

# Praktikum Klassische Physik I

## *Versuchsauswertung:* P1-70,71,81: Elektrische Messverfahren

Christian Buntin  
Jingfan Ye

*Gruppe Mo-11*

Karlsruhe, 07. Dezember 2009

christian.buntin@student.kit.edu  
JingfanYe@web.de

### Inhaltsverzeichnis

<b>1 Gleichstrommessungen</b>	<b>2</b>
1.1 Innenwiderstand des $\mu\text{A}$ -Multizets . . . . .	2
1.2 Innenwiderstand des $\text{AV}\Omega$ -Multizets . . . . .	2
1.3 Bestimmung eines unbekanntes Widerstandswertes $R_x$ . . . . .	3
1.4 Widerstandsmessung mittels Wheatstonescher Brückenschaltung . . . . .	4
1.5 Widerstandsmessung mittels eines Ohmmeters . . . . .	5
1.6 Spannungsmessung mittels Kompensationsschaltung . . . . .	5
1.7 Innenwiderstandsbestimmung mittels Kompensationsschaltung bei mäßiger Belastung . . . . .	5
<b>2 Wechselstrommessungen</b>	<b>6</b>
2.1 Gleichstromwiderstand einer Spule . . . . .	6
2.2 Induktivität und Verlustwiderstand einer Spule . . . . .	6
2.3 Induktivität, Verlustwiderstand und Kapazität eines Parallelschwingkreises . . . . .	7
2.4 Einzelne Bestimmung der Wechselstromwiderstände . . . . .	9
2.5 Innenwiderstand des Sinusgenerators . . . . .	10

# 1 Gleichstrommessungen

## 1.1 Innenwiderstand des $\mu\text{A}$ -Multizets

Wir haben die Schaltung wie in der Vorbereitung beschrieben aufgebaut und der Strom auf  $I_0 = 1 \text{ mA}$  eingestellt. Für den Spannungsabfall am  $\mu\text{A}$ -Multizet haben wir mit dem  $\text{AV}\Omega$ -Multizet  $U_I = 0,112 \text{ V}$  gemessen. Das Multizet maß nach Ankleben des Spannungsmessgerätes den Strom  $I_1 = 0,64 \text{ mA}$ . Somit folgt für den Innenwiderstand im  $1 \text{ mA}$ -Bereich des  $\mu\text{A}$ -Multizets:

$$R_i^I = \frac{U_I}{I_1} = 175 \Omega$$

Dies liegt sehr nahe am auf dem Aufgabenblatt angegebenen Innenwiderstand  $R_i = 180 \Omega$ .

## 1.2 Innenwiderstand des $\text{AV}\Omega$ -Multizets

Für die erste Schätzung des Innenwiderstands, bei der angenommen wird, dass der Gesamtstrom durch das Parallelschalten des Spannungsmessgerätes nicht verändert wird, folgt mit den Messwerten aus Aufgabe 1.1:

$$R_i^U = \frac{U_I}{I_0 - I_I} = 311 \Omega \quad (1)$$

Aus der Vorbereitung ist folgende Gleichung des Iterationsverfahrens zur genaueren Bestimmung des Innenwiderstands  $R_i^U$  des Spannungsmessgerätes bekannt:

$$R_i^U = \frac{U_I}{I_{\text{ges}} - I_I} = \frac{U_I}{\frac{U_0}{R_r + R_v + \frac{R_i^I R_i^U}{R_i^U + R_i^I}} - I_I} \quad (2)$$

Für den Widerstand des regelbaren Potentiometers  $R_r$  maßen wir mit dem Ohmmeter „Phillips PM 2503/02“ im  $10 \text{ k}\Omega$  Messbereich  $6,3 \text{ k}\Omega$ . Mit  $R_v = 1 \text{ k}\Omega$  folgt also  $R_r + R_v = 7,3 \text{ k}\Omega$ .

Nach einem Iterationsschritt ergibt sich mit diesen Messdaten  $R_i^I = 368 \text{ k}\Omega$ , nach zwei Iterationsschritten  $369 \text{ k}\Omega$ . Die weiteren Iterationsschritte verändern den Widerstandswert nicht mehr in den signifikanten Stellen.

Den Widerstandswert für  $R_r + R_v$  kann man aber auch durch die Quellspannung und den aus Aufgabe 1.1 ermittelten Strom berechnen. Als das Voltmeter noch nicht angeschlossen war, floss durch den Schaltkreis  $I_0 = 1 \text{ mA}$ . Das Gesamtwidestand  $R_{\text{ges}}$  des Schaltkreises bestehend aus  $R_r$ ,  $R_v$  und dem Innenwiderstand  $R_i^I$  des Strommessgerätes war also  $\frac{U_0}{I_0}$ .  $R_r + R_v$  ist also  $R_{\text{ges}} - R_i^I$ . Mit dieser Rechnung erhalten wir jedoch  $R_r + R_v = \frac{7 \text{ V}}{0,001 \text{ A}} - 175 \Omega = 6,825 \text{ k}\Omega$ . In folgender Gleichung wird  $R_r + R_v$  durch  $\frac{U_0}{I_0} - R_i^I$  ersetzt:

$$R_i^U = \frac{U_I}{I_{\text{ges}} - I_I} = \frac{U_I}{\frac{U_0}{\frac{U_0}{I_0} - R_i^I + \frac{R_i^I R_i^U}{R_i^U + R_i^I}} - I_I} = 303 \Omega \quad (3)$$

Weitere Iterationen verändern diesen Wert nicht mehr an den signifikanten Stellen.

Mit der ersten Methode, bei der wir den Messwert des Potentiometers und den angegebenen Wert des Vorwiderstands in die Rechnung aufgenommen haben, erhalten wir für den Innenwiderstand des Spannungsmessgerätes im  $0,3 \text{ V}$ -Bereich:

$$R_i^U = 369 \Omega$$

Mit der zweiten Methode, in der wir den Wert dieser beiden Widerstände durch die Spannungsangabe der Spannungsquelle und die Strommessung sowie dem von uns ermittelten Wert des Innenwiderstands berechnet haben, ergibt sich:

$$R_i^U = 303 \Omega$$

Auf dem Aufgabenblatt ist für den 3 V-Messbereich der Innenwiderstand  $3000 \Omega$  angegeben. Deshalb sollte der tatsächliche Innenwiderstand im 0,3 V-Bereich bei  $300 \Omega$  liegen. Dies weicht deutlich von unserem ermittelten Wert nach der ersten Methode ab, entspricht jedoch ziemlich gut unserem gemessenen Wert nach der zweiten Methode.

Die Diskrepanz beider Werte liegt in der Ermittlung der Vorwiderstände  $R_r + R_v$ .  $R_r$  wurde mit einem gutem Ohmmeter von uns genau gemessen, bei  $R_v$  vertrauten wir jedoch den Angaben des Herstellers, möglicherweise liegt hier der Fehler. Dieser Widerstand fällt vermutlich tatsächlich etwas kleiner aus.

Bei der zweiten Methode haben wir nur die Stromstärke gemessen, die Spannung der Spannungsquelle haben wir nicht überprüft. Hier könnte ein kleiner Fehler liegen. Jedoch passt der so ermittelte Wert für den Innenwiderstand des Spannungsmessgeräts trotzdem überraschend gut mit dem angegebenen Wert überein, sodass die Spannungsangabe höchstwahrscheinlich sehr genau war.

### 1.3 Bestimmung eines unbekanntes Widerstandswertes $R_x$

Wir haben mit beiden Messgeräten jeweils den Strom und die Spannung am unbekanntes Widerstand  $R_x$  stromrichtig und spannungsrichtig gemessen (Tabelle 1).

Zur Berechnung des unbekanntes Widerstandes ohne Berücksichtigung der Innenwiderstände wird der Mittelwert der Messwerte genommen:

$$R_x = \bar{R}_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{U_i}{I_i} = 458 \pm 100 \Omega$$

$n$  ist die Gesamtanzahl der Messungen. Hier ist  $n = 4$ . Die genauen Werte jeder einzelnen Messung ohne Einbeziehung der Innenwiderstände sind in Tabelle 2 auf der nächsten Seite aufgelistet.

Spannungsrichtig:			
Strom:	0,70 mA	$\mu$ A-Multizet im 1 mA-Bereich	Messreihe 1
Spannung:	0,125 V	AV $\Omega$ -Multizet im 0,3 V-Bereich	
Strom:	0,68 mA	AV $\Omega$ -Multizet im 1 mA-Bereich	Messreihe 2
Spannung:	0,31 V	$\mu$ A-Multizet im 1 V-Bereich	
Stromrichtig:			
Strom:	0,23 mA	$\mu$ A-Multizet im 1 mA-Bereich	Messreihe 3
Spannung:	0,145 V	AV $\Omega$ -Multizet im 0,3 V-Bereich	
Strom:	0,67 mA	AV $\Omega$ -Multizet im 1 mA-Bereich	Messreihe 4
Spannung:	0,38 V	$\mu$ A-Multizet im 1 V-Bereich	

**Tabelle 1:** Messwerte der Widerstandsbestimmung

Der angegebene Fehler ist der Fehler des Mittelwerts bzw. der Unbestimmtheit, als  $\frac{1}{\sqrt{n}} = \frac{1}{2}$  der Standardabweichung.

Um jedoch einen genaueren Wert zu erhalten, müssen die Innenwiderstände der Messinstrumente berücksichtigt werden (Tabelle 2). Dabei berechnet sich  $R_x$  bei stromrichtiger Schaltung zu:

$$R_x = \frac{U}{I} - R_i^I \quad (4)$$

sowie bei spannungsrichtiger Schaltung zu:

$$R_x = \frac{1}{\frac{I}{U} - \frac{1}{R_i^U}} \quad (5)$$

Somit erhalten wir für  $R_x$  einen Mittelwert von

$$R_x = (454 \pm 7) \Omega$$

Der angegebene Fehler ist hier wiederum die Unbestimmtheit. Der Mittelwert stimmt zwar erstaunlicherweise fast identisch mit dem ohne Berücksichtigung der Innenwiderstände überein, doch sieht man, dass der Fehler hier wesentlich kleiner ist, da alle Werte viel näher zusammen liegen (Nochmals deutlich in Tabelle 2 erkennbar).

Der angegebene Wert für den Widerstand war  $470 \Omega$ . Unsere Messung kommt dem Wert relativ nahe.

Messreihe	$I$	$U$	$R_x$ ohne $R_i$	$R_i^I$	$R_i^U$	Messmethode	$R_x$ mit $R_i$
1	0,70 mA	0,125 V	179 $\Omega$	175 $\Omega$	303 $\Omega$	$U$ -richtig	435 $\Omega$
2	0,68 mA	0,31 V	456 $\Omega$	100 $\Omega$	100 k $\Omega$	$U$ -richtig	458 $\Omega$
3	0,23 mA	0,145 V	630 $\Omega$	175 $\Omega$	303 $\Omega$	$I$ -richtig	455 $\Omega$
4	0,67 mA	0,38 V	567 $\Omega$	100 $\Omega$	100 k $\Omega$	$I$ -richtig	467 $\Omega$

**Tabelle 2:** Gemessene Widerstandswerte, wobei „ $R_x$  ohne  $R_i$ “ den ermittelten Widerstandswert ohne Berücksichtigung der Innenwiderstände und „ $R_x$  mit  $R_i$ “ den mit Berücksichtigung bedeutet. Fehlende Innenwiderstandsdaten sind den Daten des Aufgabenblatts entnommen.

## 1.4 Widerstandsmessung mittels Wheatstonescher Brückenschaltung

Wir haben eine Brückenschaltung nach der Vorbereitung aufgebaut und das Potentiometer so eingestellt, dass die Punkte zwischen den Widerständen auf gleichem Potential lagen. Dann erhielten wir für die Widerstandswerte:

$$R_1 = 0,71 \text{ k}\Omega \quad R_2 = 0,33 \text{ k}\Omega \quad R_0 = 1 \text{ k}\Omega$$

Somit folgt für den unbekanntes Widerstand  $R_x$ :

$$R_x = \frac{R_2}{R_1} R_0 = 465 \Omega$$

Dies entspricht sehr gut dem angegebenen Wert von  $470 \Omega$ . Dies zeigt, dass diese Methode wesentlich besser zur Widerstandsbestimmung geeignet ist. Fehlerquellen sind hier vor allem die genaue Bestimmung der Teilwiderstände des Potentiometers. Um diese genau zu bestimmen, maßen wir sie mit einem genauen Ohmmeter nochmal nach.

## 1.5 Widerstandsmessung mittels eines Ohmmeters

Statt mit dem  $\mu\text{A}$ -Multizet haben wir den Widerstand direkt mit dem Messgerät „Philips PM 2503/02“ im  $1\text{ k}\Omega$ -Messbereich gemessen. Damit erhielten wir für den Widerstand:

$$R_x = 0,48\text{ k}\Omega$$

Diese nur sehr kleine Abweichung vom angegebenen Wert zeigt, dass das Ohmmeter sehr genau messen kann.

Dies liegt, wie erwartet, auch sehr nahe am angegebenen Wert von  $470\ \Omega$ .

## 1.6 Spannungsmessung mittels Kompensationsschaltung

Zur Bestimmung der Urspannung  $U_0$  der Trockenbatterie haben wir eine Gegenspannung  $U_H$  angelegt, die wir mittels Potentiometer beliebig verstellen konnten. Diese haben wir so lange erhöht, bis wir selbst mit dem  $\mu\text{A}$ -Multizet im  $30\text{ mV}$ -Bereich keine Potentialdifferenz mehr feststellen konnten. Somit entsprach  $U_0 = U_H$ , für die wir gemessen haben:

$$U_0 = U_H = 1,45\text{ V}$$

Da diese etwas unter der Nennspannung von  $1,5\text{ V}$  liegt, vermuten wir, dass die Batterie schon etwas entladen ist.

## 1.7 Innenwiderstandsbestimmung mittels Kompensationsschaltung bei mäßiger Belastung

Wir haben im Aufbau der letzten Aufgabe kurzzeitig verschiedene Widerstände  $R$  parallel zur Batterie geschaltet und die Differenzspannung  $\Delta U$  abgelesen (Tabelle 3). Dann haben wir den Innenwiderstand der Batterie wie folgt berechnet:

$$R_i = \frac{\Delta U}{U_0 - \Delta U} R$$

Lastwiderstand $R$	Spannungserniedrigung $\Delta U$	Innenwiderstand $R_i$
$220\ \Omega$	$3,5\text{ mV}$	$0,53\ \Omega$
$110\ \Omega$	$7,0\text{ mV}$	$0,53\ \Omega$
$47\ \Omega$	$14,0\text{ mV}$	$0,46\ \Omega$
$22\ \Omega$	$31\text{ mV}$	$0,48\ \Omega$

**Tabelle 3:** Spannungserniedrigung einer Trockenbatterie bei verschiedenen Lastwiderständen

Somit ist der Innenwiderstand der Trockenbatterie bei mäßiger Belastung annähernd konstant:

$$R_i = 0,50 \pm 0,02\ \Omega$$

## 2 Wechselstrommessungen

### 2.1 Gleichstromwiderstand einer Spule

Wir haben den Gleichstromwiderstand der Spule mit dem genauen Ohmmeter im 100  $\Omega$ -Messbereich gemessen:

$$R_s = 69 \Omega$$

### 2.2 Induktivität und Verlustwiderstand einer Spule

Wir haben die Messschaltung nach Aufgabenstellung und nach der Vorbereitung aufgebaut und die Spannungen am Generator  $U_G$ , am Widerstand  $U_v$  und an der Spule  $U_L$  gemessen:

$$U_G = 0,203 \text{ V} \quad U_v = 0,074 \text{ V} \quad U_L = 0,175 \text{ V}$$

Für den Vorwiderstand  $R_v$  wählten wir nach Vorgabe  $R_v = 110 \Omega$ . Wir haben eine Frequenz von  $f = 30,00 \text{ Hz}$  eingestellt.

Für den Verlustwiderstand der Spule gilt dann:

$$R = \frac{U_G^2 - U_v^2 - U_L^2}{2U_v^2} R_v = 51,3 \Omega$$

Erwartet wurde ein Wert, welcher in etwa dem Gleichstromwiderstand der Spule entspricht. Dies liegt leider, anders als erwartet, unterhalb des Gleichstromwiderstandes. Wir vertrauen eher dem Messwert durch das Ohmmeter, da wir bei Aufgabe 1 sehr gute Erfahrungen mit seiner Genauigkeit gemacht haben. Deshalb haben wir hier ausnahmsweise eine Größtfehlerabschätzung dieser Messgröße durch:

$$\Delta R = \left| \frac{\partial R}{\partial U_G} \right| \Delta U_G + \left| \frac{\partial R}{\partial U_v} \right| \Delta U_v + \left| \frac{\partial R}{\partial U_L} \right| \Delta U_L + \left| \frac{\partial R}{\partial R_v} \right| \Delta R_v$$

Würden wir annehmen, der Fehler jeder Messgröße beträgt nur 1% ihres Messwerts, würde sich schon folgender systematischer Fehler ergeben (Berechnet mit Excel):

$$\Delta R = 8,3 \Omega + 2,2 \Omega + 6,2 \Omega + 0,6 \Omega = 17,3 \Omega$$

Wir sehen also, dass diese Messgröße sehr empfindlich ist und schon bei kleinen systematischen Fehlern sehr große Fehlertoleranzen aufweist. Bei den wirklich kleinen angenommenen Fehler jeder Messgröße würde der Gleichstromwiderstand schon am Rande des Fehlertoleranzbereichs liegen.

Für die Induktivität  $L$  der Spule gilt:

$$L = \frac{R_v}{U_v} \frac{1}{2\pi f} \sqrt{U_L^2 - U_v^2} \left( \frac{R}{R_v} \right)^2 = 1,35 \text{ H}$$

Auch dieser Wert weicht vom angegebenen Wert von 1 H ab. Da wir schon allein für  $R$  einen großen systematischen Fehler berechnet haben, wird der gesamte Fehlertoleranzbereich dieser Größe auch erst recht (zusammen mit den anderen Messfehler) sehr groß sein. Dazu kommen noch Fehler durch nicht beachtete Innenwiderstände der Messgeräte.

## 2.3 Induktivität, Verlustwiderstand und Kapazität eines Parallelschwingkreises

Wir haben die Schaltung nach Vorgabe aufgebaut und dabei einen Vorwiderstand  $R_v = 1 \text{ M}\Omega$  verwendet sowie eine Generatorspannung von  $U_0 = 8,8 \text{ V}$  angelegt. Dann haben wir die Spannung  $U_f$  am Schwingkreis bei verschiedenen Frequenzen  $f$  gemessen (Tabelle 4) und in einem Schaubild aufgetragen (Abbildung 1 auf der nächsten Seite).

Frequenz	Spannung
100 Hz	10,0 mV
120 Hz	14,7 mV
140,1 Hz	22,6 mV
160,2 Hz	41,7 mV
180,2 Hz	137 mV
184,8 Hz	199 mV
$f_0 = 186,77 \text{ Hz}$	$U_r = 210,8 \text{ mV}$
190,7 Hz	181 mV
195,6 Hz	127 mV
200,2 Hz	94,6 mV
220,1 Hz	42,0 mV
240,0 Hz	27,4 mV
260,8 Hz	20,3 mV
280,9 Hz	16,4 mV
300,2 Hz	14,0 mV
320,1 Hz	12,2 mV
340,2 Hz	10,8 mV
360,6 Hz	9,7 mV
380,7 Hz	8,9 mV
400,9 Hz	8,2 mV

**Tabelle 4:** Spannung am Schwingkreis in Abhängigkeit von der Frequenz

Da an der Grenzfrequenz keine Phasenverschiebung vorliegt, bestimmten wir diese mittels Lissajous-Figuren (Oszilloskop im XY-Betrieb). Dazu stellten wir die Frequenz so ein, dass als Lissajous-Figur eine möglichst genaue Gerade zu sehen war. Damit erhielten wir für die Grenzfrequenz:

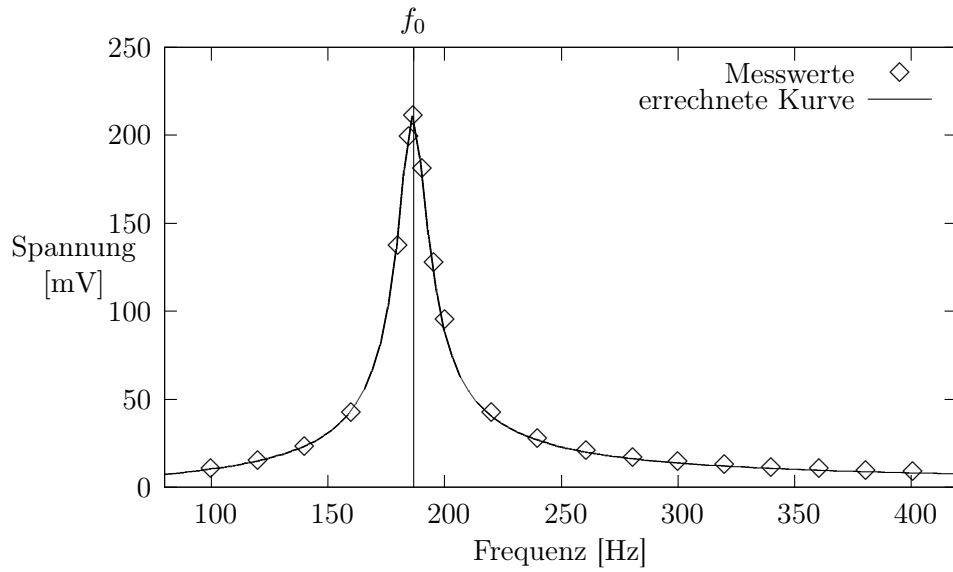
$$f_0 = 186,77 \text{ Hz} \quad \Rightarrow \quad \omega_0 = 2\pi f_0 = 1\,173,51 \frac{1}{\text{s}}$$

Aus der bei der Resonanzfrequenz gemessenen Spannung  $U_r = 210,8 \text{ mV}$  lässt sich der Resonanzwiderstand  $R_r$  berechnen:

$$R_r = \frac{U_r}{U_0} R_v = 23,96 \text{ k}\Omega \quad (6)$$

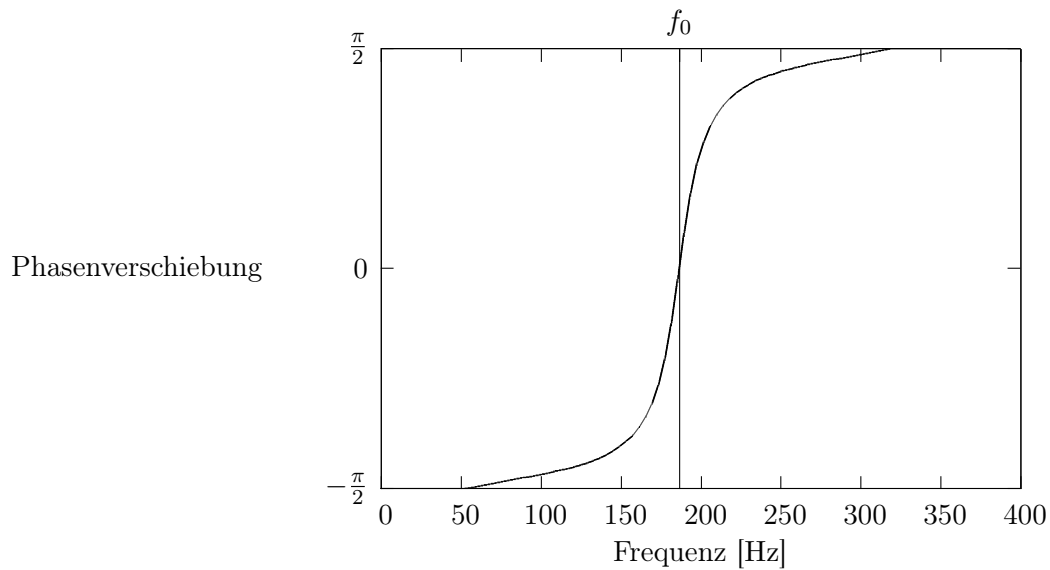
Wobei  $R_v = 1 \text{ M}\Omega$  der Vorwiderstand ist. Für die Halbwertsbreite suchten wir die Stellen über und unter der Resonanzfrequenz, an denen die Spannung nur noch die Hälfte der Resonanzspannung vorlag. Aus deren Differenz bestimmten wir die Halbwertsbreite:

$$\Delta f = 198,2 \text{ Hz} - 177,3 \text{ Hz} = 20,9 \text{ Hz} \quad \Rightarrow \quad \Delta\omega = 2\pi\Delta f = 131,3 \frac{1}{\text{s}}$$



**Abbildung 1:** Spannung am Schwingkreis in Abhängigkeit von der Frequenz errechnete Kurve:

$$U(\omega) = \frac{U_0}{R_v} \cdot \frac{\sqrt{(\omega L - \omega^3 CL^2 + \omega CR^2)^2 + (R - 2R\omega^2 CL)^2}}{(1 - \omega^2 LC)^2 + (\omega CR)^2}$$



**Abbildung 2:** Phasenverschiebung am Schwingkreis in Abhängigkeit von der Frequenz errechnete Kurve:

$$\varphi(\omega) = \arctan \left( \frac{\omega L - \omega^3 CL^2 + \omega CR^2}{R - 2R\omega^2 CL} \right)$$



Aus den eben bestimmten Werten lassen sich nun die Daten der verwendeten Bauteile berechnen. Für die Kapazität  $C$  des Kondensators erhalten wir:

$$C = \frac{\sqrt{3}}{\Delta\omega R_r} = 0,551 \mu\text{F}$$

Für den Kondensator ist die Kapazität  $C = 0,47 \mu\text{F}$  angegeben. Der gemessene Wert weicht also zu hoch. Folglich werden auch die weiteren Größen zu hoch ausfallen. Für die Impedanz  $L$  und den Verlustwiderstand  $R$  der Spule gelten nämlich:

$$L = \frac{1}{\omega_0^2 C} = 1,319 \text{ H}$$

$$R = \frac{\Delta\omega L}{\sqrt{3}} = 99,975 \Omega$$

Dieser relativ große Wert des Verlustwiderstandes liegt zum einen daran, dass bereits die Kapazität und damit auch die Induktivität viel zu hoch gemessen wurde. Würde man für die Induktivität  $1 \text{ H}$  einsetzen, läge der Verlustwiderstand bei  $75,8 \Omega$ . Dieser Wert läge schon deutlich näher am Gleichstromwiderstand. Die Differenz beider Widerstände könnte daher rühren, dass hier ein Schwingkreis aufgebaut wurde und kleine Verluste durch Abstrahlung elektromagnetischer Wellen entstehen.

Da wir kein Gerät hatten, welches uns direkt die Phasenverschiebung als Zahl anzeigte, bestimmten wir sie nur qualitativ anhand des Oszilloskops. Wir fingen bei niedriger Frequenz an, bei der die Amplitude der Schwingkreisspannungskurve sehr klein war. Die Phasenverschiebung betrug in etwa  $-\frac{\pi}{2}$ . Erhöhten wir die Frequenz, wurde die Amplitude der Spannung immer größer, wobei sich die Spannungskurve des Schwingkreises und die der Spannungsquelle näher kamen, indem erstere immer weiter nach rechts im Oszilloskop rückte. Die Nulldurchgänge beider Kurven überlagerten sich schließlich, als die Resonanzfrequenz erreicht war. Beide Kurven wiesen damit keine Phasenverschiebung mehr auf. Die Resonanzfrequenz konnte man noch genauer bestimmen, indem man das Oszilloskop in den XY-Modus stellte, sodass es eine gerade als Lissajous-Figur anzeigte. Schließlich erhöhten wir die Frequenz über die Resonanzfrequenz hinaus und beobachteten, dass die Amplituden wieder kleiner wurden und zugleich die Spannungskurve des Schwingkreises weiter nach rechts wanderte. Bei sehr hoher Frequenz konnten wir schließlich eine Phasenverschiebung von fast  $\frac{\pi}{2}$  beobachten (vergleiche Abbildung 2 auf der vorherigen Seite).

## 2.4 Einzelne Bestimmung der Wechselstromwiderstände

Wir haben den Kondensator bzw. die Spule an die Stromquelle (mit  $1 \text{ M}\Omega$ -Vorwiderstand) angeschlossen und die Spannung und den Strom am jeweiligen Bauelement gemessen. Die Formeln zur Bestimmung der Induktivitäten und der Kapazitäten wurden bereits in der Vorbereitung hergeleitet. Bei der Spule kann der Verlustwiderstand aufgrund der viel größeren Induktivitätsimpedanz vernachlässigt werden. Bei der Spule haben wir gemessen:

$$U_L = 13,24 \text{ mV} \quad I_L = 7,8 \mu\text{A} \quad \Rightarrow |Z| = \frac{U_L}{I_L} = 1697 \Omega \quad L \approx \frac{|Z|}{\omega_0} = 1,45 \text{ H}$$

Für die Kapazität  $C$  des Kondensators maßen wir:

$$U_C = 13,41 \text{ mV} \quad I_C = 7,8 \mu\text{A} \quad \Rightarrow |Z| = \frac{U_C}{I_C} = 1719 \Omega \quad C \approx \frac{1}{\omega_0 \cdot |Z|} = 0,496 \mu\text{F}$$

Der Wert der Induktivität ist sehr schlecht, dafür passt der Wert der Kapazität besser.

## 2.5 Innenwiderstand des Sinusgenerators

Wir haben an den Sinusgenerator ein Potentiometer als regelbaren Widerstand  $R_L$  angeschlossen und beobachtet, bei welchem Widerstand die Ausgangsspannung  $U_0 = 8,93 \text{ V}$  auf die Hälfte gesunken ist. Dies war bei  $R_L = 0,62 \text{ k}\Omega$  der Fall. Also sind an diesem Punkt  $R_L$  und der Innenwiderstand gleich. Somit gilt für die Maximalleistung  $P_{\max}$ :

$$P_{\max} = \frac{U_0^2}{4R_L} = 32,2 \text{ mW}$$