

ANFÄNGERPRAKTIKUM DER FAKULTÄT FÜR PHYSIK,
UNIVERSITÄT GÖTTINGEN

Versuch 14
Wechselstromwiderstände

Praktikant: Michael Lohmann
Versuchspartner Felix Kurtz
E-Mail: m.lohmann@stud.uni-goettingen.de
Betreuer: Björn Klaas
Versuchsdatum: 08.09.2014

Eingegangen am:

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Theorie	3
2.1	Wechselspannungen und -ströme	3
2.2	Impedanz	3
2.3	Ohmscher Widerstand	4
2.4	Induktivität	4
2.5	Kapazität	5
2.6	RLC -Serienschaltung	5
2.7	LC -Parallelschaltung	5
3	Durchführung	5
4	Auswertung	7
4.1	Widerstand und Spule in Reihe	7
4.2	RLC -Serienschaltung	9
4.3	Parallelkreis	10
5	Diskussion	11
	Literatur	11

1 Einleitung

Wechselströme spielen in der modernen Energieversorgung eine zentrale Rolle. Um so wichtiger ist es, die Effekte und genauen Eigenschaften von *Wechselstrom-Widerständen* zu kennen. Auch die Phasenverschiebung von Strom zu Spannung soll in diesem Versuch beobachtet werden.

2 Theorie

2.1 Wechselspannungen und -ströme

Unter einer Wechselspannung versteht man eine Spannung, die einen periodischen zeitlichen Verlauf besitzt. Die zumeist verwendete ist die sinusförmige mit $U(t) = U_0 \cdot \sin(\omega t)$. Da hierbei die maximale Spannung U_0 nur den kürzesten Teil der Zeit anliegt, ist die Definition eines *Effektivwertes* sinnvoll. Diese ist so definiert, dass eine Gleichspannung diesen Wertes die selbe Leistung erbringt, nämlich:

$$U_{\text{eff}} = \frac{U_0}{\sqrt{2}} \quad .$$

Die in europäischen Haushalten übliche Wechselspannung von $U_{\text{eff}} = 220 \text{ V}$ besitzt so eine Maximalspannung von $U_0 = \sqrt{2} \cdot U_{\text{eff}} = 311 \text{ V}$. Ebenso ist auch der Effektivstrom definiert.

Der fließende Strom I besitzt nun die Form

$$I = I_0 \cdot \sin(\omega t + \varphi)$$

wobei φ die Phasenverschiebung ist. Diese hängt ab von der jeweiligen Schaltung ab und wird in den Kapiteln 2.6 und 2.7 behandelt.

2.2 Impedanz

Die Impedanz Z berechnet sich im allgemeinen durch

$$Z = \frac{U(t)}{I(t)} \quad .$$

Dies ist analog zum Ohmschen Widerstand $R = \frac{U}{I}$, wodurch sich der Name Scheinwiderstand $|Z|$ für ihren Betrag ergibt.

In Abb. 1 ist ein Beispiel aufgetragen, in dem man die verschiedenen (Blind-)Widerstände einer Schaltung erkennen kann, die an den einzelnen Bauteilen vorhanden sind. Im Resonanzfall ist $X_L = X_C$, wodurch die gesamte Impedanz Z real wird und die Phasenverschiebung $\varphi = 0$ verschwindet.

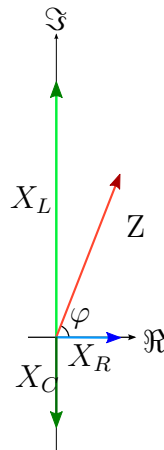


Abbildung 1: Zeigerdiagramm, welches die Realteile der Spannung gegen ihren Imaginärteil in einer Serienschaltung aufträgt.

2.3 Ohmscher Widerstand

Für einen Ohmschen Widerstand gilt

$$U(t) = R \cdot I(t) \quad .$$

Strom und Spannung sind also in Phase.

2.4 Induktivität

Nach [Gri99, S. 313] gilt für eine Spule

$$U_{\text{Ind}} = -U_L = -L \frac{dI}{dt} \quad . \quad (1)$$

Hierbei bezeichnet L die Induktivität, welche von der Spulengeometrie abhängt. Nimmt man nun wieder die Sinus-Spannung an, so folgt:

$$\begin{aligned} U_0 \cdot \sin(\omega t) &= L \frac{dI}{dt} \\ \Leftrightarrow I(t) &= U_0 \frac{1}{\omega L} \cos(\omega t) \quad . \end{aligned}$$

Dies bedeutet, dass die Spannung dem Strom für eine Schaltung, welche nur aus einer Spule bestehent, um $\varphi = \frac{\pi}{2}$ voraus eilt.

Man kann nun den *Blindwiderstand* für eine Spule definieren:

$$X_L := \frac{U(t)}{I(t)} = L\omega \quad . \quad (2)$$

2.5 Kapazität

Für einen Kondensator gilt nach [Gia10, S. 822]:

$$\begin{aligned} Q &= CU = CU_0 \sin(\omega t) \\ \Rightarrow I(t) &= \dot{Q} = CU_0 \omega \cos(\omega t) \quad . \end{aligned}$$

Dies bedeutet, dass der Strom der Spannung um $\varphi = \frac{\pi}{2}$ voraus eilt.

Auch für einen Kondensator kann man so einen *Blindwiderstand* definieren:

$$X_C := \frac{U(t)}{I(t)} = -\frac{1}{\omega C} \quad (3)$$

2.6 RLC-Serienschaltung

Ein *RLC*-Serienschaltkreis wie in Abb. 2 muss nun aus einer Zusammensetzung der beiden erfolgen. Dafür definiert man die *Impedanz*:

$$Z_{\text{Serie}} := |R + i(X_C + X_L)| = \left| R + i \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right) \right| = \sqrt{R^2 + (X_L + X_C)^2} \quad . \quad (4)$$

Die Phasenverschiebung lässt sich (wie in Abb. 1 zu erkennen und nach [Gia10, S. 1042]) durch

$$\varphi = \arctan \left(\frac{X_L + X_C}{R} \right) \quad (5)$$

berechnen.

2.7 LC-Parallelschaltung

Ist ein *LC*-Parallelschaltkreis wie in Abb. 3 vorhanden, so berechnet sich die Impedanz nach der Spannungsregel für Parallelkreise durch

$$Z_{\text{Para}} = \frac{i}{\frac{1}{X_L} + \frac{1}{X_C}}$$

3 Durchführung

Der Aufbau besteht aus einem Frequenzgenerator, welcher einem veränderlichen Stromkreis aus Widerstand, Kondensator und Luftspule Spannung bereitstellt. Die verschiedenen Parameter Ausgangsspannung U , Spannung an Widerstand und Spule U_{L+R} , Spannung am Kondensator U_C und Gesamtstrom I werden mit einem Oszilloskop bzw. Spannungs- und Strom-Messgeräten vermessen.

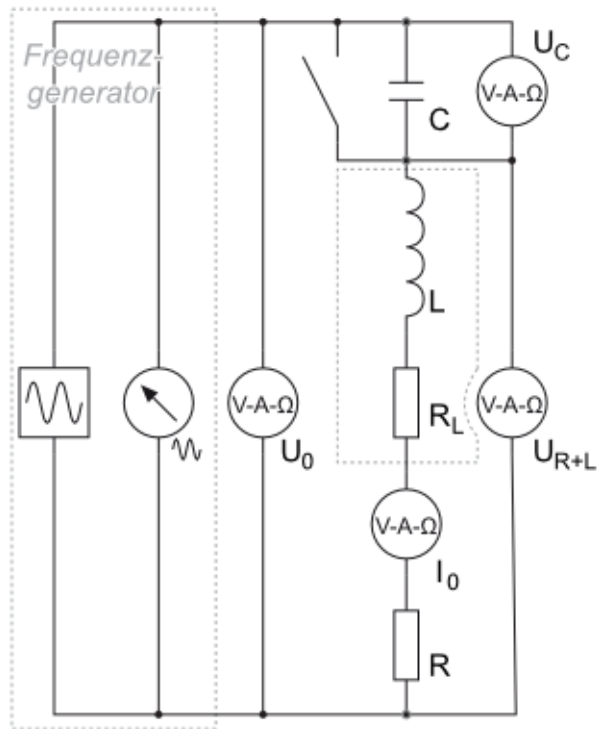


Abbildung 2: Schaltplan der Serienschaltung nach [LP1, 4.10.2014, 15:30].

Zunächst baut man den Serienschaltkreis aus Abb. 2 auf.

Dabei wird der Kondensator zunächst überbrückt und erst nach 10 Messungen mit verschiedenen Frequenzen, bei denen Strom I und Spannung U protokolliert werden, hinzugeschaltet. Alle gemessenen Parameter sollen nun für möglichst viele verschiedene Frequenzen f aufgezeichnet werden. Mit aktivem Kondensator müssen zusätzlich noch U_C und U_{R+L} sowie die Phasenverschiebung φ notiert werden. Das Oszilloskop wird zur Bestimmung dieser einerseits zur Vermessung der Ausgangsspannung U und andererseits zum Bestimmen des Stroms mit einer Stromzange verwendet. Es kann nun die beiden Kurven mit Hilfe des Mathe-Modus direkt auf deren Phasenverschiebung hin auswerten. Damit dies zuverlässig geschieht, ist darauf zu achten, dass die jeweiligen y -Achsen so gewählt sind, dass die Kurven ungefähr die selben Ausschläge zeigen. Auch muss mehr als eine Periode angezeigt werden. Dabei ist der Resonanzbereich besonders genau zu untersuchen.

Im zweiten Versuchsteil soll ein Parallelkreis aus Kondensator und Spule vermessen werden. In dieser Messung sollen die Spannung U und der Gesamtstrom I für verschiedene Frequenzen ausgewertet werden. Auch hier soll die Resonanzstelle wieder besonders genau untersucht werden.

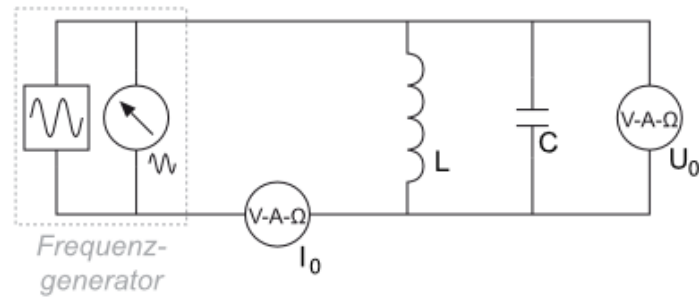


Abbildung 3: Schaltplan der Parallelschaltung von [LP1, 4.10.2014, 15:30].

Für die Auswertung werden abschließend die Daten der einzelnen Bauteile aufgezeichnet. Dies sind:

- Einzelner ohmscher Widerstand R_Ω
- Ohmscher Widerstand der Spule R_L
- Innenwiderstand des Amperemeters R_A
- Kapazität des Kondensators C .

Während der Messungen ist darauf zu achten, dass die hier verwendeten Spannungen *tödlich* sein können und dass deshalb auf keinen Fall blanke Kabelenden herumliegen dürfen. Auch muss vor jeder Änderung am Aufbau sichergestellt werden, dass die Spannung abgeschaltet ist.

4 Auswertung

4.1 Widerstand und Spule in Reihe

Quadriert man Gleichung (4), so erhält man

$$Z^2 = R^2 + (X_L + X_C)^2 \quad .$$

$$L = (386.3 \pm 0.6) \text{ mH}$$

$$R_{\text{ges}} = (77.3 \pm 1.1) \Omega$$

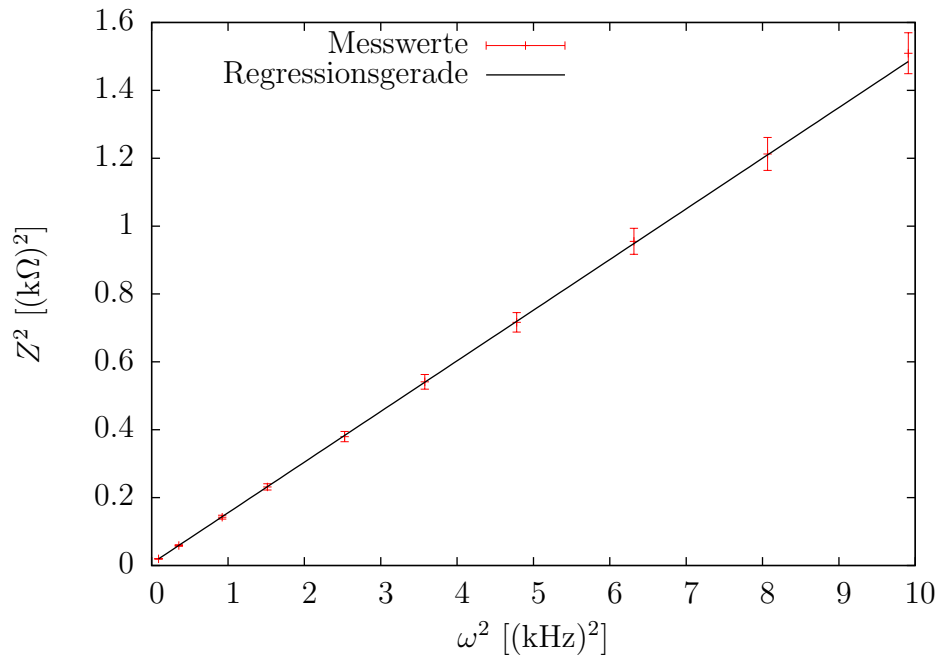


Abbildung 4: Quadrat des Scheinwiderstands als Funktion der Kreisfrequenz.

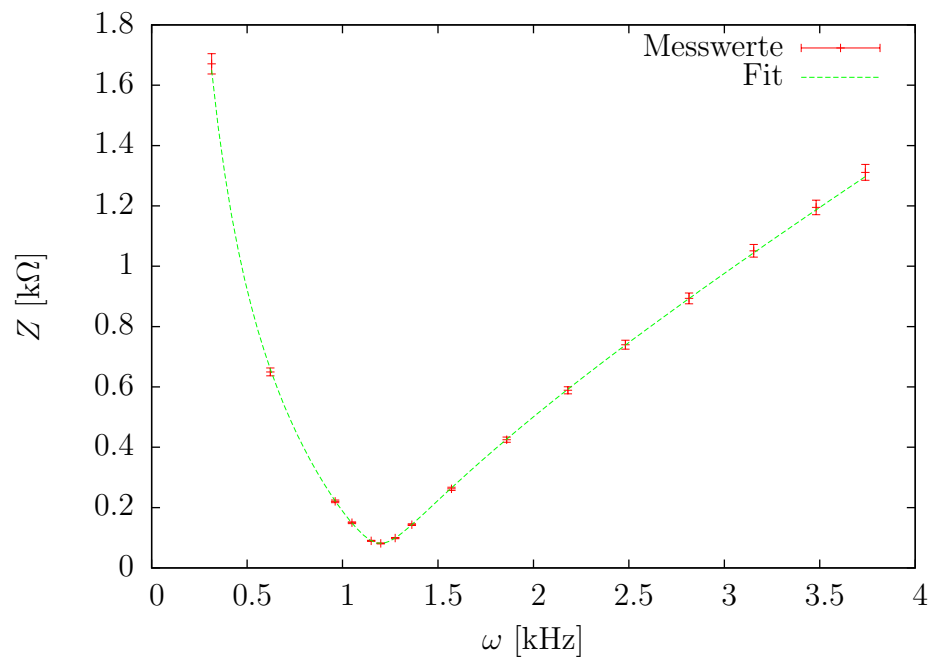


Abbildung 5: Scheinwiderstand des Serienresonanzkreis als Funktion der Kreisfrequenz.

4.2 RLC-Serienschaltung

Aus

$$R = (80.9 \pm 0.5) \Omega$$

$$L = (386.1 \pm 1.0) \text{ mH}$$

$$C = (1.799 \pm 0.005) \mu\text{F}$$

Mittelwerte aus allen Daten:

$$\bar{L} = (386.2 \pm 0.6) \text{ mH}$$

$$\bar{R} = (80.2836 \pm 0.455183) \Omega$$

$$\omega_{\text{LC}} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$\sigma_{\omega_{\text{LC}}} = \frac{\sqrt{\frac{\sigma_L^2}{L^2} + \frac{\sigma_C^2}{C^2}}}{2 \cdot \sqrt{C} \cdot \sqrt{L}}$$

$$\omega_{\text{LC}} = (1199.9 \pm 2.3) \text{ Hz}$$

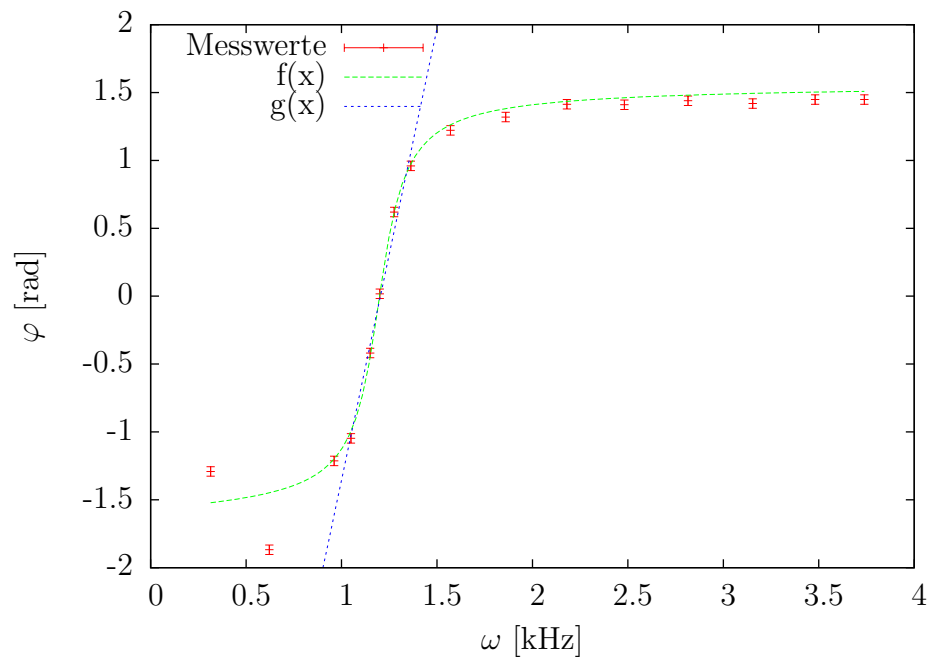


Abbildung 6: Phasenverschiebung des Serienresonanzkreises.

$$\omega_{\text{Phase}} = -\frac{b}{m}$$

$$\sigma_{\omega_{\text{Phase}}} = \frac{1}{m^2} \cdot \sqrt{b^2 \cdot \sigma_m^2 + m^2 \cdot \sigma_b^2}$$

$$\omega_{\text{Phase}} = (1200 \pm 120) \text{ Hz}$$

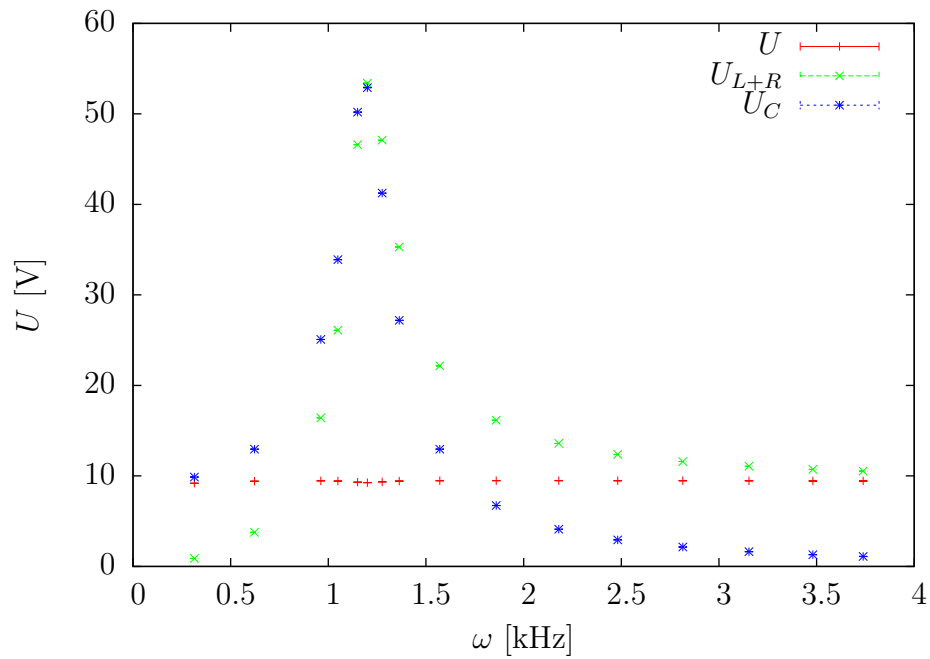


Abbildung 7: Teilspannungen des Serienresonanzkreises.

4.3 Parallelkreis

Aus Fit von Messung 3:

$$R = (68 \pm 5) \text{ k}\Omega$$

$$L = (370 \pm 10) \text{ mH}$$

$$C = (1.88 \pm 0.05) \mu\text{F}$$

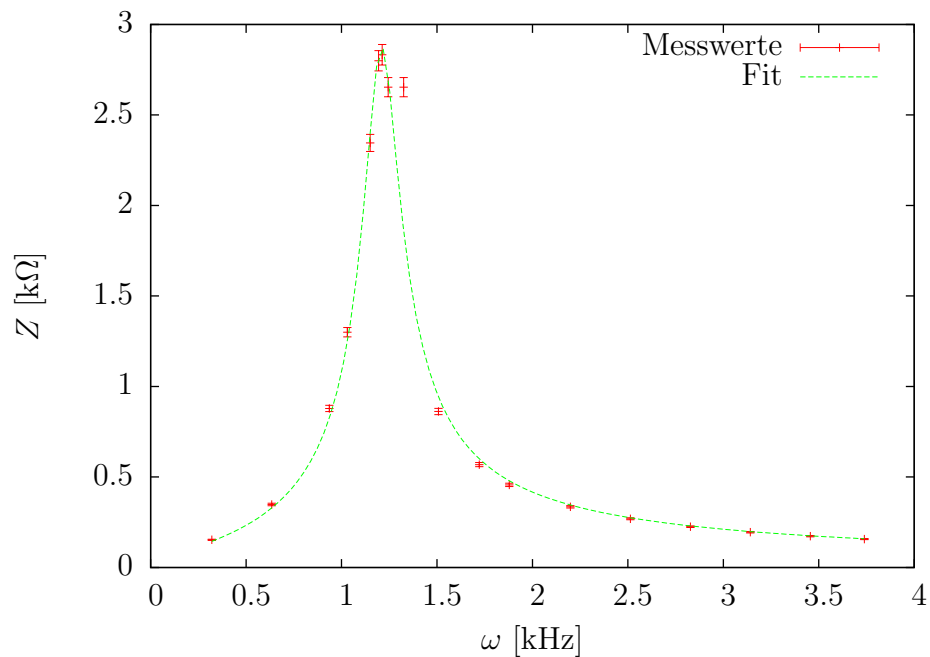


Abbildung 8: Scheinwiderstand des Parallelkreises als Funktion der Kreisfrequenz.

5 Diskussion

Literatur

- [Gia10] Giancoli, Douglas C.: *Physik - Lehr- und Übungsbuch*. Pearson Education Deutschland, München, 3. Auflage, 2010.
- [Gri99] Griffith, David J.: *Introduction to Electrodynamics*, 1999.
- [LP1] *Lehrportal der Universität Göttingen*. <https://lp.uni-goettingen.de/get/text/4165>.