

Praktikumsbericht

Versuch 5

LV: Elektronik 1 Praktikum

Versuchsdurchführung: 16. Januar 2021

Studierende **Cassel, Niclas** (1110348)
Wechler, Tim-Jonas (1137877)

Rüsselsheim am Main, 12. Februar 2021



Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	II
Tabellenverzeichnis	III
1 Vorbereitung	1
1.1 Dimensionieren eines Operationsverstärkers	1
1.2 Dimensionierung des integrierten Instrumentenverstärkers AD28226 . . .	3
2 Versuchsaufbau	4
3 Aufgaben	5
3.1 Frequenzgang der Differenzverstärkung	5
3.2 Frequenzgang der Gleichtaktverstärkung	6
3.3 Einfluss von Widerstandstoleranzen	8
Literatur	10

Abbildungsverzeichnis

2.1	Aufbau der Schaltung der Instrumentenverstärker	4
3.1	Graph des Frequenzgangs der Schaltung	5
3.2	Anzeige der oberen Grenzfrequenz von Ausgang 1	5
3.3	Anzeige der oberen Grenzfrequenz von Ausgang 2	5
3.4	Diagramm des Frequenzgangs Gleichtaktverstärkung	6
3.5	Gleichtaktverstärkung von Ausgang 1 und 2	7
3.6	Graf der Schaltung mit verändertem R6	8
3.7	Schaltung mit allen Widerständen um $\pm 1\%$ geändert	9
3.8	Gleichtaktverstärkung mit veränderten Widerstandstoleranzen	9

Tabellenverzeichnis

1.1	Tabelle der E12-Reihe aus der Quelle [1]	1
3.1	Tabelle zum Vergleichen von $v_{D_{dB}}$	6
3.2	Ergebnisse der Gleichtaktverstärkung über den Frequenzgang	6
3.3	Ergebnisse der Gleichtaktverstärkung über den Frequenzgang	8

Vorbereitung

1.1 Dimensionieren eines Operationsverstärkers

Zur Vorbereitung des Versuchs wird ein Instrumentenverstärker mit drei Operationsverstärkern so dimensioniert, dass eine Differenzverstärkung von $v_{D\text{ dB}} = 40\text{ dB}$ erreicht wird. Dafür wird die Verstärkung v_D errechnet.

$$\begin{aligned} v_{D\text{ dB}} &= 20\text{ dB} \cdot \log_{10}(|v_D|) \\ 40\text{ dB} &= 20\text{ dB} \cdot 20\text{ dB} \cdot \log_{10}(|v_D|) \\ 2 &= 20\text{ dB} \cdot \log_{10}(|v_D|) \\ 10^2 &= v_D \\ v_D &= 100 \end{aligned}$$

Für den Differenzverstärker ist eine Verstärkung von 100 gegeben.

Der Instrumentenverstärker aus drei Operationsverstärkern (Siehe Abb. 2.1) besteht aus einem Differenzverstärker und einem Subtrahierer. Ist bei dieser Schaltung $U_1 = U_2$ gilt für die Verstärkung:

$$v_D = 1 + 2 \cdot \frac{R_6}{R_5} \quad (1.1)$$

Der Wert 100 von v_D wird nun in die Gleichung (1.1) eingesetzt.

$$\begin{aligned} 100 &= 1 + 2 \cdot \frac{R_6}{R_5} \\ 99 &= 2 \cdot \frac{R_6}{R_5} \\ 49,5 &= \frac{R_6}{R_5} \end{aligned}$$

Aus dieser Rechnung lässt sich ableiten, dass das Verhältnis von $\frac{R_6}{R_5}$ gleich der Verstärkung von 49,5 gleichen muss. Aus der Quelle [1] erhält man folgende Vorfaktoren k für die Widerstände aus der E12-Reihe.

Tabelle 1.1: Tabelle der E12-Reihe aus der Quelle [1]

m=0	1,0	1,2	1,5	1,8
m=1	2,2	2,7	3,3	3,9
m=2	4,7	5,6	6,8	8,2

Damit die richtige Verstärkung dabei heraus kommt muss der Vorfaktor k wie folgt ausprobiert werden.

$$\frac{k \cdot 10^4 \Omega}{k \cdot 10^2 \Omega} = 49,5$$

Das beste Ergebnis wird durch diese Faktoren erreicht.

$$\frac{3,3 \cdot 10^4 \Omega}{6,8 \cdot 10^2 \Omega} = 48,53$$
$$\frac{33 \text{ k}\Omega}{680 \Omega} = 48,53$$

Daraus ergibt sich für die Widerstandswerte $R_6 = 33 \text{ k}\Omega$ und $R_5 = 680 \Omega$. Diese Werte werden wieder in die Formel (1.1) eingesetzt um v_D und $v_{D_{dB}}$ auszurechnen.

$$v_D = 1 + 2 \cdot \frac{33 \text{ k}\Omega}{680 \Omega}$$
$$v_D = 98,059$$
$$v_{D_{dB}} = 20 \text{ dB} \cdot \log_{10}(|v_D|)$$
$$v_{D_{dB}} = 20 \text{ dB} \cdot \log_{10}(|98,059|)$$
$$v_{D_{dB}} = 39,83 \text{ dB}$$

Durch dieses Ergebnis ist gezeigt, dass die Verstärkung $v_{D_{dB}}$ im Bereich der vorgegebenen Differenzverstärkung $v_{D_{dB}} = (40 \pm 0,5) \text{ dB}$ liegt.

1.2 Dimensionierung des integrierten Instrumentenverstärkers AD28226

Zur Dimensionierung eines Instrumentenverstärkers mit dem integrierten Instrumentenverstärker AD28226 liegt auch die Differenzverstärkung von $v_{D_{dB}} = (40 \pm 0,5) \text{ dB}$ vor. Das bedeutet das auch hier $v_D = 100$ ist. Aus dem Datenblatt Seite 19 [2] ergibt sich folgende Formel.

$$G = 1 + \frac{49,4 \text{ k}\Omega}{R_G} \quad (1.2)$$

Das G steht in dieser Formel für Gain (englisch) und lässt sich mit der Verstärkung $v_D = 100$ gleichsetzen.

$$\begin{aligned} G &= 1 + \frac{49,4 \text{ k}\Omega}{R_G} \\ R_G &= \frac{49,4 \text{ k}\Omega}{G - 1} \\ &= \frac{49,4 \text{ k}\Omega}{100 - 1} \\ &= 498,99 \Omega \end{aligned}$$

In der E12-Reihe gibt es keinen Wert dieser Größe. Der Wert mit der besten Annäherung aus Tabelle 1.1 ist $R_G = 470 \Omega$. Der Wert von R_G wird zum Berechnen von G nochmal in die Formel (1.2) eingefügt.

$$\begin{aligned} G &= 1 + \frac{49,4 \text{ k}\Omega}{R_G} \\ &= 1 + \frac{49,4 \text{ k}\Omega}{470 \Omega} \\ &= 106,106 \end{aligned}$$

Da G mit v_D gleichzusetzen ist gilt:

$$\begin{aligned} v_{D_{dB}} &= 20 \text{ dB} \cdot \log_{10}(|v_D|) \\ v_{D_{dB}} &= 20 \text{ dB} \cdot \log_{10}(|106,106|) \\ v_{D_{dB}} &= 40,51 \text{ dB} \end{aligned}$$

Dieser Wert liegt ganz gering über der Behauptung $v_{D_{dB}} = (40 \pm 0,5) \text{ dB}$. Aber der Wert ist nur so gering darüber, sodass dieser noch angenommen werden kann. Also lässt sich $R_G = 470 \Omega$ vertreten, was in Abb. dem Widerstand R_8 entspricht.

Versuchsaufbau

In ein gemeinsames Schaltbild wird ein Instrumentenverstärker mit drei Operationsverstärkern aufgebaut und ein Instrumentenverstärker mit dem integrierten Instrumentenverstärker AD8226. Diese werden mit der Spannung $\pm 12\text{ V}$ verbunden.

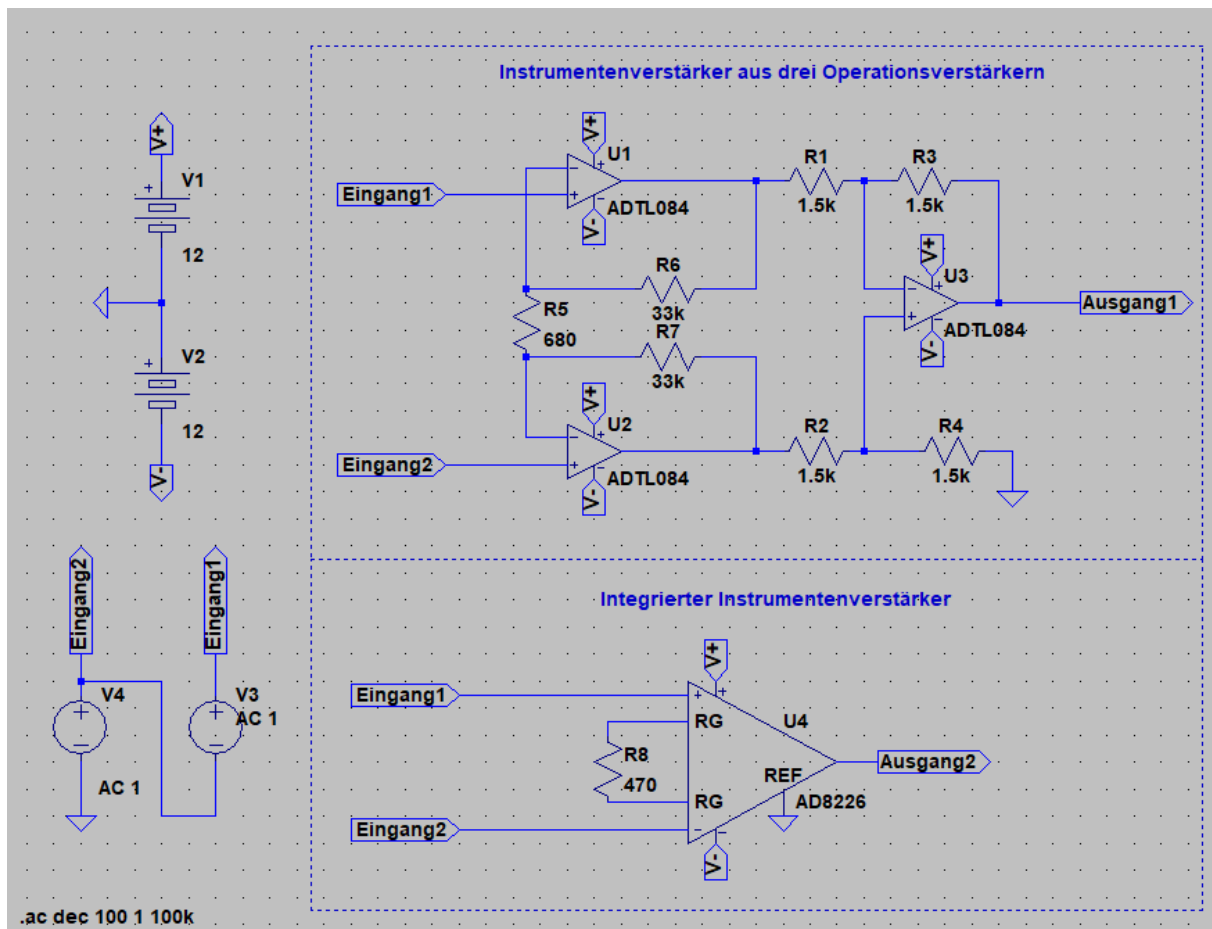


Abbildung 2.1: Aufbau der Schaltung der Instrumentenverstärker

Die in der Vorbereitung errechneten Werte sind in die Schaltung Abb. 2.1 integriert.

$$R_8 = 470\Omega$$

$$R_6 = R_7 = 33\text{ k}\Omega$$

$$R_5 = 680\Omega$$

Dieser erste Teil mit den Widerständen R_5 bis R_7 und den Operationsverstärkern U_1 und U_2 bildet den Differenzverstärker. Die Widerstände R_1 bis R_4 mit dem Operationsverstärker U_3 bilden den Subtrahierer der Schaltung. Die Widerstände R_1 bis R_4 wird der Wert $1,5\text{ k}\Omega$ gegeben.

Aufgaben

3.1 Frequenzgang der Differenzverstärkung

Zur Untersuchung des Frequenzgangs der Differenzverstärkung v_D wird an die Eingänge 1 und 2 eine Gleichtaktansteuerung U_{cm} (V3) angeschlossen. Diese besitzt eine Wechselspannung von 1V. Die Wechselspannung V4 kann vernachlässigt werden, da diese auf Erde liegt. Mit dem Befehl **.ac dec 100 1 100k** wird ein Frequenzgang mit 100 Schritten zwischen 1Hz und 100kHz simuliert. Das **dec** steht für eine Verzehnfachung der Frequenz. Der Aufbau ist in Abb.2.1 abgebildet.

Durch das Ausführen der Simulation, wird folgender Graph angezeigt.

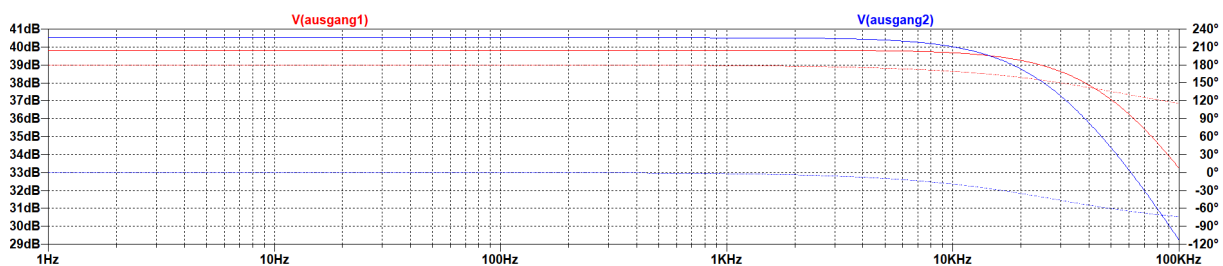


Abbildung 3.1: Graph des Frequenzgangs der Schaltung

Die obere Grenzfrequenz der Schaltung liegt im Graphen bei -3dB. Mit der Cursor-Funktion von LTSpice kann diese Frequenz für den Ausgang 1 und Ausgang 2 abgelesen werden.

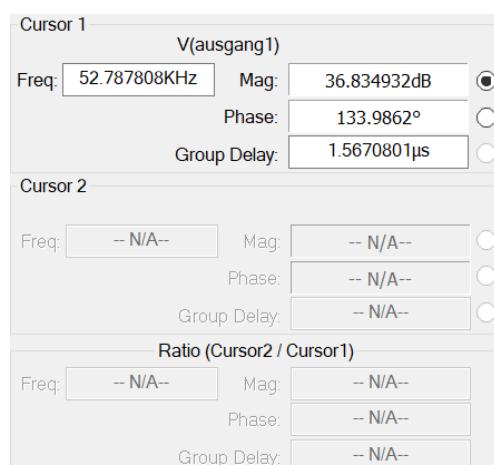


Abbildung 3.2: Anzeige der oberen Grenzfrequenz von Ausgang 1

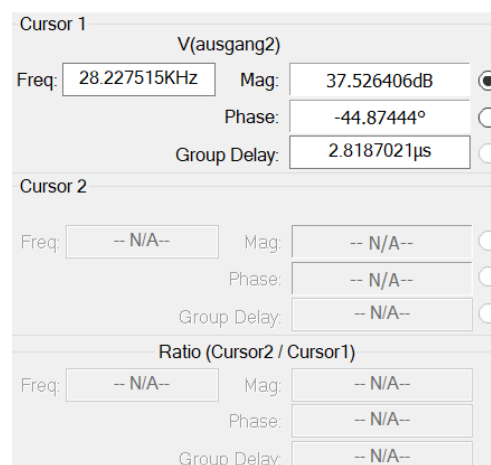


Abbildung 3.3: Anzeige der oberen Grenzfrequenz von Ausgang 2

Aus der Abbildung 3.1 ergibt sich für den Instrumentenverstärker mit drei Operationsverstärkern eine Verstärkung $v_{D_{dB}} = 39,828 \text{ dB}$ und eine obere Grenzfrequenz von $f_o = 52,788 \text{ Hz}$ aus der Abbildung 3.2.

Aus Abbildung 3.1 ist ebenfalls die Verstärkung $v_{D_{dB}} = 40,518 \text{ dB}$ für den Ausgang 2 des integrierten Instrumentenverstärkers zu erkennen. Die obere Grenzfrequenz des integrierten Instrumentenverstärkers ist in Abb 3.3 zu finden und ergibt $f_o = 28,227 \text{ Hz}$.

Beim Vergleichen der Werte von $v_{D_{dB}}$ mit den errechneten aus der Vorbereitung sind fast keine Differenzen zu erkennen.

Tabelle 3.1: Tabelle zum Vergleichen von $v_{D_{dB}}$

	Instrumentenverstärker mit TL084	integrierter Instrumentenverstärker
gerechnet	$v_{D_{dB}} = 39,83 \text{ dB}$	$v_{D_{dB}} = 40,51 \text{ dB}$
simuliert	$v_{D_{dB}} = 39,828 \text{ dB}$	$v_{D_{dB}} = 40,518 \text{ dB}$

3.2 Frequenzgang der Gleichtaktverstärkung

Um nun die Gleichtaktverstärkung zu simulieren wird die Spannung von U_{V3} auf 0 V und die Spannung U_{V4} auf 1 V gesetzt. Somit sorgt dafür das **Eingang 1** und **Eingang 2** jeweils mit der gleichen Spannung versorgt werden. Bei einem Instrumentenverstärker liegt

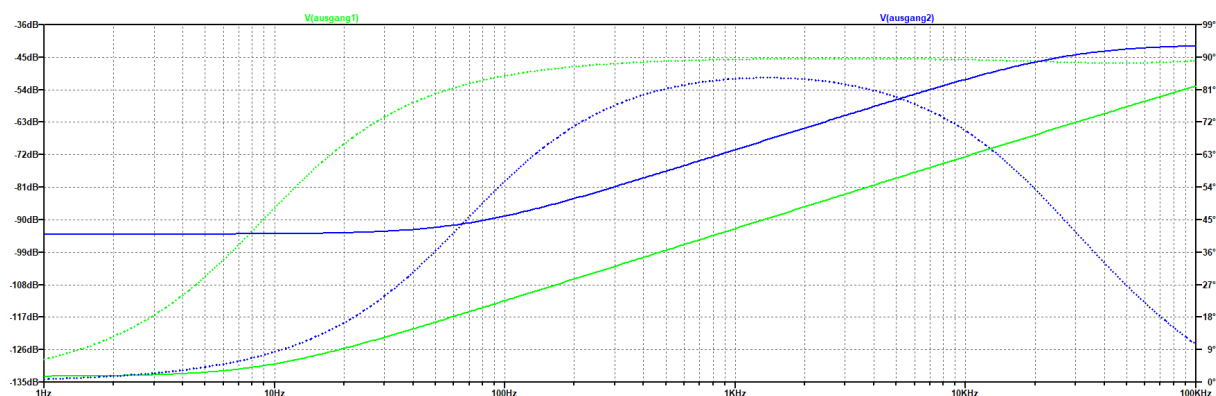


Abbildung 3.4: Diagramm des Frequenzgangs Gleichtaktverstärkung

die niedrigste Gleichtaktfrequenz bei $f = 1 \text{ Hz}$. Mit Hilfe der Cursorfunktion wird nun die Verstärkung beider Ausgänge ausgelesen. Für den Instrumentenverstärker aus drei Operationsverstärkern ergibt sich die niedrigste Gleichtaktverstärkung von $v_{CM} = -133,371 \text{ dB}$ bei einer Frequenz von $f = 1 \text{ Hz}$ (siehe Abb. 3.5, Seite 7). Für den integrierten Instrumentenverstärker ergibt sich die niedrigste Gleichtaktverstärkung von $v_{CM} = -94,000 \text{ dB}$ bei einer Frequenz von $f = 1 \text{ Hz}$. Aus den Datenblätter lassen sich die Werte für die Gleichtaktunterdrückung v_{cmrr} entnehmen. Der Instrumentenverstärker aus drei Opera-

Tabelle 3.2: Ergebnisse der Gleichtaktverstärkung über den Frequenzgang

für $f = 1 \text{ Hz}$	Sim. v_{CM}	v_{cmrr} der Datenblätter
TL084	$-133,371 \text{ dB}$	86 dB
AD8226	$-94,000 \text{ dB}$	120 dB

tionsverstärkern hat eine geringe Gleichtaktverstärkung bei $f = 1 \text{ Hz}$, dieser Wert ist deutlich niedriger als der Wert aus dem Datenblatt. Ursache hierfür ist die Tatsache das mehrere Operationsverstärker vom Typ TL084 verbaut sind. Hinzu zufügen ist das der Wert $v_{cmrr} = -86 \text{ dB}$ kein maximal Wert ist.

Der integrierte Instrumentenverstärker liefert laut Datenblatt eine Gleichtaktunterdrückung von minimal $v_{cmrr} = 120 \text{ dB}$ und bei Frequenzen $f > 5 \text{ Hz}$ eine UNterdrückung von $v_{cmrr} = 90 \text{ dB}$. Dies stimmt mit der Simulation nur bedingt überein.

Bei beiden Integrationsverstärker sieht man mit zunehmender Frequenz eine stetig wachsende Verstärkung. Der Grund hierfür liegt daran, dass reelle Instrumentenverstärker simuliert werden und diese in ihren Operationsverstärkern zum Eingang eine parallel geschaltete parasitäre Kapazität besitzen. Die hat eine negative Auswirkung auf die Gleichtaktunterdrückung, da sie mit steigender Frequenz zunehmend leitend wirken.

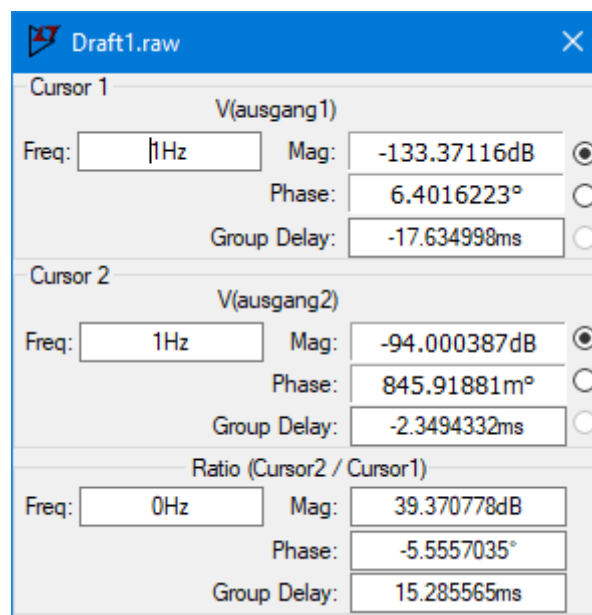


Abbildung 3.5: Gleichtaktverstärkung von Ausgang 1 und 2

3.3 Einfluss von Widerstandstoleranzen

Um den Einfluss zu messen, den ein Widerstand mit einer Toleranz von $\pm 1\%$ hat, wird der Wert von R_6 um 1 % gesenkt. Hierbei ergibt sich ein neuer Wert für von $R_6 = 33\text{ k}\Omega \cdot 0,99 = 32,670\text{ k}\Omega$. Die Simulation wird mit dem abgeänderten Wert von R_6 durchgeführt. Am **Ausgang 1** kann man folgenden Graf ablesen. Auch hier wird mit hilfe der Curserfunktion

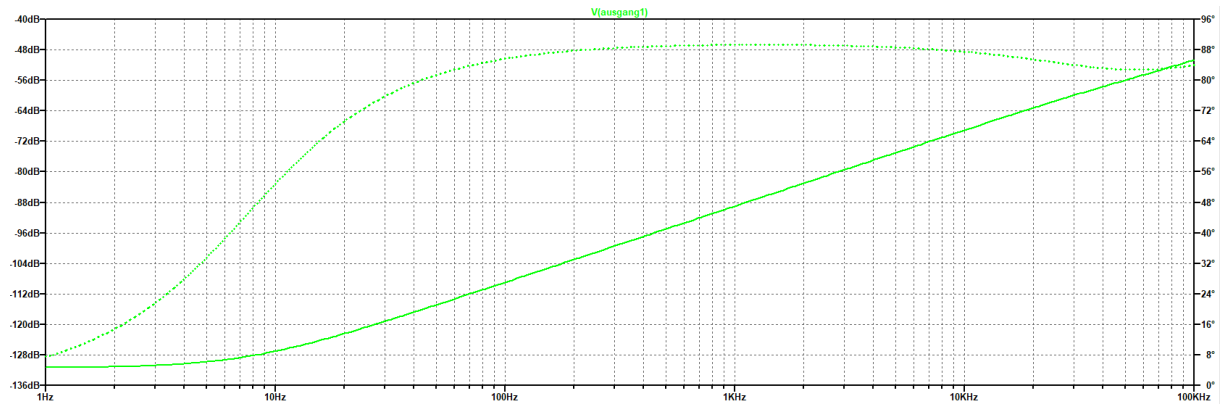


Abbildung 3.6: Graf der Schaltung mit verändertem R_6

der Wert $f = 1\text{ Hz}$ abgelesen. Hier kann man ein Wert von $v_{tol1} = -133,237\text{ dB}$ sehen.

Um die Auswirkung einer Toleranz von 1 % zu sehen werden alle Werte der Widerstände 1-7 um die Toleranz geändert (siehe Abb. 3.7, Seite 9). Wird nun die Simulation gestartet erhält man den Frequenzgang aus 3.8.

Tabelle 3.3: Ergebnisse der Gleichtaktverstärkung über den Frequenzgang

für $f = 1\text{ Hz}$	ideale Widerstände	R_6 mit Toleranz der Datenblätter	alle R mit Toleranz
v_{CM} in dB	-133,371 dB	-133,237 dB	-33,363 dB

Hierbei zeigt sich das wenn nur ein Widerstand (R_6) vom Idealwert abweicht, die Veränderung quasi Null ist. Auch wenn man andere Widerstände einzeln verändert, wirkt es sich quasi garnicht auf die Verstärkung aus. Werden alle Widerstände jedoch verändert, hat dies große Auswirkungen auf die Gleichtaktunterdrückung. Diese steigt stark an und damit sinkt die Gleichtaktverstärkung.

Instrumentenverstärker aus drei Operationsverstärkern

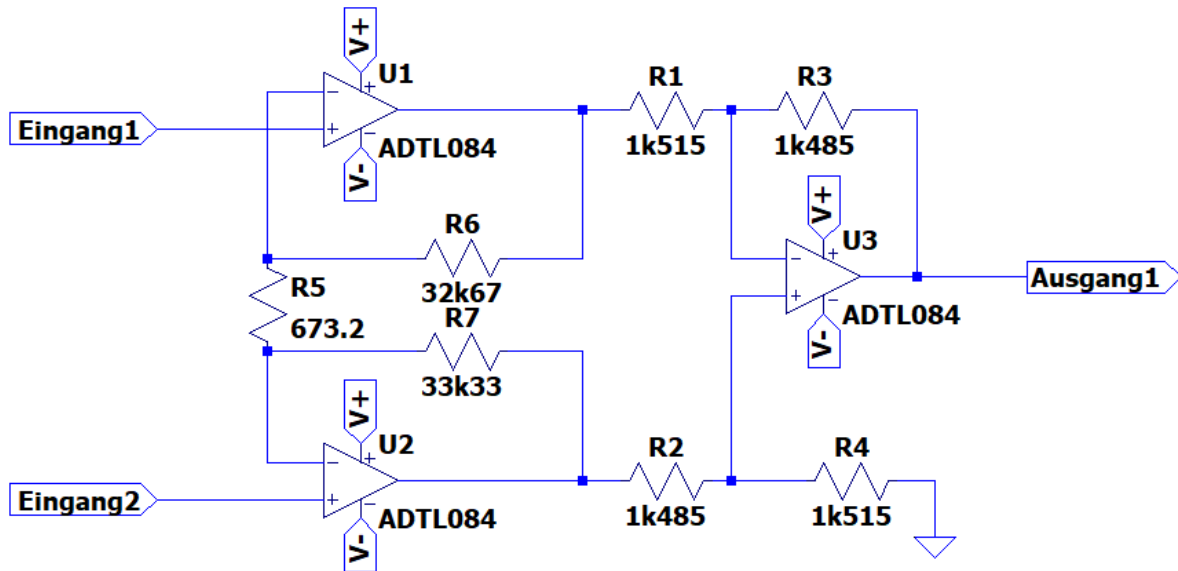


Abbildung 3.7: Schaltung mit allen Widerständen um $\pm 1\%$ geändert

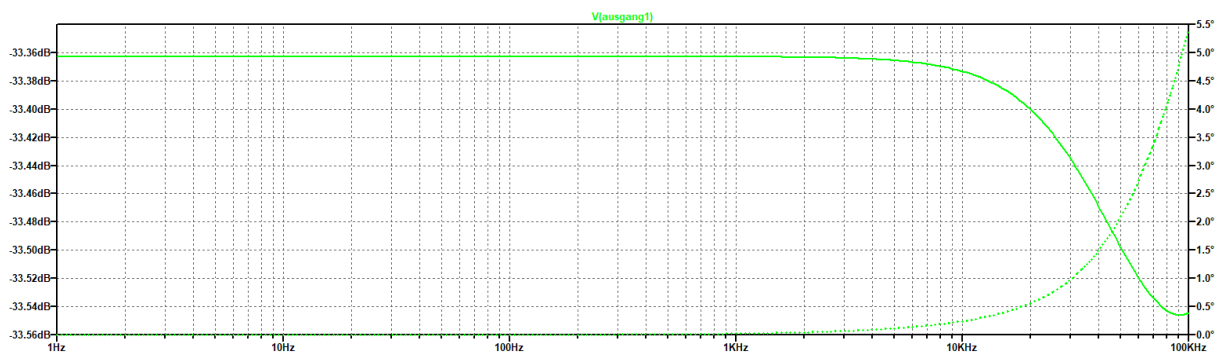


Abbildung 3.8: Gleichtaktverstärkung mit veränderten Widerstandstoleranzen

Literatur

- [1] Wikipedia-Benutzer Darkking3. E12-Reihe. URL: <https://de.wikipedia.org/wiki/E-Reihe> (besucht am 11. 02. 2021).
- [2] Analog Devices. Datenblatt AD8226. URL: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD8226.pdf> (besucht am 11. 02. 2021).