

Physikalisches Anfängerpraktikum II

Sommersemester 2023

Versuch 242

Tutor: Johanna Feuerstein

Spannungsverstärker

1 Einleitung

1.1 Ziel des Versuchs

Beim elektrischen Experiment ist ein Spannungsverstärker von großer Bedeutung, um winzige elektrische Signale zu vergrößern und eine präzise quantitative Beobachtung zu ermöglichen. In diesem Versuch wird ein μ A741 Operationsverstärker genutzt, um die Ausgangsspannung in Abhängigkeit von der Eingangsspannung für 2 verschiedene Gegenkopplungen bei Gleich- und Wechselspannung zu messen. Außerdem soll den Frequenzgang des Verstärkungsfaktors im Bereich von 100 Hz bis 300 kHz für verschiedene Gegenkopplungen ermittelt sowie den Einfluss des Frequenzganges auf die Form von Rechtecksignalen erforscht werden.

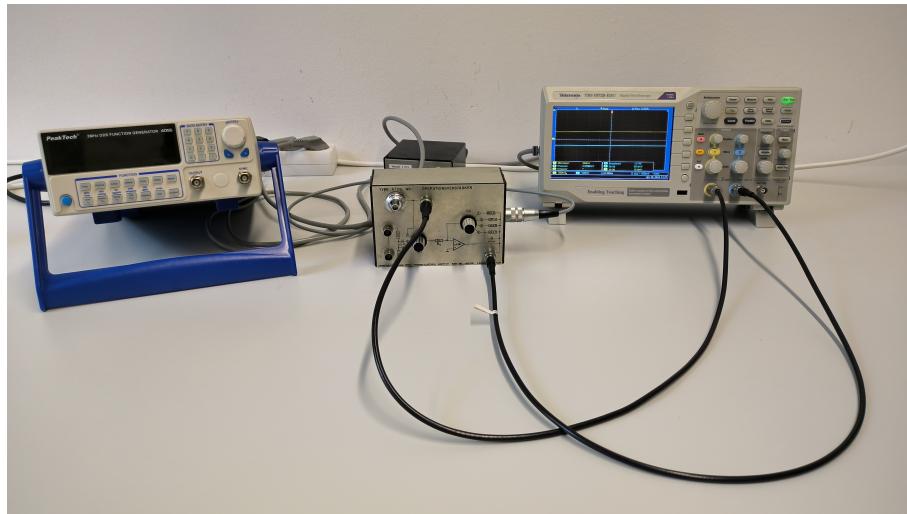


Abbildung 1: Versuchsaufbau

1.2 Die grundlegenden Eigenschaften eines idealen Operationsverstärkers

Bevor dem Experiment sollten ein paar grundlegende Eigenschaften eines idealen Operationsverstärkers untersucht werden, damit wir störende Fremdspannungen wie Netzbrumm, Einstrahlung von Radiosendern so unterdrücken, dass sie im Vergleich zu dem gewünschten Signal vernachlässigbar sind.

Ein Operationsverstärker hat einen invertierenden (Minus-) Eingang (N) und einen nicht-invertierenden (Plus-) Eingang (P). Das Plus-Symbol bedeutet eine positive Multiplikation des Verstärkungsfaktors, während das Minus-Symbol eine negative Multiplikation darstellt. Die Differenz der beiden Spannungen wird verstärkt am Ausgang (A) ausgegeben:

$$U_A = V_0 (U_+ - U_-) \quad (1)$$

wobei V_0 der Verstärkungsfaktor, U_+ die Spannung am nicht-invertierenden Eingang und U_- die Spannung am invertierenden Eingang bezeichnen.

Der im Versuch verwendete Operationsverstärker $\mu A741$ ist ein linearer invertierbarer Differenzverstärker, bei dem die zu verstärkende Eingangsspannung am invertierenden Eingang des Operationsverstärkers angelegt wird und der Verstärkungsfaktor negativ ist ($V_0 < 0$), während der nicht-invertierende Eingang beim Versuch gerdet. Dieser wird mit Parallel-Spannungsgegenkopplung betrieben. Eine Reihen-Spannungsgegenkopplung führt dagegen zu einem nicht-invertierenden Operator, der jedoch nicht im folgenden Versuch betrachtet wird.

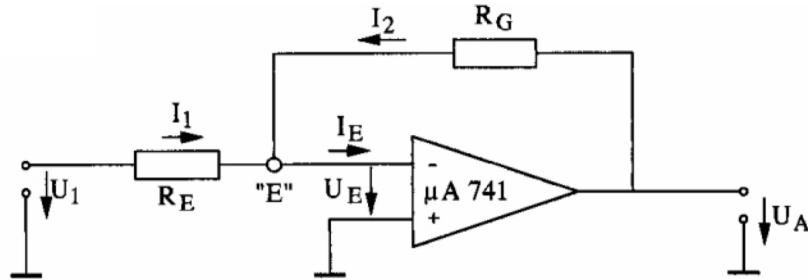


Abbildung 2: Operationsverstärker $\mu A741^1$

Die wichtigsten Größen um einen Operationsverstärker zu charakterisieren sind der Eingangswiderstand R_i , der Ausgangswiderstand R_a sowie der Verstärkungsfaktors V_0 , die gegeben als:

$$R_i = \frac{U_E}{I_E} \quad R_a = \frac{U_A}{I_A} \quad V_0 = -\frac{U_A}{U_E} \quad (2)$$

Hierbei sind U_E und I_E jeweils Eingangs Spannung und Strom am invertierenden Eingang (-) und U_A , I_A Ausgangs. Im Allgemeinen soll das Verhältnis, also R_i , möglichst groß ist, um den Messwertaufnehmer minimal zu belasten, während R_a viel kleiner sein soll, damit die Ausgangsspannung möglichst unabhängig von der Belastungen ist. Für $\mu A741$ liegen die zwei Widerstände in der Größenordnung von $R_i \approx 10^6 \Omega$ und $R_a \approx 50 \Omega$.

Die Formel von V_0 lässt sich einfach aus Gl.(1) herleiten. Die Spannungsverstärkung ist Frequenzabhängig und kann mit einem Bodediagramm graphisch erfasst werden. Wir bemerken, dass V_0 für Frequenzen kleiner als 10Hz nicht mehr zunimmt:

¹Quelle: Dr. J.Wagner - Physikalisches Anfängerpraktikum - V. 1.1 B.Sc. Stand 10/2012

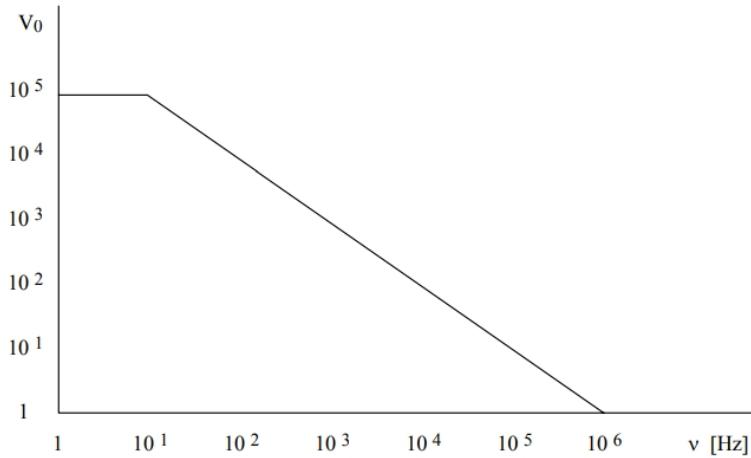


Abbildung 3: Frequenzgang des Operationsverstärkers $\mu\text{A}741$ ²

Um spezielle Verstärkereigenschaften zu erhalten müssen die Verstärkungsfaktoren und der Frequenzgang verändert werden, was durch eine Gegenkopplung realisiert werden kann. Wird das Kirchhoff-Gesetz auf Knoten E in Abbildung 2 verwendet:

$$I_E = I_1 + I_2 \quad (3)$$

und R_G und R_E im Gegensatz zu R_i sehr klein sind, kann man I_E vernachlässigen und es gilt nach dem Ohmschen Gesetz:

$$I_1 + I_2 = \frac{U_1 - U_E}{R_E} + \frac{U_A - U_E}{R_G} \approx 0 \quad (4)$$

Setzen wir den Ausdruck vom Verstärkungsfaktor V_0 und formen die Gl.(4) um, dann ergibt sich:

$$\frac{U_1}{U_A} = -\left[\frac{1}{V_0} + \frac{R_E}{R_G}\left(1 + \frac{1}{V_0}\right)\right] \quad (5)$$

Bei niedrigen Frequenzen zeigt das Bodediagramm, dass $V_0 \approx 10^{-5}$ ist, was vernachlässigbar klein gegen 1 ist. Durch die Gewährleistung, dass R_E und R_G viel größer als $1/V_0$ sind, vereinfacht sich die Gleichung:

$$\frac{U_A}{U_1} \approx -\frac{R_G}{R_E} \equiv V' \quad (6)$$

wobei V' die Betriebsverstärkung darstellt und die Verstärkung des gegengekoppelten Verstärkers in Abbildung 2 ist. Jedoch ist zu beachten, dass Gleichung (6) im Hochfrequenzbereich nicht mehr gilt. Hier fällt V_0 ab und die Betriebsverstärkung geht in den Verstärkungsfaktor des Operationsverstärkers über:

²Quelle: Dr. J.Wagner - Physikalisches Anfängerpraktikum - V. 1.1 B.Sc. Stand 10/2012

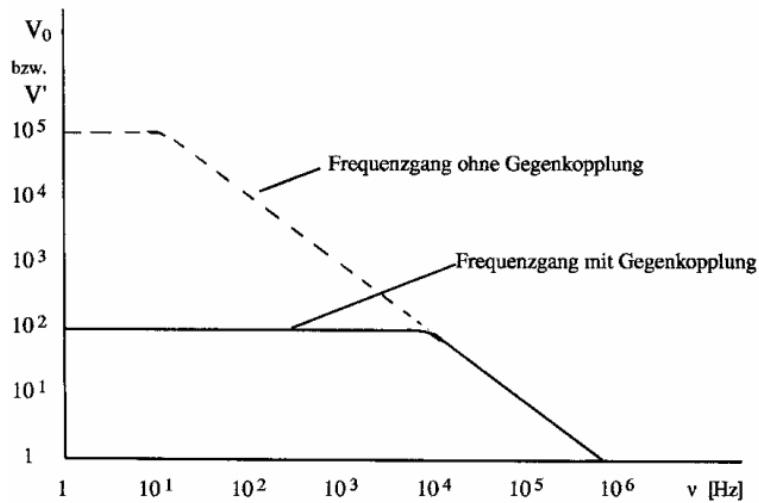


Abbildung 4: Frequenzgang mit und ohne Gegenkopplung bei $V'=-100^3$

Die Gegenkopplung bewirkt also durch die Ermäßigung des Verstärkungsfaktors eine Linearisierung des Frequenzganges, weshalb der Operationsverstärker "linear" genannt wird. Um auch hohe Frequenzen weniger zu verstärken, kann ein Kondensator parallel zu R_G geschaltet werden, was zur stärkeren Gegenkopplung führt.

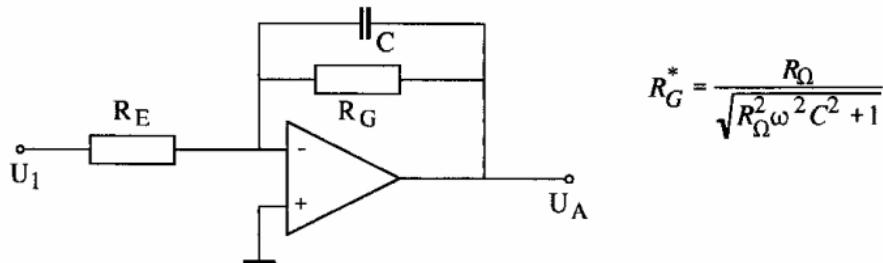


Abbildung 5: Verstärkung-Ermäßigung durch Kondensator bei hohen Frequenzen⁴

Bei niedrigen Frequenzen kann man entsprechend einen Hochpass am Eingang benutzen, um tiefe Frequenzen weniger zu verstärken.

2 Versuchsdurchführung

Versuchsaufbau, Versuchsdurchführung und Messprotokoll siehe folgende Seiten.

³Quelle: Dr. J.Wagner - Physikalisches Anfängerpraktikum - V. 1.1 B.Sc. Stand 10/2012

⁴Quelle: Dr. J.Wagner - Physikalisches Anfängerpraktikum - V. 1.1 B.Sc. Stand 10/2012

Versuch 242: Spannungsverstärkung mit dem Operationsverstärker

29.04.2024 14:00 ~ 17:00

Xuting Shi Yulai Shi

Messaufbau:

- Operationsverstärker μA741 mit entsprechender Beschaltung
- Peak Tech. Signalgenerator
- Tektronix TDS1072 Zweikanal Oszilloskop.

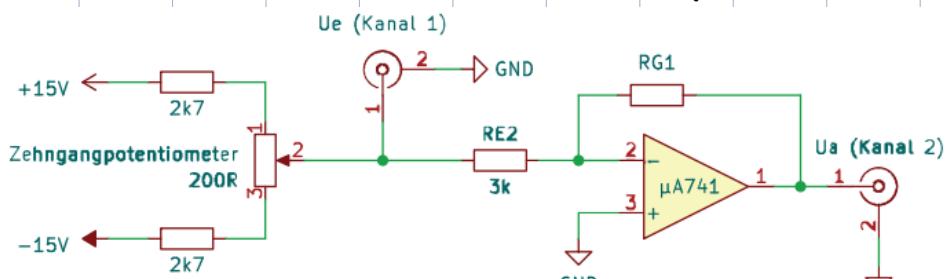
Aufgabe 1: μA741 als Verstärker für Gleich und Wechselspannung

a) für Gleichspannung:

Mit dem Oszilloskop

(Stellung DC) werden

Gleichspannungsanteile gemessen.



Schaltung Gleichspannungsverstärker -

Es werden für insgesamt 8 verschiedene Spannungen U_i mit $U_i \in [-0.25 \text{ V}, 0.25 \text{ V}]$

die Ausgangsspannungen $U_a = f(U_i)$ gemessen. Es werden jeweils Messungen mit

Gegenkopplwiderständen der Werte $R_g = 48.7 \text{ k}\Omega$ (S_2 in Stellung 3) und $R_g = 274 \text{ k}\Omega$

(S_2 in Stellung 2) durchgeführt.

Tabelle 1: Gleichspannungsverstärkung mit $R_g = 48.7 \text{ k}\Omega$

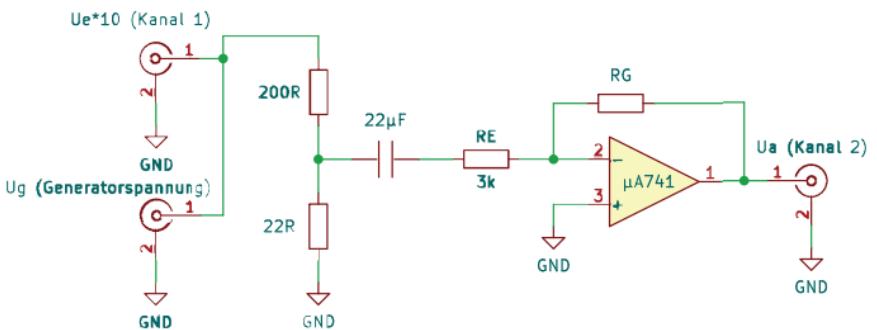
Eingangsspannungen $U_i [\text{V}]$	$\Delta U_i [\text{V}]$	Ausgangsspannungen $U_a [\text{V}]$	$\Delta U_a [\text{V}]$
-0.25	0.02	4.70	0.05
-0.20	0.02	3.21	0.05
-0.15	0.02	2.46	0.05

- 0.10	0.02	1.69	0.05
- 0.05	0.02	0.88	0.05
0	0.02	0.08	0.05
0.05	0.02	-0.70	0.05
0.10	0.02	-1.47	0.05
0.15	0.02	-2.27	0.05
0.20	0.02	-3.11	0.05
0.25	0.02	-3.89	0.05

Tabelle 2: Gleichspannungsverstärkung mit $R_g = 274 \text{ k}\Omega$

Eingangsspannungen $U_i [\text{V}]$	$\Delta U_i [\text{V}]$	Ausgangsspannungen $U_o [\text{V}]$	$\Delta U_o [\text{V}]$
- 0.25	0.02	14.3	0.1
- 0.20	0.02	14.3	0.1
- 0.15	0.02	13.8	0.1
- 0.10	0.02	9.57	0.1
- 0.05	0.02	4.92	0.1
0	0.02	0.40	0.1
0.05	0.02	- 4.13	0.1
0.10	0.02	- 8.36	0.1
0.15	0.02	- 12.70	0.1
0.20	0.02	- 12.30	0.1
0.25	0.02	- 12.80	0.1

b) Des weiteren werden die Wechselspannungen in der Stellung A bei einer Spannung von $U_i = \frac{U_g}{10}$ gemessen, wobei U_g die Spannung am Generator bezeichnet. In diesem Aufgabenteil wird der Schalter S_1 in Stellung 2 gestellt. Die Generatorspannung wird mit einem Spannungssteiler $220S_1 / 20S_1$ um den Faktor 10 verstärkt. Es wird $U_a = f(U_i) = f\left(\frac{U_g}{10}\right)$ bei 1kHz für ca. 6 Werte von $U_g \in [0, 1V_{ss}]$ gemessen, welche beim Sinusrechteckgenerator eingestellt werden. Die Messung werden jeweils mit $R_G = 274\text{k}\Omega$ (S_2 in Stellung 2) und $R_G = 690\text{k}\Omega$ (S_2 in Stellung 1) durchgeführt:



Schaltung Wechselspannungsverstärker

Tabelle 3: Wechselspannungsverstärker bei $R = 274\text{k}\Omega$

Eingangsspannung U_i [V]	Ausgangsspannung U_a [V]	ΔU_a [V]
0.1	7.24	0.05
0.08	5.80	0.05
0.06	4.50	0.05
0.04	3.00	0.05
0.02	1.80	0.05
0.01	0.80	0.05

Tabelle 4: Wechselspannungsverstärker bei $R = 680 \text{ k}\Omega$

Eingangsspannung $U_i [\text{V}]$	Ausgangsspannung $U_o [\text{V}]$	$\Delta U_A [\text{V}]$
0.1	18.2	0.1
0.08	14.6	0.1
0.06	11.0	0.1
0.04	7.2	0.1
0.02	3.8	0.1
0.01	2.0	0.1

D.S.: Fehler ΔU_A ist vernachlässigbar

Aufgabe 2: Aufnahme des Frequenzgangs verschiedener Verstärkerkonstellationen (Schaltung wie 1 b)

a) Es wird der Frequenzgang $V = f(\nu)$ des gekoppelten Verstärkers zwischen 100 Hz und 300 kHz für je 3 verschiedene Gegenkopplungen aufgenommen. Der Fehler liegt jeweils bei $\Delta U_A = 0.02 \text{ V}$

Tabelle 5: Frequenzgang bei $U_G = 1 \text{ V}_{\text{SS}}$, $R_G = 48.7 \text{ k}\Omega$

Frequenz $\nu [\text{Hz}]$	Ausgangsspannungen $U_o [\text{V}_{\text{SS}}]$
100	1.56
300	1.56
600	1.56
1000	1.56
3000	1.56

6000	1.54
10000	1.54
30000	1.38
60000	1.06
100000	0.80
300000	0.32

$$= 0.3V$$

Tabelle b : Frequenzgang bei $U_G = 0.3V_{SS}$, $R_G = 274 k\Omega$

Frequenz ν [Hz]	Ausgangsspannungen U_o [V _{SS}]
100	2.32
300	2.32
600	2.32
1000	2.32
3000	2.32
6000	2.08
10000	1.68
30000	0.88
60000	0.48
100000	0.16
300000	0.08

$$= 0.3 \text{ V}$$

Tabelle 7: Frequenzgang bei $U_G = 0.3 \text{ V}_{\text{SS}}$, $R_G = 680 \text{ k}\Omega$

Frequenz ν [Hz]	Ausgangsspannungen U_{a} [V_{SS}]
100	5.92
300	5.42
600	5.84
1000	5.76
3000	4.72
6000	3.36
10000	2.28
30000	0.88
60000	0.48
100000	0.16
300000	0.08

b) Wir nehmen wie 2a) einen Frequenzgang des mit einer Kapazität gegenkoppelten Verstärkers auf: $U_G = 1 \text{ V}_{\text{SS}}$. Schalter S_1 in Stellung z, Schalter S_2 in Stellung 4

Schaltung 2:

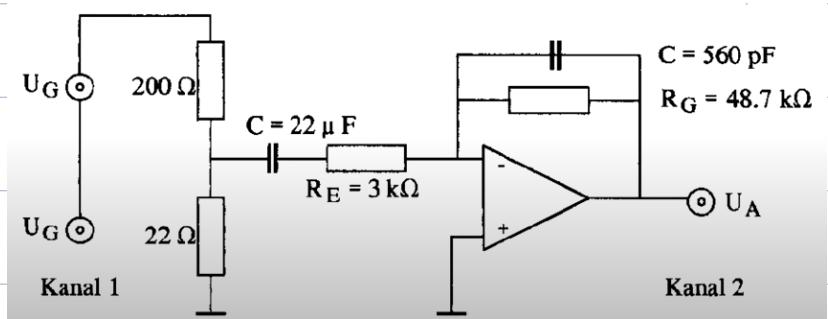


Tabelle 8 : Frequenzgang $U_A = 1.0 V_{GS}$, $R_G = 48.7 \text{ k}\Omega$, $C = 560 \text{ pF}$

Frequenz ν [Hz]	Ausgangsspannungen U_A [V _{SS}]
100	1.56
300	1.56
600	1.56
1000	1.56
3000	1.42
6000	1.14
10000	0.70
30000	0.34
60000	0.20
100000	0.08
300000	0.04

- c) Wir wiederholen die Messung 2a) mit $R_E = 48.7 \text{ k}\Omega$ (S_2 in Stellung 3) zwischen 300 Hz und 20 kHz, jedoch mit dem platten Kondensator am Eingang ($U_G = 1 \text{ V}_{GS}$, $C = 47 \text{ nF}$). Schalter S_1 in Stellung 3

Tabelle 9 : Frequenzgang $U_A = 7.0 \text{ V}_{ss}$, $R_G = 48.7 \text{ k}\Omega$, $C = 47 \text{ nF}$

Frequenz ω [Hz]	Ausgangsspannungen U_A [V _{ss}]
100	0.156
300	0.410
600	0.760
1000	1.060
2000	1.440
6000	1.520
10000	1.440
20000	1.380

Aufgabe 3 : Impulsverstärkung

Ein Rechtecksignal einer geeigneten Amplitude je nach Rückkopplungseinstellung mit einer Frequenz von 1kHz wird auf den Verstärker gegeben und wir nehmen für jede Einstellung der Gegenkopplung ein Bildschirmbild auf, dass die Ausgangsspannung U_O zeigt, und eines, dass das FFT der Ausgangsspannung zeigt, auf.

29.04.2021

15

3 Auswertung

3.1 μA741 als Verstärker für Gleich- und Wechselspannungen

Es wird ein Diagramm erstellt, das die Beziehung zwischen der Ausgangsspannung U_a und der Eingangsspannung U_1 sowohl für Gleichspannung als auch für Wechselspannung zeigt. Für die Widerstände R_G und R_E werden jeweils eine Fehlertoleranz von 10% angenommen. Für die Messwerte aus Tabelle 1 ergibt sich:⁵

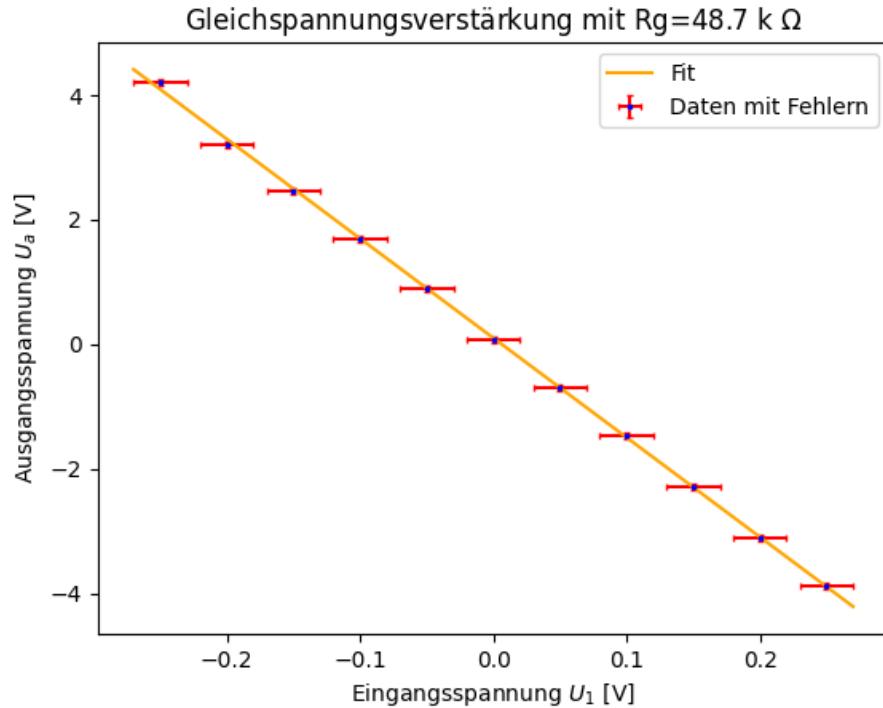


Abbildung 6: Ausgangsspannung U_a in Abhängigkeit von Eingangsspannung U_1

Die experimentell gemessene Betriebsverstärkung lässt sich der Steigung von Fit-Gerde auswerten:

$$V'_1 = \frac{U_A}{U_1} = 15.96 \pm 0.09 \quad (7)$$

Analog lässt sich die theoretische Betriebsverstärkung aus der Gl.(6) bestimmen:

$$\bar{V}'_{10} = \frac{R_G}{R_E} = 16,2 \quad (8)$$

$$\Delta \bar{V}'_1 = \bar{V}'_{10} \cdot \sqrt{\left(\frac{\Delta R_G}{R_G}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R_E}{R_E}\right)^2} = 2.3 \quad (9)$$

$$\underline{\bar{V}'_1 = \bar{V}'_{10} + \Delta \bar{V}'_1 = 16.18 \pm 2.33} \quad (10)$$

⁵Python Code 1

Wir vergleichen die beiden Werte mit der Fehlerabschätzung:

$$\frac{|V'_2 - \bar{V}'_2|}{\sqrt{(\Delta V'_2)^2 + (\Delta \bar{V}'_2)^2}} \approx 1.77 \quad (11)$$

Die Fehlerabweichung beträgt weniger als 3σ und ist nicht signifikant. Aus Tabelle 2 ergibt sich:

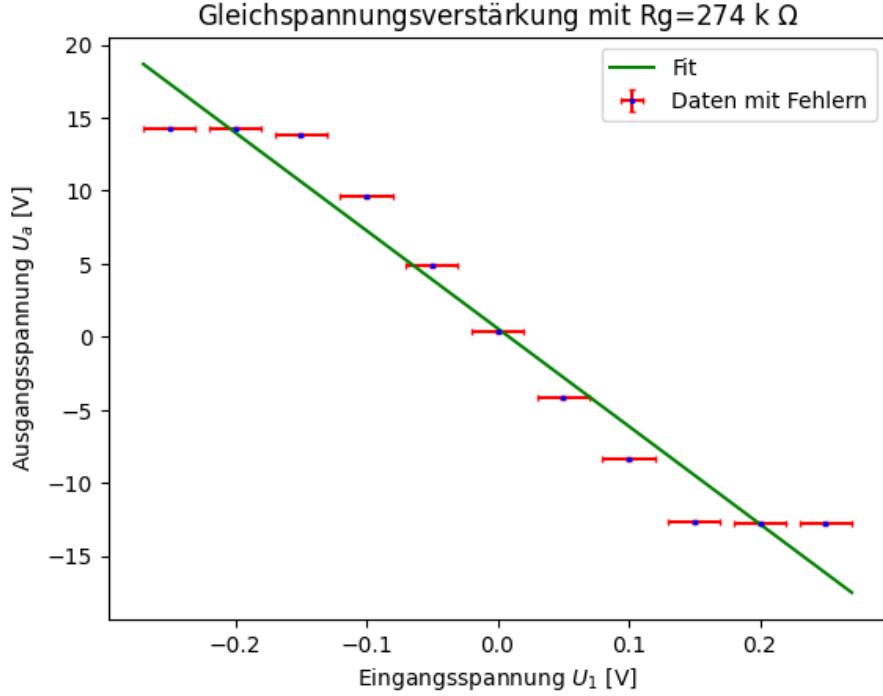


Abbildung 7: Ausgangsspannung U_a in Abhängigkeit von Eingangsspannung U_1

Die experimentell gemessene Betriebsverstärkung lässt sich der Steigung von Fit-Gerade auswerten:

$$V'_2 = \frac{U_A}{U_1} = 66.97 \pm 4.68 \quad (12)$$

Analog lässt sich die theoretische Betriebsverstärkung aus der Gl.(6) bestimmen:

$$\bar{V}'_{20} = \frac{R_G}{R_E} = 91,33 \quad (13)$$

$$\Delta \bar{V}'_2 = \bar{V}'_{20} \cdot \sqrt{\left(\frac{\Delta R_G}{R_G}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R_E}{R_E}\right)^2} = 12,91 \quad (14)$$

$$\underline{\bar{V}'_2 = \bar{V}'_{10} + \Delta \bar{V}'_1 = 91,33 \pm 12,91} \quad (15)$$

Wir vergleichen die beiden Werte mit der Fehlerabschätzung:

$$\frac{|V'_2 - \bar{V}'_2|}{\sqrt{(\Delta V'_2)^2 + (\Delta \bar{V}'_2)^2}} \approx 1.77 \quad (16)$$

Trotz der großen absoluten Fehler beträgt die Fehlerabweichung weniger als 3σ und ist nicht signifikant. Bei jedem der beiden Plots zeigt die negative Steigung die invertierende Eigenschaft des Verstärkers.

Wenn man die Peak-to-Peak-Ausgangsamplitude bei verschiedenen Eingangswechselspannungen für Widerstandswerte von $274 \text{ k}\Omega$ und $680 \text{ k}\Omega$ aufträgt, ergibt sich folgendes Ergebnis:

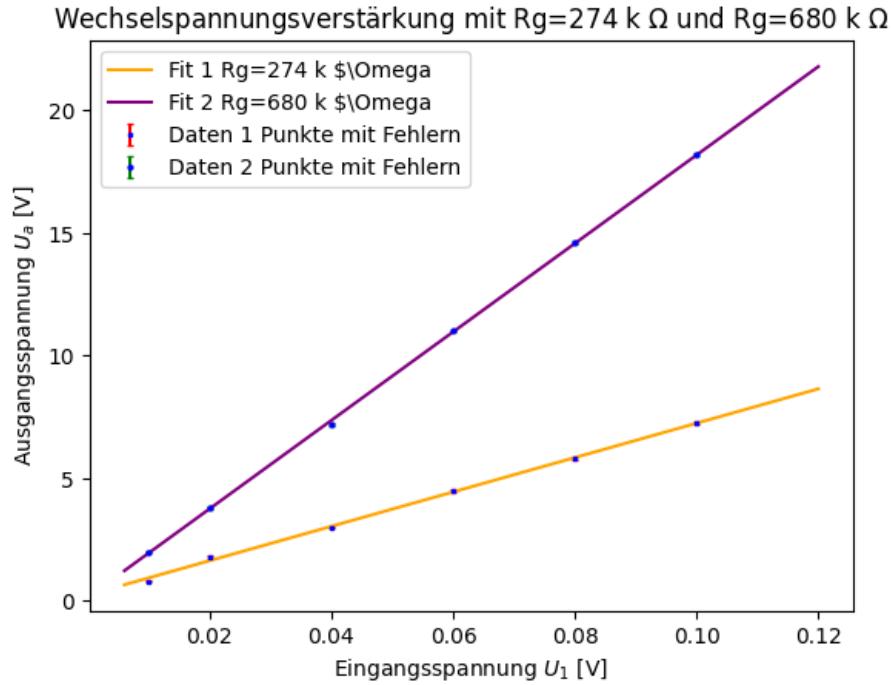


Abbildung 8: Ausgangsspannung U_a in Abhängigkeit von Eingangsspannung U_1

Die experimentell gemessene Betriebsverstärkung lässt sich der Steigung von Fit-Geraden auswerten:

$$V'_3 = \frac{U_A}{U_1} = 70.10 \pm 1.46 \quad (17)$$

$$V'_4 = \frac{U_A}{U_1} = 180 \pm 3 \quad (18)$$

$$(19)$$

Analog lassen sich die beiden theoretischen Betriebsverstärkungen bestimmen:

$$\bar{V}'_3 = 91, 33 \pm 12, 91 \quad (20)$$

$$\bar{V}'_4 = 227 \pm 32 \quad (21)$$

$$(22)$$

Wir vergleichen die beiden Werte mit der Fehlerabschätzung:

$$\frac{|V'_3 - \bar{V}'_3|}{\sqrt{(\Delta V'_3)^2 + (\Delta \bar{V}'_3)^2}} \approx 1.64 \quad (23)$$

$$\frac{|V'_4 - \bar{V}'_4|}{\sqrt{(\Delta V'_4)^2 + (\Delta \bar{V}'_4)^2}} \approx 1.46 \quad (24)$$

(25)

Trotz der großen absoluten Fehler betragen die beiden Fehlerabweichungen weniger als 3σ und sind damit nicht signifikant.

3.2 Aufnahme des Frequenzganges verschiedener Verstärkerkonstellationen

Die gemessenen Spitze-Spitze Spannungen aus den Teilaufgaben werden gegen die angelegten Frequenzen doppeltlogarithmisch in einem gemeinsamen Diagramm geplottet, wobei die unterschiedlichen Eingangsspannungen beachtet werden sollen.⁶

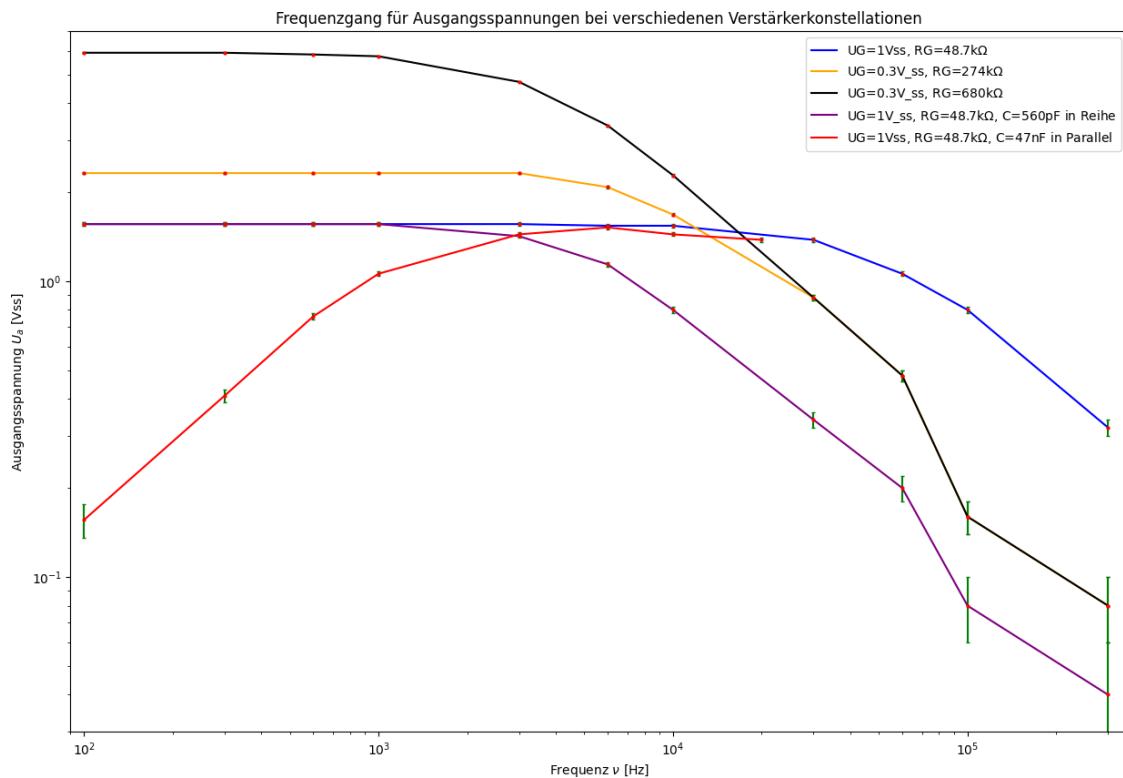


Abbildung 9: Ausgangsspannung U_a in Abhängigkeit von Frequenz ν

Für Aufgabe (a) ist es deutlich erkennbar, dass die 3 Betriebsverstärkungen (Kurve 1 - 3) bis eine bestimmte Grenzfrequenz konstant bleibt, während danach die Aus-

⁶Python Code 2

gangsspannung fast linear abfällt und in die Leerlaufverstärkung übergeht. Die Gegenkopplung sorgt somit durch eine Reduzierung der Verstärkung für eine Linearität des Frequenzgangs. Jedoch lässt sich bemerken, dass es bei der Situation $U_G = 1V_{ss}$ und $R_G = 48,7\Omega$ eine starke Abweichung gibt, denn die 3 lineare Anteile nach Bodediagramm sich miteinander übereinstimmen sollen. Der Grund dafür werden wir in Diskussion weiter führen.

Wenn man einen Kondensator in den Gegenkopplungszweig einfügt, werden höhere Frequenzen stärker gegengekoppelt als niedrigere Frequenzen. Dies führt zu einem aktiven Tiefpass. Dies ist auch der Grund für Tendenz der 4.Situation, dass die Kurve zunächst analog zu ihrer Entsprechung in 2a) mit demselben Widerstand verläuft, dann jedoch deutlich früher abfällt.

Schalten wir bei der letzten Situation den Kondensator parallel zum Widerstand so bekommen wir einen aktiven Hochpass am Eingang, wodurch die Gegenkopplung bei hohen Frequenzen nicht wirkt, da die Impedanz des Kondensators den Widerstand R_E überbrückt und daher viel geringer ist als dieser. Die Kurve ist deswegen im Vergleich zu den vorherigen Messungen auf der Frequenzachse invertiert.

3.3 Impulsverstärkung

Bei dieser Aufgabe wurde ein Rechtecksignal mit einer Frequenz von 1 kHz in den Verstärker eingesetzt, wobei die Amplitude entsprechend der gewählten Rückkopplungseinstellung angepasst und für jede Einstellung der Gegenkopplung ein Bildschirmbild aufgenommen werden:

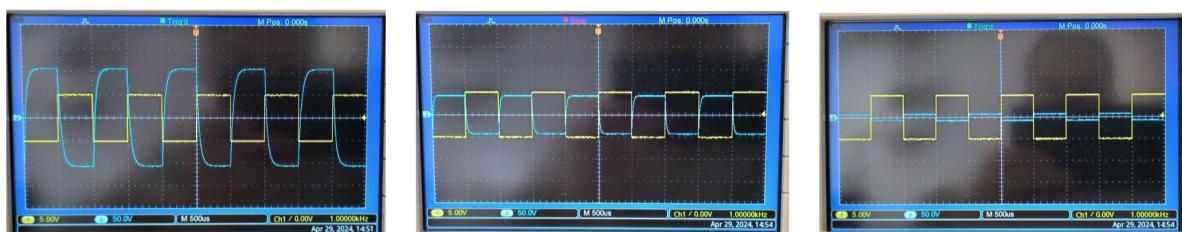


Abbildung 10: Rechtecksignal in Reihenschaltung mit $C = 22\mu F$ und Gegenkopplungen links nach rechts: $680k\Omega$, 274Ω , 48.7Ω

Ein Rechtecksignal kann durch die Kombination mehrerer Frequenzen erzeugt und als Fourierreihe dargestellt werden. Die steilen Flanken des Rechtecks entstehen durch hohe Frequenzen, während die niedrigeren Frequenzen die Grundform des Signals festlegen, d.h. ob das Rechteck nach oben oder unten zeigt. Wenn die Verstärkung erhöht wird, werden die Flanken des Rechtecks abgeflacht, da die hohen Frequenzen weniger verstärkt werden. Dieses Verhalten zeigt den Effekt eines Tiefpassfilters mit stärkerem Rückkopplungswiderstand.

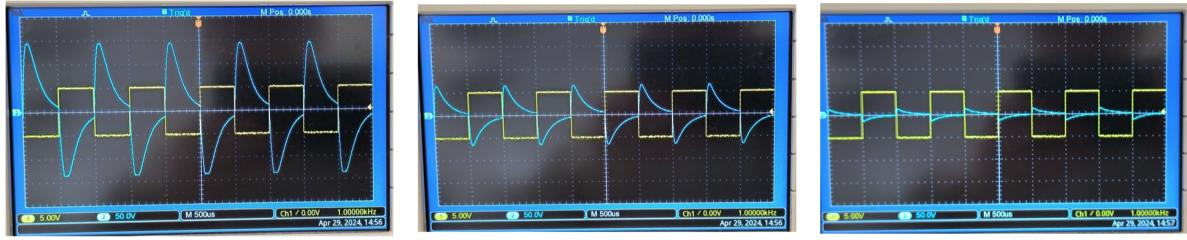


Abbildung 11: Rechtecksignal in Parallelschaltung mit $C = 47\mu F$ und Gegenkopplungen links nach rechts: $680k\Omega$, 274Ω , 48.7Ω

In der zweiten Konfiguration zeigt die Form der Kurve die Hochpasswirkung mit schwächerem Rückkopplungswiderstand der Schaltung: Hierbei werden hohe Frequenzen, die für die scharfen Kanten des Signals verantwortlich sind, stärker verstärkt, während tiefere Frequenzen, die überwiegend in den konstanten Bereichen vorkommen, gedämpft werden. Dies führt dazu, dass die scharfen Kanten in ihrer Verstärkung weitgehend unverändert bleiben, während die flacheren, konstanten Bereiche aufgrund der Dämpfung abfallen.

Wenn beide Konfigurationen kombiniert werden, addieren sich auch ihre Filtereigenschaften - durch die Dämpfung der sehr hohen und niedrigen Frequenzen entsteht ein Bandpassfilter. Dies führt dazu, dass sowohl die scharfen Kanten als auch die konstanten Bereiche gedämpft werden, was das Signal näher an eine Sinuskurve derjenigen Frequenz bringt, die der Bandpassfilter nicht dämpft, und man erhält somit eine gewünschte Impulsverstärkung!

4 Zusammenfassung und Diskussion

In diesem Experiment wurden die Eigenschaften und Funktionsweisen der lineare Spannungsverstärker am Beispiel des $\mu A741$ Operationsverstärker genauer untersucht. Zunächst wurde der Operationsverstärker als Gleichspannungs- und Wechselspannungsverstärker eingesetzt, um die Beziehung zwischen Eingangsspannung und Ausgangsspannung bei unterschiedlichen Widerständen zu forschen. Dabei lassen sich die Betriebsverstärkungen sowohl experimentell aus den Steigungen aus der linearer Beziehung als auch theoretisch durch Verhältnis der Widerständen ausrechnen, wobei die beiden Werte miteinander gut übereinstimmen (Fehlerabschätzung weniger als 3σ). Jedoch ist zu beachten, dass die Fehler der theoretischen Werte viel signifikanter sind als die der experimentellen Werte. Dies liegt an den überschätzten Toleranzbereich (10%) der Widerstände, die durch Gauss-Fehlerfortpflanzung zu dem gesamten Fehler beitragen.

Außerdem gibt es bei Wechselspannungsquelle viel größere Abweichung zwischen den beiden Werten als die bei Gleichspannungsquelle. Es scheint, dass die zugrunde liegen-

de Formel keine präzise Beschreibung der Wechselstromverstärkung liefert, da solche erheblichen Abweichungen nicht im Gleichstrombetrieb beobachtet werden. Einerseits könnte dies einfach ein statistischer Ausreißer sein, andererseits ist die deutlich geringere gemessene Spannung im Vergleich zur berechneten Verstärkung ein Hinweis darauf, dass die Verstärkung bei Wechselstrom möglicherweise schwächer ist, als theoretisch zu erwarten wäre. Ebenso die instabile Frequenz übt einen negativen Einfluss auf die Messung, da wie in 2. Aufgabe schon gezeigt, soll man den charakteristischen Frequenzgang bei Operationsverstärker noch berücksichtigen.

Im zweiten Teil des Experiments wurde der Frequenzgang des Operationsverstärkers für verschiedene Schaltungen aufgezeichnet. Dabei wurde die Ausgangsspannung U_A in Abhängigkeit von der angelegten Frequenz gemessen. Dies wurde zunächst für verschiedene Gegenkopplungswiderstände durchgeführt, nämlich für $R_{G1} = 48,7\Omega$, $R_{G2} = 274\text{ k}\Omega$, und $R_{G3} = 680\text{ k}\Omega$. Es zeigt eine starke Abweichung bei $R_{G1} = 48,7\Omega$, weil die Messungen von $R_{G1} = 48,7\Omega$ und $R_{G2} = 274\text{ k}\Omega$, $R_{G2} = 274\text{ k}\Omega$, und $R_{G3} = 680\text{ k}\Omega$ wegen technischer Störung separat durchgeführt werden mussten, was dazu führt, dass die zwei Messreihen nicht unter der gleichen Eingangsspannung aufgezeichnet wurden. Allerdings ist der Trend noch realistisch, da die erste Linie offenbar eine größere Bandbreite besitzt als die zwei anderen.

Zusätzlich wurde der Frequenzgang bei einer Gegenkopplung mit $R_{G1} = 48,7\text{ k}\Omega$ und einem parallelgeschalteten Kondensator mit einer Kapazität von $C = 560\text{ pF}$ erfasst. Darüber hinaus wurde der Frequenzgang für eine Gegenkopplung mit $R_{G1} = 48,7\text{ k}\Omega$ und einem in Serie geschalteten Kondensator mit einer Kapazität von $C = 47\text{ nF}$ am Eingang aufgenommen. Wie im 2. Teil der Auswertung schon argumentiert wurden die entsprechenden Hochpassfilter und Tiefpassfilter Eigenschaften gezeigt. Bei extrem hohen Frequenzen verhalten sich fast alle Linien gleich, da die Verstärkungsfaktor schon sehr stark abfällt, wie bei Gl.(6) diskutiert wurde.

5 Anhang

Python Code Versuch 242

April 30, 2024

0.0.1 PAP 2.2 Versuch 242

Yuting Shi

```
[2]: import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy.optimize import curve_fit
```

Python Code 1

1. Gleichspannungsverstärkung mit $R_g=48.7 \text{ k } \Omega$

```
[3]: def line(x,a,b):
    return a*x+b

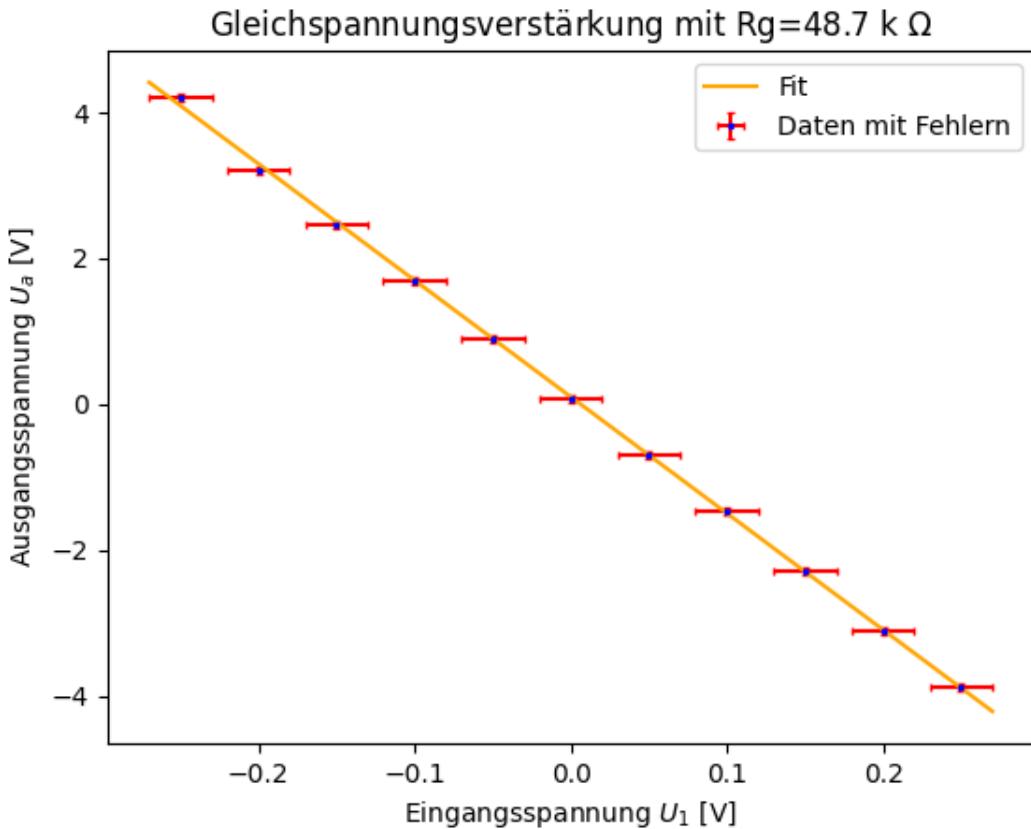
x1=np.array([-0.25, -0.20, -0.15, -0.10, -0.05, 0, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.
             -25])
y1=np.array([4.20, 3.21, 2.46, 1.69, 0.88, 0.08, -0.70, -1.48, -2.28, -3.11, -3.
             -88])
dx1=np.ones(11)*0.02
#print(dx)
dy1=np.ones(11)*0.05

popt, pcov = curve_fit(line, x1, y1)

plt.errorbar(x1, y1, xerr=dx1, yerr=dy1, color='blue', ecolor='red', capsize=1.
              -5, ms=2,fmt='s', label='Daten mit Fehlern')
xfine=np.linspace(-0.27, 0.27, 20)
plt.plot(xfine, line(xfine, popt[0], popt[1]),color='orange', label='Fit')
plt.xlabel('Eingangsspannung $U_1$ [V]')
plt.ylabel('Ausgangsspannung $U_a$ [V]')
plt.title('Gleichspannungsverstärkung mit  $R_g=48.7 \text{ k } \Omega$ ')
plt.legend()

print("a =", popt[0], "+/-", pcov[0,0]**0.5)
print("b =", popt[1], "+/-", pcov[1,1]**0.5)
```

```
a = -15.967272727921207 +/- 0.09325459068207154
b = 0.09727272379985112 +/- 0.014744845802901228
```



2. Gleichspannungsverstärkung mit $R_g=274 \text{ k } \Omega$

```
[4]: x2 = np.array([-0.25, -0.20, -0.15, -0.10, -0.05, 0, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.
    ↪25])
y2 = np.array([14.3, 14.3, 13.8, 9.57, 4.92, 0.40, -4.13, -8.36, -12.70, -12.
    ↪80, -12.80])

dx2 = np.ones(11) * 0.02
dy2 = np.ones(11) * 0.1

popt, pcov = curve_fit(line, x2, y2)

plt.errorbar(x2, y2, xerr=dx2, yerr=dy2, color='blue', ecolor='red', capsize=1.
    ↪5, ms=2, fmt='s', label='Daten mit Fehlern')

xfine = np.linspace(-0.27, 0.27, 20)
plt.plot(xfine, line(xfine, popt[0], popt[1]), color='green', label='Fit')
plt.xlabel('Eingangsspannung $U_1$ [V]')
plt.ylabel('Ausgangsspannung $U_a$ [V]')
plt.title('Gleichspannungsverstärkung mit  $R_g=274 \text{ k } \Omega$ ')
```

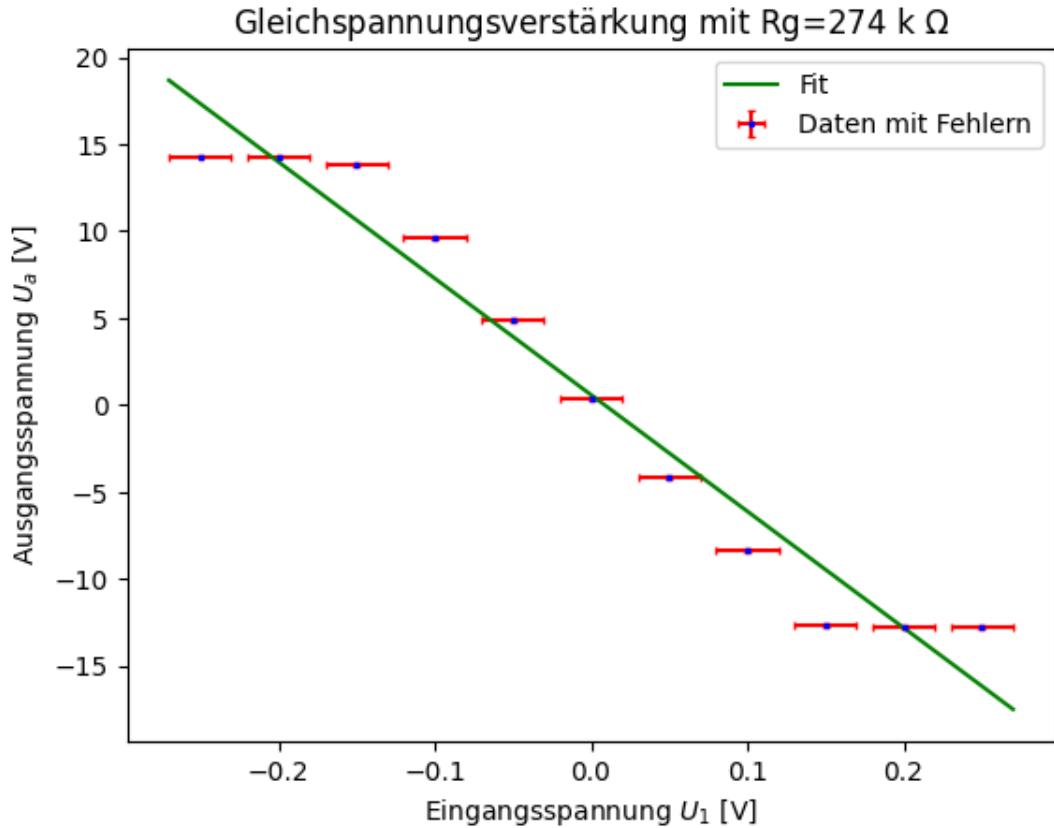
```

plt.legend()

print("a =", popt[0], "+/-", pcov[0,0]**0.5)

```

a = -66.96545456670259 +/- 4.681559016606168



3. Wechselspannungsverstärkung mit $R_g=274 \text{ k } \Omega$ und $R_g=680 \text{ k } \Omega$

```

[5]: x3 = np.array([0.1, 0.08, 0.06, 0.04, 0.02, 0.01])
y3 = np.array([7.24, 5.80, 4.50, 3.00, 1.80, 0.80])
dy3 = np.ones(6) * 0.05

popt3, pcov3 = curve_fit(line, x3, y3)

x4 = np.array([0.1, 0.08, 0.06, 0.04, 0.02, 0.01])
y4 = np.array([18.2, 14.6, 11.0, 7.2, 3.8, 2.0])
dy4 = np.ones(6) * 0.05

popt4, pcov4 = curve_fit(line, x4, y4)

```

```

plt.errorbar(x3, y3, yerr=dy3, color='blue', ecolor='red', capsize=1.5, ms=2, u
             ↪fmt='s', label='Daten 1 Punkte mit Fehlern')
xfine = np.linspace(0.006, 0.12, 20)
plt.plot(xfine, line(xfine, popt3[0], popt3[1]), color='orange', label='Fit 1
             ↪Rg=274 k $\Omega$')

plt.errorbar(x4, y4, yerr=dy4, color='blue', ecolor='green', capsize=1.5, ms=2, u
             ↪fmt='o', label='Daten 2 Punkte mit Fehlern')
plt.plot(xfine, line(xfine, popt4[0], popt4[1]), color='purple', label='Fit 2
             ↪Rg=680 k $\Omega$')

# Achsenbeschriftung und Diagrammtitel
plt.xlabel('Eingangsspannung $U_1$ [V]')
plt.ylabel('Ausgangsspannung $U_a$ [V]')
plt.title('Wechselspannungsverstärkung mit Rg=274 k $\Omega$ und Rg=680 k
             ↪$\Omega$')

plt.legend()

# Ergebnisse des Fits ausgeben
print("Ergebnisse für Datenreihe 1:")
print("a =", popt3[0], "+/-", pcov3[0, 0] ** 0.5)
print("b =", popt3[1], "+/-", pcov3[1, 1] ** 0.5)

print("\nErgebnisse für Datenreihe 2:")
print("a =", popt4[0], "+/-", pcov4[0, 0] ** 0.5)
print("b =", popt4[1], "+/-", pcov4[1, 1] ** 0.5)

```

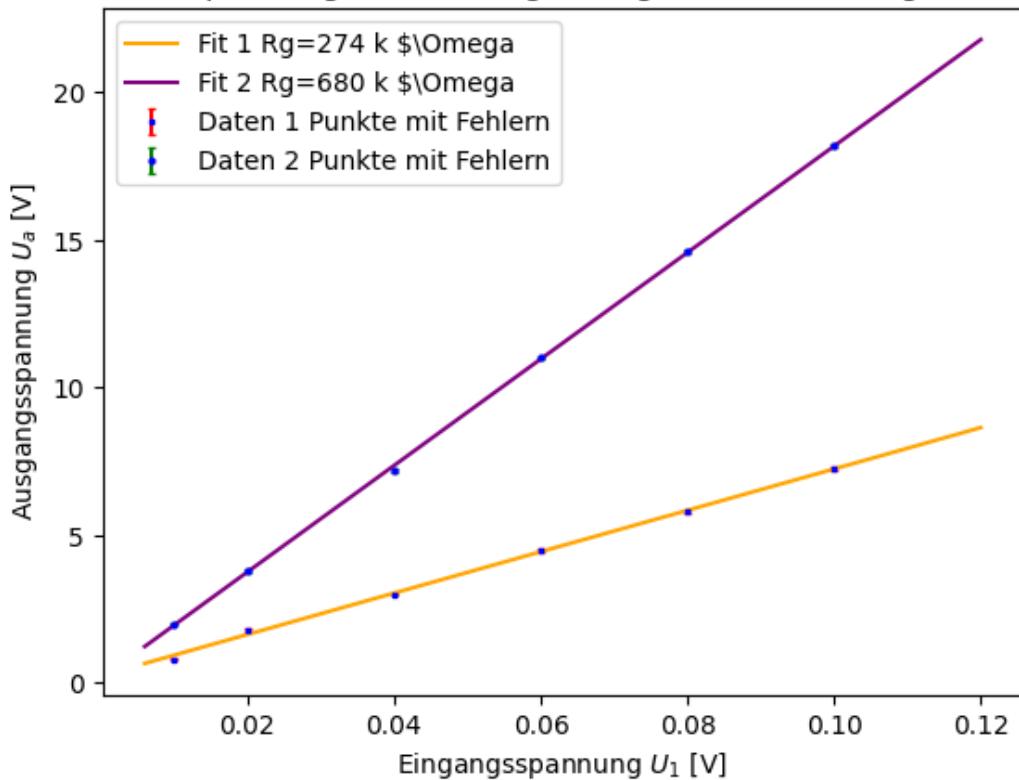
Ergebnisse für Datenreihe 1:

a = 70.09863012827259 +/- 1.4610115314333085
b = 0.23490411028490069 +/- 0.08866947390255625

Ergebnisse für Datenreihe 2:

a = 180.38356142014027 +/- 1.154592473565609
b = 0.1468493309998397 +/- 0.0700727521811418

Wechselspannungsverstärkung mit $R_g=274 \text{ k } \Omega$ und $R_g=680 \text{ k } \Omega$



Python Code 2

```
[6]: f=np.array([100,300,600,1000,3000,6000,10000,30000,60000,100000,300000]) ↴
    ↵#Frequenz
    # $U_G=1V_{ss}$ ,  $R_G=48.7k \Omega$ 
    U_a_1=np.array([1.56,1.56,1.56,1.56,1.56,1.54,1.54,1.38,1.06,0.80,0.32])
    # $U_G=0.3V_{ss}$ ,  $R_G=274k \Omega$ 
    U_a_2=np.array([2.32, 2.32, 2.32, 2.32, 2.32, 2.08, 1.68, 0.88, 0.48, 0.16, 0.
    ↵08])
    # $U_G=0.3V_{ss}$ ,  $R_G=680k \Omega$ 
    U_a_3=np.array([5.92,5.92, 5.84, 5.76, 4.72, 3.36, 2.28,0.88,0.48,0.16,0.08])
    # $U_G=1V_{ss}$ ,  $R_G=48.7k \Omega$ ,  $C=560pF$  in Parallel
    U_a_4=np.array([1.56, 1.56,1.56,1.56,1.42,1.14,0.80,0.34,0.20,0.08,0.04])
    # $U_G=1V_{ss}$ ,  $R_G=48.7k \Omega$ ,  $C=47nF$  in Reihe
    f0=np.array([100,300,600,1000,3000,6000,10000,20000])
    U_a_5=np.array([0.156,0.410,0.760,1.060,1.440,1.520,1.440,1.380])
    #Fehler Ausgangsspannung
    dU=np.ones(11)*0.02
    dU0=np.ones(8)*0.02
    #print(len(U_a_5))
```

```
[7]: plt.figure(figsize=(15, 10))

#Plotten U_G=1V_{ss}, R_G=48.7k \Omega
plt.errorbar(f, U_a_1, yerr=dU, color='red', ecolor='green', capsize=1.5, ms=2,fmt='o')
plt.loglog(f,U_a_1, label='UG=1Vss, RG=48.7k$\Omega', color='blue')

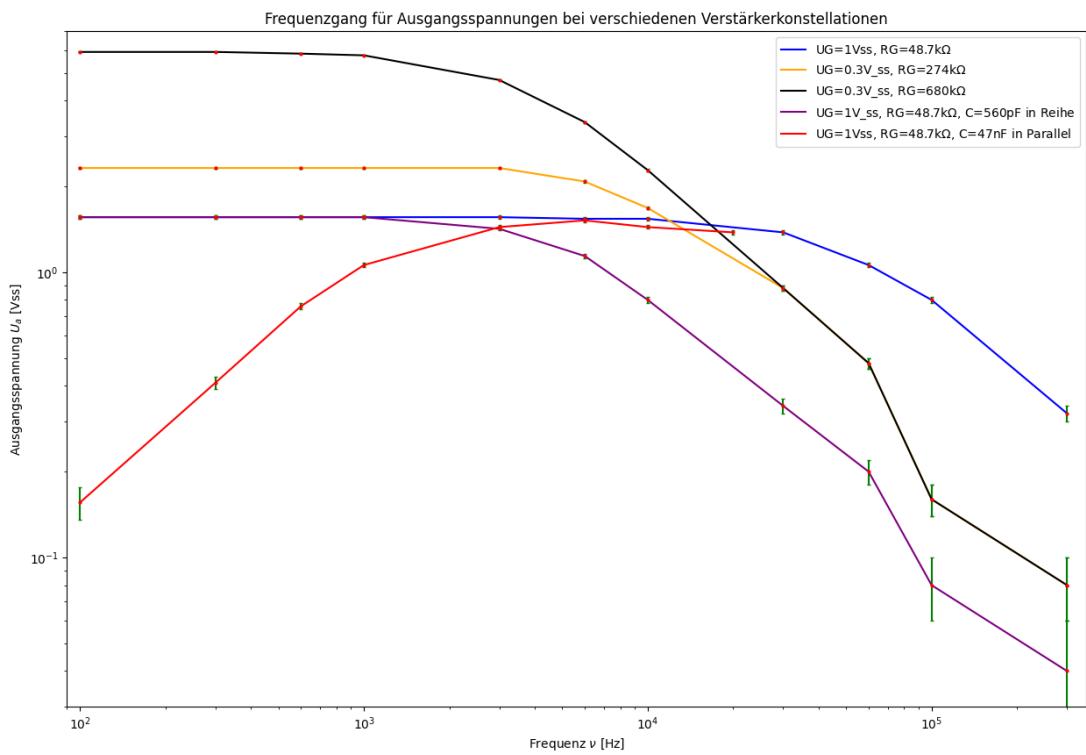
#Plotten U_G=0.3V_{ss}, R_G=274k \Omega
plt.errorbar(f, U_a_2, yerr=dU, color='red', ecolor='green', capsize=1.5, ms=2,fmt='o')
plt.loglog(f,U_a_2, label='UG=0.3V_ss, RG=274k$\Omega', color='orange')

#Plotten U_G=0.3V_{ss}, R_G=680k \Omega
plt.errorbar(f, U_a_3, yerr=dU, color='red', ecolor='green', capsize=1.5, ms=2,fmt='o')
plt.loglog(f,U_a_3, label='UG=0.3V_ss, RG=680k$\Omega', color='black')

#Plotten U_G=1V_{ss}, R_G=48.7k \Omega, C=560pF in Parallel
plt.errorbar(f, U_a_4, yerr=dU, color='red', ecolor='green', capsize=1.5, ms=2,fmt='o')
plt.loglog(f,U_a_4, label='UG=1V_ss, RG=48.7k$\Omega, C=560pF in Reihe',color='purple')

#Plotten U_G=1V_{ss}, R_G=48.7k \Omega, C=47nF in Reihe
plt.errorbar(f0, U_a_5, yerr=dU0, color='red', ecolor='green', capsize=1.5,ms=2, fmt='o')
plt.loglog(f0,U_a_5, label='UG=1Vss, RG=48.7k$\Omega, C=47nF in Parallel',color='red')

plt.xlim(90, 350000)
plt.ylim(0.03,7)
plt.xlabel('Frequenz $\nu$ [Hz]')
plt.ylabel('Ausgangsspannung $U_a$ [Vss]')
plt.title('Frequenzgang für Ausgangsspannungen bei verschiedenen Verstärkerkonstellationen')
plt.legend()
plt.show()
```



[]:

6 Quelle

- Wagner, J. (April 2022). Physikalisches Praktikum PAP 2.2 für Studierende der Physik [Praktikumsanleitung]. Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg. Abgerufen am 05. April 2024, von https://www.physi.uni-heidelberg.de/Einrichtungen/AP/info/Corona/2_2_2022.pdf