Versuch 242 Spannungsverstärkung

Leonardo Karl Reiter

March 21, 2024

Contents

1 Ziel des Versuchs **2**

2 Grundlagen **2**

3 Durchführung **3**
3.1 Aufgabe 1: μA741 als Gleich- und Wechselspannungsverstärker . . . 3
3.2 Aufgabe 2: Frequenzgang des Wechselspannungsverstärkers . . . 3
3.3 Aufgabe 3: Impulsform bei verschiedenen Gegenkopplungen . . . 3

4 Messprotokoll **4**

5 Auswertung **7**
5.1 Python Module . . . 7
5.2 Teil 1: Verstärkung für verschiedene Gegenkopplungen . . . 7
5.2.1 Gleichstrom (DC) . . . 7
5.2.2 Wechselstrom (AC) . . . 11
5.3 Teil 2: Frequenzgang des gegengekoppelten Verstärkers . . . 14
5.3.1 Teil 2a) . . . 14
5.3.2 Teil 2b) . . . 14
5.3.3 Teil 2c) . . . 14
5.3.4 Log-log-Plot der Messdaten . . . 15
5.4 Teil 3: Impulsform eines Rechtecksignals für verschiedene Gegenkopplungen . . . 16

6 Diskussion **16**
6.1 Fazit . . . 17

1 Ziel des Versuchs

Ziel des Versuchs ist es die Funktionsweise eines Operationsverstärkers zu untersuchen und nachzuvollziehen.

2 Grundlagen

Um in der naturwissenschaftlichen Messpraxis Spannungen untersuchen zu können, müssen diese meist verstärkt werden. Dazu soll hier der Operationsvertärker des Typs μA741 verwendet werden, welcher Spannungsdifferenzen zwischen zwei Eingängen verstärkt. Dabei wird meist ein Eingang geerdet und so die Spannung am zweiten Eingang invertierend Verstärkt. Ein Operationsverstärker wird charakterisiert durch:

den Eingagswiderstand: $$R_E = \frac{U_E}{I_E} \tag{1}$$

den Ausgangswiderstand: $$R_A = \frac{U_A}{I_A} \tag{2}$$

die Spannungsverstärkung: $$V_0 = -\frac{U_A}{U_E} \tag{3}$$

Der Eingangswiderstand R_i wird mit $R_i \approx 10^6\ \Omega$ recht groß gewählt, um den Verstärker nicht zu sehr zu belasten, der Ausgangswiderstand R_a hingegen mit $R_a \approx 50\ \Omega$ eher klein. Die Spannungsverstärkung ist umgekehrt proportional frequenzabhängig und zeigt für $f > 10Hz$ einen Graph im Bodediagramm, während sie für kleinere Frequenzen $f < 10Hz$ konstant bleibt.

Um die Verstärkungsfaktoren geziehlt zu kontrollieren wird häufig über einen Gegenkopplungswiderstand R_G ein Teil der Ausgangspannung U_A auf den Eingang zurückgekoppelt. (Siehe Schaltplan 1

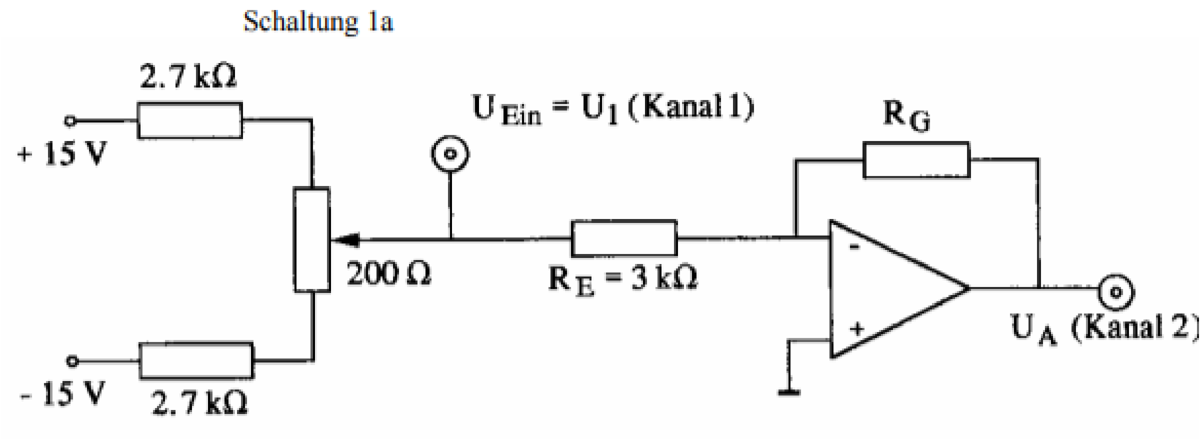


Figure 1: Gleichspannungsverstärker

Setzt man R_E und R_G sehr viel kleiner als R_i, so kann man $I_E = 0$ annehmen und die Knotenregel im Punkt E wird zu:

$$I_1 + I_2 = \frac{U_1 - U_E}{R_E} + \frac{U_A - U_E}{R_G} = 0 \tag{4}$$

mit $V_0 = -\frac{U_A}{U_E}$ erhalten wir:

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

Bei niedrigen Frequenzen ist $\frac{1}{V_0} \approx 10^{-5} \ll 1$. Außerdem $\frac{R_E}{R_G} \ll \frac{1}{V_0}$, so kann man 5 nähern durch:

$$-\frac{U_A}{U_1} = \frac{R_G}{R_E} = V' \tag{6}$$

was nun die gegengekoppelte Verstärkung beschreibt und bei niedrigen Frequenzen unabhängig von der Verstärkerdaten ist. Bei hohen Frequenzen ist diese Näherung aber unzulässig und man erhält wieder einen, Gleichung 5 entsprechenden, Verlauf. Mit einen parallel zu R_G geschalteten Kondensator lassen sich hohe Frequenzen weniger stark verstärken, mittels einem Hochpass am Eingang entsprechend tiefe Frequenzen weniger stark Verstärken.

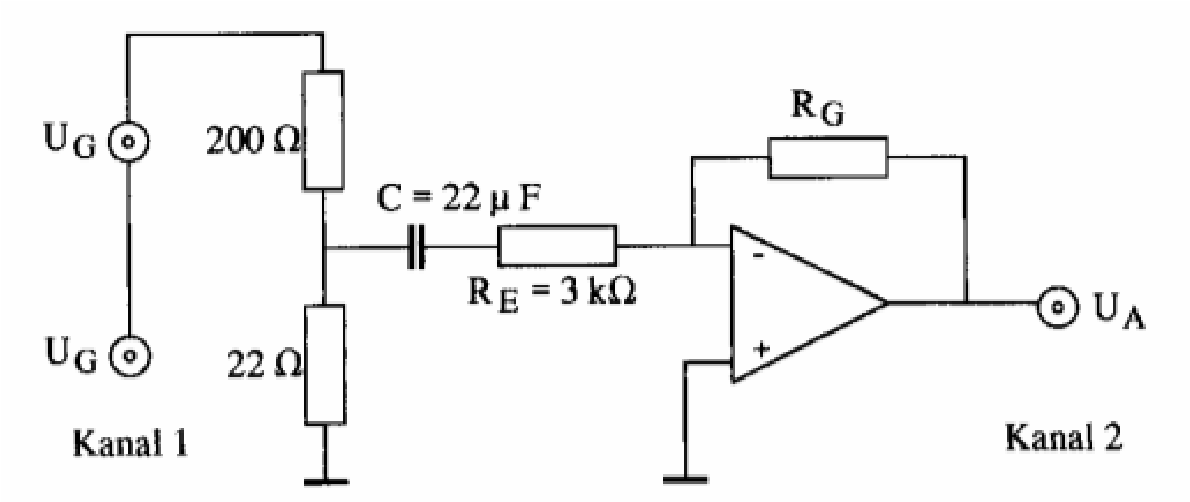


Figure 2: Wechselspannungsverstärker

3 Durchführung

3.1 Aufgabe 1: μA741 als Gleich- und Wechselspannungsverstärker

Es sollen die Ausgangsspannungen U_A, für verschiedene U_E und R_G mit dem Osilloskop gemessen werden.

Anschließend wird eine Wechselspannung bzw. Generatorspannung U_G angelegt und wieder die Ausgangspannung U_A für verschiedene Amplituden ($V_p p$) gemessen werden.

3.2 Aufgabe 2: Frequenzgang des Wechselspannungsverstärkers

Es soll nun der Frequenzgang zwischen 100 Hz und 300 kHz gemessen werden mit jeweils 3 unterschiedlichen Gegenkopplungen R_G und einmal einer parallel geschalteten Kapazität.

3.3 Aufgabe 3: Impulsform bei verschiedenen Gegenkopplungen

Zum Schluss ist noch eine qualitative Beobachtung des Einflusses verschiedener Gegenkopplungen auf die Form des Ausgangssignals U_A, zu dokumentieren. Dabei soll noch einmal auf die Bedeutung von hohen bzw. tiefen Frequenzen f auf die Anstiegszeit τ der Impulse, eingegangen werden.

4 Messprotokoll

4.3.2022 — Versuchsprotokoll 242 — Spannungsverstärkung

Aaron Schaebe
Leonardo Reiter

Aufgabe 1a) (Verstärkung von ca. 10)

Gegenkoppel-Widerstand R_G	Eingangsspannung U_E [mV]	Ausgangsspannung U_A [V]
680 kΩ	0,5 ± 0,3	-0,800 ± 0,150
	250 ± 1	-57,0 ± 0,5
	200 ± 1	-45,6 ± 0,5
	150 ± 1	-33,6 ± 0,5
	100 ± 1	-22,6 ± 0,5
	50 ± 1	-10,7 ± 0,5
	-50 ± 1	12,6 ± 0,5
	-100 ± 1	27,4 ± 0,5
	-150 ± 1	35,8 ± 0,5
	-200 ± 1	47,9 ± 0,5
	-250 ± 1	59,4 ± 0,5
274 kΩ	0,7 ± 0,4	0,250 ± 0,15
	250 ± 1	-22,7 ± 0,5
	200 ± 1	-18,1 ± 0,5
	150 ± 1	-13,1 ± 0,5
	100 ± 1	-8,84 ± 0,50
	50 ± 1	-4,08 ± 0,50
	50 ± 1	4,84 ± 0,50
	100 ± 1	9,60 ± 0,50
	150 ± 1	13,7 ± 0,5
	200 ± 1	18,4 ± 0,5
	250 ± 1	23,1 ± 0,5

Gegenkopplungswiderstand R_G	Eingangsspannung U_E [mV]	Ausgangsspannung U_A [V]
	$-0,2 \pm 0,3$	$0,03 \pm 0,05$
	250 ± 1	$4,00 \pm 0,03$
	200 ± 1	$3,22 \pm 0,03$
$48,7\ k\Omega$	150 ± 1	$2,47 \pm 0,03$
	100 ± 1	$1,68 \pm 0,03$
	50 ± 1	$0,8 \pm 0,03$
	-50 ± 1	$0,82 \pm 0,03$
	-100 ± 1	$1,62 \pm 0,03$
	-150 ± 1	$2,40 \pm 0,03$
	-200 ± 1	$3,19 \pm 0,03$
	-250 ± 1	$4,01 \pm 0,03$

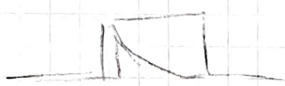
Aufgabe 1 b)

U_G [V]	U_A [V] für $R_G = 680\ k\Omega$	U_A [V] für $R_G = 274\ k\Omega$
0,0001	$0,040 \pm 0,001$	$0,004 \pm 0,001$
0,200	$3,52 \pm 0,05$	$1,40 \pm 0,01$
0,400	$6,92 \pm 0,05$	$2,83 \pm 0,02$
0,600	$10,4 \pm 0,1$	$4,24 \pm 0,02$
0,800	$13,7 \pm 0,1$	$5,64 \pm 0,05$
1,000	$17,4 \pm 0,2$	$7,04 \pm 0,05$

Aufgabe 3 $\quad f \to 0 \Rightarrow$ Integrator

Hohe Frequenzen fehlen:

Tiefe f fehlen



Beide fehlen zum Teil

2b) $C = 560\,pF$, $R_G = 48{,}7\,k\Omega$ U_A [mV]	Aufgabe 2 a) Frequenz [kHz]	$U_G = 0{,}3\,V_{pp}$ $R_G = 274\,k\Omega$ U_A [V]	$R_G = 680\,k\Omega$ $U_G = 0{,}3\,V_{pp}$ U_A [V]	$U_G = 1{,}0\,V_{pp}$ $R_G = 48{,}7\,k\Omega$ U_A [V]
1240 ± 10	0,1	2,12 ± 0,1	5,3 ± 0,1	1,24 ± 0,01
1240 ± 10	0,8	2,11 ± 0,1	5,2 ± 0,1	1,24 ± 0,01
1230 ± 10	1	2,12 ± 0,1	5,2 ± 0,1	1,24 ± 0,01
1220 ± 10	1,2	2,13 ± 0,05	5,16 ± 0,05	1,24 ± 0,01
1220 ± 10	1,4	2,12 ± 0,05	5,12 ± 0,05	1,24 ± 0,01
1190 ± 10	2,0	2,10 ± 0,05	4,96 ± 0,05	1,24 ± 0,01
1120 ± 10	3,0	2,08 ± 0,05	4,64 ± 0,05	1,24 ± 0,01
1050 ± 10	4,0	2,04 ± 0,05	4,24 ± 0,05	1,24 ± 0,01
840 ± 8	7,0	1,88 ± 0,05	3,24 ± 0,05	1,24 ± 0,01
662 ± 5	10,0	1,70 ± 0,05	2,52 ± 0,05	1,22 ± 0,01
488 ± 5	15,0	1,36 ± 0,05	1,80 ± 0,05	1,21 ± 0,01
260 ± 2	30,0	0,848 ± 0,01	0,828 ± 0,01	1,14 ± 0,01
82 ± 2	100,0	0,288 ± 0,01	0,290 ± 0,01	0,736 ± 0,005
56 ± 2	150,0	0,198 ± 0,005	0,202 ± 0,005	0,566 ± 0,005
43 ± 1	200,0	0,148 ± 0,005	0,150 ± 0,005	0,458 ± 0,005
35 ± 1	250,0	0,120 ± 0,002	0,121 ± 0,002	0,384 ± 0,005
30 ± 1	300,0	0,102 ± 0,002	0,102 ± 0,002	0,320 ± 0,002

VT 4.3.22

Wagner Walz

0,100	0,41
0,300	0,76
0,600	1,04
1	1,52
2	1,56
[illegible]	1,57
6	1,56
10	1,54
20	

5 Auswertung

5.1 Python Module

[12]:
```
#Importieren von allen benötigten Modulen
%matplotlib inline
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
from scipy.optimize import curve_fit
from scipy.stats import chi2
import io
import matplotlib
matplotlib.rcParams.update({'font.size': 20})
plt.rcParams["figure.figsize"] = 16, 9
```

5.2 Teil 1: Verstärkung für verschiedene Gegenkopplungen

[2]:
```
#Verwendete Kopplungswiderstände
RG=np.array([48.7e3,274e3,680e3])#Ohm
```

5.2.1 Gleichstrom (DC)

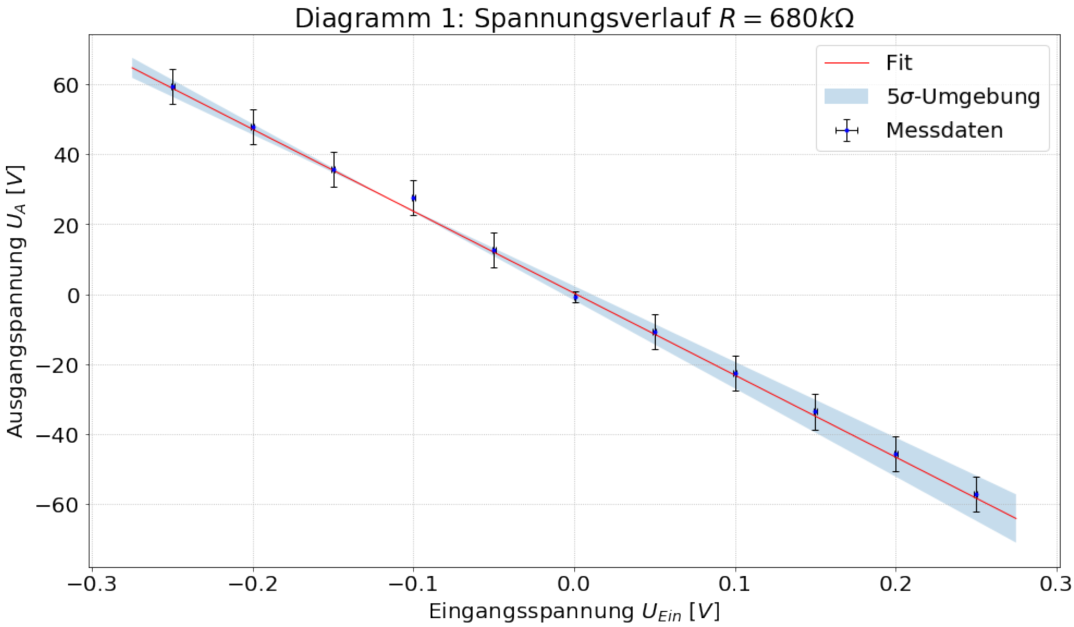
[133]:
```
#erste Messreihe (R = 680 [kOhm])
U_Ein1 = np.array([-250,-200,-150,-100,-50,0.5,50,100,150,200,250])*1e-3
fehler_U_Ein1 = np.array([1,1,1,1,1,0.3,1,1,1,1,1])*1e-3

U_A1 = np.array([59.4, 47.9, 35.8, 27.5, 12.6,-0.8,-10.7,-22.6,-33.6,-45.6,-57.0])
fehler_U_A1 =  np.array([0.5,0.5,0.5,0.5,0.5,0.15,0.5,0.5,0.5,0.5,0.5])*10

#zweite Messreihe (R = 274 [kOhm])
U_Ein2 = np.array([-250,-200,-150,-100,-50,0.7,50,100,150,200,250])*1e-3
fehler_U_Ein2 = np.array([1,1,1,1,1,0.4,1,1,1,1,1])*1e-3

U_A2 = np.array([23.1,18.4,13.7,9.60,4.84,0.250,-4.08,-8.84,-13.1,-18.1,-22.7])
fehler_U_A2 =  np.array([0.5,0.5,0.5,0.5,0.5,0.15,0.5,0.5,0.5,0.5,0.5])*10

#dritte Messreihe (R = 48.7 [kOhm])
U_Ein3 = np.array([-250,-200,-150,-100,-50,-0.2,50,100,150,200,250])*1e-3
fehler_U_Ein3 = np.array([1,1,1,1,1,0.3,1,1,1,1,1])*1e-3

U_A3 = np.array([4.01,3.19,2.40,1.62,0.82,0.03,-0.8,-1.68,-2.47,-3.77,-4.00])
fehler_U_A3 =  np.array([0.03,0.03,0.03,0.03,0.03,0.05,0.03,0.03,0.03,0.03,0.03])*10
```

[172]:
```
# Diagramm mit Fit und integriertem chi²

def PLOT(U_Ein,fehler_U_Ein,U_A,fehler_U_A,a,b):
    #Fitfunktion
    from scipy import odr

    def fit_func(p, x):
        v,b = p
        return v*x+b

    model = odr.Model(fit_func)

    #darzustellende Daten
    x = U_Ein
```

```python
    y = U_A
    delta_x = fehler_U_Ein
    delta_y = fehler_U_A

    #Startparameter
    para0 = [1.0,1.0]

    data = odr.RealData(x, y, sx=delta_x, sy=delta_y)
    odr = odr.ODR(data, model, beta0=para0 )
    out = odr.run()

    #1-Sigma
    popt = out.beta
    perr = out.sd_beta

    #Sigma-Umgebung
    nstd = 5 # um n-Sigma-Umgebung zu zeichnen
    popt_top = popt+nstd*perr
    popt_bot = popt-nstd*perr

    #Plot-Umgebung
    x_fit = np.linspace(min(x)*1.1, max(x)*1.1)
    fit = fit_func(popt, x_fit)
    fit_top = fit_func(popt_top, x_fit)
    fit_bot = fit_func(popt_bot, x_fit)

    #Plot
    fig, ax = plt.subplots(1)
    plt.errorbar(x, y, yerr=delta_y, xerr=delta_x, lw=1, ecolor='k',
                 fmt='.',c='b', capsize=3, label='Messdaten')
    plt.title('Diagramm %d: Spannungsverlauf $R = %d k\\Omega$'%(a,b))
    plt.grid(ls=':')
    plt.xlabel('Eingangsspannung '+r'${U_{Ein}}$'+' '+r'${[V]}$')
    plt.ylabel('Ausgangspannung '+r'${U_{A}}$' + ' '+r'${[V]}$')
    ax.fill_between(x_fit, fit_top, fit_bot, alpha=.25,␣
↪label=str(nstd)+r'$\sigma$'+'-Umgebung')
    plt.plot(x_fit, fit, 'r', lw=1, label='Fit')
    plt.legend(loc='best')
    plt.show()

    #Chi-Quadrat orthogonal
    from scipy.stats import chi2

    dof = x.size-popt.size
    chisquare = np.sum(((fit_func(popt, x)-y)**2)/
                       (delta_y**2+((fit_func(popt, x+delta_x)-
                                     fit_func(popt, x-delta_x))/2)**2))
    chisquare_red = chisquare/dof
    prob = round(1-chi2.cdf(chisquare,dof),2)*100

    diff = np.abs(np.abs(popt[0])-b/3)
    #print(diff)
    print('V =', popt[0], ' ± ', perr[0],'\n=> sigma = ', round(diff/perr[0],2))
    print('\n')
    print('Chi-Quadrat =', chisquare)
    print('Freiheitsgrade =', dof)
    print('Chi-Quadrat reduziert =', chisquare_red)
```

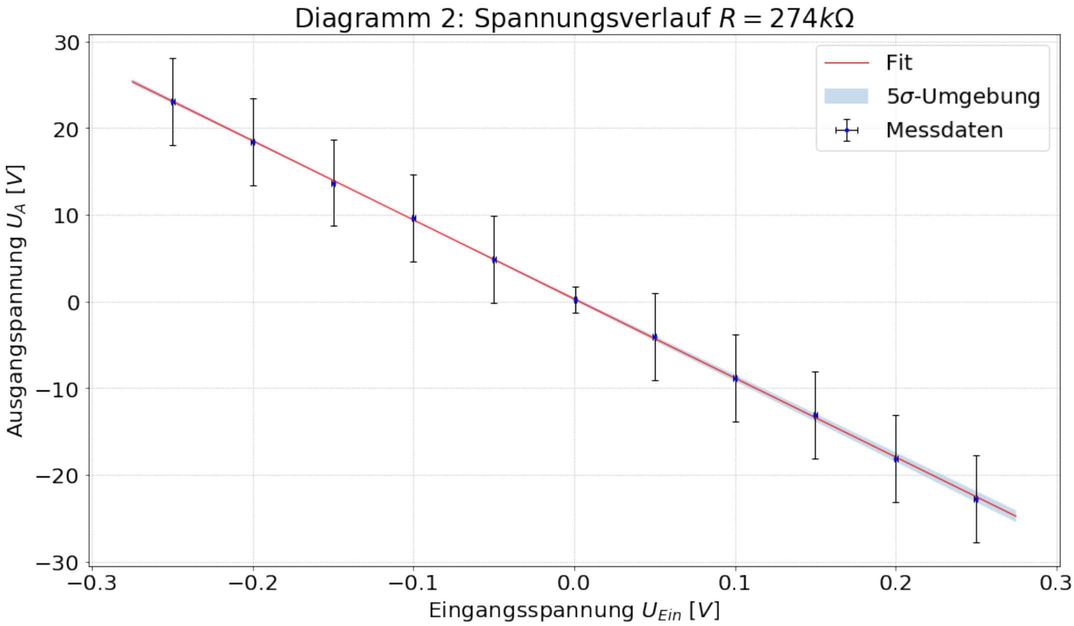
```
    print('Wahrscheinlichkeit ein größeres oder gleiches Chi-Quadrat zu erhalten␣
↪=', prob, '%')
```

[173]:
```
PLOT(U_Ein1,fehler_U_Ein1,U_A1,fehler_U_A1,1,680)
```



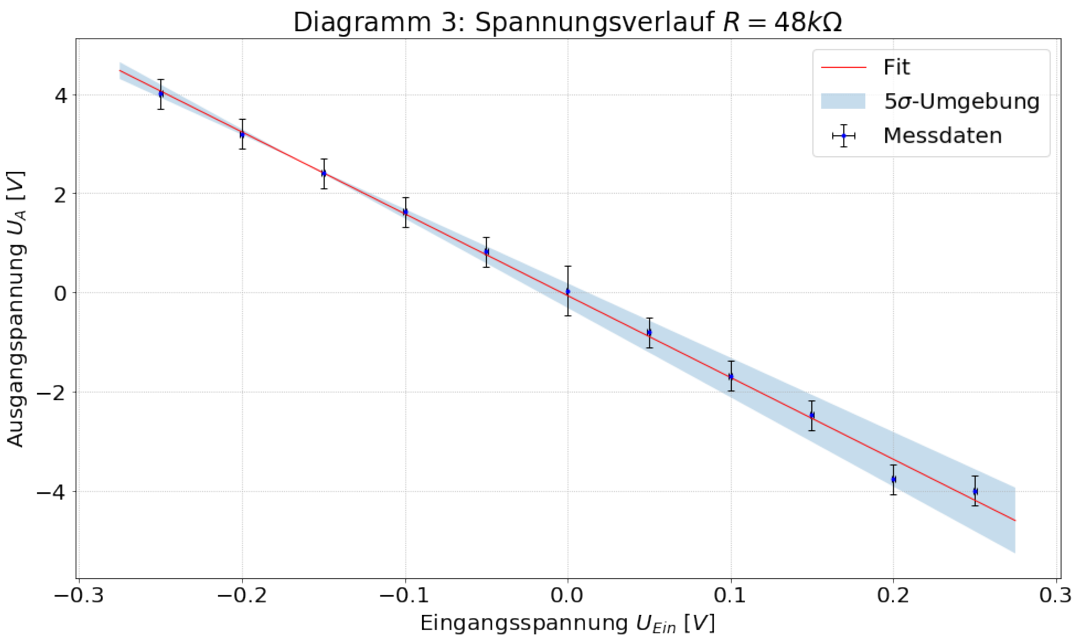

```
V = -234.14797549251642  ±  3.5458397165783135
=> sigma =  2.11


Chi-Quadrat = 1.2420070528482812
Freiheitsgrade = 9
Chi-Quadrat reduziert = 0.13800078364980903
Wahrscheinlichkeit ein größeres oder gleiches Chi-Quadrat zu erhalten = 100.0 %
```

[174]:
```
PLOT(U_Ein2,fehler_U_Ein2,U_A2,fehler_U_A2,2,274)
```




```
V = -91.12685101027702  ±  0.35289310683332975
=> sigma =  0.59


Chi-Quadrat = 0.012324842883150947
Freiheitsgrade = 9
Chi-Quadrat reduziert = 0.001369426987016772
Wahrscheinlichkeit ein größeres oder gleiches Chi-Quadrat zu erhalten = 100.0 %
```

[175]:
```
PLOT(U_Ein3,fehler_U_Ein3,U_A3,fehler_U_A3,3,48.7)
```




```
V = -16.49471818533049  ±  0.3027330142885158
```

```
=> sigma =  0.86


Chi-Quadrat = 2.5127041345465475
Freiheitsgrade = 9
Chi-Quadrat reduziert = 0.2791893482829497
Wahrscheinlichkeit ein größeres oder gleiches Chi-Quadrat zu erhalten = 98.0 %
```

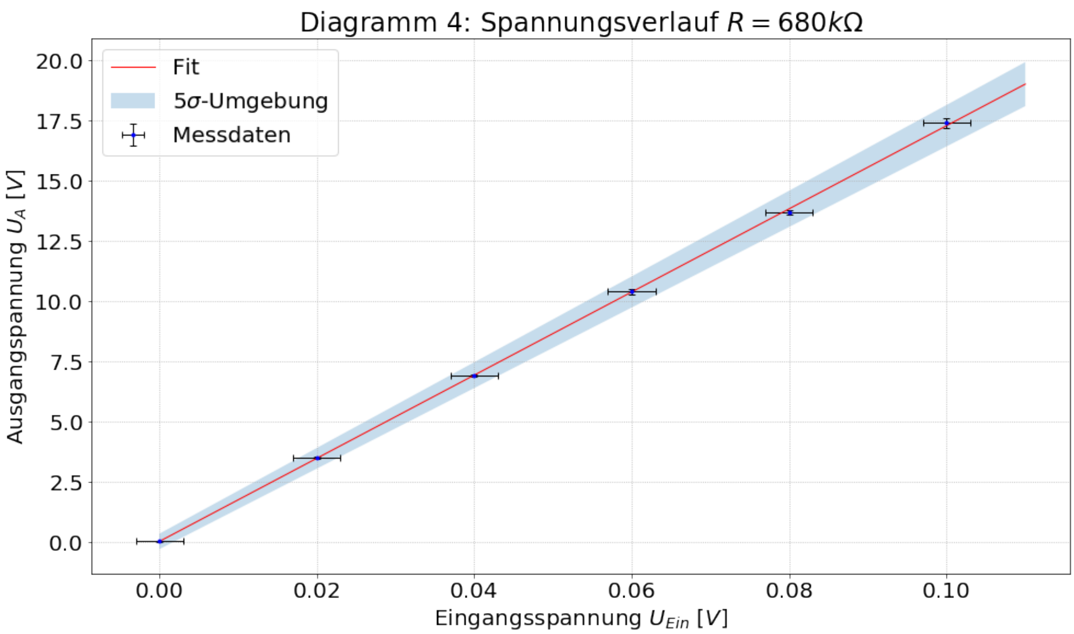
5.2.2 Wechselstrom (AC)

[187]:
```
#Generatorspannung
UG=np.array([0.0001,0.2,0.4,0.6,0.8,1.0])/10
UG_err= np.array([0.03,0.03,0.03,0.03,0.03,0.03])/10

#erste Messreihe: RG=680e3 Ohm
UA4=np.array([0.04,3.52,6.92,10.4,13.7,17.4])
UA4_err=np.array([0.01,0.05,0.05,0.1,0.1,0.2])

#zweite Messreihe: RG=274e3 Ohm
UA5=np.array([0.004,1.4,2.83,4.24,5.64,7.04])
UA5_err=np.array([0.01,0.01,0.02,0.02,0.05,0.05])
```

[191]:
```
def PLOT1b(U_Ein,fehler_U_Ein,U_A,fehler_U_A,a,b):
    #Fitfunktion
    from scipy import odr

    def fit_func(p, x):
        (v,b) = p
        return v*x+b

    model = odr.Model(fit_func)

    #darzustellende Daten
    x = U_Ein
    y = U_A
    delta_x = fehler_U_Ein
    delta_y = fehler_U_A

    #Startparameter
    para0 = [1.0,1.0]

    data = odr.RealData(x, y, sx=delta_x, sy=delta_y)
    odr = odr.ODR(data, model, beta0=para0 )
    out = odr.run()

    #1-Sigma
    popt = out.beta
    perr = out.sd_beta

    #Sigma-Umgebung
    nstd = 5 # um n-Sigma-Umgebung zu zeichnen
    popt_top = popt+nstd*perr
    popt_bot = popt-nstd*perr

    #Plot-Umgebung
    x_fit = np.linspace(0, max(x)*1.1)
    fit = fit_func(popt, x_fit)
    fit_top = fit_func(popt_top, x_fit)
```

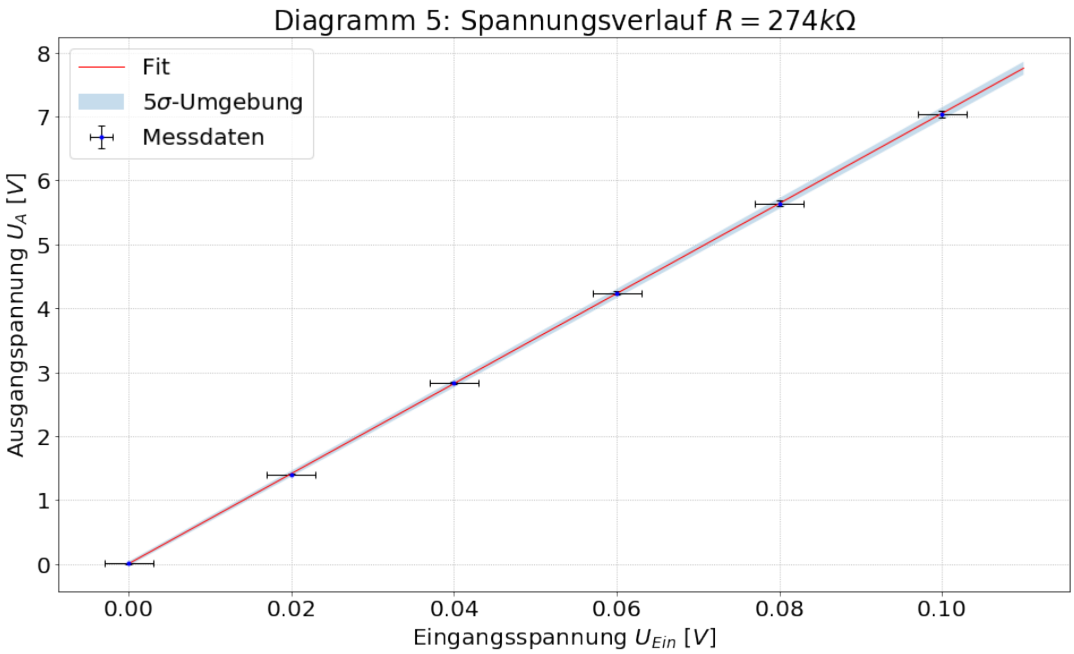
```
    fit_bot = fit_func(popt_bot, x_fit)

    #Plot
    fig, ax = plt.subplots(1,figsize=(16,9))
    plt.errorbar(x, y, yerr=delta_y, xerr=delta_x,
                 lw=1, ecolor='k', fmt='.',c='b', capsize=3, label='Messdaten')
    plt.title('Diagramm %d: Spannungsverlauf $R = %d k\\Omega$'%(a,b))
    plt.grid(ls=':')
    plt.xlabel('Eingangsspannung '+r'${U_{Ein}}$'+' '+r'${[V]}$')
    plt.ylabel('Ausgangspannung '+r'${U_{A}}$' + ' '+r'${[V]}$')
    plt.plot(x_fit, fit, 'r', lw=1, label='Fit')
    ax.fill_between(x_fit, fit_top, fit_bot,
                    alpha=.25, label=str(nstd)+r'$\sigma$'+'-Umgebung')
    plt.legend(loc='best')
    plt.show()
    #Chi-Quadrat orthogonal
    from scipy.stats import chi2

    dof = x.size-popt.size
    chisquare = np.sum(((fit_func(popt, x)-y)**2)/
                       (delta_y**2+((fit_func(popt, x+delta_x)-fit_func(popt,␣
↪x-delta_x))/2)**2))
    chisquare_red = chisquare/dof
    prob = round(1-chi2.cdf(chisquare,dof),2)*100

    diff = np.abs(np.abs(popt[0])-b/3)
    #print(diff)
    print('V =', popt[0], ' ± ', perr[0] ,'\n=> sigma = ', round(diff/perr[0],2))
    print('\n')
    print('Chi-Quadrat =', chisquare)
    print('Freiheitsgrade =', dof)
    print('Chi-Quadrat reduziert =', chisquare_red)
    print('Wahrscheinlichkeit ein größeres oder gleiches Chi-Quadrat zu erhalten␣
↪=', prob, '%')
```

[192]:
```
PLOT1b(UG,UG_err,UA4,UA4_err,4,680)
```



```
V = 172.55499579602633  ±  1.077948122623879
=> sigma =  50.2


Chi-Quadrat = 0.11467225596299277
Freiheitsgrade = 4
Chi-Quadrat reduziert = 0.028668063990748192
Wahrscheinlichkeit ein größeres oder gleiches Chi-Quadrat zu erhalten = 100.0 %
```

[193]:
```
PLOT1b(UG,UG_err,UA5,UA5_err,5,274)
```




```
V = 70.45142859040936  ±  0.11886273373521576
=> sigma =  175.68


Chi-Quadrat = 0.008611225589048283
Freiheitsgrade = 4
Chi-Quadrat reduziert = 0.0021528063972620706
Wahrscheinlichkeit ein größeres oder gleiches Chi-Quadrat zu erhalten = 100.0 %
```

Messung R_G	$Vfit$	V_{theo}	σ-Abw.
GV (680 kΩ)	-234.233 ± 3.458	226.667	2.11
GV (274 kΩ)	-91.122 ± 0.887	91.333	0.59
GV (48.7 kΩ)	-16.508 ± 0.312	16.233	0.86
WV (680 kΩ)	172.555 ± 1.078	226.667	50.2
WV (274 kΩ)	70.451 ± 0.119	91.333	175.68

5.3 Teil 2: Frequenzgang des gegengekoppelten Verstärkers

5.3.1 Teil 2a)

[145]:
```
#Frequenzmesspunkte im Intervall 100Hz bis 300kHz
freq=1e3*np.array([0.1,0.8,1.0,1.2,1.4,2.0,3.0,4.0,7.0,10.0,15.0,30.0,
                   100.0,150.0,200.0,250.0,300.0])
freq_err=50e-6*freq

UG1=0.3 #V_SS
UG1_err = UG_err

#Wir rechnen die Spannungen um auf UG=1.0 V_SS um daraus direkt die Verstärkung zu␣
 ↪erhalten

#erste Messreihe: U_SS=0.3V, RG=274e3 Ohm
UA6=np.array([2.12,2.11,2.12,2.13,2.12,2.10,2.08,2.04,1.88,1.70,1.36,
              0.848,0.288,0.198,0.148,0.120,0.102])*10/3
UA6_err=0.03*UA6#np.array([0.1,0.1,0.1,0.05,0.05,0.05,0.05,0.05,0.05,0.05,0.05,
                  #0.01,0.01,0.005,0.005,0.002,0.002])*10/3

#zweite Messreihe: U_SS=0.3V, RG=680e3 Ohm
UA7=np.array([5.3,5.2,5.2,5.16,5.12,4.96,4.64,4.24,3.24,2.52,1.80,
              0.928,0.290,0.202,0.150,0.121,0.102])*10/3
UA7_err=UA7*0.03


UG2=1.0 #V_SS
UG2_err = UG_err

#dritte Messreihe: U_SS=1.0V, RG=48.7e3 Ohm
UA8=np.array([1.24,1.24,1.24,1.24,1.24,1.24,1.24,1.24,1.24,1.22,1.21,
              1.14,0.736,0.566,0.458,0.384,0.320])
UA8_err=UA8*0.03
```

5.3.2 Teil 2b)

Es wird ein Kondensator parallel zu R_G geschaltet.

[69]:
```
#Messung der Verstärkung am Frequenzgang: U_SS=1.0V, RG=48.7e3 Ohm, C=560 pF
UA9=np.
 ↪array([1240,1240,1230,1220,1220,1190,1120,1050,840,662,488,260,82,56,43,35,30])*1e-3
UA9_err=0.03*UA9
```

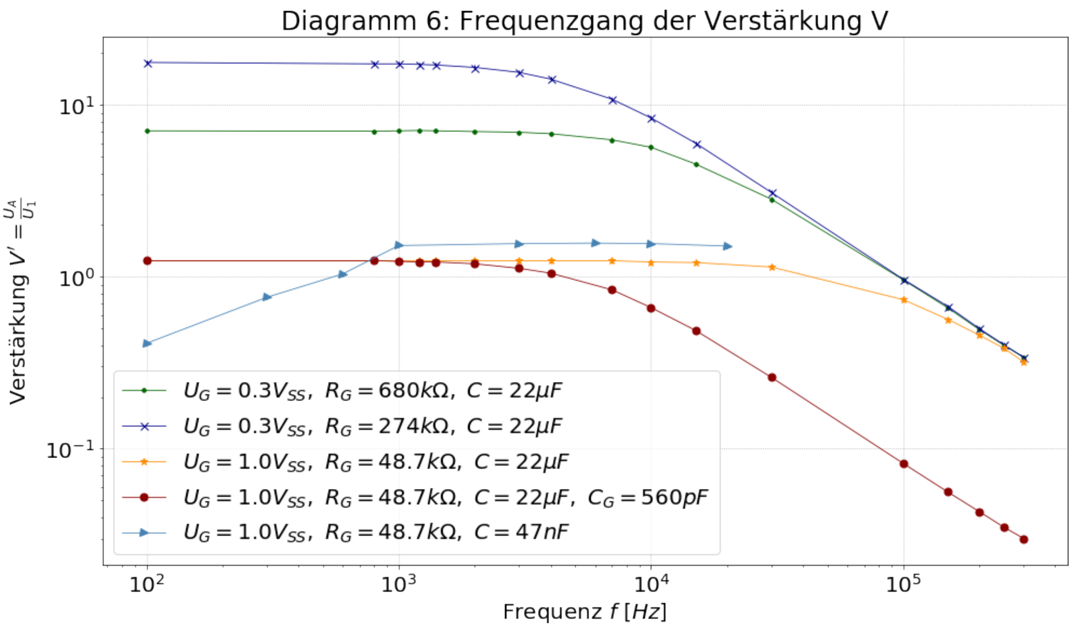
5.3.3 Teil 2c)

dieses Mal wird ein kleiner Kondensator am Eingang in den Schaltkreis eingebracht

[76]:
```
#neuer Frequenzbereich 100Hz bis 20kHz
freq2=1e3*np.array([0.1,0.3,0.6,1.0,3.0,6.0,10,20])
freq2_err=50e-6*freq2

#Messung der Verstärkung am Frequenzgang: U_SS=1.0V, RG=48.7e3 Ohm, C=47 nF
UA10=np.array([0.41,0.76,1.04,1.52,1.56,1.57,1.56,1.51])
UA10_err=0.03*UA10
```

5.3.4 Log-log-Plot der Messdaten

[82]:
```
#doppeltlogarithmische Achsen und Beschriftung
plt.xlabel(r'Frequenz $f$ [$Hz$]')
plt.ylabel(r"Verstärkung $V'= \frac{U_A}{U_1}$")
plt.title(r"Diagramm 6: Frequenzgang der Verstärkung V")
plt.grid(ls='dotted')

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

#erste Kurve 2a
plt.plot(freq, UA6, marker='.',markersize=7, color='darkgreen',linewidth=0.8,␣
 ↪label='$U_G=0.3 V_{SS}, \ R_G=680 k\Omega, \ C=22\mu  F$')
plt.errorbar(freq, UA6,xerr=freq_err,␣
 ↪yerr=UA6_err,linewidth=1,linestyle='',color='darkgreen')

#zweite Kurve 2a
plt.plot(freq, UA7, marker='x',markersize=7, color='darkblue',linewidth=0.8,␣
 ↪label='$U_G=0.3 V_{SS}, \ R_G=274 k\Omega, \ C=22\mu  F$')
plt.errorbar(freq, UA7,xerr=freq_err,␣
 ↪yerr=UA7_err,linewidth=1,linestyle='',color='darkblue')

#dritte Kurve 2a
plt.plot(freq, UA8, marker='*',markersize=7, color='darkorange',linewidth=0.8,␣
 ↪label='$U_G=1.0 V_{SS}, \ R_G=48.7 k\Omega, \ C=22\mu  F$')
plt.errorbar(freq, UA8,xerr=freq_err,␣
 ↪yerr=UA8_err,linewidth=1,linestyle='',color='darkorange')

#Kurve 2b
plt.plot(freq, UA9, marker='o',markersize=7, color='darkred',linewidth=0.8,␣
 ↪label='$U_G=1.0 V_{SS}, \ R_G=48.7 k\Omega, \ C=22\mu F, \ C_G=560  pF$')
plt.errorbar(freq, UA9,xerr=freq_err,␣
 ↪yerr=UA9_err,linewidth=1,linestyle='',color='darkred')

#Kurve 2c
plt.plot(freq2, UA10, marker='>',markersize=7, color='steelblue',linewidth=0.8,␣
 ↪label='$U_G=1.0 V_{SS}, \ R_G=48.7 k\Omega, \ C=47 nF$')
plt.errorbar(freq2, UA10,xerr=freq2_err,␣
 ↪yerr=UA10_err,linewidth=1,linestyle='',color='steelblue')

plt.legend(loc='best')
plt.show()
```



5.4 Teil 3: Impulsform eines Rechtecksignals für verschiedene Gegenkopplungen

Hier soll auf das Verhalten der Impulsformen eines Rechteckssignals qualitativ eingegangen werden. Dabei war zu beobachten sich exponentiell dem Grenzwert annäherte. Je kleiner die Gegenkopplung desto schneller erreicht die Gegenkopplung ihren Endwert. Bei der Gegenkopplung mit einer Kapazität, ist die Verzögerung noch größer. Mit steigender Frequenz nähert sich das Ausgangssignal der Ausgangspannung dem Integral des Eingangssignals. Man Spricht auch von einem Integrator. Filtert man die hohen Frequenzen raus (Tiefpass) so folgt der Verlauf des Ausgangssignals dem Aufladestroms eines Kondensators, Filtert man die tiefen Frequenzen raus (Hochpass), so folgt der Verlauf nach einem steilen Puls am Anfang einem entladevorgang am Kondensator. Mit einem Bandpassfilter so ist ein Lade-entlade-Vorgang eines Kondensators zu erkennen (siehe Messprotokoll 4).

6 Diskussion

In diesem Versuch wurden, die Verstärkung für verschiedene Gegenkopplungen und der Frequenzgang der Verstärkung, untersucht. Es wurden einerseits die Ausgangspannungen eines Gleichspannungsverstärkers (Abbildung 1) und die eines Wechselspannungsverstärkers (Abbildung 2) zu verschiedenen Gegenkopplungswiderständen R_G und Eingangspannungen U_E, gemessen. Die Verstärkung wurde einmal mittels eines numerischen fits (linearer Regression) und einmal aus dem theoretischen Wert bestimmt. Die erhaltenen Werte wurden in folgender Tabelle 2 nocheinmal zusammengetragen.

Messung R_G	$Vfit$	V_{theo}	σ-Abw.
GV (680 kΩ)	-234.233 ± 3.458	226.667	2.11
GV (274 kΩ)	-91.122 ± 0.887	91.333	0.59
GV (48.7 kΩ)	-16.508 ± 0.312	16.233	0.86
WV (680 kΩ)	172.555 ± 1.078	226.667	50.2
WV (274 kΩ)	70.451 ± 0.119	91.333	175.68

Auffällig dabei sind die absurd hohen Abweichungen von der erwarteten Verstärkung V_{theo}. Eine Abweichung von 50σ bzw 175σ deutet auf einen Sistematischen Fehler bei der Aufnahme der Messwerte, Schließlich weichen die Werte bei der Messung am Gleichspannungsverstärker nicht signifikant vom

Mittelwert ab. An dieser Stelle fällt es uns natürlich schwer die genaue Ursache für die hohen Abweichungen zu finden, es können lediglich Vermutungen aufgestellt werden. Die wahrscheinlichste Ursache könnte eine Fehlstellung irgendeines Schalters am μA741 Verstärker sein. Auch möglich ist es dass wir am Oszilloskop einen Verstärkungsfaktor versehntlich eingebaut haben. Störungen oder sonstige nicht deterministischen Ursachen sind auszuschließen da die Messwerte sich trotzdem linear sehr gut anordnen lassen mit einer Fitwahrscheinlichkeit von 100%.

Es sind sicher weitere Untersuchungen notwendig um der Sache auf den Grund zu gehen und eine mögliche Fehlfunktion am Verstärker auszuschließen.

Ansonsten waren noch einmal die Frequenzgänge in doppelt logarythmischen plots darzustellen, welche in Abbildung 3 noch einmal aufgeführt werden:

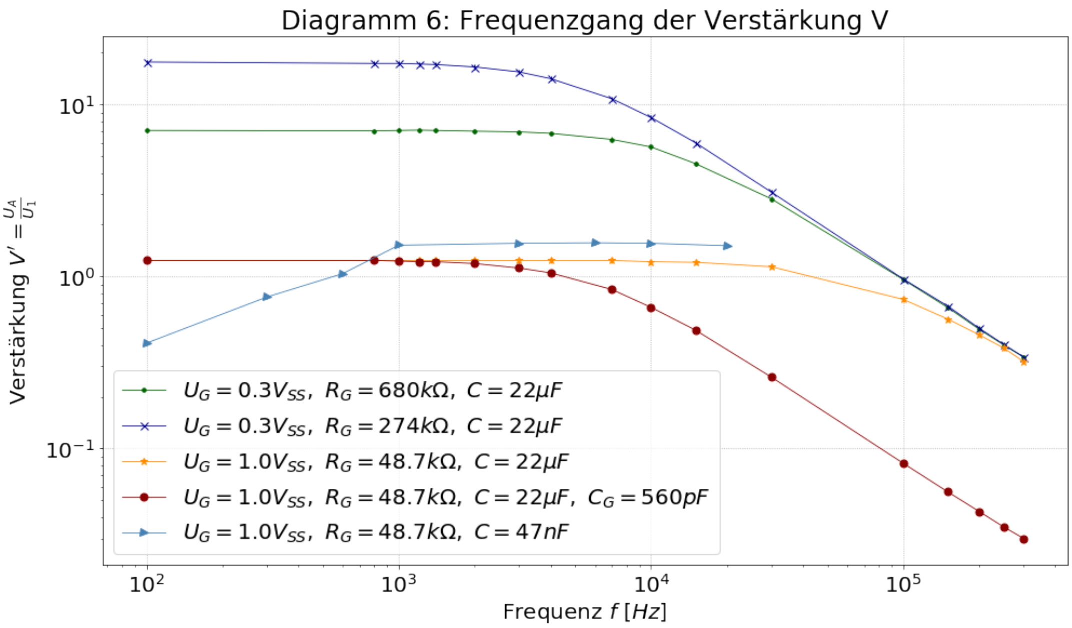


Figure 3: Bode Diagramm der aufgezeichneten Frequenzgänge des Verstärkers, die hellblaue Kurve wurd mit den Messwerten des Praktikumsleiters Dr. Jens Wagner dargestellt, da wir am Versuchstag die Aufnahme dieser Messung versäumt haben.
(Quelle https://www.youtube.com/watch?v=g70e00YepN8&t=2029

Die von uns aufgenommenen Kurven folgen ziemplich gut dem erwarteten Verlauf, da wir sehr viele Messwerte aufgenommen haben und uns die Zeit genommen haben diese ausführlich zu messen, die Werte der letzten Kurve stammen aus einer anderen Messung vom Dr. Jens Wagner (Praktikumsleiter der Uniersität Heidelberg 2022, siehe Abb. 3)

6.1 Fazit

Der Versuch diente dem Zweck unser Verständniss der Funktionsweise eines Spannungsverstärkers, zu vertiefen. Dies ist durch die vielfalt an Messungen, in denen man das Verhalten der Ausgangspannungen U_A mit verschiedenen Parametern (Gegenkoppplung R_G, Eingangspannung U_E, Generatorspannnug U_G) beeinflussen kann, auf jeden Fall gelungen. Leider hatten wir Schwierigkeiten mit einem, am Oszilloskop eingestellen Verstärkungsfaktor von 10 (später vielleicht ein anderer). Dieser hat bei der Auswertung der Messwerte für Verwirrung gesorgt. Besonders weil sich auch ein solcher Faktor später bei der Wechselstrommessung wieder eine Rolle spielt. Folglich haben wir bei diesen Wechselstrommessung sehr hohe Abweichungen von der erwarteten Verstärkung.

Abgesehen von der Wechselstrommessung bei der wir, dennoch ein lineares Verhalten der Messwerte mit hoher Sicherheit nachweisen konnten, ist der Versuch durchaus als Erfolg anzusehen. Wir haben auf jeden Fall viel gelernt und auch selbst ausprobieren, können.