



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN  
Vienna University of Technology

# Elektrotechnische Grundlagen der Informatik (LU 182.692)

## Protokoll der 2. Laborübung: "Filter" "Transiente Vorgänge und Frequenzverhalten" a) LTSPICE-Simulationen

Gruppennr.: 22      Datum der Laborübung: 16.05.2017

Matr. Nr.	Kennzahl	Name
1614835	033 535	Jan Nausner
1633068	033 535	David Pernerstorfer

<b>Kontrolle</b>	✓
Verhalten eines Filters 1. Ordnung	
Verhalten eines RL-Filters	
Dynamisches System 2. Ordnung	

# Contents

1	RC-Tiefpassfilter 1. Ordnung	3
2	RL-Hochpassfilter 1. Ordnung	6
3	Simulation eines dynamischen Systems 2. Ordnung	9

# 1 RC-Tiefpassfilter 1. Ordnung

## 1.1 Aufgabenstellung

Die Sprungantwort und der Amplituden- bzw. Phasengang eines RC-Tiefpassfilters 1. Ordnung soll mittels LTSpice simuliert werden.

## 1.2 Schaltplan

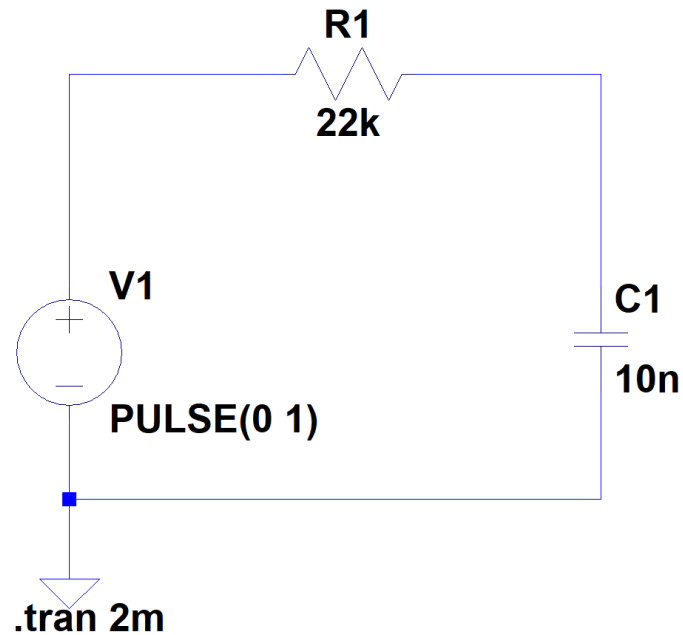


Figure 1: RC-Tiefpassfilter 1. Ordnung

## 1.3 Durchführung

Zuerst wird die RC-Schaltung mit  $R1 = 22k\Omega$  und  $C1 = 10nF$  zusammengefügt. Dazu wird mit der PULSE-Option der Sprung von  $0V$  auf  $1V$  angelegt. Die Sprungantwort des Systems wird dann im Bereich von  $0s$  bis  $2ms$  geplottet. Nun soll der Amplituden- und Phasengang simuliert werden. Dazu wird eine sinusförmige Spannung mit  $1V_{pp}$  ( $0,5V$  Amplitude) angelegt. Es wird eine dekadische Simulation im Bereich von  $1Hz$  bis  $1MHz$  durchgeführt und das daraus resultierende Bode-Diagramm aufgezeichnet.

## 1.4 Ergebnis

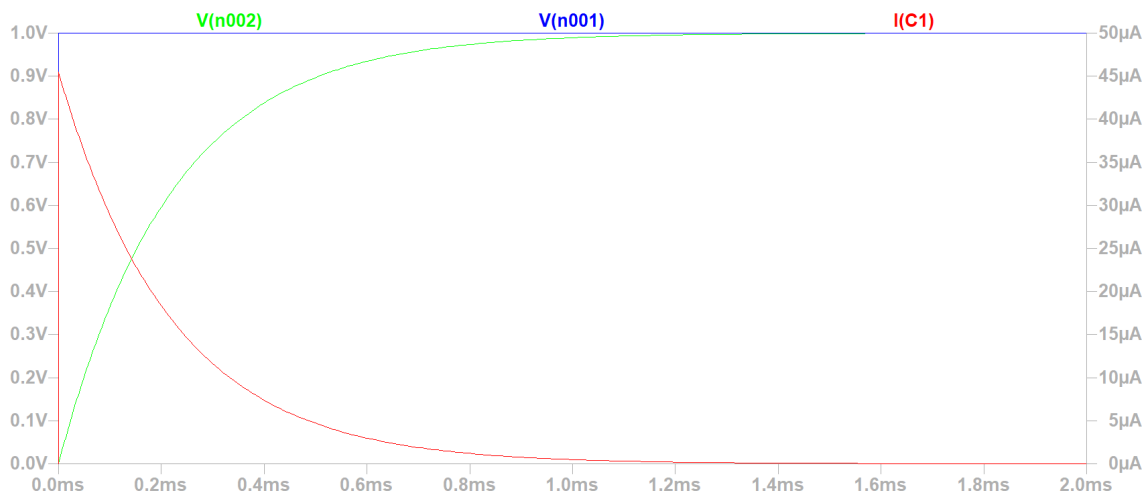


Figure 2: Sprungantwort RC-Tiefpassfilter 1. Ordnung

Anhand dieses Diagramms erkennt man sehr gut, wie der Strom  $I(C1)$  am Kondensator zuerst maximal ist und bei steigender Spannung  $V(n002)$  am Kondensator immer stärker abfällt. Der Strom erreicht seinen Tiefpunkt, sobald die Spannung am Kondensator maximal ist.

Die Zeitkonstante

$$\tau = R1 * C1 = 22k\Omega * 10nF = 220\mu s$$

besagt, dass nach  $222\mu s$  63% der Maximalspannung von  $C1$  erreicht wird. Dies lässt sich gut am Diagramm ablesen, wo die Spannung  $V(n002)$  bei  $0,22ms$  ca.  $0,63V$  beträgt. Nach  $5 * \tau = 1,1ms$  wird 99% der Maximalspannung erreicht, der Kondensator ist de facto vollständig geladen, die Spannung ist maximal.

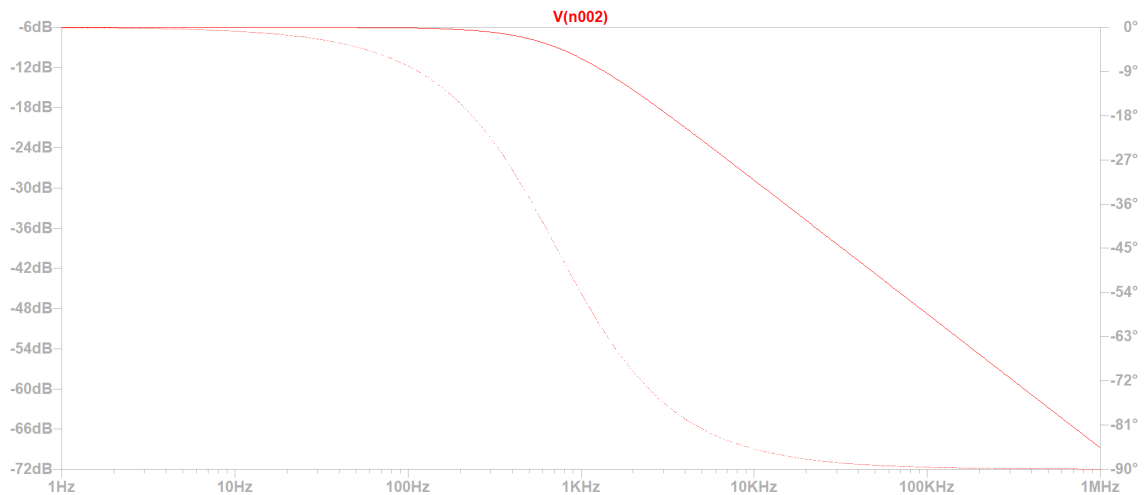


Figure 3: Bode-Diagramm RC-Tiefpassfilter 1. Ordnung

Ein Bode-Diagramm dient der Darstellung der Filtereigenschaften. Auf der X-Achse wird hierfür die Frequenz in dekadischen Abständen aufgetragen und auf der Y-Achse das Übertragungsverhalte  $20 \log(\frac{U_a}{U_e})$  bzw. der Phasengang.

Das Übertragungsverhalten, welches als Quotient von Ausgangs- und Eingangsspannung definiert ist, ergibt sich aus folgender Formel:

$$\frac{U_a}{U_e} = \frac{Z_{C1}}{Z_{R1} + Z_{C1}} = \frac{\frac{1}{j\omega C1}}{R1 + \frac{1}{j\omega C1}} = \frac{1}{1 + j\omega R1 C1}$$

Wenn die Frequenz bei 0 liegt, dann sind Aus- und Eingangsspannung gleich groß. Geht die Frequenz gegen  $\infty$  lässt der Filter kein Signal mehr durch.

Die Grenzfrequenz des Filters wird bei

$$f_c = \frac{1}{2\pi R1 C1} \approx 723 \text{ Hz}$$

erreicht.

Hier beträgt die Dämpfung ca.  $-3 \text{ dB}$  und der Phasengang  $-45^\circ$  und die Spannung über  $R1$  und  $C1$  ist gleich. Man kann anhand des Diagramms auch gut erkennen, dass die Filtersteilheit bei einem RC-Tiefpass 1.Ordnung  $-20 \text{ dB/Dekade}$  beträgt.

## 2 RL-Hochpassfilter 1. Ordnung

### 2.1 Aufgabenstellung

Die Sprungantwort und der Amplituden- bzw. Phasengang eines RL-Hochpassfilters 1. Ordnung soll mittels LTSpice simuliert werden.

### 2.2 Schaltplan

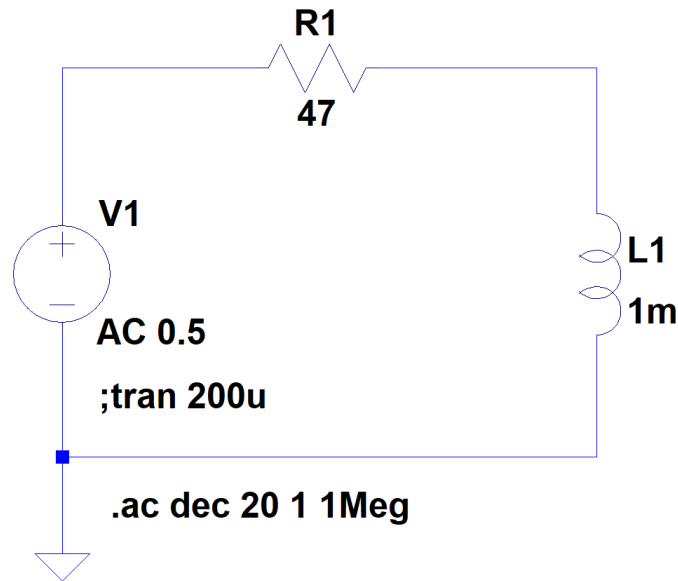


Figure 4: RL-Hochpassfilter 1. Ordnung

### 2.3 Durchführung

Zuerst wird die RL-Schaltung mit  $R1 = 47\Omega$ ,  $L1 = 1mH$  und  $R_L = 0\Omega$  zusammengefügt. Dazu wird mit der PULSE-Option der Sprung von  $0V$  auf  $1V$  angelegt. Die Sprungantwort des Systems wird dann im Bereich von  $0s$  bis  $200\mu s$  geplottet. Nun soll der Amplituden- und Phasengang simuliert werden. Dazu wird eine sinusförmige Spannung mit  $1V_{pp}$  ( $0,5V$  Amplitude) angelegt. Es wird eine dekadische Transientensimulation im Bereich von  $1Hz$  bis  $1MHz$  durchgeführt und das daraus resultierende Bode-Diagramm aufgezeichnet. Danach wird der Widerstand  $R_L$  auf  $1,2\Omega$  geändert, die Simulation des Amplituden- und Phasenganges wiederholt und das neue Bode-Diagramm aufgezeichnet.

## 2.4 Ergebnis

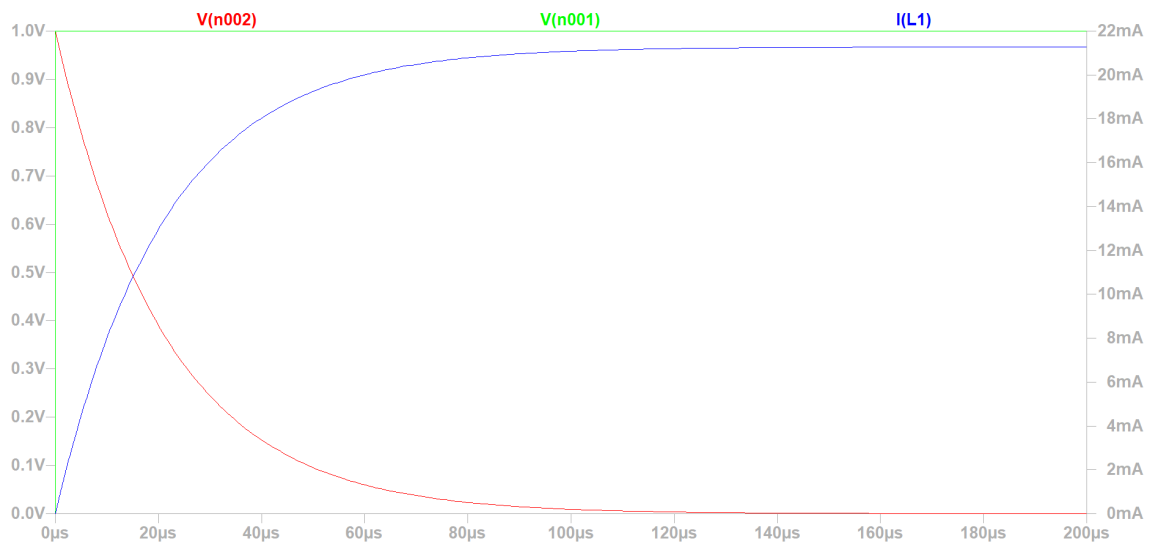


Figure 5: Sprungantwort RL-Hochpassfilter 1. Ordnung

Anhand dieses Diagramms erkennt man sehr gut, wie der Strom  $I(L1)$  an der Spule zuerst minimal ist und bei fallender Spannung  $V(n002)$  an der Spule immer stärker ansteigt. Der Strom erreicht sein Maximum, sobald die Spannung an der Spule minimal ist.

Die Zeitkonstante

$$\tau = \frac{L1}{R1} = \frac{1mH}{47} \approx 21,3\mu s$$

besagt, dass  $L1$  nach  $21,3\mu s$  zu 63% aufmagnetisiert ist. Nach  $5 * \tau \approx 106,4\mu s$  ist  $L1$  zu 99% aufmagnetisiert, der Strom ist maximal.

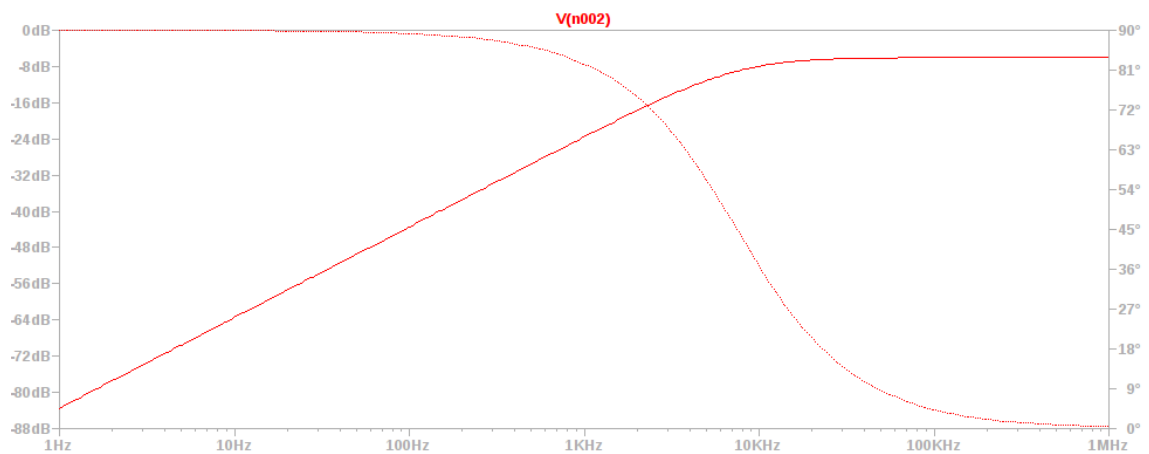


Figure 6: Bode-Diagramm RL-Hochpassfilter 1. Ordnung

Das Übertragungsverhalten, welches als Quotient von Ausgangs- und Eingangsspannung definiert ist, ergibt sich aus folgender Formel:

$$\frac{U_a}{U_e} = \frac{Z_{L1}}{Z_{R1} + Z_{L1}} = \frac{j\omega L1}{R1 + j\omega L1}$$

Wenn die Frequenz bei 0 liegt, dann lässt der Filter kein Signal durch. Geht die Frequenz gegen  $\infty$ , dann sind Aus- und Eingangsspannung gleich groß. Die Grenzfrequenz des Filters wird bei

$$f_c = \frac{R1}{2\pi * L1} \approx 7,5 kHz$$

erreicht.

Hier beträgt die Dämpfung ca.  $3dB$  und der Phasengang  $45^\circ$  und die Spannung über  $R1$  und  $L1$  ist gleich. Man kann anhand des Diagramms auch gut erkennen, dass die Filtersteilheit bei einem RL-Tiefpass 1.Ordnung  $20dB/Dekade$  beträgt.

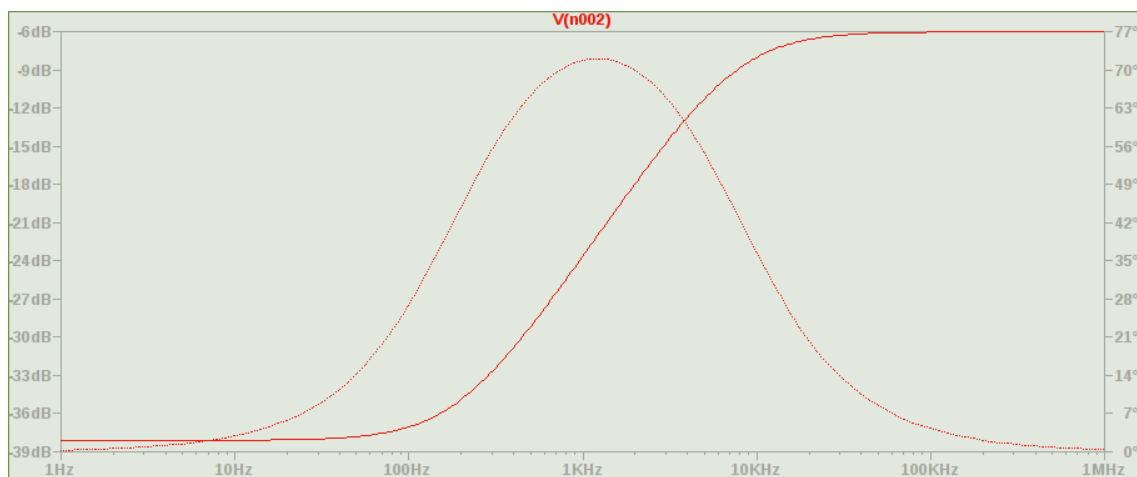


Figure 7: Bode-Diagramm RL-Hochpassfilter 1. Ordnung mit Serienwiderstand  $1,2\Omega$

Durch den parasitären Serienwiderstand wird die Schaltung verändert und somit auch die Filtereigenschaften. Verglichen mit dem Bode-Diagramm für das System ohne parasitären Serienwiderstand zeigt sich, dass hier eine starke Veränderung des gewünschten Hochpassverhaltens eintritt und dieses kaum mehr vorhanden ist.



### 3 Simulation eines dynamischen Systems 2. Ordnung

#### 3.1 Aufgabenstellung

Der Amplituden- und Phasengang eines dynamischen Systems 2. Ordnung soll mittels LT-Spice simuliert werden.

#### 3.2 Schaltplan

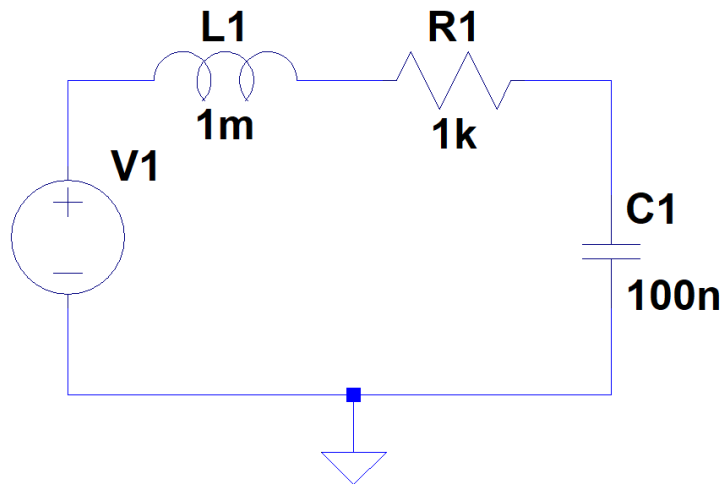


Figure 8: RLC-System

#### 3.3 Durchführung

Zuerst wird die Schaltung mit  $R = 22\Omega$ ,  $L = 1mH$  ( $R_s = 0\Omega$ ) und  $C = 100nF$  zusammengefügt. Der Frequenzbereich von  $1Hz$  bis  $1MHz$  wird simuliert. Die entsprechende Einstellung findet man unter *Simulate - Edit Simulation Command* - Reiter *AC Analysis*. Folgende Einstellungen werden vorgenommen.

- Type of Sweep: *Decade*
- Number of Points per Decade: 100
- Start frequency: 1
- Stop frequency: 1MEG

Nun wird die Simulation gestartet und Phasengang und Amplitudengang werden geplottet. Die gleiche Simulation wird mit geänderten Widerstandswerten durchgeführt ( $180\Omega$ ,  $1k\Omega$ ).

### 3.4 Ergebnis



Figure 9: Bode-Diagramm RLC-System mit 22Ω Widerstand



Figure 10: Bode-Diagramm RLC-System mit 180Ω Widerstand

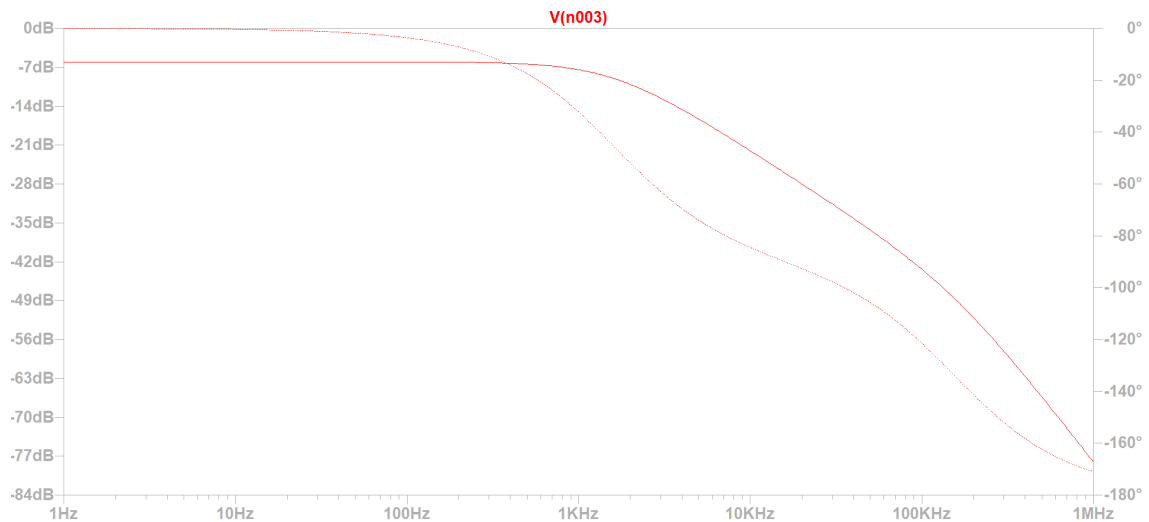


Figure 11: Bode-Diagramm RLC-System mit  $1k\Omega$  Widerstand

In der Schaltung aus Abbildung 8 werden RL und RC Tiefpassfilter kombiniert und man erhält einen Tiefpass 2. Ordnung. Dadurch fällt die Spannung oberhalb der Grenzfrequenz schneller ab, im Vergleich zu einem Tiefpass 1. Ordnung. Bei der Schaltung mit einem Widerstand von  $22\Omega$  ist eine Spannungüberhöhung zu erkennen. Dieser Effekt entsteht im Resonanzfall von Eingangsspannung und Eigenfrequenz des RLC-Systems. Die Grenzfrequenz des Kondensators wird bei großen Widerstand ( $1k\Omega$ ) früher erreicht ( $f_c = \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot C}$ ). Die Grenzfrequenz der Spule hingegen wird bei großen Widerstand erst später erreicht ( $f_l = \frac{R}{2\pi \cdot L}$ ). Das bewirkt, dass bei großem Widerstand die Dämpfung schon bei geringerer Frequenz einsetzt, jedoch ist die Dämpfung bis zur Grenzfrequenz der Spule geringer. Der dritte Fall ( $180\Omega$ ) zeigt den aperiodischen Grenzfall, also die kleinste Dämpfung wo gerade keine Überschwingung entsteht.

