

Versuch 1

Spannungs- und Strommessung, Spannungssteiler, Stromteiler und Ersatzspannungsquelle

Gruppe: BTI-GEP2/02
Tisch: 2
Versuchsdatum: 26.10.2015

Teilnehmer: Alexander Mendel
Karl-Fabian Witte
Christoph Haeberle

Korrekturen:

Testat:



Zweck des Versuchs ist das Kennenlernen der Vielfachmessgeräte des Labors. In den drei Aufgaben werden Spannungen, Ströme und Widerstände in Gleichstromschaltungen gemessen und dabei die Theorie durch die Messungen verifiziert. Zudem wird der kritische Blick auf den Messwert geschärft. Daher wird in den kleinsten Schritten die Unsicherheit des Messwertes hergeleitet. Abweichungen des Messwerts vom theoretischen Wert, die nicht im Toleranzbereich liegen, werden nachvollziehbar ergründet.

1 Spannungsmessung

1.1 Ausmessen einer unbekannten Spannungsquelle

1.1.1 Leerlaufspannung / Klemmspannung

Um die Eigenheiten der Spannungsmessung kennenzulernen, wird an einer unbekannten Spannungsquelle eine Klemmspannung U'_0 gemessen. Dafür werden die drei Multimeter *METRA Hit 15S*, *METRA Hit 18S* und *Tenma* verwendet.

Die Schaltung dieses Versuchs wird in Abb. 1 gezeigt und Messwerte werden in Tab. 1 aufgelistet und die Unsicherheit wird hergeleitet.

Es ist zudem zu klären, ob es sich bei der Klemmspannung U'_0 um die Leerlaufspannung U_0 der Spannungsquelle handelt.

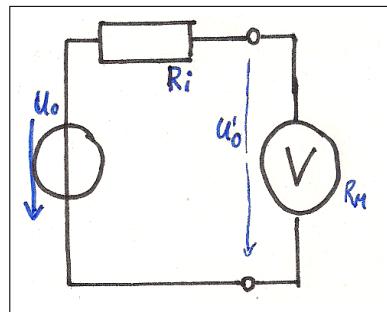


Abbildung 1: Schaltbild der Messung der Spannungsquelle

Tabelle 1: Spannungsmessung der unbekannten Spannungsquelle mit drei Multimetern (*METRA Hit 15S*, *METRA Hit 18S* und *Tenma*), deren nominierten und berechneten Unsicherheiten und dem resultierenden Werten.

Messgerät	Messung U'_0 [V]	Nom. Unsicherheit (%rdg + d)[V]	berechnet Unsicherheit $\Delta U'_0$ [V]	Messwert $U'_0 \pm \Delta U'_0$ [V]
METRA Hit 15S	2,969	0,25 + 1	~ 0,0084	2,969 ± 0,008
METRA Hit 18S	2,9678	0,05 + 3	~ 0,0018	2,968 ± 0,002
Tenma	2,959	0,3 + 1	~ 0,0099	2,96 ± 0,01

Die gemessenen Werte liegen alle gegenseitig im Toleranzbereich. Jedoch ist auf Grund des Innenwiderstandes der Messgeräte R_M die gemessene Spannung U'_0 nicht gleich der Leerlaufspannung U_0 , da über dem Innenwiderstand R_M Spannung abfällt, welcher einen systematischen Fehler in der Messung bewirkt und somit ist der Messwert niedriger als die tatsächliche Spannung. Wenn der Innenwiderstand des Messgerätes R_M jedoch sehr viel größer ist als der Innenwiderstand R_i der Spannungsquelle, ist der Messwert U'_0 annähernd die Leerlaufspannung U_0 : $R_M \gg R_i \implies U'_0 = U_0$.

1.1.2 Innenwiderstand

Um den Innenwiderstand der Spannungsquelle herauszufinden, bestimmen wir diesen mit Hilfe der **"Halbausschlagsmethode"**. Dazu wird zuerst die Leerlaufspannung gemessen (siehe 1.1.1) und die Widerstandsdekade als Last angeschlossen. Zudem lernen wir den Umgang mit der Widerstandsdekade.

Für diese Messung wird das *METRA Hit 18S* verwendet. Für den Widerstand wird der *Burster 4107* verwendet.

Die Widerstandsdekade wird möglichst genau so eingestellt, dass die gemessene Spannung U_D halb so groß ist, wie die gemessene Leerlaufspannung U'_0 . Da die Widerstände R_i und R_D in Reihe geschaltet sind und R_i gleich R_D ist, gilt:

$$U_0 = U_i + U_D = I * R_i + I * R_D = U_0/2 + U_0/2$$

Es wird zudem diskutiert, ob der Innenwiderstand des Spannungsmessers berücksichtigt werden muss und ob die Halbausschlagmethode immer anwendbar ist.

Die Schaltung ist in Abb. 2 dargestellt und die Messergebnisse werden in Tab. 2 gezeigt.

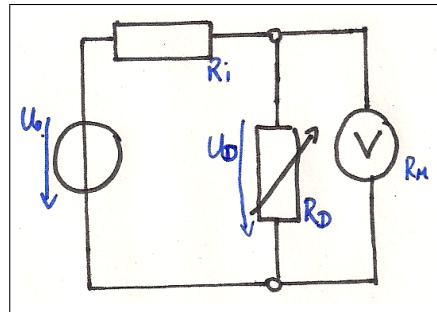


Abbildung 2: Schaltbild der Spannungsquelle unter Last

Tabelle 2: Messungen der Spannungsquelle an den Klemmen (belastet und unbelastet), sowie der Widerstandswert der Widerstandsdekade. Alle Messwerte werden jeweils mit und ohne Unsicherheit angegeben. Die Spannungsmessung werden mit dem METRA Hit 18S durchgeführt.

Messgröße	Zeichen [Einheit]	Messwert	Messung mit Uns.
Leerlaufspannung	$U'_0[\text{V}]$	2,9678	$2,968 \pm 0,002$
Widerstand	$R_D[\Omega]$	104,7	$104,70 \pm 0,01$
Halbe U'_0	$U_D[\text{V}]$	1,4839	$1,484 \pm 0,001$

Die Unsicherheit von R_D wird wie folgt berechnet:

$$\Delta R_D = 100\Omega * 0,02\% + 4\Omega * 0,1\% + 0,7\Omega * 0,5\%$$

Für den Innenwiderstand der Spannungsquelle R_i gilt somit:

$$R_i = R_D = (104,70 \pm 0,01)\Omega$$

Da der Innenwiderstand des Messgerätes bei $11\text{M}\Omega$ liegt, gilt $R_M \gg R_D$. Somit ist der systematische Fehler vernachlässigbar klein.

Die Halbausschlagmethode ist nicht immer anwendbar, da es bei Quellen mit geringen Innenwiderstand wie ein Kurzschluss sein würde.

1.2 Leerlaufspannung / Klemmenspannung

Zweck dieses Versuches ist es, den Spannungsabfall an einem Spannungsteiler nachzu vollziehen und einen kritischen Blick auf die Messwerte und deren Unsicherheiten zu bekommen. Dafür werden die theoretisch errechneten Werte mit den der Messung verglichen.

Spannungsmessung erfolgt mit dem *METRA Hit 18S*. Die an den Klemmen A und B angelegte Spannung von 8,0V wird von der Universalspannungsquelle *Rohde & Schwarz Hameg HM7042-5* erzeugt. Der Spannungsteiler hat die Bezeichnung X3.

Bei Abweichungen der theoretischen zu den gemessenen Werten, wird nochmal genauer hingeschaut. Die Schaltung ist in Abb. 3 dargestellt und die theoretischen und die gemessenen Ergebnisse sind in Tab. 3 und Tab. 4 aufgelistet.

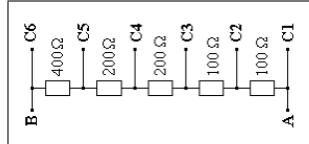


Abbildung 3: Spannungsteiler X3

Tabelle 3: Spannungsmessung am Spannungsteilers X3 mit dem METRA Hit 18S sowie die Schrittweise Berechnung der Unsicherheiten aus dem Theoretisch errechneten Wert. Es wurden 8,0V angelegt.

Klemmen $C_i - C_j$	berechnet $U_{ij}[\text{V}]$	nomin. Uns. (%rdg + d)[V]	Uns. d. d $d[\text{mV}]$	Uns. d. %vM $U_{ij} * rdg[\text{mV}]$	Gesamtuns. $\Delta U_{ij}[\text{mV}]$	gemessen $U'_{ij}[\text{V}]$
$C_1 - C_2$	0,8	0,05 + 3	0,3	0,4	0,7	0,8037
$C_2 - C_3$	0,8	0,05 + 3	0,3	0,4	0,7	0,8055
$C_3 - C_4$	1,6	0,05 + 3	0,3	0,8	1,1	1,5969
$C_4 - C_5$	1,6	0,05 + 3	0,3	0,8	1,1	1,5989
$C_5 - C_6$	3,2	0,05 + 3	3,0	1,6	4,6	3,200
$C_1 - C_3$	1,6	0,05 + 3	0,3	0,8	1,1	1,6097
$C_2 - C_4$	2,4	0,05 + 3	0,3	1,2	1,5	2,4018
$C_3 - C_5$	3,2	0,05 + 3	3,0	1,6	4,6	3,194
$C_4 - C_6$	4,8	0,05 + 3	3,0	2,9	5,9	4,800
$C_1 - C_4$	3,2	0,05 + 3	3,0	1,6	4,6	3,207
$C_2 - C_5$	4,0	0,05 + 3	3,0	2,0	5,0	4,002
$C_3 - C_6$	6,4	0,05 + 3	3,0	3,2	6,2	6,397
$C_1 - C_5$	4,8	0,05 + 3	3,0	2,4	5,4	4,805
$C_2 - C_6$	7,2	0,05 + 3	3,0	3,6	6,6	7,200

Tabelle 4: Spannungsmessung am Spannungsteilers X3 mit dem METRA Hit 18S mit einer angelegten Spannung von 8,0V

Klemmen $C_i - C_j$	Wert $U'_{ij} \pm \Delta U'_{ij}[\text{mV}]$	Klemmen $C_i - C_j$	Wert $U'_{ij} \pm \Delta U'_{ij}[\text{mV}]$	Klemmen $C_i - C_j$	Wert $U'_{ij} \pm \Delta U'_{ij}[\text{mV}]$
$C_1 - C_2$	$803,7 \pm 0,7$	$C_1 - C_3$	$1609,7 \pm 1,1$	$C_2 - C_5$	4002 ± 5
$C_2 - C_3$	$805,5 \pm 0,7$	$C_2 - C_4$	2402 ± 2	$C_3 - C_6$	6397 ± 7
$C_3 - C_4$	$1596,9 \pm 1,1$	$C_3 - C_5$	3194 ± 5	$C_1 - C_5$	4805 ± 6
$C_4 - C_5$	$1598,9 \pm 1,1$	$C_4 - C_6$	4800 ± 6	$C_2 - C_6$	7200 ± 7
$C_5 - C_6$	3200 ± 5	$C_1 - C_4$	3207 ± 5		

Die gemessenen Werte schwanken um den theoretischen Wert herum, sodass man nicht von einem systematischen Fehler ausgehen kann. Die Schwankung ist jedoch zu hoch gegenüber der errechneten Ungenauigkeit. Das liegt an der Unsicherheit der Widerstandswerte, die mit $\pm 5\%$ einhergehen (goldener Ring). Man könnte den theoretischen Größen eine Unsicherheit von 5% anrechnen und die Werte stimmen überein.

2 Strommessung

2.1 Strommessung an einem Verbraucher

Zweck dieses Versuchs ist, die Eigenschaften der Stromstärkemessung kennenzulernen. Dafür erstellen wir eine Ersatzspannungsquelle mit einem Innenwiderstand von $80,0\Omega$ und einer Spannung von $4,0V$. Während wir den Strom messen, wird gleichzeitig über dem Strommesser der Spannungsabfall gemessen.

Für die Stromstärke soll wie in 1.1.1 die theoretischen Werte vorher berechnet werden und später mit den gemessenen Größen verglichen werden. Für die Strommessung werden die drei Multimeter *METRA Hit 15S*, *METRA Hit 18S* und *Tenma* verwendet. Der Widerstand wird über der Widerstandsdekade *Burster 4107* eingestellt und die Spannung wird über die Universalspannungsquelle *Rohde & Schwarz Hameg HM7042-5* erzeugt.

Ein Plan der Spannung ist in Abb. 4 zu sehen. Die Ergebnisse der Berechnung und der Messungen sind in den Tabellen 5 und 6 wiederzufinden.

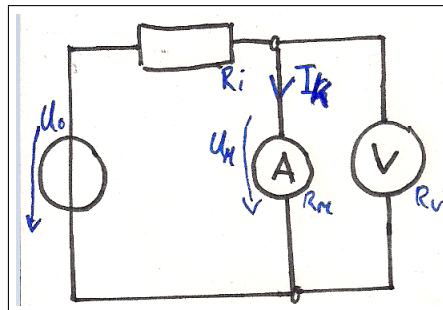


Abbildung 4: Spannungsteiler X3

Tabelle 5: Stromstärkemessung einer Spannungsquelle mit einem Innenwiderstand von $80,0\Omega$ und einer angelegten Spannung von $8,0V$ mit drei Multimetern (*METRA Hit 15S*, *METRA Hit 18S* und *Tenma*) mit den theoretisch errechneten Werten und Unsicherheiten.

Messgerät	berechneter Strom $I_k[\text{mA}]$	Nom. Unsicherheit (%rdg + d)[mA]	berechnete Uns. $\Delta I_k[\text{mA}]$	gemessener Strom $I'_k[\text{mA}]$
METRA Hit 15S	50,0	1,5 + 2	0,95	41,2
METRA Hit 18S	50,00	0,2 + 10	0,2	49,60
Tenma	50,0	2 + 1	1,1	46,1

Tabelle 6: Spannungsabfall über dem Strommesser mit drei Multimetern (*METRA Hit 15S*, *METRA Hit 18S* und *Tenma*),

Messgerät	gemessener Strom $I'_k \pm \Delta I'_k[\text{mA}]$	Spannungsabfall $U_M \pm \Delta U_M$ gemessen mit		
		METRA Hit 15S	METRA Hit 18S	Tenma
METRA Hit 15S	$41,2 \pm 0,8$	—	$(0,7127 \pm 0,0007)V$	$(0,039 \pm 0,001)V$
METRA Hit 18S	$49,6 \pm 0,2$	$(0,039 \pm 0,001)V$	—	$(40,0 \pm 0,6)\text{mV}$
Tenma	46 ± 1	$(0,283 \pm 0,005)V$	$(283,8 \pm 0,2)\text{mV}$	—

Deutlich zu erkennen ist, dass alle drei Messgeräte den theoretischen Wert weit der Toleranz zu niedrig messen. Das liegt daran, dass ein Widerstand R_i von 80Ω zu klein ist, sodass der Innenwiderstand des

Amperemeters das Ergebnis systematisch verfälscht. Der *METRA Hit 18S* besitzt den kleinsten Innenwiderstand $R_M = U_M/I'_k = (0,80 \pm 0,03)\Omega$ was eine Fehlerkorrektur von 1% nach oben zur Folge hat (R_M/R_i). (Ungenauigkeit berechnet mit dem kleinsten Messwerten der Spannung, die den kleinsten Fehler ausweisen).

Um einen guten Messung zu erhalten, müsste R_i viel größer gewählt werden, sodass gilt:

$$R_M \ll R_i (+R_{Last})$$

2.2 Strommessung an einem Stromteiler

Zweck dieses Versuches ist das Prinzip des Stromteilers zu verstehen und mögliche Fehlerquellen zu finden. Dafür wird an einer Parallelschaltung von Widerständen der Strom gemessen. Anschließend wird mit den zuvor berechneten Werten verglichen. Für die Messung wird das *METRA Hit 18S* verwendet, die Spannung wird mit dem *Rohde&Schwarz Hameg HM7042-5* erzeugt und der Stromteiler hat die Bezeichnung *X4*.

In Abb. 5 ist die Schaltung beschrieben. In der Tabelle 7 sieht man die berechneten Werte sowie die Messergebnisse.

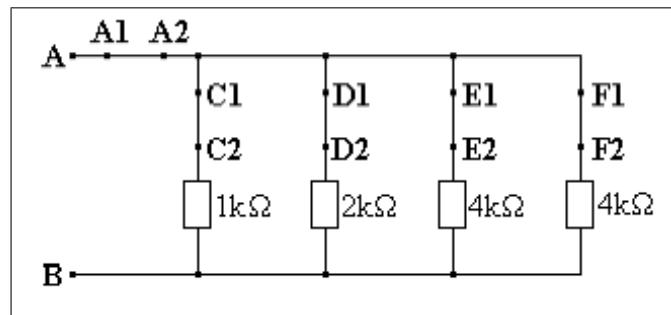


Abbildung 5: Stromteiler X4

Klemmen <i>G1 – G2</i>	ber. Strom <i>I_G</i> [mA]	nom. Uns. (%rdg + d)[mA]	ber. Uns. ΔI_G [mA]	gemessen <i>I'_G</i> [mA]	Messwert $I'_G \pm \Delta I'_G$ [mA]
<i>A1 – A2</i>	10,000	0,05 + 10	0,015	10,095	$10,10 \pm 0,02$
<i>C1 – C2</i>	5,000	0,05 + 10	0,0125	5,055	$5,06 \pm 0,01$
<i>D1 – D2</i>	2,5000	0,2 + 10	0,006	2,4730	$2,473 \pm 0,006$
<i>E1 – E2</i>	1,2500	0,2 + 10	0,0035	1,2441	$1,244 \pm 0,004$
<i>F1 – F2</i>	1,2500	0,2 + 10	0,0035	1,2424	$1,242 \pm 0,004$

Tabelle 7: Strommessung an den Klemmen in der Stromteilerschaltung X4.

Die Abweichungen können nicht von den zu geringen Lastwiderständen R_G kommen, denn es gilt eindeutig:

$$R_M \ll R_i + R_G$$

Die Werte schwanken um den Erwartungswert. Die Unsicherheit der Versuchswiderstände von $\Delta R_G/R_G = \pm 5\%$ ist hier der Verursacher der großen, weswegen der berechnete Wert nicht im Toleranzbereich der Messwerte liegen.

3 Ersatzspannungsquelle eines lin. Netzwerk (U , R)

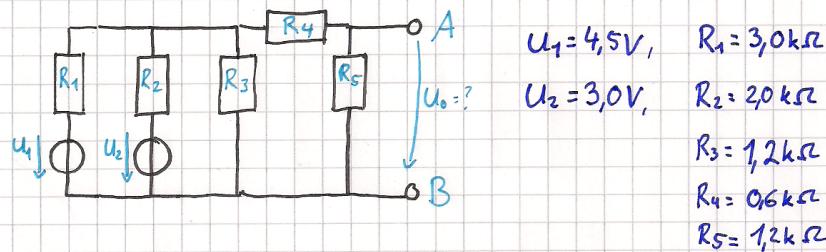
Zweck dieses Versuches ist, dass wir einen Vergleich ziehen, zwischen dem Verhalten und den Eigenschaften eines lin. Netzwerk (U , R) und einer Ersatzspannungsquelle mit den selben Kenngrößen.

3.1 Bestimmung der Ersatzspannungsquellen-Parameter

Es sollen die Parameter Innenwiderstand R_i und Leerlaufspannung U_0 aus dem lin. Netzwerk herausgefunden werden. Dafür wird zunächst die Schaltung theoretisch in eine Ersatzspannungsquelle umgewandelt. Danach wird die Schaltung mit Drahtbrücken Aktiviert und die Leerlaufspannung U_0 sowie der Innenwiderstand R_i mit der Halbausschlagmethode gemessen. Zudem wird der Innenwiderstand R_i ohne die Spannungsquellen (Spannungsquellen werden durch eine Drahtbrücke ersetzt) mit einem Ohmmeter gemessen.

Die verwendeten Geräte sind Das Multimeter *METRA Hit 18S*, die Doppelspannungsquelle *X5* und die Widerstandsdekade *Burster 4107*.

In Abbildung 3.1 die Schaltung oben dargestellt und die theoretische Ersatzspannungsquelle wird darunter hergeleitet. In Abbildung 7 sieht man die Schaltung während der direkten Innenwiderstandsmessung.

Innen Widerstand R_i :

$$R_i = ((R_1 // R_2 // R_3) + R_4) // R_5 \quad | // := \text{Parallel}$$

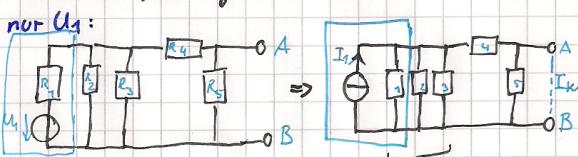
$$= R_p \quad | R_p = R_{p4}$$

$$\underline{R_p} = R_1 // R_2 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{3,0 \cdot 2,0}{3,0 + 2,0} \cdot \frac{(k\Omega)^2}{k\Omega} = \frac{6}{5} k\Omega = \underline{1,2k\Omega}$$

$$\underline{R_p} = R_p // R_3 \neq \quad | \text{wobei } R_p = 1,2k\Omega = R_3 \Rightarrow \underline{\frac{R_3}{2}} = R_p // R_2 \\ = \frac{1,2k\Omega}{2} = \underline{0,6k\Omega}$$

$$\underline{R_{p4}} = R_p + R_4 = (0,6 + 0,6)k\Omega = \underline{1,2k\Omega}$$

$$\underline{R_i} = R_{p4} // R_5 = \frac{1,2}{2} k\Omega = \underline{0,6 k\Omega} \quad | \text{da } R_5 = R_{p4} = 1,2k\Omega$$

Leerlaufspannung U_0 : (über Kurzschlussstrom I_K mit Helmholz.)

$$\underline{I_1} = \frac{U_1}{R_1} = \frac{4,5V}{3,0k\Omega} = \underline{1,5mA}$$

$$\underline{I_{K1}} = I_1 \cdot \frac{R_p}{R_p + R_4} = \frac{0,6k\Omega}{0,6k\Omega + 0,6k\Omega} \cdot 1,5mA = \frac{1,5}{2} mA = \underline{0,75mA} \quad | \text{Stromteilerregel}$$

nur U_2 : (Skizze ähnlich) Wie bei U_1 (nur die Indizes 1 und 2 vertauschen).

$$\underline{I_2} = \frac{U_2}{R_2} = \frac{3,0V}{2,0k\Omega} = \underline{1,5mA} \Rightarrow$$

$$\underline{I_{K2}} = I_2 \cdot \frac{R_p}{R_p + R_4} = \underline{0,75mA} \quad | \text{s.o.}$$

$$\Rightarrow \underline{I_K} = I_{K1} + I_{K2} = 0,75mA + 0,75mA = \underline{1,5mA} \Rightarrow U_0 = R_i \cdot I_K = 0,6k\Omega \cdot 1,5mA \\ U_0 = \underline{0,9V}$$

Abbildung 6: Doppelspannungsquelle X5 und Herleitung der Erstspannungsparameter R_i und U_0

Als Kenngrößen hat die Ersatzspannungsquelle theoretisch:

$$U_0 = 0,9V \quad R_i = 0,6k\Omega$$

An den Klemmen wird nun ein die Leerlaufspannung U'_0 gemessen.

$$U'_0 = 0,9092V \implies U'_0 = (0,9092 \pm 0,0008)V$$

Da dieser Messwert oberhalb des theoretischen Werts liegt und der theoretische Wert außerhalb der Toleranz sich befindet, wird diese Abweichung an den Unsicherheiten der Widerstände und den Spannungsquellen liegen.

Nun wird an die Klemmen die Widerstandsdekade angeschlossen und mittels der Halbausschlagsmethode der Innenwiderstand R'_i gemessen:

$$R'_i = (602,2 \pm 0,1)\Omega \implies U'_0/2 = (0,4546 \pm 0,0004)V$$

Auch hier ist theoretische Wert nicht im Toleranzbereich des Messwertes. Als Fehlerquellen sind die Unsicherheiten der Spannungsquellen und der Versuchswiderstände anzuführen.

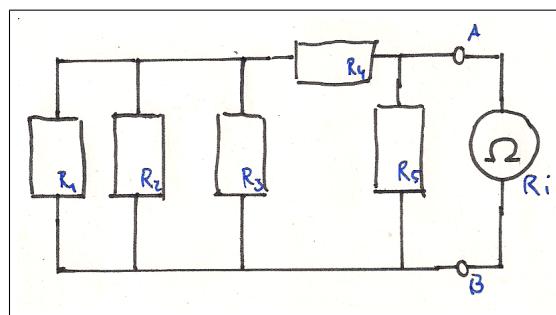


Abbildung 7: Doppelspannungsquelle X5 während der Innenwiderstandsmessung

Bei der direkten Messung des Innenwiderstands R''_i mittels Ohmmeter wurde folgender Wert gemessen:

$$R''_i = (0,6041 \pm 0,0001)k\Omega$$

Auch dieser Wert ist mit seiner Toleranz weder in der Toleranz der theoretischen noch in der der Halbausschlagsmethode. Wir schätzen auf ein unsauberer Messen von uns, den Praktikanten. Nichts desto Trotz ist dieser Messwert sehr nah an dem Theoretischen Wert dran.

3.2 Vergleich eines lin. Netzwerks mit seiner Ersatzspannungsquelle

Es soll nun eine Ersatzspannungsquelle mit den Parametern U_0 und R_i aus der vorherigen Aufgabe gebaut und mit dem lin. Netzwerk (U_0, R_i) verglichen werden. Der Wert des Innenwiderstandes ist jener, der an der Widerstandsdekade gemessen wurde. Zweck des Versuches ist es, die Theorie einer Ersatzspannungsquelle nachzuprüfen. Beiden Spannungsquellen sollten sich bei gleicher Last den gleichen Spannungsabfall über der Last sowie die gleiche Stromstärke haben.

Dafür wird ein variabler Widerstand an die Klemmen gesetzt. Über diesem wird ein Voltmeter angeschlossen, welches den Spannungsabfall misst. Das Ampermeter wird in Reihe zum Innenwiderstand R_i gesetzt. Der variable Widerstand wird jeweils auf $1k\Omega$, $1,8k\Omega$ und $3,3k\Omega$ gesetzt. Es werden die folgenden Geräte verwendet.

Voltmeter: METRA Hit 18S

Amperemeter: *METRA Hit 15S*

Innenwiderstand der Ersatzspannungsquelle: *Burster 4107*

Spannungsquelle der Ersatzspannungsquelle: *Rohde&Schwarz Hameg HM7042-5*

lin. Netzwerk : *X5* variabler Widerstand: Drehwiderstand ohne Namen

In Abbildung 8 ist eine Skizze zum Versuchsaufbau. Tabelle 8 sind die Messwerte aufgeführt.

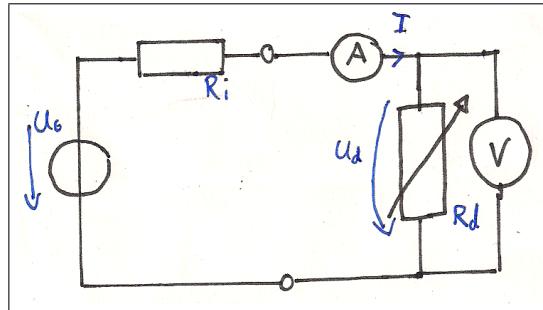


Abbildung 8: Ersatzspannungsquelle

Nach dieser Schaltung haben wir einen systematischen Fehler der Stromstärke, da wir ja nur den Strom messen wollen, der durch den Widerstand fließt. Wir korrigieren den Strom I wie folgt ($R_M :=$ Innenwiderstand des Voltmeters = $11\text{M}\Omega$):

$$I_{korr} = I - \Delta I_{sys} = I - U/R_M$$

Da jedoch die gemessenen Werte im einstelligen Volt Bereich liegen, ist diese Änderung zu gering, um etwas merklich zu bewirken, weswegen wir auf diese Korrektur verzichten.

$$O(U)/O(R_M) = 10^1/10^7 = 10^{-6} \ll 10^{-3} = O(I)$$

Lastwiderstand $R_d[\text{k}\Omega]$	lin. Netzwerk		Ersatzspannungsquelle	
	$I^{lin}[\text{mA}]$	$U^{lin}[\text{V}]$	$I^{ers}[\text{mA}]$	$U^{ers}[\text{V}]$
1,0	$0,43 \pm 0,01$	$1,1993 \pm 0,0009$	$0,43 \pm 0,01$	$1,1938 \pm 0,0009$
1,8	$0,73 \pm 0,01$	$1,400 \pm 0,001$	$0,74 \pm 0,01$	$1,394 \pm 0,001$
3,3	$0,96 \pm 0,01$	$1,548 \pm 0,001$	$0,96 \pm 0,01$	$1,541 \pm 0,001$

Tabelle 8: Strom- und Spannungsmessung über einen einstellbaren Lastwiderstand

Die Ströme durch den Widerstand sind bei beiden Quellen gleich, jedoch der Spannungsabfall ist nicht gleich. Das könnte daran liegen, dass der eingestellte Innenwiderstand der Ersatzstromspannung nicht exakt dem des lin. Netzwerks ist, wodurch sich der Fehler durchzieht. Auch könnte das etwas unsaubere Messen von uns Praktikanten in der oberen Aufgabe (3.1) dazu geführt haben, dass sich der Innenwiderstand R_i oder die Leerlaufspannung U_0 ein systematischer Fehler eingeschlichen hat.