

Versuch 242 - Spannungsverstärkung

Marius Mangold

January 10, 2022

1 Grundlagen

Der Großteil jeglicher Forschung verwendet an ein oder andere Stelle eine Elektronische Messung, sprich ein elektronisches Signal. Um diese Teils sehr kleinen Signale auswerten zu können, muss häufig das Signal verstärkt werden. Führt man dies nicht korrekt aus verstärkt man jedoch auch Fremdspannung wie Netzbrummen oder sonstige Störungen. Das Mittel der Wahl um lediglich das gewünschte signal zu extrahieren und zu verstärken ist der Operationsverstärker. Er ermöglicht ist nicht nur das Signal zu verstärken, sondern zusätzliche Rechenoperationen durchzuführen, welche fremd Einwirkungen herausrechnen können. In diesem Versuch werden wir einen ua741 Operationsverstärker verwenden, welcher ein linearer Differenzverstärker ist. Ein solcher Differenzverstärker wird durch den Eigenwiderstand R_i charakterisiert, wobei gilt:

$$R_i = \frac{U_E}{I_E} \quad (1)$$

Diesen Widerstand möchten wir möglichst groß wählen, um den Stromfluss durch den Operationsverstärker gering zu halten, und so den Einfluss auf die Eingangsspannung zu minimieren. Ein weiterer nennenswerten Widerstand ist der Ausgangswiderstand R_A , wobei hier der Widerstand möglichst gering gehalten werden sollte, um das erhöhte Signal nicht erneut zu schwächen.

$$R_a = \frac{U_A}{I_E} \quad (2)$$

Als letzte charakteristische Größe wollen wir die Spannungsverstärkung V_0 einführen, welche sich aus den Ein- und Ausgangsspannungen ergibt. Sie ist umgekehrt proportional zur Frequenz der Eingangsspannung.

$$V_0 = -\frac{U_A}{U_E} \quad (3)$$

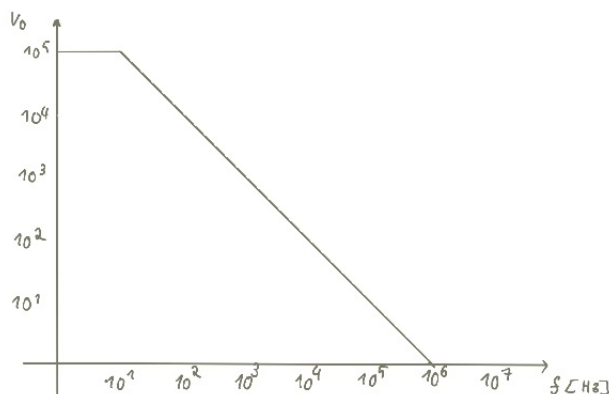


Abbildung 1: Frequenzgang des Operationsverstärkers μA 741.

Wir sehen, dass die Spannungsverstärkung unter einer gewissen Frequenz nicht mehr zunimmt. wir möchten nun sowohl den Verstärkungsfaktor als auch den Frequenzgang beeinflussen, um den Frequenz operator für eine jeweilige Aufgabe zu optimieren.

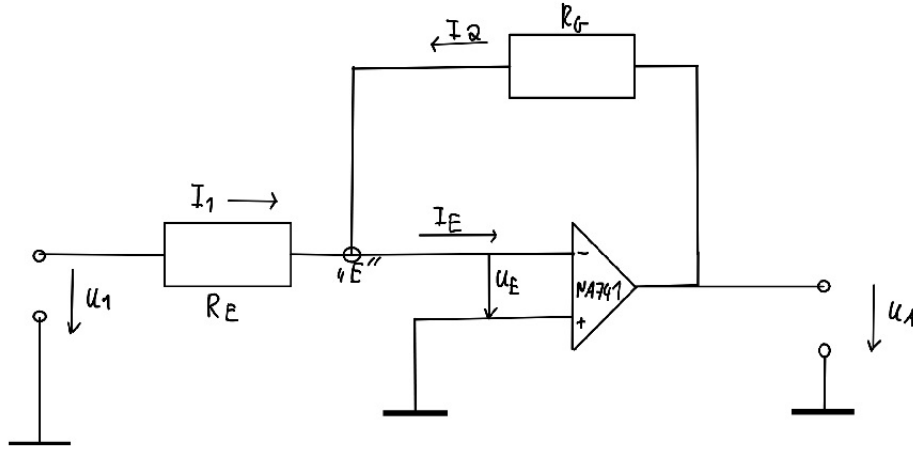


Abbildung 2: Schaltplan der Gegenkopplung.¹

Nach der kirchhoffschen Maschenregel muss für die Ströme welche sich durch den Punkt E bewegen gelten:

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0 \quad (4)$$

$$I_1 + I_2 = -I_3 \quad (5)$$

Im Normalfall gilt, dass R_E und $R_G \gg R_i$, worau folgt, dass

$$I_E \approx 0 \quad (6)$$

und

$$I_1 + I_2 = \frac{U_1 + U_E}{R_E} + \frac{U_A - U_E}{R_G} = 0 \quad (7)$$

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

$$\frac{U_1}{U_A} = -\left(\frac{1}{V_o} + \frac{R_E}{R_G} \left(1 + \frac{1}{V_o}\right)\right) \quad (8)$$

Abbildung 1 zeigt, dass ist für den "μA741" gilt, dass $V_o \sim 10^5$. Es folgt für ausreichend kleine Frequenzen:

$$\frac{1}{V_o} = 10^5 \text{ Hz} \ll 1 \quad (9)$$

Ist nun das Verhältnis $\frac{R_E}{R_G}$ groß gegenüber $\frac{1}{V_o}$, so zeigt sich:

$$-\frac{U_A}{U_1} = \frac{R_G}{R_E} = V' \quad (10)$$

Wir sehen in Abbildung 2, dass die Verstärkung des gekoppelten Verstärkers $\frac{U_A}{U_1}$ beträgt, und die Betriebs Anordnung lediglich durch die jeweilige Außenbeschattung bestimmt ist.

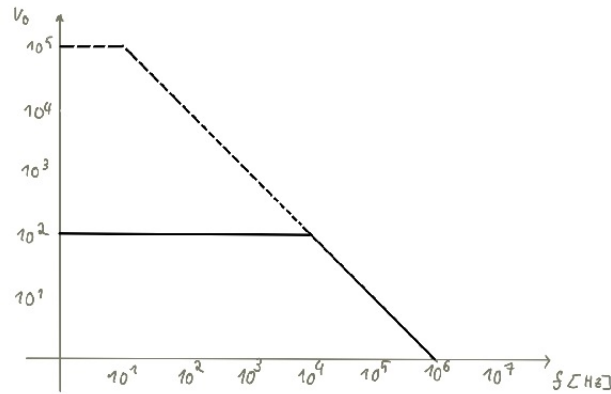


Abbildung 3: Frequenzübergang mit und ohne Gegenkopplung für $V' = 100$.²

Bei hohen Frequenzen fällt V_0 ab, weswegen Formel 9 bei unserem Bauteil nicht für alle Frequenzen erfüllt ist. Abbildung 3 zeigt exemplarisch den Frequenzübergang ohne und mit Gegenkopplung für $\frac{R_G}{R_E} = V' = 100$.

Bauen wir in die Gegenkopplung als weiteres Element einen Kondensator ein, werden hohe Frequenzen aufgrund der stärkeren Gegenkopplung nicht mehr so stark amplifiziert.

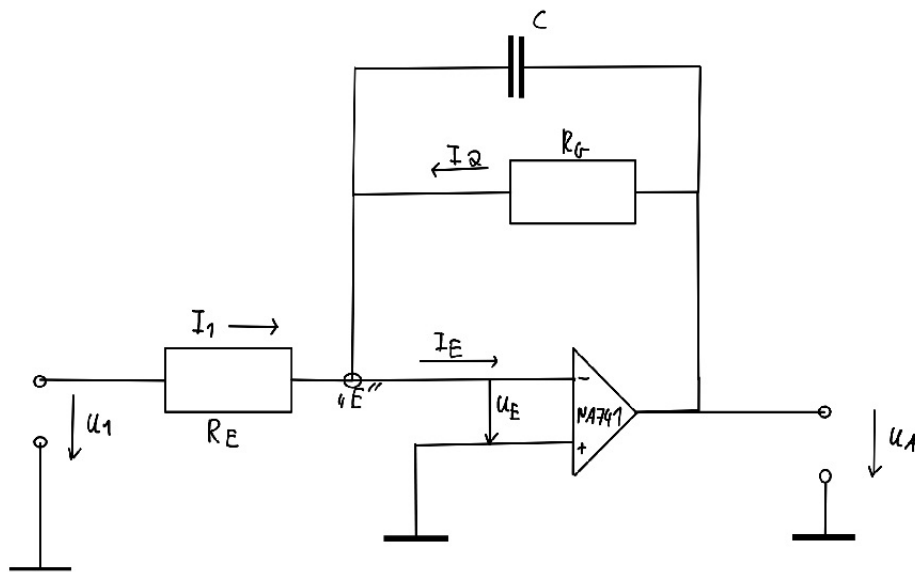


Abbildung 4: Schaltplan für die Gegenkopplung mit Kondensator.³

2 Durchführung

2.1 Aufgabe 1a

Der Versuch wird damit beginnen den $\mu A741$ Gleichspannungsverstärker zu vermessen. Wir werden hierzu den Oszillographen im Gleichstrommodus verwenden. Wir messen mehrfach $U_A = f(U_1)$ im Intervall $U_1 = [-0.25, 0.25]V$. Diese Messung führen wir für die 2 Gegenkopplungswiderstände durch; $R_G = 48.7/274k\Omega$.

2.2 Aufgabe 1b

Wir werden anschließend den Wechselspannungsverstärker im "AC"-Modus vermessen, wobei wir eine Generatorspannung von $U_G = 10U_1$ wählen. Es wird U_A für $1kHz$ für ca. 6 Messwerte bei einem Sinus-Rechteck Signal betrachtet. Diese Messung führen wir für die 2 Gegenkopplungswiderstände durch; $R_G = 274/680k\Omega$.

2.3 Aufgabe 2a

Der Frequenzgang des gegengekoppelten Verstärkers wird zwischen 100 Hz und 300 kHz bei drei verschiedenen Gegenkopplungen aufgenommen. Die Messwerte werden direkt auf Doppellogarithmischem Papier dargestellt.

Die einzustellenden Größen betragen:

- $U_G = 0.3V_{SS}, R_G = 680k\Omega$
- $U_G = 0.3V_{SS}, R_G = 274k\Omega$
- $U_G = 1V_{SS}, R_G = 48.7k\Omega$

2.4 Aufgabe 2b

Wie in Aufgabe 2a wird nun ein Frequenzgang aufgenommen, wobei ein Kondensator parallel zu R_G geschaltet wird. Die einzustellenden Größen betragen:

- $U_G = 1V_{SS}, R_G = 48.7k\Omega, 560pF$
- $U_G = 1V_{SS}, R_G = 48.7k\Omega, 47pF$ (Aufgabe 2c)

2.5 Aufgabe 3

Es wird ein Rechteckssignal mit ungefähr $1kHz$ am Eingang angelegt. Anschließend betrachten und beschreiben wir die Impulsform bei verschiedenen Gegenkopplungen.

3 Messprotokoll

3.1 Disclaimer

Leider ist unser Originalprotokoll nicht aufzufinden. Nach der Kommunikation des Problems erlaubte unser Tutor uns freundlicherweise auf die Messwerte der [Onlineversuche](#) zurückzugreifen.

3.2 Geäteliste

- Schaltungskästchen mit Operationsverstärker $\mu A 741$
- Sinus-Rechteck-Generator (SRG)
- Zweikanaloszillograph HM 303 bzw. HM 203-6

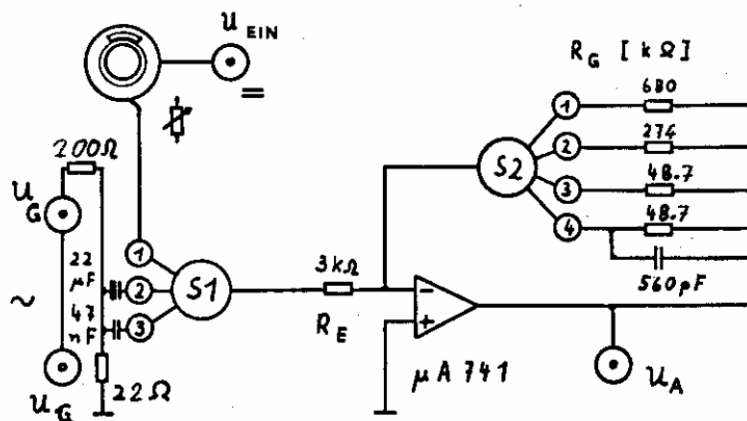


Abbildung 5: Aufbau des Schaltkasten.⁴

3.3 Aufgaben

- Messen Sie die Ausgangsspannung eines Verstärkers in Abhängigkeit von der Eingangsspannung für 2 verschiedene Gegenkopplungen bei Gleich- und Wechselspannung.
- Messen Sie den Frequenzgang des Verstärkungsfaktors im Bereich von 100 Hz bis 300 kHz für verschiedene Gegenkopplungen.
- Beschreiben sie den Einfluss des Frequenzganges auf die Form von Rechtecksignalen.

3.4 Aufgabe 1a

Entsprechend der folgenden Abbildung wurde der Operationsverstärker eingestellt.

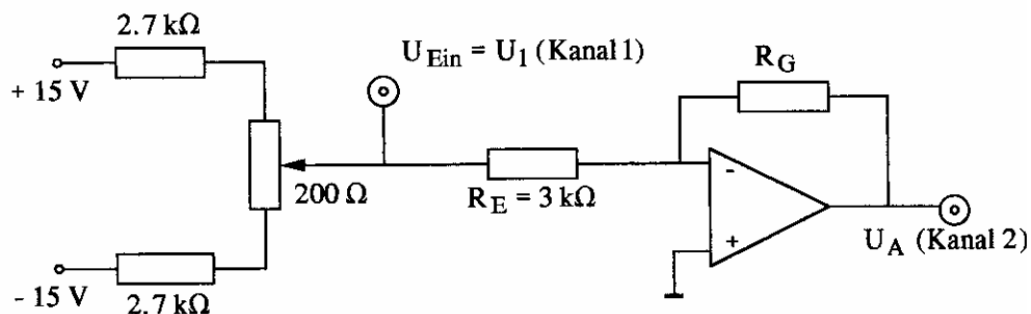


Abbildung 6: $\mu A741$ als Gleichspannungsverstärker.⁵

Es wurde nun die Ausgangsspannung U_A bei 11 verschiedenen U_1 im Intervall $[-0.25; 0.25]V$ aufgenommen. Die Messung wird für zwei verschiedene Gegenkoppelwiderstände ausgeführt.

Gegenkoppelwiderstand $48.7k\Omega$

$U_1 [V]$	$U_A [V]$
$-0,25 \pm 0,01$	$4,2 \pm 0,1$
$-0,20 \pm 0,01$	$3,4 \pm 0,1$
$-0,15 \pm 0,01$	$2,6 \pm 0,1$
$-0,10 \pm 0,01$	$1,7 \pm 0,1$
$-0,05 \pm 0,01$	$0,9 \pm 0,1$
$0,00 \pm 0,01$	$0,06 \pm 0,02$
$0,05 \pm 0,01$	$-0,8 \pm 0,1$
$0,10 \pm 0,01$	$-1,6 \pm 0,1$
$0,15 \pm 0,01$	$-2,4 \pm 0,1$
$0,20 \pm 0,01$	$-3,2 \pm 0,1$
$0,25 \pm 0,01$	$-4,0 \pm 0,1$

Tabelle 1: Vermessung der Ausgangsspannung bei $48.7k\Omega$

Gegenkoppelwiderstand $274k\Omega$

$U_1 [V]$	$U_A [V]$
$-0,25 \pm 0,01$	$15,0 \pm 0,2$
$-0,20 \pm 0,01$	$15,0 \pm 0,2$
$-0,15 \pm 0,01$	$14,7 \pm 0,2$
$-0,10 \pm 0,01$	$10,0 \pm 0,2$
$-0,05 \pm 0,01$	$5,0 \pm 0,1$
$0,00 \pm 0,01$	$0,40 \pm 0,05$
$0,05 \pm 0,01$	$-4,4 \pm 0,1$
$0,10 \pm 0,01$	$-9,0 \pm 0,2$
$0,15 \pm 0,01$	$-13,5 \pm 0,2$
$0,20 \pm 0,01$	$-13,5 \pm 0,2$
$0,25 \pm 0,01$	$-13,5 \pm 0,2$

Tabelle 2: Vermessung der Ausgangsspannung bei $274k\Omega$

3.5 Aufgabe 1b

Nun wird die Wechselspannung mit dem Oszilloskop im AC-modus gemessen. Es gilt: $U_1 = \frac{1}{10}U_G$. Durch den Kondensator werden Gleichspannungsschwankungen kompensiert. Um die Eingangsempfindlichkeit des Oszilloskops zu erreichen, wird die Generatorspannung um Faktor 10 vergrößert. Den Fehler U_1 notieren wir nicht, da er vernachlässigbar klein ist.

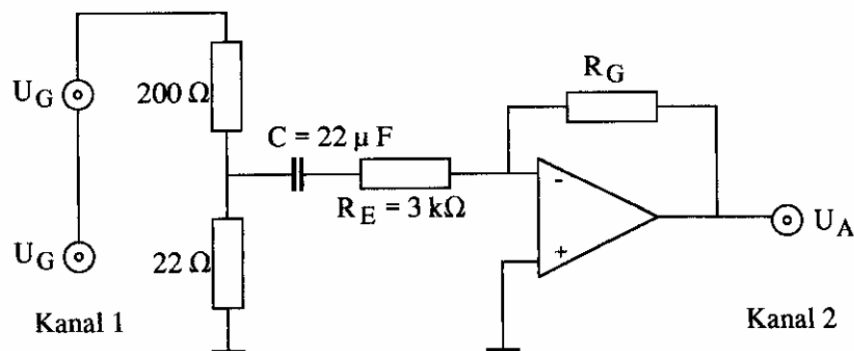


Abbildung 7: $\mu A 741$ als Verstärker für Wechselspannung (Sinus-Spannung)..⁶

3.6 Aufgabe 2a

Mit gleicher Schaltung wie in Aufgabe 1b) wird der Frequenzgang des gegengekoppelten Verstärkers zwischen 100 Hz und 300 kHz aufgenommen, wobei verschiedene Gegenkopplungen betrachtet werden. Die erste wird mit $U_G = 0.3V$ und $R_G = 680k\Omega$ durchgeführt, die zweite mit $U_G = 0.3V$ und $R_G = 274k\Omega$ und die dritte mit $U_G = 1V$ und $R_G = 48.7k\Omega$.

	Messung1	Messung 2	Messung3
f[Hz]	$U_{A1,eff} [V_{ss}]$	$U_{A2,eff} [V_{ss}]$	$U_{A3,eff} [V_{ss}]$
100	6,8	2,6	1,56
300	6,8	2,6	1,56
600	6,7	2,6	1,56
1k	6,6	2,6	1,56
3k	5,4	2,5	1,56
6k	3,8	2,2	1,56
10k	2,5	1,8	1,56
30k	0,88	0,84	1,36
60k	0,45	0,45	1,06
100k	0,28	0,28	0,78
300k	0,092	0,092	0,30

Tabelle 3: Vermessung des Frequenzgangs in den verschiedenen Setups

Wir werten diese Werte direkt über ein Jupyter Notebook in einem Diagramm aus.

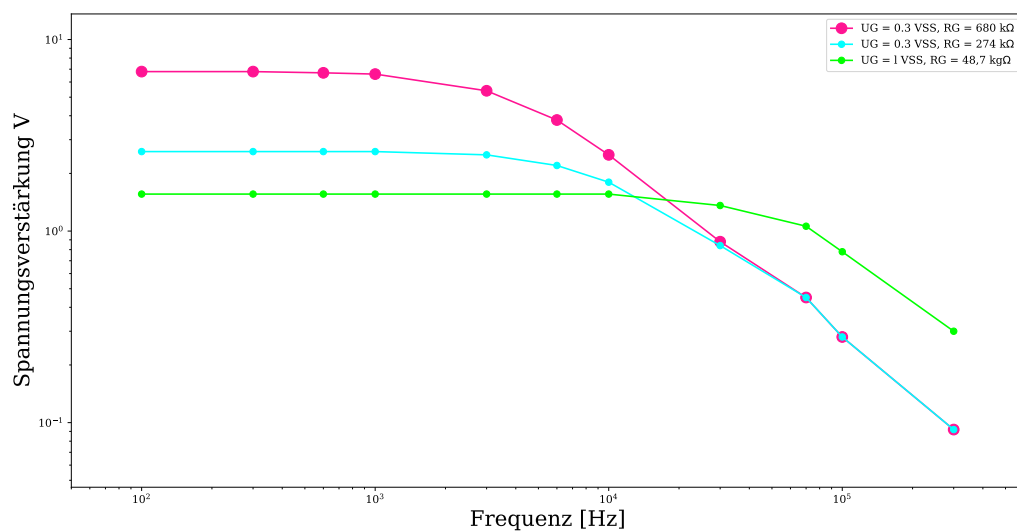


Diagramm 1: Frequenzgang von gekoppelten Verstärkern

Es fällt auf, dass die Messwerte für $680k\Omega$ und $274k\Omega$ für große Frequenzen zusammenliegt. Auf dieses Verhalten wird in der Diskussion weiter eingegangen.

3.7 Aufgabe 2b

Es wird erneut den Frequenzgang auf, doch mit neuer Schaltung:

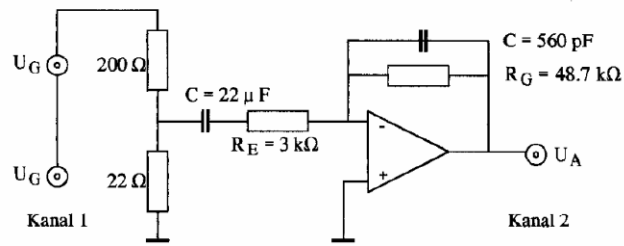


Abbildung 7: Schaltung für Aufgabe 2 b)⁷

f[Hz]	$U_{A, \text{eff}} [V_{ss}]$
100	1,56
300	1,56
400	1,56
1k	1,56
3k	1,38
6k	1,12
10k	0,80
30k	0,31
60k	0,16
100k	0,096
300k	0,032

Tabelle 4: Messung des Frequenzgangs des mit einer Kapazität gekoppelten Verstärkers, mit $U_G = 1V_{ss}$

Auch hier werden die Messwerte halblogarithmisch ausgewertet.

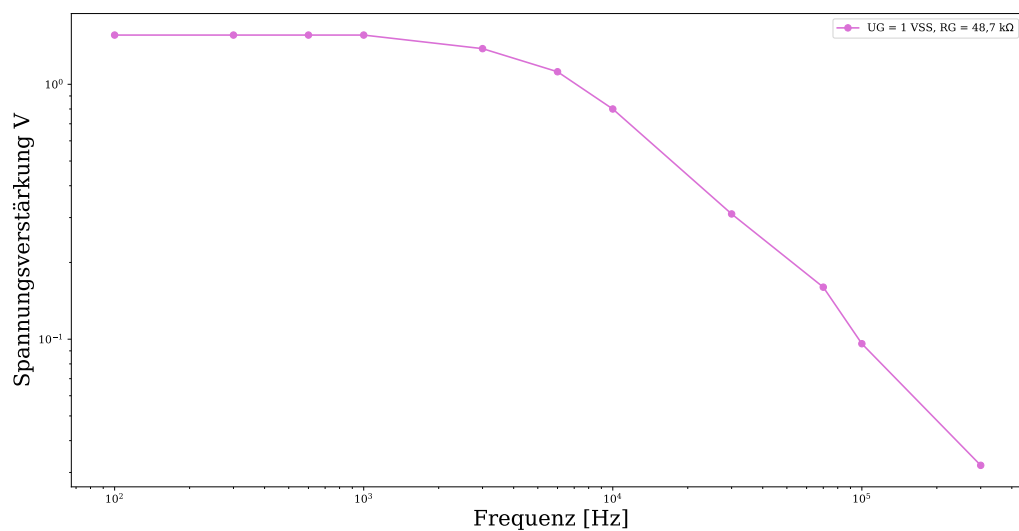


Diagramm 2: Frequenzgang mit zusätzlich gegengekoppelter Kapazität C

3.8 Aufgabe 2c

Wir wiederholen die Messung aus Aufgabe 2a) mit einem kleineren Kondensator

f[Hz]	$U_{A, \text{eff}} [V_{ss}]$
100	0,41
300	0,76
600	1,04
1k	1,52
3k	1,56
6k	1,57
10k	1,56
20k	1,51

Messung des Frequenzgangs des mit dem kleineren Kondensator $C = 47nF$ am Eingang

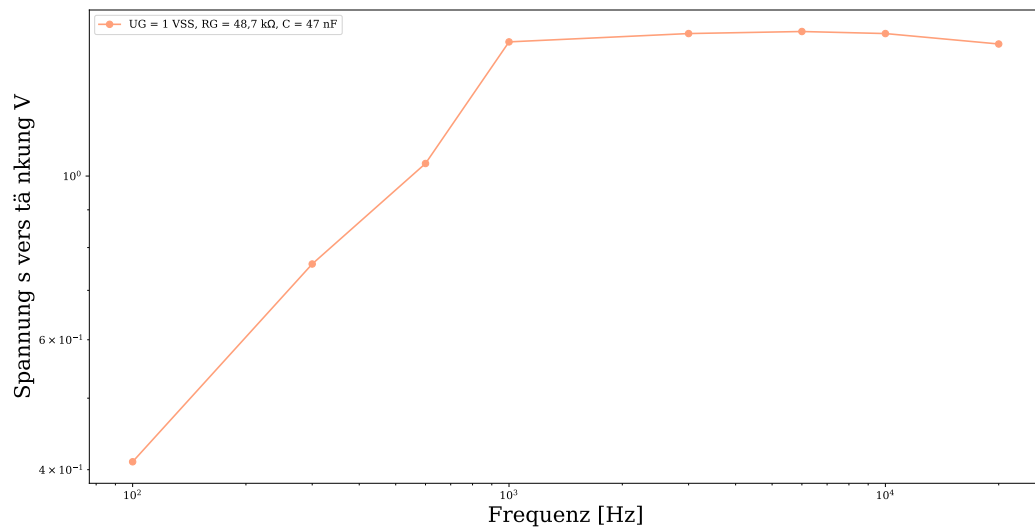


Diagramm 3: Frequenzgang mit kleinem Kondensator am Eingang

3.9 Aufgabe 3

Nun wird ein Rechtecksignal von 1kHz an den Eingang angeschlossen. Wenn wir die Verstärkung erhöhen, können wir die Auswirkungen des Tiefpassfilters erkennen. Nur die niedrigen Frequenzen des Rechtecksignals werden durchgelassen. Wird der Widerstand auf $48.7\text{k}\Omega$ eingestellt sehen wir das, wenn zusätzlich die Kapazität parallel geschaltet wird, das Verhalten des Tiefpasses. Schalten wir eine Kapazität von $47\mu\text{F}$ in Serie, sehen wir das Hochpassverhalten. Falls wir beide zusammenschalten, werden sowohl hohe als auch tiefe Frequenzen herausfiltriert.



Diagramm 4: Bild des Oszilloskops

4 Auswertung

4.1 Aufgabe 1a

Wir möchten für Aufgabe 1 die vermessenen zusammenhänge plotten, und aus dem fit die Verstärkung berechnen. Anschließend ist dieser Wert mit dem Theoretisch bestimmten zu vergleichen. Der Theoretische Wert wurde hierbei exakt, also ohne Fehler angegeben, wodurch die Sigmaumgebung aus der Differenz der Beiden Werte, dividiert durch den Experimentellen Fehler einfach bestimmt werden kann.

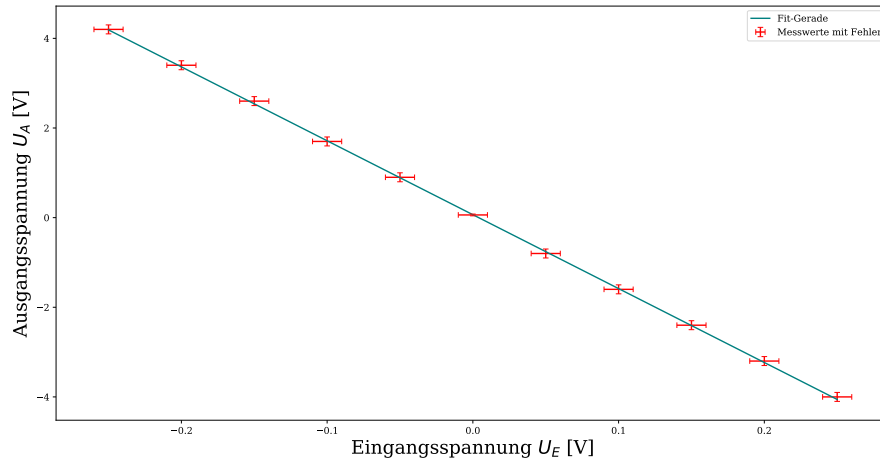


Diagramm 5: Messwerte mit gefitteter Gerade an die Messwerte für U_A ; DC ; $R_G = 48,7k\Omega$

Wir finden:

$$V_{theo,1} = 16.23 \quad (11)$$

$$V_{exp,1} = 16.49 \pm 0.07 \quad (12)$$

Und somit eine Sigmaumgebung von rund 4σ

Die Zweite Messung mit dem Gegenkoppelwiderstand $R_G = 274k\Omega$ geht bei kleinen und großen Gegenspannungen bereits in die Sättigung. Daher werden hier die ersten und letzten zwei Messwerte vernachlässigt.

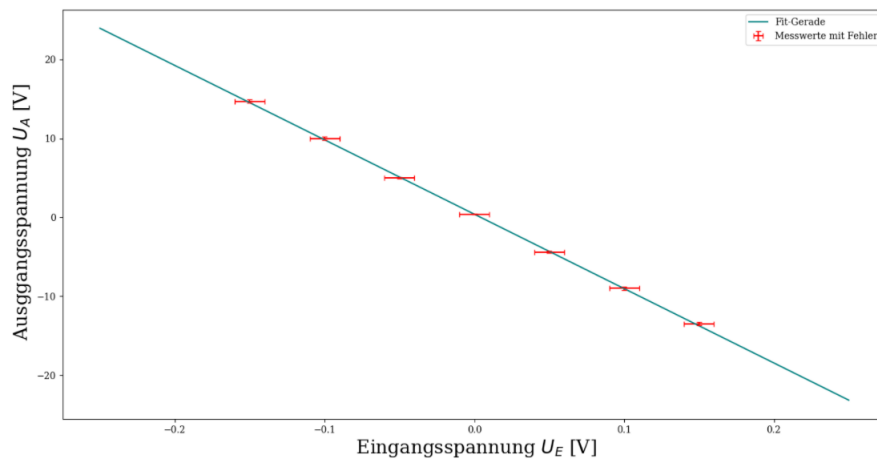


Diagramm 6: Messwerte mit gefitteter Gerade an die Messwerte für U_A ; AC ; $R_G = 247k\Omega$

Dadurch finden wir:

$$V^*_{theo,2} = 91.3 \quad (13)$$

$$V^*_{exp,2} = 94,2 \pm 0.7 \quad (14)$$

Was zu einer Abweichung von rund 4.5σ zurückzuführen ist. Dies ist eine recht große Umgehung, obwohl die Messwerte auf den ersten Blick gut zusammenpassen. Dies ist auf den klein angegebenen Fehler des Experimentalwerts von nur 0.8% und dem nicht verwendeten Fehler des Theoriewertes zurückzuführen.

4.2 Aufgabe 1b

Nachstehend ist das Diagramm der Vermessenen Wechselspannung zu sehen. Mit einem Gegenkopelwiderstand von $274k\Omega$ erhielten wir:

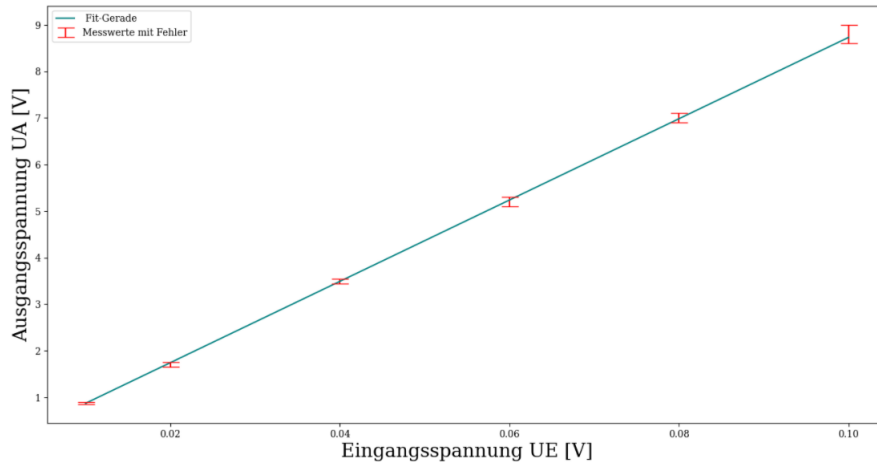


Diagramm 7: Messwerte mit gefitteter Gerade an die Messwerte für U_A ; AC ; $R_G = 680k\Omega$

$$V^*_{theo,3} = 91.4 \quad (15)$$

$$V^*_{exp,3} = 87.3 \pm 0.5 \quad (16)$$

Mit einer Abweichung von etwas mehr als 4σ setzt sich die Reihe gerade noch befriedigender Abweichungen fort, wobei auch diese über ähnliche Umstände wie zuvor erklären ist.

Die Zweite Messung der Aufgabe 1b ergibt:

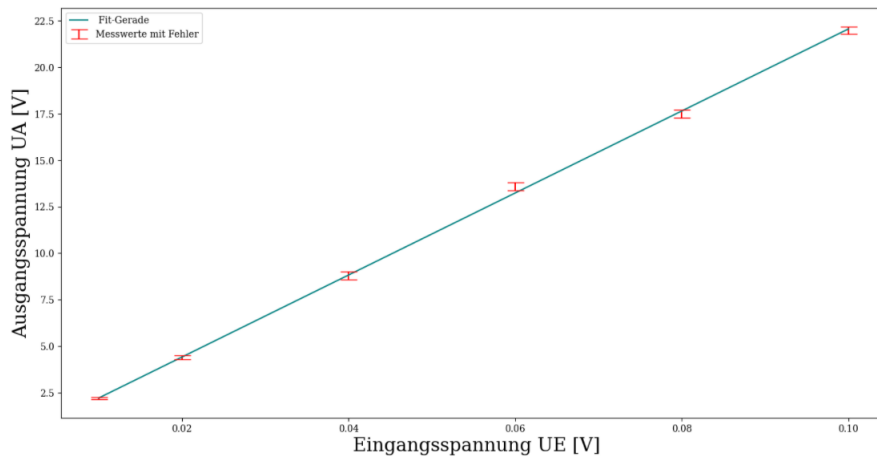


Diagramm 8: Messwerte mit gefitteter Gerade an die Messwerte für U_A ; AC ; $R_G = 680k\Omega$

$$V_{*theo,3} = 226.7 \quad (17)$$

$$V_{*exp,3} = 219.0 \pm 0.8 \quad (18)$$

Mit einem noch kleineren Fehler von weniger als 0.4% ist eine hohe Sigmaabweichung zu erwarten. Wir erhalten in diesem Wissen rund 10σ .

4.3 Aufgabe 2

Im folgenden sind alle Messwerte des Aufgabenteils 2, ihrer Messreihe zugeordnet, auf Logarithmischem Papier abgebildet. Auf dieses Diagramm wird in der Diskussion weiter eingegangen.

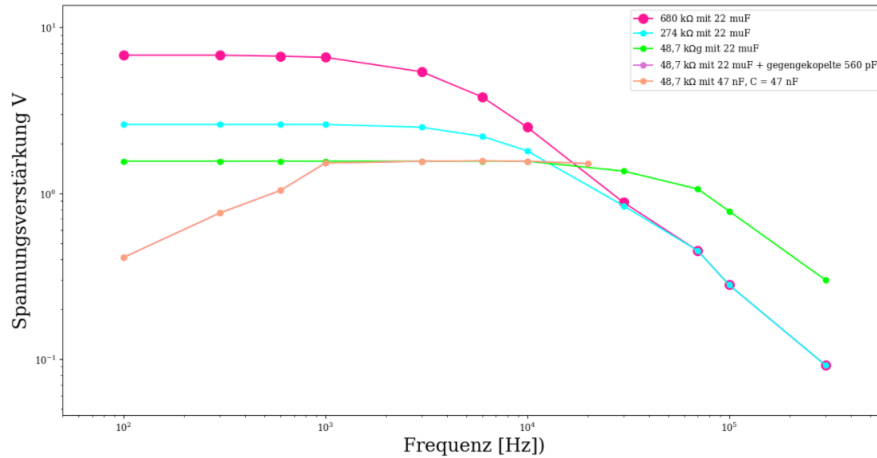


Diagramm 9: Messwerte für die Frequenzgänge aus den verschiedenen Teilaufgaben aus Aufgabe 2

5 Zusammenfassung und Auswertung

5.1 Aufgabe 1a

Wir haben diesen versucht damit begonnen das Verhältnis zwischen ein und Ausgangsspannung für zwei Gegenkoppelwiderstände bei Gleich und Wechselstrom zu untersuchen. Hierzu plotten wir die Messwerte in einem Diagramm und legten eine Fitgerade an. Durch die Steigung der Gerade konnten wir die Verstärkungen bestimmen, und diese anschließend mit den theoretischen Werten vergleichen. Für die ersten drei Messungen konnten wir hierbei Sigmaabweichungen zwischen 4 und 4,5 Sigma feststellen.

5.2 Aufgabe 1b

Bei der Vermessung der Wechselspannung mit einem Widerstand von 680 k Ohm fanden wir dann jedoch eine Sigmaabweichung von rund 10 sigma vor. Wie bereits in der Auswertung beschrieben ist dies teilweise zurückzuführen auf den sehr klein angesetzten Fehler. Die Werte an sich liegen rund 4% auseinander, was durchaus vertretbar ist. Wir können mit diesem Versuchsteil also zufrieden sein, er bekräftigt Theorie und Durchführung.

5.3 Aufgabe 2a

Die zweite Aufgabe begonnen wir damit, den Frequenzgang gegengekoppelter Widerstände zu untersuchen. Wir sehen, dass das Verstärkungsspektrum von der Größe der Widerstände abhängen. Weiterhin zeigte sich, wie die stärkere Gegenkopplung den Frequenzgang linearisiert und die Verstärkung abschwächt. Es bildete sich das Verhalten eines Tiefpassfilters aus.

5.4 Aufgabe 2b

Aufgabenteil b) bestand darin, parallel zum Widerstand einen Kondensator zu schalten, wobei sich bei hohen Frequenzen eine größere Gegenkopplung ausbildete, was zur Verstärkung der Tiefpasscharakteristika führte.

5.5 Aufgabe 2c

Im Aufgabenteil c) wurde die parallele Kapazität entfernt und die des Eingangskondensators herabgesetzt. Hierbei wurde, invers zu Aufgabenteil b), Hochpassverhalten festgestellt.

All diese Messdaten sind zur Zusammenfassung in Diagramm 9 einzusehen. Sie entsprechen unseren Erwartungen in allen Punkten, wobei es bemerkenswert ist, dass sie letzten vier Messwerte für die beiden $U_G = 0.3V_{SS}$ identisch ausfallen.

5.6 Aufgabe 3

Die dritte Aufgabe verwendete ein Rechtecksignal von ungefähr einem Kilohertz. Die Erhöhung des Widerstands im Versuchsaufbau führte erneut zu einem Tiefpassverhalten, wie auch nach dem Einsetzen eines $48k\Omega$ Widerstands mit einer parallelen Kapazität. Erst durch die Serienschaltung mit einem $47nF$ ist ein Hochpassverhalten zu erkennen. Mit beiden Kapazitäten zeigte sich schlussendlich das Bandpassverhalten. All diese Observationen verliefen also wie erwartet.

5.7 Allgemeine Fehlerquellen und Einschätzung des Versuchs

Die Frage der Fehlerquellen erweist sich bei diesem Versuch aufgrund der vielen elektronischen Bauteile als kompliziert. Generell kommt es bei allen elektromagnetischen Aufbauten schnell zu Komplikationen durch Netzbrummen, versteckten Kapazitäten oder zu großen Widerständen durch Kabel und Platinen. Da wir in diesem Versuch auf Messdaten von Dr. Wagner zurückgreifen, sind grobe Fehler bei der Durchführung auszuschließen. Alles in allem liefert das Experiment positive Ergebnisse und lediglich die Abschätzung der Fehler hätte mehr überdacht werden sollen, um realistischere Ergebnisse zu erhalten.

6 Anhang

6.1 Abbildungsverzeichnis

^{29–33} [Physikalisches Praktikum PAP 2 für Studierende der Physik, Ausgabe 04_2007, Seite 3-17](#)

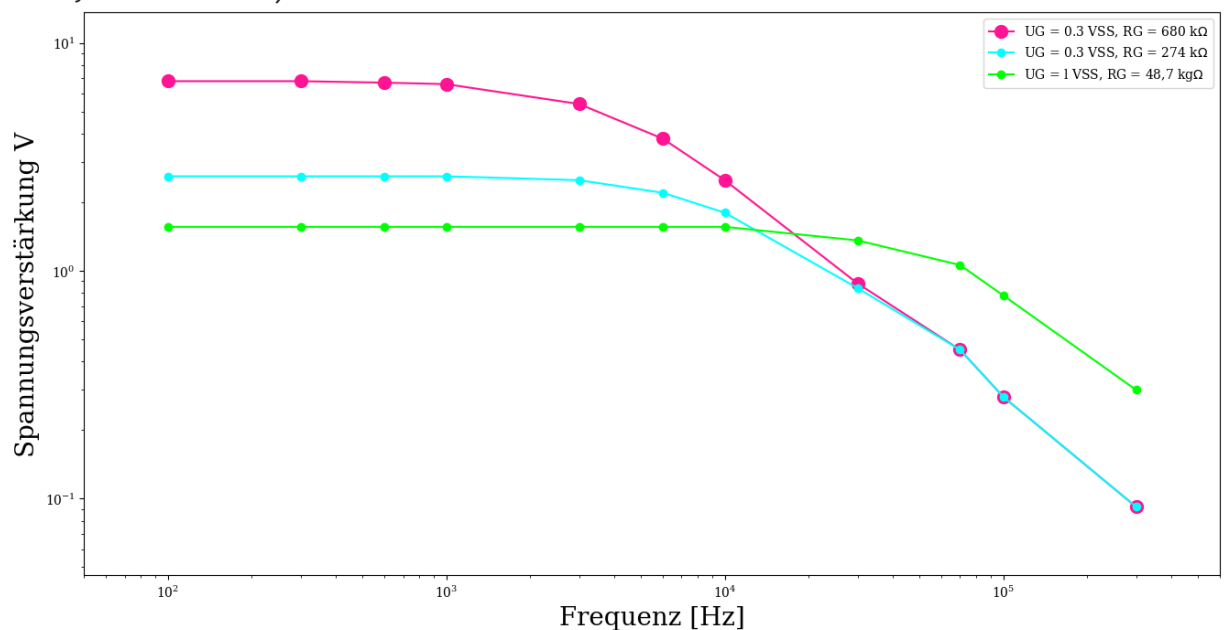
```
In [1]: import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
plt.style.use('default')
plt.rcParams["font.family"]='serif'
plt.rcParams["figure.figsize"][0] = 14
plt.rcParams["figure.figsize"][1] = 9
plt.rcParams['errorbar.capsize']=2
```

```
In [2]: f = np.array([100, 300, 600, 1000, 3000, 6000, 10000, 30000, 70000, 100000, 300000])
UE = np.array([1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1])
UA1 = np.array([6.8, 6.8, 6.7, 6.6, 5.4, 3.8, 2.5, 0.88, 0.45, 0.28, 0.092])
UA2 = np.array([2.6, 2.6, 2.6, 2.6, 2.5, 2.2, 1.8, 0.84, 0.45, 0.28, 0.092])
UA3 = np.array([1.56, 1.56, 1.56, 1.56, 1.56, 1.56, 1.56, 1.36, 1.06, 0.78, 0.30])

V1 = UA1/UE
V2 = UA2/UE
V3 = UA3/UE

plt.figure(figsize=(16,8))
# plt.title('Diagramm 5: Frequenzgang von gekoppelten Verstärker')
plt.xlabel('Frequenz [Hz]', fontsize=20)
plt.ylabel('Spannungsverstärkung V', fontsize=20)
plt.loglog()
plt.xlim(0.5*100, 2*300000)
plt.ylim(0.5*min(V1), 2*max(V1))
plt.plot(f, V1, label='UG = 0.3 VSS, RG = 680 k $\Omega$ ',color='deeppink',marker='o')
plt.plot(f, V2, label='UG = 0.3 VSS, RG = 274 k $\Omega$ ',color='aqua',marker='o')
plt.plot(f, V3, label='UG = 1 VSS, RG = 48,7 k $\Omega$ ',color='lime',marker='o')
plt.legend(loc='best')
plt.savefig('V242_1.pdf', format='PDF')
plt.show()
```

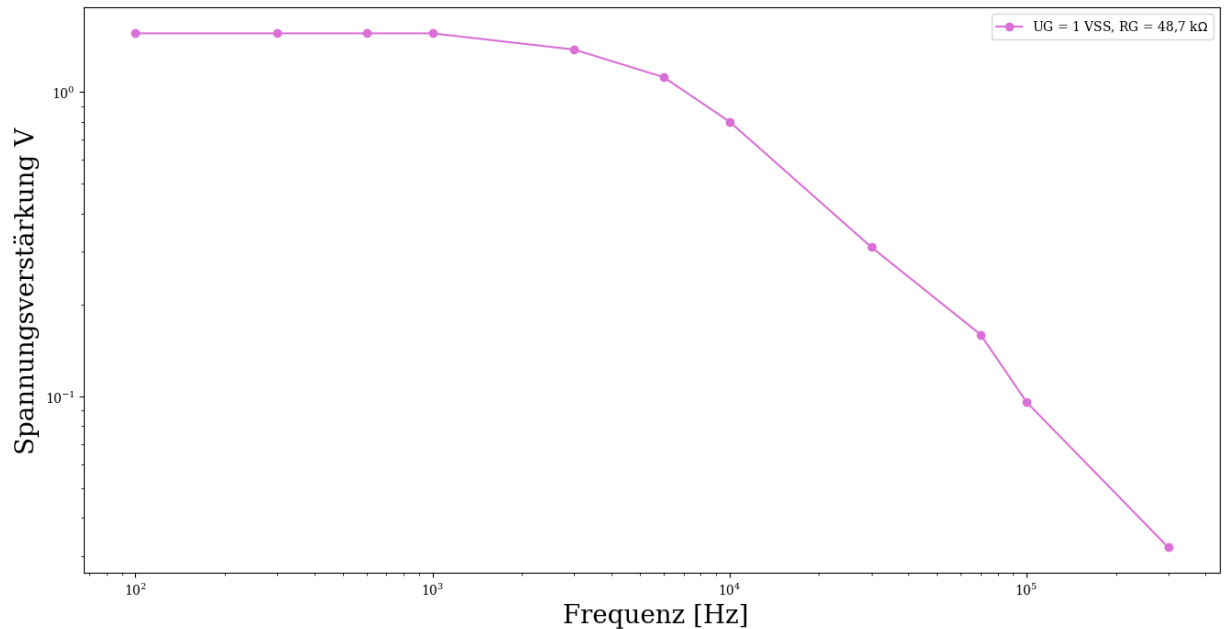
<ipython-input-2-660a7f8f17f4>:19: MatplotlibDeprecationWarning: Case-insensitive properties were deprecated in 3.3 and support will be removed two minor releases later
 plt.plot(f, V1, label='UG = 0.3 VSS, RG = 680 k Ω ',color='deeppink',marker='o',MarkerSize=10)



```
In [3]: f = np.array([100, 300, 600, 1000, 3000, 6000, 10000, 30000, 70000, 100000, 300000])
UE = np.array([1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1])
UA = np.array([1.56, 1.56, 1.56, 1.56, 1.38, 1.12, 0.80, 0.31, 0.16, 0.096, 0.032])

V = UA/UE
```

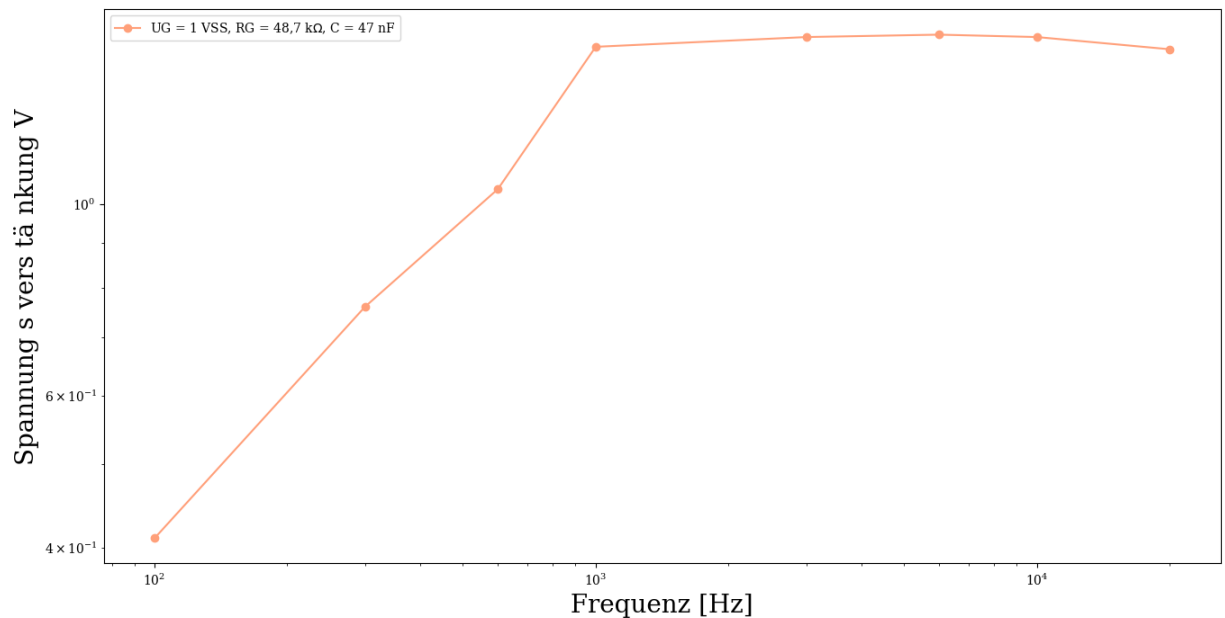
```
plt.figure(figsize=(16,8))
# plt.title('Diagramm 6: Frequenzgang mit zusätzlich gegengekoppelter Kapazität')
plt.xlabel(' Frequenz [Hz]',fontsize=20)
plt.ylabel('Spannungsverstärkung V',fontsize=20)
plt.loglog()
plt.plot(f, V, label='UG = 1 VSS, RG = 48,7 k$\Omega$',color='orchid',marker='o')
plt.legend(loc='best')
plt.savefig('V242_2.pdf', format='PDF')
plt.show()
```



```
In [4]: F = np.array([100, 300, 600, 1000, 3000, 6000, 10000, 20000])
Ue = np.array([1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1])
UA = np.array([0.41, 0.76, 1.04, 1.52, 1.56, 1.57, 1.56, 1.51])

V = UA/Ue

plt.figure(figsize=(16,8))
# plt.title('Diagramm 7: Frequenzgang mit sehr kleinem Kondensator am Eingang')
plt.xlabel(' Frequenz [Hz] ', fontsize=20)
plt.ylabel('Spannung s vers tä nkung V', fontsize=20)
plt.loglog()
plt.plot(F, V, label='UG = 1 VSS, RG = 48,7 k$\Omega$, C = 47 nF',color='lightsalmon')
plt.legend(loc='best')
plt.savefig('V242_3.pdf', format='PDF')
plt.show()
```



Auswertung

In [5]: `from scipy.optimize import curve_fit`

```
In [6]: U1 = np.array([-0.25, -0.20, -0.15, -0.10, -0.05, 0.00, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25])
UA1 = np.array([4.2, 3.4, 2.6, 1.7, 0.9, 0.06, -0.8, -1.6, -2.4, -3.2, -4.0])
dUA1 = np.array([0.1, 0.1, 0.1, 0.1, 0.1, 0.02, 0.1, 0.1, 0.1, 0.1, 0.1])
dU1 = np.array([0.01, 0.01, 0.01, 0.01, 0.01, 0.01, 0.01, 0.01, 0.01, 0.01, 0.01])
RE = 3e3
RG1 = 48.7e3
RG2 = 274e3

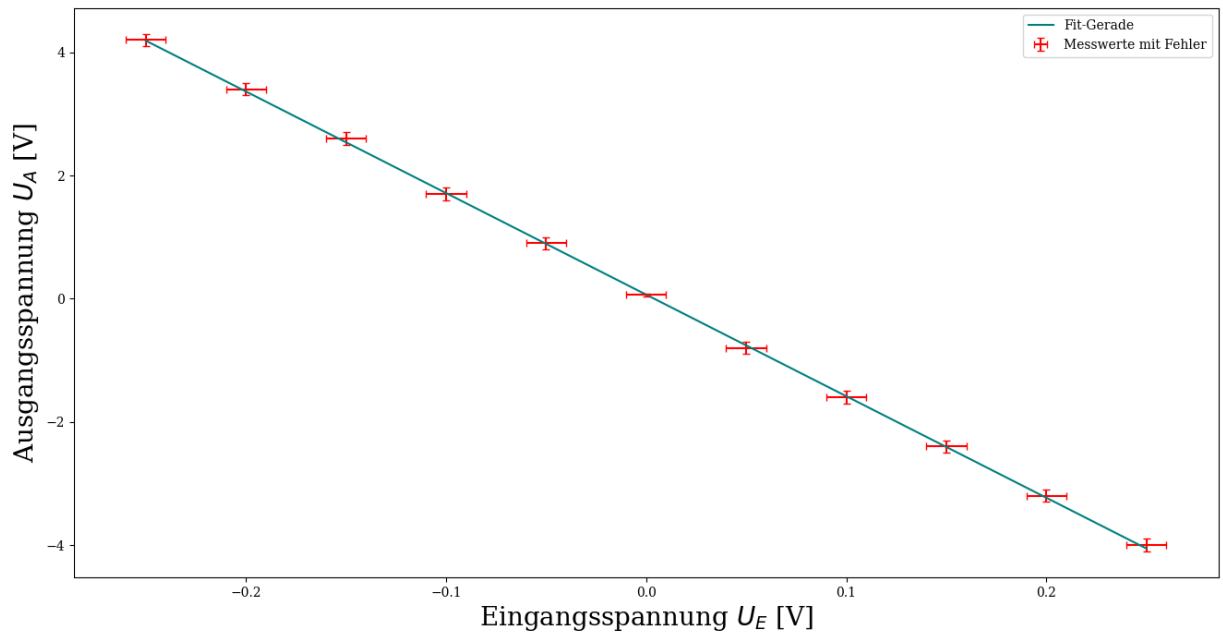
def fit(x,a,b):
    return a*x+b

popt, pcov = curve_fit(fit, U1, UA1, [-10,-1], sigma = dUA1)

xAxis = np.linspace(min(U1),max(U1),1000)

plt.figure(figsize=(16,8))
# plt.title('Diagramm 1: DC, RG = 48,7 kΩ\Omega$')
plt.xlabel('Eingangsspannung $U_E$ [V]',fontsize=20)
plt.ylabel('Ausgangsspannung $U_A$ [V]',fontsize=20)
plt.plot(xAxis, fit(xAxis, *popt), label='Fit-Gerade', color='teal')
plt.errorbar(U1, UA1, xerr=dU1, yerr=dUA1, capsize=3, label='Messwerte mit Fehler',
plt.legend(loc='best')
plt.savefig('V242_4.pdf', format='PDF')
plt.show()

print('Exp: Verstärkung V* = ', np.abs(round(popt[0], 2)), '+/- ', round(pcov[0,0]**0
print('Theo: V* = ', round(RG1/RE,2))
```

Exp: Verstärkung $V^* = 16.49 \pm 0.07$

Theo: $V^* = 16.23$

In [7]:

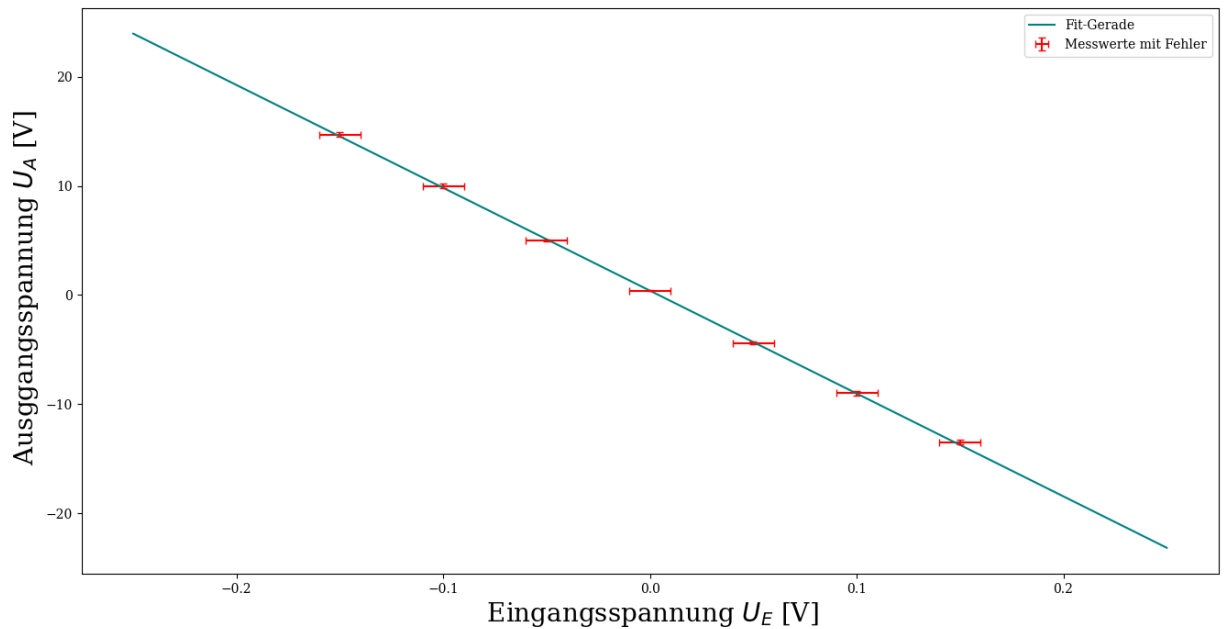
```
U1 = np.array([-0.15, -0.10, -0.05, 0.00, 0.05, 0.10, 0.15])
dU1 = np.array([0.01, 0.01, 0.01, 0.01, 0.01, 0.01, 0.01])
UA2 = np.array([14.7, 10.0, 5.0, 0.40, -4.4, -9.0, -13.5])
dUA2 = np.array([0.2, 0.2, 0.1, 0.05, 0.1, 0.2, 0.2])

def fit( x, a, b):
    return a*x+b

popt, pcov = curve_fit(fit, U1, UA2, [-8,-3], sigma = dUA2)
xAxis : np.linspace(min(U1), max(U1), 1000)

plt.figure(figsize=(16,8))
# plt.title( ' Diagramm 2 : DC, RG = 274 k $\Omega$  ' )
plt.xlabel( ' Eingangsspannung  $U_E$  [V] ', fontsize=20)
plt.ylabel( ' Ausgangsspannung  $U_A$  [V] ', fontsize=20)
plt.plot(xAxis, fit(xAxis, *popt), label='Fit-Gerade', color='teal')
plt.errorbar(U1, UA2, xerr=dU1, yerr=dUA2, capsize = 3, label='Messwerte mit Fehler')
plt.legend(loc='best')
plt.show()
plt.savefig('V242_5.pdf', format='PDF')

print('Exp: Verstärkung V = ', np.abs(round(popt[0], 2)), ' +/- ', round(pcov[0,0]**0.5, 2))
print('Theo: V = ', round( RG2/RE , 2) )
```



Exp: Verstärkung $V = 94.24 \pm 0.68$

Theo: $V = 91.33$

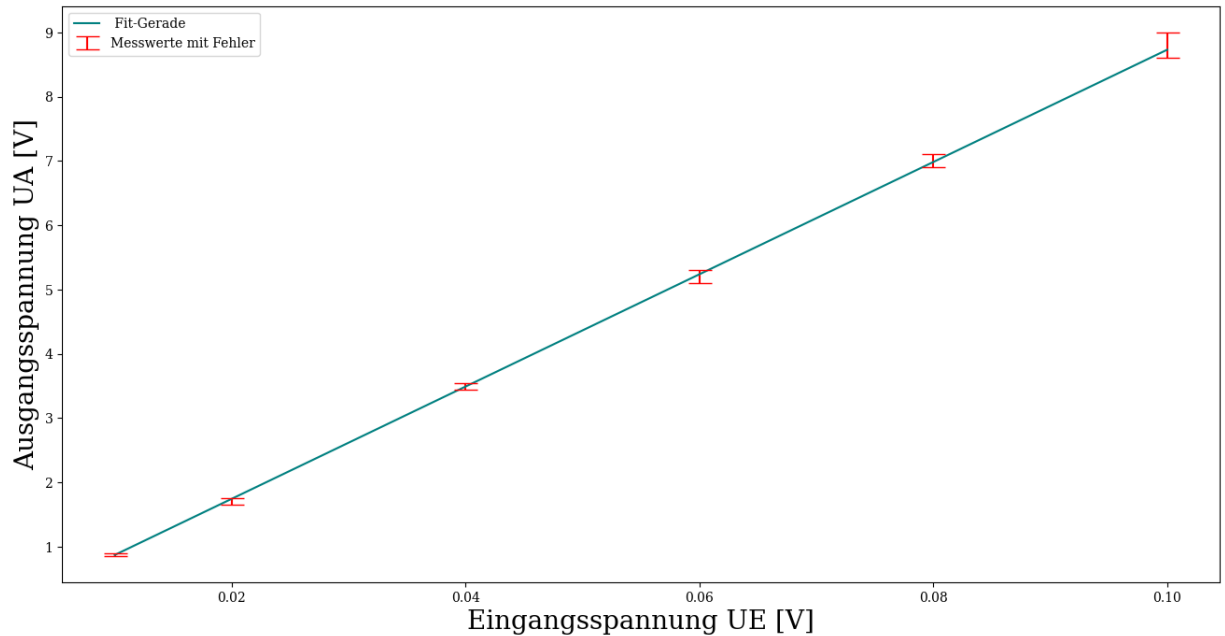
<Figure size 1400x900 with 0 Axes>

```
In [8]: U1 = np.array([0.01, 0.02, 0.04, 0.06, 0.08, 0.10])
UA3 = np.array([0.88, 1.70, 3.50, 5.2, 7.0, 8.8])
UA4 = np.array([ 2.20, 4.4, 8.8, 13.6, 17.5, 22.0])
dUA3 = np.array([0.02, 0.05, 0.05, 0.1, 0.1, 0.2])
dUA4 = np.array([0.05, 0.1, 0.2, 0.2, 0.2, 0.2])

RE = 3*10**-3
RG3 = 274*10**-3
RG4 = 680*10**-3

def fit(x,a,b): return a*x+b
popt, pcov = curve_fit(fit, U1, UA3, [-10,-1], sigma = dUA3)
xAxis = np.linspace(min(U1), max(U1),1000)
plt.figure(figsize=(16,8))
# plt.title('Diagramm 3: AC, RG: 247 k$\Omega$')
plt.xlabel('Eingangsspannung U_E [V]',fontsize=20)
plt.ylabel('Ausgangsspannung U_A [V]',fontsize=20)
plt.plot(xAxis, fit(xAxis, *popt), label=' Fit-Gerade', color='teal')
plt.errorbar(U1, UA3, yerr=dUA3, capsize = 9, label='Messwerte mit Fehler', fmt='non')
plt.legend(loc='best')
plt.show()
plt.savefig('V242_6.pdf', format='PDF')

print('Exp: Verstärkung V* = ', np.abs(round(popt[0], 2)), '+/-', round(pcov[0,0]**0.5,2))
print('Theo: V* =', round(RG3/RE,2))
```



Exp: Verstärkung $V^* = 87.28 \pm 0.54$

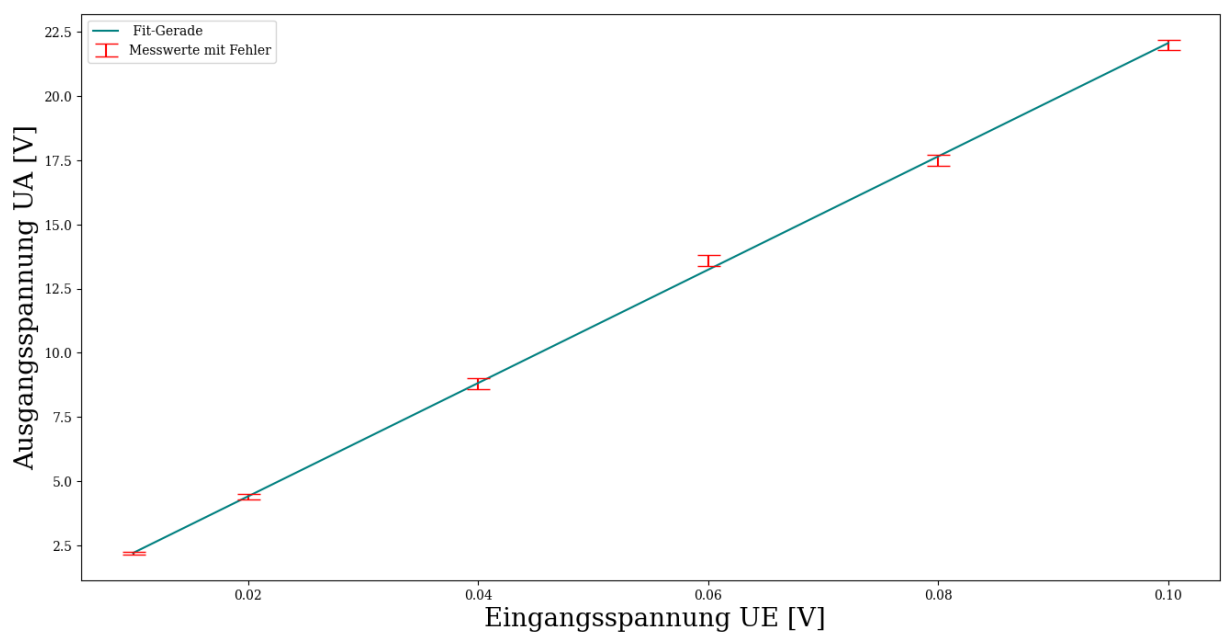
Theo: $V^* = 91.33$

<Figure size 1400x900 with 0 Axes>

In [9]:

```
def fit(x,a,b):
    return a*x+b
popt, pcov = curve_fit(fit, U1, UA4, [-10, -1], sigma = dUA4)
xAxis = np.linspace(min(U1), max(U1), 1000)
plt.figure(figsize=(16,8))
# plt.title('Diagramm 4: AC, RG = $680\text{ kg}\Omega$')
plt.xlabel('Eingangsspannung UE [V]', fontsize=20)
plt.ylabel('Ausgangsspannung UA [V]', fontsize=20)
plt.plot(xAxis, fit(xAxis, *popt), label='Fit-Gerade', color='teal')
plt.errorbar(U1, UA4, yerr=dUA4, capsize = 9, label='Messwerte mit Fehler', fmt='non')
plt.legend(loc='best')
plt.show()
plt.savefig('V242_7.pdf', format='PDF')

print('Exp: Verstärkung V' = ', np.abs(round(popt[0], 2)), ' +/- ', round(pcov[0,0]*
print('Theo: V' = ', round(RG4/RE,2))
```



Exp: Verstärkung $V' = 220.7 \pm 1.72$

Theo: $V' = 226.67$

<Figure size 1400x900 with 0 Axes>

```

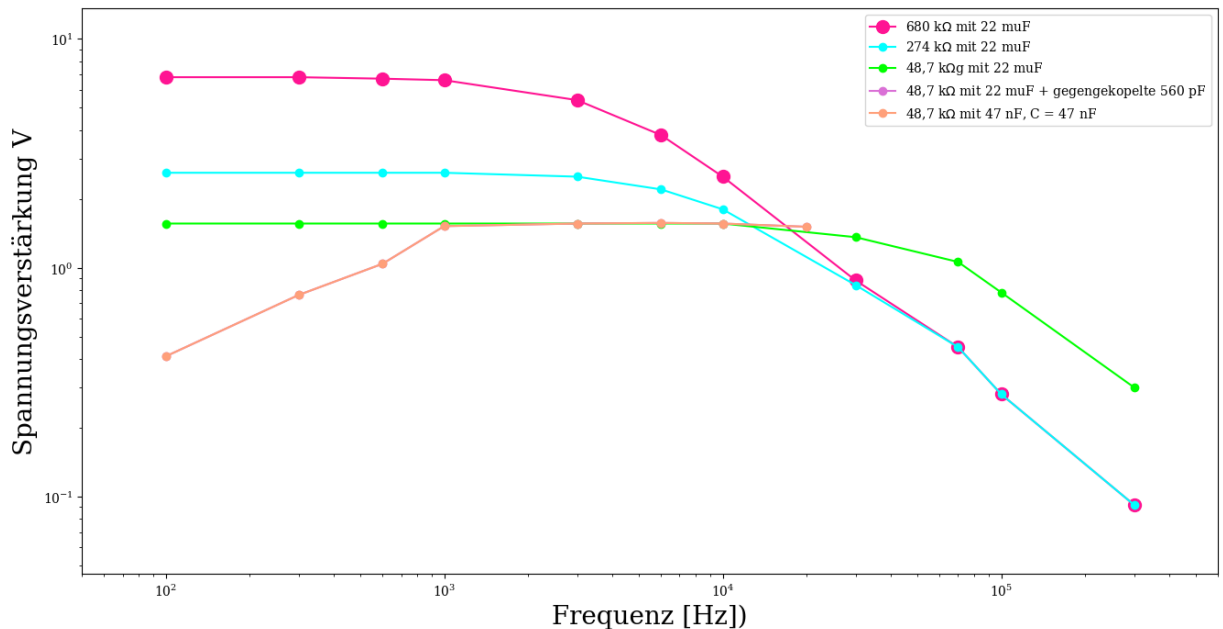
In [10]: plt.figure(figsize=(16,8))
# plt.title('Diagramm 8: Zusammenfassung Aufgabe 2')
plt.xlabel('Frequenz [Hz]', fontsize=20)
plt.ylabel('Spannungsverstärkung V', fontsize=20)
plt.loglog()
plt.xlim(0.5*100, 6*10**5)
plt.ylim(0.5*min(V1), 2*max(V1))

plt.plot(f, V1, label='680 k$\Omega$ mit 22 muF', color='deeppink', marker='o', MarkerSize=10)
plt.plot(f, V2, label='274 k$\Omega$ mit 22 muF', color='aqua', marker='o')
plt.plot(f, V3, label='48,7 k$\Omega$ mit 22 muF', color='lime', marker='o')
plt.plot(F, V, label='48,7 k$\Omega$ mit 22 muF + gegengekoppelte 560 pF', color='orange', marker='o')
plt.plot(F, V, label='48,7 k$\Omega$ mit 47 nF, C = 47 nF', color='lightsalmon', marker='o')

plt.legend(loc='best')
plt.show()
plt.savefig('V242_8.pdf', format='PDF')

```

<ipython-input-10-6c12175a87d7>:9: MatplotlibDeprecationWarning: Case-insensitive properties were deprecated in 3.3 and support will be removed two minor releases later
 plt.plot(f, V1, label='680 k\$\Omega\$ mit 22 muF', color='deeppink', marker='o', MarkerSize=10)



<Figure size 1400x900 with 0 Axes>