\text{V}$ .

Tragen Sie Ihre Messwerte in das vorausberechnete Diagramm ein, verbinden Sie die Messpunkte und legen Sie eine Ausgleichsgerade durch die Messpunkte zwischen  $1\text{ V}$  und  $10\text{ V}$ . Vergleichen Sie die gemessenen Werte mit den theoretisch erwarteten.

Bestimmen Sie die Parameter  $a$  und  $b$  aus dem Diagramm anhand der Ausgleichsgeraden.

c) **Berechnung Gleichstromwiderstand und differentieller Widerstand:**

Bestimmen Sie aus der Messung den Gleichstromwiderstand  $R_A$  und den differentiellen Widerstand  $r_d$  bei den Spannungen  $U = 300\text{ mV}, 2\text{ V}, 5\text{V}$  und  $10\text{ V}$ . Tragen Sie die Ergebnisse in eine Tabelle ein.

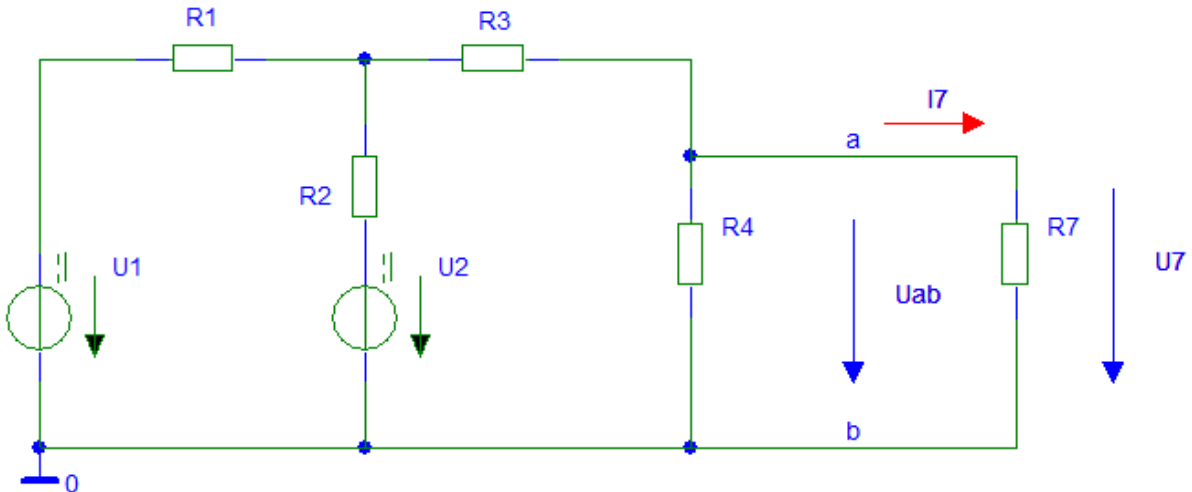
d) **Widerstandsmessung:**

Nun ist der Widerstand der Glühlampe mit dem analogen Ohmmeter Unigor und dem Digitalmultimeter METRAHit TECH (oder 18S, 26S) zu messen. Erklären Sie das Zustandekommen der unterschiedlichen Messergebnisse.

## 4. Ersatzquellen

Für ein Widerstandsnetzwerk mit zwei Spannungsquellen soll rechnerisch und experimentell eine Ersatzquelle bestimmt werden, die sich bezüglich der Klemmen a und b genau wie das ursprüngliche Netzwerk verhält. Bauen Sie das folgende Netzwerk auf und schließen Sie  $R_7$  zunächst noch nicht an.

Es gilt:  $U_1 = U_2 = 4,5 \text{ V}$ ,  $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 100 \text{ }\Omega$ ,  $R_3 = 220 \text{ }\Omega$ ,  $R_4 = 680 \text{ }\Omega$ ,  $R_7 = 470 \text{ }\Omega$ . Die beiden Spannungsquellen werden mit dem Labornetzgerät Hameg Triple Power Supply HM7042-5 gebildet.



### a) Vorbereitende Berechnungen:

Berechnen Sie die folgenden Werte der Schaltung für das links von den Klemmen a und b liegende Netzwerk mit Hilfe des Verfahrens der Ersatzspannungsquelle:

- Leerlaufspannung  $U_L$  (ohne Belastung mit  $R_7$ ) – Zur Berechnung bietet sich das Überlagerungsprinzip über die Berechnung der Stromsumme  $I_{R4} = I_{41} + I_{42}$  der Einzelwirkungen von  $U_1$  ( $\Rightarrow I_{41}$ ) und  $U_2$  ( $\Rightarrow I_{42}$ ) an.
- Kurzschlussstrom  $I_K$  (ohne Belastung mit  $R_7$ )
- Klemmspannung  $U_7$  bei Belastung mit  $R_7$
- Laststrom  $I_7$  bei Belastung mit  $R_7$

### b) Messung von Leerlaufspannung, Kurzschlussstrom und Laststrom:

Verwenden Sie für die folgenden Spannungsmessungen stets das Digitalmultimeter METRAHit 15S und für die Strommessungen das Digitalmultimeter METRAHit TECH (oder 18S, 26S).

Messen Sie mit dem Digitalmultimeter METRAHit 15S die an den Klemmen a und b anliegende Spannung (Leerlaufspannung  $U_L$ ), wenn die Klemmen ansonsten unbeschaltet sind.

Schließen Sie nun ein digitales Amperemeter METRAHit TECH (oder 18S, 26S) an die Klemmen an und messen Sie den fließenden Kurzschlussstrom  $I_K$ .

Verbinden Sie jetzt die Klemmen mit dem Widerstand  $R_7$ . Bestimmen Sie nacheinander die am Widerstand  $R_7$  anliegende Spannung  $U_7$  und den durch den Widerstand fließende Strom  $I_7$ .

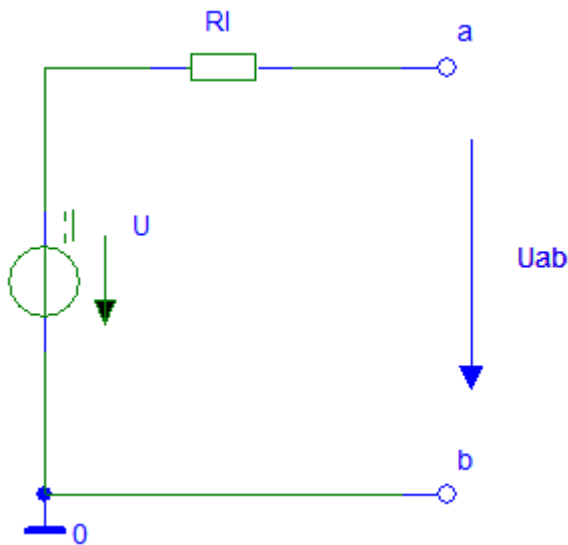
c) **Berechnung Innenwiderstand der Schaltung für Ersatzquelle:**

Der Innenwiderstand der links von den Klemmen a und b liegenden Schaltung ist zu berechnen.

$$\text{Es gilt: } R_i = \frac{U_L}{I_K}$$

d) **Messungen an Ersatzschaltung:**

Das links von den Klemmen a und b liegende Netzwerk soll jetzt durch die im Folgenden dargestellte Ersatzschaltung ersetzt werden:



Bauen Sie die Schaltung mit Hilfe eines einstellbaren Netzteils und einer Widerstandsdekade auf. Dabei sind die Werte für  $U_L$  und  $R_i$  entsprechend der Messung aus b) und der Rechnung aus c) einzustellen.

Messen Sie die an den Klemmen a und b anliegende Leerlaufspannung  $U_{ab}$ . Messen Sie den zwischen den Klemmen a und b fließenden Kurzschlussstrom.

Schließen Sie nun den Widerstand  $R_7$  an die Klemmen a und b an und messen Sie den durch den Widerstand  $R_7$  fließenden Strom  $I_7$  und die am Widerstand anliegende Spannung  $U_7$ .

Vergleichen Sie diese Ergebnisse der Ersatzschaltung mit Ihren gemessenen Ergebnissen aus Aufgabenteil b) und geben Sie die Ursachen für die auftretenden Abweichungen zwischen Messung und Rechnung.

## 5. Hinweise zum Protokoll – 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:

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

Nach Aufnahme der Messwerte sind die Koeffizienten  $a$  und  $b$  im Bereich der Kennlinie von 1 V bis 15 V 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:

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

Hier ist für  $I$  der Wert einzusetzen, der sich bei der Spannung  $U = 1$  V ergibt, da dann der Quotient  $U/U_0 = 1$  wird.

Um die Gleichung nach  $b$  aufzulösen, ist sie zu logarithmieren, dabei sind folgende Beziehungen zu verwenden:

$$\lg(x \cdot y) = \lg(x) + \lg(y)$$

$$\lg x^y = y \cdot \lg x$$

Logarithmiert ergibt sich:

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

oder

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

bzw.

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

Der gemessene Strom bei einer Spannung von 10 V ist einzusetzen und  $b$  auszurechnen.