

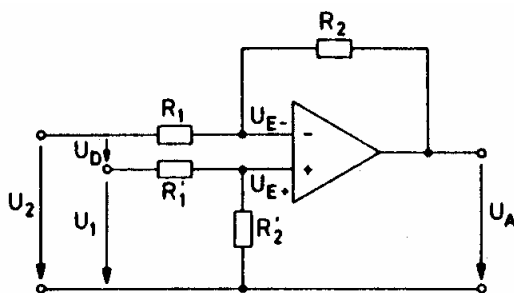
**Protokoll zum Fortgeschrittenenpraktikum I**  
**Elektronische Messtechnik im WS 2006/2007**  
**Messverstärker und -gleichrichter**

**I Einleitung**

Diese Versuchsserie soll vertiefend Aufschluss darüber geben, wie Schaltungen mit Differenz- und Instrumentenverstärkern sowie Messgleichrichtern und Mittelwertbildnern zur Analyse und zum Entwurf von Messschaltungen eingesetzt werden.

**II Theoretische Grundlagen**

**Differenzverstärker**



**Abbildung 1: Schaltbild eines Differenzverstärkers**  
 (aus /2/ K.H. Rohe "Elektronik für Physiker" S.201)

Abbildung 1 zeigt das Schaltbild eines Differenzverstärkers. Seine Ausgangsspannung  $U_A$  ist der Eingangsspannungsdifferenz  $U_1 - U_2$  proportional.

Da  $R_1'$  und  $R_2'$  einen Spannungsteiler bilden, ist die Spannung an  $U_{E+} = U_1 \frac{R_2'}{R_1' + R_2'}$ .

Wegen des Widerstandes  $R_1$  ist die Spannung an  $U_{E-} = U_2 - U_{R1} = U_2 - \frac{U_2 - U_A}{R_1 + R_2} R_1$ .

Für den linearen Betrieb des OV's ( $U_{E+} = U_{E-}$ ) ist daher

$$U_{E+} = U_1 \frac{R_2'}{R_1' + R_2'} = U_2 - \frac{U_2 - U_A}{R_1 + R_2} R_1 = U_{E-} \text{ und mit } R_1 = R_1', R_2 = R_2' \text{ (1) folgt somit:}$$

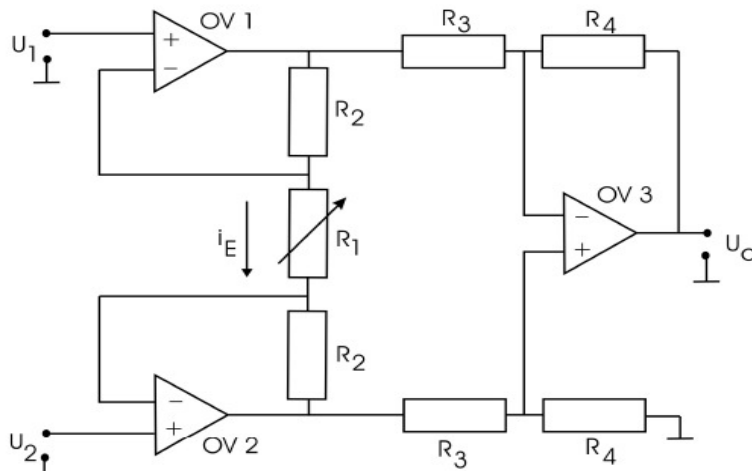
$$U_A = \frac{R_2}{R_1} (U_1 - U_2) = \frac{R_2}{R_1} U_D.$$

Je genauer die Bedingung (1) erfüllt wird, umso eher ist  $U_A \propto U_D$ , wodurch folgt, dass potential- oder erdfrei gemessen werden kann.

**Protokoll zum Fortgeschrittenenpraktikum I**

**Elektronische Messtechnik im WS 2006/2007**

**Messverstärker**



**Abbildung 2: Schaltbild eines Messverstärkers**  
(aus der Versuchsbeschreibung „Messverstärker und –gleichrichter“ der Universität Rostock)

Ein universeller Messverstärker nach Abbildung 2 besteht aus einem Differenzverstärker mit vorgeschalteten Impedanzwandlern (durch OV 1 und 2 als nicht-invertierenden Verstärkern mit  $R_e = \infty$ ,  $R_g = 0$  und somit  $v = \frac{U_{aOV}}{U_{eOV}} = 1$  realisiert) an den Eingängen und einem Regelwiderstand  $R_1$  zur Festlegung der Verstärkung.

Die Ausgangsspannung der Schaltung ist  $U_a = U_{a2} - U_{a1}$ , wobei  $U_{a1}$  und  $U_{a2}$  die Ausgangsspannung der OV's 1 und 2 beschreibt.

Es ist für  $U_2 = 0$  und  $U_1 \neq 0$  die Ausgangsspannung des OV's 1  $U_{a1} = U_1 \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$ ; für den

OV 2 gilt dies prinzipiell ebenfalls bis auf das Vorzeichen.

Zusammengefasst beträgt wegen des durch  $R_3$  und  $R_4$  beschriebenen Spannungsteiler die

Ausgangsspannung der Schaltung also  $U_a = \left( 1 + 2 \frac{R_2}{R_1} \right) \frac{R_4}{R_3} \cdot (U_2 - U_1) = v \cdot U_D$ , woraus folgt,

dass die Verstärkung  $v_D$  allein durch den Regelwiderstand  $R_1$  verändert werden kann.

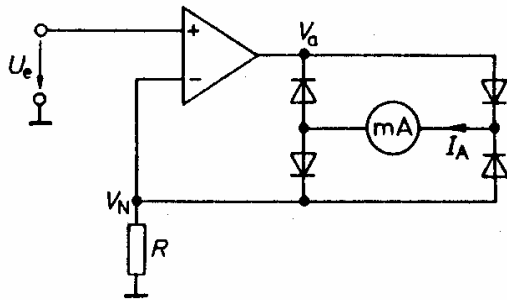
**Messgleichrichter**

Der arithmetische Mittelwert des Betrages, der Effektivwert sowie der positive und negative Scheitelwert sind die charakteristischen Größen einer Wechselspannung.

Zur Messung des Betragsmittelwertes ist eine durch Dioden aufgebaute Gleichrichterbrücke notwendig. Man erhält dadurch eine Vollweggleichrichtung.

**Protokoll zum Fortgeschrittenenpraktikum I**

**Elektronische Messtechnik im WS 2006/2007**



**Abbildung 3: Vollweggleichrichter für erdfreie Anzeigeinstrumente**  
(aus /3/ U.Tietze, Ch. Schenk „Halbleiter-Schaltungstechnik“ S. 867)

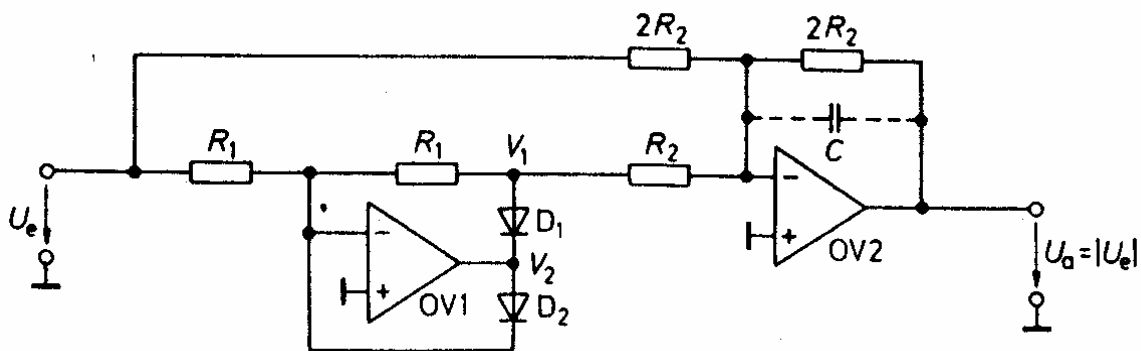
Bei Verwendung eines OV's als spannungsgesteuerter Stromquelle ist nach Abbildung 3

$$I_A = \frac{|U_e|}{R} \text{ unabhängig von der Durchlassspannung der Dioden.}$$

Zu beachten ist, dass der Verstärker bei Ausgangspotentialen von  $-2U_D < V_a < 2U_D$  nicht gegengekoppelt, da alle Dioden sperren. Des Weiteren ändert sich  $V_N$  während des Sprunges von  $V_A$  von  $2U_D$  auf  $-2U_D$  nicht, was einer nicht behebbaren Totzeit des Regelkreises entspricht, die eine von der Frequenz abhängige Phasenverschiebung verursacht. Man kann dem nur durch Verwendung von Verstärkern mit hoher Anstiegsgeschwindigkeit der Ausgangsspannung und Dioden mit niedriger Durchlassspannung entgegenwirken.

**Vollweggleichrichter (mit geerdetem Ausgang)**

Ein (wie im Versuch verwendeter) Vollweggleichrichter nach Abbildung 4 mit geerdetem Ausgang wird im Gegensatz zum soeben vorgestellten erdfreien Vollweggleichrichter verwendet, damit das Ausgangssignal weiterverarbeitet werden kann.



**Abbildung 4: Vollweggleichrichter mit geerdetem Ausgang**  
(aus /3/ U.Tietze, Ch. Schenk „Halbleiter-Schaltungstechnik“ S. 868)

Für ihn ist 
$$V_1 = \begin{cases} -U_e, & \text{für } U_e \geq 0 \\ 0, & \text{für } U_e \leq 0 \end{cases}$$

was aus dem Diodenpaar resultiert.

**Protokoll zum Fortgeschrittenenpraktikum I**

**Elektronische Messtechnik im WS 2006/2007**

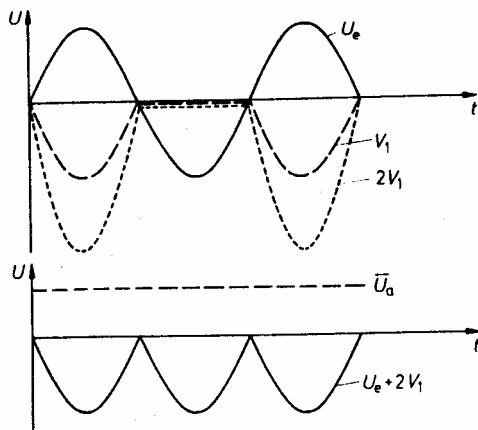
Der Verstärker OV1 ist also ein invertierender Einweggleichrichter.

Das zweite Segment, die Vervollständigung zum Vollweggleichrichter (bzw. Zweiweggleichrichter), ist der Verstärker OV2.

Für seinen Ausgang gilt nach dem Schaltbild aus Abbildung 4  $U_a = -(U_e + 2V_1)$ .

Es ist demnach  $U_a = \begin{cases} +U_e, & \text{für } U_e \geq 0 \\ -U_e, & \text{für } U_e \leq 0 \end{cases}$  was den folgenden Spannungsverlauf der

Ausgangsspannung ergibt (Abbildung 5):



**Abbildung 5: Ausgangsspannungsverlauf eines Vollweggleichrichters bei sinusförmiger Eingangsspannung ohne (oben) sowie mit (unten) Tiefpassschaltung 1. Ordnung durch Kondensator (aus /3/ U.Tietze, Ch. Schenk „Halbleiter-Schaltungstechnik“ S. 869)**

Schaltet man wie in Abbildung 4 gezeigt einen Kondensator parallel zur Gegenkopplung des OV2, so erhält man einen Tiefpass und die Ausgangsspannung zeigt das in Abbildung 4

unten gezeigte Bild; dabei ist  $U_a = \overline{U_e}$ .

**Protokoll zum Fortgeschrittenenpraktikum I**

**Elektronische Messtechnik im WS 2006/2007**

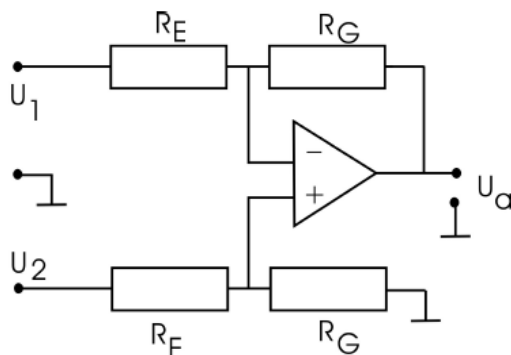
**III Versuchsteil**

**Differenzverstärker**

**III.i.a Versuchsaufbau**

Die für diesen Versuch benötigten Materialien sind:

- Modul mit OV B084 (4-fach OV)
- Oszilloskop Agilent 54603B mit Messkabeln
- Funktionsgenerator für Sinusspannung
- Gleichspannungsquelle für OV (+/- 12V, GND)
- diverse Laborstecker-Kabel



**Abbildung 6: Schaltbild eines Differenzverstärkers**  
(aus der Versuchsbeschreibung „Messverstärker und –gleichrichter der Universität Rostock)

Es wird ein Differenzverstärker gemäß Abbildung 6 aufgebaut. Hierbei werden die auf dem Modul befindlichen Widerstände  $R_E = 10k\Omega$  und  $R_G = 1M\Omega$  gewählt, um der Bedingung

$$\frac{R_G}{R_E} = 100 \text{ zu genügen.}$$

Anschließend wird ein Offsetabgleich mit dem dafür vorhandenen Einstellregler durchgeführt.

**III.i.b Versuchsdurchführung**

Es wird die Gleichtaktunterdrückung durch Messung der Eingangs- und Ausgangsspannung für drei unterschiedliche Fälle bei einer Sinuseingangsspannung mit der Frequenz von  $f = 500Hz$  bestimmt.

Für den ersten Fall mit  $U_{e1} = U_0 \sin \omega t$  und  $U_{e2} = 0$

ergeben sich  $U_{e1} = 178,1mV$  und  $U_a = 17,5V$  sowie eine Phasenverschiebung von  $90^\circ$ , also einem invertierten Signal.

Für den zweiten Fall mit  $U_{e1} = 0$  und  $U_{e2} = U_0 \sin \omega t$

ergeben sich  $U_{e2} = 178,1mV$  und  $U_a = 17,66V$  sowie eine Phasenverschiebung von  $0^\circ$ , also einem nicht-invertierten Signal.

Für den dritten Fall mit  $U_{e1} = U_0 \sin \omega t$  und  $U_{e2} = U_0 \sin \omega t$

ergeben sich  $U_{e1} = 178,1mV$  und  $U_a = 6,250mV$  sowie eine Phasenverschiebung von  $90^\circ$ ; das Signal des invertierenden Einganges überlagert demnach das des nicht-invertierenden Einganges, was in Abbildung 7 gut zu sehen ist.

**Protokoll zum Fortgeschrittenenpraktikum I**

**Elektronische Messtechnik im WS 2006/2007**

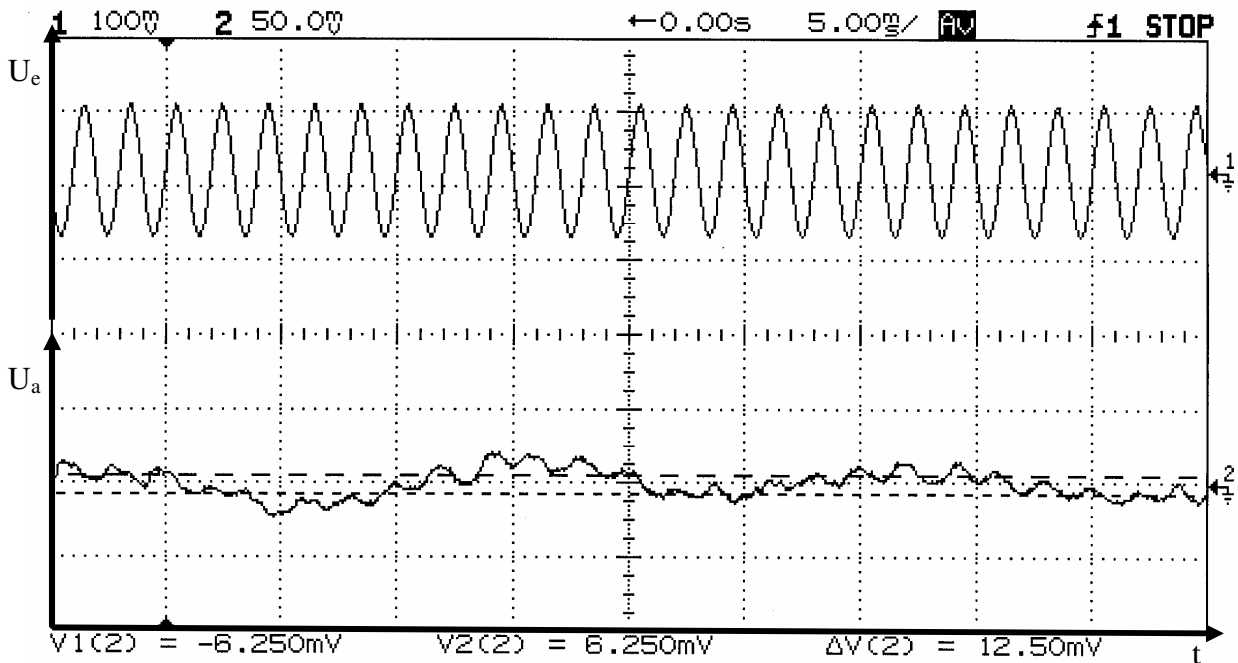


Abbildung 7: Überlagerung des Signals des invertierenden über das des nicht-invertierenden Eingangs

**III.i.c Zusammenfassung und Schlussfolgerungen**

Es ergibt sich für die ersten beiden Fälle eine Gegentaktverstärkung (id. unendlich) von

$$V_D = \frac{17,5}{0,178} \approx 98,315 \text{ und } V_D = \frac{17,66}{0,178} \approx 99,213, \text{ also im Mittel } V_D \approx 98,315$$

Die Gleichtaktverstärkung (id. Null) ergibt sich aus dem dritten Fall mit  $V_{Gl} = \frac{12,50}{178,1} \approx 0,070$ .

Daraus ergibt sich eine Gleichtaktunterdrückung von  $G = \frac{V_{Gl}}{V_D} \approx \frac{0,070}{98,764} \approx 0,000709$ , was in

etwa normalen Werten der Gleichtaktunterdrückung vergleichbarer Verstärker mit  $10^{-4}$  bis  $10^{-5}$  bzw. 80 bis 100db entspricht.

**Protokoll zum Fortgeschrittenenpraktikum I****Elektronische Messtechnik im WS 2006/2007****Instrumentationsverstärker****III.ii.a Versuchsaufbau**

Die für diesen Versuch benötigten Materialien sind:

- Modul mit OV B084
- Oszilloskop Agilent 54603B mit Messkabeln
- Funktionsgenerator für Sinusspannung
- Gleichspannungsquelle für OV (+/- 12V, GND)
- diverse Laborstecker-Kabel

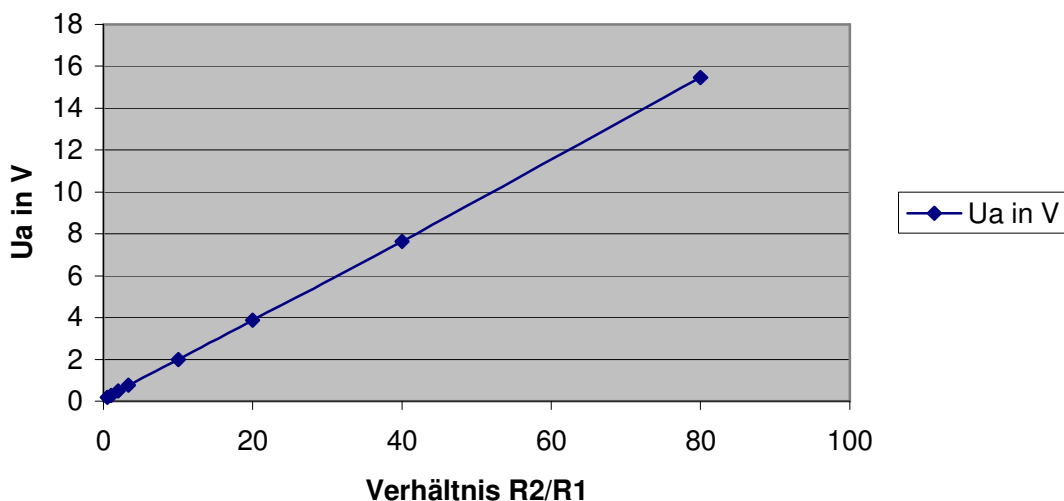
Es wird ein Messverstärker nach Abbildung 2 (Theorieteil) mit  $U_e = 0,1V, 100Hz$  (Sinussignal),  $\frac{R_4}{R_3} = 1$  (jeweils  $10k\Omega$ ) und  $R_2 = 10k\Omega$  aufgebaut.

Vor der Durchführung wird für  $R_1 = R_2 = 10k\Omega$  und einer daraus resultierenden Verstärkung von  $v = (1 + 2 \frac{10}{10}) = 3$  die richtige Funktionsweise der Schaltung überprüft.

**III.ii.b Versuchsdurchführung****a) Gegentaktverstärkung**

Für Verhältnisse von  $\frac{R_2}{R_1} = 1 \dots 10$  wird die Ausgangsspannung der Schaltung gemessen,

wobei sich nach den Messwerten aus Tabelle 1 im Anhang folgendes Messdiagramm (Abbildung 8) für die Verstärkung ergibt:



**Abbildung 8:** Messdiagramm für Verstärkung eines Eingangssignals von 0,1V durch einen Messverstärker in Abhängigkeit des Regelwiderstands  $R_1$

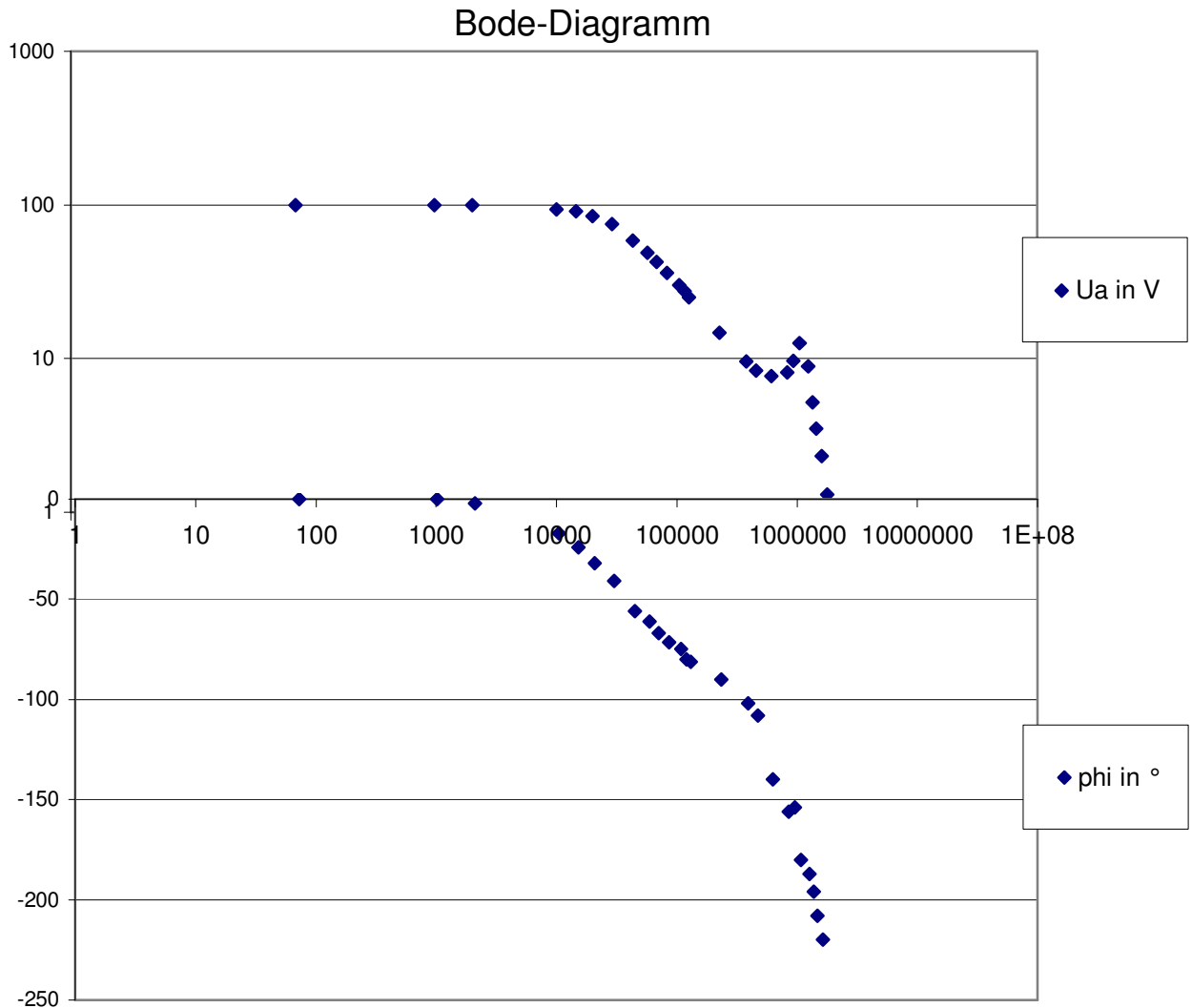
**Protokoll zum Fortgeschrittenenpraktikum I**

**Elektronische Messtechnik im WS 2006/2007**

**b) Bode-Diagramm**

Für eine Messverstärkung von 100 ergibt sich durch Vergleich der Ein- und Ausgangsspannung  $R_1 = 194k\Omega$ .

Durch Messung der Ein- und Ausgangsspannung sowie ihren Phasenunterschied ergibt sich anhand der Messwerte aus Tabelle 2 aus dem Anhang folgendes Bode-Diagramm (Abbildung 9):



**Abbildung 9: Bode-Diagramm des Messverstärkers**



**Protokoll zum Fortgeschrittenenpraktikum I**

**Elektronische Messtechnik im WS 2006/2007**

**III.ii.c Zusammenfassung und Schlussfolgerungen**

**Zu a)**

Die theoretisch erwarteten Gegentaktverstärkungen sowie die Abweichungen der Messwerte von ihr sind ebenfalls in Tabelle 1 im Anhang eingetragen.

Aus der relativen Abweichung ist ersichtlich, dass die gemessenen Werte gut mit den theoretischen Erwartungen übereinstimmen.

**Zu b)**

Das indirekt gemessene Bode-Diagramm entspricht den theoretischen Angaben aus U. Tietze, Ch. Schenk „Halbleiterschaltungstechnik“ S. 147 weitestgehend, wonach eindeutig mit einem unkorrigierten Verstärker gearbeitet wurde.



**Protokoll zum Fortgeschrittenenpraktikum I**

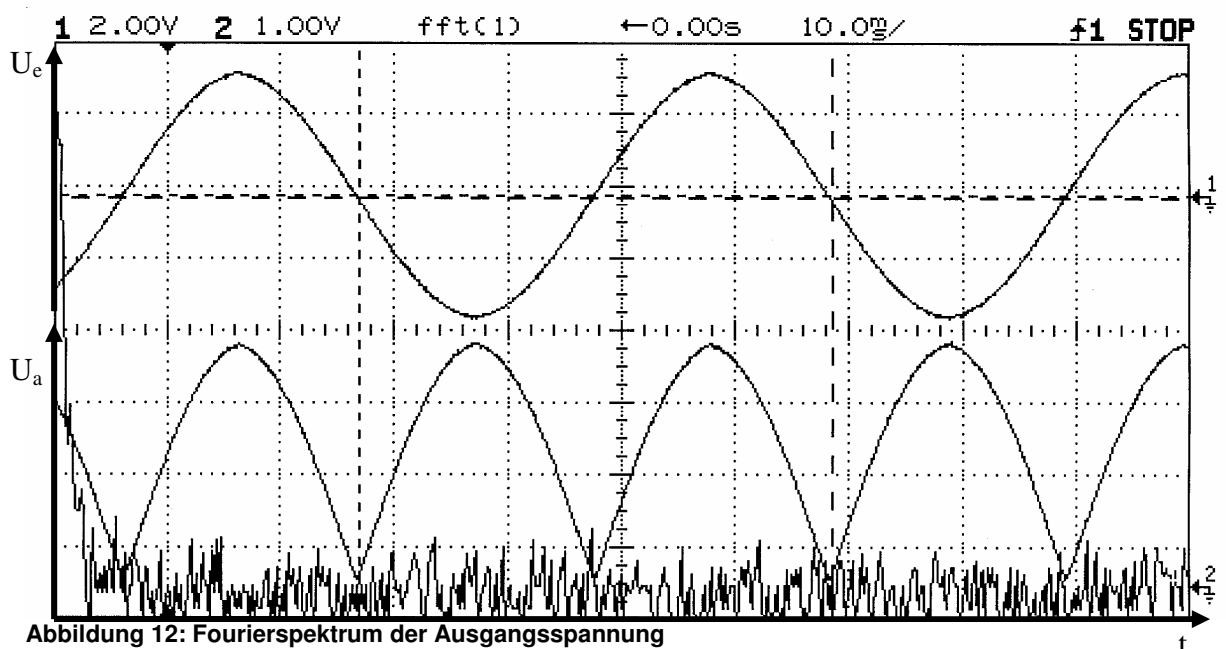
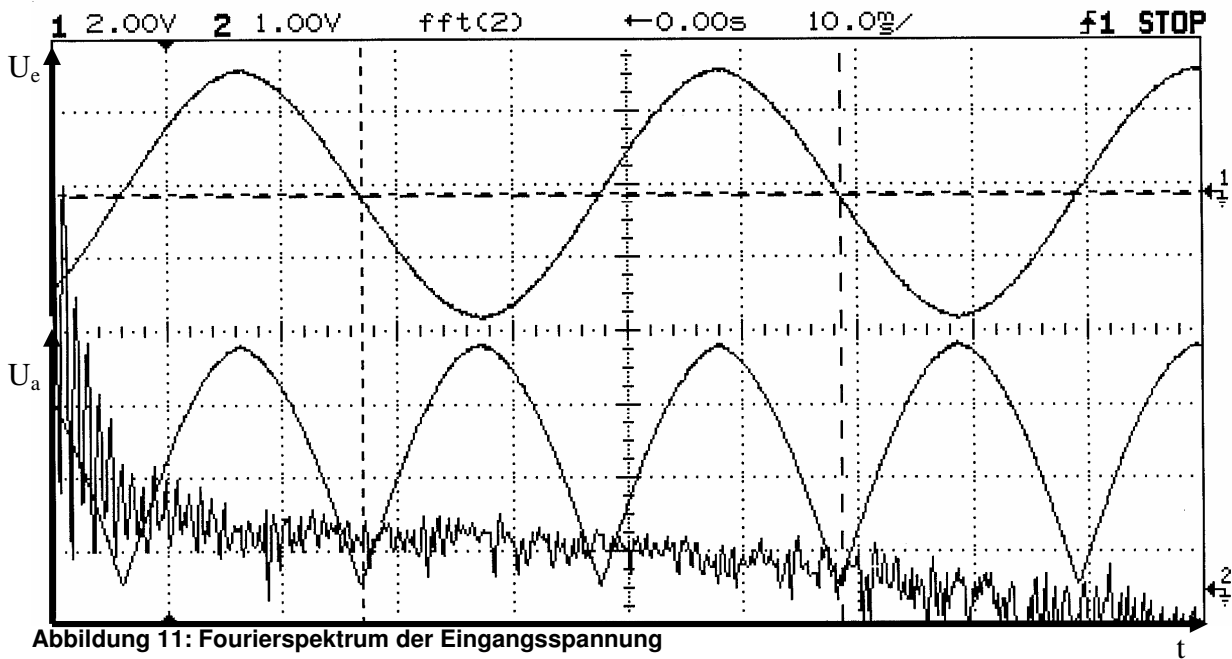
**Elektronische Messtechnik im WS 2006/2007**

**III.iii.b Versuchsdurchführung**

**a) Fourierspektren der Ein- und Ausgangsspannung**

Mit Hilfe der FFT-Funktion des Agilent 54603B werden die Fourierspektren der Ein- (Abbildung 11) und Ausgangsspannung (Abbildung 12) ermittelt.

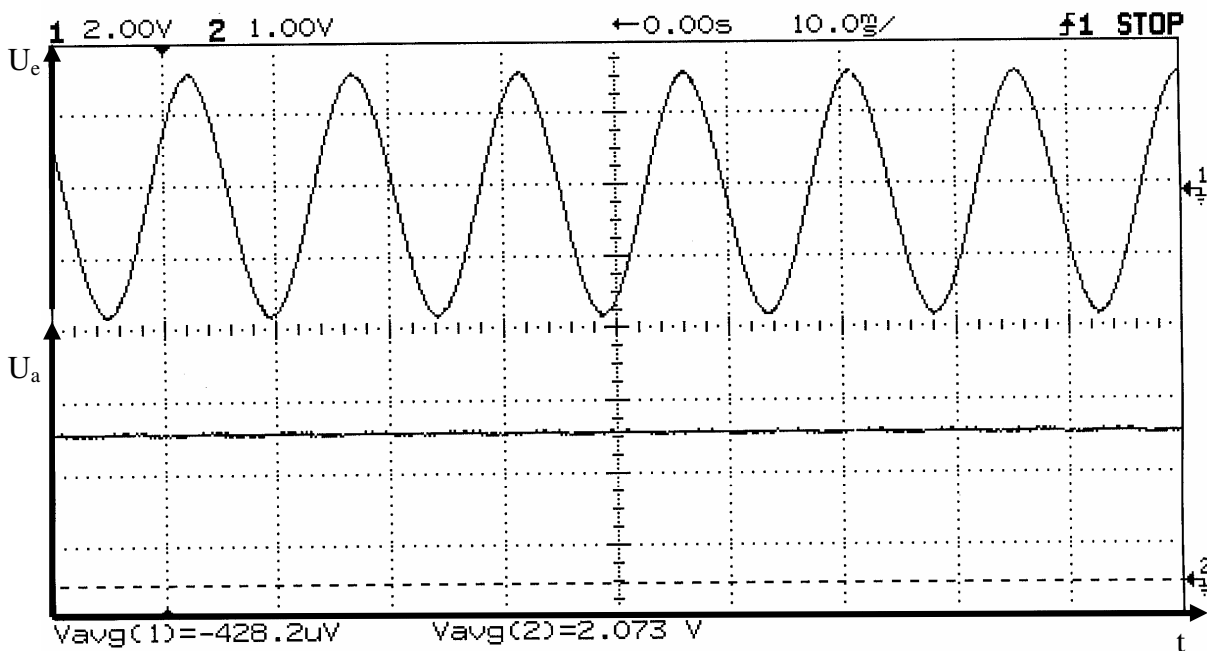
Es ergeben sich folgende Spektren auf dem Bildschirm:



**Protokoll zum Fortgeschrittenenpraktikum I**

**Elektronische Messtechnik im WS 2006/2007**

**b) Tiefpass durch zusätzlichen Kondensator**



**Abbildung 13: Messbild der gefilterten Ausgangsspannung**

Durch den Einbau eines parallel zur Gegenkopplung geschalteten Kondensators wird der hintere Teil der Schaltung zu einem Tiefpass ergänzt, wodurch die Ausgangsspannung geglättet wird. Ab einem Wert von  $C_G = 10\mu F$  ergibt sich das Messbild aus Abbildung 13.

Die Ausgangsspannung beträgt  $\overline{U_a} = 2,073V$ .

**c) Linearität des Messgleichrichters**

Für verschiedene Ein- und daraus resultierende Ausgangsspannungen wird ein Graph (Abbildung 14) auf Basis der in Tabelle 3 im Anhang angegebenen Daten erstellt.

**Protokoll zum Fortgeschrittenenpraktikum I**  
**Elektronische Messtechnik im WS 2006/2007**

Linearität des Messgleichrichters

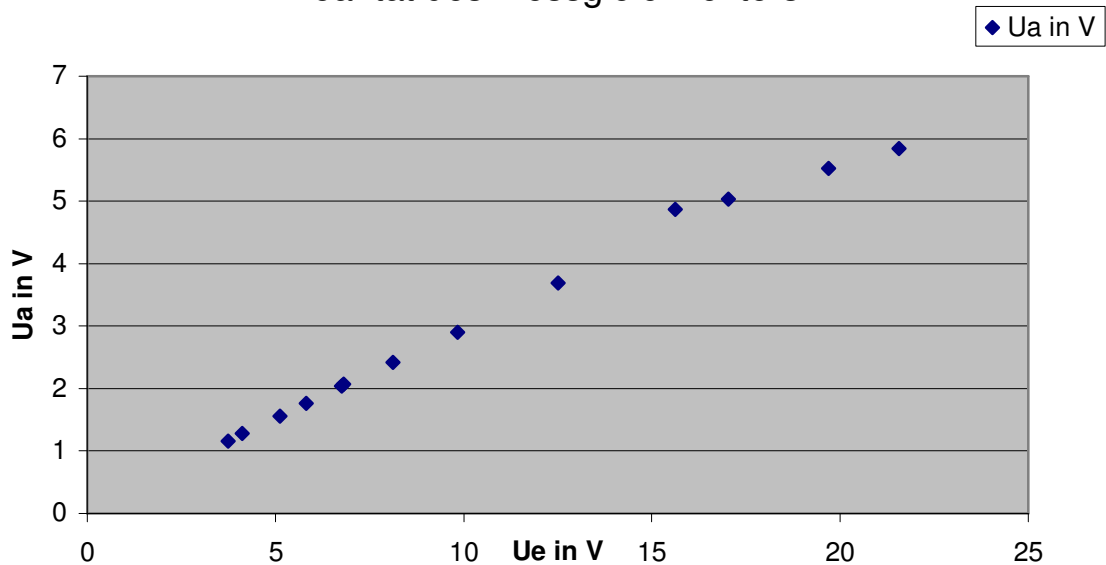


Abbildung 14: Linearität des Messgleichrichters im Bereich  $-2U_D < V_a < 2U_D$

### III.iii.c Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

#### Zu a)

Wie gut im Vergleich der beiden Fourierspektren zu sehen ist, werden die „Überschwingungen“ der Sinuseingangsspannung nicht am Ausgang ausgegeben, da das Signal gleichgerichtet worden ist.

#### Zu b)

Die Ergebnisse entsprechen den theoretischen Erwartungen im vollen Umfang.

#### Zu c)

Die Grenzen der Linearität werden durch den theoretischen Zusammenhang  $-2U_D < V_a < 2U_D$  (siehe dazu auch Seite 3) beschrieben, wobei  $V_a$  die Ausgangsspannung von OV1 beschreibt.

**Protokoll zum Fortgeschrittenenpraktikum I**  
**Elektronische Messtechnik im WS 2006/2007**

**Protokoll zum Fortgeschrittenenpraktikum I**

**Elektronische Messtechnik im WS 2006/2007**

**IV Anhang**

**Tabelle 1: Messwerte und Vergleich mit den theoretischen Erwartungen zum Messverstärker**

$R_1$ in $\Omega$	$R_2/R_1$	$U_a$ in V	$V_{exp}$	$V_{theo}$	relative Abweichung $V_{exp} / V_{theo}$
10k	1	0,2875	2,875	3	0,96
20k	0,5	0,1969	1,969	2	0,98
5k	2	0,478	4,78	5	0,96
3k	$3 \frac{1}{3}$	0,75	7,5	7,667	0,98
1k	10	2	20	21	0,95
500	20	3,875	38,75	41	0,95
250	40	7,625	76,25	81	0,94
125	80	15,47	154,7	161	0,96

**Tabelle 2: Messwerte zum Bode-Diagramm**

f in Hz	$U_a$ in V	$\rightarrow V_d$	phi in $^\circ$
73	10	100	0
1026	10	100	0
2095	10	100	-2
10481	9,375	93,75	-17,1
15151	9,063	90,63	-24
20859	8,438	84,38	-32
30260	7,5	75	-40,7
59670	4,875	48,75	-61,1
45050	5,875	58,75	-56,1
70970	4,25	42,5	-66,8
86270	3,625	36,25	-71,5
109380	3	30	-74,8
120850	2,75	27,5	-80
130910	2,5	25	-81,2
236000	1,469	14,69	-90
391300	0,956	9,56	-102
470000	0,837	8,37	-108
629900	0,766	7,66	-140
851400	0,812	8,12	-156
964000	0,968	9,68	-154
1074700	1,266	12,66	-180
1267300	0,89	8,9	-187
1381500	0,518	5,18	-196
1482500	0,35	3,5	-208
1632500	0,231	2,31	-220
1818400	0,13	1,3	

**Tabelle 3: Messwerte zur Linearität des Messgleichrichters**

$U_e$ in V	$U_a$ in V
6,812	2,07
3,75	1,158
4,125	1,28
5,125	1,557
5,812	1,761
6,75	2,042
8,125	2,419
9,844	2,9
12,5	3,693
15,63	4,866
17,03	5,034
19,69	5,522
21,56	5,844