



V354

## Gedämpfte und erzwungene Schwingungen

Pelle Ofenbach  
pelle.ofenbach@udo.edu

Robert Appel  
robert.appel@udo.edu

Durchführung: 15.11.16

Abgabe: 22.11.16

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Versuchsziel</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Theorie</b>	<b>4</b>
2.1	Aufbau eines RCL-Kreises . . . . .	4
2.2	DGL der gedämpften Schwingung . . . . .	4
2.3	Lösung der DGL in drei Fällen . . . . .	4
2.3.1	Schwingfall . . . . .	5
2.3.2	Kriechfall . . . . .	5
2.3.3	aperiodischer Grenzfall . . . . .	5
2.4	DGL der erzwungenen Schwingung . . . . .	5
2.5	Impedanz . . . . .	6
<b>3</b>	<b>Aufbau</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>Durchführung</b>	<b>6</b>
4.1	Aufgabenstellung . . . . .	6
4.2	Gerätedaten . . . . .	7
4.3	Messung der Kondensatorspannung in Abhängigkeit von der Zeit . . . . .	7
4.4	Grobe Messung des Dämpfungswiderstandes . . . . .	7
4.5	Messung der Frequenzabhängigkeit der Kondensatorspannung . . . . .	8
4.6	Messung der Frequenzabhängigkeit der Phase zwischen Erreger-und Kon- densatorspannung . . . . .	8
4.7	Messung der Frequenzabhängigkeit des Scheinwiderstandes . . . . .	8
<b>5</b>	<b>Auswertung</b>	<b>8</b>
5.1	Zeitabhängigkeit der Amplitude einer gedämpften Schwingung . . . . .	8
5.2	Aperodischer Grenzfall . . . . .	10
5.3	Frequenzabhängigkeit der Kondensatorspannung . . . . .	12
5.4	Frequenzabhängigkeit der Phase zwischen Erreger-und Kondensatorspan- nung . . . . .	12
5.5	Frequenzabhängigkeit des Scheinwiderstandes eines Serienkreises . . . . .	14
5.6	Werte von 3.1 . . . . .	14
5.7	Werte von 3.3 . . . . .	14
5.8	Werte von 3.4 . . . . .	14
5.9	Werte von 3.5 . . . . .	14
<b>6</b>	<b>Diskussion</b>	<b>19</b>
6.1	Zu 3.1 . . . . .	19
6.2	Zu 3.2 . . . . .	19
6.3	Zu 3.3 . . . . .	19
6.4	Zu 3.4 . . . . .	19
6.5	Zu 3.5 . . . . .	19

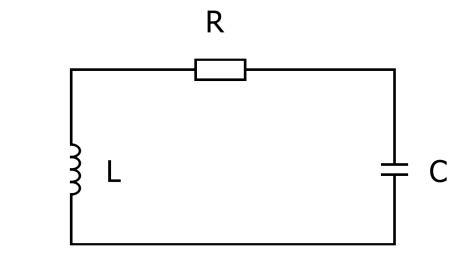


# 1 Versuchsziel

## 2 Theorie

### 2.1 Aufbau eines RCL-Kreises

Die beiden entscheidenden Komponenten für das Verhalten eines RCL-Kreises sind ein Kondensator der Kapazität  $C$  sowie eine Spule mit einer Induktivität  $L$ . Der Widerstand  $R$  stellt eine Dämpfung der Energie des Systems und somit seiner Schwingung dar. Die entsprechende Schaltung sieht wie folgt aus:



**Abbildung 1:** Einfacher RCL-Kreis bestehend aus einer Spule, einem Widerstand und einem Kondensator

### 2.2 DGL der gedämpften Schwingung

Besagte Schwingung lässt sich mithilfe der Kirchhoffschen Summenformel herleiten:

$$0 = \sum_{i=0}^k U_i \iff 0 = U_L + U_R + U_C. \quad (1)$$

Durch Einsetzen dieser Spannungen in differentieller Form erhält man:

$$0 = L\ddot{Q} + R\dot{Q} + \frac{1}{C}Q. \quad (2)$$

Diese Differentialgleichung ist aus der Mechanik bekannt als Bewegungsgleichung eines gedämpften harmonischen Oszillators. In diesem Fall schwingen Ladungen  $Q$  und somit auch der Strom  $I$ , welcher eine einfacher zu messende und verbreitetere Größe als die Ladung darstellt. Um eine DGL in  $I$  zu erhalten differenziert man (2) einfach nach der Zeit und erhält:

$$0 = L \cdot \ddot{I} + R \cdot \dot{I} + \frac{1}{C} \cdot I. \quad (3)$$

### 2.3 Lösung der DGL in drei Fällen

Die Lösung der DGL (3) ist gegeben durch:

$$I(t) = \exp(-\beta t) \cdot \left( A \cdot \exp(i\omega t) B \cdot \exp(-i\omega t) \right) \quad (4)$$

mit  $\omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}$  und  $\beta = \frac{R}{2L}$ .  
 Sie unterscheidet sich in 3 Fällen:

1. Schwingfall für  $\frac{1}{LC} > \frac{R^2}{4L^2}$
2. Kriechfall für  $\frac{1}{LC} < \frac{R^2}{4L^2}$
3. aperiodischer Grenzfall für  $\frac{1}{LC} = \frac{R^2}{4L^2}$

### 2.3.1 Schwingfall

In diesem Fall lässt sich (4) schreiben als:

$$I_s(t) = A_0 \cdot \exp(-\beta t) \cdot \cos(\omega t + \theta) \quad (5)$$

Es ergibt sich somit eine gedämpfte Schwingung der Umlaufdauer  $T = \frac{1}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{1/LC - R^2/4L^2}}$

### 2.3.2 Kriechfall

Da  $\frac{1}{LC} < \frac{R^2}{4L^2}$  ergibt sich (4) mit  $\tilde{\omega} = \sqrt{\frac{R^2}{4L^2} - \frac{1}{LC}}$  zu:

$$I_k(t) = A \cdot \exp((-\beta + \tilde{\omega})t) + B \cdot \exp((-\beta - \tilde{\omega})t) \quad (6)$$

Je nach Verhältnis  $A/B$  kann es bei diesem Stromverlauf bis zu einen Nulldurchgang geben, danach strebt er gegen Null ohne zu schwingen.

### 2.3.3 aperiodischer Grenzfall

Für  $\frac{1}{LC} = \frac{R^2}{4L^2}$  reduziert sich (4) zu:

$$I_{ap}(t) = A \cdot \exp(-\beta t) = A \cdot \exp\left(-\frac{t}{\sqrt{LC}}\right) \quad (7)$$

Dies ist der Extremfall der Dämpfung, d.h. es kann keinen Nulldurchgang geben und der Graph der Funktion nähert sich  $I = 0$  schneller als im normalen Kriechfall.

## 2.4 DGL der erzwungenen Schwingung

Zwingt man dem RCL-Glied durch zwischenschalten eines Funktionsgenerators ein systemfremdes  $U_0(t)$  auf, so erweitert sich (2) zu:

$$L\ddot{I} + R\dot{I} + \frac{1}{C}I = U_0 \cdot \exp(i\omega t). \quad (8)$$

Als Lösung ergibt sich

$$U_C = \frac{U_0}{1 - LC\omega^2 + i\omega RC} \exp(i\omega t) \quad (9)$$

wobei zu beachten ist, dass  $U_C$  eine komplexe Amplitude erhält, deren Betrag

$$U_0 \sqrt{\frac{(1 - LC\omega^2)^2 + \omega^2 R^2 C^2}{(1 - LC\omega^2)^2 + \omega^2 R^2 C^2}}$$

beträgt. Die Phase dieser Amplitude ergibt sich zu

$$\phi(\omega) = \arctan\left(\frac{-\omega RC}{1 - LC\omega^2}\right).$$

Bestimmt man das Maximum der Amplitude so findet man es bei der sog. Resonanzfrequenz, welche der Eigenfrequenz des Schwingkreises entspricht. Es gilt:

$$U_{C,max} = \frac{1}{\omega RC} U_0 \quad (10)$$

Man definiert hierbei die Güte  $q = \frac{\omega}{\omega_+ - \omega_-}$  wobei  $\omega_{\pm}$  die beiden Frequenzen sind, bei denen  $U_C = \frac{1}{\sqrt{2}} U_{C,max}$ , deren Differenz als Breite der Resonanzkurve bezeichnet wird. Für  $R^2/L^2 \ll \omega^2$  lässt sich die Breite zu  $R/L$  nähern.

## 2.5 Impedanz

Bestimmt man den Gesamtwiderstand des RCL-Gliedes, so stellt man fest, dass es sich hierbei um die komplexe Größe

$$Z = R + i\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) \quad (11)$$

handelt. Man teilt diesen komplexen Widerstand (Impedanz) in seinen reellen Wirkwiderstand (hier:  $R$ ) und den rein imaginären Scheinwiderstand (hier:  $i\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)$ ) ein.

## 3 Aufbau

## 4 Durchführung

### 4.1 Aufgabenstellung

Bestimmung

1. der Zeitabhängigkeit der Amplitude eines gedämpften Schwingkreises und seines effektiven Dämpfungswiderstandes

2. von  $R_{ap}$  für den aperiodischen Grenzfall
3. der Frequenzabhängigkeit von  $U_C$
4. der Frequenzabhängigkeit der Phase zwischen Erregerspannung und  $U_C$
5. der Frequenzabhängigkeit der Impedanz

## 4.2 Gerätedaten

Für alle Messungen wurde Gerät 2 verwendet mit folgenden Spezifikationen:

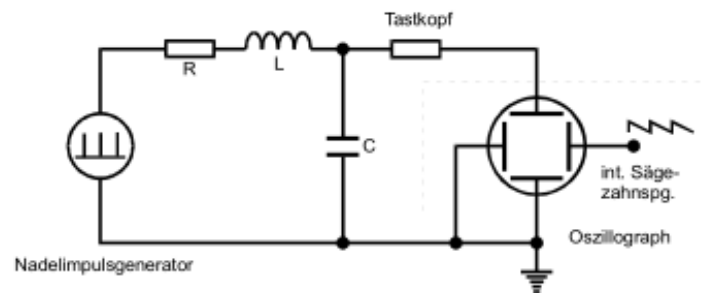
$L = (10,11 \pm 0,03)\text{mH}$ ,  $C = (2,098 \pm 0,006)\text{nF}$ ,  $R_1 = (48,1 \pm 0,1)\Omega$ ,  $R_2 = (509,5 \pm 0,5)\Omega$

## 4.3 Messung der Kondensatorsspannung in Abhängigkeit von der Zeit

Zunächst wird der Schwingkreis mittels eines Nadelimpuls kurz angeregt,

da kein Nadelimpulsgenerator zur Verfügung stand, wurde dieser mit einer Rechteckspannung mit klein möglicher Impulsbreite moduliert.

Dies dient dazu dem System eine Anfangsenergie zu übergeben. Die Frequenz des Generators wird mit ca. 600 Hz so gering gewählt, dass die Schwingung vor einer erneuten Anregung nahezu vollständig abgeklungen ist. Die am Kondensator anliegende Spannung  $U_C$  wird hierbei mit Hilfe eines digitalen Oszilloskops aufgezeichnet.



**Abbildung 2:** Zur Erfassung der Schwingung des angeregten RCL-Kreises verwendete Schaltung mit  $R = R_1$  aus Quelle [1]

## 4.4 Grobe Messung des Dämpfungswiderstandes

Da im folgenden  $R_{ap}$  bestimmt werden soll, wird  $R$  in Abb.2 als frei zwischen  $0\Omega$  und  $10\text{k}\Omega$  einstellbar realisiert.  $R_{ap}$  lässt sich näherungsweise bestimmen, indem zuerst  $R = 10\text{k}\Omega$  gewählt wird. Nun wird der Widerstand reduziert, bis eine schwache Schwingung erkennbar ist, um ihn dann wieder zu erhöhen, bis die Schwingung gerade eben verschwindet. An diesem Punkt hat man  $R_{ap}$  in grober Näherung gemessen.

#### **4.5 Messung der Frequenzabhängigkeit der Kondensatorspannung**

Zur Messung der Frequenzabhängigkeit der am Kondensator auftretenden Spannung stellt man den Impulsgenerator aus Abb.2 so um, dass er eine Sinusspannung generiert. Desweiteren wird  $R = R_2$  gewählt. Nun wird die Kondensatorspannung bei unterschiedlichen Frequenzen protokolliert, wobei zusätzlich das Ausgangssignal  $U$  des Generators direkt gemessen wird, um eine eventuell im Tastkopf entstehende Phasenverschiebung herausrechnen zu können. Ebenfalls berücksichtigt werden muss der Eigenwiderstand der verwendeten Geräte.

#### **4.6 Messung der Frequenzabhängigkeit der Phase zwischen Erreger-und Kondensatorspannung**

Erneut werden Kondensator- und Eingangsspannung für unterschiedliche Frequenzen aufgenommen. Diesmal jedoch werden sie am Oszilloskop auf ihren Gangunterschied untersucht mittels des Cursors, welcher sich auf die Extremstellen der Signale setzen lässt und den Zeitunterschied zwischen beiden liefert. Wieder gilt  $R = R_2$ . In dieser Messreihe wurden 12 Werte im Frequenzbereich von ca. 101 kHz bis 0,2 kHz gemessen.

#### **4.7 Messung der Frequenzabhängigkeit des Scheinwiderstandes**

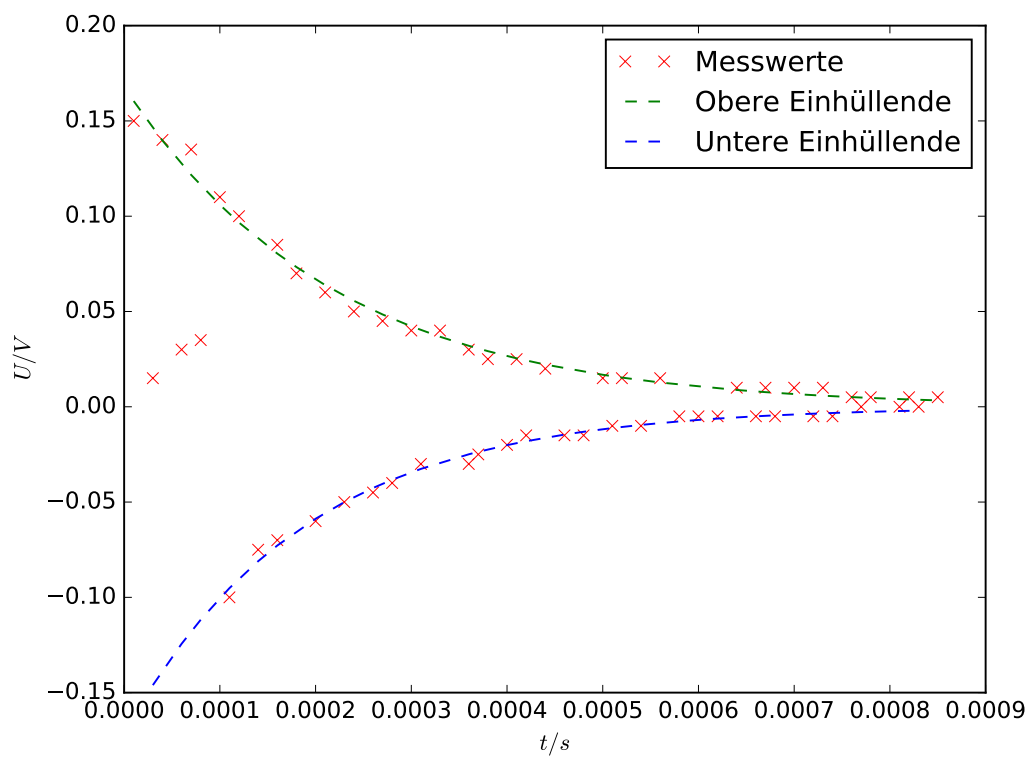
Zuletzt wird die Impedanz des Aufbaus ermittelt, indem am Oszilloskop die vom Generator ausgegebene Spannung und der Stromfluss im RCL-Kreis in Abhängigkeit von der Frequenz der Anregung aufgenommen werden.

### **5 Auswertung**

#### **5.1 Zeitabhängigkeit der Amplitude einer gedämpften Schwingung**

Zeichnet man die Einhüllenden in den Druck der gedämpften Schwinung ein (s.unten), so kann man die Parameter der e- Funktion brechenen.



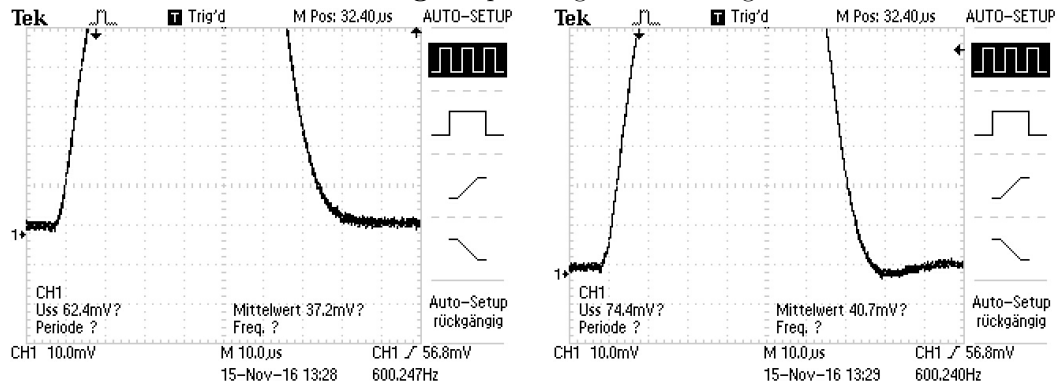


**Abbildung 3:** Einhüllenden der Schwingungskurve

Dann ergibt sich für die obere Einhüllende das Wertepaar:  $A_0 = (0,16 \pm 0,003) \text{ V}$  und für  $\mu = (732,99 \pm 20,8) \frac{1}{\text{s}}$ . Die untere Einhüllende ergibt sich dann das Wertepaar  $A_0 = (-0,17 \pm 0,005) \text{ V}$  und  $\mu = (852,44 \pm 24,39) \frac{1}{\text{s}}$ . Der Mittelwert des oberen und unteren Widerstand ergibt:  $\mu = (793 \pm 16) \frac{1}{\text{s}}$ . Daraus ergibt sich für Abklingdauer:  $T_{ex} = \frac{1}{2\pi\mu} = (0,002 \pm 4 \cdot 10^{-6}) \text{ s}$ . Der effektiv Widerstand liegt bei  $R_{eff} = (100,7 \pm 2,1) \text{ Ohm}$ .

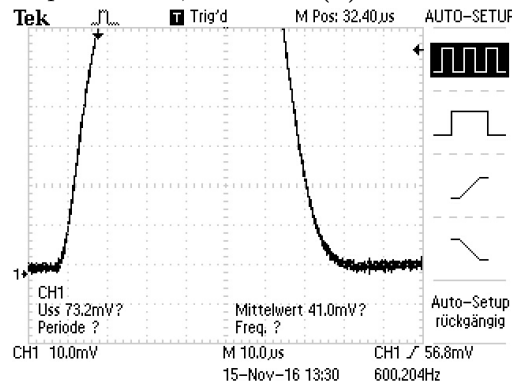
## 5.2 Aperiodischer Grenzfall

Abbildung 4: Spannungen im Schwingkreis



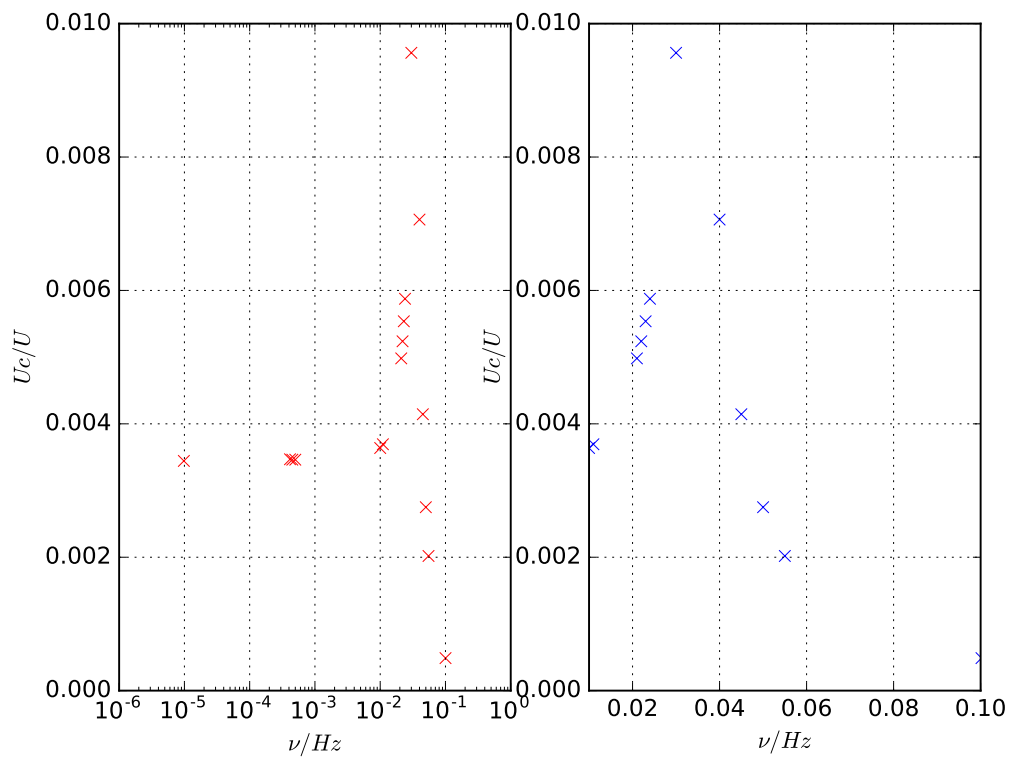
(a) bei einer Erregerfrequenz von 3,5 kHz

(b) bei einer Erregerfrequenz von 3 kHz



(c) bei einer Erregerfrequenz von 3,3 kHz

Das erste Bild (von oben nach unten) zeigt die Spannung im Schwingkreis bei einer Erregerfrequenz von 3,5 kHz. Das zweite Bild zeigt die Spannung bei 3 kHz. Das dritte Bild zeigt die Spannung bei 3,3 kHz. Es ist zusehen dass es einen Überschwing bei 3,5 kHz gibt und bei 3 kHz die Relaxion noch nicht ihr Maximum erreicht hat. Daraus folgt dass der Widerstand  $R_{ap}$  bei ca. 3,3 kHz liegt. Der Literaturwert liegt bei  $4390 \pm 9 \Omega$ .



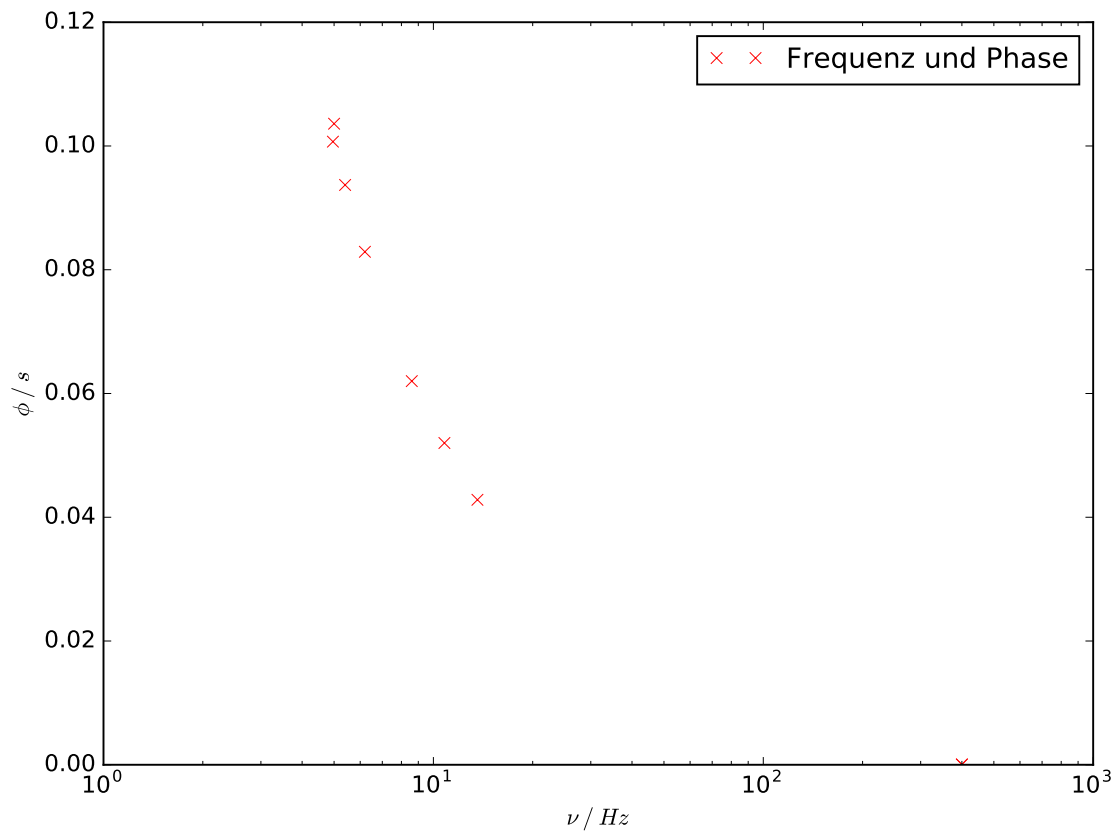
**Abbildung 6:** Kondensatorsspannung

### 5.3 Frequenzabhängigkeit der Kondensatorspannung

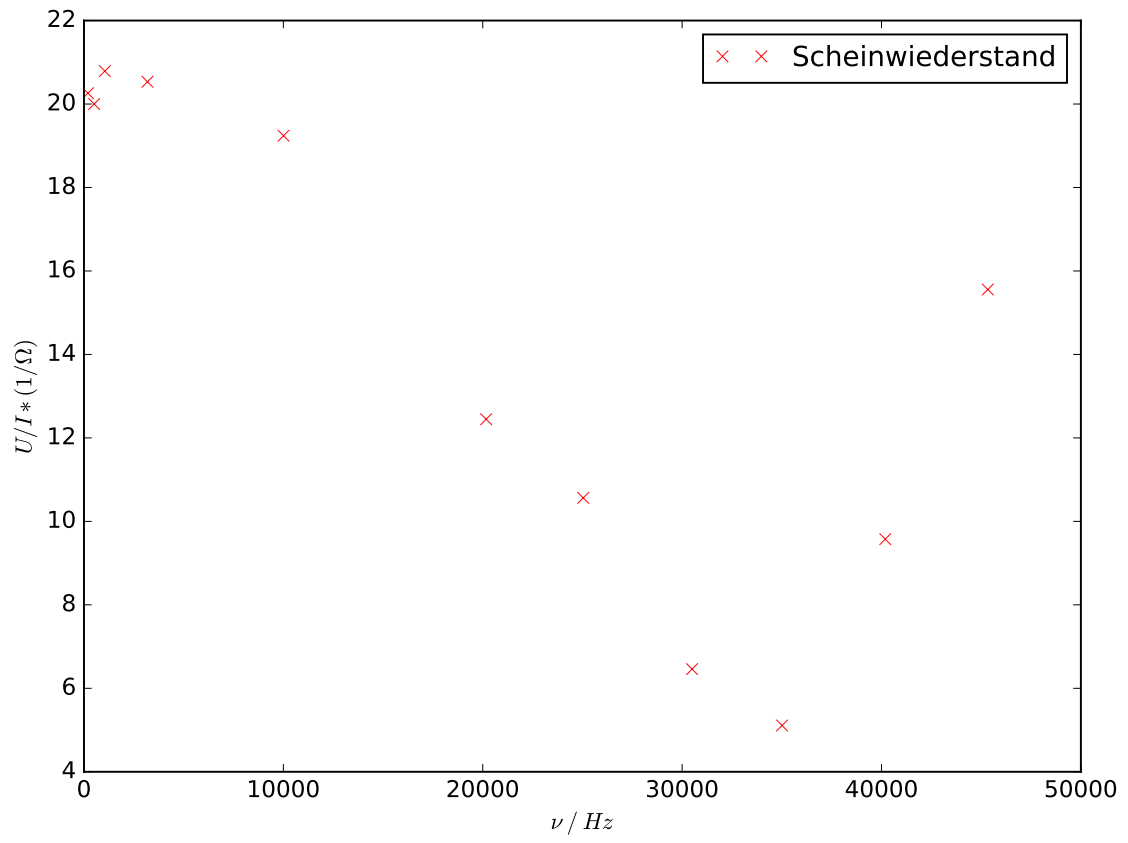
Für die Resonanzüberhöhung  $q$  ergibt sich experimentell:  $q_{ex} = 2,34$  Theoretisch ergibt sich jedoch:  $q_{theo} = 21,8 \pm 0,5$  Für den Frequenzabstand ergibt sich experimentell  $\nu_+ - \nu_- = 0,034$  und theoretisch  $\nu_{theo} = 137 \pm 2,9$

### 5.4 Frequenzabhängigkeit der Phase zwischen Erreger- und Kondensatorspannung

Die Frequenzabhängigkeit der Phase zwischen Erreger- und Kondensatorspannung lässt sich im Plot 7 betrachten. Aufgrund zu weniger Daten können  $\nu_+$  und  $\nu_-$ , sowie  $\nu_{res}$  experimentell nicht eindeutig bestimmt werden. Die Erwartungswerte liegen aber für  $\nu_{res}$  bei  $(6,908 \pm 0,014) \cdot 10^4$  und für  $\nu_+$  sowie  $\nu_-$  bei  $(3,536 \pm 0,007) \cdot 10^4$  und  $(3,377 \pm 0,007) \cdot 10^4$



**Abbildung 7:** Frequenzabhängigkeit der Phase zwischen Erreger- und Kondensatorspannung



**Abbildung 8:** Frequenzabhängigkeit des Scheinwiderstandes eines Serienkreises

## **5.5 Frequenzabhängigkeit des Scheinwiderstandes eines Serienkreises**

Der Plot8 zeigt den Abfall des Scheinwiderstandes bei steigender Frequenz. Jedoch steigt dieser wieder, dies steht im Widerspruch zu unseren Erwartungen.

### **5.6 Werte von 3.1**

Tab.1,2 und 3

### **5.7 Werte von 3.3**

Tab.4

### **5.8 Werte von 3.4**

Tab.5

### **5.9 Werte von 3.5**

Tab.6

**Tabelle 1:** Spannung und Frequenz der Gedämpften Schwingung 1

$U_i/mV$	$t/\mu s$
$1.50 \cdot 10^2$	$1.00 \cdot 10^1$
$1.40 \cdot 10^2$	$4.00 \cdot 10^1$
$1.35 \cdot 10^2$	$7.00 \cdot 10^1$
$1.10 \cdot 10^2$	$1.00 \cdot 10^2$
$1.00 \cdot 10^2$	$1.20 \cdot 10^2$
$8.50 \cdot 10^1$	$1.60 \cdot 10^2$
$7.00 \cdot 10^1$	$1.80 \cdot 10^2$
$6.00 \cdot 10^1$	$2.10 \cdot 10^2$
$5.00 \cdot 10^1$	$2.40 \cdot 10^2$
$4.50 \cdot 10^1$	$2.70 \cdot 10^2$
$4.00 \cdot 10^1$	$3.00 \cdot 10^2$
$4.00 \cdot 10^1$	$3.30 \cdot 10^2$
$3.00 \cdot 10^1$	$3.60 \cdot 10^2$
$2.50 \cdot 10^1$	$3.80 \cdot 10^2$
$2.50 \cdot 10^1$	$4.10 \cdot 10^2$
$2.00 \cdot 10^1$	$4.40 \cdot 10^2$
$1.50 \cdot 10^1$	$5.00 \cdot 10^2$
$1.50 \cdot 10^1$	$5.20 \cdot 10^2$
$1.50 \cdot 10^1$	$5.60 \cdot 10^2$
$1.00 \cdot 10^1$	$6.40 \cdot 10^2$
$1.00 \cdot 10^1$	$6.70 \cdot 10^2$
$1.00 \cdot 10^1$	$7.00 \cdot 10^2$
$1.00 \cdot 10^1$	$7.30 \cdot 10^2$
5.00	$7.60 \cdot 10^2$
5.00	$7.80 \cdot 10^2$
5.00	$8.20 \cdot 10^2$
5.00	$8.50 \cdot 10^2$
$1.50 \cdot 10^1$	$3.00 \cdot 10^1$
$3.00 \cdot 10^1$	$6.00 \cdot 10^1$
$3.50 \cdot 10^1$	$8.00 \cdot 10^1$
$-1.00 \cdot 10^2$	$1.10 \cdot 10^2$
$-7.50 \cdot 10^1$	$1.40 \cdot 10^2$
$-7.00 \cdot 10^1$	$1.60 \cdot 10^2$
$-6.00 \cdot 10^1$	$2.00 \cdot 10^2$
$-5.00 \cdot 10^1$	$2.30 \cdot 10^2$
$-4.50 \cdot 10^1$	$2.60 \cdot 10^2$
$-4.00 \cdot 10^1$	$2.80 \cdot 10^2$
$-3.00 \cdot 10^1$	$3.10 \cdot 10^2$
$-3.00 \cdot 10^1$	$3.60 \cdot 10^2$
$-2.50 \cdot 10^1$	$3.70 \cdot 10^2$

**Tabelle 2:** Spannung und Frequenz der Gedämpften Schwingung 2

$U_i/mV$	$t/\mu s$
$-2.00 \cdot 10^1$	$4.00 \cdot 10^2$
$-1.50 \cdot 10^1$	$4.20 \cdot 10^2$
$-1.50 \cdot 10^1$	$4.60 \cdot 10^2$
$-1.50 \cdot 10^1$	$4.80 \cdot 10^2$
$-1.00 \cdot 10^1$	$5.10 \cdot 10^2$
$-1.00 \cdot 10^1$	$5.40 \cdot 10^2$
$-5.00$	$5.80 \cdot 10^2$
$-5.00$	$6.00 \cdot 10^2$
$-5.00$	$6.20 \cdot 10^2$
$-5.00$	$6.60 \cdot 10^2$
$4.00 \cdot 10^1$	$3.00 \cdot 10^2$
$4.00 \cdot 10^1$	$3.30 \cdot 10^2$
$3.00 \cdot 10^1$	$3.60 \cdot 10^2$
$2.50 \cdot 10^1$	$3.80 \cdot 10^2$
$2.50 \cdot 10^1$	$4.10 \cdot 10^2$
$2.00 \cdot 10^1$	$4.40 \cdot 10^2$
$1.50 \cdot 10^1$	$5.00 \cdot 10^2$
$1.50 \cdot 10^1$	$5.20 \cdot 10^2$
$1.50 \cdot 10^1$	$5.60 \cdot 10^2$
$1.00 \cdot 10^1$	$6.40 \cdot 10^2$
$1.00 \cdot 10^1$	$6.70 \cdot 10^2$
$1.00 \cdot 10^1$	$7.00 \cdot 10^2$
$1.00 \cdot 10^1$	$7.30 \cdot 10^2$
$5.00$	$7.60 \cdot 10^2$
$5.00$	$7.80 \cdot 10^2$
$5.00$	$8.20 \cdot 10^2$
$5.00$	$8.50 \cdot 10^2$
$1.50 \cdot 10^1$	$3.00 \cdot 10^1$
$3.00 \cdot 10^1$	$6.00 \cdot 10^1$
$3.50 \cdot 10^1$	$8.00 \cdot 10^1$
$-1.00 \cdot 10^2$	$1.10 \cdot 10^2$
$-7.50 \cdot 10^1$	$1.40 \cdot 10^2$
$-7.00 \cdot 10^1$	$1.60 \cdot 10^2$
$-6.00 \cdot 10^1$	$2.00 \cdot 10^2$



**Tabelle 3:** Spannung und Frequenz der Gedämpften Schwingung 3

$U_i/mV$	$t/\mu s$
$-5.00 \cdot 10^1$	$2.30 \cdot 10^2$
$-4.50 \cdot 10^1$	$2.60 \cdot 10^2$
$-4.00 \cdot 10^1$	$2.80 \cdot 10^2$
$-3.00 \cdot 10^1$	$3.10 \cdot 10^2$
$-3.00 \cdot 10^1$	$3.60 \cdot 10^2$
$-2.50 \cdot 10^1$	$3.70 \cdot 10^2$
$-2.00 \cdot 10^1$	$4.00 \cdot 10^2$
$-1.50 \cdot 10^1$	$4.20 \cdot 10^2$
$-1.50 \cdot 10^1$	$4.60 \cdot 10^2$
$-1.50 \cdot 10^1$	$4.80 \cdot 10^2$
$-1.00 \cdot 10^1$	$5.10 \cdot 10^2$
$-1.00 \cdot 10^1$	$5.40 \cdot 10^2$
$-5.00$	$5.80 \cdot 10^2$
$-5.00$	$6.00 \cdot 10^2$
$-5.00$	$6.20 \cdot 10^2$
$-5.00$	$6.60 \cdot 10^2$
$-5.00$	$6.80 \cdot 10^2$
$-5.00$	$7.20 \cdot 10^2$
$-5.00$	$7.40 \cdot 10^2$
$0.00$	$7.70 \cdot 10^2$
$0.00$	$8.10 \cdot 10^2$
$0.00$	$8.30 \cdot 10^2$
$-5.00$	$6.80 \cdot 10^2$
$-5.00$	$7.20 \cdot 10^2$
$-5.00$	$7.40 \cdot 10^2$
$0.00$	$7.70 \cdot 10^2$
$0.00$	$8.10 \cdot 10^2$
$0.00$	$8.30 \cdot 10^2$

**Tabelle 4:** Spannung und Frequenzabhängigkeit der Kondensatorspannung

$U_{ss}/mV$	$U_{eff}/mV$	$t/$ $\mu s$
$1.56 \cdot 10^2$	$5.55 \cdot 10^1$	$4.15 \cdot 10^2$
$1.56 \cdot 10^2$	$5.54 \cdot 10^1$	$4.50 \cdot 10^2$
$1.56 \cdot 10^2$	$5.54 \cdot 10^1$	$5.00 \cdot 10^2$
$1.68 \cdot 10^2$	$5.82 \cdot 10^1$	$1.00 \cdot 10^4$
$1.72 \cdot 10^2$	$5.91 \cdot 10^1$	$1.10 \cdot 10^4$
$2.22 \cdot 10^2$	$7.72 \cdot 10^1$	$2.00 \cdot 10^4$
$2.72 \cdot 10^2$	$9.40 \cdot 10^1$	$2.40 \cdot 10^4$
$2.56 \cdot 10^2$	$8.86 \cdot 10^1$	$2.30 \cdot 10^4$
$2.44 \cdot 10^2$	$8.38 \cdot 10^1$	$2.20 \cdot 10^4$
$2.34 \cdot 10^2$	$7.97 \cdot 10^1$	$2.10 \cdot 10^4$
$4.48 \cdot 10^2$	$1.53 \cdot 10^2$	$3.00 \cdot 10^4$
$3.24 \cdot 10^2$	$1.13 \cdot 10^2$	$4.00 \cdot 10^4$
$1.96 \cdot 10^2$	$6.63 \cdot 10^1$	$4.50 \cdot 10^4$
$1.26 \cdot 10^2$	$4.40 \cdot 10^1$	$5.00 \cdot 10^4$
$9.44 \cdot 10^1$	$3.23 \cdot 10^1$	$5.50 \cdot 10^4$
$1.56 \cdot 10^2$	$5.51 \cdot 10^1$	9.81
$2.14 \cdot 10^1$	7.80	$1.00 \cdot 10^5$

**Tabelle 5:** Frequenzabhängigkeit der Phase zwischen Erreger-und Kondensatorspannung

$\nu/Hz$	$\frac{\phi}{\mu s}$
$1.01 \cdot 10^5$	4.96
$2.32 \cdot 10^3$	0.00
$4.28 \cdot 10^4$	$1.36 \cdot 10^1$
$5.20 \cdot 10^4$	$1.08 \cdot 10^1$
$6.20 \cdot 10^4$	8.60
$8.29 \cdot 10^4$	6.20
$9.37 \cdot 10^4$	5.40
$1.04 \cdot 10^5$	5.00
$4.16 \cdot 10^1$	$4.00 \cdot 10^2$
$5.50 \cdot 10^1$	$4.00 \cdot 10^2$
$5.01 \cdot 10^2$	0.00
$1.99 \cdot 10^2$	0.00

**Tabelle 6:** Frequenzabhängigkeit des Scheinwiderstandes

$U_{pp}/V$	$I_{pp}/A$	$\nu/Hz$
$3.12 \cdot 10^1$	1.54	$1.99 \cdot 10^2$
$3.12 \cdot 10^1$	1.56	$5.11 \cdot 10^2$
$3.16 \cdot 10^1$	1.52	$1.05 \cdot 10^3$
$3.08 \cdot 10^1$	1.50	$3.19 \cdot 10^3$
$3.04 \cdot 10^1$	1.58	$1.00 \cdot 10^4$
$3.00 \cdot 10^1$	2.41	$2.02 \cdot 10^4$
$3.00 \cdot 10^1$	2.84	$2.50 \cdot 10^4$
$2.92 \cdot 10^1$	4.52	$3.05 \cdot 10^4$
$2.80 \cdot 10^1$	5.48	$3.50 \cdot 10^4$
$2.92 \cdot 10^1$	3.05	$4.02 \cdot 10^4$
$3.08 \cdot 10^1$	1.98	$4.53 \cdot 10^4$

## 6 Diskussion

### 6.1 Zu 3.1

Es ist ersichtlich, dass wir für den Fit der unteren Einhüllenden, Werte aus gelassen haben, da diese keine Aussage über den Abfall der Schwingung machen, sonder Ergebniss des Anschwingvorganges sind. Diese hätten das Ergebnis sonst verfälscht. Die Werte entsprechen den Erwartungswerten, auch wenn es erst nicht so scheint denn man muss noch den Widerstand des RC-Generators mit ein beziehen der bei ca.  $50 \Omega$  liegt.

### 6.2 Zu 3.2

Die Abweichung der Widerstände lässt sich durch Versuchsaппaratur interne Widerstände und Kopplungen erklären und liegen nach unserem Ermessen noch innerhalb der Toleranz.

### 6.3 Zu 3.3

Dort muss uns ein Fehler mit der Größenordnung der Konstantenspannung  $U$  unterlaufen sein den außer der Dezimalstellen sind die Werte entsprechend.

### 6.4 Zu 3.4

Aufgrund zu weniger Werte lassen sich hier keine weiteren Erkenntnisse rausziehen.

### 6.5 Zu 3.5

Das ansteigen des Scheinwiderstandes muss durch die Versuchsaппaratur hervorgerufen werden, wie und warum dies geschieht ist uns aber unbekannt.

## Literatur

- [1] TU Dortmund. *Versuch Nr. 354 - Gedämpfte und erzwungene Schwingungen*. 2014.