PAP 2.2
Versuch 242: "Spannungsverstärker"

Jonas Schweer

15. Januar 2025

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung **2**
- 1.1 Ziel des Versuchs . . . 2
- 1.2 Versuchsaufbau . . . 2
- 1.3 Physikalische Grundlagen . . . 3

2 Messprotokoll **4**

3 Auswertung **13**
- 3.1 Auswertungsaufgabe 1 . . . 13
- 3.2 Auswertungsaufgabe 2 . . . 15
- 3.3 Auswertungsaufgabe 3 . . . 16

4 Zusammenfassung und Diskussion **17**

5 Anhang **18**

1 Einleitung

1.1 Ziel des Versuchs

In diesem Versuch wollen wir das Verhältnis zwischen Eingangs und Ausgangsspannung eines Operationsverstärkers untersuchen. Wir ändern sowohl zwischen Gleich- und Wechselspannung, als auch die Gegenkopplung. Schließlich schauen wir uns noch den Frequenzgang der Verstärkung bei hohen sowie niedrigen Frequenzen an und bei unterschiedlichen Gegenkopplungen. Als letztes Messen wir das Verhalten von Rechtecksignalen bei verschiedenen Frequenzen nach dem Verstärker.

1.2 Versuchsaufbau

Für unsere Versuche nutzen wir Schaltkreise der folgenden Art:

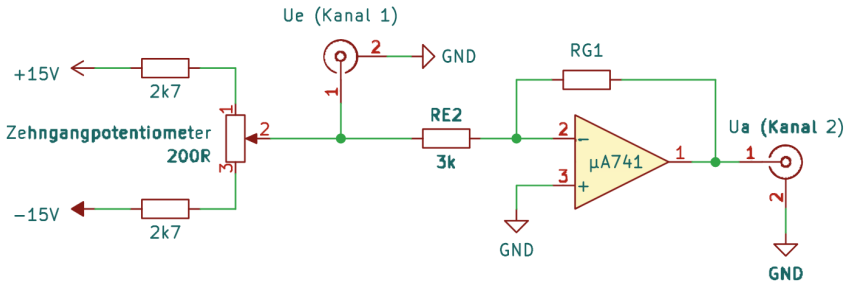


Abbildung 1: Schaltung Gleichspannungsverstärker

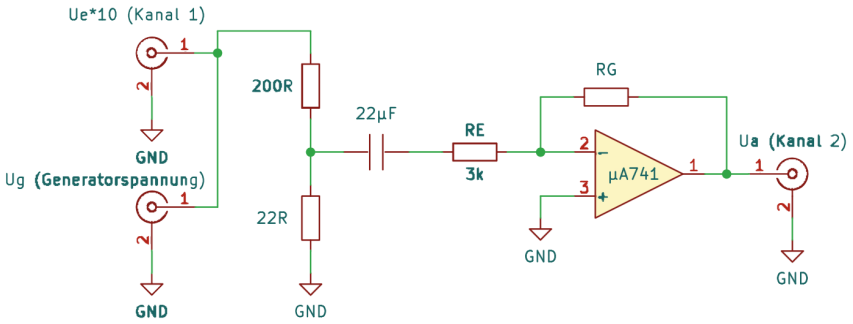


Abbildung 2: Schaltung Wechselspannungsverstärker

[1]

Beide dieser Schaltungen sind in eine Verstärkerbox eingebaut, und wir können zwischen den einzelnen Aufbauten mittels Umlegen von Schaltern wechseln. Zentrales Bauelement, welches wir in dieser Versuchsreihe genauer untersuchen wollen, ist der "μA741". In dem Schaltplan ist er erkennbar als Dreieck mit zwei Eingängen und einem Ausgang (oder durch die Aufschrift μA741, das ist vermutlich eindeutiger). Dies ist unser Operationsverstärker. In beiden Schaltplänen sehen wir, dass der positive Eingang geerdet ist. Auch sehen wir, dass der Ausgang des nach aufspalten wieder mit dem negativen

[1] Abbildungen entnommen aus Physikalisches Praktikum PAP2.2 für Studierende der Physik B.Sc.", Jens Wagner, 2024

Eingang verbunden ist, in den auch die Eingangsspannung führt. Der eingebaute Widerstand $RG1$ lässt sich in unserem Versuchsaufbau zwischen verschiedenen Größen umschalten. Auch können wir ihn zu einem Tiefpass machen (durch Parallelschalten eines Kondensators). Die angeschlossene Eingangsspannung können wir ebenfalls einstellen. Der Wechselstrom, welchen wir für einige Messungen brauchen, beziehen wir aus einem Sinusgenerator. Ausgelesen werden die Messungen dann über ein nebenstehendes Oszilloskop in dessen Eingang 1 die Eingangsspannung gegeben wird, und in Eingang 2 die Ausgangsspannung. So ist ein einfacher Vergleich der beiden möglich.

1.3 Physikalische Grundlagen

Oftmals muss man in naturwissenschaftlichen Messungen Spannungssignale auswerten. Da diese allerdings nur sehr kleine Spannungen sein können, braucht man in der Regel so genannte Operationsverstärker, die die kleinen Spannungen für eine quantitative Auswertung nutzbar machen. Da die meisten (so wie unser verwendeter) Verstärker Differenzenverstärker sind, die die Spannungsdifferenz ihrer zwei Eingänge verstärken, wird gewöhnlicherweise einer der beiden Eingänge geerdet. So kann man die Spannung, welche in den anderen Eingang gegeben wird, verstärkt. Wir verwenden den μA741 als invertierenden Verstärker, das bedeutet, dass das Ausgangssignal 180° zum Eingangssignal Phasenverschoben ist.
Der Eingangswiderstand eines Verstärkers $R_E = \frac{U_E}{I_E}$ sollte so groß wie möglich gewählt werden, sodass wenig Strom fließt und so das Eingangssignal wenig belastet wird. Der Ausgangswiderstand $R_A = \frac{U_A}{I_A}$ wiederum sollte möglichst klein sein.
Als Leerlaufverstärkung $V_o = \frac{U_A}{U_E}$ ist das Verhältnis zwischen Aus- und Eingangsspannung. Sie ist invers proportional (in einer doppellogarhitmischen Skala) zur Frequenz f, ab 10Hz jedoch nimmt sie nicht weiter zu. Um die Leerlaufspannung besser kontrollieren zu können, muss man zudem noch eine Rückkopplung in Form eines Widerstands einbauen. Dieser verbindet bei unserem Aufbau einfach den Ausgang mit dem nicht geerdeten Eingang. Dies geht, da wir einen invertierenden Verstärker nutzen. Ansonsten müssten wir zuvor die Phase noch um 180° verschieben, damit keine 'Mitkopplung' entsteht. Nutzen wir nun die Knotenregel an dem Knoten vor dem invertierenden Eingang des Verstärkers, so Können wir mit der Annahme, dass $I_E \approx 0$, also dass in dem Verstärker nahezu kein Strom fließt, folgenden Zusammenhang entwickeln:

$$I_1 + I_2 = \frac{U_1 - U_E}{R_1} + \frac{U_A - U_E}{R_2} = 0 \tag{1}$$

Dabei ist I_1 der Strom, der von der Spannungsquelle aus fließt und I_2 der Strom, der von der Rückkopplung fließt. $U_{1,2}$ und $R_{1,2}$ sind die jeweilig zugehörigen Spannungen und Widerstände. Mit $V_o = -\frac{U_A}{U_E}$ folgt dann:

$$\frac{U_1}{U_A} = -\left[\frac{1}{V_o} + \frac{R_E}{R_g}\left(1 + \frac{1}{V_o}\right)\right] = -\frac{1}{V'} \tag{2}$$

R_g sei der Rückkopplungswiderstand. Wenn $\frac{R_E}{R_g}$ nun groß gegen $\frac{1}{V_o}$ ist (u.A. durch kleine Frequenzen), so gilt:

$$-\frac{U_A}{U_1} = \frac{R_g}{R_E} = V' \tag{3}$$

V' nennt man die Betriebsverstärkung und ist bei richtigen Voraussetzungen unabhängig von den Verstärkerdaten (bis zu einer bestimmten Frequenz, ab dann geht sie in die Leerlaufverstärkung über). Bei niederfrequenten Wechselspannungen können wir uns also einfach das Verhältnis R_g/R_E messen um die Verstärkung zu erhalten. Eine Gegenkopplung bewirkt, dass sich der Frequenzgang erst bei höheren Frequenzen wieder linearisiert, dafür sich aber die ursprüngliche (maximale) Verstärkung vermindert.
Wenn wir nun einen Kondensator parallel zum Gegenkopplungswiderstand schalten, werden höhere Frequenzen stärker gegengekoppelt. Effektiv erhält man also einen Tiefpass. Einen Hochpass zu erstellen geht recht ähnlich: Man schaltet einen Kondensator parallel zum Eingangswiderstand. So werden niedrigere Frequenzen weniger verstärkt.

2 Messprotokoll

Messprotokoll V.242

17.12.24
Harish Mahendran
Jonas Schweer

Versuchsaufbau:

- Operationsverstärker μA741 + Beschaltung
- PeakTech Signalgenerator
- Telctronix TDS1072 Zweikanal Oszilloskop

Aufgabe 1: μA741 als Verstärker für Gleich- und Wechselspannungen

Wir stellen den Rückkopplungswiderstand des Verstärkers auf 48,7kΩ. Die Eingangsspannung lassen wir auf Ch1 des Oszilloskop anzeigen, die Ausgangsspannung auf Ch2. Wir variieren die Eingangsspannung (DC) auf 8 verschiedene Spannungen im Bereich $[-0{,}25; 0{,}25]$ V

U_E [mV]	-200	-150	-100	-50	-25	25	50	150
U_A [mV]	3950	3000	2060	1250	690	-375	-790	-2240

Tabelle 1: U_A pro U_E bei $R_g = 48{,}7k\Omega$

Wir stellen nun den Rückkopplungswiderstand auf $R_g = 274k\Omega$ und wiederholen die Messung.

U_E [mV]	-200	-150	-100	-50	-25	25	50	150
U_A [mV]	14400	14400	11000	6800	3660	-2070	-4370	13300

Tabelle 2: U_A pro U_E bei $R_g = 274k\Omega$

Wir wechseln nun den Gleichstrom mit einem 1kHz Wechselstrom aus. Wir messen die Ausgangsspannung bei 274kΩ, sowie bei 680kΩ für 6 verschiedene Eingangs-U_{pp} im Bereich $[0{,}05; 1]$ V

U_E [mV]	50	100	250	500	750	1000
U_A [mV]	435	840	2120	4200	6500	8600

Tabelle 3: U_A pro $U_{E,pp}$; $R_g = 274k\Omega$

U_E [mV]	50	100	250	500	750	1000
U_A [mV]	1040	2100	5200	10500	15600	21200

Tabelle 4: U_A pro $U_{E,pp}$; $R_g = 680\,k\Omega$

Fehler der Ein- und Ausgangsspannung: 5%

Aufgabe 2: Aufnahme des Frequenzganges verschiedener Verstärkerkonstellationen

Wir stellen am Frequenzgenerator verschiedene U_{pp} ein und variieren R_g. Wir nehmen jeweils den Frequenzgang auf:

$U_{pp} = 0{,}3V$ $R_g = 274\,k\Omega$

f [Hz]	100	300	1000	3E3	6E3	1E4	5E4	1E5	3E5
U_A [V]	2,6	2,6	2,6	2,4	2	1,8	0,51	0,26	0,092

Tabelle 5: U_A pro f bei $U_{pp} = 0{,}3V$ und $R_g = 274\,k\Omega$

$U_{pp} = 0{,}3V$ $R_g = 680\,k\Omega$

f [Hz]	100	300	1000	3000	6E3	1E4	5E4	1E5	3E5
U_A [V]	6,6	6,6	6,2	5	3,6	2,4	0,51	0,26	0,092

Tabelle 6: U_A pro f bei $U_{pp} = 0{,}3V$ und $R_g = 680k\Omega$

$U_{pp} = 1V$ $R_g = 48{,}7\,k\Omega$

f [Hz]	100	300	1000	3000	6E3	1E4	5E4	1E5	3E5
U_A [V]	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,60	1,16	0,82	0,32

Tabelle 7: U_A pro f bei $U_{pp} = 1V$ und $R_g = 48{,}7k\Omega$

Nun wiederholen wir die letzte Messung, aber schalten parallel zu R_g einen Kondensator $C = 560pF$

f [Hz]	100	300	1000	3000	6E3	1E4	5E4	1E5	3E5
U_A [V]	1,64	1,64	1,62	1,48	1,16	0,88	0,224	0,114	0,042

Tabelle 8: U_A pro f mit Rückkopplungskondensator

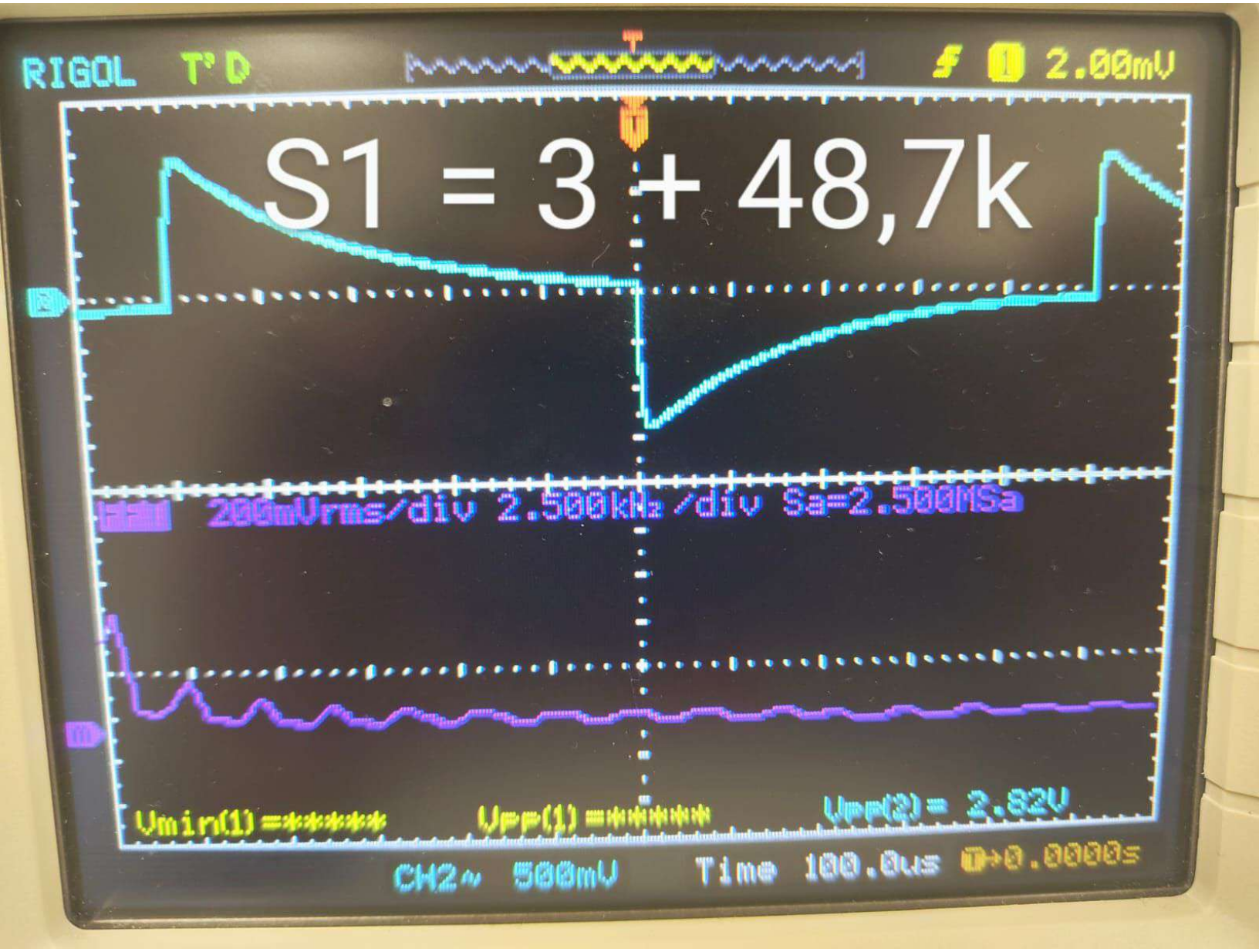
Nun schalten wir einen Eingangshochpass C = 47nF

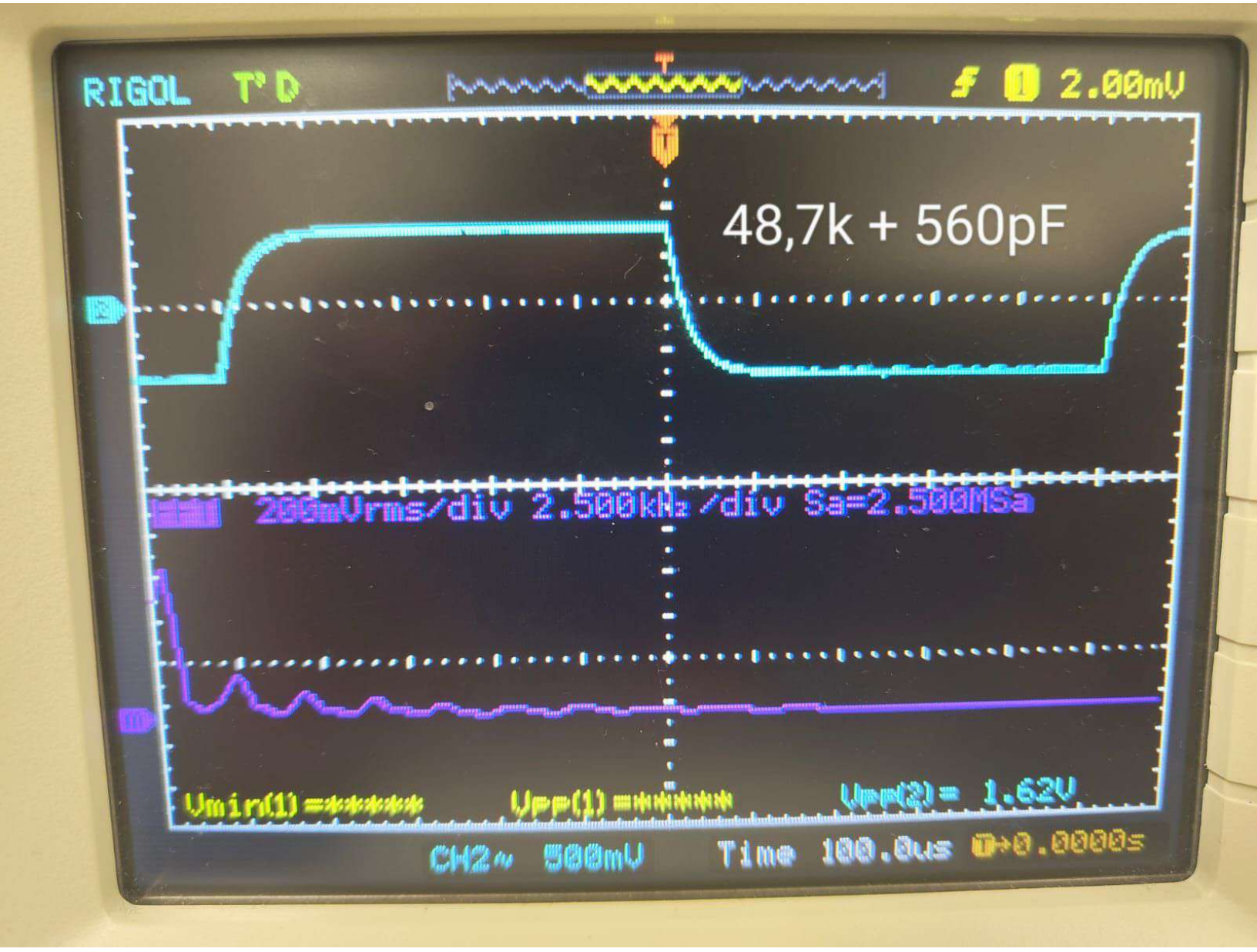
f[Hz]	300	600	1000	3000	6E3	1E4	2E4
U_A[V]	0,508	0,88	1,17	1,54	1,60	1,60	1,52

Tabelle 9: U_A pro f mit Hochpass

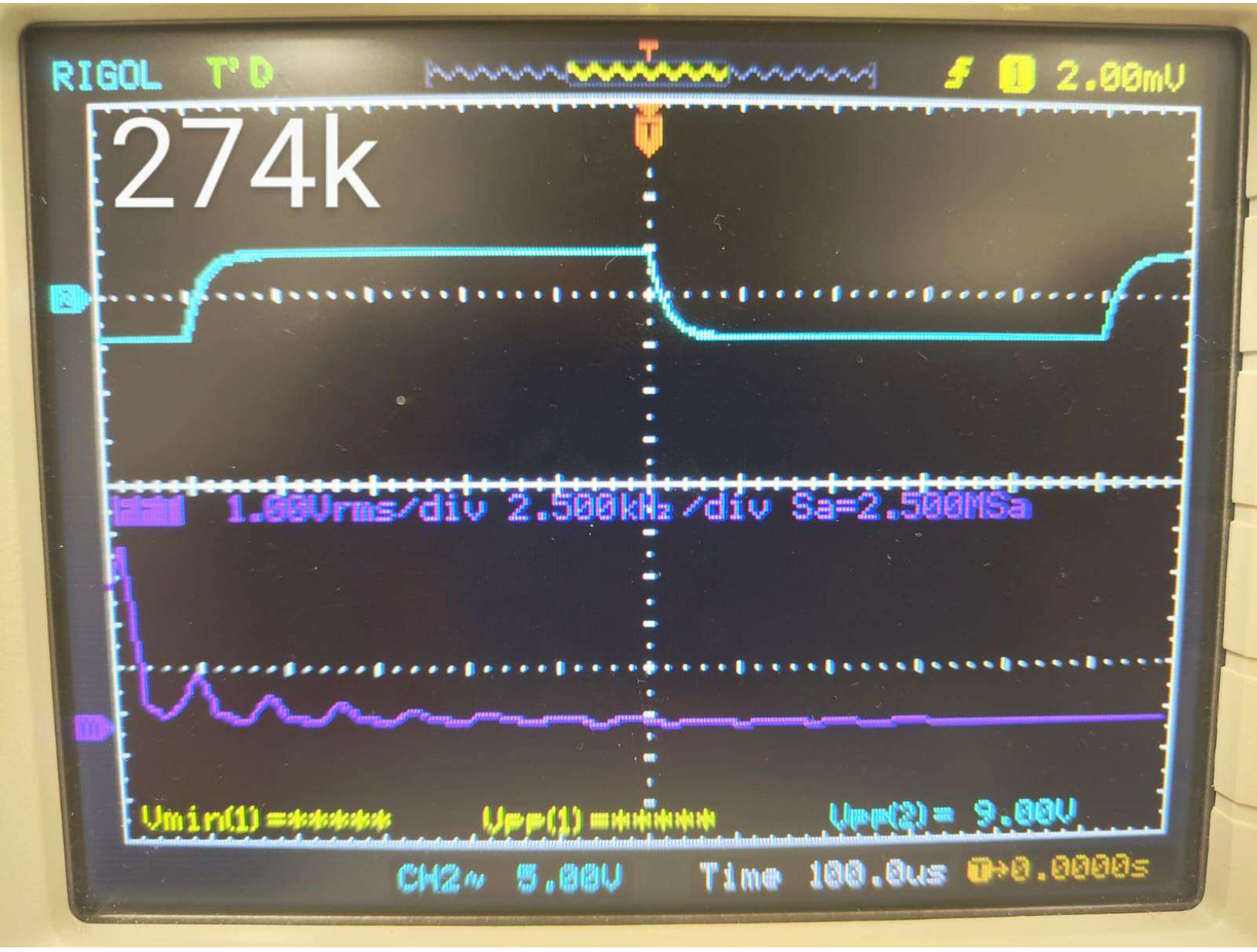
Aufgabe 3: Impulsverstärkung

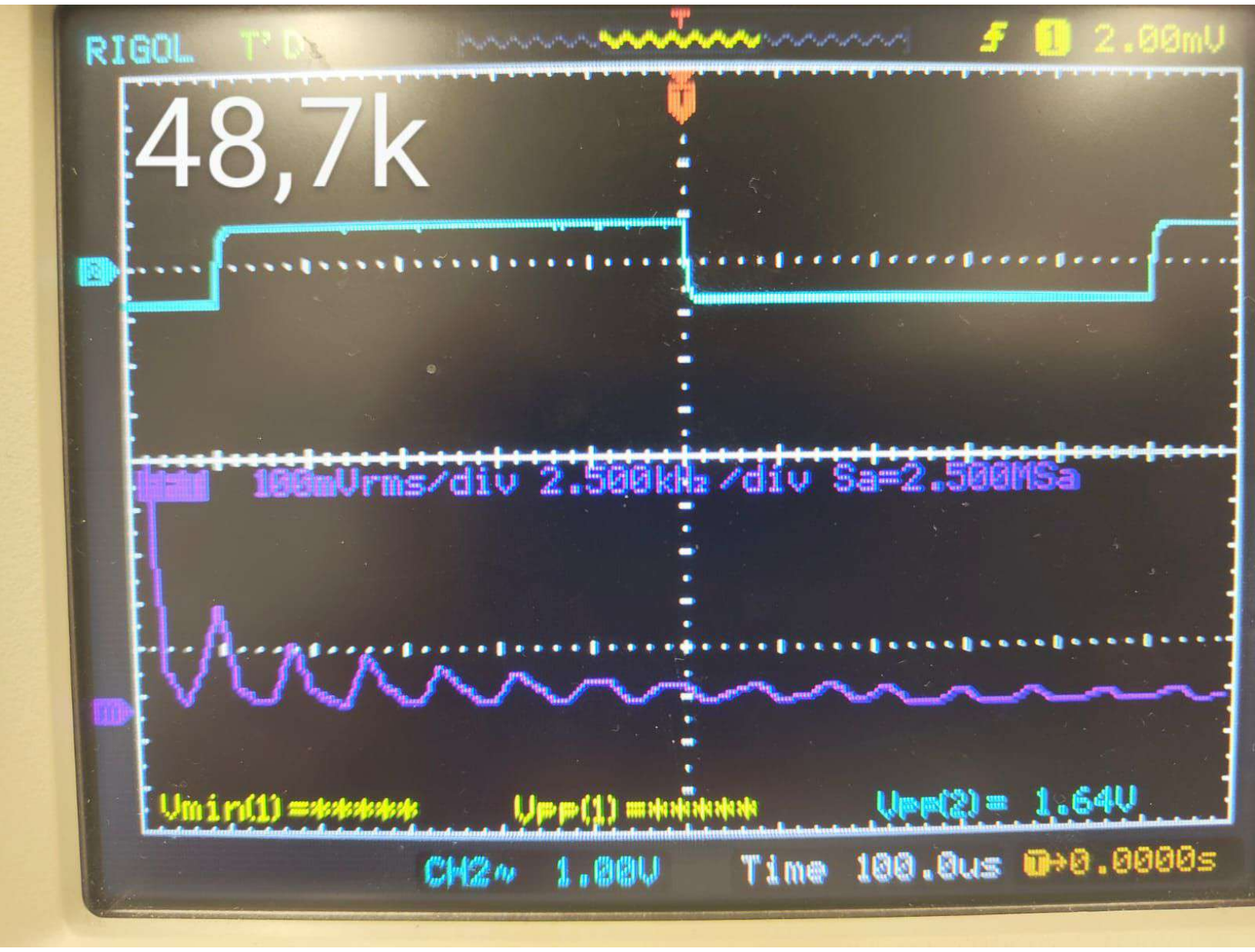
Wir geben ein Rechtecksignal mit einer Frequenz von 1kHz auf den Verstärker und schauen uns bei verschiedenen Rückkopplungseinstellungen die Ausgangsspannung und deren FFT an. Wir nehmen Fotos auf.


RIGOL
2.00mV
S1 = 3 + 48,7k
200mVrms/div 2.500kHz /div Sa=2.500MSa
Vmin(1) =******
Vpp(1) =******
Vpp(2)= 2.82V
CH2 500mV
Time 100.0us
0.0000s


RIGOL
2.00mV
48,7k + 560pF
200mVrms/div 2.500kHz/div Sa=2.500MSa
Vmin(1) =*****
Vpp(1) =*****
Vpp(2)= 1.62V
CH2~ 500mV
Time 100.0us
0.0000s


RIGOL
2.00mV
680k
2.00Vrms/div 2.500kHz/div Sa=2.500MSa
Vmin(1) =
Vpp(1) =
Vpp(2)= 22.8V
CH2~ 5.00V
Time 100.0us
0.0000s


RIGOL
2.00mV
274k
1.00Vrms/div 2.500kHz/div Sa=2.500MSa
Vmin(1)
Vpp(1)
Vpp(2)= 9.00V
CH2 5.00V
Time 100.0us
0.0000s


RIGOL
2.00mV
48,7k
100mVrms/div 2.500kHz/div Sa=2.500MSa
Vmin(1) =*******
Vpp(1) =*******
Vpp(2) = 1.64V
CH2 1.00V
Time 100.0us
0.0000s

3 Auswertung

3.1 Auswertungsaufgabe 1

Wir wollen nun zuerst rechnerisch mit Formel (3) die Betriebsspannung V' der einzelnen Aufbauten berechnen. Der Wert $R_E = (3.00 \pm 0.15)\text{k}\Omega$ war bereits angegeben. Für den Fehler nutzen wir nach Gauß:

$$\Delta V' = V' \sqrt{\left(\frac{\Delta R_g}{R_g}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R_E}{R_E}\right)^2} \tag{4}$$

So erhalten wir mit den Werten aus dem Messprotokoll:

$$\boxed{V'_{(\text{DC},48.7\text{k}\Omega,\text{calc})} = 16.2 \pm 1.8}$$
$$\boxed{V'_{(\text{DC},274\text{k}\Omega,\text{calc})} = 91 \pm 10}$$
$$\boxed{V'_{(\text{AC},274\text{k}\Omega,\text{calc})} = 91 \pm 10}$$
$$\boxed{V'_{(\text{AC},680\text{k}\Omega,\text{calc})} = 227 \pm 25}$$

Nun wollen wir V' erneut bestimmen, diesmal allerdings Graphisch über das Verhältnis $V' = |\frac{U_A}{U_1}|$. Wir plotten also die Messwerte, welche in den Tabellen der ersten Messreihe unseres Messprotokolls sind und nehmen einen linearen Fit vor. Mit Hilfe der curve-Fit Funktion erhalten wir so sowohl V', als auch den Fehler davon. Die Plots und ihre zugehörigen V' sehen folgendermaßen aus:

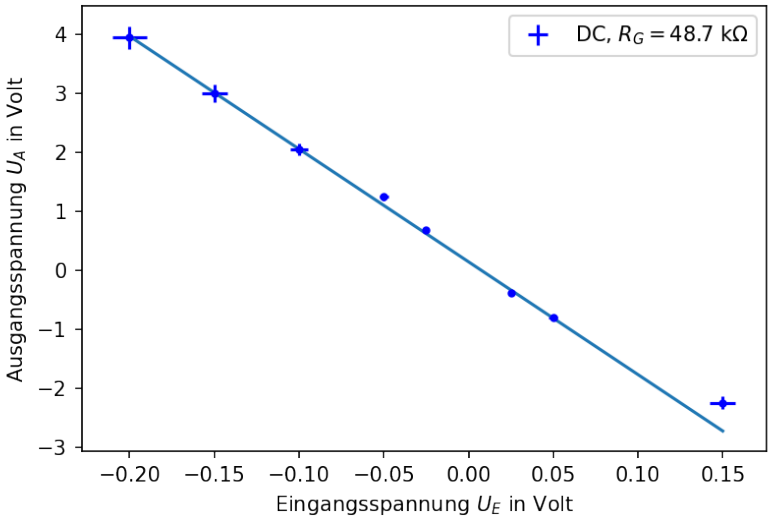


Abbildung 3: U_A von U_1 mit $R_g = 48.7\text{k}\Omega$, DC

$$\boxed{V'_{(\text{DC},48.7\text{k}\Omega,\text{exp})} = 19.1 \pm 0.8}$$

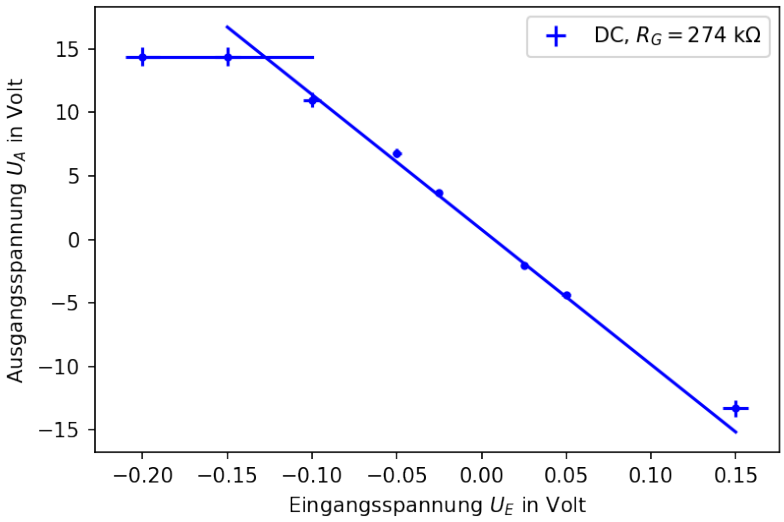


Abbildung 4: U_A von U_1 mit $R_g = 274\text{k}\Omega$, DC

$$\boxed{V'_{(\text{DC},274\text{k}\Omega,\text{exp})} = 106 \pm 5}$$

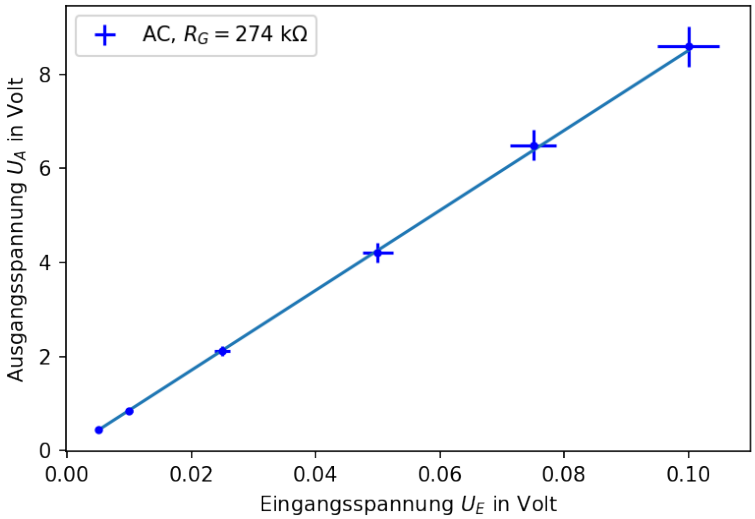


Abbildung 5: U_A von U_1 mit $R_g = 274\text{k}\Omega$, AC

$$\boxed{V'_{(\text{AC},274\text{k}\Omega,\text{exp})} = 85.0 \pm 0.8}$$

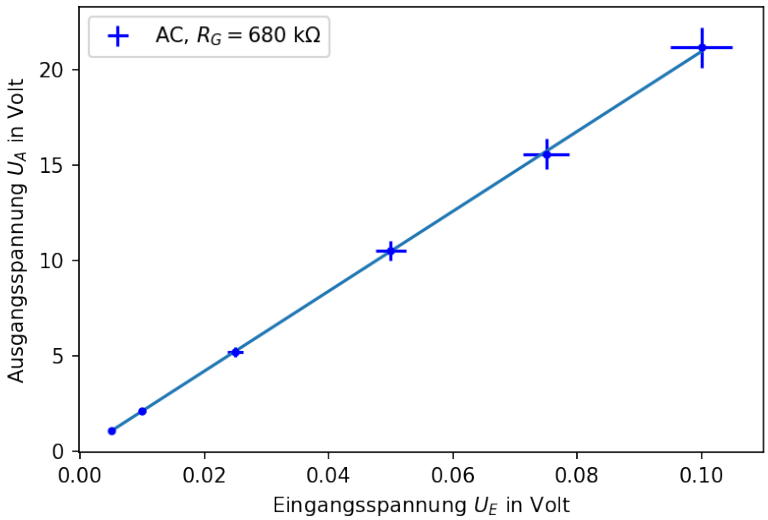


Abbildung 6: U_A von U_1 mit $R_g = 680\text{k}\Omega$, AC

$$\boxed{V'_{(\text{AC},680\text{k}\Omega,\text{exp})} = 209.8 \pm 0.9}$$

3.2 Auswertungsaufgabe 2

In Auswertungsaufgabe 2 nutzen wir die Tabellen, die wir in Messreihe 2 aufgenommen haben, um so nach Formel (2) die Verstärkung V' in Abhängigkeit von f grafisch darzustellen. Der Fehler von V' ergibt sich nach:

$$\Delta V' = V' \sqrt{\left(\frac{\Delta U_A}{U_A}\right)^2 + \left(\frac{\Delta U_1}{U_1}\right)^2} \tag{5}$$

Das Diagramm wird Doppellogarhitmisch skaliert (Bodediagramm) Es sieht folgendermaßen aus:

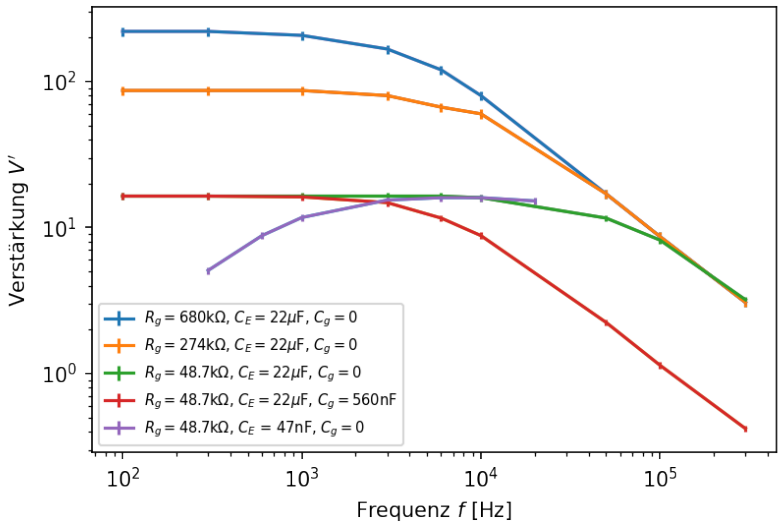


Abbildung 7: Diagramm der Messreihe 2, Verstärkung pro Frequenz

Anhand der orangenen, blauen und grünen Linie sieht man also gut, wie ein kleinerer Rückkopplungswiderstand zur Folge hat, dass zwar die ursprüngliche Verstärkung geringer ist, sie jedoch länger konstant bleibt. Ab ausreichend großen Frequenzen folgen sie alle dem gleichen Verlauf: Der Leerlaufverstärkung. Auch sieht man an der roten Linie gut, wie ein parallel zu dem Rückkopplungswiderstand geschalteter Kondensator die hohen Frequenzen weniger stark verstärken lässt, als ohne. Vorher sieht man allerdings den selben Verlauf wie ohne Kondensator. Die violette Linie zeigt, dass ein zugeschalteter Eingangskondensator wie erwartet die niedrigen Frequenzen unterdrückt und sich so der Verlauf erst bei höheren Frequenzen der grünen Linie annähert (Also auch als wäre kein Kondensator geschaltet).

3.3 Auswertungsaufgabe 3

Die Bilder welche wir aufgenommen haben, finden sich nach dem Messprotokoll wieder (+ mäßige, aber ausreichende Beschriftung). Wir halten vor allem als Ergebnisse fest:

- Je größer der Rückkopplungswiderstand, desto 'höher' das Rechteck → mehr Verstärkung
- Bei dem Aufbau, der einem Hochpass ähnelt, bleibt zwar der scharfe Sprung auf das Maximum des Rechtecks bestehen, jedoch hält es das Signal am Plateau nicht, sondern flacht direkt ab
- Bei dem Aufbau, der einem Tiefpass ähnelt, ist der Anstieg auf das Plateau nicht so kanten-artig wie beim Hochpass, jedoch wird das Plateau nahezu gehalten, bis es wieder zum nächsten Rechteck wechselt
- Bei normalen, aber höheren Rückkopplungswiderständen zeigt sich ein ähnliches Bild wie bei der Tiefpassschaltung

4 Zusammenfassung und Diskussion

Zusammenfassend haben wir zuerst Anhand der ersten Messreihe versucht Formel (3) für Wechsel- und Gleichspannung sowohl rechnerisch als auch grafisch zu verifizieren. Anschließend haben wir uns in Aufgabenteil 2 den Effekt von verschiedenen Rückkopplungswiderständen, sowie von Eingangs- und Rückkopplungskondensatoren bei unterschiedlichen Frequenzen angeschaut.
Zuletzt haben wir uns noch ein Rechtecksignal bei den verschiedenen Gegenkopplungen genauer angeschaut.
Die Werte, die wir bei Aufgabe 1 bestimmt haben, lauteten für die rechnerische Herangehensweise:

$$\boxed{V'_{(\mathrm{DC},48.7\mathrm{k}\Omega,\mathrm{calc})} = 16.2 \pm 1.8}$$
$$\boxed{V'_{(\mathrm{DC},274\mathrm{k}\Omega,\mathrm{calc})} = 91 \pm 10}$$
$$\boxed{V'_{(\mathrm{AC},274\mathrm{k}\Omega,\mathrm{calc})} = 91 \pm 10}$$
$$\boxed{V'_{(\mathrm{AC},680\mathrm{k}\Omega,\mathrm{calc})} = 227 \pm 25}$$

und für die grafische Herangehensweise:

$$\boxed{V'_{(\mathrm{DC},48.7\mathrm{k}\Omega,\mathrm{exp})} = 19.1 \pm 0.8}$$
$$\boxed{V'_{(\mathrm{DC},274\mathrm{k}\Omega,\mathrm{exp})} = 106 \pm 5}$$
$$\boxed{V'_{(\mathrm{AC},274\mathrm{k}\Omega,\mathrm{exp})} = 85.0 \pm 0.8}$$
$$\boxed{V'_{(\mathrm{AC},680\mathrm{k}\Omega,\mathrm{exp})} = 209.8 \pm 0.9}$$

Vergleichen wir nun die jeweils zusammengehörenden Werte miteinander, so erhalten wir jeweils eine Abweichung von:

$$\boxed{\sigma_{(\mathrm{DC},48.7\mathrm{k}\Omega,\mathrm{calc})} = 1.5}$$
$$\boxed{\sigma_{(\mathrm{DC},274\mathrm{k}\Omega,\mathrm{calc})} = 1.3}$$
$$\boxed{\sigma_{(\mathrm{AC},274\mathrm{k}\Omega,\mathrm{calc})} = 0.6}$$
$$\boxed{\sigma_{(\mathrm{AC},680\mathrm{k}\Omega,\mathrm{calc})} = 0.7}$$

Wir sehen also, dass die rechnerischen und die experimentellen Ergebnisse alle nicht signifikant voneinander Abweichen. Das bedeutet, dass wahrscheinlich bei der Versuchsdurchführung keine großen systematischen Fehler aufgetreten sind. Wir sehen allerdings, dass die experimentellen Berechnungen allgemein die kleineren Fehler geliefert hat. Das kommt vermutlich daher, dass die Widerstände mit einem Fehler von 10% versehen wurden und sich dieser durch die Rechnung weiterzieht. Wir halten also fest, dass unsere Formel für die Betriebsverstärkung in diesem Fall die echten Gegebenheiten gut nähert, auch wenn sie im Vergleich zu Experimenten den größeren Fehler mitbringen.
In Aufgabe 2 haben wir, wie auch während der Auswertung schon beschrieben, das Verhalten der Betriebsverstärkung bei verschiedenen Frequenzen analysiert, und ha-

ben bestätigt, dass ein höherer Rückkopplungswiderstand zwar dazu führt, dass bei niedrigen Frequenzen die Verstärkung größer ist, sie bei höheren Frequenzen allerdings schneller von ihrer Konstanz ablässt als ein niedrigerer Rückkopplungswiderstand. Auch haben wir gesehen, wie ein Rückkopplungskondensator arbeitet, indem er die höheren Frequenzen noch weniger Verstärkt, als ohne. Der eingeschaltete Eingangskompensator wiederum hat zu einem Hochpassverhalten geführt, also zu einem unterdrücken der niederen Frequenzen.
Die Beobachtungen, die wir in Aufgabe 3 gemacht haben, decken sich ebenfalls mit den Erwartungen. Da das Rechtecksignal nach Fourier aus unendlich vielen Sinusschwingungen besteht, kann man sehen, was mit den einzelnen Frequenzen passiert. Wenn man einen Hochpass hinzu schaltet, werden die hohen Frequenzen besser durchgelassen als die hohen. Durch die hohen Frequenzen kann der scharfe Anstieg des Rechteckes dargestellt werden, allerdings sind sie nicht in der Lage, das flache Plateau zu halten. Dafür wären die, nun gefilterten, niedrigen Frequenzen zuständig. Gleichermaßen ist es bei einem Tiefpassfilter. Die hohen Frequenzen, welche den rapiden Anstieg bewerkstelligen, sind nun gefiltert, also ist er nun eher allmählich. Dafür kann die Form des Plateaus gut gehalten werden, da die dafür zuständigen, niedrigen Frequenzen immer noch vorhanden sind. Zuletzt führt, wie bereits diskutiert, ein hoher Rückkopplungswiderstand zu einem früheren Betriebsverstärkungsabfall bei hohen Frequenzen. Wenn dieser also hoch genug ist, werden auch hier die hohen Frequenzen, verantwortlich für den scharfen Anstieg, nicht ausreichend verstärkt und die Kante verschwimmt erneut - wie beim Tiefpass.
Alles in allem bin ich sehr zufrieden mit unseren Ergebnissen. Alle Auswertungen stimmen mit den theoretischen Überlegungen überein und weichen im Falle von Aufgabe 1 auch quantitativ nicht zu weit von einander ab. Wir haben also erfolgreich die gewünschten Gesetzmäßigkeiten überprüft.
Bei einer erneuten Versuchsdurchführung würde ich eventuell mehrere Messungen (vor allem in Aufgabe 3) durchführen, um so einen 'höher auflösenden' Graphen zu erhalten. Auch würde ich nach Möglichkeit einen Sinusgenerator nehmen, bei welchem ich mir sicher sein kann, dass er auch tatsächlich akkurat angibt, was er als Signal ausgibt und nicht stabile 100Hz daneben liegt.

5 Anhang

Versuch_242_Verstaerker

January 15, 2025

[37]:
```
import numpy as np
import math
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy.optimize import curve_fit
```

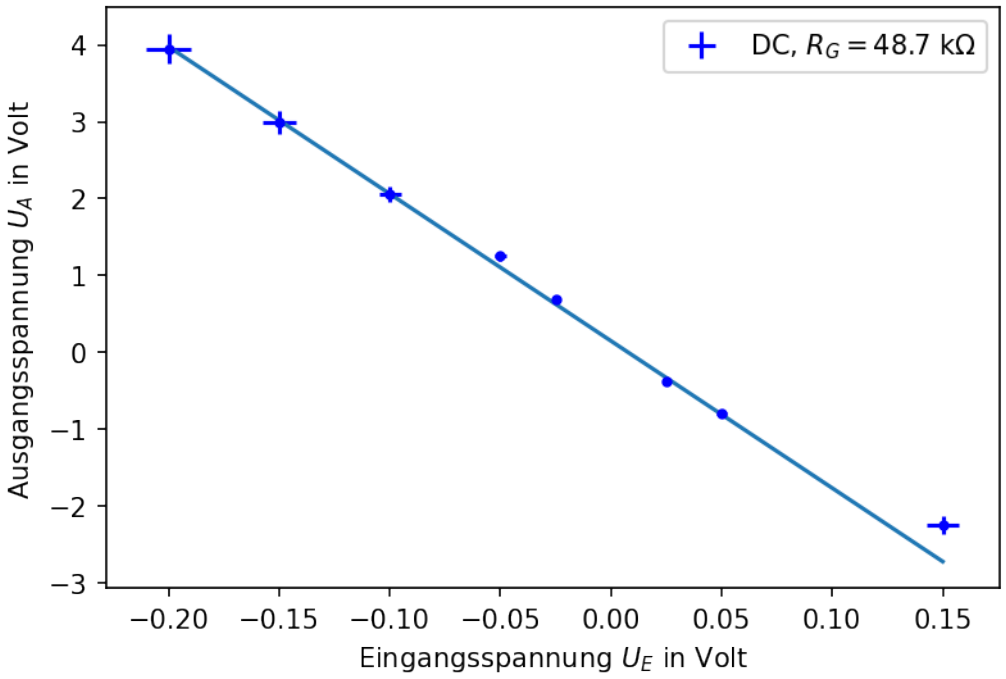
[38]:
```
def lin(x,a,b):
    return a*x + b
```

Auswertungsaufgabe 1

[39]:
```
R1 = 48.7e3
R1Delta = R1 * 0.1
U_E1 = np.array([-200,-150,-100,-50,-25,25,50,150])*1e-3
U_E1Delta = U_E1 * 0.05
U_A1 = np.array([3950,3000,2060,1250,690,-375,-790,-2240])*1e-3
U_A1Delta = U_A1 * 0.05
```

[40]:
```
popt1, pcov1 = curve_fit(lin,U_E1,U_A1, sigma = U_A1Delta)
```

[41]:
```
plt.figure(dpi = 150)
plt.errorbar(U_E1, U_A1, linestyle = 'None', xerr = U_E1Delta, yerr =␣
↪U_A1Delta, label = 'DC, $R_G = 48.7$ k$\Omega$', color = 'blue')
plt.xlabel('Eingangsspannung $U_E$ in Volt')
plt.ylabel('Ausgangsspannung $U_A$ in Volt')
plt.plot(U_E1, lin(U_E1, *popt1))
plt.plot(U_E1, U_A1, ".b")
plt.legend()
plt.savefig("Verstaerker/Plot1.png")
```



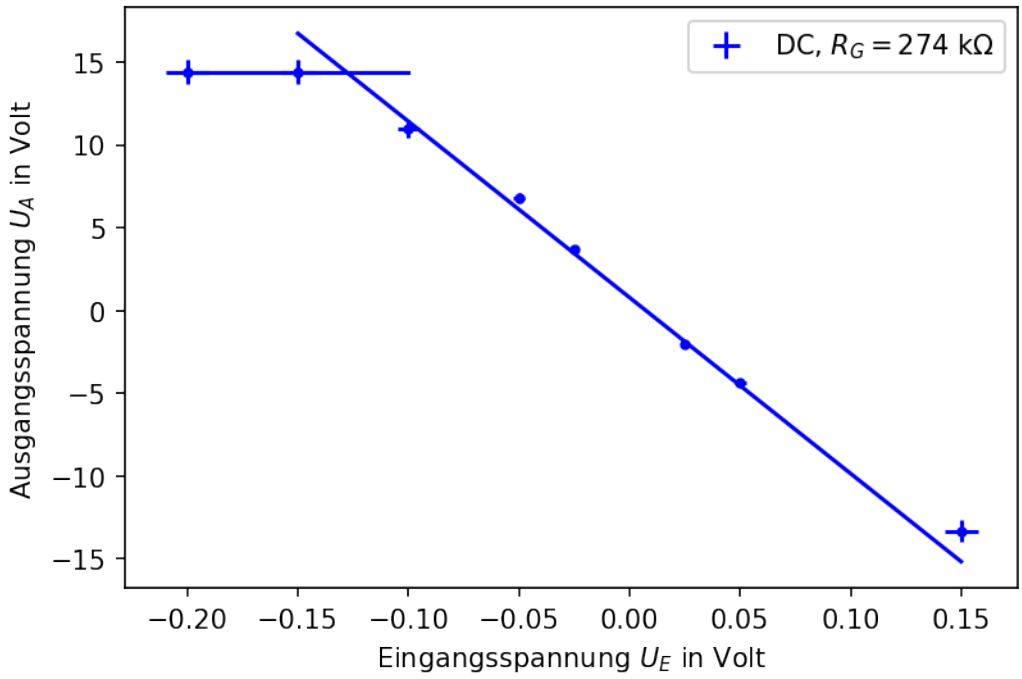
[42]:
```
popt1[0], np.sqrt(pcov1[0,0])
```

[42]:
```
(-19.12260779299065, 0.8044115212425617)
```

[43]:
```
R2 = 274e3
R2Delta = R2 * 0.1
U_E2 = np.array([-200,-150,-100,-50,-25,25,50,150])*1e-3
U_E2Delta = U_E2 * 0.05
U_A2 = np.array([14400,14400,11000,6800,3660,-2070,-4370,-13300])*1e-3
U_A2Delta = U_A2 * 0.05
```

[44]:
```
popt2, pcov2 = curve_fit(lin,U_E2[2:],U_A2[2:], sigma = U_A2Delta[2:])
popt22, pcov22 = curve_fit(lin,U_E2[:2],U_A2[:2], sigma = U_A2Delta[:2])
```

[45]:
```
plt.figure(dpi = 150)
plt.errorbar(U_E2, U_A2, linestyle = 'None', xerr = U_E2Delta, yerr =␣
↪U_A2Delta, label = 'DC, $R_G = 274$ k$\Omega$', color = 'blue')
plt.xlabel('Eingangsspannung $U_E$ in Volt')
plt.ylabel('Ausgangsspannung $U_A$ in Volt')
plt.plot(U_E2[1:], lin(U_E2, *popt2)[1:], color = 'blue')
plt.plot(U_E2[:3], lin(U_E2, *popt22)[:3], color = 'blue')
plt.plot(U_E2, U_A2, ".b")
plt.legend()
plt.savefig("Verstaerker/Plot2.png")
```



[46]:
```
popt2[0], np.sqrt(pcov2[0,0])
```

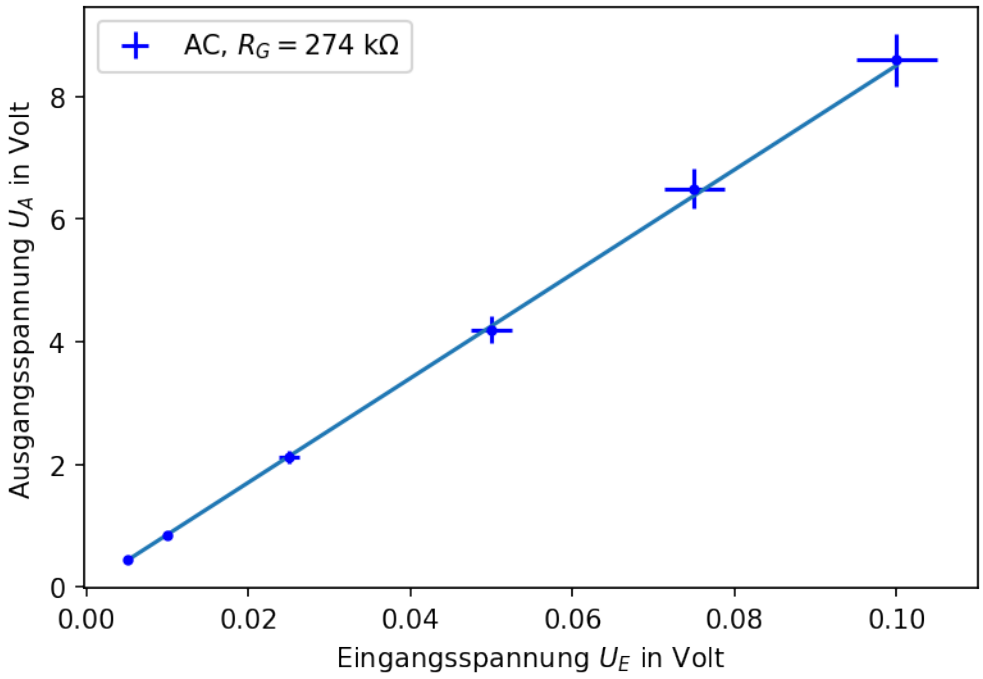
[46]:
```
(-106.27337818328772, 4.724472878939034)
```

[47]:
```
f = 1e3
```

[48]:
```
R3 = 274e3
R3Delta = R3 * 0.1
U_E3 = np.array([50,100,250,500,750,1000])*1e-4
U_E3Delta = U_E3 * 0.05
U_A3 = np.array([435,840,2120,4200,6500,8600])*1e-3
U_A3Delta = U_A3 * 0.05
```

[49]:
```
popt3, pcov3 = curve_fit(lin,U_E3,U_A3, sigma = U_A3Delta)
```

[50]:
```
plt.figure(dpi = 150)
plt.errorbar(U_E3, U_A3, linestyle = 'None', xerr = U_E3Delta, yerr =␣
↪U_A3Delta, label = 'AC, $R_G = 274$ k$\Omega$', color = 'blue')
plt.xlabel('Eingangsspannung $U_E$ in Volt')
plt.ylabel('Ausgangsspannung $U_A$ in Volt')
plt.plot(U_E3, lin(U_E3, *popt3))
plt.plot(U_E3, U_A3, ".b")
plt.legend()
plt.savefig("Verstaerker/Plot3.png")
```



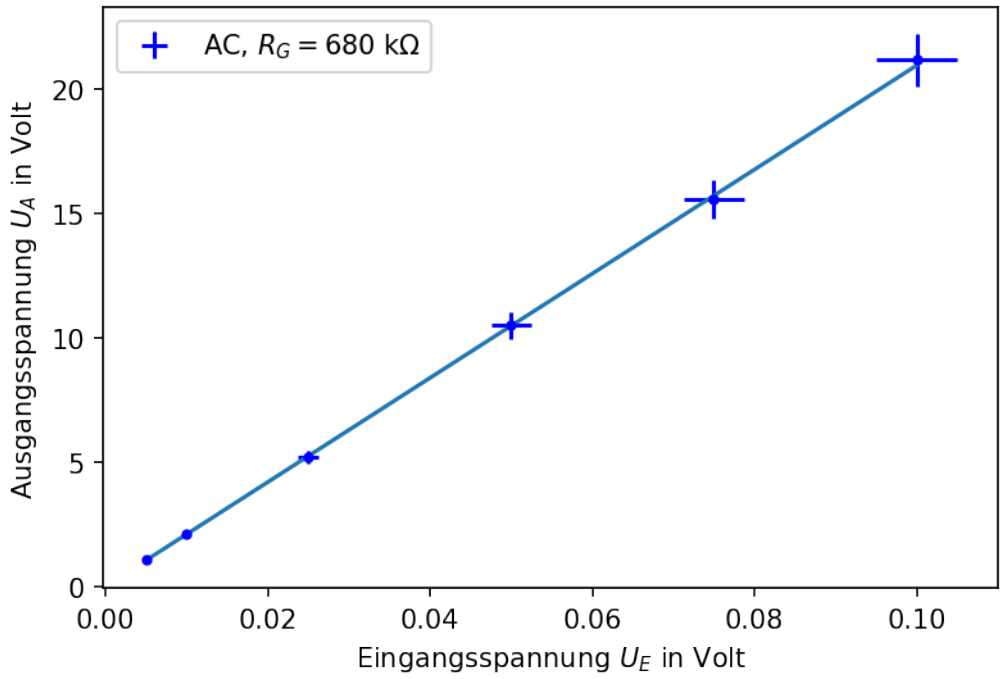
[51]:
```
popt3[0], np.sqrt(pcov3[0,0])
```

[51]:
```
(85.04626437759039, 0.7958659569795961)
```

[52]:
```
R4 = 680e3
R4Delta = R4 * 0.1
U_E4 = np.array([50,100,250,500,750,1000])*1e-4
U_E4Delta = U_E4 * 0.05
U_A4 = np.array([1040,2100,5200,10500,15600,21200])*1e-3
U_A4Delta = U_A4 * 0.05
```

[53]:
```
popt4, pcov4 = curve_fit(lin,U_E4,U_A4, sigma = U_A4Delta)
```

[54]:
```
plt.figure(dpi = 150)
plt.errorbar(U_E4, U_A4, linestyle = 'None', xerr = U_E4Delta, yerr =␣
↪U_A4Delta, label = 'AC, $R_G = 680$ k$\Omega$', color = 'blue')
plt.xlabel('Eingangsspannung $U_E$ in Volt')
plt.ylabel('Ausgangsspannung $U_A$ in Volt')
plt.plot(U_E4, lin(U_E4, *popt4))
plt.plot(U_E4, U_A4, ".b")
plt.legend()
plt.savefig("Verstaerker/Plot4.png")
```



[55]:
```
popt4[0], np.sqrt(pcov4[0,0])
```

[55]: (209.83712425395035, 0.9442444667991278)

[56]:
```
R_E = 3e3
R_EDelta = 0.15e3
R_g = np.array([R1,R2,R3,R4])
R_gDelta = np.array([R1Delta,R2Delta,R3Delta,R4Delta])
V_0calc = R_g/R_E
V_0calcDelta = V_0calc * np.sqrt((R_EDelta/R_E)**2 + (R_gDelta/R_g)**2)
print(V_0calc)
print(V_0calcDelta)
```

```
[ 16.23333333  91.33333333  91.33333333 226.66666667]
[ 1.81494184 10.2113771  10.2113771  25.34210374]
```

Auswertungsaufgabe 2

[57]:
```
U1 = 0.3
U1Delta = U1 * 0.05
R1 = 274e3
f1 = np.array([100,300,1000,3e3,6e3,1e4,5e4,1e5,3e5])
U_A1 = np.array([2.6,2.6,2.6,2.4,2,1.8,0.51,0.26,0.092])*10
U_A1Delta = U_A1 * 0.05
V1 = U_A1/U1
```

```
V1Delta = V1 * np.sqrt((U1Delta/U1)**2 + (U_A1Delta/U_A1)**2)
```

[58]:
```
U2 = 0.3
U2Delta = U1 * 0.05
R2 = 680e3
f2 = np.array([100,300,1000,3e3,6e3,1e4,5e4,1e5,3e5])
U_A2 = np.array([6.6,6.6,6.2,5,3.6,2.4,0.51,0.26,0.092])*10
U_A2Delta = U_A2 * 0.05
V2 = U_A2/U2
V2Delta = V2 * np.sqrt((U2Delta/U2)**2 + (U_A2Delta/U_A2)**2)
```

[59]:
```
U3 = 1
U3Delta = U1 * 0.05
R3 = 48.7e3
f3 = np.array([100,300,1000,3e3,6e3,1e4,5e4,1e5,3e5])
U_A3 = np.array([1.64,1.64,1.64,1.64,1.64,1.60,1.16,0.82,0.32])*10
U_A3Delta = U_A3 * 0.05
V3 = U_A3/U3
V3Delta = V3 * np.sqrt((U3Delta/U3)**2 + (U_A3Delta/U_A3)**2)
```

[60]:
```
U4 = 1
U4Delta = U1 * 0.05
R4 = 48.7e3
C4 = 560e-12
f4 = np.array([100,300,1000,3e3,6e3,1e4,5e4,1e5,3e5])
U_A4 = np.array([1.64,1.64,1.62,1.48,1.16,0.88,0.224,0.114,0.042])*10
U_A4Delta = U_A4 * 0.05
V4 = U_A4/U4
V4Delta = V4 * np.sqrt((U4Delta/U4)**2 + (U_A4Delta/U_A4)**2)
```

[61]:
```
U5 = 1
U5Delta = U1 * 0.05
R5 = 48.7e3
C5 = 47e-9
f5 = np.array([300,600,1000,3000,6e3,1e4,2e4])
U_A5 = np.array([0.508,0.88,1.17,1.54,1.60,1.60,1.52])*10
U_A5Delta = U_A5 * 0.05
V5 = U_A5/U5
V5Delta = V5 * np.sqrt((U5Delta/U5)**2 + (U_A5Delta/U_A5)**2)
```

[67]:
```
plt.figure(dpi = 150)
plt.xlabel('Frequenz $f$ [Hz]')
plt.ylabel('Verstärkung $V\'$')

plt.errorbar(f2, V2, yerr = V2Delta, label = '$R_g = 680$k$\Omega$, $C_E =␣
↪22\mu$F, $C_{g} = 0$')
```

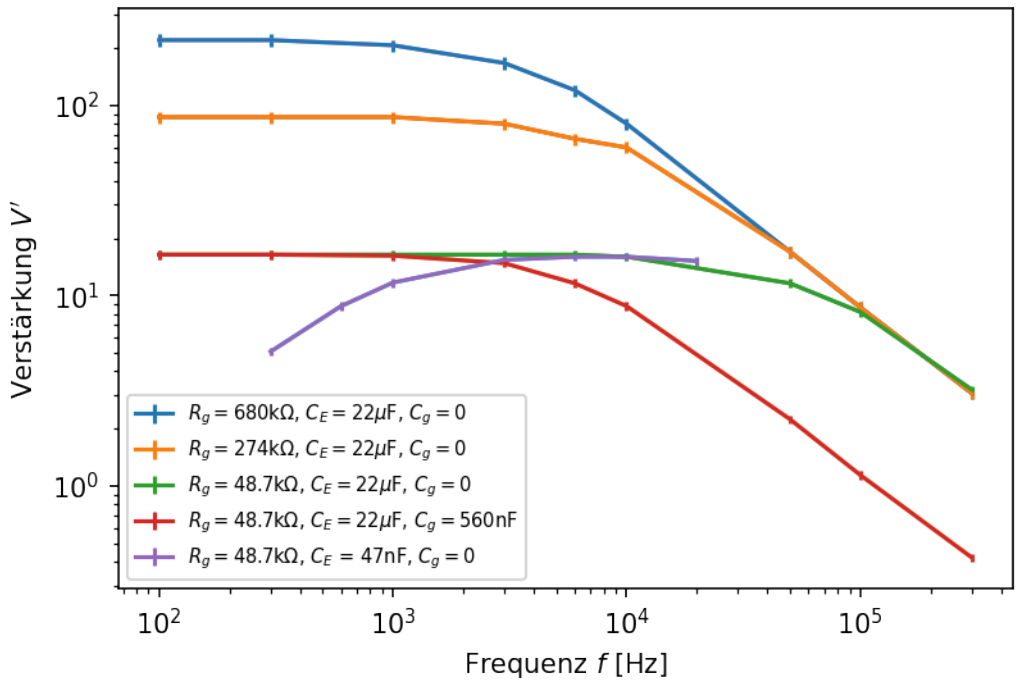
```
plt.errorbar(f1, V1, yerr = V1Delta, label = '$R_g = 274$k$\Omega$, $C_E =␣
↪22\mu$F, $C_{g} = 0$')
plt.errorbar(f3, V3, yerr = V3Delta, label = '$R_g = 48.7$k$\Omega$, $C_E =␣
↪22\mu$F, $C_{g} = 0$')
plt.errorbar(f4, V4, yerr = V4Delta, label = '$R_g = 48.7$k$\Omega$, $C_E =␣
↪22\mu$F, $C_{g} = 560$nF')
plt.errorbar(f5, V5, yerr = V5Delta, label = '$R_g = 48.7$k$\Omega$, $C_E$ =␣
↪47nF, $C_{g} = 0$')

plt.plot(f1, V1)
plt.plot(f2, V2)
plt.plot(f3, V3)
plt.plot(f4, V4)
plt.plot(f5, V5)

plt.legend(prop={'size': 7})

plt.xscale('log')
plt.yscale('log')

plt.savefig("Verstaerker/Plot5.png")
```



[66]:
```
def calcDiff(x, deltax, y, deltay):
    num = np.abs(x-y)
```

```
    denom = np.sqrt(deltax**2 + deltay**2)
    return num/denom
```

[64]:
```
print(calcDiff(16.2,1.8,19.1,0.8))
print(calcDiff(91,10,106,5))
print(calcDiff(91,10,85,0.8))
print(calcDiff(227,25,209.8,0.9))
```

```
1.4722519394437488
1.3416407864998738
0.598089167121675
0.6875546088734494
```