

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	Induktivität	4
2.4	Kapazität	4
2.5	RLC -Serienschaltung	5
2.6	LC -Parallelschaltung	5
3	Durchführung	5
4	Auswertung	7
4.1	Widerstand und Spule in Reihe	7
4.2	RLC -Serienschaltung	8
4.3	Parallelkreis	10
5	Diskussion	10
	Literatur	10

1 Einleitung

Wechselströme spielen in der modernen Energieversorgung eine zentrale Rolle. Um so wichtiger ist es für die Effizienz, die genauen Eigenschaften von *Wechselstrom-Widerständen* zu kennen. Dies soll in diesem Versuch erzieht werden.

2 Theorie

2.1 Wechselspannungen und -ströme

Unter einer Wechselspannung versteht man eine Spannung, die einen zeitlichen Verlauf von $U(t) = U_0 \cdot \sin(\omega t)$ besitzt. 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 für sin-förmige Spannungen:

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

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

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 2.5 und 2.6 behandelt.

2.2 Impedanz

Die Impedanz Z berechnet sich je nach Aufbau aus den einzelnen Spannungen und Ströme allgemein durch

$$Z = \frac{U(t)}{I(t)} \quad . \tag{1}$$

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 Spannungen einer Serienschaltung erkennen kann, die an den einzelnen Bauteilen abfallen. Im Resonanzfall ist $U_L = U_C$, wodurch die gesamte Spannung U_{L+C+R} real wird und die Phasenverschiebung $\varphi = 0$ verschwindet.

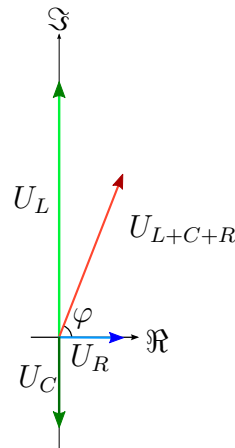


Abbildung 1: Zeigerdiagramm, welches die Realteile der Spannung gegen ihren Imaginärteil in einer Serienschaltung aufträgt.

2.3 Induktivität

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

$$U_{\text{Ind}} = -U_L = -L \frac{dI}{dt} \quad . \quad (2)$$

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 besteht, um $\varphi = \frac{\pi}{2}$ voraus eilt.

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

$$X_L := \frac{U(t)}{I(t)} = L\omega \quad . \quad (3)$$

2.4 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:

$$X_C := \frac{U(t)}{I(t)} = -\frac{1}{\omega C} \quad (4)$$

2.5 RLC-Serienschaltung

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

$$Z_{\text{Serie}} := |R + i(X_C + X_L)| = \left| R + i \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right) \right| = \sqrt{R^2 + (X_L + X_C)^2} \quad (5)$$

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

$$\varphi = \arctan \left(\frac{X_L + X_C}{R} \right) \quad (6)$$

berechnen.

2.6 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.

Zunächst baut man einen Serienschaltkreis aus allen Bauteilen auf. Das Oszilloskop wird zur Bestimmung der Phasenverschiebung einerseits zur Vermessung der Ausgangsspannung U und andererseits zum bestimmen des Stroms mit einer Messzange 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

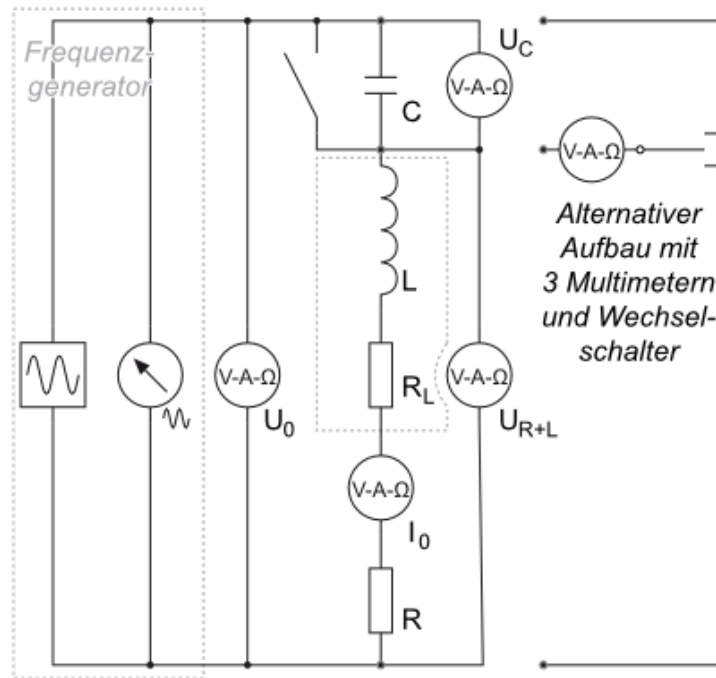


Abbildung 2: Schaltplan der Serienschaltung von [LP1, 4.10.2014, 15:30].

die jeweiligen y -Achsen so gewählt sind, dass die Kurven ungefähr die selben Ausschläge zeigen. Auch muss mehr als eine Periode angezeigt werden.

Alle gemessenen Parameter sollen nun für möglichst viele verschiedene Frequenzen f aufgezeichnet werden. Dabei ist der Resonanzbereich besonders genau zu untersuchen.

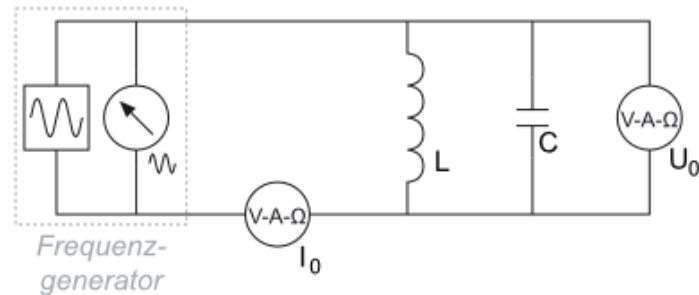


Abbildung 3: Schaltplan der Parallelschaltung von [LP1, 4.10.2014, 15:30].

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.

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 jeden Änderungen am Aufbau sichergestellt werden, dass die Spannung abgeschaltet ist.

4 Auswertung

4.1 Widerstand und Spule in Reihe

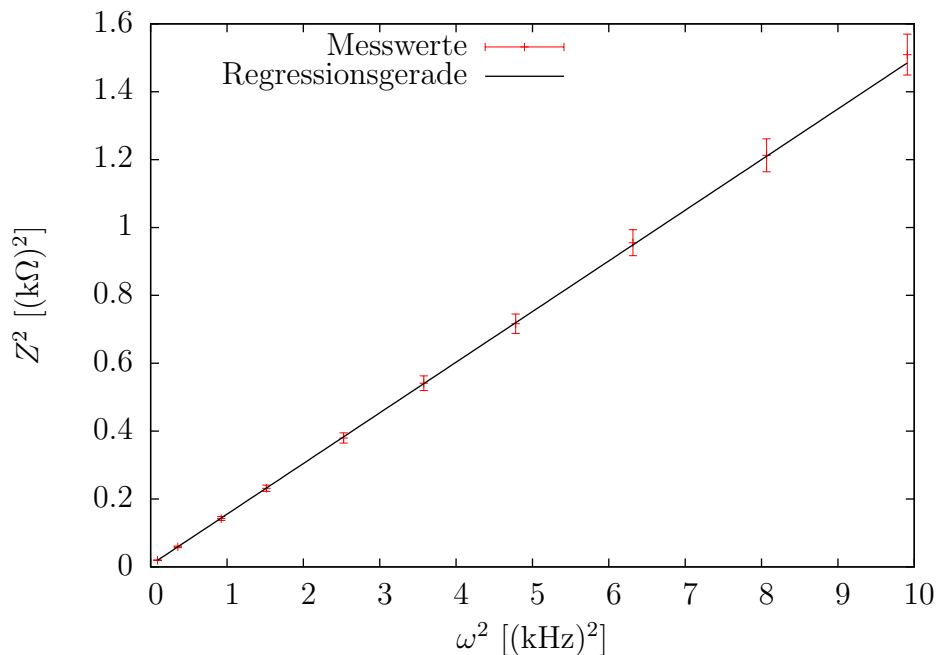


Abbildung 4: Quadrat des Scheinwiderstands als Funktion der Kreisfrequenz.

$$L = (386.3 \pm 0.6) \text{ mH} \quad (7)$$

$$R_{\text{ges}} = (77.3 \pm 1.1) \Omega \quad (8)$$

4.2 RLC-Serienschaltung

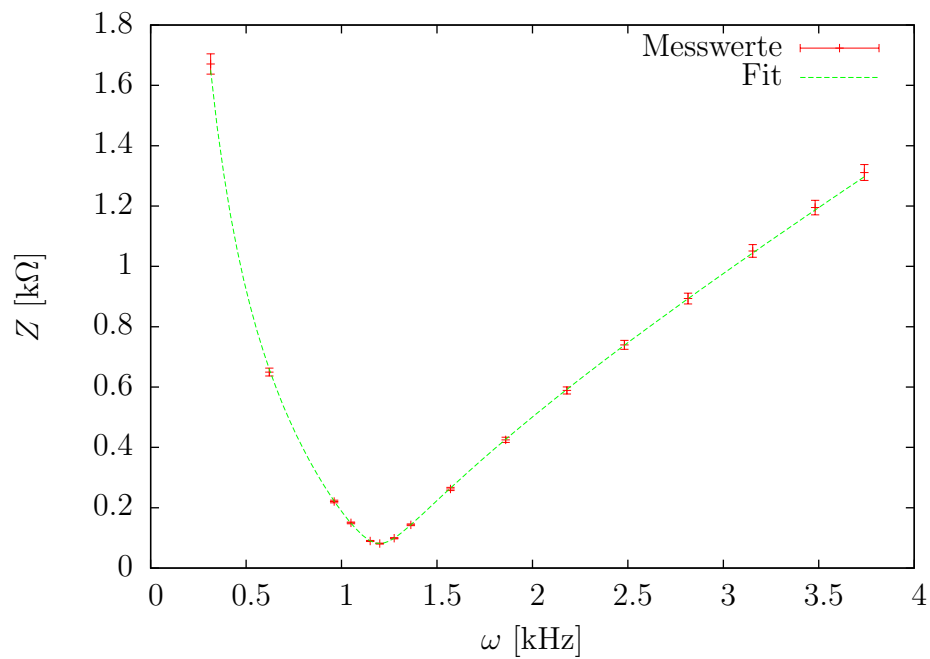


Abbildung 5: Scheinwiderstand des Serienresonanzkreis als Funktion der Kreisfrequenz.

Aus

$$R = (80.9 \pm 0.5) \Omega \quad (9)$$

$$L = (386.1 \pm 1.0) \text{ mH} \quad (10)$$

$$C = (1.799 \pm 0.005) \mu\text{F} \quad (11)$$

Mittelwerte aus allen Daten:

$$\bar{L} = (386.2 \pm 0.6) \text{ mH} \quad (12)$$

$$\bar{R} = (80.2836 \pm 0.455183) \Omega \quad (13)$$

$$\omega_{\text{LC}} = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (14)$$

$$\sigma_{\omega_{\text{LC}}} = \frac{\sqrt{\frac{\sigma_L^2}{L^2} + \frac{\sigma_C^2}{C^2}}}{2 \cdot \sqrt{C} \cdot \sqrt{L}} \quad (15)$$

$$\omega_{\text{LC}} = (1199.9 \pm 2.3) \text{ Hz} \quad (16)$$

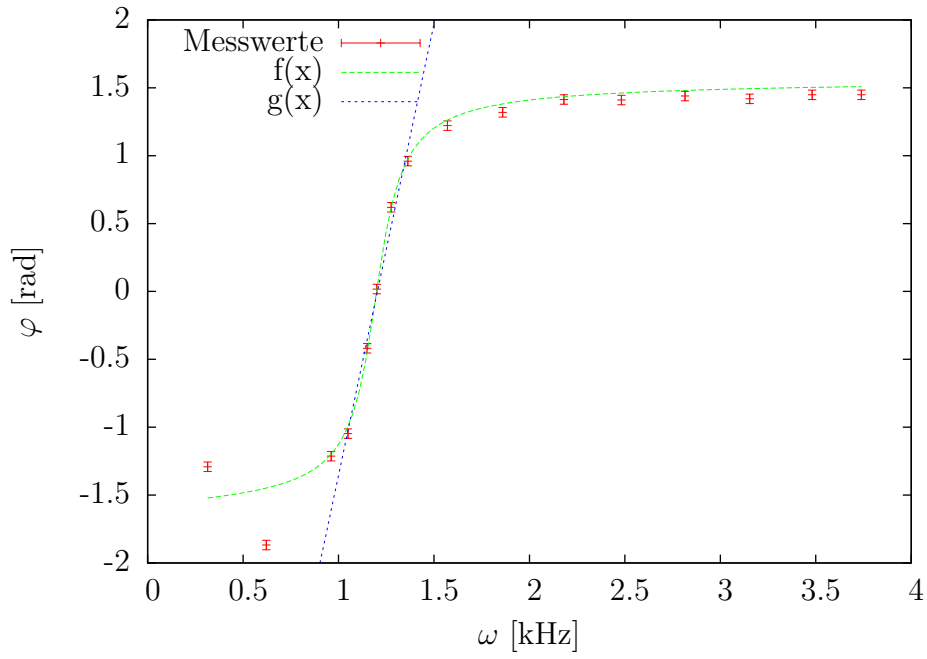


Abbildung 6: Phasenverschiebung des Serienresonanzkreises.

$$\omega_{\text{Phase}} = -\frac{b}{m} \quad (17)$$

$$\sigma_{\omega_{\text{Phase}}} = \frac{1}{m^2} \cdot \sqrt{b^2 \cdot \sigma_m^2 + m^2 \cdot \sigma_b^2} \quad (18)$$

$$\omega_{\text{Phase}} = (1200 \pm 120) \text{ Hz} \quad (19)$$

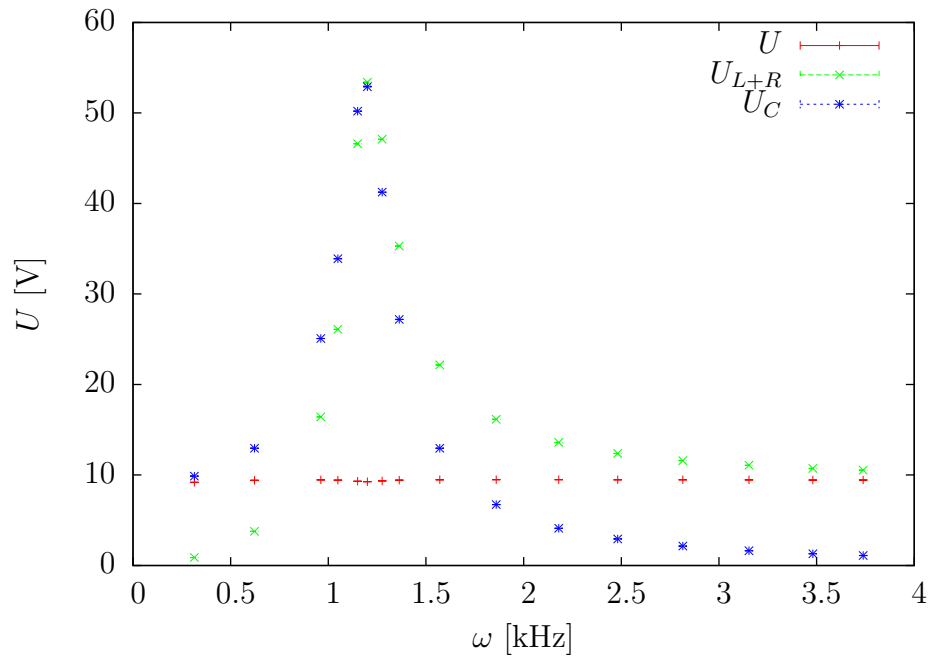


Abbildung 7: Teilspannungen des Serienresonanzkreises.

4.3 Parallelkreis

Aus Fit von Messung 3:

$$R = (68 \pm 5) \text{ k}\Omega \quad (20)$$

$$L = (370 \pm 10) \text{ mH} \quad (21)$$

$$C = (1.88 \pm 0.05) \mu\text{F} \quad (22)$$

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>.

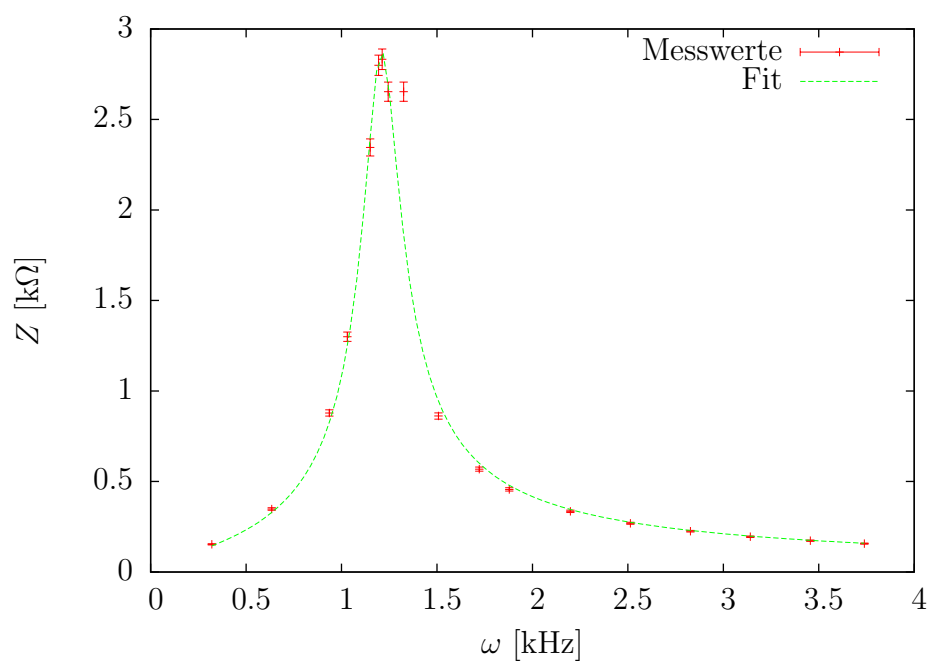


Abbildung 8: Scheinwiderstand des Parallelkreises als Funktion der Kreisfrequenz.