

Inhaltsverzeichnis

1	Versuchsbeschreibung und Physikalische Grundlagen	2
2	Messwerte und Auswertung	3
2.1	Methoden und Messunsicherheiten	3
2.2	Überprüfung der Generatorfrequenz und Ausgangsspannung	4
2.3	Kondensator im Wechselstromkreis	4
2.4	Spule im Wechselstromkreis	6
2.5	Reihenschwingkreis	7
2.6	Parallelschwingkreis	10
2.7	Berechnung der Theoretischen Resonanzfrequenz	11
3	Fehler- und Ergebnisdiskussion	12
3.1	Ermittlung von Kapazität und Induktivität	12
3.2	Schwingkreise	12
3.3	Fazit	12
4	Literatur	12
5	Anhang	12

1 Versuchsbeschreibung und Physikalische Grundlagen

Im zu bearbeitenden Experiment sollte sich mit dem Verhalten von Spulen, Kondensatoren und Ohm'schen Widerständen im Wechselstromkreis auseinandergesetzt werden.

Dazu wurden ein Frequenzgenerator, ein Oszilloskop, eine Spule der Induktivität L , ein Kondensator der Kapazität C und Ohm'sche Widerstände der Größen $R_{p1} = 10\ \Omega$ und $R_{p2} = 10\ \text{k}\Omega$ verwendet.

Nach der Theorie ergeben sich für die Bauteile Kondensator und Spule Blindwiderstände, die den Strom bremsen, an denen jedoch keine Leistung abfällt (bzw. nur geringe an der Spule). Für die Blindwiderstände X_k der Bauteile solle gelten

$$X_C = \frac{1}{i\omega C}, \quad (1)$$

$$X_L = i\omega L. \quad (2)$$

Dabei ist $i^2 = -1$ und $\omega = 2\pi f$ die Kreisfrequenz.

Zuerst wurde der Kondensator untersucht und in Reihe mit einem Ohm'schen Widerstand an den Frequenzgenerator angeschlossen. Mit dem Ohm'schen Gesetz

$$I_C = \frac{U_R}{R_p} \quad (3)$$

lässt sich die Stromamplitude am Kondensator messen, wobei U_R die Spannungsamplitude am Widerstand ist. Nach [1], S. 18, Gleichung (9) gilt für die Stromamplitude I_C am Kondensator

$$I_C = 2\pi U_G f. \quad (4)$$

U_G entspricht der Generatorspannungsamplitude, f der Frequenz der Wechselspannung. Daraus soll die Kapazität C ermittelt werden.

Tauscht man den Kondensator mit der Spule, soll sich nach [1], S. 19, Gleichung (10) eine Beziehung der Form

$$R_s^2 = R^2 + 4\pi^2 L^2 f^2 \quad (5)$$

einstellen, wobei $R_s = |X_L|$ der Scheinwiderstand der Spule

$$R_s = \frac{U_G}{I_L} \quad (6)$$

und R der Ohm'sche Anteil des Spulenwiderstandes ist. I_L lässt sich wie beim Kondensator ermitteln. Damit sollen sowohl R als auch die Induktivität der Spule ermittelt werden.

Als nächstes sollte der Reihenschwingkreis untersucht werden (Reihenschaltung von Kondensator und Spule). Hier addieren sich die Blindwiderstände und sollen sich im Resonanzfall $X_L = X_C$ aufheben, sodass bei einer Resonanzfrequenz f_r der Stromfluss maximal wird. Diese Frequenz errechnet sich aus der Thomson'schen Schwingungsgleichung zu.

$$f_{r0} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}. \quad (7)$$

Diese Gleichung gelte für den idealen und realen Reihenschwingkreis, sowie den idealen Parallelschwingkreis (ideal heißt hier, dass die Spule keinen Ohm'schen Widerstand besitzt). Zusätzlich dazu sollte sich eine Methode überlegt werden, mit der die Resonanzfrequenz experimentell ermittelt werden kann. Weiterhin untersucht werden sollte die Phasenverschiebung der Wechselströme, das Verhalten der Generatorspannung U_G in Resonanzumgebung, die Spannungsüberhöhung

$$\rho_k = \frac{U_k}{U_G}, \quad k = L, C \quad (8)$$

an Kondensator und Spule, die bei Resonanz gleich groß sein soll und mit der Beziehung

$$\rho = \frac{|X_k|}{R} \quad (9)$$

schließlich noch einmal den Ohm'schen Widerstand der Spule beinhaltet.

Im idealen Parallelschwingkreis addieren sich die Blindwiderstände reziprok und stellen einen unendlichen Widerstand dar, sodass der Stromfluss komplett gebremst wird und gegen Null geht. Im realen hingegen verhindert dies der Ohm'sche Anteil der Spule, sodass stets ein Reststrom fließen kann. Hier modifiziert sich auch die Resonanzfrequenz zu

$$f_r = f_{r0} \sqrt{1 - \frac{R^2 C}{L}} \quad (10)$$

Eine ausführliche Beschreibung des Versuches inklusive Schaltbildern findet sich in [1], S.13-20, sowie in der angehängten Aktualisierung.

2 Messwerte und Auswertung

2.1 Methoden und Messunsicherheiten

Eine Einheit des Oszillatorbildes wird bezeichnet als 1 DIV, wobei ein Skalenteil 0.2 DIV entspricht. Die Unsicherheit eines aus dem Oszillatorbild abgelesenen Wertes ist

$$u_{\text{Osz}} = 2.5\% \cdot \text{MW} + 0.1 \text{ DIV}. \quad (11)$$

Eine Amplitudenspannungsmessung erfolgte am Oszillator durch den Ordinatenabstand y eines Maximums und Minimums, wurde also berechnet durch

$$U = \left(\frac{y_{\text{oben}} + y_{\text{unten}}}{2} \right) \cdot \text{MB}, \quad (12)$$

Wenn MB der verwendete Messbereich ist. Die Unsicherheit eines mit dieser Methode gemessenen Spannungswertes ergibt sich nach der Gauß'schen Fehlerfortpflanzung (Werte korrelieren nicht) zu

$$\begin{aligned} u_U &= \sqrt{\left(u_{y_{\text{oben}}} \frac{\partial U}{\partial y_{\text{oben}}} \right)^2 + \left(u_{y_{\text{unten}}} \frac{\partial U}{\partial y_{\text{unten}}} \right)^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{u_{y_{\text{oben}}} \cdot \text{MB}}{2} \right)^2 + \left(\frac{u_{y_{\text{unten}}} \cdot \text{MB}}{2} \right)^2}. \end{aligned}$$

Die Frequenz f der eingespeisten Spannung ließ sich direkt am Generator ablesen und war somit mit einer Ableseunsicherheit von 1 Digit behaftet. Bei teilweise schwankenden Frequenzen wurde die Unsicherheit im schwankenden Bereich abgeschätzt.

Für spätere Messungen des Stromes wird ein digitales Multimeter (True RMS) mit dem Messbereich 20mA verwendet, wofür die Messunsicherheit nach [2], S.20

$$u_I = 2.5\% \cdot \text{MW} + 5 \text{ Digit}$$

beträgt.

Für die Unsicherheiten der Widerstände gilt

$$u_{R_p} = \begin{cases} 0.5\% \cdot R_p, & \text{wenn } R_p = i \cdot 1 \Omega \\ 0.1\% \cdot R_p, & \text{wenn } R_p = i \cdot 10 \text{ k}\Omega \end{cases}$$

2.2 Überprüfung der Generatorfrequenz und Ausgangsspannung

Zuerst wurde der Oszillator ohne zusätzliche Bauteile an den Generator angeschlossen, um die anliegende Frequenz und Amplitudenspannung U_G zu messen bzw. mit den Angaben des Frequenzgenerators zu vergleichen. In Tabelle 1 sind die Messungen sowie Auswertungen dargestellt. Die Unsicherheit von $1/T$, welche der am Generator angezeigten Frequenz f im besten Falle gleich sein sollte, berechnet sich nach Gauß zu

$$u_{1/T} = u_T \frac{1}{T^2}.$$

Zu beachten ist, dass hier bewusst auf das Runden der Werte verzichtet wird, da es sich um instrumentelle Größen handelt.

Frequenz		Periodendauer						
f [Hz]	u_f [Hz]	x [DIV]	u_x [DIV]	MB [ms]	T [ms]	u_T [ms]	$1/T$ [Hz]	$u_{T^{-1}}$ [Hz]
100.38	0.05	9.80	0.35	1.00	9.800	0.345	102.041	0.004
300.56	0.05	6.60	0.27	0.50	3.300	0.133	303.030	0.012
708.50	0.05	7.00	0.28	0.20	1.400	0.055	714.286	0.028
1005.40	0.10	4.90	0.22	0.20	0.980	0.045	1020.408	0.046
5022.50	0.10	3.95	0.20	0.05	0.198	0.010	5063.291	0.255
15025.00	1.00	6.60	0.27	0.01	0.066	0.003	15151.515	0.608

Frequenz		Spannung						
f [Hz]	u_f [Hz]	y_o [DIV]	u_{y_o} [DIV]	y_u [DIV]	u_{y_u} [DIV]	MB [V]	U [V]	u_U [V]
100.38	0.05	2.05	0.16	2.30	0.16	5	10.9	0.6
300.56	0.05	2.20	0.16	2.20	0.16	5	11.0	0.6
708.50	0.05	2.20	0.16	2.20	0.16	5	11.0	0.6
1005.40	0.10	2.20	0.16	2.20	0.16	5	11.0	0.6
5022.50	0.10	2.20	0.16	2.20	0.16	5	11.0	0.6
15025.00	1.00	2.20	0.16	2.20	0.16	5	11.0	0.6

Tabelle 1: Messwerte und Auswertung zur Überprüfung

Wie man der Tabelle entnehmen kann, sind die Frequenzwerte des Generators und des Oszillators nicht konsistent. Deswegen wird für alle Frequenzen die Unsicherheitsabschätzung

$$u_f = 1.6\% \cdot MW$$

vorgenommen, da die größte Abweichung bei $f = 100.38$ Hz als maximaler Wert 1.6% beträgt.

Die Generatorspannung liegt nahezu konstant bei

$$U_G = (11.0 \pm 0.6) \text{ V.} \quad (13)$$

2.3 Kondensator im Wechselstromkreis

Nun wurde ein Kondensator mit unbekannter Kapazität C in Reihe mit einem Ohmschen Widerstand $R_p = (10.00 \pm 0.05) \Omega$ geschaltet und mit dem Oszilloskop die Amplitudenspannung am Widerstand als auch am Generator gemessen (zwei Eingänge des Oszilloskop und damit zwei Graphen auf dem Oszilloskopbild). Im Folgenden wird auf die Darstellung der Messwerte verzichtet, sie sind dem Messdatenprotokoll des Versuches bzw. den angehängten Rechnungen in OpenOfficeCalc zu entnehmen. Vorerst werden auch nur die Amplitudenwerte der Spannungen und Ströme verwendet, da sich in den Rechnungen der Faktor $1/\sqrt{2}$ stets kürzt.

Wider Erwarten war die Generatorspannung U_G nicht konstant sondern linear fallend von der Frequenz abhängig, wie man in Abbildung 1 sehr gut sehen kann.

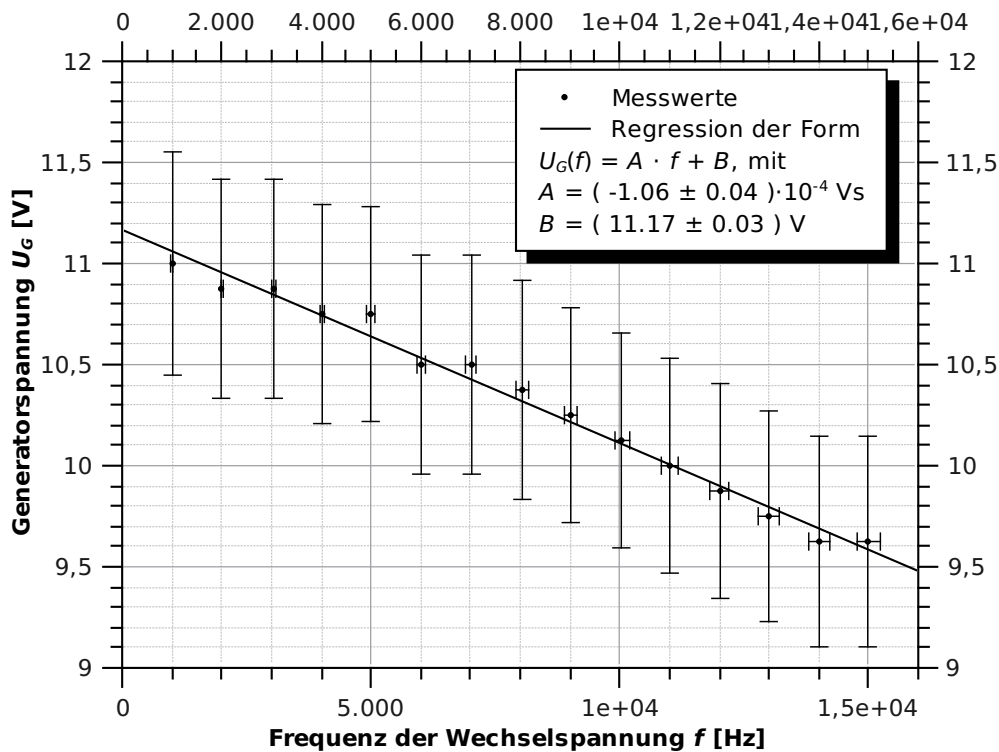


Abbildung 1: Generatorspannung in Abhängigkeit der Frequenz

Eine lineare Regression der Form

$$U_G(f) = A \cdot f + B \quad (14)$$

liefert die instrumentellen Größen

$$A = (-1.06 \pm 0.04) \cdot 10^{-4} \text{ Vs} \quad \text{und} \\ B = (11.17 \pm 0.03) \text{ V.}$$

Wegen der Reihenschaltung von Widerstand und Kondensator gilt $I_C = I_{R_p}$ und nach dem Ohm'schen Gesetz dann

$$I_C = \frac{U_R}{R_p}, \quad (15)$$

für dessen Unsicherheit folgt wiederum nach dem Gauß'schen Fehlerfortpflanzungsgesetz

$$u_{I_C} = \sqrt{\left(u_{U_R} \frac{\partial I_C}{\partial U_R}\right)^2 + \left(u_{R_p} \frac{\partial I_C}{\partial R_p}\right)^2} \quad (16)$$

$$= \sqrt{\left(\frac{u_{U_R}}{R_p}\right)^2 + \left(\frac{u_{R_p} U_R}{R_p^2}\right)^2}. \quad (17)$$

Setzt man (14) in (4) ein, so erhält man die Beziehung

$$I_C = 2\pi AC \cdot f^2 + 2\pi BC \cdot f,$$

über die nun eine Regression durchgeführt werden kann, um C zu ermitteln. Dies ist in Abbildung 2 dargestellt.

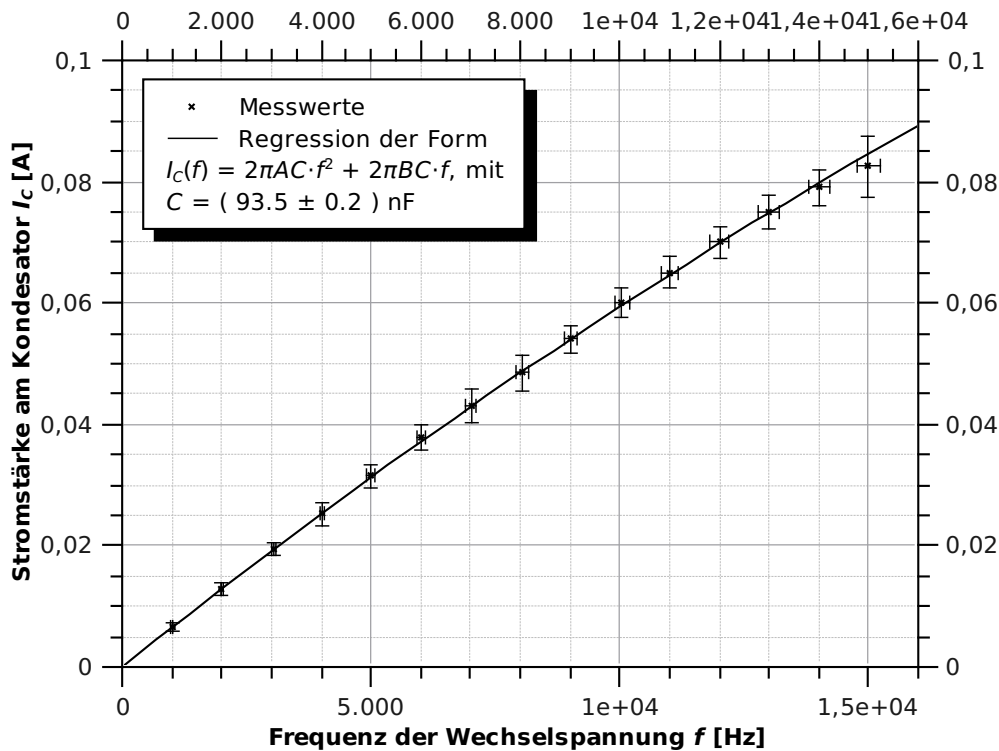


Abbildung 2: Regression über die Stromstärke am Widerstand

Damit erhält man einen Wert von

$$C = (93.5 \pm 0.2) \text{ nF.}$$

Da sich die Fehler von A und B nicht in der Regression fortpflanzen, wird eine Größtfehlerabschätzung vollzogen. Die Unsicherheit von A ist prozentual größer als die von B und beträgt 3.25%. Mit diesem Wert ergibt sich der Endwert der Kapazität zu

$$\underline{\underline{C = (94 \pm 3) \text{ nF.}}}$$

2.4 Spule im Wechselstromkreis

Auf gleiche Art und Weise wurde der durch die Spule fließende Strom gemessen, dessen Amplitude mit I_L bezeichnet wird. Seine Unsicherheit ergibt sich analog zu (15)-(16), wobei zu beachten ist, dass die Kurve im Oszillatorbild teilweise sehr verschwommen war, weswegen der Ablesefehler von 0.1 DIV teilweise höher gesetzt wurde. Im Messprotokoll ist entsprechendes vermerkt. Der Scheinwiderstand der Spule errechnet sich nach (6), allerdings war die Generatorspannung diesmal nahezu konstant dem in (13) gemessenen Wert. Für die Unsicherheit der Größe R_s^2 gilt dann

$$\begin{aligned} u_{R_s} &= \sqrt{\left(u_{U_G} \frac{\partial R_s}{\partial U_G}\right)^2 + \left(u_{I_L} \frac{\partial R_s}{\partial I_L}\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{2u_{U_G} U_G}{I_L^2}\right)^2 + \left(\frac{2u_{I_L} U_G^2}{I_L^3}\right)^2}. \end{aligned}$$

Für die Unsicherheit des Quadrates der Frequenz gilt

$$u_{f^2} = 2 \cdot u_f f.$$

Damit lässt sich die Regression durchführen und man erhält Abbildung 3.

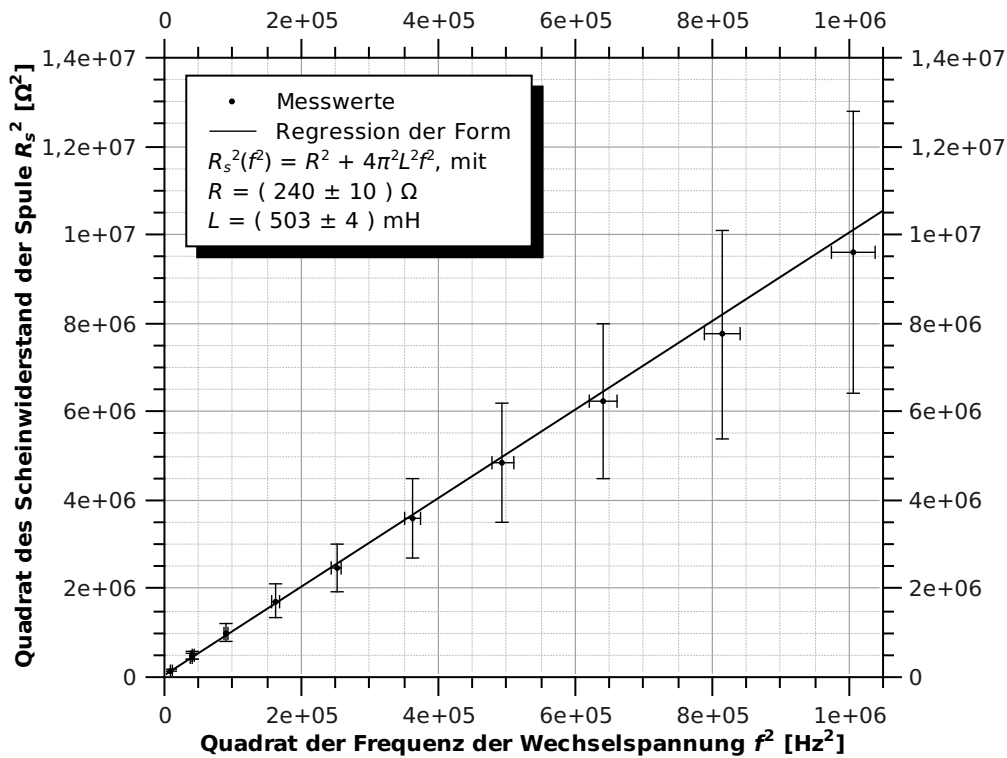


Abbildung 3: Regression für die Induktivität und Ohmschen Widerstand der Spule

Die Regression liefert direkt die Endwerte

$$R = (240 \pm 10) \Omega$$

$$\underline{\underline{L = (503 \pm 4) \text{ mH.}}}$$

2.5 Reihenschwingkreis

Nach Aufbau des Reihenschwingkreises wurden mit dem Oszilloskop die Spannungen am Ohm'schen Widerstand $R_p = (10.00 \pm 0.05) \Omega$ als auch des Generators sichtbar gemacht und konnten gemessen werden. Dabei fiel gleich auf, dass die Maxima einen frequenzabhängigen Abstand in Abszissenrichtung aufwiesen, was der Phasenverschiebung entspricht. Mit dem Oszilloskop war es möglich, beide Kurven als parametrisiertes x - y -Diagramm aufzutragen, nach der Theorie mit

$$\vec{r} = \begin{pmatrix} \sin(\omega t) \\ \sin(\omega t + \phi) \end{pmatrix},$$

eine sogenannte Lissajous-Figur. Hier sieht man, dass sich ein Kreis ergibt für $\phi = \frac{\pi}{2}$ und eine Gerade bei $\phi = 0$. Deshalb wurde nun die Frequenz eingestellt, in der sich als Lissajous-Figur eine Gerade einstellt, denn das ist die Resonanzfrequenz, bei der die Phasenverschiebung gleich Null wird. Als abgelesene Frequenz ergab sich $f_r = (738 \pm 12) \text{ Hz}$, sinnvoll gerundet also

$$\underline{\underline{f_r = (740 \pm 20) \text{ Hz.}}}$$

Die Spannungen an Spule und Kondensator wurden mit einem Multimeter gemessen und ergaben sich mit einer Unsicherheit von $u_U = 2.5\% + 5 \text{ Digit}$ zu

$$U_L = (49 \pm 2) \text{ V und}$$

$$U_C = (45 \pm 2) \text{ V.}$$

Mit diesen Werten ergeben sich aus (8) die Spannungsüberhöhungen

$$\begin{aligned}\rho_L &= 7.5, \\ \rho_C &= 6.9.\end{aligned}$$

Ihre Unsicherheiten errechnen sich nach Gauß'scher Fehlerfortpflanzung

$$\begin{aligned}u_{\rho_k} &= \sqrt{\left(\frac{u_{U_k}}{U_G}\right)^2 + \left(\frac{u_{U_G} U_k}{U_G^2}\right)^2} \\ &= 0.5,\end{aligned}$$

sodass sie schließlich

$$\begin{aligned}\rho_L &= 7.5 \pm 0.5, \\ \rho_C &= 6.9 \pm 0.5\end{aligned}$$

betragen. Mit Gleichung (9) lässt sich jetzt noch einmal der Ohm'sche Widerstand der Spule berechnen, sowohl für den Fall C als auch für L (mit den in Abschnitt 2.3 und 2.4 ermittelten Werten).

$$\begin{aligned}{}^L R &= \frac{2\pi f L}{\rho_L} = 311 \Omega, \\ {}^C R &= \frac{1}{2\pi f C \rho_C} = 333 \Omega.\end{aligned}$$

Für ihre Unsicherheiten gilt nach Gauß

$$\begin{aligned}u_{L R} &= 2\pi \sqrt{\left(\frac{u_f L}{\rho_L}\right)^2 + \left(\frac{u_L f}{\rho_L}\right)^2 + \left(\frac{u_{\rho_L} f L}{\rho_L^2}\right)^2} \\ &= 21, \\ u_{C R} &= \frac{1}{2\pi} \sqrt{\left(\frac{u_f}{\rho_C L C}\right)^2 + \left(\frac{u_L f}{\rho_C}\right)^2 + \left(\frac{u_{\rho_C} f L}{\rho_C^2}\right)^2} \\ &= 23.\end{aligned}$$

Daraus lässt sich ein Mittelwert bilden

$$\underline{\underline{R = (320 \pm 20) \Omega.}} \quad (18)$$

Die Stromstärke in der Reihenschaltung wurde nun in Abhängigkeit der Frequenz mit einem digitalen Multimeter gemessen. Ihre Unsicherheit ergibt sich wie vorher. Weiterhin wurde auch die Phasenverschiebung als Δx (Wert als auch Unsicherheit in DIV) zwischen zwei Maxima auf dem Oszilloskopbild ermittelt. Mit dem Messbereich MB ergibt sich als Verschiebung

$$\Delta t = \Delta x \cdot MB$$

und als dessen Messunsicherheit dann

$$u_{\Delta t} = u_{\Delta x} \cdot MB.$$

Die Phasenverschiebung errechnet sich zu

$$\phi = 2\pi \Delta t f$$

mit der Unsicherheit

$$u_\phi = 2\pi \sqrt{(u_{\Delta t} f)^2 + (u_f \Delta t)^2}.$$

In den folgenden Abbildungen sind Stromstärke und Phasenverschiebung dargestellt. Wie man sieht, stellt sich für die Phasenverschiebung eine Arkustangensförmige Kurve ein und I besitzt bei Resonanz ein Maximum.

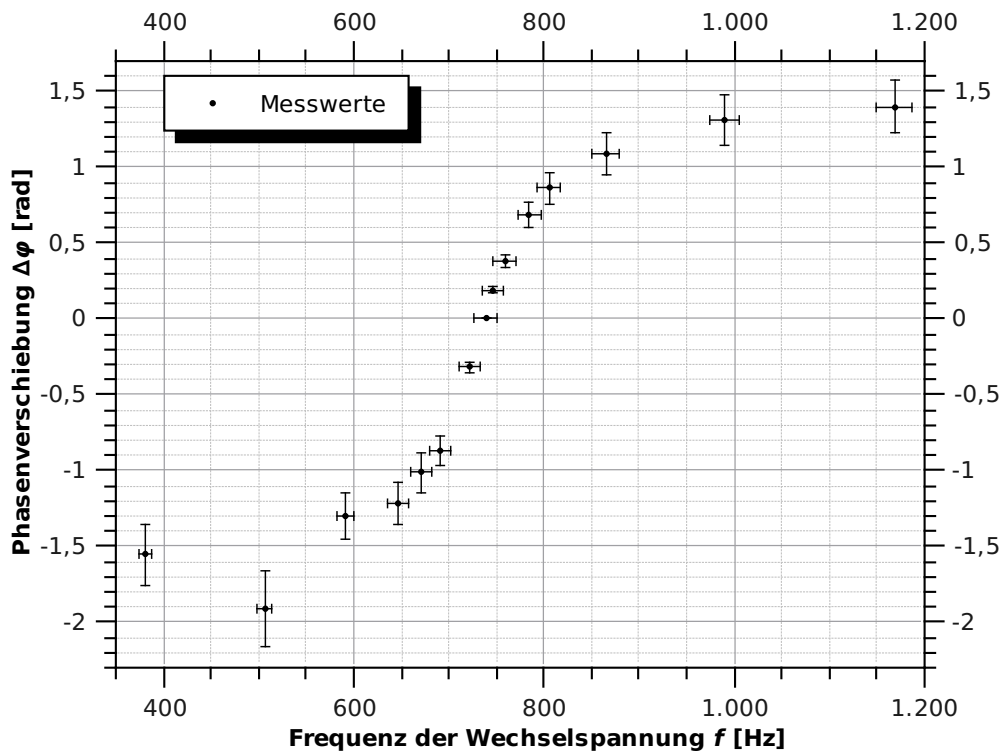


Abbildung 4: Phasenverschiebung im Reihenschwingkreis

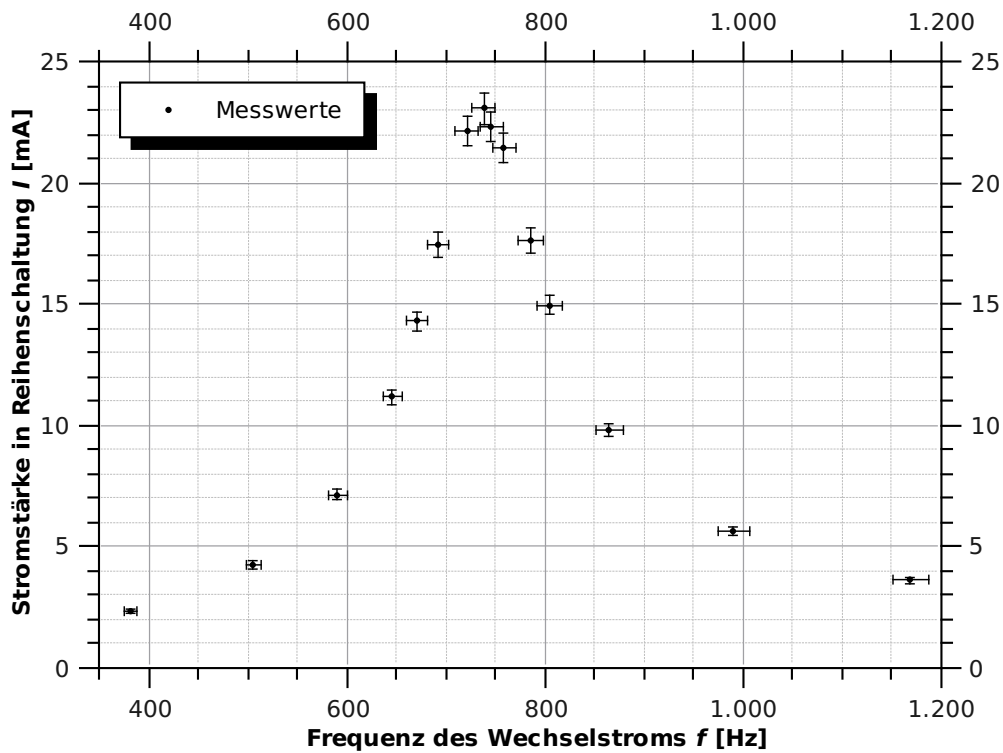
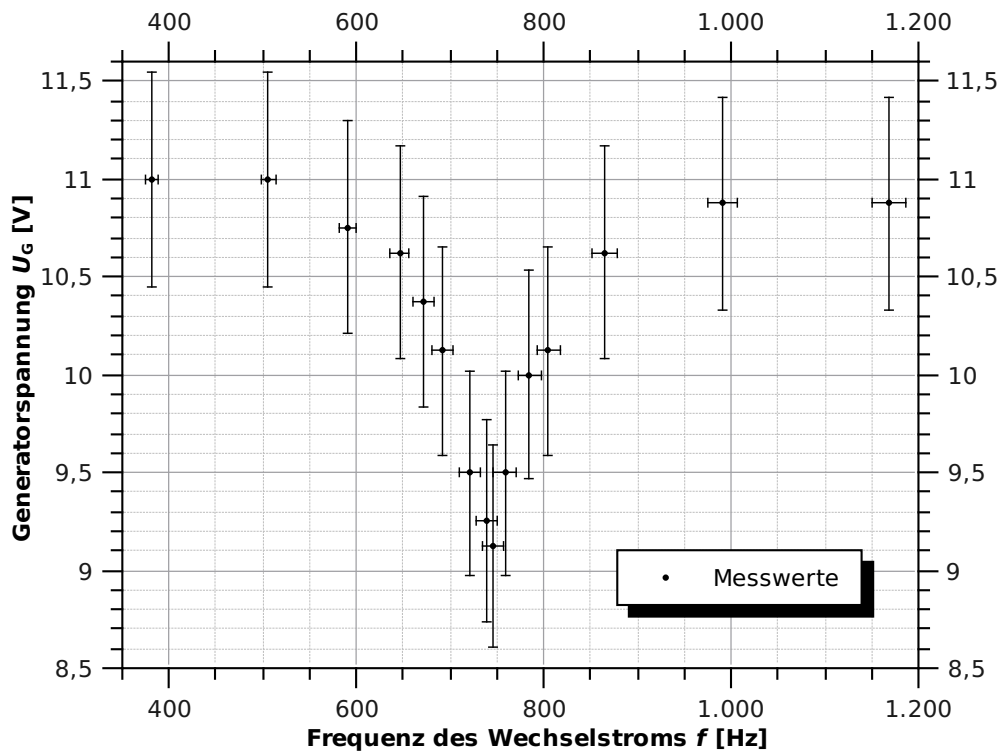


Abbildung 5: Stromstärke im Reihenschwingkreis

Nun sollte noch die am Generator anliegende Spannung U_G gemessen werden. Man sieht, dass die Spannung im Bereich der Resonanz auf ein Minimum abfällt.



2.6 Parallelschwingkreis

Die Bauteile wurden nun wie in Abbildung 6 angeordnet. Der im Stromkreis fließende Strom wurde als Span-

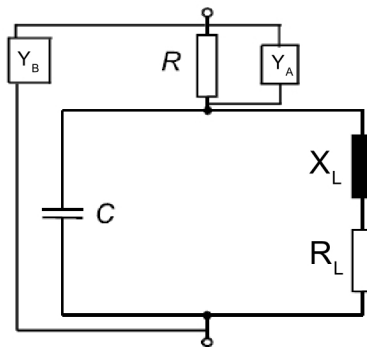


Abbildung 6: Schaltbild des Parallelschwingkreises

nung über dem Widerstand $R_p = (10000 \pm 10) \Omega$ ermittelt (Umrechnung wie gehabt). Da der Widerstand des Parallelschwingkreises sehr groß wird, muss R_p im $k\Omega$ -Bereich gewählt werden, um bei den geringen Strömen eine messbare Spannung abzugreifen. Die Ermittlung der Resonanzfrequenz erfolgte wie im vorhergehenden Abschnitt. Es stellte sich nahezu, im Bereich sinnvoll gerundeter Werte sogar die gleiche Resonanzfrequenz ein. Wie erwartet stellte sich im Bereich der Resonanzfrequenz ein Stromminimum ein, zu sehen in Abbildung 7. Aus der Grafik lässt sich

$$\underline{\underline{f_r = (750 \pm 20) \text{ Hz}}}$$

ablesen.

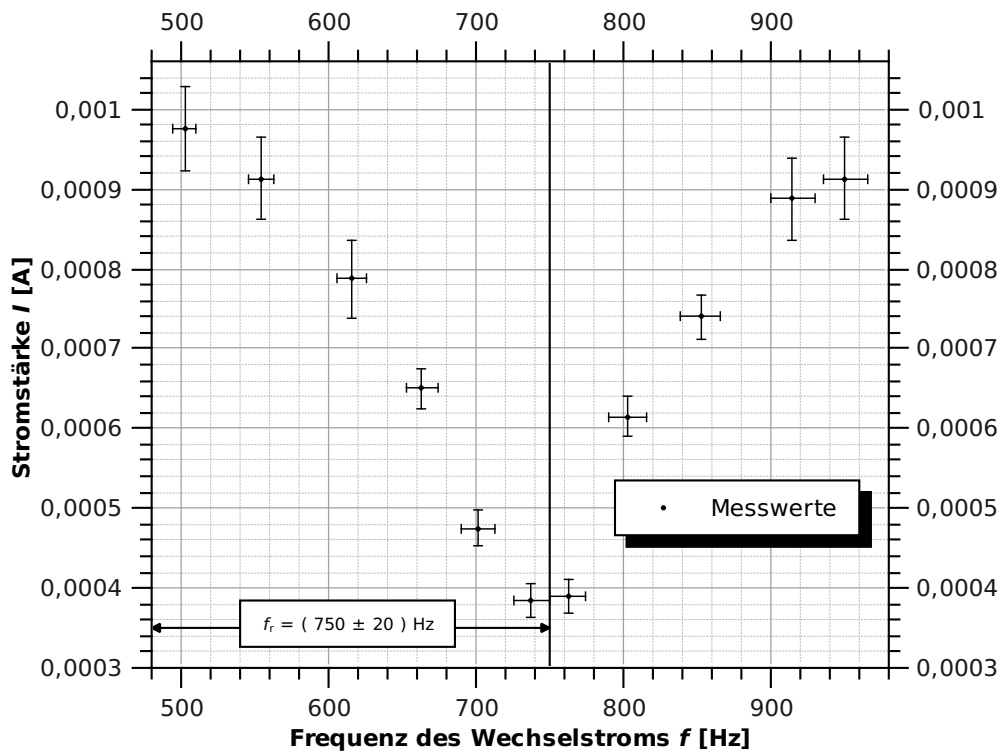


Abbildung 7: Stromstärke im Parallelschwingkreis

2.7 Berechnung der Theoretischen Resonanzfrequenz

Für den idealen und realen Reihen-, sowie den idealen Parallelschwingkreis gilt für die Resonanzfrequenz (7). Ihre Unsicherheit errechnet sich nach Gauß zu

$$\begin{aligned}
 u_{f_{r0}} &= \frac{1}{2\pi} \sqrt{\left(\frac{u_L}{\sqrt{CL}^{3/2}}\right)^2 + \left(\frac{u_C}{\sqrt{LC}^{3/2}}\right)^2} \\
 &= 20 \text{ Hz,}
 \end{aligned}$$

sodass der Endwert

$$\underline{\underline{f_{r0} = (730 \pm 20) \text{ Hz}}}$$

beträgt.

Für den realen Parallelschwingkreis errechnet sich mit (10) und (18) zu $f_r = 725 \text{ Hz}$, die Unsicherheit folgt als

$$\begin{aligned}
 u_{f_r} &= \sqrt{\left(u_{f_{r0}} \sqrt{1 - \frac{R^2 C}{L}}\right)^2 + \left(\frac{u_R R C / L}{\sqrt{1 - \frac{R^2 C}{L}}}\right)^2 + \left(\frac{u_C R^2 / L}{2\sqrt{1 - \frac{R^2 C}{L}}}\right)^2 + \left(\frac{u_L C R^2 / L^2}{2\sqrt{1 - \frac{R^2 C}{L}}}\right)^2} \\
 &= 15 \text{ Hz,}
 \end{aligned}$$

sodass sich der Endwert ergibt zu

$$\underline{\underline{f_r = (730 \pm 20) \text{ Hz.}}}$$

3 Fehler- und Ergebnisdiskussion

3.1 Ermittlung von Kapazität und Induktivität

Die ermittelten Werte scheinen im Vergleich zu anderen Protokollen in einem realistischen Bereich zu liegen. Zu beachten ist, dass entgegen der im Skript empfohlenen linearen Regression die parabelförmige Regression durch linear abnehmende Generatorspannung eine bessere Übereinstimmung mit den Messwerten liefert. Der ermittelte Ohm'sche Widerstand der Spule ist vermutlich ebenso beeinflusst von den angeschlossenen Kabeln, die ebenfalls einen Ohm'schen Widerstand besitzen.

3.2 Schwingkreise

Die ermittelten Werte liegen im Vergleich zu anderen Versuchsgruppen und auch untereinander in Konsistenz. Allerdings ist der aus der Spannungsüberhöhung ermittelte Ohm'sche Widerstand der Spule größer als der vormals errechnete. Das kann abermals an den verwendeten Kabeln liegen, von denen in dieser Schaltung mehr verwendet wurden, wodurch auch der Ohm'sche Widerstand ansteigen kann. Durch die große Abschätzung der Frequenzunsicherheit liegt allerdings kein Unterschied zwischen Resonanz im idealen und realen Parallelschwingkreis vor. Möglicherweise wurde eine zu große Unsicherheit für Frequenzwerte abgeschätzt.

Die in Abbildung 2.5 dargestellte Abnahme der Generatorspannung U_G stellt sich durch Reihenschaltung von Spule und Kondensator ein. Diese Schaltung ist auch bekannt als Bandsperre, welche Signale um Ströme mit Frequenzen um die Resonanzfrequenz reduziert.

Die grafische Ermittlung der Resonanzfrequenz ist sehr unsicher und durch die Wahl der Mitte zwischen zwei Werten wahrscheinlich zu groß. Hier hätte genauere Messung im Bereich um 750 Hz Aufschluss gebracht. Möglicherweise hat der Einfluss von äußeren elektromagnetischen Feldern, oder elektromagnetischen Feldern der Kabel selbst Einfluss auf die Messung genommen.

Nach [1], S. 17, Gleichung (6) hat die Phasenverschiebung theoretisch eine Form des Arkustangens und auch diese Erwartung wurde vom Experiment erfüllt.

3.3 Fazit

Alles in allem ist der Versuch erfolgreich verlaufen. Allerdings könnten die aus den Messungen des Oszilloskops resultierenden Unsicherheiten vermindert werden, wenn andere Messmethoden verwendet würden, z.B. eine Einspeisung des Oszillatorbildes in den Computer und dadurch genauere Abmessung. Weiterhin könnte mithilfe des Ohm'schen Widerstandes eines Drahtes

$$R = \varrho \frac{l}{A} \quad (19)$$

mit dem spezifischen Widerstand ϱ des Materials, Länge l und Querschnittsfläche A des Drahtes überprüft werden, inwiefern diese Größen Auswirkungen auf die Messungen haben.

4 Literatur

- [1] Skript: „Physikalisches Grundpraktikum – Elektrodynamik und Optik“ von Dr. Uwe Müller, Berlin 2005
- [2] Skript: „Physikalisches Grundpraktikum – Einführung in die Messung, Auswertung und Darstellung experimenteller Ergebnisse in der Physik“ von Dr. Uwe Müller, Berlin 2007

5 Anhang

- Rechnungen in OpenOfficeCalc

R=1/(2* π *C* ω C) 332,9 22,78

Aufgabe 5
a) f [Hz] 738,55 0,04

f [Hz]	u ₁ [Hz]	e _z _div	dazu	DIV_unten	u_DIVunten	DIV_oben	u_DIVobenessbereich [V]	U[V]	u_U[V]	Ueff [V]	Rp	u_Rp	I	u_I	
737,67	11,8	0,00		1,9	0,15	1,95	0,15	2E+0	3,85E+0	2,0948E-1	2,72E+0	10000	10	3,8500E-4	2,0952E-5
802,19	12,84	0,00		3,35	0,18	2,8	0,17	2E+0	6,15E+0	2,5033E-1	4,35E+0	10000	10	6,1500E-4	2,5040E-5
762,74	12,2	0,00		1,9	0,15	2	0,15	2E+0	3,90E+0	2,1037E-1	2,76E+0	10000	10	3,9000E-4	2,1041E-5
852,74	13,64	0,00		3,65	0,19	3,75	0,19	2E+0	7,40E+0	2,7224E-1	5,23E+0	10000	10	7,4000E-4	2,7234E-5
914,8	14,64	0,00		1,75	0,14	1,8	0,15	5E+0	8,88E+0	5,1045E-1	6,28E+0	10000	10	8,8750E-4	5,1052E-5
950,6	15,21	0,00		1,8	0,15	1,85	0,15	5E+0	9,13E+0	5,1487E-1	6,45E+0	10000	10	9,1250E-4	5,1495E-5
700,99	11,22	0,00		2,35	0,16	2,4	0,16	2E+0	4,75E+0	2,2539E-1	3,36E+0	10000	10	4,7500E-4	2,2544E-5
663,25	10,61	0,00		3,3	0,18	3,2	0,18	2E+0	6,50E+0	2,5633E-1	4,60E+0	10000	10	6,5000E-4	2,5641E-5
615,84	9,85	0,00		1,55	0,14	1,6	0,14	5E+0	7,88E+0	4,9277E-1	5,57E+0	10000	10	7,8750E-4	4,9283E-5
554,44	8,87	0,00		1,8	0,15	1,85	0,15	5E+0	9,13E+0	5,1487E-1	6,45E+0	10000	10	9,1250E-4	5,1495E-5
502,24	8,04	0,00		1,9	0,15	2	0,15	5E+0	9,75E+0	5,2593E-1	6,88E+0	10000	10	9,7500E-4	5,2602E-5

Aufgabe 6
R 322 20
L 5,03E-001 4,00E-003
C 9,40E-8 3,00E-9

f₀ 731,93 12,04
f_r 724,81 15,24