

Karlsruher Institut für Technologie Institut für Biomedizinische Messtechnik	
Prof. Dr. rer. nat. O. Dössel Kaiserstr. 12 / Geb. 30.33 Tel.: 0721 / 608-42650	Dipl. Ing. W. Schulze Kaiserstr. 12 / Geb. 30.33 Tel.: 0721 / 608-42751

Lineare Elektrische Netze

Spice-Aufgabe WS 12/13

Vorname:	Alexey
Nachname:	Maximov
Matrikelnummer:	1676457
e-Mail-Adresse:	uajzq@student.kit.edu
Punkte:	

Die maximale Punktzahl dieser Aufgabe entspricht 3% der Gesamtpunktzahl der Endnote im Fach Lineare Elektrische Netze

Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabe 1	4
1.1	Übertragungsfunktion der Schaltkomponenten	4
1.1.1	Schaltung A	4
1.1.2	Schaltung B	4
1.2	Eigenschaften der Schaltungskomponenten	5
1.3	Übertragungsfunktion der Gesamtschaltung	5
1.4	Lastenheft des KITtwo31459f	6
2	Aufgabe 2	6
2.1	Darstellung der Schaltung in LTspiceIV	6
2.2	Plot des Amplituden- und Phasengangs für das Datenblatt	6
2.3	Signalverzögerung bei 100 Hz	6
2.4	Ortskurven der Übertragungsfunktion	8
2.5	Sparmaßnahmen	9

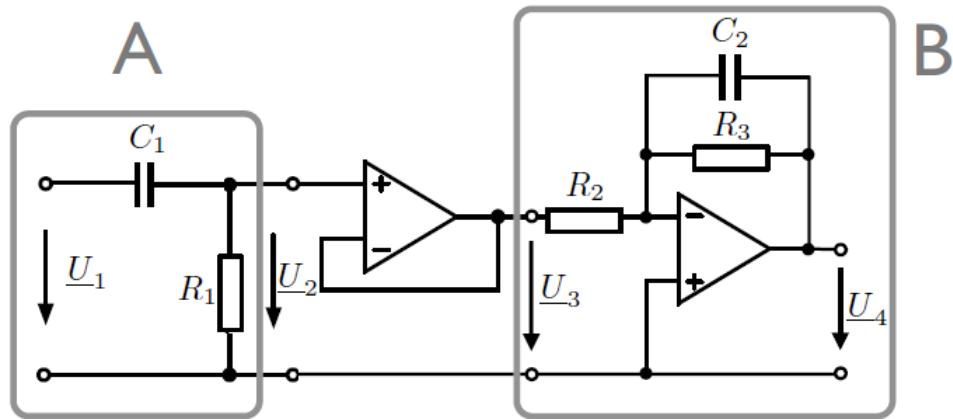


Abbildung 1: das Bauteil KITtwo314159f

1 Aufgabe 1

1.1 Übertragungsfunktion der Schaltkomponenten

1.1.1 Schaltung A

Wir leiten die Übertragungsfunktion der Schaltungskomponenten A her, indem wir die Spannungsteiler-Regel anwenden.

$$\frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1} = \frac{\underline{Z}_{R1}}{\underline{Z}_{R1} + \underline{Z}_{C1}} = \frac{R_1}{R_1 + \frac{1}{j\omega C_1}} = \frac{j\omega R_1 C_1}{1 + j\omega R_1 C_1}$$

Also:

$$\frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1} = \frac{R_1}{R_1 + \frac{1}{j\omega C_1}} = \frac{j\omega R_1 C_1}{1 + j\omega R_1 C_1} \quad (1)$$

1.1.2 Schaltung B

Um die Übertragungsfunktion der Schaltungskomponenten B herzuleiten, stellen wir zwei Maschengleichungen auf.

$$-\underline{U}_3 + \underline{Z}_2 \underline{I}_2 = 0 \Rightarrow \underline{U}_3 = \underline{Z}_2 \underline{I}_2$$

$$\underline{Z}_3 \underline{I}_2 + \underline{U}_4 = 0 \Rightarrow \underline{U}_4 = -\underline{Z}_3 \underline{I}_2$$

$$\frac{\underline{U}_4}{\underline{U}_3} = -\frac{\underline{Z}_3}{\underline{Z}_2} \quad (2)$$

Aus dem Schaltbild sieht man, dass $\underline{Z}_3$ gleich ist:

$$\underline{Z}_3 = \frac{R_3 \cdot \frac{1}{j\omega C_2}}{R_3 + \frac{1}{j\omega C_2}}$$

Setzen wir $\underline{Z}_3$ in die Gleichung (2) ein:

$$\frac{\underline{U}_4}{\underline{U}_3} = -\frac{R_3}{R_2} \cdot \frac{1}{1 + j\omega C_2 R_3} \quad (3)$$

1.2 Eigenschaften der Schaltungskomponenten

Merkmal	Schaltungskomponenten A	Schaltungskomponenten B
Name	RC-Hochpass	Aktiver invertierender Tiefpass
passive/aktive Bauelemente	passiv	aktiv
Bauteile	Kondensator C_1 , Widerstand R_1	2 Widerstände R_2 und R_3 , Kondensator C_2 , Operationsverstärker
Frequenzeigenschaften	hohe Frequenzen passieren 1 zu 1, tiefe werden immer stärker gedämpft	hohe Frequenzen werden gedämpft, tiefe werden 1 zu 1 durchgelassen
Ordnung der Übertragungsfunktion	1. Ordnung, Dämpfung 20 dB/Dekade	1. Ordnung, Verminderung 20 dB/Dekade

1.3 Übertragungsfunktion der Gesamtschaltung

Wir lösen die Gleichungen (1) und (3) nach $\underline{U}_2$ bzw. $\underline{U}_3$.

$$\underline{U}_2 = \underline{U}_1 \cdot \frac{j\omega R_1 C_1}{1 + j\omega R_1 C_1}$$

$$\underline{U}_3 = -\underline{U}_4 \cdot \frac{1 + j\omega C_2 R_3}{R_3/R_2}$$

Da zwischen $\underline{U}_2$ und $\underline{U}_3$ ein Spannungsfolger eingebaut ist, können wir die zwei Spannungen gleichsetzen.

$$\underline{U}_1 \cdot \frac{j\omega R_1 C_1}{1 + j\omega R_1 C_1} = -\underline{U}_4 \cdot \frac{1 + j\omega C_2 R_3}{R_3/R_2}$$

$$\frac{\underline{U}_4}{\underline{U}_1} = -\frac{j\omega R_1 C_1}{(1 + j\omega R_1 C_1)} \cdot \frac{R_3/R_2}{(1 + j\omega R_3 C_2)}$$

Aus der Aufgabenstellung wissen wir, dass R_2 gleich R_3 ist, deswegen können wir sie kürzen. Nenner multiplizieren wir aus.

$$\frac{\underline{U}_4}{\underline{U}_1} = -\frac{j\omega R_1 C_1}{1 + \omega^2 R_1 R_3 C_1 C_2 + j\omega(R_1 C_1 + R_3 C_2)}$$

Die Kreisfrequenz ist gleich:

$$\omega = 2\pi f \quad (4)$$

Das setzen wir ein und erhalten die gesamte Übertragungsfunktion in Abhängigkeit von der Frequenz f :

$$\frac{\underline{U}_4}{\underline{U}_1} = -\frac{j2\pi f R_1 C_1}{1 + 4\pi^2 f^2 R_1 R_3 C_1 C_2 + j2\pi f(R_1 C_1 + R_3 C_2)} \quad (5)$$

1.4 Lastenheft des KITtwo31459f

Merkmal	Schema
Bauteilnamen	KITtwo314159f. Bandpass
Funktionsbeschreibung	Frequenzen im Bereich von 10 Hz bis 10 kHz werden durchgelassen. Die Frequenzen außerhalb des Bereichs werden 20dB pro Dekade bedämpft.
Eingangsvariable	Spannung $\underline{U}_1$, Volt
Ausgangsvariable	Spannung $\underline{U}_4$, Volt
Übertragungsfunktion	$\frac{\underline{U}_4}{\underline{U}_1} = -\frac{j0.1f}{1+10^{-5}f^2+j0.1f}$

2 Aufgabe 2

2.1 Darstellung der Schaltung in LTspiceIV

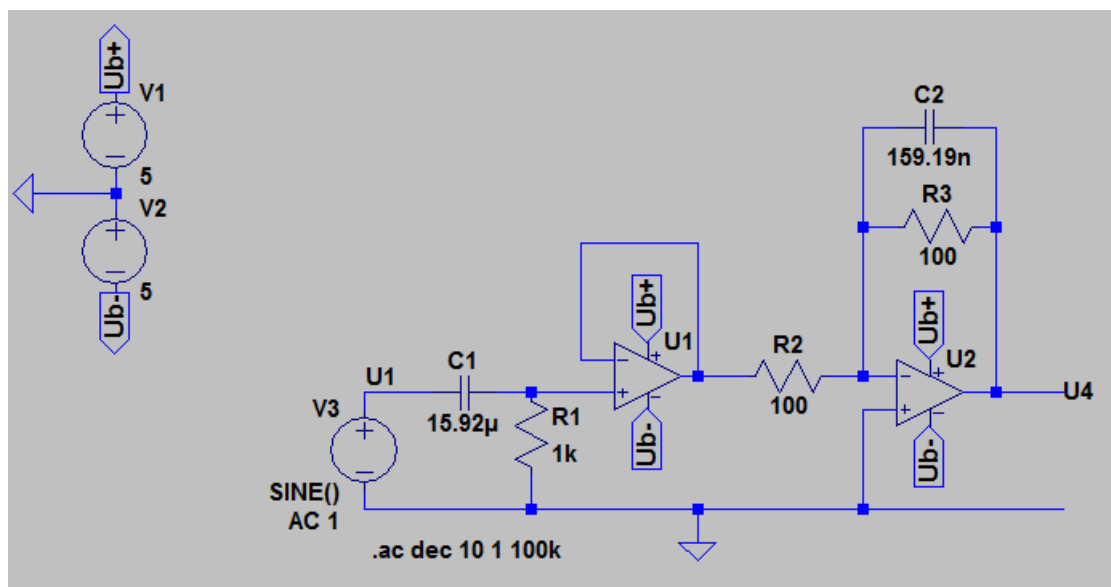


Abbildung 2: die in LTspice realisierte Schaltung mit Bauteilewerten

2.2 Plot des Amplituden- und Phasengangs für das Datenblatt

Aus dem Graph können Bandwidth ablesen. Im unserem Fall liegt der linearen Bereich im Intervall von 10 Hz bis 10 kHz.(Abbildung 3)

2.3 Signalverzögerung bei 100 Hz

Ja tatsächlich, der Kunde hat recht, dass das Bauteil eine Verzögerung verursacht (Abbildung 4). Die Phase wird um circa 180° gedreht, dadurch entsteht die Signalverzögerung.

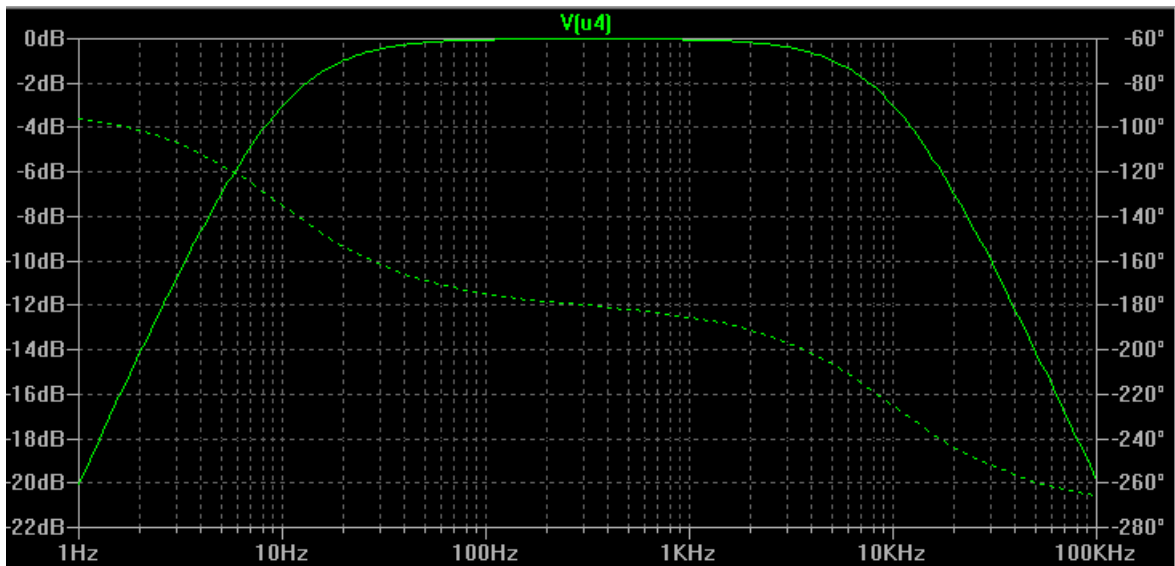


Abbildung 3: die durchgezogene Linie zeigt die Amplitude, gestrichelte Linie die Phase

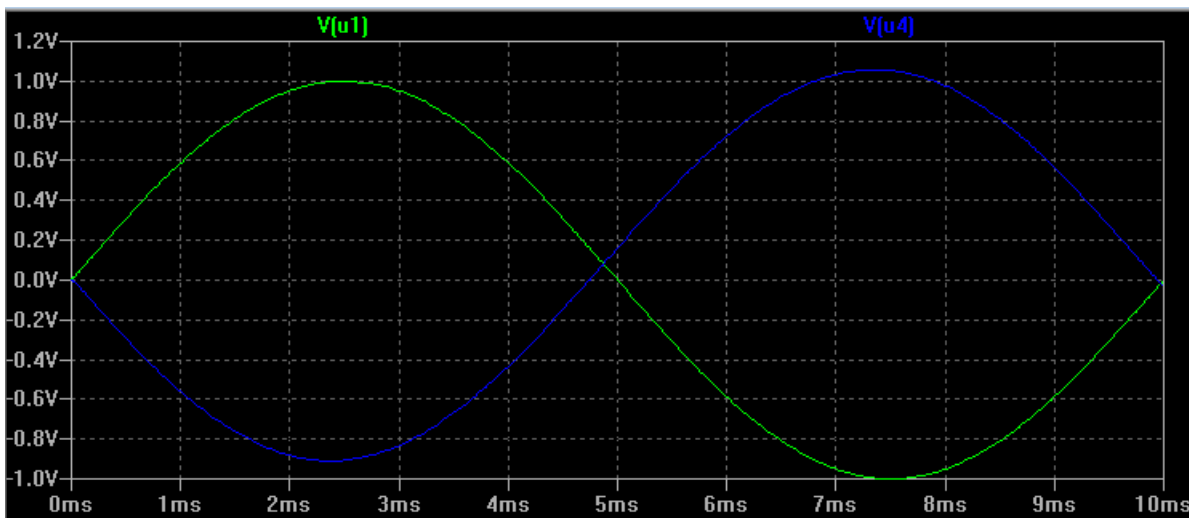


Abbildung 4: Die Eingangs- Ausgangsspannungen im Vergleich (siehe zusätzlich Abbildung 9)

2.4 Ortskurven der Übertragungsfunktion

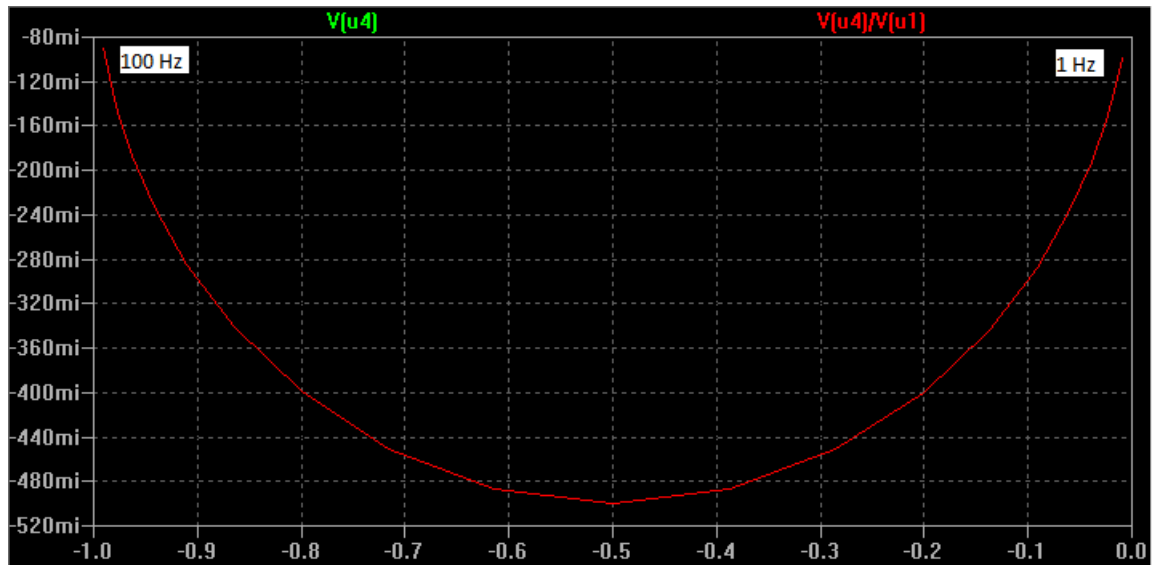


Abbildung 5: Ortskurve im Bereich von 1 Hz bis 100 Hz (10 Schritte pro Dekade)

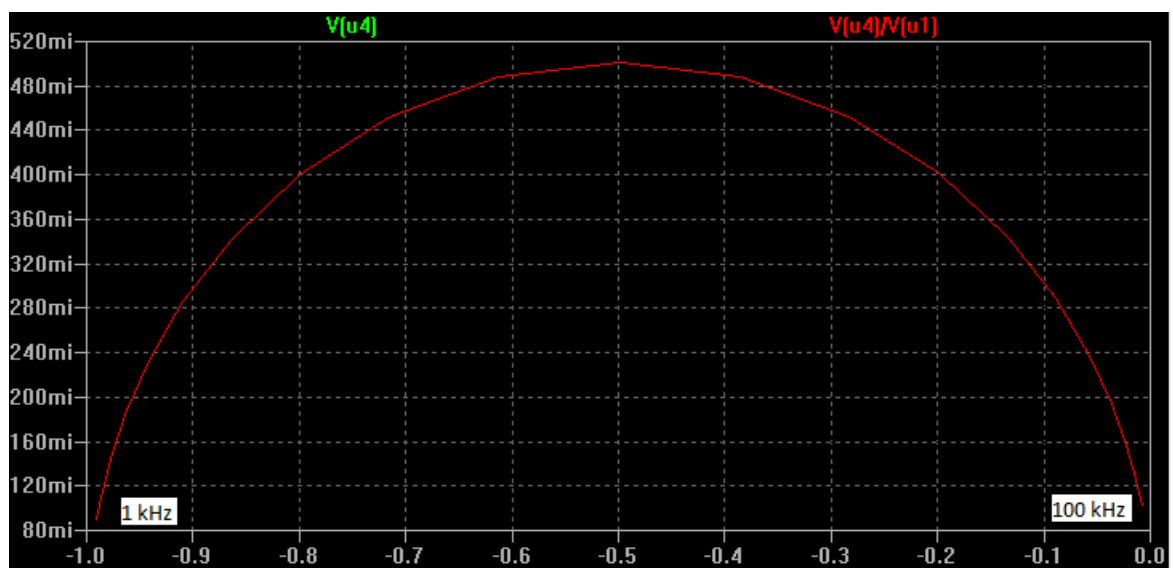


Abbildung 6: Ortskurve im Bereich von 1 kHz bis 100 kHz (10 Schritte pro Dekade)

2.5 Sparmaßnahmen

Der Geschäftsführung empfehle ich nicht den Spannungsfolger zu entfernen. Bandwidth beträgt von 110 Hz bis 10 kHz (die Bandbreite ist enger) (Abbildung 8). Die tiefe Frequenzen unter 110 Hz, die man in Audiotechnik braucht, werden gedämpft.

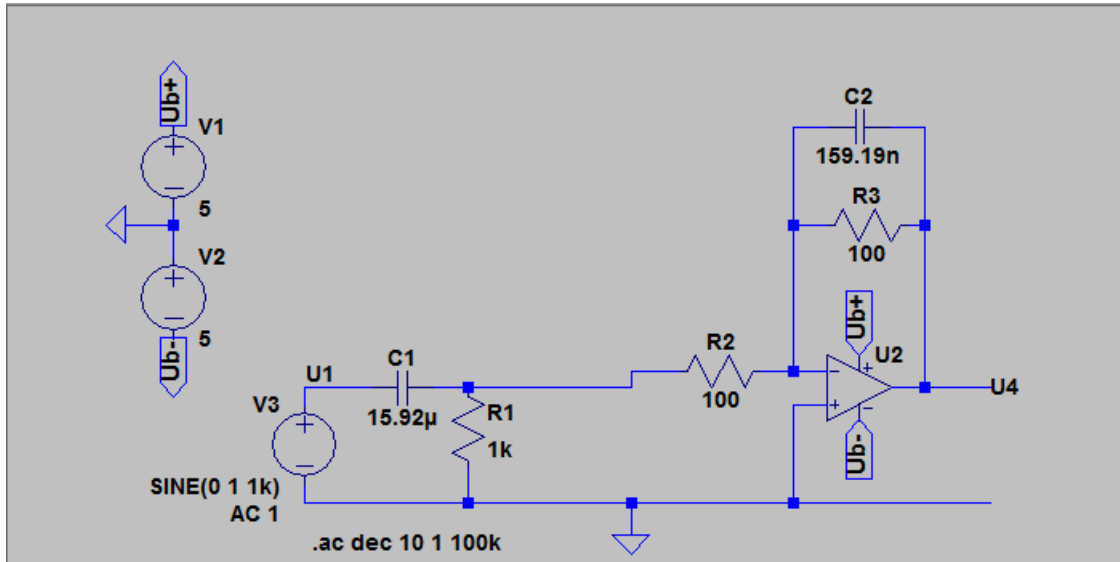


Abbildung 7: das Bauteil KITtwo314159 ohne Spannungsfolger

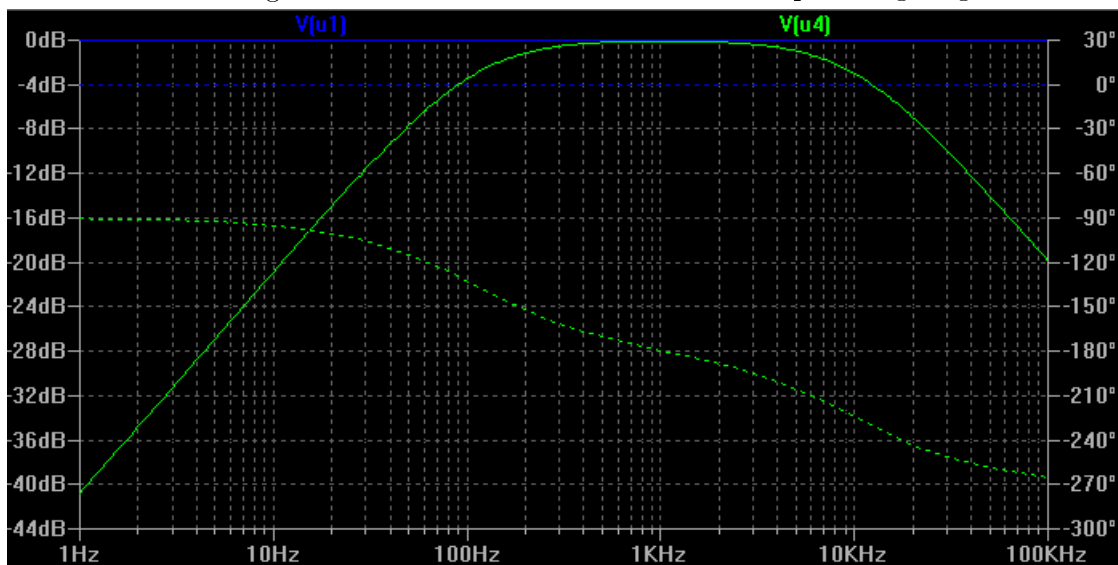


Abbildung 8: das Bodediagramm vom obigen Bauteil

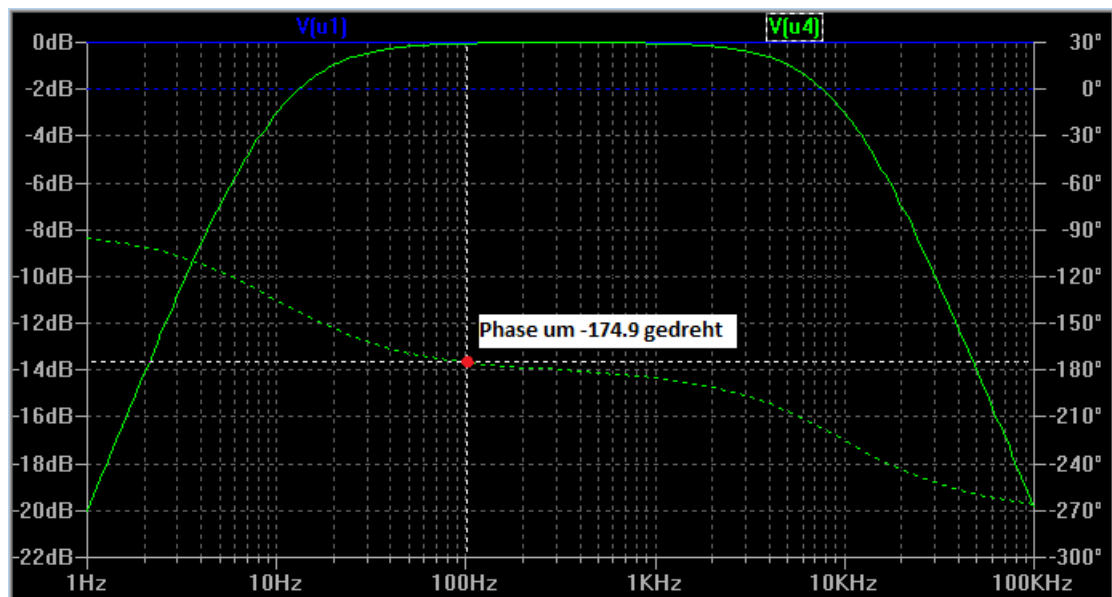


Abbildung 9: Blaue Linie ist die Phase am Eingang, grüne am Ausgang. Unterschied zwischen zwei Phasen ist circa -174.9°