

Eine ganze Reihe von Messverfahren für Spannung, Strom, Widerstand, Induktivität und Kapazität werden in diesem Versuch vorgestellt. Dabei ist ein wichtiges Lernziel, die Problematik des Messens, nämlich die Veränderung der Werte der Messgrößen durch die Messgeräte zu erkennen und zu lernen, wie man durch geschickte Wahl von Meßgerät und Meßmethode Fehler möglichst vermeidet. Um durch das Meßgerät verfälschte Werte korrigieren zu können, ist es bei jeder Messung nötig, den Typ des Messgeräts und den gerade benutzten Messbereich zu notieren. Die Durchsicht der Zubehörliste, besonders der Angaben zu den Messinstrumenten, bewirkt Aha-Effekte und sollte bei der Vorbereitung nicht vergessen werden.

### Aufgaben:

**1.1 Messen Sie den Innenwiderstand  $R_i^I$  des  $\mu\text{A}$ -Multizets im 1mA-Bereich.** Schließen Sie dazu das Strommessinstrument in Reihe mit einem festen  $1\text{k}\Omega$ -Widerstand und einem  $10\text{k}\Omega$ -Regelwiderstand an ( $6\text{V}=\text{}$ ) an und stellen Sie  $1\text{mA}$  ein. Notieren Sie sich den eingestellten Wert des Potentiometers. Schalten Sie dann ein Spannungsmessinstrument ( $\text{AV}\Omega$ -Multizet im  $0,3\text{V}$ -Bereich) zum Strommessinstrument parallel. Berechnen Sie aus den gleichzeitig angezeigten Werten von Strom und Spannung  $R_i^I$ .

**1.2 Berechnen Sie aus den Messdaten von 1.1 auch den Innenwiderstand  $R_i^U$  des  $\text{AV}\Omega$ -Multizets im  $0,3\text{V}$ -Bereich.** Nehmen Sie dazu an, daß das Parallelschalten von  $R_i^U$  zu  $R_i^I$  den Gesamtstrom im Kreis nur vernachlässigbar ändert. Prüfen Sie nachträglich diese Annahme und verbessern Sie in einem zweiten Rechenschritt mit Hilfe der ersten  $R_i^U$ -Näherung diesen Wert noch. Das ist ein häufig benutztes iteratives Näherungsverfahren, das hier die Aufstellung und Lösung einer quadratischen Gleichung ersetzt.

**1.3 Bestimmen Sie aus Strom- und Spannungsmessungen einen unbekanntem Widerstandswert  $R_x$ .** Schließen Sie, in Reihe geschaltet, einen  $10\text{k}\Omega$ -Widerstand, den 'unbekannten' Widerstand  $R_x$  und ein Strommessinstrument ( $1\text{mA}$ -Bereich) an ( $6\text{V}=\text{}$ ) an. Messen Sie mit einem Spannungsmessinstrument ( $0,3\text{V}$ - oder  $1\text{V}$ -Bereich) die Spannungen

a) an  $R_x$  (**spannungsrichtige Schaltung**) und

b) an der Reihenschaltung aus  $R_x$  und Strommessinstrument (**stromrichtige Schaltung**).

Wiederholen Sie diese beiden Messungen, wobei  $\mu\text{A}$ -Multizet und  $\text{AV}\Omega$ -Multizet die Rollen getauscht haben. Berechnen Sie aus den vier Wertepaaren jeweils - zunächst ohne, dann mit Berücksichtigung der Instrumenteninnenwiderstände - den Widerstandswert  $R_x$ .

*Frage:* Welchen Innenwiderstand wünscht man sich bei einem Strom- und welchen bei einem Spannungsmessgerät?

**1.4 Messen Sie den Widerstandswert  $R_x$  jetzt in einer Wheatstoneschen Brückenschaltung.**

Benutzen Sie dafür das lineare  $1\text{k}\Omega$ -Potentiometer und den recht genau bekannten  $1\text{k}\Omega$ -Widerstand. Schalten Sie in die Anschlußleitung zwischen Brücke und ( $6\text{V}=\text{}$ )  $220\Omega$  als Strombegrenzungswiderstand. Als 'Nullinstrument' in der Brückendiagonale verwenden Sie das  $\mu\text{A}$ -Multizet, anfangs sehr unempfindlich (z.B. im  $10\text{V}$ -Bereich) und dann zunehmend empfindlicher (schließlich z.B. im  $30\text{mV}$ -Bereich).

*Frage:* Worin besteht der Vorteil einer Brückenschaltung?

**1.5 Messen Sie den Widerstandswert  $R_x$  jetzt mit Hilfe des  $\Omega$ -Messbereichs vom  $\mu\text{A}$ -Multizet.** Wie funktioniert ein solches Ohmmeter? Wie funktioniert wohl ein Ohmmeter mit linearer Skala?

**1.6 Messen Sie die Ursprungung  $U_0$  einer Trockenbatterie (ca.  $1,5\text{V}$ ) mit Hilfe einer Kompensationschaltung.** Überlegen Sie sich vorab, wie man mit Hilfe eines Potentiometers eine regelbare Spannungsquelle aufbauen kann.

Es wird die zu messende Spannung  $U_{\text{Batt}}$  in Reihe mit einer entgegengesetzt gepolten Hilfsspannung  $U_{\text{H}}$  (gemessenen mit  $\text{AV}\Omega$ -Multizet) und einem empfindlichen Spannungsmessinstrument ( $\mu\text{A}$ -Multizet, anfangs  $10\text{V}$ -, schließlich  $30\text{mV}$ -Bereich) geschaltet.  $U_{\text{H}}$  wird so eingestellt, daß die Differenzspannung

Null, also  $U_{\text{Batt}}=U_{\text{H}}$  ist. (Schaltskizze 0). Wann ist eine solche Methode, anders als bei der Trockenbatterie, besonders nötig?

**1.7 Messen Sie den Innenwiderstand der Trockenbatterie bei mäßigen Belastungen** (220Ω; 110Ω; 47Ω; 22Ω). Beobachten Sie dazu die jeweilige Spannungserniedrigung  $\Delta U$  direkt mit Hilfe einer Differenzspannungsmethode. Sie verwenden die Kompensationsschaltung von 1.6, indem Sie nach dem Abgleich im unbelasteten Zustand für die Ablesung von  $\Delta U$  am  $\mu\text{A}$ -Multizet den Lastwiderstand kurzzeitig zuschalten.

**2.1 Messen Sie den Gleichstromwiderstand der Spule L mit Hilfe des  $\Omega$ -Messbereiches vom  $\mu\text{A}$ -Multizet.** Dieser Widerstand ist ein Teil des bei Wechselstromanwendungen beobachteten Verlustwiderstandes der Spule.

**2.2 Messen Sie bei kleiner Frequenz (30Hz) die Induktivität L und den Verlustwiderstand R der Spule.** Dazu wird die Spule in Reihe mit einem 110  $\Omega$ -Vorwiderstand an den Sinusgenerator angeschlossen, dessen Ausgangsspannung im so belasteten Zustand auf etwa 0,2V eingestellt wird. Aus den gemessenen Spannungswerten am Generator ( $U_G$ ), am 110 $\Omega$ -Widerstand ( $U_W$ ) und an der Spule samt ihrem Verlustwiderstand ( $U_S$ ) lassen sich anhand eines Zeigerdiagramms in der komplexen Ebene leicht  $\omega L$  und R berechnen (Kosinussatz). Hinweise beachten!

**2.3 Bestimmen Sie Induktivität L, Verlustwiderstand R und Kapazität C eines Parallelschwingkreises aus seinem Resonanzverhalten.** Schalten Sie die Spule L und den Kondensator  $C_2$  parallel und schließen Sie diesen Schwingkreis über den Vorwiderstand 1 M $\Omega$  an den Sinusgenerator an (**maximale Ausgangsspannung verwenden!**). Schließen Sie außerdem Oszilloskop und Keithley Multimeter an (siehe Schaltskizze 1, Hinweis beachten!). Messen Sie dann in Abhängigkeit von der Frequenz (etwa im Bereich 100Hz bis 400Hz in 20Hz- bis 5Hz-Schritten, je nach Resonanznähe):

(a) die Spannung am Resonanzkreis mit dem Multimeter und (b) die Phasenverschiebung ( $\Delta t$ ) mit dem Oszilloskop. Das Multimeter liefert auch die genaue Frequenz f. Berechnen Sie aus f und  $\Delta t$  die Phase  $\Delta\phi$ .

Tragen Sie diese beiden Kurven (Spannung und Phase) gegen die Frequenz auf. Begründen Sie den Verlauf der Phasenkurve qualitativ. Ermitteln Sie die Größen Resonanzkreisfrequenz  $\omega_0$ , Halbwertsbreite  $\Delta\omega$  (Differenz der Kreisfrequenzen, bei denen die Spannung am Kreis halb so groß ist wie im Maximum der Resonanz) und Resonanzwiderstand  $R_r$ . Das Zustandekommen der dann benötigten Beziehungen:

$$C = \sqrt{3} / (\Delta\omega \cdot R_r); \quad L = 1 / (\omega_0^2 \cdot C) \quad \text{und} \quad R = \Delta\omega \cdot L / \sqrt{3}$$

sollte Ihnen klar sein. Dabei ist R - möglichst realitätsnah - als Serienwiderstand zu L angesetzt worden. Nehmen Sie zunächst an und prüfen Sie nachträglich, daß Sie die Messung bei praktisch konstantem, vom 1M $\Omega$ -Widerstand bestimmten Strom vom Generator ausgeführt haben.

**2.4 Bestimmen Sie die Wechselstromwiderstände von Spule L und Kondensator  $C_2$  einzeln bei der Frequenz  $\omega_0$  von Aufgabe 2.3 jeweils durch Messung von Strom und Spannung.** Berechnen Sie daraus Induktivität und Kapazität. Warum wird, um auch den Verlustwiderstand der Spule bei dieser Frequenz zu ermitteln, nicht eine Messung nach Art von Aufgabe 2.2 vorgeschrieben?

**2.5 Bestimmen Sie den reell angenommenen Innenwiderstand des Sinusgenerators.** Belasten Sie dazu den Ausgang mit einem passenden Widerstand (1k $\Omega$ -Potentiometer) so, daß die Ausgangsspannung gerade auf den halben Wert der Leerlaufspannung sinkt. Wie groß ist die maximale Ausgangsleistung des Sinusgenerators?

### Zubehör:

**Plexiglassteckplatine** mit folgenden Elementen an Steckbuchsen:

Widerstände R1 bis R17: 2,2 $\Omega$ ; 4,7 $\Omega$ ; 10 $\Omega$  (1%); 22 $\Omega$ ; 47 $\Omega$ ; 110 $\Omega$  (1%); 220 $\Omega$ ; 470 $\Omega$ ; 1k $\Omega$  (1%); 10k $\Omega$  (1%); 22k $\Omega$ ; 47k $\Omega$ ; 100k $\Omega$ ; 330k $\Omega$ ; 1M $\Omega$  (1%); 3M $\Omega$ ; 10M $\Omega$  (alle 5%, wenn nicht anders angegeben); Kondensatoren C1 bis C4: 0,1 $\mu\text{F}$ ; 0,47 $\mu\text{F}$ ; 1 $\mu\text{F}$ ; 4,7 $\mu\text{F}$  (alle 5%); Spule L: 1H (10%); 2 zehngängige lineare Potentiometer 1k $\Omega$  und 10k $\Omega$  (3%; Linearität 0,25%);

**Netzgerät** (6V=);

Trockenbatterie (Mignon) mit Buchsen;

**Sinusgenerator;**

**Universalmeßinstrument 'µA-Multizet'** (Bereich/Innenwiderstand: 0,00001/3000; 0,00003/4330; 0,0001/1700; 0,0003/600; 0,001/180; 0,003/60; 0,01/18; 0,03/6; 0,1/1,8; 0,3/0,62 A/Ω; 0,03/3000; 0,1/10000; 0,3/30000; 1/100000; 3/300000; 10/1000000 V/Ω; nur =; ±1% SKE);

**Universalmeßinstrument 'AVΩ-Multizet'** (Bereich/Innenwiderstand: 0,001/100; 0,003/16,7; 0,01/5; 0,03/2; 0,1/0,6; 0,3/0,2 A/Ω; 0,1/100; 3/3000; 10/10000 V/Ω und weitere = - Bereiche mit ±1% SKE; außerdem Wechselstrom- und Wechselspannungsbereiche, bei 3V 333Ω/V, sonst 1000Ω/V, ±2% SKE);

**Universalmeßinstrument 'Keithley 2100'** für Frequenz- und Spannungsmessung

### Hinweise:

Beim Sinusgenerator und beim Oszilloskop ist jeweils einer der Anschlüsse geerdet. Diese müssen gemeinsam am selben Punkt der Schaltung angeschlossen sein.

Zu Aufgabe 2.3: Exakt in Phase mit dem Strom ist die Spannung, die am  $1\text{M}\Omega$ -Vorwiderstand  $R_V$  abfällt. Da jedoch der Eingangswiderstand des Oszilloskops nicht groß gegen  $1\text{M}\Omega$  ist, würde der Anschluß hier die Messung stören. Deshalb wird nach der angegebenen Schaltskizze die Phase der Spannung  $U_G$  am Generator mit der Spannung  $U$  am Schwingkreis verglichen. Der dadurch auftretende Fehler ist klein, denn

(a) in der Gegend der Resonanzfrequenz (wo nicht gilt  $R(\text{Kreis}) \ll 1\text{M}\Omega$ ), ist der Kreiswiderstand nahezu reell, und folglich sind  $U_G$  und  $I$  weitgehend phasenverschiebungsfrei, und

(b) in einiger Entfernung von der Resonanz, wenn aufgrund des vorherrschend induktiven bzw. kapazitiven Verhaltens des Parallelkreises eine Phasenverschiebung zwischen  $U_G$  und  $I$  auftreten könnte, ist  $R(\text{Kreis}) \ll 1\text{M}\Omega$  und folglich  $I$  in guter Näherung nur von  $R_V$  bestimmt, also  $U_G$  und  $I$  wieder nahezu phasenverschiebungsfrei.

### Literatur:

Alle Physik- und Elektrotechnik-Lehrbücher sind geeignet. Speziell über den benutzten Schwingkreistyp finden Sie Informationen z.B. in den Büchern

Bergmann, Schäfer: *Experimentalphysik*, Band 2, 6.Auflage, §45

Kohlrausch: *Praktische Physik*, Band 2, 20.Auflage, §6.4

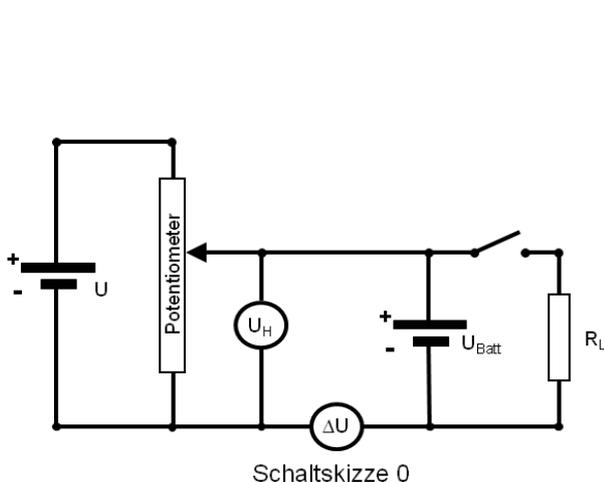
Liemann, Hassel: *Handbuch der HF-Technik*, Kapitel IV B

Etliche der gestellten Aufgaben sind beschrieben in

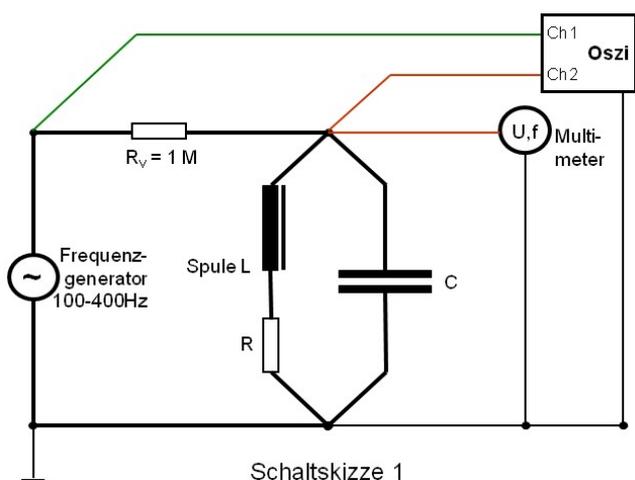
Walcher: *Praktikum der Physik*, 2.Auflage, Kap. 5

Nützliche zusätzliche Literatur:

Jacobowitz, H.: *How to solve Problems in Electricity and Electronics*



(zu Aufgaben 1.6, 1.7)



(zu Aufgabe 2.3)