

Versuch 242 - Spannungsverstärker

Felix Fleischle

15.3.2022

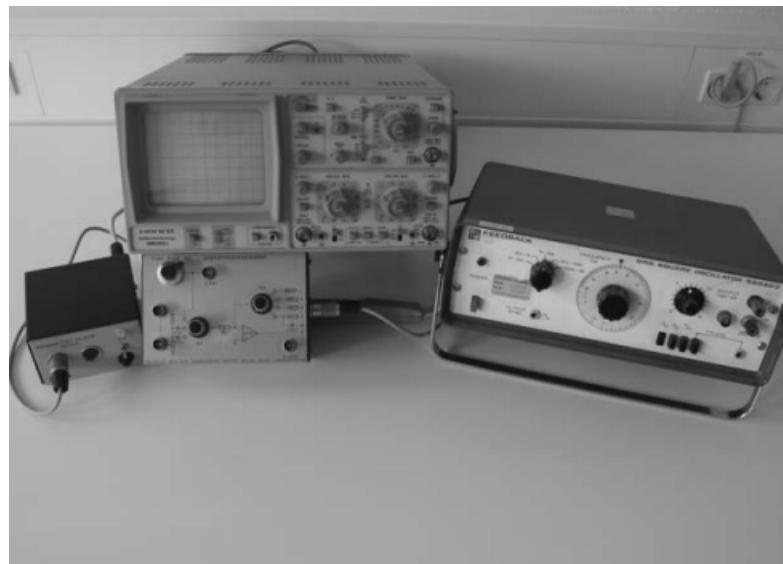


Abbildung 1: Bild des Versuchsaufbaus aus der Praktikumsanleitung.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	3
1.1 Grundlagen	3
1.2 Durchführung	5
1.2.1 Gleichspannungsverstärker	5
1.2.2 Wechselspannungsverstärker	5
1.2.3 Frequenzgang mit Gegenkopplung	6
1.2.4 Frequenzgang mit Tiefpass	6
1.2.5 Frequenzgang mit Hochpass	7
1.2.6 Rechtecksignal mit Verstärker	7
2 Messprotokoll	7
3 Auswertung	12
3.1 Gleichspannungsverstärker	12
3.2 Wechselspannungsverstärker	14
3.3 Frequenzgang	16
3.4 Rechtecksingal	17
4 Zusammenfassung und Diskussion	18

1 Einleitung

Das Ziel dieses Versuches ist es, das Verhältnis von Eingangs- und Ausgangsspannung des Verstärkers für 2 verschiedene starke Gegenkopplungen bei Gleich- und Wechselspannung zu messen. Außerdem messen wir den Frequenzgang des Verstärkungsfaktors im Bereich von 100Hz bis 300kHz für verschiedene Gegenkopplungen. Zum Schluss beschreiben wir noch den Einfluss des Frequenzganges auf die Form von Rechteck-Pulsen.

1.1 Grundlagen

Häufig muss beim Messen elektrischer Spannung das Signal erst verstärkt werden, um es gut messen zu können. Dazu wird ein Spannungsverstärker verwendet, dessen genauer Aufbau kompliziert ist, und uns daher nicht weiter interessiert. Wir werden hier nur seine Eigenschaften untersuchen.

Unser Spannungsverstärker ist ein invertierter Differenzverstärker, das heißt er verstärkt die Spannung einer Spannungsdifferenz an zwei Eingängen, wobei einer der Eingänge geerdet ist, und sich die Spannung im Vorzeichen umdreht.

Wichtige Größen sind der Eingangswiderstand

$$R_i = \frac{U_E}{I_E} \quad (1.1)$$

welcher beim Spannungsverstärker möglichst groß sein sollte, damit der Messwertnehmer möglichst wenig belastet wird, sowie der Ausgangswiderstand

$$R_a = \frac{U_A}{I_A} \quad (1.2)$$

welcher möglichst gering sein sollte, damit die Ausgangsspannung unabhängig von irgendwelchen Belastungen ist.

Im Endeffekt interessiert uns die Spannungsverstärkung

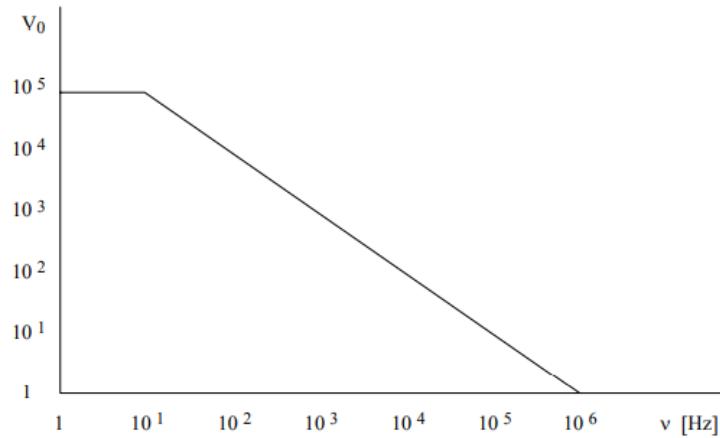
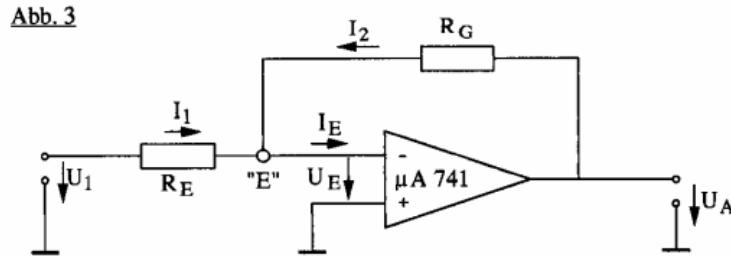
$$V_0 = -\frac{U_A}{U_E} \quad (1.3)$$

Die Spannungsverstärkung ist antiproportional zur Frequenz, wobei der Verstärkungsfaktor nur bei sehr kleinen Frequenzen nicht weiter zu nimmt, wie in Abbildung 2 zu sehen ist.

Wenn man einen Gegenkopplungswiderstand einbaut, wird ein Teil der Ausgangsspannung auf den Eingang zurückgekoppelt. Die Schaltung sieht dann wie in Abbildung 3 aus. Aus der Maschenregel, sowie den Näherungen $R_i \gg R_E, R_G, \frac{R_E}{R_G} \gg \frac{1}{V_0} \ll 1$ erhält man

$$V' = -\frac{U_A}{U_I} = \frac{R_G}{R_E} \quad (1.4)$$

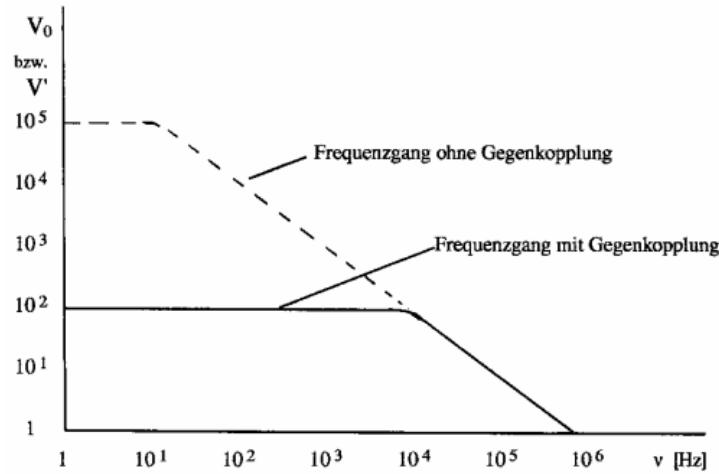
¹Quelle: [Praktikumsanleitung](#)

Abbildung 2: Frequenzabhängigkeit der Spannungsverstärkung (doppelt logarithmisch)¹.Abbildung 3: Schaltplan Gegenkopplung².

Die Verstärkung hängt bei Gegenkopplung somit nur von den Widerständen ab. So können wir einen theoretischen Wert für Gleichspannung, sowie eine niedrigfrequente Wechselspannung berechnen. Auch bei der Gegenkopplung ist die Verstärkung frequenzabhängig. Durch die Gegenkopplung wird allerdings der Verlauf stärker linearisiert, wie in Abbildung 4 zu sehen ist.

Wenn man in den Gegenkoppelzweig einen Kondensator einfügt, erhält man einen Tiefpass, welcher die hohen Frequenzen stärker Gegenkoppelt, also weniger verstärkt. Analog kann man mit einem Kondensator am Eingang einen Hochpass einbauen, sodass nur die höheren Frequenzen den Verstärker mit hoher Amplitude erreichen.

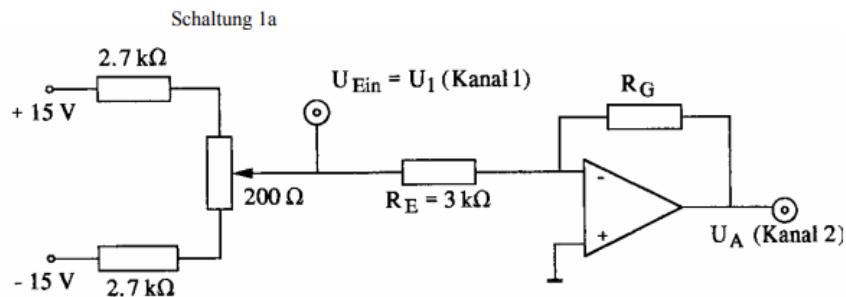
²Quelle: [Praktikumsanleitung](#)

Abbildung 4: Frequenzabhängigkeit bei Gegenkopplung³.

1.2 Durchführung

1.2.1 Gleichspannungsverstärker

Wir beginnen mit einem Gleichspannungsverstärker mit Gegenkopplung:

Abbildung 5: Schaltplan bei 1a)⁴.

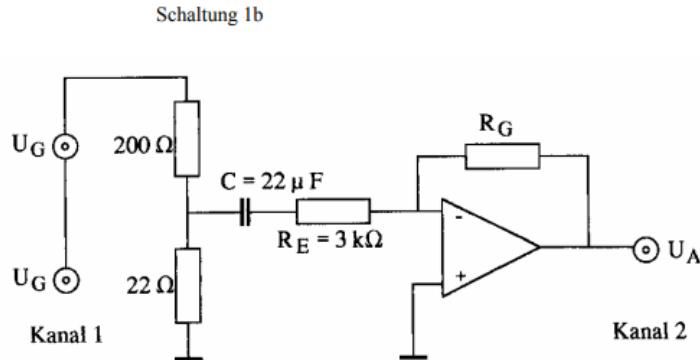
Wir messen bei 8 verschiedenen Eingangsspannungen $-0,25V < U_E < 0,25V$ die Ausgangsspannung. Wir führen die Messung für 2 verschiedene Gegenkoppelwiderstände, $48,7\text{k}\Omega$ und $274\text{k}\Omega$ durch.

1.2.2 Wechselspannungsverstärker

Wir bauen einen Wechselspannungsverstärker auf:

³Quelle: [Praktikumsanleitung](#)

⁴Quelle: [Praktikumsanleitung](#)

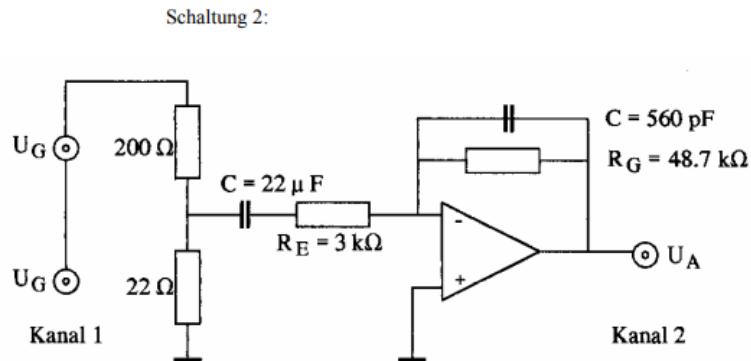
Abbildung 6: Schaltplan bei 1b)⁵.

Wir messen hier die Ausgangsspannung als Funktion der Eingangsspannung, wobei die Eingangsspannung $\frac{1}{10}$ der Generatorenspannung beträgt. Wir führen die Messung mit einer Sinusspannung von 1kHz durch, bei 6 Generatorenspannungen zwischen 0V und 1V Spitze-Spitze. Diese Messung führen wir bei den Gegenkoppelwiderständen $274\text{k}\Omega$ und $680\text{k}\Omega$ durch.

1.2.3 Frequenzgang mit Gegenkopplung

Wir messen zwischen 100Hz und 300kHz mit je 3 Messwerten pro Dekade die Ausgangsspannung. Wir tun dies für 3 verschiedene Gegenkopplungen, mit $680\text{k}\Omega$ und $274\text{k}\Omega$ (bei $0,3V_{SS}$) und mit $48,7\text{k}\Omega$ bei $1V_{SS}$.

1.2.4 Frequenzgang mit Tiefpass

Abbildung 7: Schaltplan bei 2b)⁶.

⁵Quelle: [Praktikumsanleitung](#)

⁶Quelle: [Praktikumsanleitung](#)

Wir bauen den Kondensator in den Gegenkoppelzweig, sodass wir einen Tiefpass erhalten, und messen wieder den Frequenzgang analog zu 2a) mit $1V_{SS}$.

1.2.5 Frequenzgang mit Hochpass

Wir messen erneut den Frequenzgang, aber mit dem kleinen 47nF Kondensator am Eingang und $R_G = 48,7\text{k}\Omega$, zwischen 300Hz und 20kHz .

1.2.6 Rechtecksignal mit Verstärker

Wir geben ein Rechtecksignal in den Verstärker und untersuchen, wie sich das Ausgangssignal mit verschiedenen Gegenkopplungen ändert.

2 Messprotokoll

Versuch 242 Spannungsverstärker - Messprotokoll

Felix Fleischle, Daniel Schulz 14.3.2022

- Versuchsaufbau

- 1 Schaltungskasten mit Operationsverstärker μA741
- 1 Sinus-Rechteck-Generator (IRG)
- 1 Zweikanaloszillatoren HM303 bzw. HM203-6

- Durchführung

1a) Wir bauen einen Gleichspannungsverstärker auf.

Wir messen nun die Ausgangsspannung U_A als Funktion der Eingangsspannung U_1 bei 8 verschiedenen U_1 mit $-6,25 \text{ V} \leq U_1 \leq 0,25 \text{ V}$. Wir fahren die Messung für 2 verschiedene Gegenkopplungswiderstände durch.

Tabelle 1: $U_A = f(U_1)$ für 2 versch. Widerstände

$$R = 47,8 \text{ k}\Omega$$

$$R = 2746 \Omega$$

$U_1 [\text{mV}]$	$U_A [\text{V}]$	$U_1 [\text{mV}]$	$U_A [\text{V}]$
$-247,0 \pm 0,10$	$4,410 \pm 0,010$	$-247,0 \pm 1,0$	$14,40 \pm 0,10$
$-200,0 \pm 1,0$	$3,280 \pm 0,010$	$-200,0 \pm 1,0$	$14,40 \pm 0,10$
$-122,0 \pm 1,0$	$2,000 \pm 0,010$	$-125,0 \pm 1,0$	$11,40 \pm 0,10$
$-26,3 \pm 0,3$	$0,487 \pm 0,003$	$-25,0 \pm 0,3$	$2,600 \pm 0,010$
$+25,4 \pm 0,5$	$-0,378 \pm 0,003$	$24,6 \pm 0,3$	$-2,000 \pm 0,010$
$119,0 \pm 1,0$	$-1,840 \pm 0,010$	$119,0 \pm 1,0$	$-10,50 \pm 0,10$
$199,0 \pm 1,0$	$-3,120 \pm 0,010$	$247,0 \pm 1,0$	$-13,60 \pm 0,10$
$248,0 \pm 1,0$	$-3,950 \pm 0,010$		

1b) Wir bauen einen Wechselspannungsverstärker auf.

Wir messen für 6 Werte um U_0 zwischen U_{GND} und U_{SS} die Ausgangsspannung, wieder für 2 Widerstände

Tabelle 2: $U_A = f(U_0)$ für 2 versch. Widerstände

$$R = 274 \text{ k}\Omega$$

$$R = 680 \text{ k}\Omega$$

$U_0 [\text{mV}]$	$U_A [\text{V}]$	$U_0 [\text{mV}]$	$U_A [\text{V}]$
$176,0 \pm 1,0$	$1,1460 \pm 0,010$	$168,0 \pm 2,0$	$3,520 \pm 0,010$
$336,0 \pm 2,0$	$2,860 \pm 0,010$	$336,0 \pm 2,0$	$7,00 \pm 0,04$
424 ± 3	$3,56 \pm 0,03$	$420,0 \pm 1,0$	$8,72 \pm 0,06$
$504,0 \pm 1,0$	$4,260 \pm 0,010$	$500,0 \pm 1,0$	$10,30 \pm 0,10$
$672,0 \pm 1,0$	$5,760 \pm 0,010$	$672,0 \pm 2,0$	$14,00 \pm 0,10$
$840,0 \pm 1,0$	$7,12 \pm 0,03$	$840,0 \pm 1,0$	$17,40 \pm 0,10$

2) Wir nehmen den selben Aufbau und messen $U_A = f(f)$ zwischen 100 Hz und 300 kHz für 3 verschiedene Widerstände

Tabelle 3: $U_A(f)$ für 3 versch. Widerstände

$$R = 680 \text{ k}\Omega, U_0 = 0,3 \text{ V}_{\text{SS}}$$

$$R = 274 \text{ k}\Omega, U_0 = 0,7 \text{ V}_{\text{SS}}$$

$f [\text{kHz}]$	$U_A [\text{V}]$	$f [\text{kHz}]$	$U_A [\text{V}]$
0,1	$5,40 \pm 0,10$	0,1	$2,160 \pm 0,010$
0,4	$5,40 \pm 0,10$	0,4	$2,160 \pm 0,010$
0,7	$5,320 \pm 0,010$	0,7	$2,160 \pm 0,010$
1	$5,240 \pm 0,010$	1	$2,160 \pm 0,010$
4	$3,920 \pm 0,010$	4	$2,120 \pm 0,010$

7	$2,800 \pm 0,010$	7	$1,800 \pm 0,010$
10	$2,120 \pm 0,010$	10	$1,560 \pm 0,010$
40	$0,680 \pm 0,010$	40	$0,532 \pm 0,010$
70	$0,440 \pm 0,010$	70	$0,320 \pm 0,010$
100	$0,360 \pm 0,010$ *	100	$0,222 \pm 0,010$
300	$0,0800 \pm 0,0020$	300	$0,078 \pm 0,005$
		*	
	$0,226 \pm 0,010$		

$$R = 48,7 \text{ k}\Omega, U_0 = 1V_{SS} (840 \text{ mV})$$

$f [\text{kHz}]$	$U_A [\text{V}]$	$f [\text{kHz}]$	$U_A [\text{V}]$
0,1	$1,300 \pm 0,010$	40	$1,020 \pm 0,010$
0,4	$1,300 \pm 0,010$	70	$0,800 \pm 0,010$
0,7	$1,300 \pm 0,010$	100	$0,640 \pm 0,010$
1	$1,260 \pm 0,010$	300	$0,246 \pm 0,010$
4	$1,280 \pm 0,010$		
7	$1,260 \pm 0,010$		
10	$1,260 \pm 0,010$		

2a) Wir schalten einen Kondensator zur Gegenkopplung hinzu
und messen den Frequenzgang

Tabelle 4: $U_A (f)$ mit Kondensator ($C = 560 \text{ pF}$)

$f [\text{kHz}]$	$U_A [\text{V}]$	$f [\text{kHz}]$	$U_A [\text{V}]$
0,1	$1,300 \pm 0,010$	10	$0,720 \pm 0,010$
0,4	$1,300 \pm 0,010$	40	$0,214 \pm 0,010$
0,7	$1,300 \pm 0,010$	70	$0,127 \pm 0,010$
1	$1,280 \pm 0,010$	100	$0,10906 \pm 0,0003$
4	$1,160 \pm 0,010$	300	$0,0324 \pm 0,0005$
7	$0,880 \pm 0,010$		

2c) Wir wiederholen die Messung von 2a) mit
 $C = 47 \text{ nF}$ statt $C = 22 \mu\text{F}$ am Eingang.

Tabelle 5: $U_A(f)$ für $C_E = 47 \text{nF}$, $U_0 = 1 \text{ V}$, $R = 49,2 \text{k}\Omega$

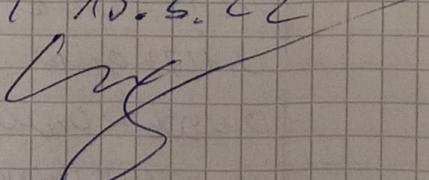
$f [kHz]$	$U_A [\text{mV}]$	$f [kHz]$	$U_A [V]$
0,3	$1,000 \pm 0,003$	10	$1,260 \pm 0,010$
0,7	$0,400 \pm 0,003$	30	$1,140 \pm 0,010$
1	$0,760 \pm 0,010$	70	$1,200 \pm 0,010$
4	$0,920 \pm 0,010$		
7	$1,260 \pm 0,010$		

3) Wir geben ein Rechtecksignal an den Verstärker mit
 $f = 1 \text{ kHz}$ und beschreiben, wie sich die Impulsform
bei verschiedenen Einstellungen der Gegenkopplung ändert.

Wir stellen einen Tiefpass ein, und sehen das,

je größer der Widerstand und je größer die
Verstärkung, desto kurviger wird das
Ausgangssignal.

Außerdem wird die ~~Amplitude~~ Amplitude natürlich größer.

VT 15.3.22


3 Auswertung

3.1 Gleichspannungsverstärker

Wir beginnen zunächst mit der Auswertung unserer Messdaten zur Messung der Aufgangsspannung als Funktion der Eingangsspannung bei Gleichstrom. Wir tragen unsere Messwerte der Ausgangsspannung gegen die Eingangsspannung auf und erhalten folgendes Diagramm:

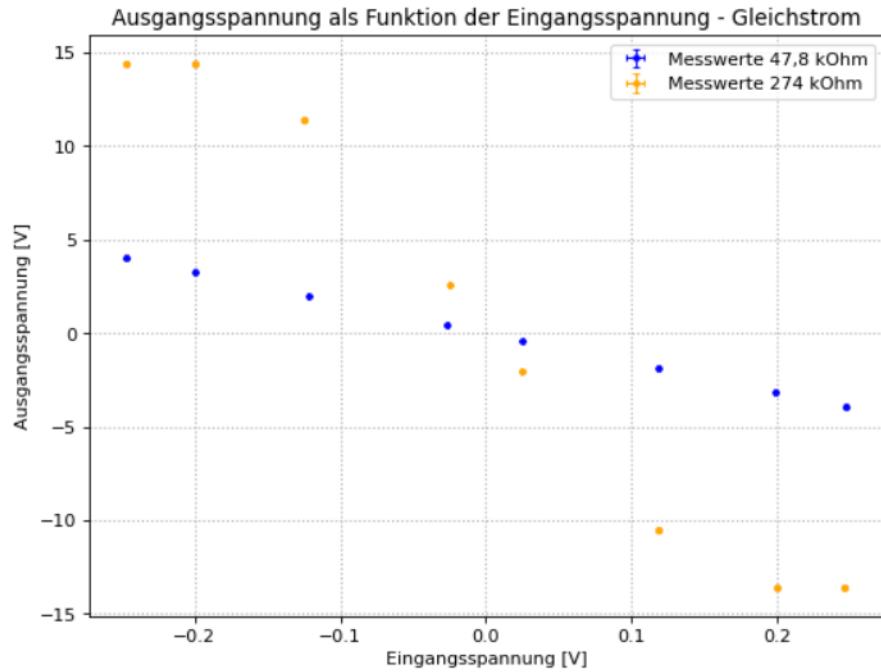


Abbildung 8: Ausgangsspannung als Funktion der Eingangsspannung bei Gleichstrom

Wir führen einen fit mit einer Geraden $U_A = sU_E$ durch, und erhalten folgendes Diagramm:

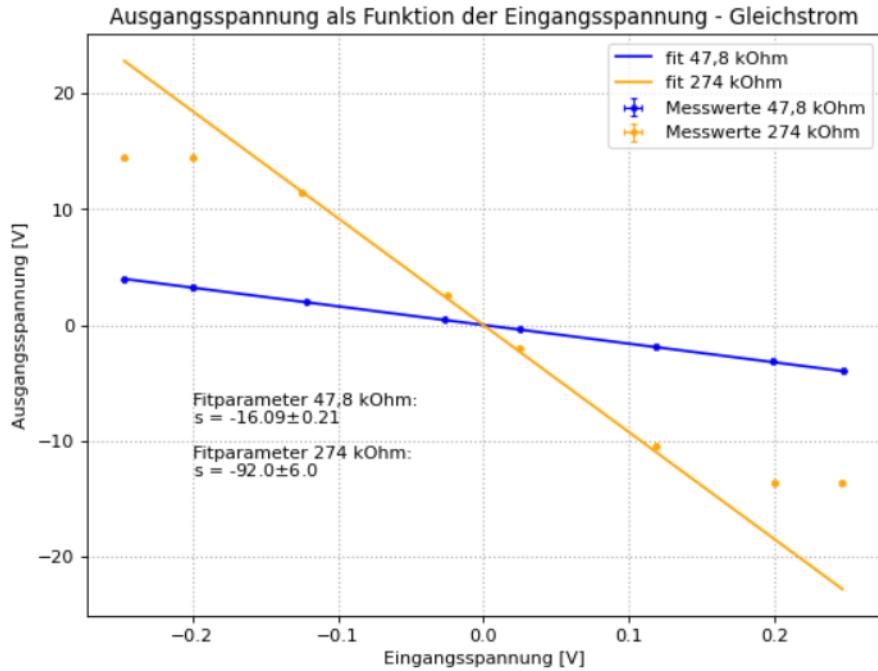


Abbildung 9: Ausgangsspannung als Funktion der Eingangsspannung bei Gleichstrom mit fit

Die Steigung als Fitparameter ist dabei im Diagramm angegeben. Sie entspricht der Spannungsverstärkung V_0 , sodass wir die folgenden Ergebnisse erhalten:

$$V_{47,8k\Omega} = -16,09 \pm 0,21 \quad (3.1)$$

$$V_{274k\Omega} = -92 \pm 6 \quad (3.2)$$

Hier ist der Fehler der zweiten Steigung sehr groß, was daran liegt dass wir nur vier Messwerte für den fit hatten. Die restlichen Messwerte waren nicht brauchbar, da hier die Spannung stagniert, da diese nicht die Spannung des Netzteils überschreiten kann.

Wir berechnen nun mit $R_E = 3k\Omega$ und dem jeweiligen Gegenwiderstand die theoretischen Werte:

$$V_{47,8k\Omega,\text{theo}} = -\frac{R_G}{R_E} = -15,93 \quad (3.3)$$

$$V_{274k\Omega,\text{theo}} = -\frac{R_G}{R_E} = -91,33 \quad (3.4)$$

Dies ergibt Abweichungen von

$$\sigma_{47,8k\Omega} = \frac{V_{47,8k\Omega} - V_{47,8k\Omega,\text{theo}}}{\Delta V_{47,8k\Omega}} = 0,76 \quad (3.5)$$

$$\sigma_{274k\Omega} = 0,15 \quad (3.6)$$

Die Abweichungen sind also nicht signifikant.

3.2 Wechselspannungsverstärker

Wir tragen hier analog unsere gemessenen Ausgangsspannungen gegen die Eingangsspannung auf. Wir teilen unsere Messwerte noch durch 10, da die tatsächliche Eingangsspannung einem zehntel der gemessenen Eingangsgeneratorspannung entspricht. Wir erhalten folgendes Diagramm:

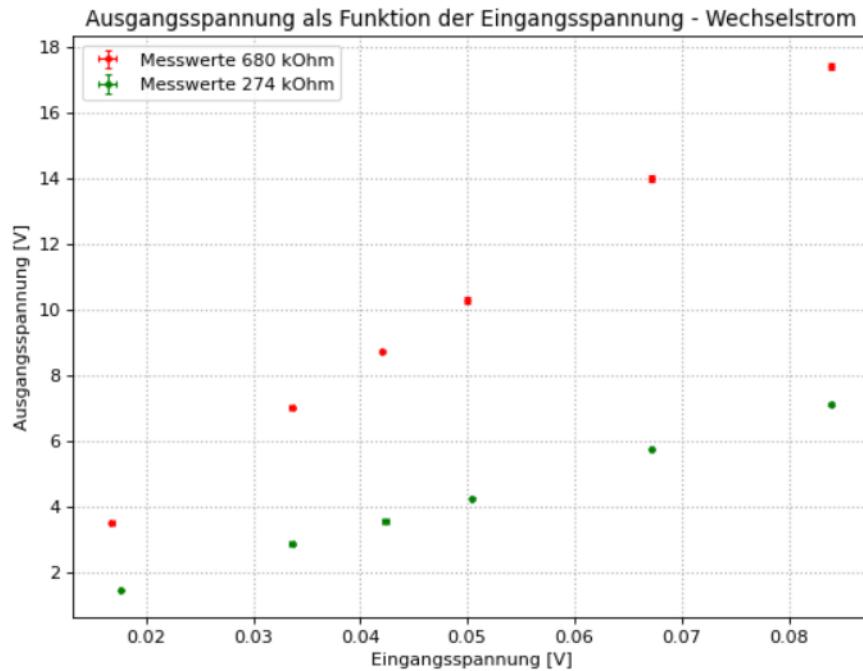


Abbildung 10: Ausgangsspannung als Funktion der Eingangsspannung bei Wechselstrom

Wir führen einen fit mit einer Gerade durch, und erhalten folgendes Diagramm:

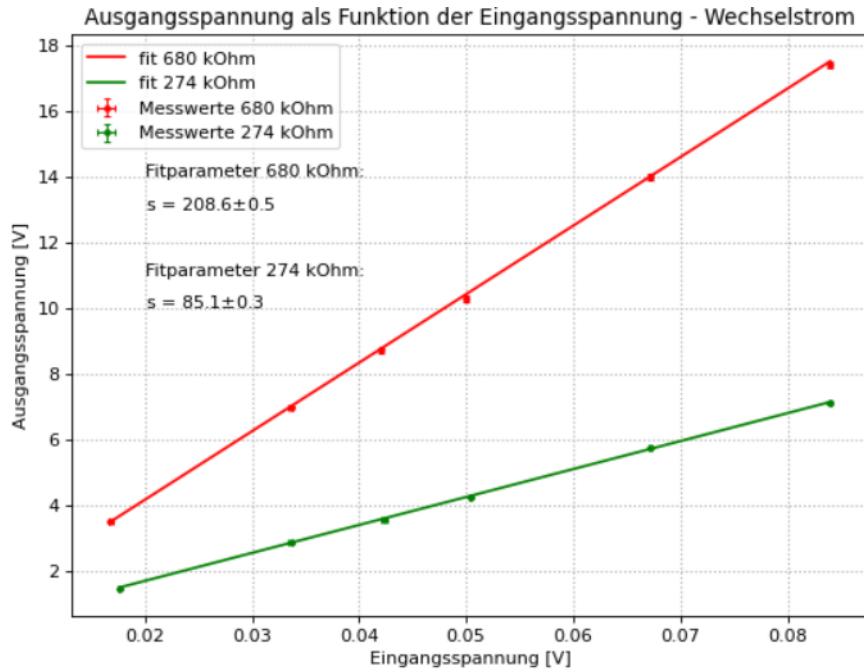


Abbildung 11: Ausgangsspannung als Funktion der Eingangsspannung bei Wechselstrom mit fit

Aus den Fitparametern erhalten wir wieder die Verstärkungen

$$V_{680k\Omega} = 208,6 \pm 0,5 \quad (3.7)$$

$$V_{274k\Omega} = 85,1 \pm 0,3 \quad (3.8)$$

Für die theoretischen Werte mit dem selben Eingangswiderstand erhalten wir

$$V_{680k\Omega, theo} = 226,67 \quad (3.9)$$

$$V_{274k\Omega, theo} = 91,33 \quad (3.10)$$

Was uns die Abweichungen

$$\sigma_{680k\Omega} = 37,90 \quad (3.11)$$

$$\sigma_{274k\Omega} = 20,59 \quad (3.12)$$

gibt. Diese Abweichungen sind eindeutig signifikant. Den Grund dafür werden wir in der Diskussion erörtern.

3.3 Frequenzgang

Wir wollen nun unsere Messdaten von allen 5 Messreihen in Versuchsteil 2 gegen die Frequenz in einem doppeltlogarithmischen Diagramm auftragen. Wir erhalten das folgende Diagramm:

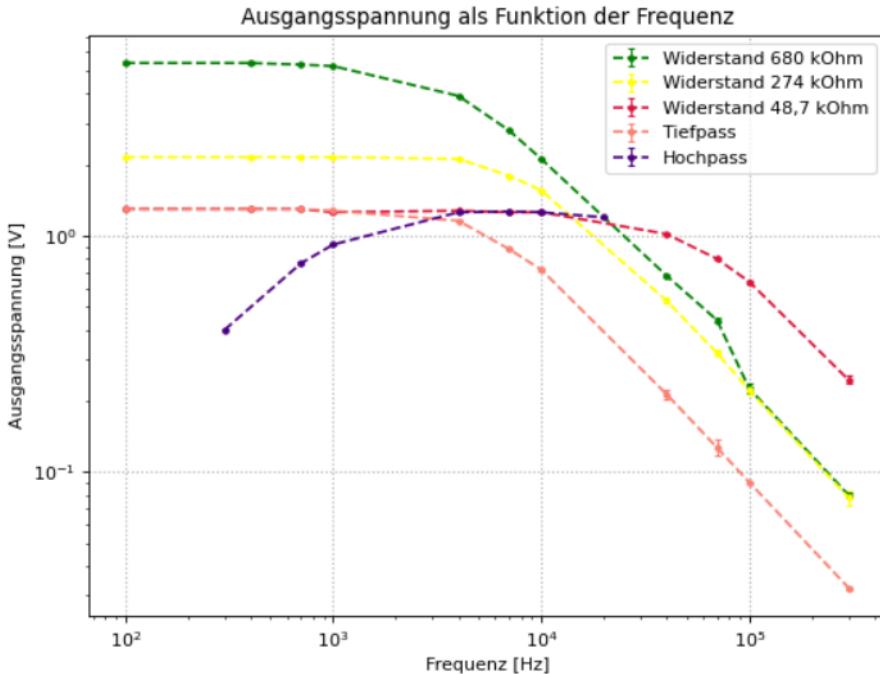


Abbildung 12: Ausgangsspannung als Funktion der Frequenz bei Gegenkopplung, Tiefpass und Hochpass

Die grüne, gelbe und rote Linie sind dabei der Frequenzgang, den wir mit einem simplen Widerstand als Rückkopplung gemessen haben. Wir sehen bei allen drei Verläufen die charakteristische Gerade bis zum linearen Abfall. Eigentlich sollten die drei Verläufe in die selbe Gerade mit negativer Steigung münden, aber der Verlauf mit dem kleinsten Widerstand ist etwas verschoben.

Wir können aber gut sehen, dass der höchste Gegenwiderstand auch die höchste Verstärkung bringt, allerdings auch die kleinste Bandbreite. Analog hat der kleinste Widerstand die größte Bandbreite und die kleinste Verstärkung.

Der lachsfarbene Verlauf wurde beim gleichen Aufbau gemessen wie der rote Verlauf, nur mit einem zugeschalteten Tiefpass. Wir können gut sehen, dass die Verstärkung bei niedrigen Frequenzen gleich bleibt, und die hohen Frequenzen eindeutig abgeschwächt werden.

Der indigoblau Verlauf wurde wieder mit dem gleichen Widerstand gemessen, aber zusätzlich mit einem Hochpass. Auch hier sehen wir, wie sich die Verstärkung bei mittleren Frequenzen dem Wert der anderen Messungen mit dem gleichen Widerstand annähert, aber bei niedrigen Frequenzen wirkt der Hochpass und die Ausgangsspannung sinkt.

3.4 Rechtecksingal

Wir haben in der Durchführung gesehen, dass bei Gegenkopplung das Rechtecksignal deutlicher wird, je kleiner der Widerstand ist. Dies ist leicht zu erklären, da beim kleineren Widerstand die Bandbreite größer ist, und somit die großen Frequenzen eher gleich verstärkt werden wie die niedrigen Frequenzen. Beim hohen Widerstand werden die hohen Frequenzen abgeschwächt, sodass das Rechtecksignal, welches als Fourierreihe aus verschiedenen Sinusschwingungen besteht, immer sinusartiger wird, da die hohen Frequenzen für die Kantensteilheit verantwortlich sind.

4 Zusammenfassung und Diskussion

Die Ziele dieses Versuches waren es, das Verhältnis von Eingangs- und Ausgangsspannung des Verstärkers für 2 verschiedene starke Gegenkopplungen bei Gleich- und Wechselspannung zu messen. Außerdem haben wir den Frequenzgang des Verstärkungsfaktors im Bereich von 100Hz bis 300kHz für verschiedene Gegenkopplungen gemessen. Zum Schluss haben wir noch den Einfluss des Frequenzganges auf die Form von Rechteck-Pulsen beschrieben.

Zu Beginn des Versuches haben wir die Ausgangsspannung als Funktion der Eingangsspannung des Verstärkers mit Gegenkopplung bei Gleichspannung bestimmt. Dies haben wir für 2 verschiedene Gegenkopplungswiderstände getan. Wir haben die Messwerte in einem Diagramm aufgetragen, und zwei Geraden erhalten, dessen Steigung der Spannungsverstärkung entspricht. Wir haben so die experimentellen Spannungsverstärkungen von

$$V_{47,8k\Omega} = -16,09 \pm 0,21 \quad (4.1)$$

$$V_{274k\Omega} = -92 \pm 6 \quad (4.2)$$

erhalten. Wie auch schon in der Auswertung erwähnt, ist hier der Fehler bei der zweiten Gerade sehr groß, da wir nur mit 4 der Messpunkte den fit durchführen konnten, da die anderen Messwerte durch die Limitierung des Netzteils verfälscht wurden.

Wir haben aus Gegenwiderstand und Eingangswiderstand den theoretischen Wert der Verstärkung bestimmt und die folgenden Ergebnisse erhalten:

$$V_{47,8k\Omega, theo} = -\frac{R_G}{R_E} = -15,93 \quad (4.3)$$

$$V_{274k\Omega, theo} = -\frac{R_G}{R_E} = -91,33 \quad (4.4)$$

Wir haben damit Abweichungen von

$$\sigma_{47,8k\Omega} = \frac{V_{47,8k\Omega} - V_{47,8k\Omega, theo}}{\Delta V_{47,8k\Omega}} = 0,76 \quad (4.5)$$

$$\sigma_{274k\Omega} = 0,15 \quad (4.6)$$

Die Abweichungen sind also nicht signifikant.

Als nächstes haben wir erneut die Ausgangsspannung als Funktion der Eingangsspannung gemessen, aber dieses mal mit Wechselspannung. Wir haben erneut für beide Widerstände eine Gerade gefittet und folgende Spannungsverstärkungen erhalten:

$$V_{680k\Omega} = 208,6 \pm 0,5 \quad (4.7)$$

$$V_{274k\Omega} = 85,1 \pm 0,3 \quad (4.8)$$

Für die theoretischen Werte haben wir

$$V_{680k\Omega,\text{theo}} = 226,67 \quad (4.9)$$

$$V_{274k\Omega,\text{theo}} = 91,33 \quad (4.10)$$

erhalten, was uns die Abweichungen

$$\sigma_{680k\Omega} = 37,90 \quad (4.11)$$

$$\sigma_{274k\Omega} = 20,59 \quad (4.12)$$

gegeben hat. Diese Abweichungen sind deutlich signifikant. Wir können zeigen, dass es sich um einen systematischen Fehler handelt, indem wir aus dem ersten theoretischen Wert einen Korrekturfaktor berechnen:

$$k = \frac{V_{680k\Omega,\text{theo}}}{V_{680k\Omega}} = 1,086 \quad (4.13)$$

Wir korrigieren damit unseren zweiten experimentellen Wert auf

$$V_{247k\Omega,\text{korr}} = 92,5 \pm 0,3 \quad (4.14)$$

Was nur noch einer Abweichung von

$$\sigma_{247k\Omega,\text{korr}} = 3,49 \quad (4.15)$$

entspricht. Diese ist immernoch signifikant, vor allem da der Fehler unseres Wertes durch den fit so klein ist, aber die Werte stimmen eindeutig besser überein als davor.

Was der Ursprung dieses systematischen Fehlers ist, ist schwer zu sagen. Möglicherweise hatten wir am Oszilloskop eine falsche Einstellung, oder wir hatten einen Schalter in der falschen Position. Genau können wir aber nun keinen Grund festmachen.

Im nächsten Versuchsteil haben wir den Frequenzgang für unterschiedliche Aufbauten gemessen. Zuerst haben wir gewöhnlich für 3 verschiedene Gegenkopplungswiderstände gemessen. Dann haben wir einen Kondensator in den Gegenkopplungszweig geschalten, und so einen Tiefpass erzeugt. Zum Schluss haben wir einen kleinen Kondensator in den Eingang geschalten, um so einen Hochpass zu erhalten.

Wir haben alle Messwerte in ein Diagramm aufgetragen, und die Frequenzgänge erklärt. Die genaue Analyse ist in der Auswertung zu finden. Zusammengefasst konnten wir den charakteristischen Verlauf bei allen 5 Kurven feststellen. Wir konnten sehen, dass der Widerstand proportional zur Verstärkung, und antiproportional zur Bandbreite ist, und dass der Tiefpass und Hochpass jeweils die hohen und tiefen Frequenzen dämpfen.

Im letzten Versuchsteil haben wir ein Rechtecksignal durch den Verstärker geschickt, und gesehen, dass der Gegenwiderstand, welcher antiproportional zur Bandbreite ist, auch antiproportional

zur Steilheit der Flanken des Rechtecksignals ist. Dies haben wir auf die Fourierzerlegung des Rechtecksignals zurückgeführt.

Versuch 242 Spannungsverstärker - Auswertung

Felix Fleischle - 15.3.2022

```
In [1]: import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
from scipy.optimize import curve_fit

#%matplotlib qt5
```

1a) Gleichspannungsverstärker

```
In [2]: # Messwerte:
# R=47,8 kOhm
U_E_1_478 = np.array([-247, -200, -122, -26.3, 25.4, 119, 199, 248]) /1000 #V
U_E_1_478_err = np.array([1, 1, 1, 0.3, 0.5, 1, 1, 1]) /1000 #V

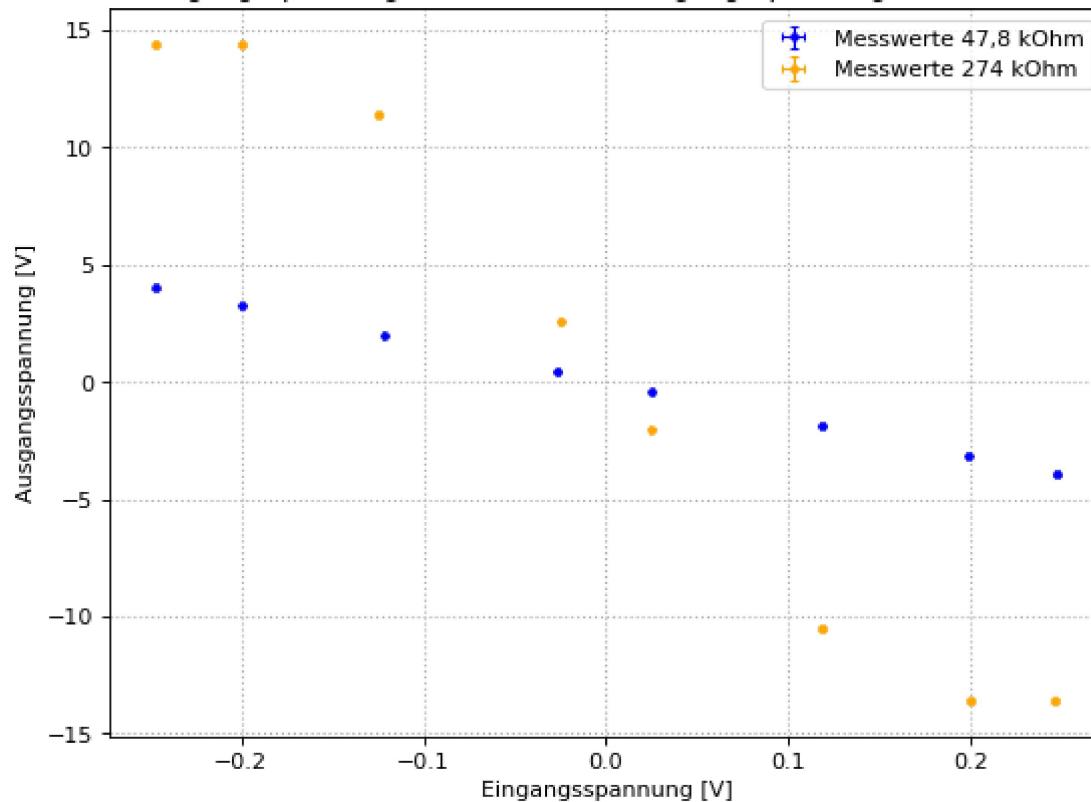
U_A_1_478 = np.array([4.01, 3.28, 2, 0.487, -0.378, -1.840, -3.120, -3.950]) #V
U_A_1_478_err = np.array([0.01, 0.01, 0.01, 0.003, 0.003, 0.01, 0.01, 0.01]) #V

# R=274kOhm
U_E_1_274 = np.array([-247, -200, -125, -25, 24.6, 119, 200, 247]) /1000 #V
U_E_1_274_err = np.array([1, 1, 1, 0.3, 0.3, 1, 1, 1]) /1000 #V

U_A_1_274 = np.array([14.4, 14.4, 11.4, 2.6, -2, -10.5, -13.6, -13.6]) #V
U_A_1_274_err = np.array([0.1, 0.1, 0.1, 0.01, 0.01, 0.1, 0.1, 0.1]) #V
```

```
In [3]: plt.figure(figsize=(8, 6), dpi=80)
plt.errorbar(U_E_1_478,U_A_1_478, yerr = U_A_1_478_err, xerr = U_E_1_478_err, linestyle='None', marker = ".", label="Messwerte 47")
plt.errorbar(U_E_1_274,U_A_1_274, yerr = U_A_1_274_err, xerr = U_E_1_274_err, linestyle='None', marker = ".", label="Messwerte 27")
plt.xlabel('Eingangsspannung [V]')
plt.ylabel('Ausgangsspannung [V]')
plt.title('Ausgangsspannung als Funktion der Eingangsspannung - Gleichstrom')
#plt.yscale('Log')
plt.legend()
plt.grid(linestyle=":", linewidth=1)
```

Ausgangsspannung als Funktion der Eingangsspannung - Gleichstrom



In [4]:

```
def linearfun(x,s):
    return x*s #+ b

popt_1_478, pcov_1_478 = curve_fit(linearfun, U_E_1_478, U_A_1_478, sigma=U_A_1_478_err)
popt_1_274, pcov_1_274 = curve_fit(linearfun, U_E_1_274[2:-2], U_A_1_274[2:-2], sigma=U_A_1_274_err[2:-2])
```

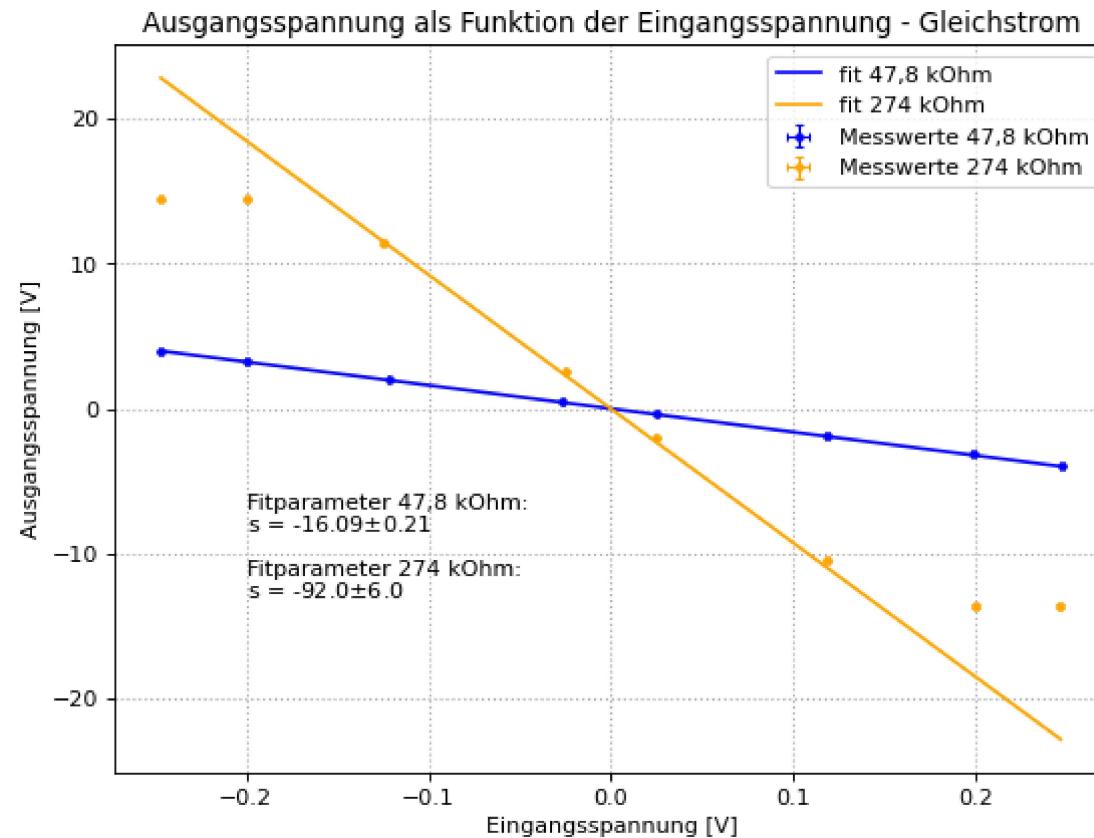
In [5]:

```
plt.figure(figsize=(8, 6), dpi=80)
plt.errorbar(U_E_1_478,U_A_1_478, yerr = U_A_1_478_err, xerr = U_E_1_478_err, linestyle='None', marker = ".", label="Messwerte 47,8 kOhm")
plt.errorbar(U_E_1_274,U_A_1_274, yerr = U_A_1_274_err, xerr = U_E_1_274_err, linestyle='None', marker = ".", label="Messwerte 274 kOhm")
plt.plot(U_E_1_478,linearfun(U_E_1_478,*popt_1_478), label="fit 47,8 kOhm", color="blue")
plt.plot(U_E_1_274,linearfun(U_E_1_274,*popt_1_274), label="fit 274 kOhm", color="orange")
plt.xlabel('Eingangsspannung [V]')
plt.ylabel('Ausgangsspannung [V]')
plt.title('Ausgangsspannung als Funktion der Eingangsspannung - Gleichstrom')
```

```

plt.text(-0.2, -7, 'Fitparameter 47,8 kOhm:')
plt.text(-0.2, -8.5, 's = ' + str(np.round(popty_1_478[0],2)) + '$\pm$' + str(np.round(np.sqrt(pcov_1_478[0,0]),2)))
# plt.text(-0.2, -10, 'b = ' + str(np.round(popty_1_478[1],5)) + '$\pm$' + str(np.round(pcov_1_478[1,1],5)))
plt.text(-0.2, -11.5, 'Fitparameter 274 kOhm:')
plt.text(-0.2, -13, 's = ' + str(np.round(popty_1_274[0],0)) + '$\pm$' + str(np.round(np.sqrt(pcov_1_274[0,0]),0)))
# plt.text(-0.2, -14.5, 'b = ' + str(np.round(popty_1_274[1],4)) + '$\pm$' + str(np.round(pcov_1_274[1,1],4)))
#plt.yscale('Log')
plt.legend()
plt.grid(linestyle=":", linewidth=1)

```



In [6]:

```

# Theoretische Verstärkungen:
R_E_1 = 3000 #kOhm
R_G_1 = np.array([47.8, 274]) *1000 #Ohm

V_0_1 = -R_G_1 / R_E_1

```

```

print("Theoretische Verstärkungen:", V_0_1)

# Abweichungen:
V_0_1_exp = np.array([popt_1_478[0], popt_1_274[0]])
V_0_1_exp_err = np.array([np.sqrt(pcov_1_478[0,0]), np.sqrt(pcov_1_274[0,0])])
print(V_0_1_exp_err)
sigma_1 = np.abs((V_0_1_exp - V_0_1)/V_0_1_exp_err)
print("Abweichungen:", sigma_1)

```

Theoretische Verstärkungen: [-15.93333333 -91.33333333]

[0.21027848 5.93174799]

Abweichungen: [0.7557692 0.15289784]

1b) Wechselspannungsverstärker

In [7]:

```

# Messwerte:
# R=680 kOhm
U_E_1b_680 = np.array([168, 336, 420, 500, 672, 840]) /1000 /10 #V
U_E_1b_680_err = np.array([2, 2, 1, 1, 2, 1]) /1000 /10 #V

U_A_1b_680 = np.array([3.52, 7.00, 8.72, 10.3, 14.00, 17.4]) #V
U_A_1b_680_err = np.array([0.01, 0.04, 0.06, 0.1, 0.1, 0.1]) #V

# R=274kOhm
U_E_1b_274 = np.array([176, 336, 424, 504, 672, 840]) /1000 /10 #V
U_E_1b_274_err = np.array([1, 2, 3, 1, 1, 1]) /1000 /10 #V

U_A_1b_274 = np.array([1.46, 2.86, 3.56, 4.26, 5.76, 7.12]) #V
U_A_1b_274_err = np.array([0.01, 0.01, 0.03, 0.01, 0.01, 0.03]) #V

```

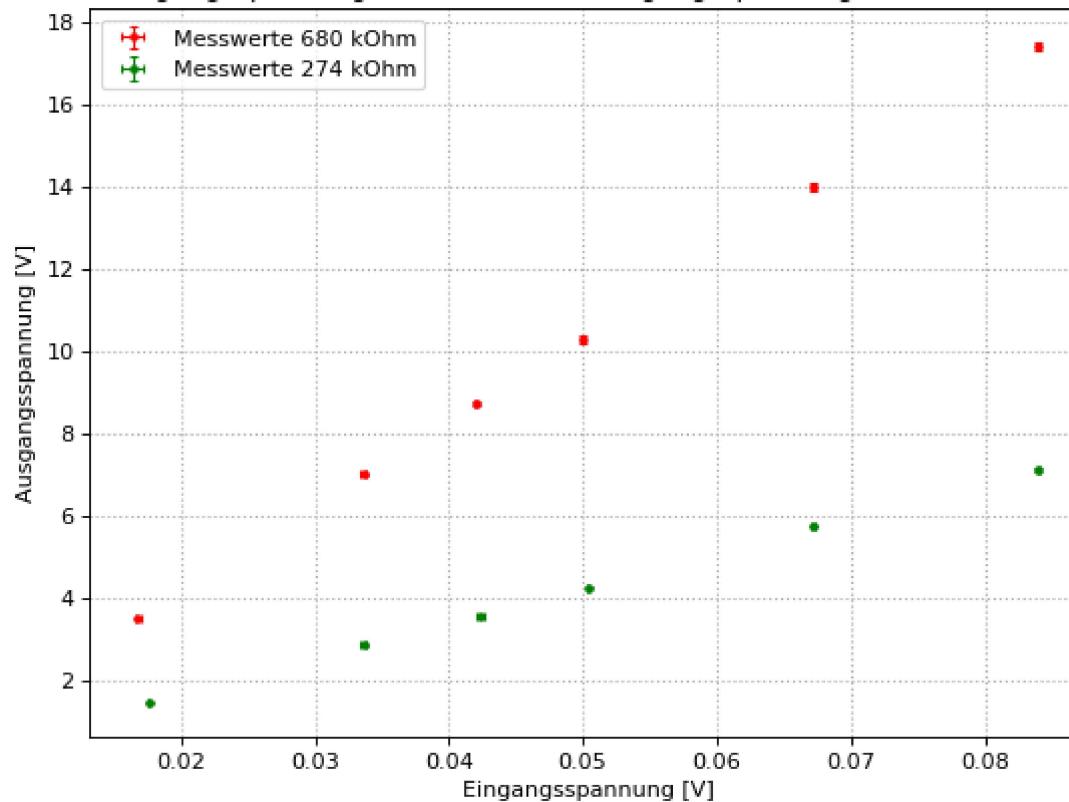
In [8]:

```

plt.figure(figsize=(8, 6), dpi=80)
plt.errorbar(U_E_1b_680,U_A_1b_680, yerr = U_A_1b_680_err, xerr = U_E_1b_680_err, linestyle='None', marker = ".", label="Messwert")
plt.errorbar(U_E_1b_274,U_A_1b_274, yerr = U_A_1b_274_err, xerr = U_E_1b_274_err, linestyle='None', marker = ".", label="Messwert")
plt.xlabel('Eingangsspannung [V]')
plt.ylabel('Ausgangsspannung [V]')
plt.title('Ausgangsspannung als Funktion der Eingangsspannung - Wechselstrom')
#plt.yscale('log')
plt.legend()
plt.grid(linestyle=":", linewidth=1)

```

Ausgangsspannung als Funktion der Eingangsspannung - Wechselstrom



In [9]:

```
popt_1b_680, pcov_1b_680 = curve_fit(linearfun, U_E_1b_680, U_A_1b_680, sigma=U_A_1b_680_err)
popt_1b_274, pcov_1b_274 = curve_fit(linearfun, U_E_1b_274, U_A_1b_274, sigma=U_A_1b_274_err)
```

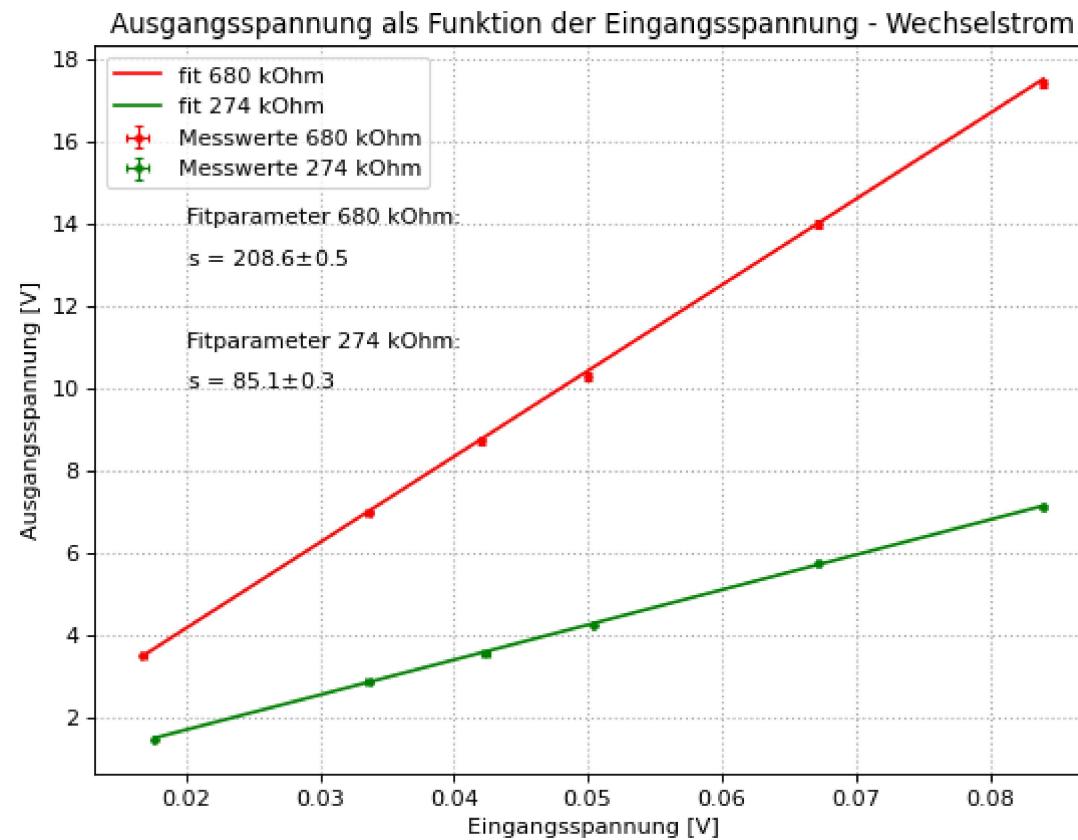
In [10]:

```
plt.figure(figsize=(8, 6), dpi=80)
plt.errorbar(U_E_1b_680,U_A_1b_680, yerr = U_A_1b_680_err, xerr = U_E_1b_680_err, linestyle='None', marker = ".", label="Messwert")
plt.errorbar(U_E_1b_274,U_A_1b_274, yerr = U_A_1b_274_err, xerr = U_E_1b_274_err, linestyle='None', marker = ".", label="Messwert")
plt.plot(U_E_1b_680,linearfun(U_E_1b_680,*popt_1b_680), label="fit 680 kOhm", color="red")
plt.plot(U_E_1b_274,linearfun(U_E_1b_274,*popt_1b_274), label="fit 274 kOhm", color="green")
plt.xlabel('Eingangsspannung [V]')
plt.ylabel('Ausgangsspannung [V]')
plt.title('Ausgangsspannung als Funktion der Eingangsspannung - Wechselstrom')
plt.text(0.02, 14, 'Fitparameter 680 kOhm:')
plt.text(0.02, 13, 's = ' + str(np.round(popt_1b_680[0],1)) + '\u00b1' + str(np.round(np.sqrt(pcov_1b_680[0,0]),1)))
# plt.text(0.02, 12, 'b = ' + str(np.round(popt_1b_680[1],5)) + '\u00b1' + str(np.round(pcov_1b_680[1,1],5)))
```

```

plt.text(0.02, 11, 'Fitparameter 274 kOhm:')
plt.text(0.02, 10, 's = ' + str(np.round(popt_1b_274[0],1)) + '$\pm$' + str(np.round(np.sqrt(pcov_1b_274[0,0]),1)))
# plt.text(0.02, 9, 'b = ' + str(np.round(popt_1b_274[1],4)) + '$\pm$' + str(np.round(pcov_1b_274[1,1],4)))
# plt.yscale('Log')
plt.legend()
plt.grid(linestyle=":", linewidth=1)

```



In [11]:

```

# Theoretische Verstärkungen:
R_E_1b = 3000 #kOhm
R_G_1b = np.array([680, 274]) *1000 #Ohm

V_0_1b = R_G_1b / R_E_1b
print("Theoretische Verstärkungen:", V_0_1b)

# Abweichungen:

```

```
V_0_1b_exp = np.array([popt_1b_680[0], popt_1b_274[0]])
V_0_1b_exp_err = np.array([np.sqrt(pcov_1b_680[0,0]), np.sqrt(pcov_1b_274[0,0])])
sigma_1b = np.abs((V_0_1b_exp - V_0_1b)/V_0_1b_exp_err)
print("Abweichungen:", sigma_1b)

# Test
corrifikat = V_0_1b[0]/V_0_1b_exp[0]
print("Korrekturfaktor:", corrifikat)

V_0_1b_exp_korr = corrifikat * V_0_1b_exp
V_0_1b_exp_err_korr = corrifikat * V_0_1b_exp_err

print("Korrigiert:", V_0_1b_exp_korr, "+-", V_0_1b_exp_err_korr)
sigma_1b_korr = np.abs((V_0_1b_exp_korr - V_0_1b)/V_0_1b_exp_err_korr)
print("Abweichungen korrigiert:", sigma_1b_korr)
```

Theoretische Verstärkungen: [226.66666667 91.33333333]
 Abweichungen: [37.89794453 20.58817032]
 Korrekturfaktor: 1.0864747813268962
 Korrigiert: [226.66666667 92.47906305] +- [0.51720352 0.32796991]
 Abweichungen korrigiert: [0. 3.49339892]

2) Frequenzgang

In [12]:

```
# Messwerte:

f_2a = np.array([0.1, 0.4, 0.7, 1, 4, 7, 10, 40, 70, 100, 300]) *1000 #Hz
# R=680 kOhm
U_A_2a_680 = np.array([5.4, 5.4, 5.32, 5.24, 3.92, 2.8, 2.12, 0.68, 0.44, 0.226, 0.08])
U_A_2a_680_err = np.array([0.1, 0.1, 0.01, 0.01, 0.01, 0.01, 0.01, 0.01, 0.01, 0.002])

# R=274 kOhm
U_A_2a_274 = np.array([2.16, 2.16, 2.16, 2.16, 2.12, 1.8, 1.56, 0.532, 0.320, 0.222, 0.078])
U_A_2a_274_err = np.array([0.01, 0.01, 0.01, 0.01, 0.01, 0.01, 0.01, 0.01, 0.01, 0.005])

# R=48,7 kOhm
U_A_2a_487 = np.array([1.3, 1.3, 1.3, 1.26, 1.28, 1.26, 1.26, 1.02, 0.8, 0.64, 0.246])
U_A_2a_487_err = np.array([0.01, 0.01, 0.01, 0.01, 0.01, 0.01, 0.01, 0.01, 0.01, 0.01])

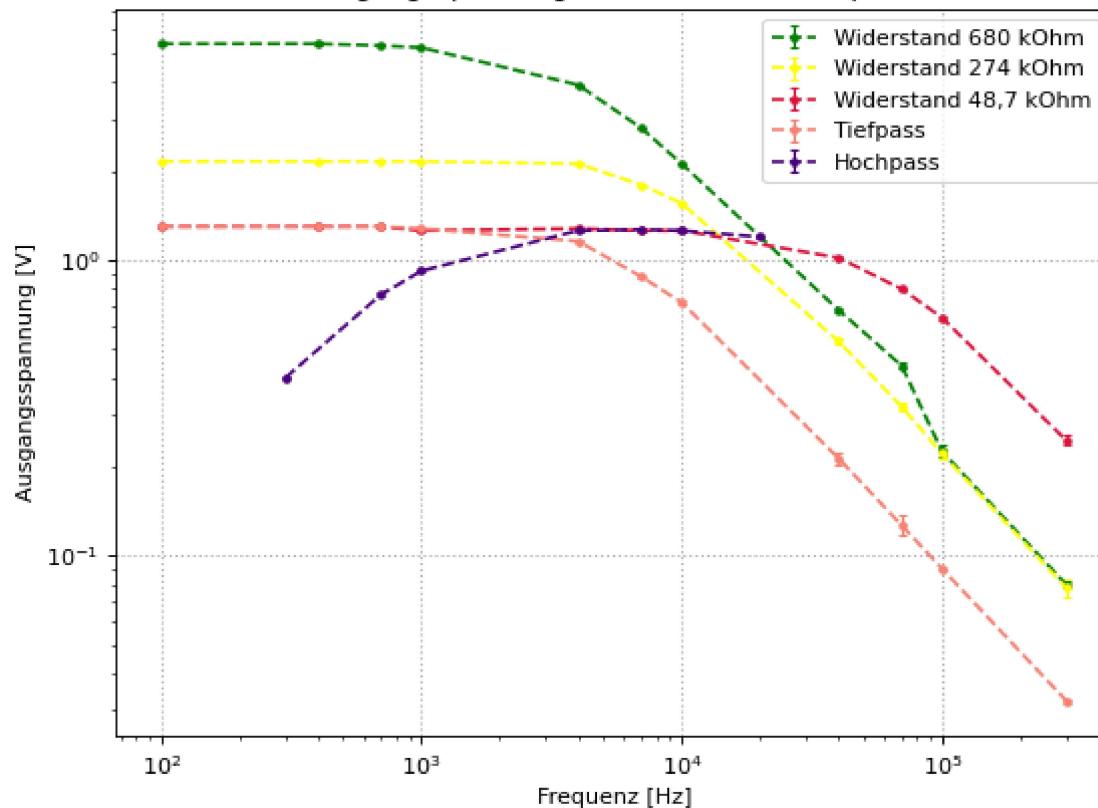
# Tiefpass
U_A_2b_TP = np.array([1.3, 1.3, 1.3, 1.28, 1.16, 0.88, 0.72, 0.214, 0.127, 0.0906, 0.0324])
U_A_2b_TP_err = np.array([0.01, 0.01, 0.01, 0.01, 0.01, 0.01, 0.01, 0.01, 0.01, 0.0003, 0.0005])
```

```
# Hochpass
U_A_2c_HP = np.array([0.4, 0.766, 0.920, 1.26, 1.27, 1.26, 1.2])
U_A_2c_HP_err = np.array([0.003, 0.010, 0.01, 0.01, .01, 0.01, 0.01])
f_2c = np.array([0.3, 0.7, 1, 4, 7, 10, 20]) *1000 #Hz
```

In [13]:

```
plt.figure(figsize=(8, 6), dpi=80)
plt.errorbar(f_2a,U_A_2a_680, yerr = U_A_2a_680_err, linestyle='dashed', marker = ".", label="Widerstand 680 kOhm", capsize = 2, e
plt.errorbar(f_2a,U_A_2a_274, yerr = U_A_2a_274_err, linestyle='dashed', marker = ".", label="Widerstand 274 kOhm", capsize = 2, e
plt.errorbar(f_2a,U_A_2a_487, yerr = U_A_2a_487_err, linestyle='dashed', marker = ".", label="Widerstand 48,7 kOhm", capsize = 2,
plt.errorbar(f_2a,U_A_2b_TP, yerr = U_A_2b_TP_err, linestyle='dashed', marker = ".", label="Tiefpass", capsize = 2, elinewidth=1,
plt.errorbar(f_2c,U_A_2c_HP, yerr = U_A_2c_HP_err, linestyle='dashed', marker = ".", label="Hochpass", capsize = 2, elinewidth=1,
plt.xlabel('Frequenz [Hz]')
plt.ylabel('Ausgangsspannung [V]')
plt.title('Ausgangsspannung als Funktion der Frequenz')
plt.yscale('log')
plt.xscale("log")
plt.legend()
plt.grid(linestyle=":", linewidth=1)
```

Ausgangsspannung als Funktion der Frequenz



In []: