

Oszilloskop (OSZ)

Gruppe B412

Patrick Christ und Daniel Biedermann
15.10.2009

0. INHALTSVERZEICHNIS

0. INHALTSVERZEICHNIS	2
1. EINLEITUNG	2
2. EXPERIMENTELLE DURCHFÜHRUNG	2
3. FRAGEN	11
4. QUELLEN.....	12

1. EINLEITUNG

Zur Messung elektrodynamischer Prozesse ist es häufig notwendig viele Daten in kurzer Zeit aufzunehmen. Dafür werden in den meisten Fällen Oszilloskope verwendet. Diese gibt es sowohl analog als auch digital. Die analoge Variante hat den Vorteil, dass sich das Bild fast Trägheitslos ändern kann, da es durch abgelenkte Elektronen entsteht. Nachteil dabei ist jedoch, dass man nur periodische oder quasiperiodische Vorgänge messen kann.

Die digitale Version hat diesen Nachteil nicht. Mit ihr ist es möglich alle Prozesse darzustellen, welche sich in Spannungen ausdrücken lassen. Dadurch, dass die Daten gespeichert werden und dann erst umgewandelt werden, lassen sich auch Zeitpunkte vor dem Trigger genauer untersuchen.

In unserem Experiment haben wir ein digitales Oszilloskop verwendet. Da es Innenwiderstände und Kapazitäten besitzt, sollte man einen Tastkopf verwenden um die Messung zu verbessern. Beschreibung der verwendeten Methode und Versuchsaufbau

2. EXPERIMENTELLE DURCHFÜHRUNG

2.1 ABGLEICH DES TASTKOPFES

Empfindliche elektrische Systeme können sehr leicht von nur kleinen Störungen beeinflusst werden. Deswegen ist es wichtig alle störenden Elemente zu eliminieren. Dabei verwendet man einen sogenannten Tastkopf. Sein Grundaufbau ist in Abbildung 1 dargestellt.

Um die störenden ohmschen Widerstände und Kapazitäten im Oszilloskop zu beseitigen, macht man sich das einfache Prinzip des Spannungsteiler zu nutzen. Typische Teilungsverhältnisse sind 1/10 bis 1/1000, indem man nun die Kapazität so anpasst, so dass das gleiche Teilungsverhältnis vorliegt, kann man erreichen, dass das Eingangssignal nicht verfälscht wird, da über das Verbindungskabel kein Strom mehr fließt. (Prinzip ähnelt der Wheatstoneschen Brücke)

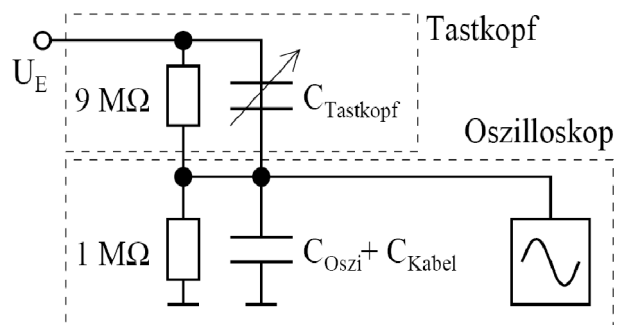


ABBILDUNG 1: AUFBAU DES TASTKOPFES

Um den Tastkopf möglichst effektiv zu kalibrieren muss ein hoher Frequenzbereich abgedeckt werden. Dabei wird der Frequenzgenerator auf Rechteckimpuls gestellt und solange an der Kapazität des Tastkopfes gedreht bis dieser mit scharfen Kanten auf dem Oszilloskop-Schirm dargestellt wird.

Der Grund warum man eine Rechteckimpuls verwendet ist, dass der Frequenzgenerator nur Sinus- und Kosinusfunktionen generieren kann. Um nun ein Rechteck darzustellen benötigt der Generator also einen großen Frequenzbereich. Wird also der Rechteckimpuls scharf dargestellt, werden alle verwendeten Frequenzen störungsfrei übermittelt und der Tastkopf ist für einen großen Frequenzbereich kalibriert. Warum solch eine Kalibrierung notwendig ist, zeigen folgende Bilder eines abgeglichenen und eines nicht abgeglichenen Tastkopf.

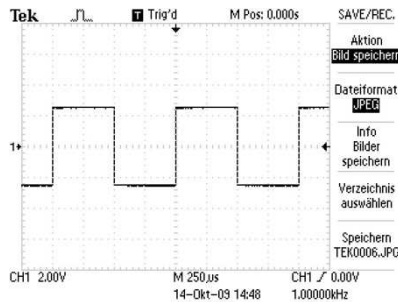


ABBILDUNG 2: KALIBRIERTER TASTKNOFF

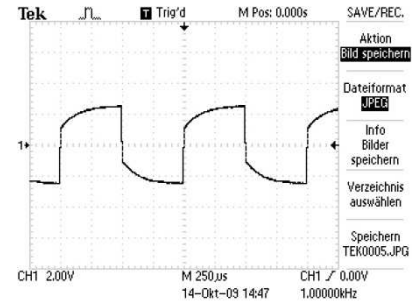


ABBILDUNG 3: VOR DER KALIBRIERUNG

2.2 HOCHPASSFILTER

Nun werden die Durchlasskurve und die Phasenverschiebung des Hochpassfilters untersucht.

Die theoretische Grenzfrequenz des verwendeten Hochpassfilters berechnet sich mit Hilfe folgender Formel:

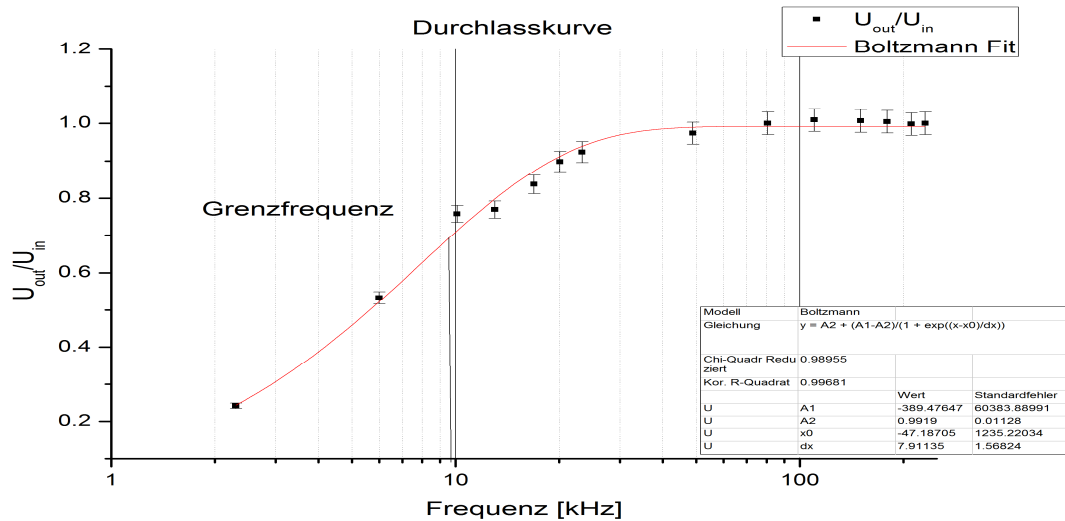
$$f_G = \frac{1}{2\pi RC} = (23,6 \pm 0,8) \text{ kHz}; R = 75 \Omega; C = 90 \text{ nF} \quad (1)$$

Der Fehler dieser Gleichung wird dabei auf folgende Art und Weise bestimmt:

$$\Delta f_{G_{sys}} = \left| \Delta R \cdot \left[\frac{\partial f_G}{\partial R} \right] \right| + \left| \Delta C \cdot \left[\frac{\partial f_G}{\partial C} \right] \right| = 0,8 \text{ kHz} \quad (2)$$

Hierbei wurde mit den gegebenen systematischen Fehlern von 1 % für Widerstände und 2,5% bei Kapazitäten und Spulen gerechnet.

Der folgende Graph stellt die Durchlasskurve dar. Als Fehler für die Frequenz wurde 2 % angenommen, als Fehler für Spannungsanzeige am Oszilloskop $\pm 0,1 \text{ V}$. Um den Fehler des Quotienten aus Ausgangs- und Eingangsspannung zu berechnen wurde wieder Formel (2) benutzt.



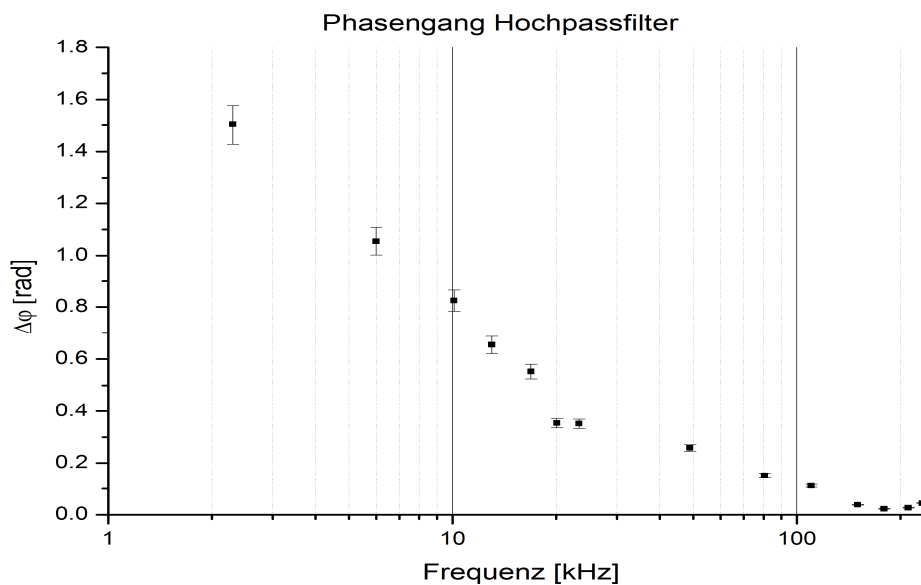
GRAPH 1: DURCHLASSKURVE DES HOCHPASSFILTERS MIT FEHLERBALKEN

In diesem Graph erkennt man deutlich wie hohe Frequenzen beinahe ungehindert den Hochpassfilter passieren, während tiefe Frequenzen rausgefiltert werden.

Anschließend wird der Phasengang graphisch dargestellt. Der Fehler der Zeitdifferenz ist $0,1 \mu\text{s}$. Die Formel für die Bestimmung des Winkels der Phasenverschiebung lautet:

$$\Delta\varphi = 2\pi f\Delta t \quad (3)$$

Auch hier wurde der Fehler des Winkels mit (2) berechnet



GRAPH 2: PHASENGANG DES HOCHPASSFILTERS MIT FEHLERBALKEN

Bei der Grenzfrequenz ist die Phase genau um $\frac{\pi}{4}$ verschoben. Um diese aus den experimentellen Daten abzulesen liest man im Diagramm die korrespondierende Frequenz zu $\frac{\pi}{4}$ ab. In diesem Fall:

$$f_{G-\text{experimentell}} = (10,0 \pm 0,9) \text{ kHz}$$

Der Fehler setzt sich zusammen aus dem gleichen systematischen Fehler der bei der theoretischen Grenzfrequenz bestimmt wurde und einem statistischen Fehler von 0,1 kHz als Ablesegenauigkeit. Der experimentelle Wert stimmt mit dem theoretisch errechneten fast gar nicht überein. Dies liegt an der logarithmischen Auftragung der x-Achse, so dass dort bereits kleine Abweichungen zu großen Varianzen in der y-Achse führen.

Nun werden die integrierende Wirkung des Tiefpasses und die differenzierende Wirkung des Hochpasses anhand einiger Abbildungen erläutert. Es wird jeweils das Eingangssignal und das Ausgangssignal etwas höher versetzt dargestellt. Außerdem wurden die Frequenzen variiert.

Beim Tiefpassfilter wurden folgende Bilder erzeugt:

Rechtecksignal:

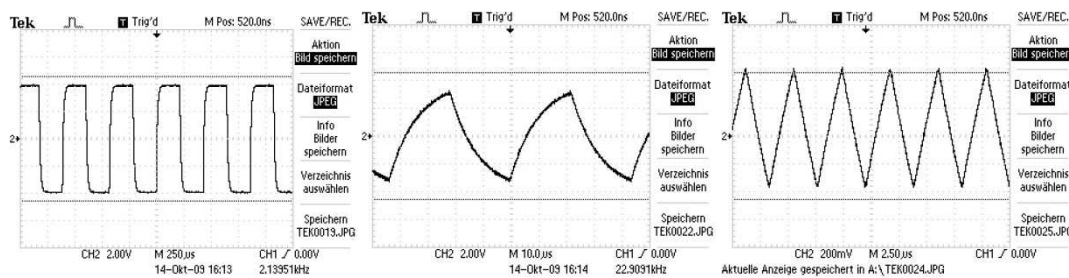


ABBILDUNG 4: AUSGANGSSIGNAL FÜR NIEDRIGE / MITTLERE / HOHE EINGANGSFREQUENZ MIT RECHTECKSIGNAL

Dreiecksignal:

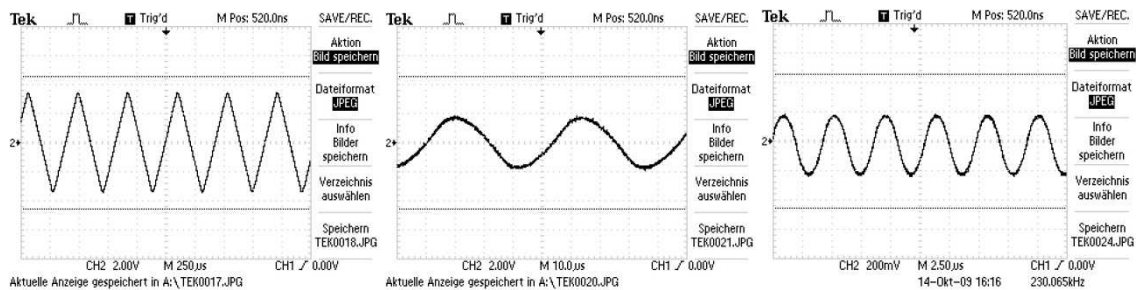


ABBILDUNG 5: AUSGANGSSIGNAL FÜR NIEDRIGE /MITTLERE/ HOHE EINGANGSFREQUENZ MIT DREIECKSIGNAL

Sinussignal:

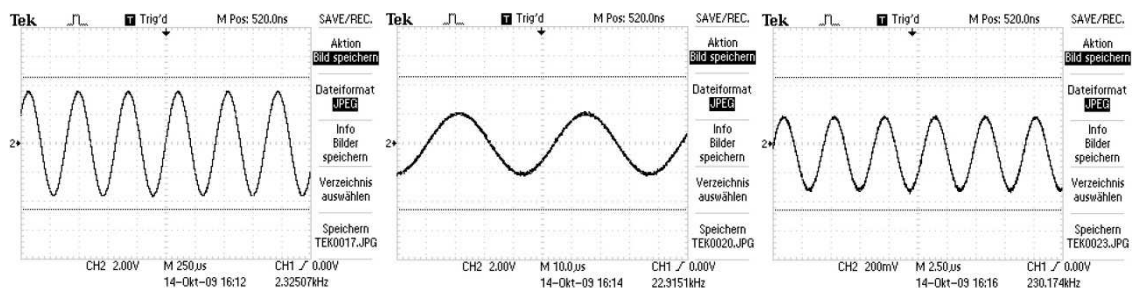


ABBILDUNG 6: AUSGANGSSIGNAL FÜR NIEDRIGE /MITTLERE/ HOHE EINGANGSFREQUENZ MIT SINUSSIGNAL

Bei allen drei Ausgangssignalen ist das Signal bei niedrigen Frequenzen ($f \ll f_G$) gleich dem Eingangssignal. Bei hohen Frequenzen ($f \gg f_G$) kann man jedoch die integrierende Wirkung des Tiefpassfilters gut erkennen. Ein Rechtecksignal wird zu einem Dreiecksignal integriert, ein Dreiecksignal zu einem Sinussignal und beim Sinus wird lediglich die Phase verschoben, bzw. zu einem Cosinus integriert.

Erklärung des integrierenden Verhalten des Tiefpassfilters bei hohen Frequenzen:

Bei hohen Frequenzen fällt die Eingangsspannung U_E fast vollständig am Widerstand R ab.

Man kann also

$$U_E \approx I_{TP} R \quad (4)$$

schreiben. Für den Strom kann man in diesem Fall einsetzen: $I_{TP} = C \cdot \frac{dU_{A,TP}}{dt}$ und erhält:

$$U_E \approx RC \cdot \frac{dU_{A,TP}}{dt} \rightarrow U_{A,TP} \approx \frac{1}{RC} \int U_E \cdot dt \quad (5)$$

Beim Hochpassfilter ergaben sich folgende Abbildungen:

Rechtecksignal:

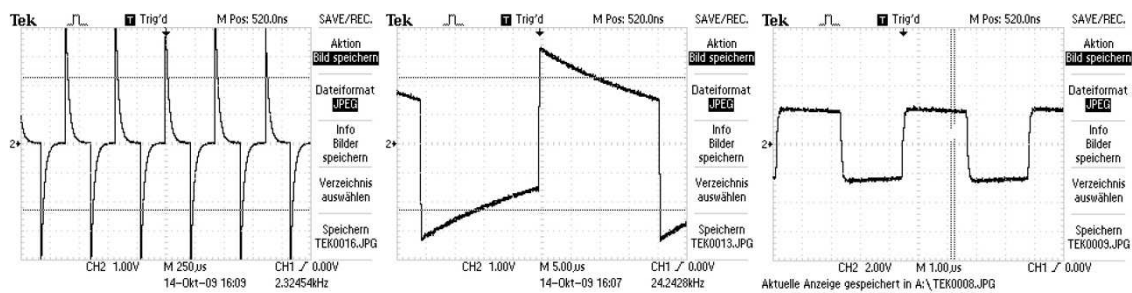


ABBILDUNG 7: AUSGANGSSIGNAL FÜR NIEDRIGE / MITTLERE / HOHE EINGANGSFREQUENZ MIT RECHTECKSIGNAL

Dreiecksignal:

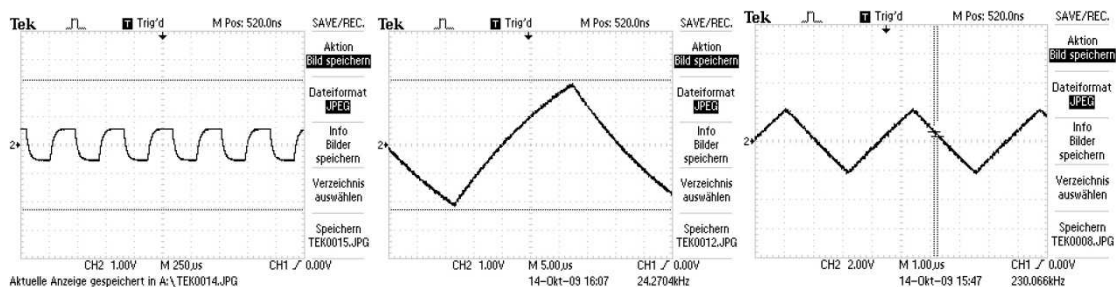


ABBILDUNG 8: : AUSGANGSSIGNAL FÜR NIEDRIGE / MITTLERE / HOHE EINGANGSFREQUENZ MIT DREIECKSSIGNAL

Sinussignal:

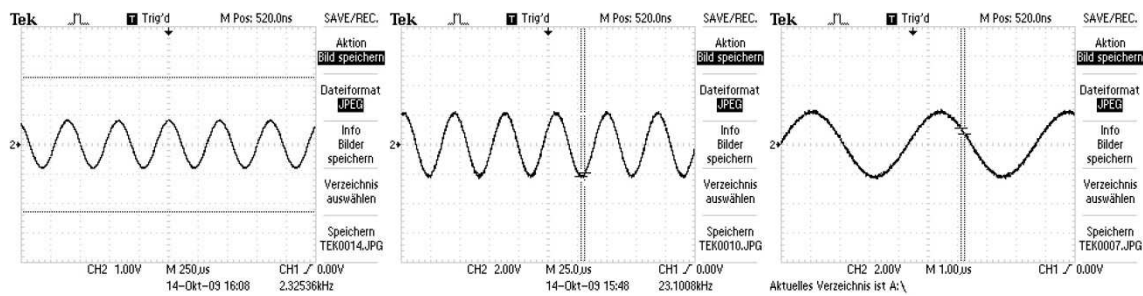


ABBILDUNG 93: AUSGANGSSIGNAL FÜR NIEDRIGE / MITTLERE / HOHE EINGANGSFREQUENZ MIT SINUSSIGNAL

Beim Hochpassfilter lässt sich genau der entgegengesetzte Effekt beobachten. Bei hohen Frequenzen ($f \gg f_G$) ist das Eingangssignal gleich dem Ausgangssignal. Bei niedrigen Frequenzen ($f \ll f_G$) wird die differenzierende Wirkung des Hochpassfilters deutlich: Ein Rechtecksignal wird, bis auf ein paar Spannungsspitzen, zu Null. Ein Dreieckssignal wird zu einem Rechtecksignal und der Sinus wird wieder phasenverschoben, also zu einem Cosinus.

Auch hier kann man eine mathematische Erklärung für dieses Verhalten angeben:

Beim Hochpassfilter fällt für niedrige Frequenzen fast die gesamte Eingangsspannung am Kondensator ab.

$$U_E \approx U_C \quad (6)$$

$$\rightarrow U_{A,HP} = R \cdot I_{HP} = RC \cdot \frac{dU_C}{dt} \approx RC \cdot \frac{dU_E}{dt} \quad (7)$$

2.3 SCHWINGKREIS

Nun soll ein Serienschwingkreis analysiert werden.

Rein theoretisch und ohne parasitäre Elemente erwartet man eine Grenzfrequenz von

$$f_{0-theoretisch} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}} = (97,9 \pm 2,8) \text{ kHz} \quad (8)$$

R [Ω]	300 ± 3
L [mH]	4,7 ± 0,1
C [pF]	560 ± 14
f₀ [kHz]	98 ± 2

Fehler für f_0 :

$$\Delta f_{0,sys} = \left| \Delta L \frac{\partial f_0}{\partial L} \right| + \left| \Delta C \frac{\partial f_0}{\partial C} \right| + \left| \Delta R \frac{\partial f_0}{\partial R} \right| = 2,8 \text{ kHz} \quad (9)$$

Durch Abfahren der Frequenzen mit Hilfe des Funktionsgenerators stellt man allerdings experimentell eine andere Frequenz fest. Die hierbei ermittelte Frequenz liegt bei etwa:

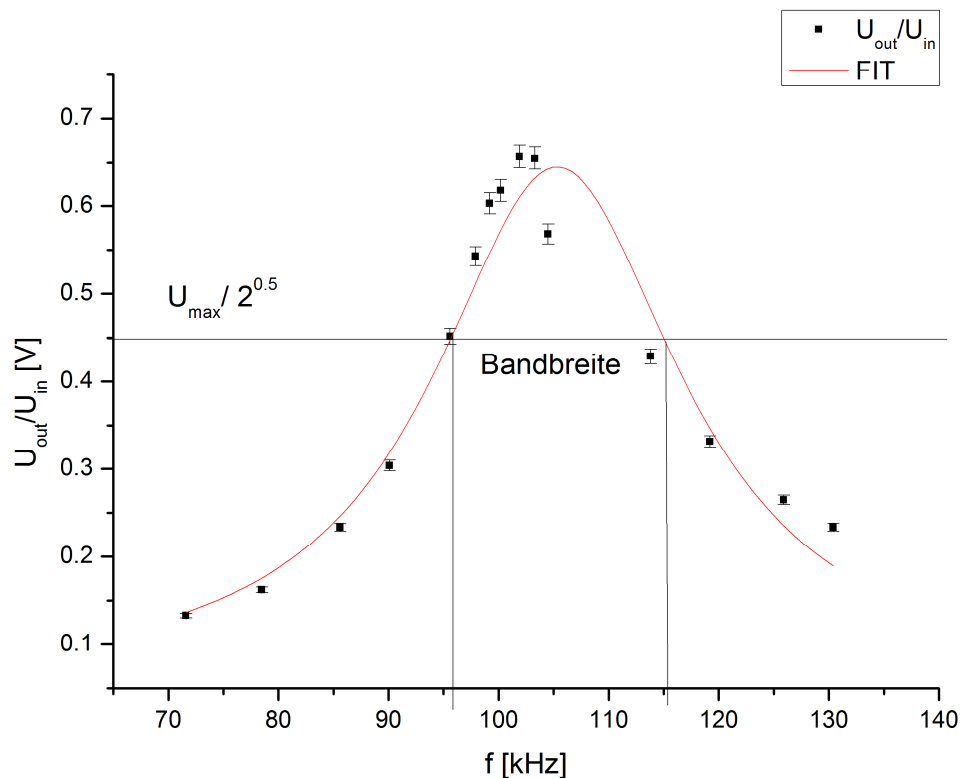
$$f_{0-experimentell} = (102 \pm 3) \text{ kHz}$$

Die Differenz kann durch Kapazitäten und Widerstände im Schwingkreis erklärt werden, welche nicht beachtet wurden. Vor allem die Kabelwiderstände sind höchst wahrscheinlich nicht zu vernachlässigen. Auch schlechte Kontaktstellen können das Ergebnis verfälschen.

Nun soll noch die **Durchlasskurve** angetragen werden, um aus ihr Bandbreite und Güte zu bestimmen
Die Bandbreite B_f eines Schwingkreises bezeichnet den Frequenzbereich, in welchem die Durchlasskurve über $\frac{1}{\sqrt{2}}$ ihres Maximalwertes liegt.

Die Güte Q wiederum bezeichnet den Quotienten aus der Resonanzfrequenz und der Bandbreite.

$$Q = \frac{f_{res}}{B_f} \quad (10)$$

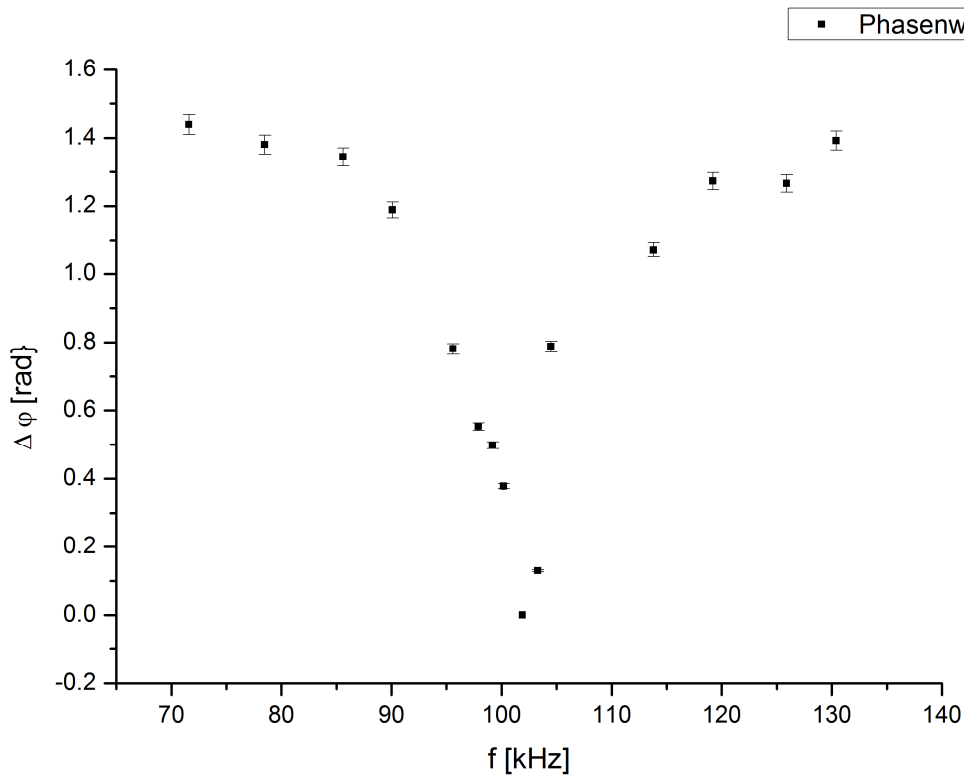


GRAPH 3: DURCHLASSKURVE DES SERIENSCHWINGKREISES MIT FEHLERBALKEN

Aus dem Bild erhält man:

Q	$5,1 \pm 0,5$
B_f	$(20,0 \pm 1,0) \text{ kHz}$

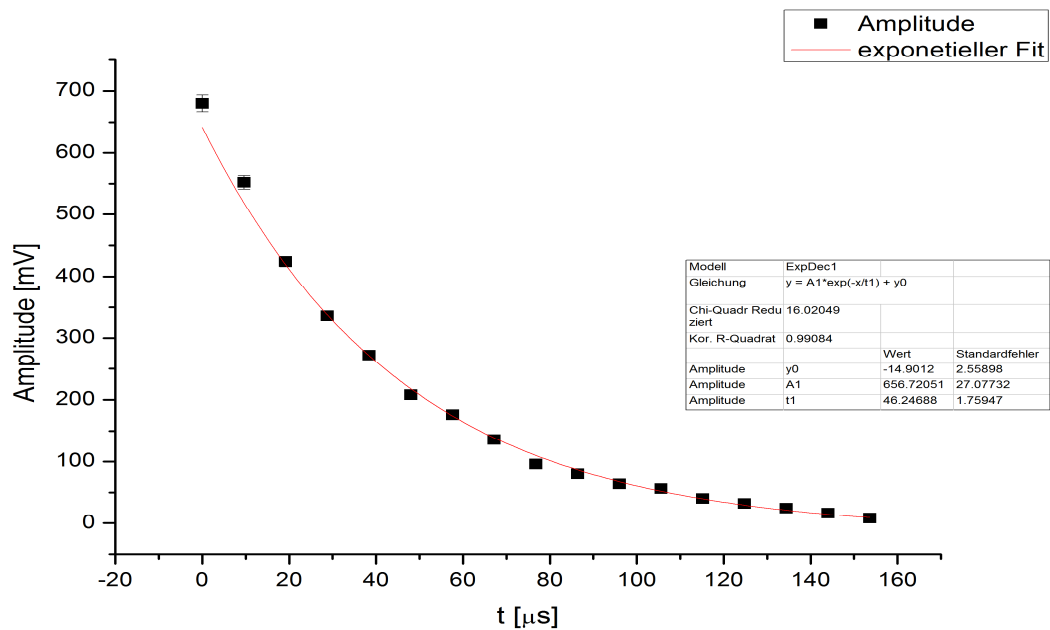
Der Fehler bei der Bandbreite entspricht der Ablesegenauigkeit aus dem Graph. Der Fehler der Güte wurde wieder mittels der Formel (2) berechnet.



GRAPH 4 :PHASENVERSCHIEBUNG SCHWINGKREIS

2.4 DÄMPFUNG

Nun soll die Dämpfung des Schwingkreises untersucht werden. Dies geschieht, indem man einen Rechteckimpuls als Eingangsspannung verwendet. Dadurch ergibt sich eine zeitabhängige Amplitude, die gegen Null wandert. Nach dem Skript hat sie den Verlauf $Q_0(t) = Q_0(0) \cdot e^{-\delta t}$ mit $\delta = \frac{R}{2L}$ als Dämpfung.



GRAPH 5: DÄMPFUNGSKURVE SCHWINGKREIS

In unserem Fall beträgt die Dämpfung:

$$\delta_{\text{experimentell}} = (0,025 \pm 0,04) \frac{1}{\mu\text{S}}$$

Die theoretische Dämpfung erhält man mit folgender Formel:

$$\delta_{\text{theoretisch}} = \frac{R}{2L} = (0,032 \pm 0,08) \frac{1}{\mu\text{S}}$$

Die beiden Werte stimmen innerhalb der Unsicherheiten überein. Die Differenz liegt hauptsächlich daran, dass im Experiment kein Tastkopf verwendet und der Widerstand des Koaxialkabels nicht berücksichtigt wurde.

Nun wird die Kapazität des Koaxialkabels berechnet.

Um diese zu erhalten wird im Experiment an einem Parallelschwingkreis die Resonanzfrequenz sowohl mit Tastkopf, als auch mit Koaxialkabel gemessen.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC}} \quad (11)$$

Man kann mit obiger Formel die Resonanzfrequenz deshalb bestimmen, da im vorliegenden Versuchsaufbau der Ohmsche Widerstand verschwindend gering ist. Daraus folgt damit auch, dass die Resonanzfrequenz der Eigenfrequenz entspricht.

Daraus ergibt sich dann die Kapazität des Koaxialkabels zu:

$$C_{Co} = \frac{1}{4\pi^2 L} \cdot \left(\frac{1}{f_{Co}^2} - \frac{1}{f_{Tast}^2} \right) \quad (12)$$

Frequenz ohne Tastkopf (f_{Co}): 136,3 kHz

Frequenz mit Tastkopf (f_{Tast}): 173,3 kHz

Hieraus ergibt sich dann mit $L = 1$ mH eine Kapazität des Koaxialkabels von $C_{Co} = 520,0$ pF. Eine Fehlerrechnung ist hier jedoch kaum durchführbar da die Unsicherheiten bei Frequenzgenerator, Koaxialkabel, Oszilloskop und Schwingkreis unbekannt sind. Daher wird auf ebensolche verzichtet.

2.5 . SAMPLINGFREQUENZ

Die Samplingfrequenz bestimmt die Abtastungsrate, mit welcher das eingehende Signal abgetastet wird. Dies ist so gesteuert, dass pro Bildschirmdurchlauf 2500 Datenpunkte ausgewertet werden. Nun soll untersucht werden, was passiert, wenn die Samplingfrequenz nahe der Frequenz des eingehenden Signals liegt. Hierbei stellte sich heraus, dass die beim Generator angezeigte Frequenz sich von der angezeigten Frequenz des Oszillators teilweise stark unterschied.

Frequenzgenerator in kHz	1,0	5,5	8,1	10,0	20,0	30,0
Oszilloskop in khz	1,0	3,8-4,8	2,0	0,5	0,1	0,8

Das MEASURE Menü scheint, wie man sieht manche Perioden zu überspringen, es nimmt also einen Punkt aus der ersten und dann erst wieder zum Beispiel einen aus der dritten. Dadurch zeigt es eine deutlich niedrigere Frequenz an und es kommt kein periodisch sinnvolles Bild zustande. Es ist also wichtig die Samplingfrequenz mit Bedacht zu wählen, da sonst die Messung mit dem digitalen Oszilloskop misslingt.

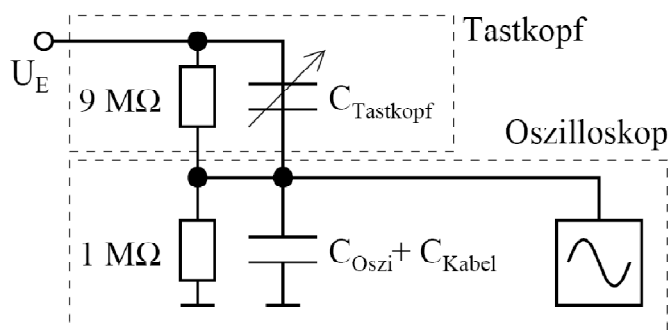
2.6 STÖRSIGNALE.

Abschließend werden anhand einiger Beispiele mit Hilfe des empfindlichen Tastkopfes die Einstreuungen auf nicht abgeschirmte Leitungen untersucht. Kommt man mit dem Tastkopf beispielsweise in Nähe der Steckdosen erkennt man (mit ein wenig gutem Willen) Sinusförmige Schwingungen. Ein ähnlicher Effekt tritt auch auf, wenn man den Tastknopf an seinen Körper anlegt.

3. FRAGEN

1. Wie groß muss die Kapazität im Tastkopf sein, wenn er abgeglichen ist?

Im Folgenden ist der Aufbau eines Tastkopfes in Verbindung mit einem Oszilloskop dargestellt:



Der Tastkopf gilt als abgeglichen, wenn kein Strom mehr zum Oszilloskop fließt, d.h. man kann die gleiche Beziehung wie bei der Wheatstoneschen Brücke herleiten:

$$\frac{Z_{Oszi+Kabel}}{Z_{Tastkopf}} = \frac{R_{Oszi}}{R_{Tastkopf}}$$

In diesem Fall ist $Z = \frac{1}{i\omega C}$

Daraus folgt für die Kapazität des Tastkopfes im abgeglichenen Zustand:

$$C_{Tastkopf} = C_{Oszi+Kabel} \cdot \frac{R_{Oszi}}{R_{Tastkopf}}$$

Gängige Teilungsverhältnisse für die Widerstände sind 1/9 bzw. 1/99 usw. In unserem Fall lag ein Teilungsverhältnis von 1/9 vor. Damit ergibt sich: $C_{Tastkopf} = \frac{1}{9} C_{Oszi+Kabel}$

2. Nennen Sie die markantesten Unterschiede zwischen Schwingkreis, Hoch- und Tiefpass. Welche Rolle spielen diese Bausteine in der Technik?

Ein Hochpassfilter lässt hohe Frequenzen fast ungehindert passieren, während er tiefe Frequenzen herausfiltert. Ein Tiefpassfilter funktioniert genau umgekehrt: es kommen nur niedrige Frequenzen durch, dadurch kann er als Signalglätter fungieren. Ein Schwingkreis lässt nur Frequenzen um seine Resonanzfrequenz durch.

Hoch- und Tiefpassfilter eignen sich daher zum herausfiltern von Störfrequenzen. Z.B. um in der Tontechnik bei Tieftönern die hohen Frequenzen heraus zu filtern.

Der Schwingkreis kommt vor allem in der Radiotechnik zum Einsatz. Hier müssen Signale auf einer bestimmten Frequenz übertragen werden. Aber er eignet sich auch allgemein zum Übertragen elektromagnetischer Wellen.

3. *Betrachten Sie ein Feder-Masse-System und diskutieren Sie die Analogien zu einem einfachen LRC-Schwingkreis!*

Anfangs befindet sich der Kondensator in einem vollständig aufgeladenen Zustand. Analog ist die Feder maximal gestauch, hat also maximale potentielle Energie.

Dann entlädt sich der Kondensator und ein Magnetfeld baut sich in der Spule auf. Dies ist Analog zur kinetischen Energie, welche in Bewegung des Massenpunktes umgesetzt wird.

Danach ist der Kondensator wieder komplett (in umgekehrter Polung) aufgeladen. Ebenso befindet sich die Masse auf der gegenüberliegenden Seite des Aufbaus und hat wieder maximale potentielle Energie.

Hierauf beginnt das Spiel von Vorne.

4. *Welcher Effekt tritt durch den kapazitiven Widerstand eines Serienschwingkreises bei niedrigen Frequenzen auf?*

Bei niedrigen Frequenzen fungiert der Kondensator als ein unendlich hoher Widerstand und lässt kein Strom mehr durch. Folglich schwingt der Schwingkreis auch nicht.

4. QUELLEN

1. M. Saß. "Umgang mit Unsicherheiten". 09.07.08.
2. M. Saß. "Elektrodynamik und Magnetismus - Oszilloskop". 09.01.09.