



Institut für Elektrische Meßtechnik und Meßsignalverarbeitung  
Institut für Grundlagen und Theorie der Elektrotechnik  
Institut für Elektrische Antriebstechnik und Maschinen

# Grundlagen der Elektrotechnik, Labor

Sommersemester 2014

## Übung 7: Schaltvorgänge

Übungsdatum: 2.6.2014

Gruppe: 127p

Protokollführer: Flora Feldner

Laborteilnehmer:

1. Stefan Jodl
2. Markus Resch
3. Markus Katzgraber
4. Flora Feldner

Laborleiter: Rene Plasser

Betreuer: Daniel Posch

Graz, am 9. Juni 2014

# 1 Teilübung 1 - Einschaltvorgänge

## Bestimmung der Art des Blindelements

### Bestimmen u. Verändern der Zeitkonstante

#### 1.1 Aufgabenstellung

Ein bekannter Widerstand  $R$  und ein unbekanntes Blindelement  $X$  werden in Serie geschaltet und mit einer Rechteckspannung versorgt. Mithilfe eines Oszilloskops sollen die Art des Blindelements und die Zeitkonstante  $\tau$  der Anordnung bestimmt werden. Anschließend soll berechnet werden, wie der Widerstand  $R$  zu verändern ist, um die Zeitkonstante  $\tau$  zu verdoppeln.

#### 1.2 Schaltung

Abbildung 1 zeigt den Messaufbau. Widerstand  $R$  und Blindelement  $X$  werden von  $u_q$  mit einer Rechteckspannung versorgt. Der Spannungsabfall der Schaltung wird am CH1 des Oszilloskops dargestellt. Der Verlauf des Stromes wird indirekt über den Spannungsabfall am Shuntwiderstand ( $R_{Shunt} = 0,5\Omega$ ) mit dem Oszilloskop dargestellt. Zur Unterstützung wurde noch ein Verstärker ( $K=20$ ) mit dem Verstärkungsfaktor  $k_i = 10V/A$  an den CH2 angeschlossen.

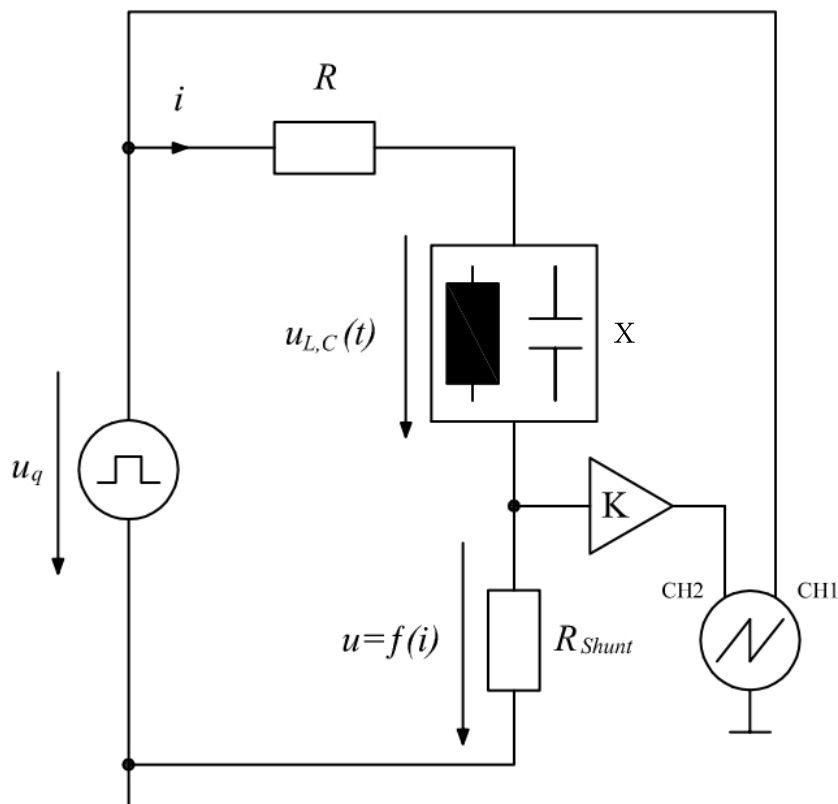


Abbildung 1: schematischer Schaltplan für den Messaufbau zur Bestimmung des Blindelements  $X$ .

### 1.3 Tabellen

Tabelle 1 zeigt die eingestellten Werte für die Spannungsquelle  $U_0$  (Spitze-Spitze-Wert u. Frquenz) und den Widerstand R.

Tabelle 2 zeigt die Messergebnisse für den indirekt gemessenen Strom  $i(t)$  als Spannungsabfall am Shuntwiderstand  $U_{f(i)}$  sowie die daraus berechnete Zeitkonstante und das berechnete Blindelement X (=C).

Am Oszilloskop wurde mithilfe des Cursors der Funktionswert von  $U_{f(i)}$  an seinem Maximum sowie an der Stelle, an der er auf 36,8 Prozent seines Maximums abgefallen ist, abgelesen, und anschließend mit zwei Cursors  $\tau$  als  $\Delta t$  herausgemessen.

Der errechnete Wert für den Widerstand  $R_{neu}$  zur Verdopplung der Zeitkonstante ist anschließend an die Messwerte in Tabelle 3 angegeben.

#### Gewählte Parameter

Eingestellt		
$U_0$	$R$	$f$
$mV_{ss}$	$\Omega$	$Hz$
500	1000	150

Tabelle 1: Eingestellte Werte im Messaufbau.

#### Messergebnisse

**Art des Blindelements: Kapazität C**

**Begründung: Strom  $i$  ist zu Beginn der Periode maximal und fällt danach rasch ab, wie im Oszilloskopbild ersichtlich.**

	Gemessen		Berechnet	
Messung	$U_{max(f(i))}$	$\tau$	$U_{f(i(\tau))}$	C
Nr.	mV	$\mu s$	mV	nF
1	9,60	190	3,53	190

Tabelle 2: Eingestellte, gemessene und berechnete Werte.

Eingestellt		Gemessen		Berechnet	
Messung	$R_{neu}$	$U_{max(f(i))}$	$\tau$	$U_{f(i(\tau))}$	C
Nr.	$\Omega$	mV	$\mu s$	mV	nF
1	2000	5,20	330	1,91	175

Tabelle 3:  $\tau$  mit neu eingestelltem R.

## 1.4 Formeln

$U_{f(i(\tau))}$  kann bei einer Kapazität  $C$  wie folgt berechnet werden:

$$U_{f(i(\tau))} = U_{max(f(i))} \cdot 0,368 \quad (1)$$

Bei einer Kapazität  $C$  kann  $\tau_{RC}$  wie folgt berechnet werden:

$$\tau_{RC} = R \cdot C \quad (2)$$

daraus ergibt sich:

$$C = \frac{\tau_{RC}}{R} \quad (3)$$

Durch Umformung kann  $R_{neu}$  für die Doppelte Zeitkonstante wie folgt berechnet werden:

$$R_{neu} = \frac{2\tau_{RC}}{C} \quad (4)$$

## 1.5 Berechnungsbeispiele

$U_{f(i(\tau))}$  kann bei einer Kapazität  $C$  wie folgt berechnet werden (Messwerte aus Tabelle 2):

$$U_{f(i(\tau))} = U_{max(f(i))} \cdot 0,368 = 9,60mV \cdot 0,368 = 3,53mV \quad (5)$$

Bei einer RC-Schaltung kann die unbekannte Kapazität  $C$  aus  $\tau_{RC}$  wie folgt bestimmt werden (eingestellte Werte aus Tabelle 1, Messwerte aus Tabelle 2):

$$C = \frac{\tau_{RC}}{R} = \frac{190\mu s}{1k\Omega} = 190nF \quad (6)$$

Durch Umformung kann  $R_{neu}$  für die Doppelte Zeitkonstante wie folgt berechnet werden (Messwerte aus Tabelle 2):

$$R_{neu} = \frac{2\tau_{RC}}{C} = \frac{2 \cdot 190\mu s}{190nF} = 2k\Omega, \quad (7)$$

## 1.6 Diagramme u. Oszilloskopabbildungen

Bei dieser Übung waren keine Diagramme anzufertigen. Es folgen Oszilloskopabbildungen.

Abbildung 2 zeigt die Signalverläufe des Rechtecksignals  $U_q$  (Channel 1) und  $U_{f(i)}$  (Channel 2). Da  $U_{f(i)}$  zu Beginn der Periode rasch abfällt, handelt es sich beim Blindelement um eine Kapazität  $C$ .

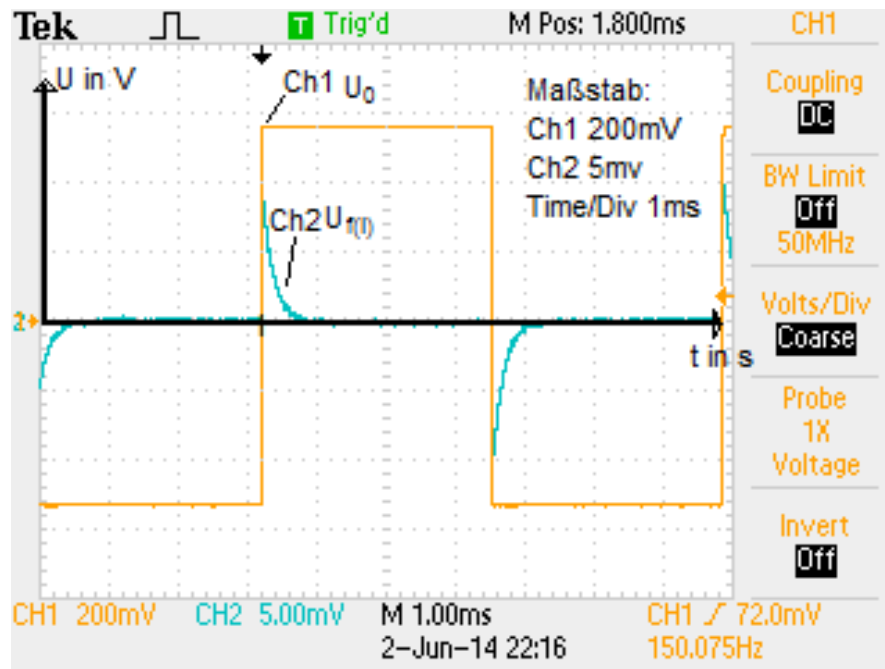


Abbildung 2: Oszilloskop-Screenshot der Sprungantwort einer Kapazität

## 1.7 Geräteverzeichnis

1 Stk. TTI TG320 Funktionsgenerator.

1 Stk. Tektronix TDS 2001C Oszilloskop.

1 Stk. Cosinus 'Mini- $\Omega$ -Dekade' R1-3000 Widerstandsdekade.

1 Stk. IGTE Labormesssystem Serienschwingkreis

## 1.8 Diskussion

Aufgabe bei Teilübung 1 war, die Art des Blindelements zu bestimmen. Wie aus dem Oszilloskopbild ersichtlich, handelte es sich in unserem Fall um eine Kapazität, da die Sprungantwort zeigte, dass der Strom  $i$  nach dem Schaltvorgang rasch abnahm.

Mithilfe der Oszilloskopcursor konnte man  $\tau$  gut herausmessen, jedoch ist das aufgrund des schlecht gewählten Maßstabs am obigen Abbild nicht erkennbar, da leider während der Messung kein weiterer Screenshot gemacht wurde. Die Messung erfolgten jedoch unter wesentlich besserem Maßstab, und sollten daher hinreichend genau erfolgt sein.

Insgesamt entsprachen die Ergebnisse den aufgrund der Schaltung und des Signalverlaufs getroffenen Annahmen, mit Ausnahme von der verdoppelten Zeitkonstante.

Auffällig ist, dass sich  $\tau$  nach Anpassung des Widerstandes  $R$  nicht wie erwartet verdoppelt hat. Daraus folgend würde auch eine erneute Probeberechnung von  $C$  auf ein anderes Ergebnis führen als angenommen (175 nF vs 190 nF).

Das erklärt sich, von den vorhandenen Messfehlern abgesehen, dadurch, dass wir bei der Verdopplung des Widerstandes nur  $R$  betrachtet haben, aber nicht  $R_{ges}$ , und somit Leitungswiderstände und ohmsche Anteile des Kondensators außer acht gelassen haben. Hauptursache der Abweichung dürften jedoch die Messfehler, insbesondere die Cursorpositionierung sein.

## 2 Teilübung 2 - Freie Schwingung

### Messtechnische Erfassung der Bauteilwerte

#### Berechnung der Resonanzfrequenz

#### Ermitteln der Periodendauer $T$ der freien Schwingung

#### Ermitteln von zwei Maximalwerten des Stromes $i(t)$

#### Ermitteln der Dämpfung $\delta$ und des gesamten Dämpfungswiderstandes

$R_{ges}$

### 2.1 Aufgabenstellung

An einem RLC-Netzwerk soll die freie Schwingung gemessen werden. Mit einem Frequenzgenerator wird eine Rechteckspannung erzeugt. Mithilfe einer digitalen Messbrücke und einem Multimeter sollen die Bauteilwerte der Induktivität und der Kapazität erfasst werden. Anschließend sollen Resonanzfrequenz(Berechnung) und Eigenfrequenz(Messung mittels Oszilloskop) ermittelt und verglichen werden. Durch Messen zweier Maximalwerte des Stromes sollen anschließend die Dämpfung und der Gesamtwiderstand  $R_{ges}$  ermittelt werden.

### 2.2 Schaltung

Abbildung 3 zeigt den Messaufbau. Das RLC-Netzwerk von  $u_q$  mit einer Rechteckspannung versorgt. Der Spannungsverlauf der Schaltung wird am CH1 des Oszilloskops dargestellt. Der Verlauf des Stromes wird indirekt über den Spannungsabfall am Shuntwiderstand ( $0,5\Omega$ ) mit dem Oszilloskop dargestellt (U/I-Wandler). Zur Unterstützung wurde noch ein Verstärker ( $K=20$ ) mit dem Verstärkungsfaktor  $k_i = 10V/A$  an den CH2 angeschlossen.

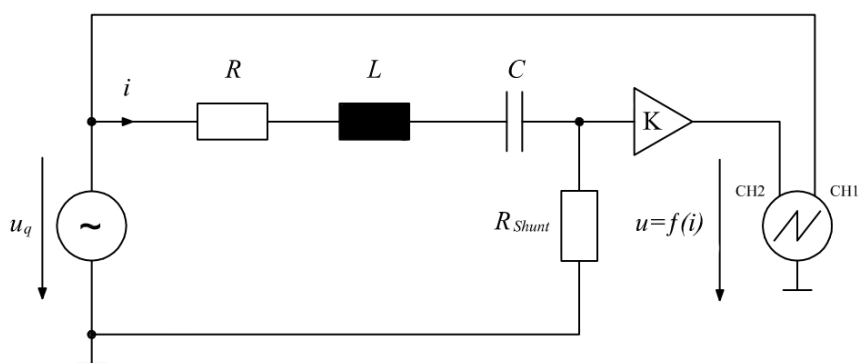


Abbildung 3: schematischer Schaltplan für den Messaufbau des RLC-Netzwerks.

## 2.3 Tabellen

Tabelle 4 zeigt die mit der Messbrücke gemessenen Werte für L und C.

Tabelle 5 zeigt den mittels Multimeter gemessenen Innenwiderstand von L.

Tabelle 6 zeigt den mittels Multimeter gemessenen Widerstand von R.

Tabelle 7 zeigt die berechneten Werte für die Resonanzkreisfrequenz und die Resonanzfrequenz.

Tabelle 8 zeigt die gemessenen Werte für die Eigenkreisfrequenz und die Eigenfrequenz.

Tabelle 9 zeigt die gemessenen Werte für die Maxima von  $U_{f(i)}$  der freien Schwingung sowie die errechnete Dämpfung und den Gesamtwiderstand  $R_{ges}$ .

Eingestellt		Gemessen	
Messung	Frequenz	C	L
Nr.	Hz	nF	mH
1	120	2193	3,896
2	1000	2188	3,889

Tabelle 4: Messergebnis der digitalen Messbrücke für zwei Frequenzen.

Eingestellt	Gemessen
Messung	$R_{L,gemessen}$
Nr.	$\Omega$
1	1,4

Tabelle 5: Messergebnis des Multimeters für den Innenwiderstand der Spule L.

Eingestellt	Gemessen
Messung	$R_{gem}$
Nr.	$\Omega$
1	2,1

Tabelle 6: Messergebnis des Multimeters für den Widerstand R.

Berechnet	
$\omega_0$	$f_0$
$s^{-1}$	Hz
10841	1725

Tabelle 7: errechnete Werte für die Resonanzfrequenz und die Resonanzkreisfrequenz.



Gemessen	Berechnet	
$T$	$\omega_E$	$f_E$
$\mu s$	$s^{-1}$	Hz
580	10833	1724

Tabelle 8: errechnete Werte für die Eigenfrequenz aus der gemessenen Periodendauer  $T$  im Messaufbau.

	Gemessen			Berechnet			
Messung	$T$	$u(t_1)$	$u(t_2)$	$i(t_1)$	$i(t_2)$	$\delta$	$R$
Nr.	$\mu s$	mV	mV	mA	mA	$s^{-1}$	$\Omega$
1	580	240	160	24	16	699	5,4

Tabelle 9: gemessene und berechnete Werte des Signalverlaufs im Messaufbau.

## 2.4 Formeln

$i(t)$  lässt sich mithilfe der Werte des U/I-Wandlers wie folgt berechnen:

$$i(t) = \frac{U_{f(i)}}{R_{Shunt} \cdot K} \quad (8)$$

Die Resonanzkreisfrequenz errechnet sich wie folgt:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{L \cdot C}} \quad (9)$$

Die Resonanzfrequenz errechnet sich wie folgt:

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2 \cdot \pi} \quad (10)$$

Die Eigenkreisfrequenz errechnet sich wie folgt:

$$\omega_E = \frac{2 \cdot \pi}{T} \quad bzw. \quad \omega_E = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2} \quad (11)$$

Die Eigenfrequenz errechnet sich wie folgt:

$$f_E = \frac{1}{T} \quad (12)$$

Die Dämpfung  $\delta$  errechnet sich näherungsweise mittels 2 Maxima der freien Schwingung wie folgt:

$$\delta = -\frac{1}{n \cdot T} \ln \frac{i(t_2)}{i(t_1)} \quad (13)$$

Der Widerstand  $R_{ges}$  errechnet sich wie folgt:

$$R_{ges} = 2 \cdot \delta \cdot L \quad (14)$$

## 2.5 Berechnungsbeispiele

$i(t)$  lässt sich mithilfe der Werte des U/I-Wandlers wie folgt berechnen (Werte aus Tabelle 9):

$$i(t) = \frac{U_{f(i)}}{R_{Shunt} \cdot K} = \frac{240mV}{0,5\Omega \cdot 20} = 24mA \quad (15)$$

Die Resonanzkreisfrequenz errechnet sich wie folgt (Werte aus Tabelle 4):

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{L \cdot C}} = \sqrt{\frac{1}{3,889mH \cdot 2188nF}} = 10841s^{-1} \quad (16)$$

Die Resonanzfrequenz errechnet sich wie folgt (Werte aus Gleichung 16):

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2 \cdot \pi} = \frac{10841s^{-1}}{2 \cdot \pi} = 1725Hz \quad (17)$$

Die Eigenkreisfrequenz errechnet sich wie folgt (Werte aus Tabelle 9):

$$\omega_E = \frac{2 \cdot \pi}{T} = \frac{2 \cdot \pi}{580ms} = 10833s^{-1} \quad (18)$$

Die Eigenfrequenz errechnet sich wie folgt:

$$f_E = \frac{1}{T} = \frac{1}{580ms} = 1724Hz \quad (19)$$

Die Dämpfung  $\delta$  errechnet sich näherungsweise mittels 2 Maxima der freien Schwingung wie folgt (Werte aus Tabelle 9):

$$\delta = -\frac{1}{n \cdot T} \ln \frac{i(t_2)}{i(t_1)} = -\frac{1}{580\mu s} \ln \frac{16mA}{24mA} = 699s^{-1} \quad (20)$$

Der Widerstand  $R_{ges}$  errechnet sich wie folgt (Werte aus Tabelle 4 und Gleichung 20):

$$R_{ges} = 2 \cdot \delta \cdot L = 2 \cdot 699s^{-1} \cdot 3,889mH = 5,4\Omega \quad (21)$$

## 2.6 Diagramme u. Oszilloskopabbildungen

Bei dieser Übung waren keine Diagramme anzufertigen. Es folgen Oszilloskopabbildungen.

Abbildung 4 zeigt die Signalverläufe des Rechtecksignals  $U_q$  (Channel 1) und  $U_{f(i)}$  (Channel 2). Man kann die freie Schwingung erkennen. Eingezeichnet sind Maßstab, Achsen, Channels. In Abbildung 5 sind zusätzlich die lokalen Maxima von  $U(i(t))$  und  $T$  eingezeichnet.

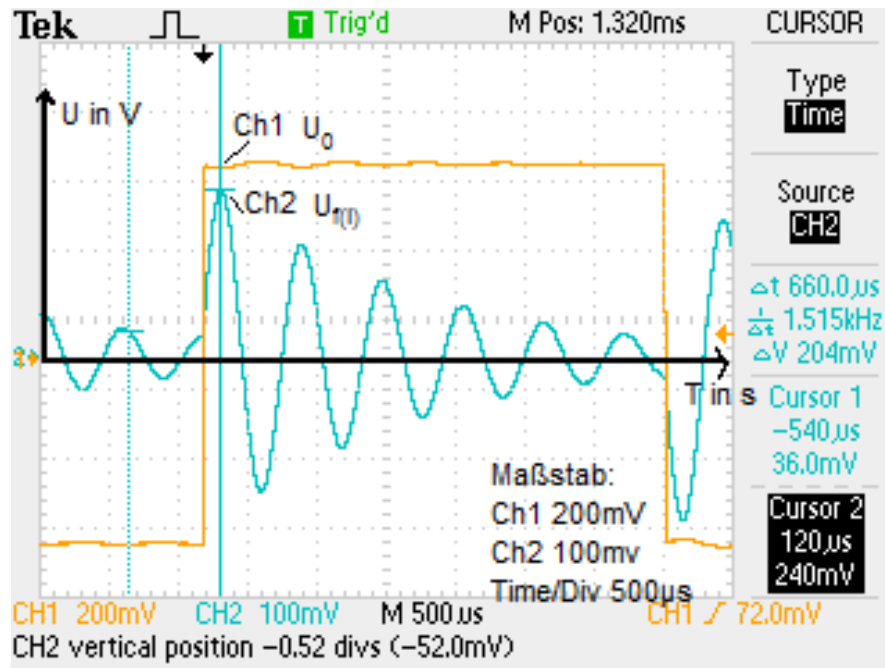


Abbildung 4: Oszilloskop-Screenshot der freien Schwingung des RLC-Netzwerks

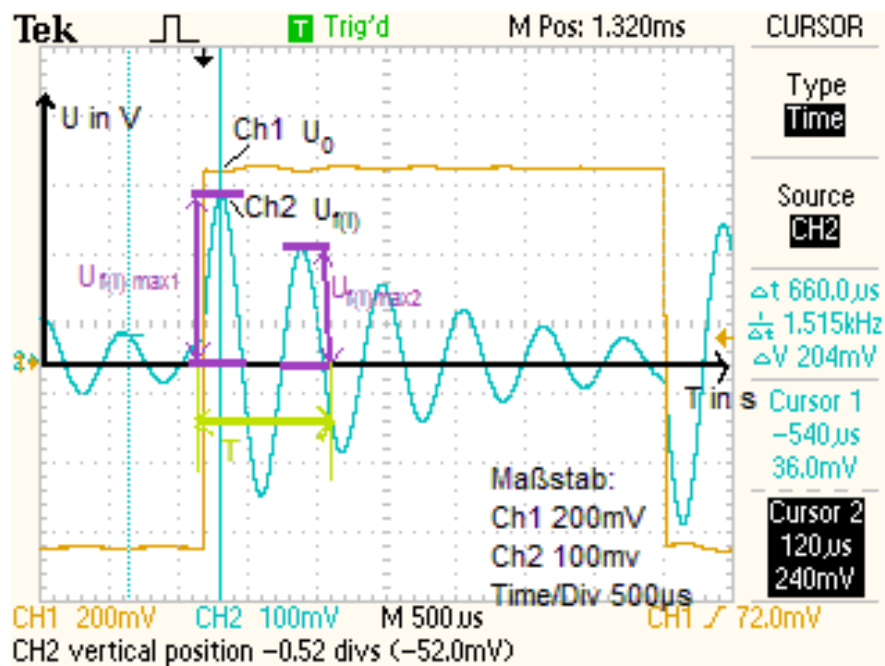


Abbildung 5: Oszilloskop-Screenshot der freien Schwingung des RLC-Netzwerks mit Maxima

## 2.7 Geräteverzeichnis

- 1 Stk. TTI TG320 Funktionsgenerator.
- 1 Stk. Tektronix TDS 2001C Oszilloskop.
- 1 Stk. Fluke 183 TRMS Multimeter.
- 1 Stk. Escort ELC-131D Messbrücke.
- 1 Stk. IGTE Labormesssystem Serienschwingkreis

## 2.8 Diskussion

*Welche Signalform soll verwendet werden, um eine freie Schwingung zu erreichen?*

Es soll eine Rechteckschwingung verwendet werden, da sich die Amplitude während der Periode nicht ändert.

*Wieso kann der Strom der durch den Schwingkreis fließt nicht direkt gemessen werden? Wozu ist der I/U-Wandler notwendig?*

Weil man mit dem Oszilloskop nur Spannungen messen kann. Mithilfe des I/U-Wandlers kann man den Spannungsabfall an einem Widerstand und das Ohmsche Gesetz dazu nutzen, um den Strom indirekt messen zu können.

*Warum werden die Bauteilwerte bei zwei verschiedenen Frequenzen gemessen und was bedeutet dies für die weiteren Messungen? Mit welchen Werten wird in weiterer Folge gerechnet werden?*

Die betroffenen Bauteile sind nicht ideal und haben frequenzabhängig unterschiedliche Bauteilwerte. In weiterer Folge sollte man jene Werte wählen, die möglichst nahe an der Resonanzfrequenz des RLC-Netzwerks liegen, in unserem Fall 1 kHz.

*Stimmt die Eigenfrequenz  $f_E$  mit der berechneten Resonanzfrequenz  $f_0$  überein?*

Sie stimmt fast überein, ist aber etwas geringer, da in  $f_E$  die Dämpfung berücksichtigt ist, in  $f_0$  hingegen nicht.  $f_0$  geht von einem idealen RLC-Netzwerk aus.

*Wie beeinflusst der Widerstand bzw. die Dämpfung den Verlauf der freien Schwingung nach einer Erregung?*

Je höher die Dämpfung, desto schneller hört das Netzwerk auf zu schwingen bzw hat sich eingependelt - wenn die Dämpfung klein ist, wird man längere Zeit eine merklich hohe Amplitude der Schwingung messen können.

Ziel der Übung war, einen Serienschwingkreis aufzubauen und in allen Parametern zu vermessen.

Die Erwartungen wurden hinreichend erfüllt, d.h. die Eigenfrequenz ist wirklich kleiner als die Resonanzfrequenz. Auffällig ist jedoch, dass der Unterschied nur 1 Hz beträgt, was auffallend gering ist.

Graz, am 9. Juni 2014