

Auswertung

Elektrische Messverfahren  
Versuch P1 70, 71, 81

Iris Conradi, Melanie Hauck  
Gruppe Mo-02

14. Dezember 2010



---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Widerstand, Strom und Spannung</b>	<b>3</b>
1.1	Innenwiderstand des $\mu A$ -Multizets . . . . .	3
1.2	Innenwiderstand des $AV\Omega$ -Multizets . . . . .	3
1.3	Bestimmung eines Widerstandes . . . . .	4
1.4	Wheatstonesche Brückenschaltung . . . . .	5
1.5	Messung eines Widerstandes direkt mit einem $\mu A$ -Multizet . . . . .	6
1.6	Urspannung einer Trockenbatterie, Kompensationsschaltung . . . . .	6
1.7	Innenwiderstand der Trockenbatterie . . . . .	6
<b>2</b>	<b>Induktivität und Kapazität</b>	<b>8</b>
2.1	Gleichstromwiderstand der Spule . . . . .	8
2.2	Induktivität und Verlustwiderstand . . . . .	8
2.3	Parallelschwingkreis . . . . .	9
2.4	Wechselstromwiderstände von Spule und Kondensator . . . . .	11
2.5	Innenwiderstand des Sinusgenerators . . . . .	11

## 1 Widerstand, Strom und Spannung

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

Wir haben den Versuch entsprechend der Aufgabenstellung durchgeführt. Am Potentiometer haben wir eine Einstellung von  $5,83k\Omega$  abgelesen.

Wir haben an den Messgeräten abgelesen:  $I = 0,64mA$  und  $U = 115mV$ . Damit ergibt sich für den Innenwiderstand:  $R_i^I = 179,69\Omega$ . Laut Herstellerangaben hat das  $\mu A$ -Multizet im  $1mA$  Messbereich einen Innenwiderstand von  $180\Omega$ . Unser Messwert hat also eine Abweichung von  $0,17\%$ .

### 1.2 Innenwiderstand des $AV\Omega$ -Multizets

Die direkte Berechnung des Innenwiderstandes im Messbereich  $0,3V$  (unter Vernachlässigung der Änderung des Gesamtwiderstandes) ergibt sich:  $R_i^U = 319,44\Omega$ .

Für den Gesamtwiderstand der Schaltung ergibt sich  $R_{ges} = 6945\Omega$ . Die Spannungsquelle hatte laut Beschriftung eine Klemmspannung von  $7V$ . Daher ergibt sich für den Gesamtstrom durch die Schaltung  $I_k = 1,0079mA$ .

Somit ist ein genauerer Wert für den Innenwiderstand  $R_{i,k}^U = 312,58\Omega$ .

### 1.3 Bestimmung eines Widerstandes

Die verwendeten Messwerte sind dem Messprotokoll zu entnehmen.

**Spannungsrichtige Messung** Der Aufbau der Schaltung ist der Vorbereitung zu entnehmen.

Zuerst führten wir die Messung mit dem  $AV\Omega$ -Multizet als Spannungsmessgerät (Messbereich  $0,3V$ ) und dem  $\mu A$ -Multizet als Strommessgerät im  $1mA$  Bereich durch.

Ohne Berücksichtigung des Innenwiderstandes ergibt sich für den gesuchten Widerstand ein Wert von  $R_{x,n} = 181,19\Omega$ . Der Innenwiderstand des  $AV\Omega$ -Multizet im Messbereich  $0,3V$  lässt sich nicht direkt der Auflistung in der Zubehörliste entnehmen, daher haben wir den oben gemessenen Wert ( $R_{i,k}^U = 312,58\Omega$ ) verwendet. Es ergibt sich  $R_{x,r,1} = 430,88\Omega$ .

Der Angaben für die Innenwiderstände in bestimmten Spannungsbereichen kann man jedoch entnehmen, dass der Innenwiderstand das Tausendfache des Messbereiches ist. Daher gehen wir davon aus, dass im Messbereich  $0,3V$  ein Innenwiderstand von  $300\Omega$  vorliegt. Damit ergibt sich  $R_{x,r,2} = 457,32\Omega$ .

Als unbekanntem Widerstand verwendeten wir einen  $470\Omega$  Widerstand. Sodass die Abweichung zu  $R_{x,r,2}$   $2,7\%$  beträgt.

Bei vertauschten Messgeräten ( $1V$  und  $1mA$  Messbereiche) ergibt sich mit unseren Messungen:

- ohne Berücksichtigung des Innenwiderstandes:  $R_{x,n} = 462,69\Omega$
- Berücksichtigung des Innenwiderstandes ( $100000\Omega$ ):  $R_{x,r} = 464,84\Omega$
- Abweichung von  $R_{x,r}$  zu  $470\Omega$ :  $1,1\%$

### Stromrichtige Messung

- $AV\Omega$ -Multizet als Spannungsmessgerät (Messbereich  $0,3V$ ) und  $\mu A$ -Multizet als Strommessgerät im  $1mA$  Bereich
  - ohne Berücksichtigung des Innenwiderstandes:  $R_{x,n} = 659,1\Omega$
  - Berücksichtigung des Innenwiderstandes ( $180\Omega$ ):  $R_{x,r} = 479,1\Omega$
  - Abweichung von  $R_{x,r}$  zu  $470\Omega$ :  $1,9\%$
- $AV\Omega$ -Multizet als Strommessgerät (Messbereich  $1mA$ ) und  $\mu A$ -Multizet als Spannungsmessgerät im  $1V$  Bereich
  - ohne Berücksichtigung des Innenwiderstandes:  $R_{x,n} = 571,43\Omega$
  - Berücksichtigung des Innenwiderstandes ( $100\Omega$ ):  $R_{x,r} = 471,43\Omega$
  - Abweichung von  $R_{x,r}$  zu  $470\Omega$ :  $0,3\%$

## 1.4 Wheatstonesche Brückenschaltung

Wir verwendeten das  $\mu A$ -Multizet zuerst im  $10V$  Bereich um grob eine Spannung von  $0V$  einzustellen, und schalteten dann auf immer feinere Skalen, um eine feinere Einstellung zu ermöglichen.

Als das Messgerät  $0V$  anzeigte, lasen wir am Potentiometer einen Wert von  $0,3225k\Omega$  ab (dies entspricht  $R_2$  aus unserem Schaltplan,  $R_1$  hatte somit den Wert  $1k\Omega - 0,3225k\Omega$ ). Mit der Formel aus der Vorbereitung ergibt sich für den gesuchten Widerstand  $R_x = 476,01\Omega$ . Dies entspricht einer Abweichung von  $1,28\%$  vom tatsächlichen Wert.

Eigentlich erwarteten wir bei dieser Messmethode eine geringere Abweichung als in Aufgabe 1.3. Allerdings verstellte sich das Potentiometer noch nachträglich ein wenig. Wenn man den Feststellschalter betätigte, veränderte man unwillkürlich auch den Wert. Mit einem besser einzustellenden Potentiometer hätte sich vermutlich ein genauerer Wert ergeben.

## 1.5 Messung eines Widerstandes direkt mit einem $\mu A$ -Multizet

Das  $\mu A$ -Multizet hat im Ohmmeterbetrieb eine nichtlineare Skala. Der Wert war sehr schwer abzulesen, da sich der Zeiger zwischen der  $500\Omega$ -Marke und der  $600\Omega$ -Marke befand, da es sich um eine nichtlineare Skala handelt, schätzen wir den Wert auf  $530\Omega$ . Dieser Wert liegt deutlich über  $470\Omega$ . Eventuell war die Batterie des Messgerätes schlecht und es konnte nicht die notwendige konstante Spannung mit dem entsprechenden Wert geliefert werden.

Daher führten wir die Messung nochmals mit einem  $VA\Omega$ -Messgerät von Philips durch. Dieses Gerät hat eine lineare Skala. Wir verwendeten die  $k\Omega$ -Einstellung und lasen einen Wert von  $470\Omega$  ab. Dies entspricht also im Rahmen der Genauigkeit des Gerätes und unseren Ablesefehler genau dem erwarteten Wert.

Die lineare Skala erleichterte das ablesen sehr.

## 1.6 Ursprung einer Trockenbatterie, Kompensationsschaltung

In der Vorbereitung wurde die Funktion der Kompensationsschaltung ausführlich erläutert. Jedoch haben wir bei der Messung noch das  $AV\Omega$ -Messgerät ( $3V$  Messbereich) zur Messung der Hilfsspannung verwendet, um die Fehler des Potentiometers zu umgehen.

Mit dem  $\mu A$ -Multizet haben wir wie schon oben beschrieben, schrittweise eine Spannung von  $0V$  eingestellt. Dazu wurde das Potentiometer auf  $3,64k\Omega$  eingestellt.

Es wurde eine Hilfsspannung von  $1,45V$  angezeigt. Diese entspricht der Ursprungung.

## 1.7 Innenwiderstand der Trockenbatterie

In der Aufgabenstellung wird gefordert, dass man die Hilfsspannung mit einem zusätzlich angeschlossenen Voltmeter misst, die Veränderungen waren wegen der groben Skala an diesem Gerät jedoch kaum ablesbar. Der Innenwiderstand des zusätzlichen Voltmeters ist nicht vernachlässigbar, da Strom durch das Messgerät fließt. Laut Herstellerangaben beträgt der Innenwiderstand im  $3V$  Messbereich  $R_M = 3k\Omega$ . Die tatsächlich anliegende Hilfsspannung, die dann der Spannung  $U_{R_L}$  entspricht, die über den Lastwiderstand

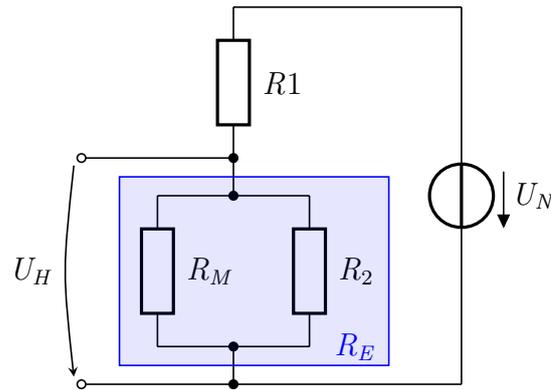


Abbildung 1: Spannungsteiler

abfällt, muss nun über den in Abbildung 1 dargestellten Spannungsteiler aus den am Potentiometer abgelesenen Werten berechnet werden. Es ergibt sich folgende Formel:

$$\frac{1}{R_E} = \frac{1}{R_M} + \frac{1}{R_2} \rightarrow U_H = U_{R_L} = U_N \frac{R_E}{R_E + R_1} \quad (1)$$

wobei  $R_1$  bei uns  $10k\Omega - R_2$  ist.  $R_2$  trägt den am Potentiometer ablesbaren Wert.

In Tabelle 1 sind die so berechneten Hilfsspannungen aufgelistet. Wenn man nach die-

Lastwiderstand	$R_2$	$R_E$	berechnete Hilfsspannung
$220\Omega$	$3,63k\Omega$	$1,643k\Omega$	$1,435V$
$110\Omega$	$3,62k\Omega$	$1,64k\Omega$	$1,432V$
$47\Omega$	$3,6k\Omega$	$1,636k\Omega$	$1,425V$
$22\Omega$	$3,56k\Omega$	$1,628k\Omega$	$1,413V$

Tabelle 1: berechnete Hilfsspannungen

ser Methode auch die Hilfsspannung aus der vorherigen Aufgabe berechnet erhält man  $U_H = U_0 = 1,438V$ .

Nun kann man mit der in der Vorbereitung angegebenen Formel den Innenwiderstand der Trockenbatterie berechnen. In Tabelle 2 sind die Ergebnisse aufgelistet. Das arithmetische Mittel über die in Tabelle 2 aufgelisteten Werte ergibt einen Innenwiderstand von  $0,4347\Omega$ .

Lastwiderstand	Innenwiderstand
220Ω	0,4599Ω
110Ω	0,4609Ω
47Ω	0,4288Ω
22Ω	0,3892Ω

**Tabelle 2:** Innenwiderstand der Trockenbatterie

## 2 Induktivität und Kapazität

### 2.1 Gleichstromwiderstand der Spule

Mit dem  $\mu A$ -Multizet ergab sich ein Widerstand von  $R = 500 \cdot 10^4 \Omega$ . Wie oben haben wir dieses Ergebnis mit dem Messgerät mit linearer Skala überprüft. Mit diesem ergab sich ein Widerstand von  $R = 80 \Omega$ . Dieser Wert ist vertrauenswürdig (vgl. 1.5).

### 2.2 Induktivität und Verlustwiderstand

Wir haben die Schaltung wie beschrieben aufgebaut und haben mit Hilfe des Multimeters eine Frequenz von  $30 \text{ Hz}$  am Sinusgenerator eingestellt.

Sowohl  $U_R$  als auch  $U_L$  wurden mit dem  $VA\Omega$ meter ( $0,3 \text{ V}$  Messbereich) von Philips gemessen, da dieses eine genauere Messung ermöglichte. Während des Versuchs wurden das Messgerät also umgesteckt. Um den dadurch entstehenden Fehler zu verringern, haben wir jeweils an die freie Position das  $AV\Omega$ -Multizet in gleichbleibendem Messbereich angeschlossen. Die Spannung  $U_G = 0,20020 \text{ V}$  wurde mit Hilfe des Multimeters eingestellt.

Es ergab sich  $U_R = 0,085 \text{ V}$  und  $U_L = 0,155 \text{ V}$ .

Mit den Formeln aus der Vorbereitung ergibt sich somit für den Verlustwiderstand:  $r = 67,22 \Omega$ .

Uns irritiert, dass der Verlustwiderstand kleiner ist, als der in der vorherigen Aufgabe gemessene Gleichstromwiderstand. Laut Aufgabenstellung sollte der Gleichstromwiderstand „ein Teil“ des Verlustwiderstandes, also kleiner sein.

Der Wert für die Induktivität ist nicht berechenbar. Unsere Messfehler sind der Gestalt, dass der Radikant negativ wird. Der theoretische Wert für die Induktivität beträgt  $1 \text{ H}$ .

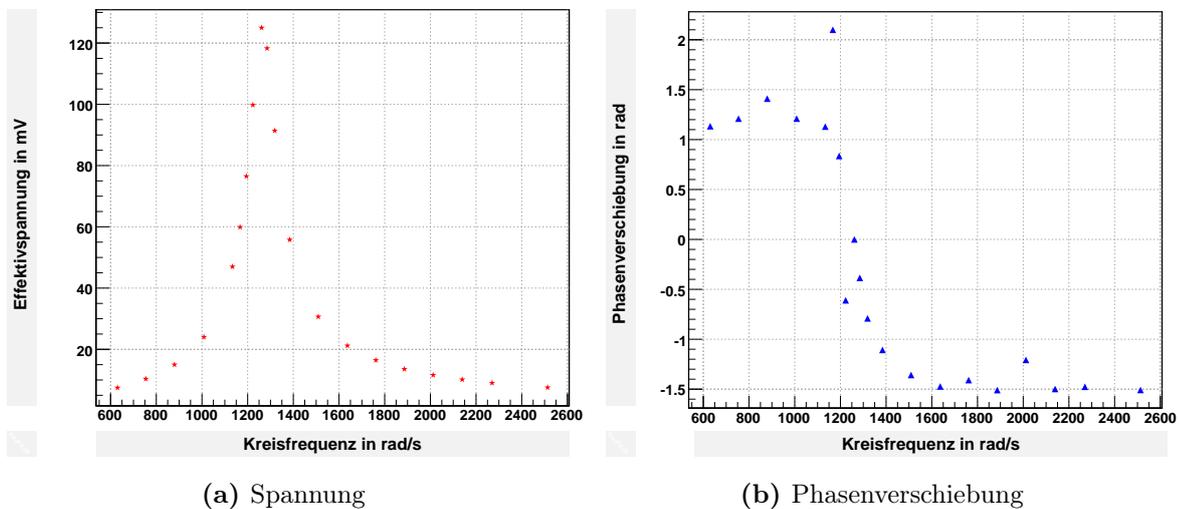


Abbildung 2: Resonanzverhalten Parallelschwingkreis

## 2.3 Parallelschwingkreis

Wir haben die Messung wie auf dem Aufgabenblatt beschrieben durchgeführt, jedoch verwendeten wir einen Vorwiderstand von  $100k\Omega$ , da aus einem uns unverständlichen Grund das Multimeter sonst die Frequenz nicht anzeigen konnte.

In Abbildung 2a und Abbildung 2b sind Spannung und Phase gegen die Kreisfrequenz aufgetragen.

Die Kurve der Phasenverschiebung sieht abgesehen von einem Messwert (vermutlich haben wir hier falsch abgelesen), so aus wie es zu erwarten war. Bei der Resonanz ist die Phasenverschiebung Null. Weit weg von der Resonanzfrequenz strebt sie gegen  $\pm\pi/2 \approx \pm 1,57$ . Dies ist in der unterschiedlichen Frequenzabhängigkeit der Impedanzen von Induktivität und Kapazität begründet. Für große bzw. kleine Frequenzen bestimmt nur eine dieser Komponenten das Verhalten des Parallelschwingkreises.

In Abbildung 3 haben wir Hilfslinien zum Ablesen von  $\Delta\omega$  und  $\omega_0$  eingetragen. Es ergibt sich:  $\Delta\omega \approx 150\text{rad/s}$  und  $\omega_0 \approx 1250\text{rad/s}$ . Mit Hilfe der Werte für Kapazität und Induktivität und der Formel  $\omega_0 \approx 2\pi/\sqrt{LC}$  erhält man  $1457,7\text{rad/s}$ . Unser Wert hat etwa die gleiche Größenordnung.

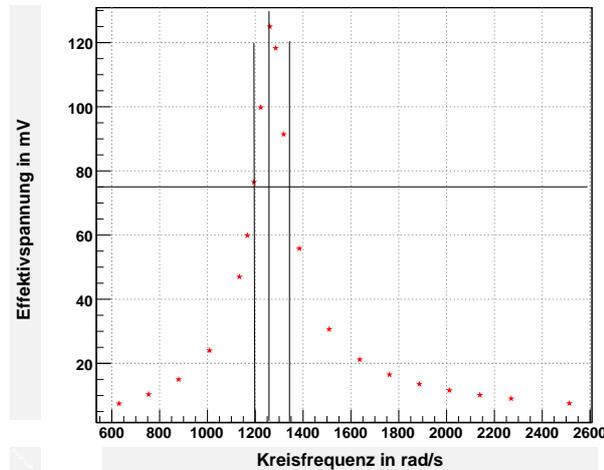


Abbildung 3: Resonanzkurve mit Hilfslinien

Für den Resonanzwiderstand verwenden wir die im Resonanzfall vorherrschende Spannung  $U_r = 125\text{mV}$ . Der Strom ist im Laufe des Versuches etwa konstant, da der Vorwiderstand viel viel größer ist, als die Gesamtimpedanz des Schwingkreises. Wie schon in der Vorbereitung gesagt, ist die Gesamtimpedanz für den Resonanzfall minimal. Daher berechnen wir exemplarisch mit den Grobdaten des Schwingkreises (wie sie in der Vorbereitungshilfe angegeben sind) den Betrag der Gesamtimpedanz für die minimale und maximale Frequenz in unserem Versuch:

- bei  $100,3\text{Hz}$ :  $788,678\Omega$
- bei  $400\text{Hz}$ :  $1164,217\Omega$

Somit ist der Vorwiderstand um etwa hundertmal größer. Wir können den Strom also etwa als konstant betrachten. Wenn es uns möglich gewesen wäre den eigentlich vorgesehenen Vorwiderstand zu verwenden, so wäre der Strom tatsächlich sehr konstant. Der Strom durch die Schaltung entspricht also in grober Näherung dem Strom der durch eine Schaltung fließen würde in dem nur der Vorwiderstand und der Sinusgenerator eingebaut wäre. Er beträgt also etwa  $I = 0,88\text{V}/100\text{k}\Omega = 8,8\mu\text{A}$ . Diese Näherung ist insbesondere für den Resonanzfall gut, da dort die Gesamtimpedanz des Parallelschwingkreises am geringsten ist.

Daher ergibt sich der Resonanzwiderstand zu

$$R_r = \frac{U_r}{I_r} \approx 14204,55\Omega \quad (2)$$

Es ergibt sich weiterhin:

- $C = 0,81\mu F$
- $L = 1,36H$
- $R = 68,6\Omega$

Zur Berechnung von L und R haben wir die Werte aus der Aufgabenstellung übernommen.

Die Werte für Kapazität und Induktivität liegen in der Größenordnung der tatsächlichen Werte. Die Ungenauigkeit unserer Werte kann im Zusammenhang mit unseren Problemen mit Sinusgenerator bzw. Multimeter stehen.

## 2.4 Wechselstromwiderstände von Spule und Kondensator

Wir stellten eine Frequenz von  $200,6Hz$  ein, da diese etwa der Resonanzfrequenz aus der vorherigen Aufgabe entspricht.

Für die Kapazität maßen wir  $I = 0,55mA$  und  $U = 0,73V$ , damit ergibt sich  $|Z_C| = 1327,27\Omega$ . Somit gilt für die Kapazität:  $C = 0,598\mu F$ . Dies weicht um  $27,2\%$  von dem tatsächlichen Wert  $0,47\mu F$  ab.

Für die Induktivität lasen wir ab  $I = 0,55mA$  und  $U = 0,71V$ . Damit ergibt sich  $|Z_L| = 1290,91\Omega$  und somit  $L = 1,024H$ . Die Induktivität weicht um  $2,4\%$  vom tatsächlichen Wert  $1H$  ab.

Wie es zu erwarten war, sind die Beträge der Impedanzen in der Nähe der Resonanzfrequenz einander ähnlich.

## 2.5 Innenwiderstand des Sinusgenerators

Die Leerlaufspannung bestimmten wir direkt am Multimeter. Es ergaben sich  $U_0 = 0,88V$ . Somit stellten wir  $0,44V$  ein (Philips Gerät im  $1V$  Bereich). Die dazu notwendige Einstellung am Potentiometer waren  $0,589k\Omega$ . Somit beträgt der Innenwiderstand des Sinusgenerators eben genau diesen Wert.

Mit der in der Vorbereitung angegebenen Formel für die maximale Ausgangsleistung erhält man  $P_{max} = 0,33mW$ .