



Elektrotechnische Grundlagen der Informatik (LU 182.692)

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

Gruppennr.: ... Datum der Laborübung:

Matr. Nr.	Kennzahl	Name

Kontrolle	✓
Verhalten eines Filters 1. Ordnung	
Verhalten eines RL-Filters	
Dynamisches System 2. Ordnung	

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

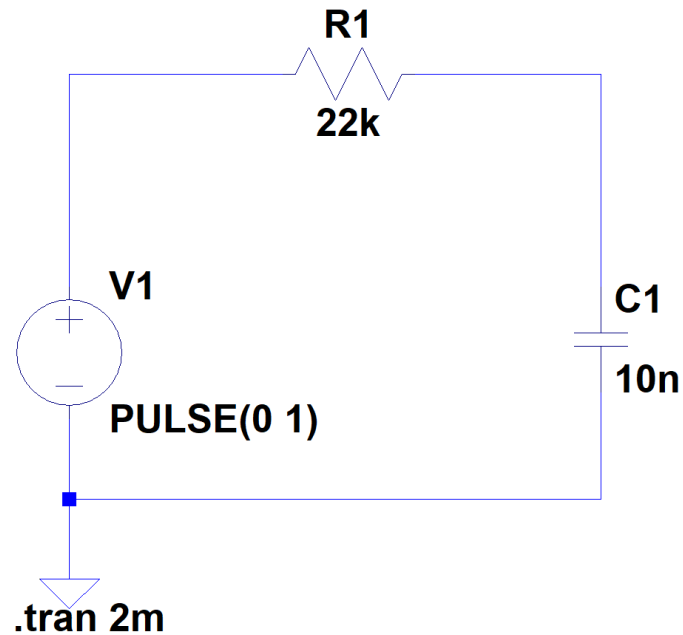


Figure 1: RC-Tiefpassfilter 1. Ordnung

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

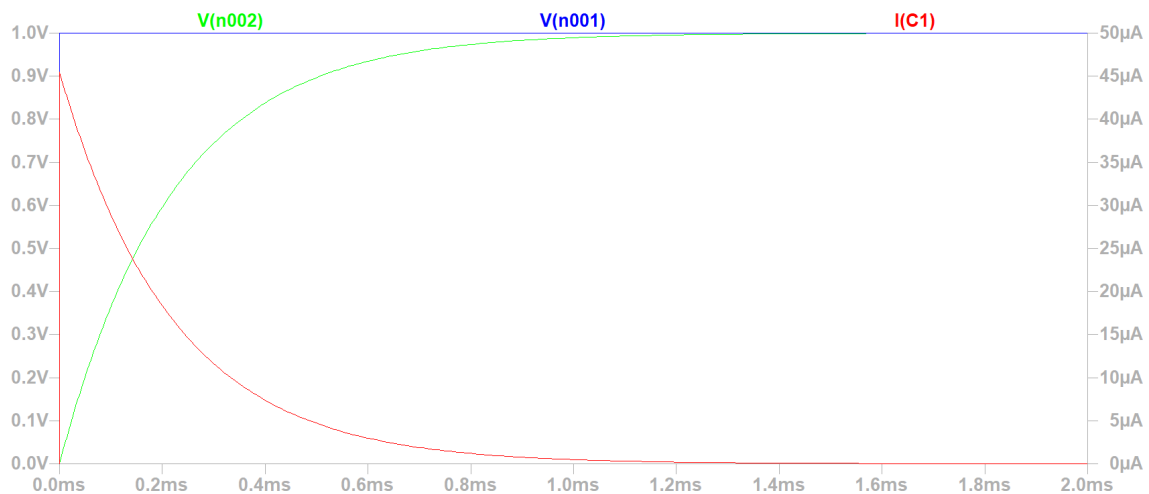


Figure 2: Sprungantwort RC-Tiefpassfilter 1. Ordnung

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.

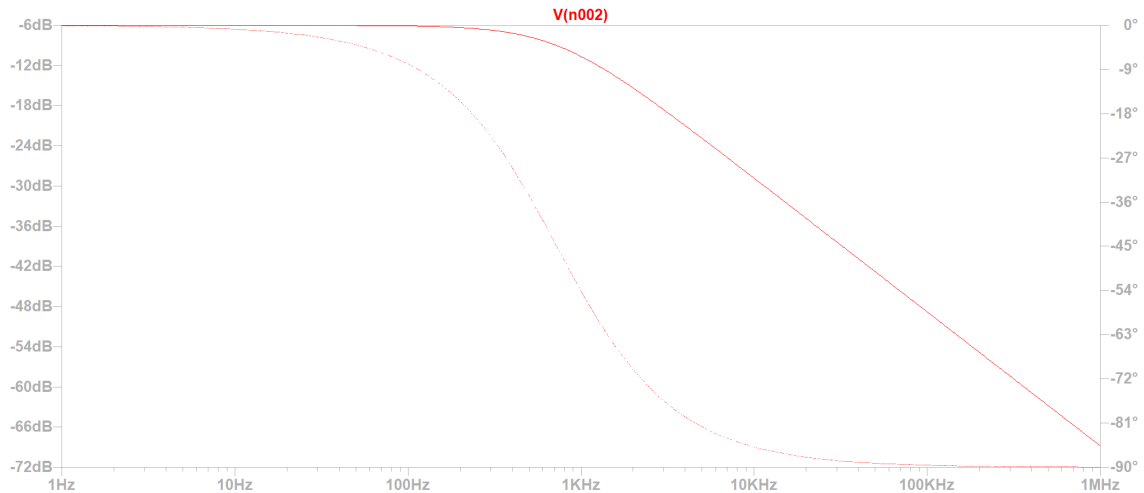


Figure 3: Bode-Diagramm RC-Tiefpassfilter 1. Ordnung

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 ∞ 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 dB und der Phasengang -45° 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 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

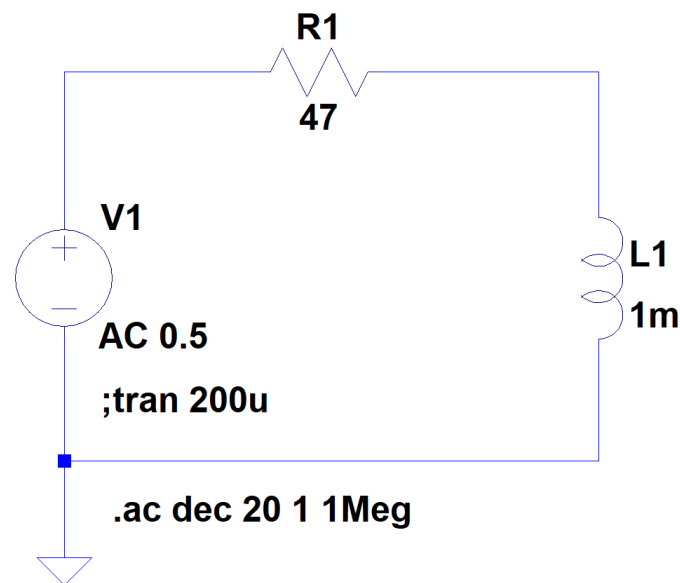


Figure 4: RL-Hochpassfilter 1. Ordnung

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

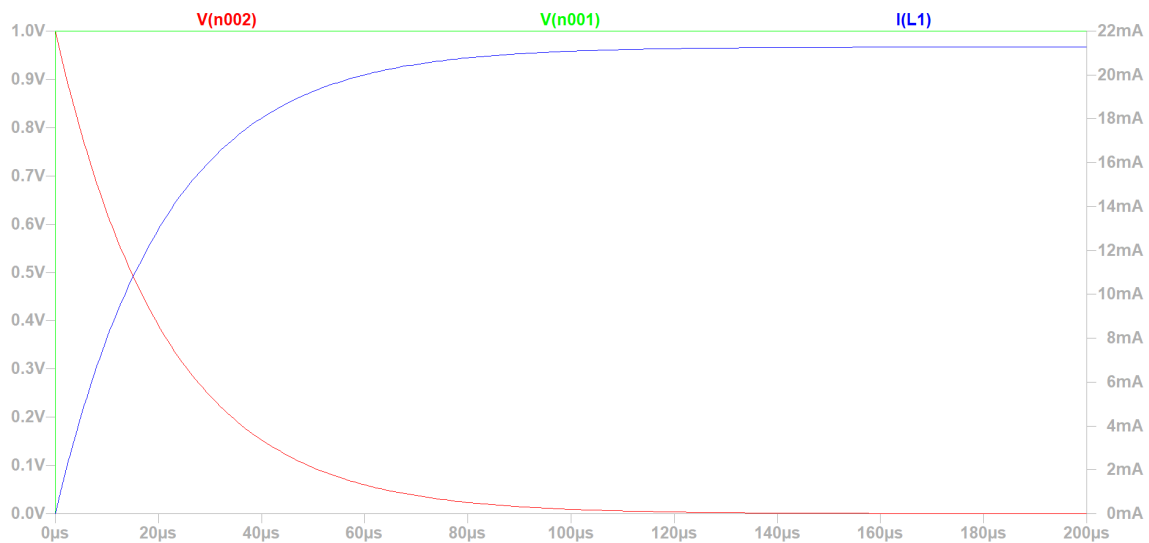


Figure 5: Sprungantwort RL-Hochpassfilter 1. Ordnung

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.

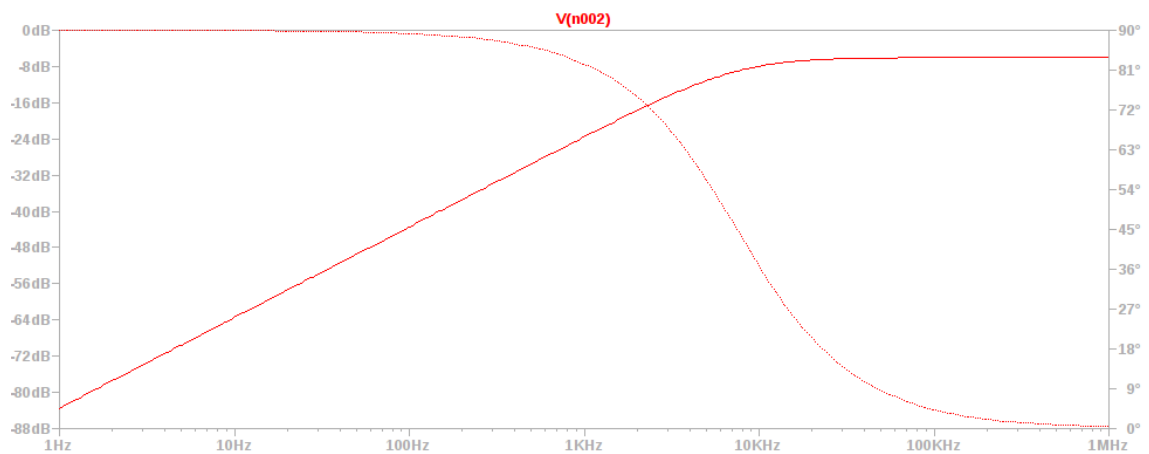


Figure 6: Bode-Diagramm RL-Hochpassfilter 1. Ordnung

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 ∞ , 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° 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.

