

# Protokoll zum Versuch „Elektronische Messverfahren“

Kirstin Hübner      Armin Burgmeier      Gruppe 15

3. Dezember 2007

## 1 Messungen mit Gleichstrom

### 1.1 Innenwiderstand des $\mu A$ -Multizets

Zunächst haben wir in einem Vorversuch die tatsächliche Spannung  $U_0$  der Gleichspannungsquelle gemessen. Sie ergab sich tatsächlich zu  $U_0 = 6,0V$ .

Um den gesuchten Innenwiderstand des  $\mu A$ -Multizets bestimmen zu können bauten wir die Schaltungen wie in den Vorbereitungen beschrieben auf. Um einen Strom von  $I_0 = 1,0mA$  zu erhalten stellten wir den regelbaren Widerstand auf  $R = 5,023k\Omega$  ein. Nach Anschließen des Spannungsmessgerätes fiel der Strom auf  $I = 0,85mA$  ab. Zudem haben wir gleichzeitig eine Spannung von  $U = 50mV$  gemessen.

Aus diesen Werten können wir nun den Innenwiderstand zu

$$R_i^I = 58,8\Omega$$

bestimmen. Dies passt gut zu dem in der Vorbereitungshilfe angegebenen Wert von  $R_i^I = 60\Omega$ .

### 1.2 Innenwiderstand des Spannungsmessgerätes

Der Innenwiderstand des  $AV\Omega$ -Multizets beträgt in erster Näherung

$$R_i^U = 333,3\Omega$$

In einer zweiten Näherung bestimmen wir nun zunächst den Gesamtwiderstand der Schaltung

$$R_{ges} = R_V + R_{Regel} + R_{||} = 6,073k\Omega$$

Nun ergibt sich der Innenwiderstand des  $AV\Omega$ -Multizets zu

$$R_i^U = \frac{U}{\frac{U_0}{R_{ges}} - I} = 361,9\Omega$$

In der Vorbereitungshilfe wird zwar kein genauer Innenwiderstand des Geräts bei diesem Messbereich angegeben, aber da der Innenwiderstand für 0,1V bei  $100\Omega$  liegt und der bei 3V  $3000\Omega$  beträgt können wir uns vorstellen, dass unsere Messung in der richtigen Größenordnung liegt.

### 1.3 Bestimmen eines Widerstands mit Strom- und Spannungsmessungen

#### 1.3.1 Spannungsrichtige Schaltung

Diese haben wir wie in den Vorbereitungen beschrieben aufgebaut.

- Strommessung mit  $\mu A$ -Multizet

Aus den gemessenen Werten  $I = 0,59\text{mA}$  und  $U = 105\text{mV}$  erhalten wir einen Widerstand von  $R = 178,0\Omega$ . Unter Beachtung des Innenwiderstands des  $AV\Omega$ -Multizets ergibt sich  $R = 350,2\Omega$ . Dieser Wert ist kommt dem angegeben Wert von ca.  $470\Omega$  bedeutend näher.

- Spannungsmessung mit  $\mu A$ -Multizet

Hier haben wir  $I = 0,57\text{mA}$  und  $U = 267\text{mV}$  gemessen, woraus sich ein Widerstand von  $R = 468,4\Omega$  ergibt. Berücksichtigen wir diesmal den Innenwiderstand des  $\mu A$ -Multizets, so erhalten wir  $R = 475,85$ . Auch dieser Wert entspricht unseren Erwartungen.

#### 1.3.2 Stromrichtige Schaltung

- Strommessung mit  $\mu A$ -Multizet

Wir haben  $I = 0,36\text{mA}$  und  $U = 65\text{mV}$  gemessen, woraus sich  $R = 180,5\Omega$  ergibt. Berechnen wir den Innenwiderstand des Strommessgerätes mit ein, so erhalten wir  $R = 0,5\Omega$ .

- Spannungsmessung mit  $\mu A$ -Multizet

Der Strom beträgt  $I = 0,57\text{mA}$ , die Spannung  $U = 57\text{mV}$ . Daraus ergibt sich ein Widerstand von  $R = 100\Omega$ . Mit dem Innenwiderstand des  $AV\Omega$ -Multizets erhalten wir  $R = 0\Omega$ .

Seltsamerweise erhalten wir für die stromrichtigen Messungen beinahe verschwindende Widerstände. Daher nehmen wir an, dass wir entweder von einer falschen Skala abgelesen haben oder in der Schaltung ein Fehler war. Die Werte für die spannungsrichtige Messung kommen dem angegeben Widerstandswert jedoch näher. Leider können wir daher keine Aussage über die Vor- und Nachteile der jeweiligen Messmethoden machen.

## 1.4 Wheatestonsche Messbrücke

Nachdem wir die Schaltung den Schaltskizzen entsprechend aufgebaut haben, haben wir das Potentiometer so eingestellt, dass das Spannungsmessgerät bei immer feiner werdenden Messbereichen 0V angezeigt hat. Die Einstellung des Potentiometers zeigte  $R_p = 325\Omega$ . Daraus ergibt sich der gesuchte Widerstand

$$R = R_1 \frac{R_p}{R_{max} - R_p} = 481,5\Omega$$

wobei  $R_{max} = 1k\Omega$  die Maximaleinstellung des Potentiometers bezeichnet. Unser Ergebnis liegt nahe der Ungefährangabe der Vorbereitungshilfe.

## 1.5 $\Omega$ -Messbereich des $\mu A$ -Multizets

Wir haben das Gerät so kalibriert, dass ohne anliegendes Bauteil ein Widerstand von  $0\Omega$  angezeigt wurde. Dann haben wir den Widerstand angeschlossen und bei einem Messbereich von  $\times 1$   $460\Omega$  und bei  $\times 10$   $445\Omega$  gemessen. Beide Werte liegen in der Nähe des Erwartungswerts. In dem empfindlicheren Messbereich ergibt sich wie erwartet ein besserer Wert.

## 1.6 Urspannung einer Trockenbatterie

Wir haben die Kompensationsschaltung aufgebaut und sind wie in der Vorbereitung beschrieben vorgegangen. Dabei haben wir für die Hilfsspannung das  $AV\Omega$ -Multizet im Messbereich 10V verwendet und erhielten

$$U_0 = 1,5V$$

Dies entspricht genau dem erwarteten Spannungswert. Da bei der Messung kein Strom fließt ist die Methode sehr genau.

## 1.7 Innenwiderstand der Trockenbatterie

Zu der Schaltung aus der vorherigen Aufgabe haben wir kurzzeitig einen Lastwiderstand parallel zur Batterie geschaltet. Für die Messung der Gesamtspannung bzw. von  $\Delta U$  verwendeten wir das  $\mu A$ -Multizet in einem Messbereich von 30mV. Wir erhielten folgende Werte:

Lastwiderstand $R_L$ [ $\Omega$ ]	$\Delta U$ [mV]	Innenwiderstand $R_i$ [ $\Omega$ ]
220	1,3	0,19
110	2,5	0,18
47	6,0	0,19
22	13,0	0,19

Der Innenwiderstand der Trockenbatterie ist damit spannungsunabhängig. Damit hätte man in der vorherigen Aufgabe auch eine andere Messmethode verwenden können, bei der es nicht darauf ankommt, dass kein Strom fließt,

jedoch kann man natürlich auch bei konstanten Innenwiderständen sehr gute Messergebnisse erzielen.

## 2 Messungen mit Wechselstrom

### 2.1 Gleichstromwiderstand der Spule

Wir haben analog zu Aufgabe 1.5 das den Ohm-Messbereich des  $\mu A$ -Multizet erneut auf  $0\Omega$  geeicht bevor wir die Spule angeschlossen haben. Wir erhielten einen Widerstand von

$$R = 78\Omega$$

### 2.2 Induktivität und Verlustwiderstand der Spule bei kleinen Frequenzen

In dieser Aufgabe haben wir zunächst die Schaltung gemäß den Angaben aufgebaut und eine Wechselspannung von  $U_G = 0,2V$  und einer Frequenz von  $30Hz$  angelegt. Unter diesen Bedingungen haben wir zunächst die Spannung am Widerstand  $R_W = 110\Omega$  gemessen. Danach haben wir die Reihenfolge von Spule und Widerstand vertauscht um die Spannung über der Spule zu messen. Dies war nötig, da die Erde des Messgerätes und der Spannungsquelle nicht durch ein Bauteil getrennt sein durften. Es ergaben sich die folgenden Werte:

$$\begin{aligned}U_W &= 0,078V \\U_S &= 0,15V\end{aligned}$$

Nun können wir die gesuchten Größen berechnen:

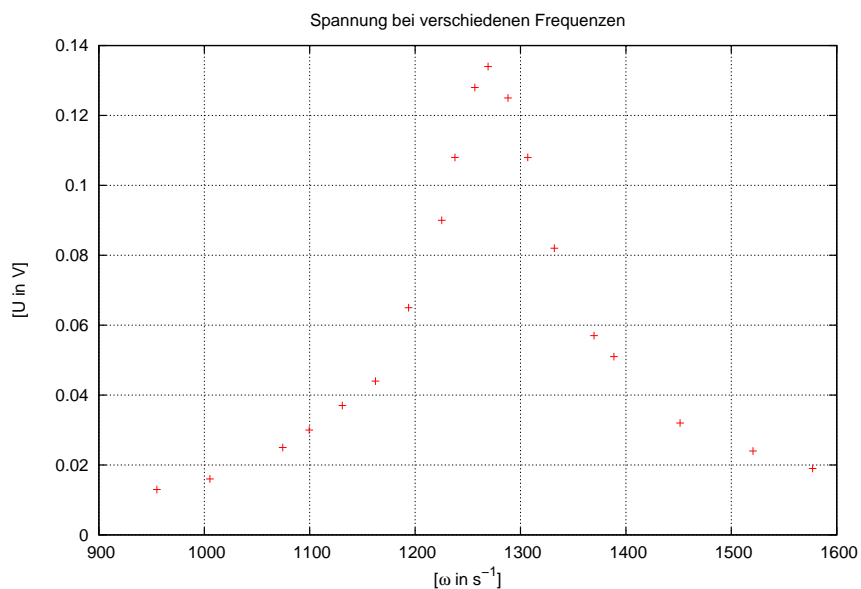
$$\begin{aligned}R &= \frac{U_G^2 - U_W^2 - U_S^2}{2U_W^2} R_W = 103,2\Omega \\L &= \frac{\sqrt{U_S^2 - U_R^2} R_W}{\omega U_W} = 0,980H\end{aligned}$$

Die berechnete Induktivität kommt dem angegebenen Wert von  $L = 1H$  sehr nahe.

### 2.3 Induktivität $L$ , Kapazität $C$ und Verlustwiderstand $R$ im Parallelschwingkreis

Nach dem Aufbauen der Schaltung mit einem Vorwiderstand von  $R_V = 1M\Omega$  haben wir bei verschiedenen Frequenzen und Generatorspannung  $U_0 = 8,42V$  die Spannung  $U$  über dem Schwingkreis und die Phasenverschiebung der Spannung gegen den Generatorstrom gemessen. Vor dem Beginn der Messungen haben wir untersucht, bei welcher Frequenz sich die Resonanz einstellt, damit wir um

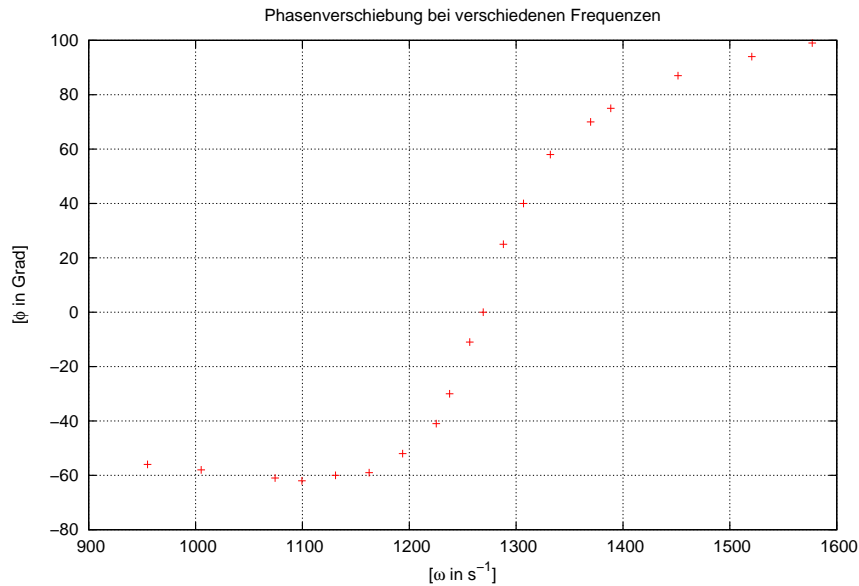
diesen Bereich besonders viele Messwerte aufnehmen können. Das Spannungsmessgerät „Heathkit“ haben wir dazu im Messbereich 0,3V betrieben. Trägt man die Spannung gegen die Kreisfrequenz auf, erhält man folgendes Schaubild:



Dieses Schaubild stimmt mit unseren Erwartungen überein. Man sieht deutlich, dass bei der Frequenz  $\omega_0 = 2\pi \cdot 202^1/s = 1269^1/s$  die Spannung mit  $U_r = 0,134V$  maximal wird. Bei dieser Frequenz heben sich die Blindwiderstände von Spule und Kondensator gegenseitig auf.

Bei  $\omega_1 = 1193.8^1/s$  und  $\omega_2 = 1350,9^1/s$  ist die Spannung auf die Hälfte ihres Maximalwerts abgefallen. Daraus ergibt sich die Halbwertsbreite  $\Delta\omega = 157,1^1/s$ .

Als zweites sollten wir den Zusammenhang zwischen Phasenverschiebung und Frequenz graphisch darstellen. Hierbei mussten wir beachten, dass Gradwerte von mehr als  $180^\circ$  von  $360^\circ$  abgezogen werden müssen, um einen Sprung im Schaubild zu vermeiden.



Wir hatten vermutet, dass bei sehr großen Frequenzen die Phasenverschiebung gegen  $+90^\circ$  und bei sehr kleinen Frequenzen gegen  $-90^\circ$  geht, da bei kleinen Frequenzen der Blindwiderstand der Spule und bei großen Frequenzen der des Kondensators vernachlässigbar wird. In unserem Schaubild kann man dies nicht unmittelbar erkennen. Wir vermuten, dass das Phasenverschiebungsmessgerät bei den kleinen Signalen fernab der Resonanzfrequenz nur ungenaue Werte liefert.

Die geforderten Größen ergeben sich aus den gemessenen Werten durch die in den Vorbereitungen hergeleiteten Formeln:

$$R_r = \frac{U_r}{U_0} R_V = 15,91 \text{ k}\Omega$$

$$C = \frac{\sqrt{3}}{\Delta\omega R_r} = 0,69 \mu\text{F}$$

$$L = \frac{1}{\omega_0^2 C} = 0,90 \text{ H}$$

$$R = \frac{\Delta\omega L}{\sqrt{3}} = 81,62 \Omega$$

Die Induktivität liegt gerade noch im Toleranzbereich der in der Vorbereitungshilfe angegebenen Unsicherheit von 10%.  $C$  weicht hingegen um 31,9% vom angegebenen Wert ab, stimmt aber in der Größenordnung überein. Die Abweichungen lassen sich auf Ablesefehler bei der Bestimmung der Halbwertsbreite und in geringerem Umfang der der Resonanzfrequenz zurückführen.

Während unserer Messungen sind wir von einem praktisch konstantem Strom  $I$  ausgegangen, der hauptsächlich vom  $1 \text{ M}\Omega$ -Vorwiderstand bestimmt wird. Dies

können wir nun im Nachhinein bestätigen, da der Resonanzwiderstand  $R_r$  klein ihm gegenüber ist und bei anderen Frequenzen als der Resonanzfrequenz noch kleiner wird, wie man an der Gleichung  $R_r = \frac{U_r}{U_0} R_V$  mit den konstanten Größen  $U_0$  und  $R_V$  leicht einsehen kann.

## 2.4 Wechselstromwiderstände von Spule und Kondensator

Wir haben das jeweilige Bauteil an einen Wechselstromgenerator angeschlossen und die abfallende Spannung  $U$  und den durchfließenden Strom  $I$  gemessen.

- Spule:

Für die Spule ergab sich  $I = 5,85\text{mA}$  sowie  $U = 7,34\text{V}$ . Daraus ergibt sich die Induktivität

$$L = \frac{U}{I\omega_0} = 0,99\text{H}$$

- Kondensator:

Beim Kondensator haben wir  $I = 6\text{mA}$  und  $U = 7,4\text{V}$  gemessen. Die Kapazität berechnet sich dann zu

$$C = \frac{I}{U\omega_0} = 63,9\mu\text{F}$$

Wir haben festgestellt, dass sowohl  $I$  als auch  $U$  bei beiden Bauteilen nur minimal voneinander abweichen. Erfreulicherweise ist unser Wert für die Induktivität sehr nahe am angegebenen Wert von  $1\text{H}$ . Den Verlustwiderstand der Spule können wir vernachlässigen, da bei einer Frequenz von  $\omega = 1269\text{1/s}$  der Blindwiderstand deutlich größer wird.

Beim Kondensator stellen wir wiederum eine größere Abweichung von  $26,4\%$  fest. Zwar treten auch hier die üblichen Fehlerquellen wie Ablesefehler und Messungenauigkeiten auf, doch ist es bemerkenswert, dass der Wert für  $L$ , der aus denselben Größen errechnet wurde, sehr viel genauer mit dem angegebenen Wert übereinstimmt.

## 2.5 Innenwiderstand und Maximalleistung des Sinusgenerators

Wir haben die maximale Ausgangsspannung von  $U_0 = 8,4\text{V}$  eingestellt, da wir später die maximale Ausgangsleistung bestimmen wollen. Um den Innenwiderstand des Generators zu ermitteln haben wir ihn in Reihe mit dem  $1\text{k}\Omega$ -Potentiometer geschaltet über dem wir die abfallende Spannung gemessen haben. Wir haben das Potentiometer so eingestellt, dass diese Spannung genau  $\frac{U_0}{2} = 4,2\text{V}$  beträgt. Dies war bei  $R_p = 0,612\text{k}\Omega$  der Fall. Dies entspricht dem

Innenwiderstand. Damit liegt unsere Messung sehr nahe bei der Herstellerangabe von  $R_i = 0,600\text{k}\Omega$ .

Die maximale Ausgangsleistung beträgt

$$P_0 = \frac{U_0^2}{4R_i} = 0,029\text{W}$$

### 3 Fazit

Wir haben unterschiedliche Messmethoden elektrischer Größen ausprobiert. Es war sehr interessant zu sehen, wieviele verschiedene Möglichkeiten man hat um eine Messung durchzuführen. Besonders fasziniert hat uns die Brückenschaltung, da sie vielseitig einsetzbar ist. Leider können wir nicht beurteilen, ob nun spannungs- oder stromrichtige Messungen zu bevorzugen sind bzw. wie sich die Unterschiede auswirken. Gerade dieser Aspekt wäre auch sehr interessant gewesen. Insgesamt war es eine gute Möglichkeit die Messgeräte und ihre Möglichkeiten besser kennen zu lernen.