Versuch 242 - Spannungsverstärkung

PAP 2.2

Teilnehmender Student: **Harish Mahendran**

Gruppe des Teilnehmenden: **4**

Kurs: **Diensttag**

Inhaltsverzeichnis

0 Messprotokoll **1**

1 Einleitung **4**
1.1 Motivation 4
1.2 Grundlagen aus der Physik 4

2 Durchführung **6**
2.1 Versuchskizzen/Schaltung 6
2.2 Messverfahren 6

3 Auswertung **7**
3.1 Aufgabe 1 7
3.1.1 Gleichspannung 8
3.1.2 Wechselspannung 9
3.2 Aufgabe 2 11
3.3 Aufgabe 3 14

4 Zusamenfassung und Diskussion **15**
4.1 Diskussion und Kritik 15
4.1.1 Aufgabe 1 15
4.1.2 Aufgabe 2 15
4.1.3 Aufgabe 3 15
4.2 Fazit 15

0. Messprotokoll

Messprotokoll V.242

17.12.24

Harish Mahendran
Jonas Schweer

Versuchsaufbau:

- Operationsverstärker $\mu A\,741$ + Beschaltung
- PeakTech Signalgenerator
- Tektronix TDS1072 zweikanal Oszilloskop

Aufgabe 1: $\mu A\,741$ als Verstärker für Gleich- und Wechselspannungen

Wir stellen den Rückkopplungswiderstand des Verstärkers auf 48,7 kΩ. 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 $R_g = 48{,}7\,k\Omega$

Wir stellen nun den Rückkopplungswiderstand auf $R_g = 274\,k\Omega$ 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 $R_g = 274\,k\Omega$

Wir wechseln nun den Gleichstrom mit einem 1 kHz Wechselstrom aus. Wir messen die Ausgangsspannung bei 274 kΩ, sowie bei 680 kΩ 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 $U_{E,pp}$; $R_g = 274\,k\Omega$

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.

1. Einleitung

1.1 Motivation

Mit einem Operationsverstärker kann man eingehende Signale mithilfe einer Betriebsspannung zu verstärken. Durch die Rückkopplung über Widerstände oder Kondensatoren entstehen interessante Verhaltensweisen, die beobachtet und quantifiziert werden sollen.

1.2 Grundlagen aus der Physik

Das zentrale Bauteil des Versuchs ist der Operationsverstärker. Das elektrische Bauteil hat zwei Signaleingänge und zwei Eingänge für die Betriebsspannung, sowie einen Ausgang. Operationsverstärker sind Differenzverstärker, ihre Ausgangsspannung U_A ergibt sich also als Vielfaches der Differenz ihrer nicht invertierenden Eingangsspannung U^+, und ihrer invertierenden Ausgangsspannung U^-, mit dem Verstärkungsfaktor v_0 nach

$$U_A = v_0(U^+ - U^-) \tag{1}$$

Der Spannungsverlauf um die Nullspannung herum ist also linear – die Verstärkung kann jedoch maximal auf die angelegte Betriebsspannung erfolgen, dort knickt der lineare Verstärkungsverlauf zu einer Konstanten ab.

Eine Rückkopplung der Ausgangsspannung in einen invertierenden Eingang wird Gegenkopplung genannt, diese führt zu weiteren beachtenswerten Eigenschaften. Für diesen Fall wird die Gegenkopplung über einen ohmschen Widerstand R_1 geführt, während die Eingangsspannungsdifferenz zwischen einer über den ohmschen Widerstand R_1 laufenden Spannungsquelle und einer Erdung hergestellt wird. Auf diese Weise erhält man den invertierenden Verstärker. Die Gegenkopplung zwingt in diesem Aufbau den Eingang des Verstärkers auf 0 V. Vernachlässigt man nun den Stromfluss durch den für gewöhnlich sehr hochohmigen Verstärker, und betrachtet den Stromfluss I_1 durch R_1, sowie I_2 durch R_2, erhält man nach der Knotenregel:

$$I_1 + I_2 = \frac{U_1 - U_e}{R_1} + \frac{U_a - U_e}{R_2} \tag{2}$$

Mit $v_o = -\frac{U_A}{U_E}$ folgt:

mit R_g als Rückkopplungswiderstand. Für kleine Frequenzen gilt für $\frac{1}{v_o} = 10^{-5}$.Es folgt

dadurch :

$$-\frac{U_A}{U_1} = \frac{R_g}{R_E} = V' \tag{4}$$

V' ist hierbei die Betriebsverstärkung. Legt man eine Wechselspannung an, so entspricht die Verstärkung für niedrige Frequenzen derjenigen im Gleichspannungsfall, nimmt allerdings für höhere Frequenzen nach einer bestimmten Bandbreite exponentiell ab, im Diagramm:

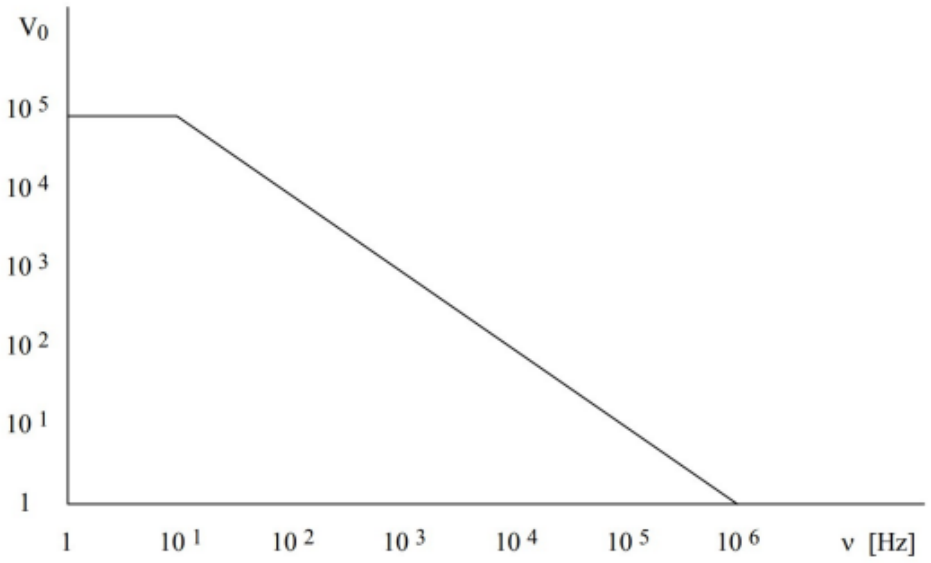


Abbildung 1: Der Verstärkungsfaktor logarithmisch gegen die angelegte Wechselspannungsfrequenz

Dabei ist das Produkt von Bandbreite und Verstärkung konstant, wodurch niedrigere Verstärkungen größere Bandbreiten haben, aber danach auf dem selben Wege exponentiell abfallen. Insgesamt weist der Aufbau also Tiefpassfiltereigenschaften auf.

2. Durchführung

2.1 Versuchskizzen/Schaltung

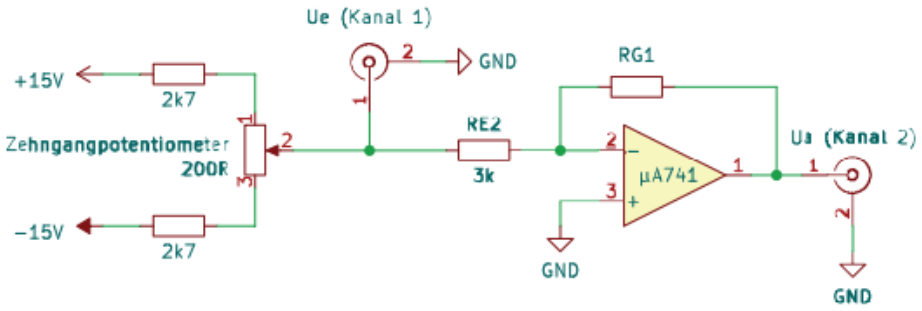


Abbildung 2: Schaltung Gleichspannungsverstärker

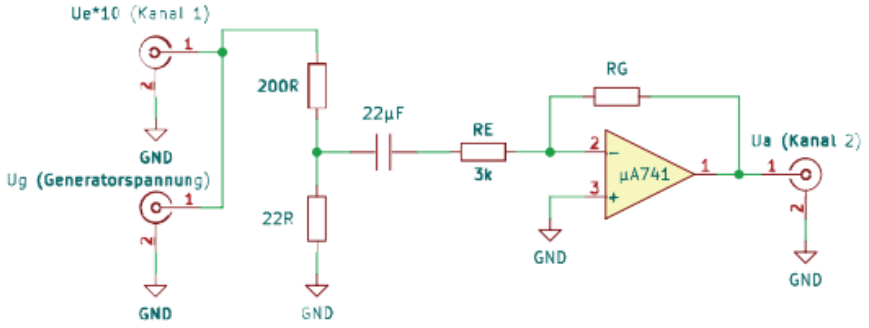


Abbildung 3: Schaltung Wechselspannungsverstärker

2.2 Messverfahren

Es wird an einen Operationsverstärker eine Betriebsspannung von $15\,V/-15\,V$ angelegt. Das Eingangssignal vor dem Operationsverstärker wird in den Kanal 1 des Oszilloskops eingekoppelt. Der Eingangswiderstand des Operationsverstärkers beträgt $3\,\mathrm{k}\Omega$. Der Ausgang des Operationsverstärkers wird mit Kanal 2 abgegriffen. Im zweiten Teil wird einmal Es wird noch ein Kondensator mit einer Kapazität von $560pF$ zum eingestellten Rückkopplungswiderstand von $48,7k\Omega$ parallel geschaltet. Und einmal wird jedoch ein Kondensator am Eingang mit $C = 47nF$ in Reihe geschaltet. Im dritten Teil wird die Eingangsspannung wird nun als Rechteckssignal mit einer Amplitude von $1\,V$ eingegeben. Dabei wird noch einmal ein Hochpass zugeschaltet.

3. Auswertung

3.1 Aufgabe 1

Mit Gleichung (4) kann man nun den theoretischen Betriebsverstärkung berechnen. Dazu benötigt man noch folgende Fehlerformel nach Gauß'scher Fehlerfortpflanzung

$$\begin{aligned}\Delta V' &= V'\sqrt{(\frac{\partial V'}{\partial R_g}\Delta R_g)^2 + (\frac{\partial V'}{\partial R_e}\Delta R_e)^2} \\ &= V'\sqrt{(\frac{\Delta R_g}{R_g})^2 + (\frac{\Delta R_e}{R_e})^2} \end{aligned} \tag{5}$$

Daraus erhält man folgende Werte:

$$\text{Gleichstrom:} \tag{3.1}$$

$$V'_{48,7k\Omega,theo} = 16,2 \pm 1,7 \tag{3.2}$$

$$V'_{274k\Omega,theo} = 91,0 \pm 10,0 \tag{3.3}$$

$$\text{Wechselstrom:} \tag{3.4}$$

$$V'_{680k\Omega,theo} = 227,0 \pm 25,0 \tag{3.5}$$

$$V'_{274k\Omega,theo} = 91,0 \pm 10,0 \tag{3.6}$$

$$\tag{3.7}$$

Diese Werte lassen sich mit den Werten die sich graphisch bestimmt werden konnten.

3.1.1 Gleichspannung

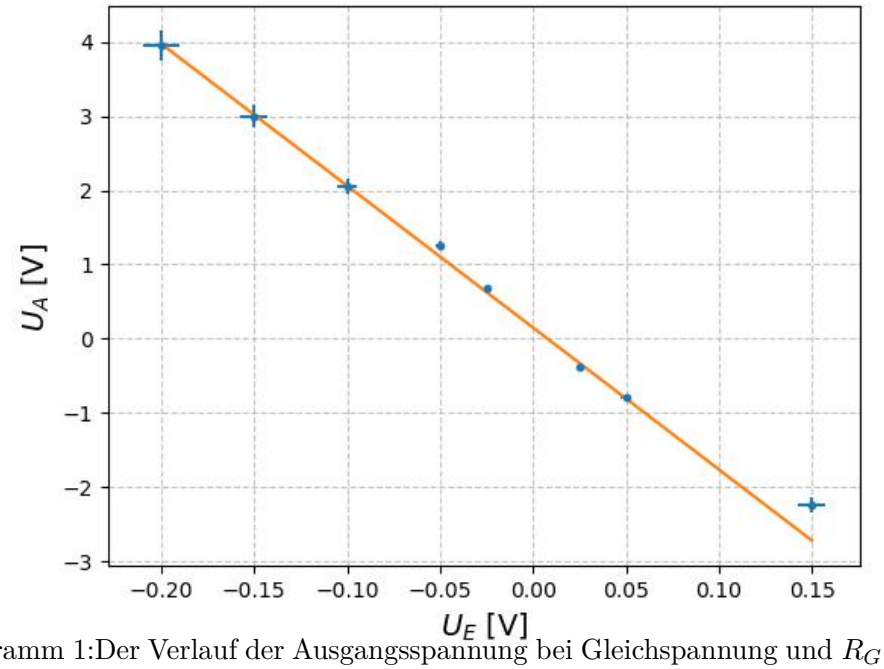


Diagramm 1:Der Verlauf der Ausgangsspannung bei Gleichspannung und $R_G = 48,7\ \text{k}\Omega$

$$V'_{48,7k\Omega,graph} = 20,98 \pm 0,09$$

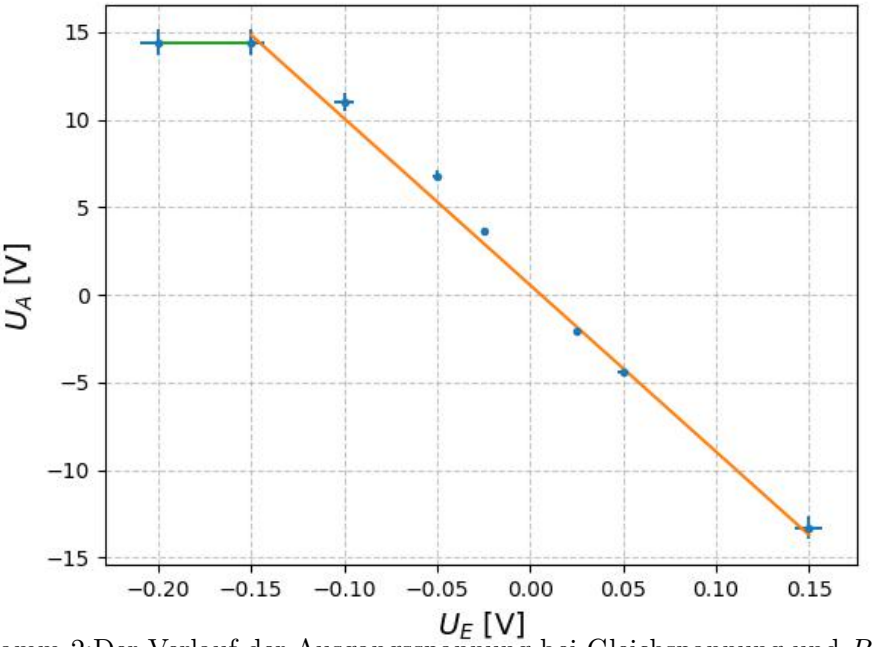


Diagramm 2:Der Verlauf der Ausgangsspannung bei Gleichspannung und $R_G = 274\ \text{k}\Omega$

$$V'_{274k\Omega,graph} = 95 \pm 7$$

3.1.2 Wechselspannung

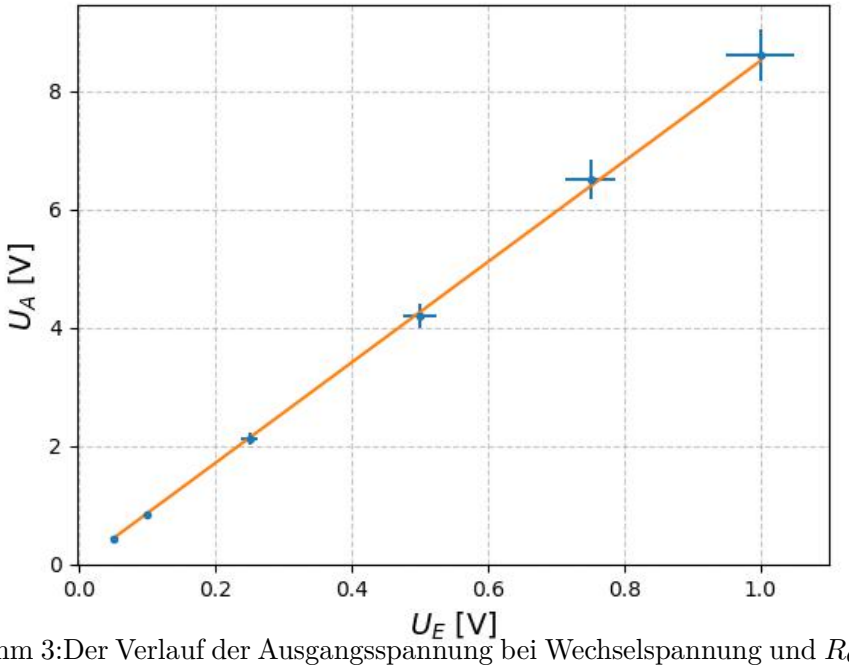


Diagramm 3:Der Verlauf der Ausgangsspannung bei Wechselspannung und $R_G = 274\ \mathrm{k\Omega}$

$$V'_{274k\Omega,graph} = 85,0 \pm 0,7$$

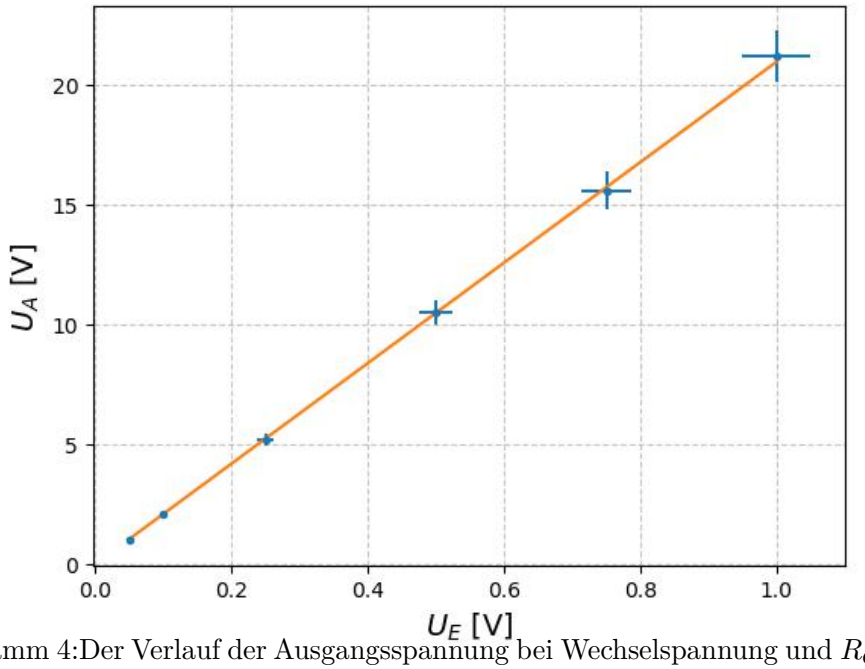


Diagramm 4:Der Verlauf der Ausgangsspannung bei Wechselspannung und $R_G = 680\ \text{k}\Omega$

$$V'_{680k\Omega,graph} = 209,8 \pm 0,9$$

Es ergeben sich also folgende σ-Abweichungen:

Gleichspannung:

$48,7k\Omega$:

$$2,81$$

$274k\Omega$:

$$0,33$$

Wechselstrom:

$274k\Omega$:

$$0,60$$

$680k\Omega$:

$$0,72$$

3.2 Aufgabe 2

Der Frequenzgang bei verschiedenen Widerständen ist im folgenden Doppel logarithmischen Diagramm geplottet:

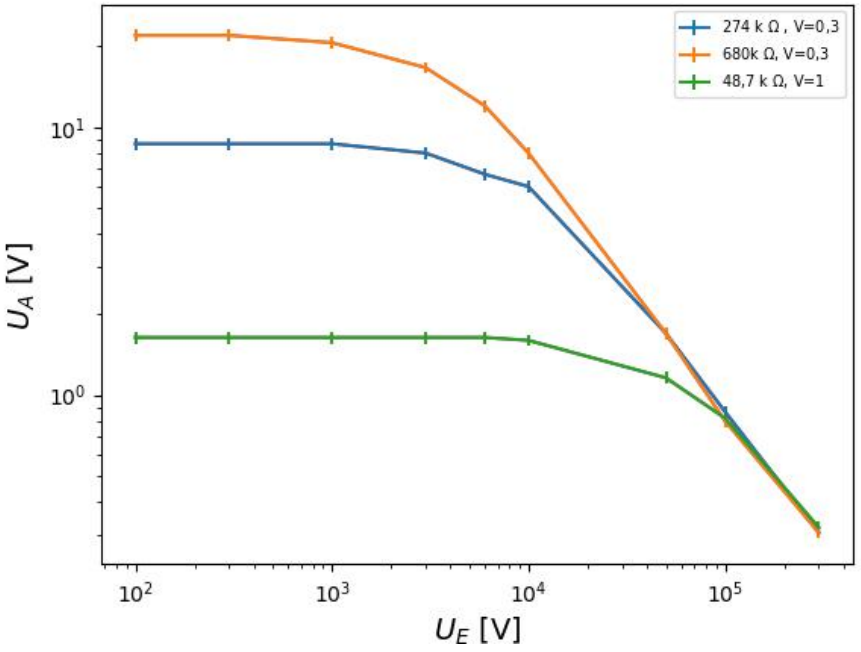


Diagramm 5:Die Frequenzgänge der Spannungen bei verschiedenen Widerständen

Mit zunehmender Verstärkung wird die Bandbreite, bei der keine Dämpfung eintritt, immer geringer. Man sieht hier auch, dass wenn die ursprüngliche Verstärkung kleiner ist, ist diese für einen größeren Frequenzbereich erhalten. Gegen große Frequenzen ergibt sich für alle Widerstände das gleiche Verhalten.
Für den Frequenzgang mit einem Kondensator parallel zum Rückkopplungswiderstand ergbibt sich folgendes Diagramm:

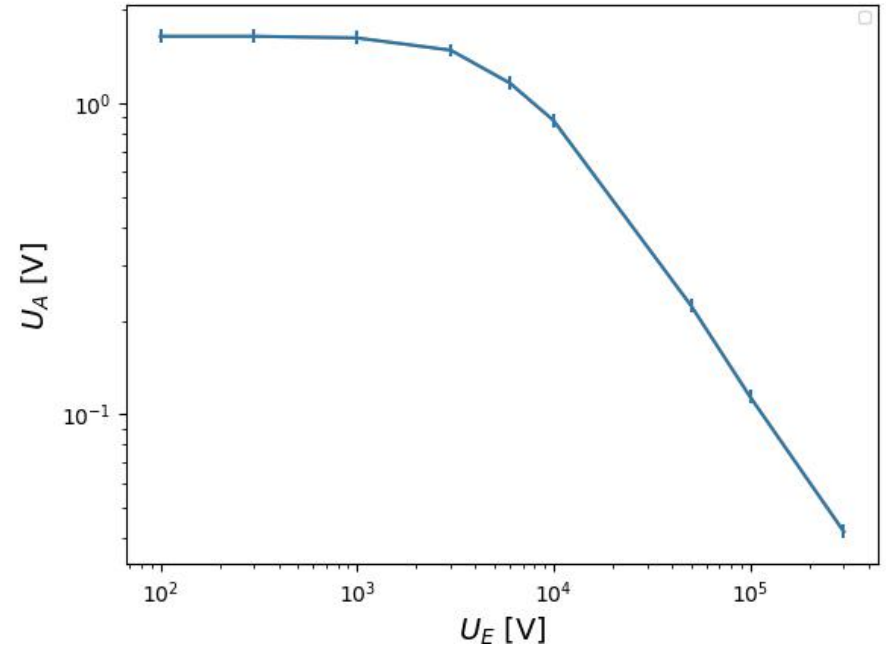


Diagramm 6: Frequenzgang mit Kondensator parallel zum Rückkopplungswiderstand

Man sieht, dass man ein ähnliches Verhalten zum Frequenzgang ohne Kondensator, nun fällt die Kurve aber früher ab.
Ist nun ein Eingangshochpass eingestellt erhält man folgenden Verlauf:

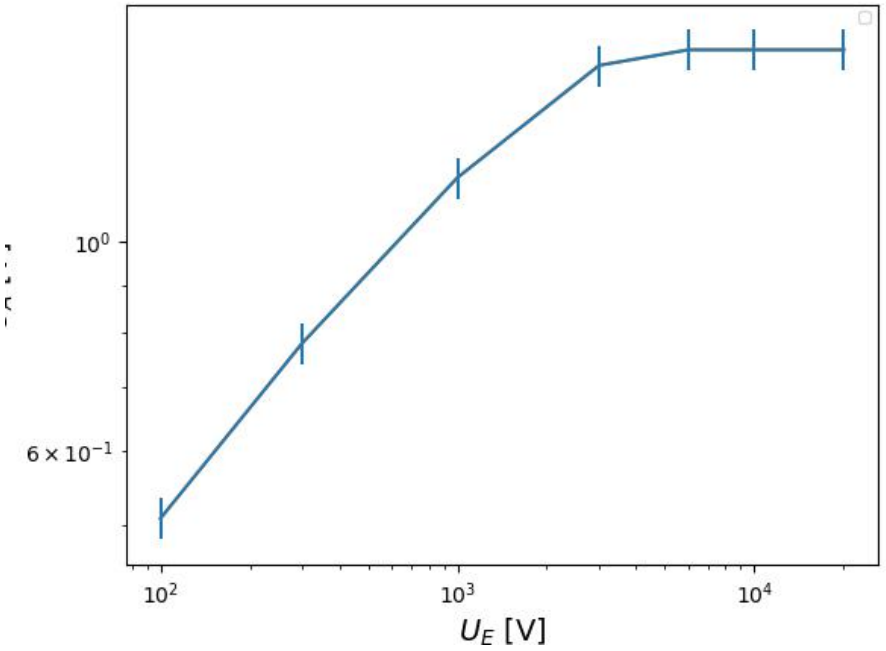


Diagramm 7:Frequenzgang mit Kondensator am Eingang

Die Kurve ist nun im Vergleich zu den vorherigen Messungen auf der Frequenzachse

invertiert: Die Dämpfung wird also nun mit zunehmender Frequenz immer schwächer, die Schaltung verhält sich wie ein Hochpassfilter.

3.3 Aufgabe 3

Das „Zerlaufen“ der Kanten lässt sich durch die Tiefpasscharakteristik der eingesetzten Schaltung erklären . Ein idealerweise aus unendlich vielen Sinuskomponenten bestehendes Rechtecksignal erfährt bei hohen Frequenzen eine stärkere Dämpfung, wodurch die Kanten nicht so schaf ausgeprägt sind. Dieser Effekt wird durch einen höheren Rückkopplungswiderstand im Tiefpass (sprich, durch eine größere Verstärkung) noch verstärkt. Da das Einschalten des Ausgangskondensators, die Tiefpasseigenschaften weiter verstärkt, verstärkt sich der Effekt zusätzlich.
In der zweiten Schaltung sieht man anhand der Form der Kurve die Hochpasswirkung. Werden die hohen Frequenzen,die für die eckigen Kanten verantwortlich sind, zusätzlich verstärkt, während die niedrigen Frequenzen, die zu dem konstanten Bereich beitragen, gedämpft werden, bleiben lediglich die Kanten übrig.
Wird nun beide Konfiguration kombiniert, verschmelzen ihre Filtereigenschaften. Da sowohl sehr hohe als auch sehr tiefe Frequenzen abgeschwächt werden, entsteht ein Bandpassfilter. Dadurch werden sowohl die Kanten als auch die konstanten Bereiche gedämpft, sodass sich das Signal überwiegend an die Sinusform der Frequenz ähnelt, die durch den Bandpassfilter nicht verändert werden.

4. Zusamenfassung und Diskussion

4.1 Diskussion und Kritik

4.1.1 Aufgabe 1

Wie man anhand der σ-Abweichungen sehen, kann liegen zwischen den graphisch bestimmten und den theoretischen Verstärkungsfaktoren keine signifikanten Abweichungen auf. Man kann also signifikante Messfehler ausschließen. Was jedoch zu bemängeln ist, ist dass die Fehlerwerte für den theoretischen Wert relativ hoch sind. Dies ist aufgrund der Annahme, dass die Widerstände eine Toleranz von 10% haben.

4.1.2 Aufgabe 2

Man kann hier im Diagramm **??**(5) dass zu erwartende Verhalten, wie in Abbildung 1 bestätigen. Auch kann man mit Diagramm Abbildung **??**(7) den für einen Hochpass charakteristischen Verlauf erkennen.

4.1.3 Aufgabe 3

Auch hier können wir die theoretischen Erwartungen bestätigen. Sowohl das Zerlaufen der Ecken mit dem Tiefpass und die Abschwächung des konstanten Bereiches kann man mit der Hochpass erkennen.

4.2 Fazit

In diesem Versuch konnten wir uns mit Spannungsverstärkerschaltungen vertraut machen und lernen wie sich der Verstärkungsfaktor bei verschiedenen Frequenzen und Spannungen verhält. Mit unseren Messungen konnten wir die zu theoretischen zu erwartenden Werte bestätigen und die zu erwartenden Verläufe gut erkennen.