

Physikpraktikum für Naturwissenschaftler

Versuch: Wechselstromkreise

Durchgeführt am 10. Januar 2019

Betreuer: David Reinhardt

Gruppe 13

Felix Burr: felix.burr@uni-ulm.de

Johannes Spindler: johannes.spindler@uni-ulm.de

Wir bestätigen hiermit, das Protokoll selbstständig erarbeitet zu haben und in genauer Kenntnis über dessen Inhalt zu sein.

Felix Burr

Johannes Spindler

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Impedanzmessung an Widerstand, Kondensator und Spule	3
2.1	Versuchsaufbau und Durchführung	3
2.2	Messwerte und Ergebnisse	5
2.3	Fehlerrechnung	6
3	Impedanzmessung an einem unbekannten Zweipol	6
3.1	Versuchsaufbau und Durchführung	6
3.2	Messwerte und Ergebnisse	7
3.3	Ergebnisdiskussion	9
4	Fazit	9

1 Einleitung

Aus dem Ohm'schen Gesetz ist der elektrische Widerstand R als konstantes Verhältnis der Spannung U zur Stromstärke I bekannt:

$$R = \frac{U(t)}{I(t)} = \text{const} \quad (1)$$

Das gilt für Gleich- wie Wechselspannungen, allerdings spricht man bei Wechselstromkreisen vom Scheinwiderstand $|Z|$, der als Betrag der (komplexwertigen) Impedanz Z definiert ist:

$$|Z| = \frac{U_0}{I_0} \quad (2)$$

U_0 und I_0 bezeichnen die Amplitudenwerte von Spannung und Stromstärke.

Die Impedanz eines Zweipols fasst im Realteil den Wirkwiderstand R und im Imaginärteil den Blindwiderstand X zusammen. Während beim Wirkwiderstand die Sinuskurven von Spannung und Strom phasengleich sind, liegt beim Blindwiderstand eine Phasenverschiebung von $+90^\circ$ oder -90° vor. Diese Phasenverschiebung ist der Grund, warum Wirk- und Blindwiderstände einer Schaltung nicht einfach zu einem Gesamtwiderstand addiert werden dürfen, sondern als komplexwertige Impedanz Z verstanden werden.

$$Z = R + iX \quad (3)$$

Vektoriell betrachtet ist Z ein Vektor mit einer R -Komponente auf der x-Achse und einer X -Komponente auf der y-Achse. Dann ist der Winkel φ zwischen x-Achse und Z der Phasenwinkel und die Länge $|Z|$ des Vektors der Scheinwiderstand.

Im ersten Versuch wird der Scheinwiderstand $|Z|$ für einen Widerstand, einen Kondensator und eine Spule bestimmt. Im zweiten Versuch sollen Impedanz und Phasenverschiebung eines unbekannten Zweipols bestimmt und der Aufbau dieses Zweipols durch Vergleich mit Theoriewerten gefolgert werden.

2 Impedanzmessung an Widerstand, Kondensator und Spule

2.1 Versuchsaufbau und Durchführung

Es werden vier Messungen durchgeführt: ein Widerstand, ein Kondensator und eine Spule werden mit dem Analog-Oszilloskop vermessen, anschließend die Spule nochmals mit einem Digital-Oszilloskop.

Der zu messende Zweipol wird wie in Abbildung 1 mit einem bekannten Widerstand R_I , der zur Bestimmung von I dient, in Reihe geschaltet und an einen Frequenzgenerator und ein Oszilloskop angeschlossen. Abbildung 6 zeigt den Aufbau. Als Frequenz wird für Widerstand und Kondensator $f = 1\text{kHz}$ und für die Spule $f = 10\text{kHz}$ gewählt. Auf Kanal 1 des Oszilloskops wird die Amplitude U_1 der am Zweipol anliegenden Spannung und auf Kanal 2 die Amplitude U_2 der an R_I anliegenden Spannung gemessen.

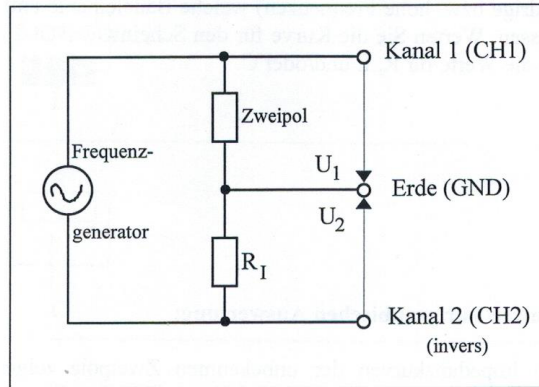


Abbildung 1: Schaltbild zur Impedanzmessung (aus der Versuchsanleitung)

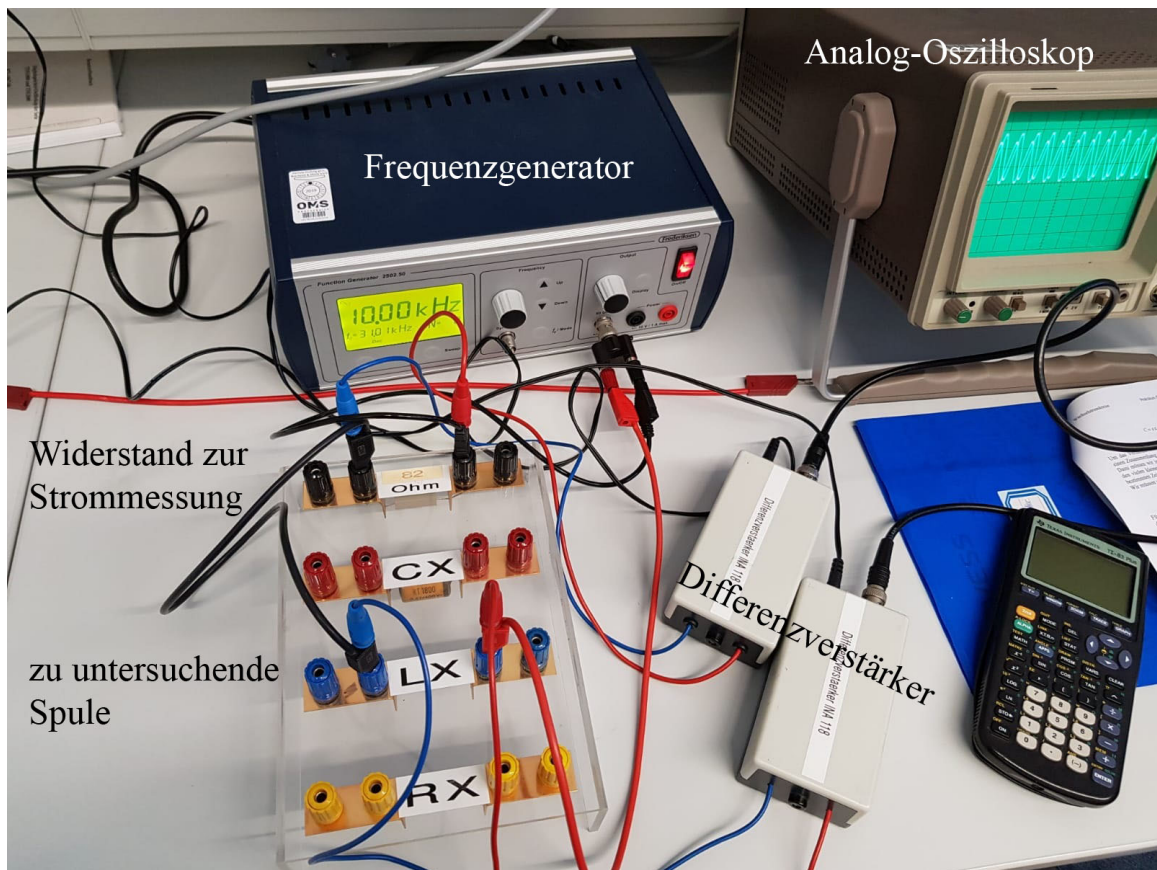


Abbildung 2: Aufbau des Schaltbildes in Abbildung 1

Mit U_2 und $R_I = 82\Omega$ kann dann die Stromstärke berechnet werden:

$$I = \frac{U_2}{R_I} \quad (4)$$

Damit wird der Scheinwiderstand bestimmt:

$$|Z| = \frac{U_1}{I} = \frac{U_1}{U_2} \cdot R_I \quad (5)$$

	Zeitverhalten		Frequenzverhalten	
		Wirkwiderstand R	Blindwiderstand X	Phasen- verschiebung φ
ohmscher Widerstand	$U_R(t) = R I_R(t)$	R	0	0
ideale Spule (Induktivität)	$U_L(t) = L \frac{dI_L(t)}{dt}$	0	ωL	90°
Kondensator (Kapazität)	$U_C(t) = \frac{1}{C} \int I_C(t) dt$	0	$-\frac{1}{\omega C}$	-90°

Abbildung 3: Zeit- und Frequenzverhalten elementarer Zweipole (aus der Versuchsanleitung)

Abbildung 3 zeigt das Zeit- und Frequenzverhalten eines Widerstands, eines Kondensators und einer Spule. Da bei jedem dieser elementaren Zweipole eine Komponente von Z null ist, können die Größen R bzw. L bzw. C leicht aus $|Z|$ berechnet werden:

$$R = |Z| \quad (6)$$

$$C = \frac{1}{\omega |Z|} \quad (7)$$

$$L = \frac{|Z|}{\omega} \quad (8)$$

Hierbei ist $\omega = 2\pi f$ die Kreisfrequenz.

Außerdem soll mit dem Oszilloskop die zeitliche Phasenverschiebung Δt zwischen von U_1 in Bezug auf U_2 gemessen werden. Daraus kann durch folgendes Verhältnis auch die Phasenverschiebung φ in Grad berechnet werden:

$$\frac{\varphi}{360^\circ} = \frac{\Delta t}{T} = \Delta t \cdot f \quad (9)$$

2.2 Messwerte und Ergebnisse

In Tabelle 1 wird die für den Zweipol charakteristische Größe $R/C/L$ und in Tabelle 3 die Phasenverschiebung zwischen Spannung und Strom ermittelt.

Tabelle 1: Messwerte für U_1 , U_2 und daraus errechnete Werte für I , $|Z|$ und R bzw. C bzw. L .

Messung	f [kHz]	U_1 [V]	U_2 [V]	I [A]	$ Z $ [Ω]	
Widerstand	1	0,55	0,45	0,00549	100,222	$R = 100,222 \Omega$
Kondensator	1	1,2	0,305	0,00372	322,623	$C = 4,933 \cdot 10^{-7} \text{ F}$
Spule	10	1,2	0,26	0,00317	378,462	$L = 6,023 \text{ mH}$
Spule (digital)	10	1,16	0,27	0,00329	352,296	$L = 5,606 \text{ mH}$

Tabelle 2: Messwerte für Δt und daraus errechnete Werte für φ .

Messung	f [kHz]	Δt [ms]	φ [°]
Widerstand	1	0	0
Kondensator	1	-0,22	-79,2
Spule	10	0,021	+75,6
Spule (digital)	10	0,026	+93,6

2.3 Fehlerrechnung

Die Spannung kann mit einer Genauigkeit von $\Delta U_1 = \Delta U_2 = 0,025 \text{ V}$ am Oszilloskop abgelesen werden. Damit ergibt sich für die Größtfehler der Zweipolgrößen:

$$\Delta R = \Delta |Z| = \left| \frac{\partial R}{\partial U_1} \right| \Delta U_1 + \left| \frac{\partial R_2}{\partial U_2} \right| \Delta U_2 = \frac{R_I}{U_2} \cdot \Delta U_1 + \frac{R_I U_1}{U_2^2} \cdot \Delta U_2 = 10,12 \Omega$$

$$\Delta C = \left| \frac{\partial C}{\partial |Z|} \right| \Delta |Z| = \frac{1}{\omega |Z|^2} \cdot \Delta |Z| = 5,07 \cdot 10^{-8} \text{ F}$$

$$\Delta L = \left| \frac{\partial L}{\partial |Z|} \right| \Delta |Z| = \frac{1}{\omega} \cdot \Delta |Z| = 7,05 \cdot 10^{-4} \text{ H}$$

3 Impedanzmessung an einem unbekannten Zweipol

3.1 Versuchsaufbau und Durchführung

In diesem Versuch untersuchen wir einen unbekannten Zweipol, welcher mit einem Ohm'schen Widerstand in Reihe geschaltet wurde. Bei unterschiedlichen Frequenzen messen wir jeweils die Spannungsdifferenzen an den Widerständen und die zeitliche Phasenverschiebung zwischen den Widerständen.

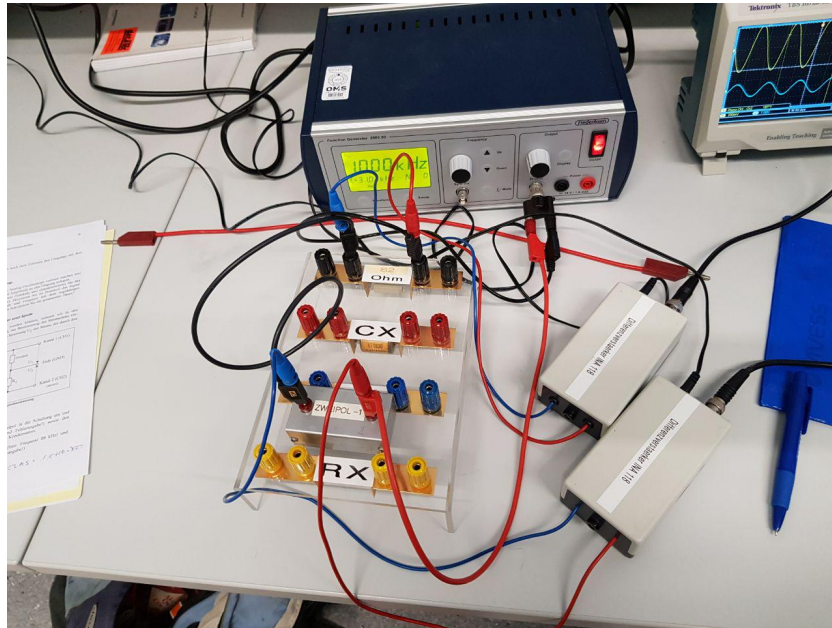


Abbildung 4: Versuchsaufbau mit unbekannten Zweipol

3.2 Messwerte und Ergebnisse

Tabelle 3: Messwerte für U_1 und U_2 und daraus errechnete Werte

f [kHz]	$\omega [\frac{rad}{s}]$	U_1 [V]	U_2 [V]	I [mA]	Z [Ω]	δt [ms]	Φ [°]
30	188	0,01	1,28	0,0001219	10496	-7,2	-102,24
60	376	0,02	1,32	0,0002439	5412	-4	-93,6
100	628	0,0344	1,32	0,0004195	3146	-2,4	-93,6
200	1256	0,068	1,32	0,0008292	1591	-1,3	-86,4
400	2513	0,132	1,32	0,001609	820	-0,68	-82,08
1000	6283	0,272	1,08	0,003317	325	-0,3	-72
2000	12566	0,368	0,88	0,004487	196	-0,17	-57,6
4000	25132	0,44	0,72	0,005365	134	-0,104	-30,24
10000	62831	0,46	0,65	0,005609	115	-0,046	-14,4
20000	125663	0,46	0,64	0,005609	114	-0,024	-7,2
40000	2513273	0,48	0,62	0,005853	105	-0,0124	-1,44
80000	502654	0,48	0,6	0,005853	102,5	-0,0062	-1,44

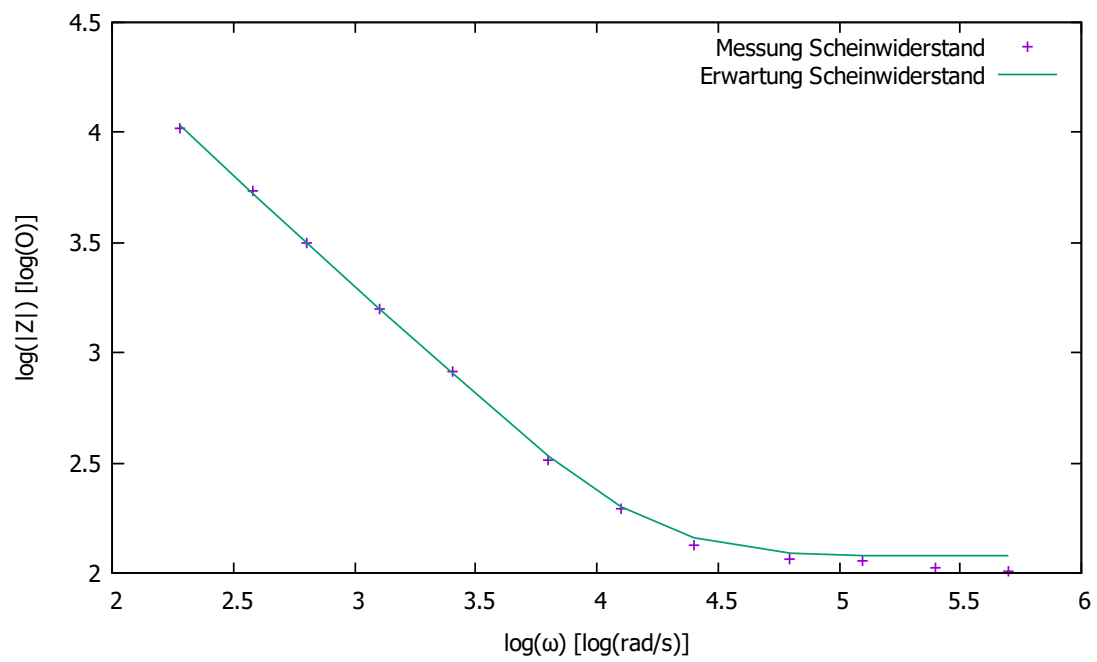


Abbildung 5: Vergleich des gemessenen Scheinwiderstandes zu dem Erwarteten

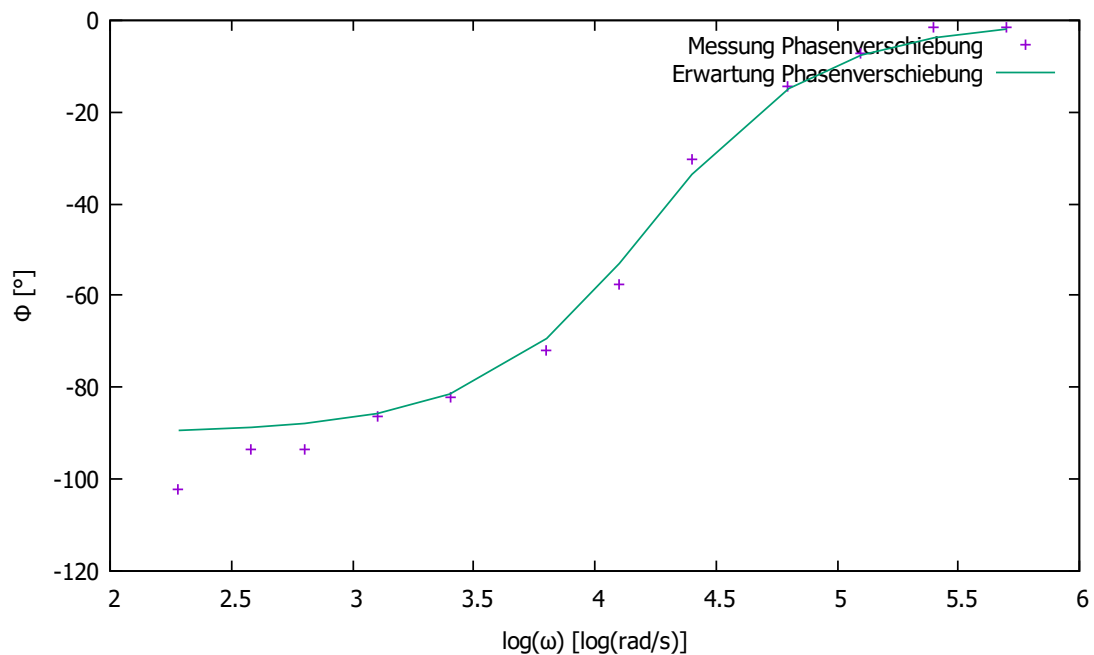


Abbildung 6: Vergleich der gemessenen Phasenverschiebung zu dem Erwarteten

3.3 Ergebnisdiskussion

Bei im niederen Frequenzbereich verhält sich der Scheinwiderstand wie eine Spule, und wir haben eine Phasenverschiebung um -90° . Im höheren Frequenzbereich verhält sich der Scheinwiderstand wie ein ohm'scher Widerstand, und die Phasenverschiebung nähert sich 0 an. Wir schließen daraus, dass eine Kondensator und ein ohm'scher Widerstand in Reihe geschaltet sind, da sich beide Scheinwiderstände addieren. Mit kleineren Abweichungen decken sich unsere Messungen gut mit den erwarteten Ergebnissen. Betrachten wir den hohen Frequenzbereich, fällt der Induktive Anteil nicht ins Gewicht. Für den Ohm'schen Widerstand können wir aus Tabelle 3 $R = 109,125 \pm 5,46 \, \Omega$ als Mittelwert ermitteln. Der Induktive Anteil lässt sich mittels dem Durchschnitt der ersten 6 Messpunkte mittels $C = \frac{1}{\omega \sqrt{Z^2 - R^2}} = (4,944 \pm 0,163) * 10^{-7} \, F$ ermitteln

4 Fazit

Falls unbekannte Bauteile in einer Schaltung ermittelt werden müssen, ist es nützlich ein bekanntes Bauteil mit der Schaltung in Reihe zu schalten. So kann man mittels Messungen zwischen den Bauteilen unterscheiden. Der Verlauf der Scheinwiderstandskurve sagt aus, ob das Bauteil induktive oder kapazitive Elemente enthält. Phasenverschiebungen geben zusätzlich Aufschluss darüber. Mit den Kirchhoff'schen Regeln und Maschenregeln lassen sich die anderen Werte ermitteln