

Ersatzpage
22.01.18

V51 Schaltungen mit Operationsverstärkern

Aaron Nowak * Burak Kabakci**

06. Dezember 2017

TU Dortmund Physikalisches Fortgeschrittenen Praktikum

Korrektur: 24.01.18

*aaron.nowak@tu-dortmund.de
**burak.kabakci@tu-dortmund.de

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	3
2 Theorie	3
2.1 Kenngrößen des realen und idealen Operationsverstärkers	3
2.2 Schaltungen	4
2.2.1 Der gegengekoppelter invertierender Linearverstärker	4
2.2.2 Der Umkehr-Integrator	5
2.2.3 Der Differentiator	6
2.2.4 Der Schmitt- Trigger	7
2.2.5 Die Nachbildung einer linearen Schwingungsdifferentialgleichung mit Operationsverstärkern	7
3 Versuchsdurchführung	8
4 Auswertung	9
4.1 Fehlerrechnung	9
4.2 Frequenzgänge des Linearverstärkers	9
4.3 Schaltung als Umkehr-Integrator und -Differentiator	13
4.4 Schmitt-Trigger als Schalter	16
4.5 Gedämpfte Schwingung	18
5 Diskussion	21
6 Literatur	21
7 Anhang	21

X

1 Einleitung

Operationsverstärker gehören zu den wichtigsten integrierten Schaltungen der analogen Elektrotechnik. In diesem Versuch werden einige grundlegende Schaltungen aufgebaut und untersucht.

?

2 Theorie

Der Operationsverstärker ist ein gleichstromgekoppelter Differenzverstärker, der einen nicht-invertierenden Eingang (Kennzeichnung durch ein + im Schaltsymbol) und einen invertierenden Eingang (Kennzeichnung durch ein - im Schaltsymbol), sowie einen Ausgang dessen Spannung U_A proportional zur Spannungsdifferenz an den beiden Eingängen ist, besitzt (siehe Abb. 1). U_A ist gegeben durch

$$U_A = V(U_p - U_N) \quad (1)$$

V ist dabei die frequenzunabhängige Leerlaufverstärkung die nur bei hohen Frequenzen Frequenzabhängigkeit aufweist. Des Weiteren kann die Ausgangsspannung U_A nur im Bereich $-U_B < U_A < U_B$ der Betriebsspannung U_B variieren.

!

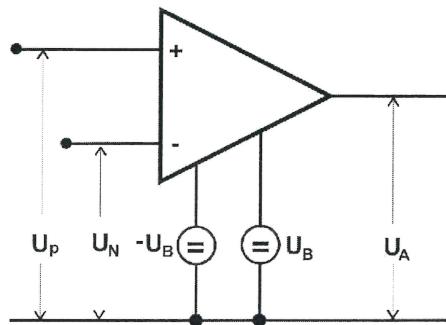


Abbildung 1: Schaltsymbol eines Operationsverstärkers [?]

2.1 Kenngrößen des realen und idealen Operationsverstärkers

Es wird hier grundsätzlich zwischen einem idealen Operationsverstärker und realen Operationsverstärker unterschieden. Der ideale Operationsverstärker ist eine vereinfachte Annahme des realen Operationsverstärkers und wird eingeführt, um die Berechnung von Schaltungen mit Operationsverstärkern zu vereinfachen. Wichtige Kenngrößen eines realen Operationsverstärkers sind neben der Leerlaufverstärkung V , die Eingangswiderstände r_{e_p} und r_{e_n} und der Ausgangswiderstand r_a . Da bei einem realen Operationsverstärker die Werte für die Leerlaufverstärkung und die Eingangswiderstände sehr große

X

Werte und für den Ausgangswiderstand ein sehr kleiner Wert erreicht wird, sind die Kenngrößen bei einem idealen Operationsverstärker wie folgt definiert:

$$V_{id} = \infty, r_{e_id} = \infty, r_{a_id} = 0$$

Für eine korrekte Berechnung eines realen Verstärkers müssen noch weitere Kenngrößen eingeführt werden. Diese Kenngrößen wie z.B.: die Gleichtaktverstärkung, der Offsetstrom, die Offsetspannung etc. dienen lediglich dazu die Schaltung in Feinheiten korrekt beschreiben zu können und können laut Aufgabenstellung vernachlässigt werden.

? Welde

2.2 Schaltungen

2.2.1 Der gegengekoppelte invertierende Linearverstärker

Ein Operationsverstärker besitzt aufgrund seiner hohen Leerlaufverstärkung nur einen schmalen Aussteuerungsbereich. Daher ist er ohne einen Gegenkopplungszweig in der Praxis als Linearverstärker unbrauchbar. Beim gegengekoppelten invertierenden Verstärker wird eine Rückkopplung auf den invertierenden Eingang gelegt. Dies zur Folge nimmt die Gesamtverstärkung gegenüber der Leerlaufverstärkung ab und es kommt zur Zunahme des Aussteuerungsbereiches. Aufgrund der sehr hohen Leerlaufverstärkung ist die Spannung U_N gleich null. Damit gilt nach der Kirchhoffschen Knotenregel für den Knotenpunkt A in Abb. 2

$$\frac{U_1}{R_1} + \frac{U_A}{R_N} = 0 \quad (2)$$

Wie?

Die als Verhältnis von Ausgangsspannung zu Eingangsspannung definierte Verstärkung V' lautet somit:

$$V' := \frac{U_A}{U_E} = -\frac{R_N}{R_1} \quad (3)$$

Im weiterem wird nur der Einfluss einer endlichen Leerlaufverstärkung V auf den Verstärkungsfaktor V' betrachtet, daher gilt:

$$U_N = -\frac{U_A}{V} \quad (4)$$

Mit $I_N = 0$ folgt für den unbelasteten Spannungsteiler am Knotenpunkt A

$$\frac{U_N - U_1}{U_A - U_1} = \frac{R_1}{R_1 + R_N} \quad (5)$$

Aus (4) und (5) folgt nach Elimination von U_N das Verhältnis V'

$$\frac{1}{V'} = \frac{1}{V} + \frac{R_1}{R_N} \quad (6)$$

Nicht
jede

Durch eine starke Gegenkopplung entwirft man einen Verstärker mit geringem Verstärkungsgrad. Daher hängt seine Verstärkung vom Teilverhältnis der beiden Widerstände ab. Demzu Folge haben Schwankungen von V durch Temperaturänderungen oder ähnliche Effekte also (fast) keinen Einfluss auf V' . Die Stabilität der Verstärkerschaltung wird durch eine Gegenkopplung erhöht.

Wieso?

→ Ersatzschaltbild? → Tiefpass?
 → V? → 3x anschein 1-3

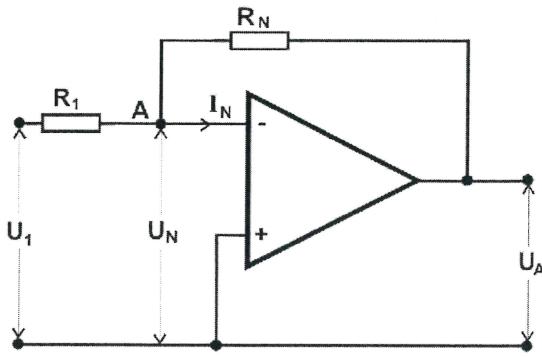


Abbildung 2: Schaltplan eines invertierenden Verstärkers. [?]

2.2.2 Der Umkehr-Integrator

Das Eingangssignal wird durch den Einbau einer Kapazität C in den Rückkopplungszweig (siehe Abb. 3) integriert. Man berücksichtigt

$$\int I_C dt = CU_A \quad (7)$$

und wendet die Knotenregel am Verzweigungspunkt A, um auf die Beziehung zu kommen

$$U_A = -\frac{1}{RC} \int U_1(t) dt .$$

Nur hier

Dabei ist U_1 eine Sinusspannung, also $U_1 = U_0 \sin(\omega t)$ und es folgt

$$U_A = \frac{U_0}{\omega RC} \cos(\omega t) . \quad (8)$$

Bei einer Sinusspannung sind Ausgangsspannung und Frequenz umgekehrt proportional zueinander.

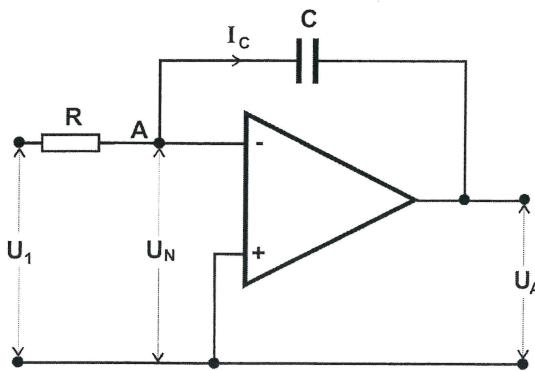


Abbildung 3: Schaltplan einer integrierenden Schaltung. ?

2.2.3 Der Differentiator

die

Beim Differentiator wird der Kapazität mit dem Widerstand verstauscht (siehe Abbildung 4). Dadurch erhält man als Ergebnis die Ausgangsspannung U_A die proportional zum Differentialquotienten der Eingangsspannung ist:

$$U_A = -RC \frac{dU_1}{dt} .$$

Dabei ist U_1 wie bei 2.2.2 eine Sinusspannung, also $U_1 = U_0 \sin(\omega t)$ und es folgt

$$U_A = -\omega RCU_0 \cos(\omega t) , \quad (9)$$

also eine direkte Proportionalität zwischen der Amplitude der Ausgangsspannung zur Frequenz.

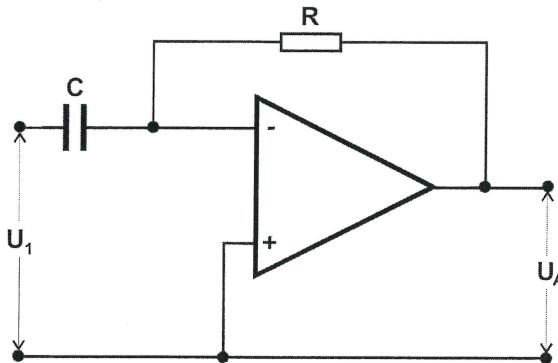
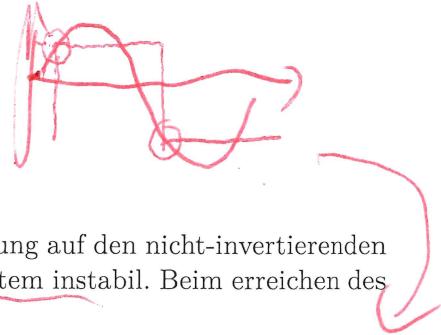


Abbildung 4: Schaltplan einer Differentiator-Schaltung. ?



2.2.4 Der Schmitt- Trigger

Beim Schmitt- Trigger wird ein Teil der Ausgangsspannung auf den nicht-invertierenden Eingang rückgekoppelt (siehe Abbildung 5). Das ist System instabil. Beim erreichen des Schwellwertes

$$U_{\text{schwell}} = \frac{R_1}{R_p} U_B \quad (10)$$

wechselt die Ausgangsspannung ihr Vorzeichen. Wird die Schwelle überschritten springt die Ausgangsspannung U_A auf den Wert $+U_B$, wird sie unterschritten springt sie auf den Wert $-U_B$.

gerauer
→ Vorzeichen!

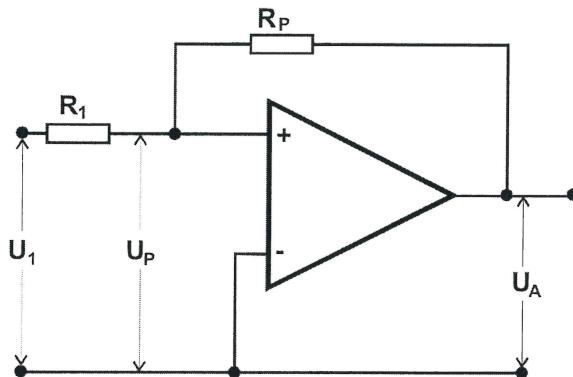


Abbildung 5: Schaltplan eines Schmitt-Triggers.



2.2.5 Die Nachbildung einer linearen Schwingungsdifferentialgleichung mit Operationsverstärkern

Mit der Schaltung (siehe Abbildung 6), können sich exponentiell mit der Zeit zu- oder abnehmende Sinusschwingungen erzeugt werden. Die Schaltung besteht aus zwei Integratoren und einem Invertierer. Die Schaltung wird durch die Differentialgleichung

$$\frac{d^2 U_A}{dt^2} - \frac{\eta}{10RC} \frac{dU_A}{dt} + \frac{1}{(RC)^2} U_A = 0 \quad (11)$$

beschreiben. Die Lösung dieser Differentialgleichung ist durch

$$U_A(t) = U_0 \exp\left(\frac{t}{\tau}\right) \sin\left(2\pi \frac{t}{T}\right) \quad (12)$$

mit der Abklingdauer

$$\tau := \frac{20RC}{\eta} \quad (13)$$

gegeben. Die Konstante η sagt über das Verhalten der Amplitude aus und wird durch ein Potentiometer eingestellt. Bei $\eta = 1$ wächst die Amplitude nach der Zeit $20RC$ auf das e -Fache, bei $\eta = -1$ sinkt die Amplitude auf den e -tel Teil und bei $\eta = 0$ ist die Amplitude konstant. Die Wahl von η bestimmt also, ob die Schwingung exponentiell ansteigend oder abfallend ist.

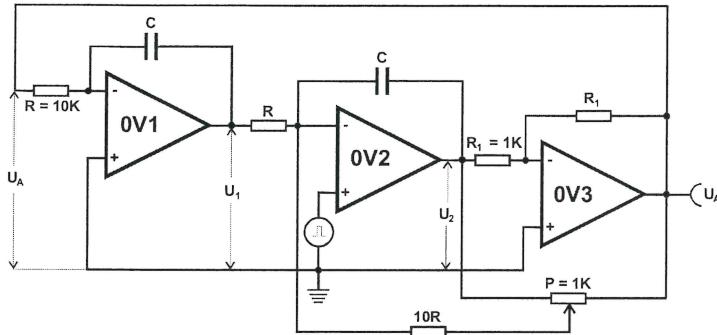


Abbildung 6: Schaltplan zur Erzeugung einer gedämpften harmonischen Schwingung.

3 Versuchsdurchführung

Bei der Versuchsdurchführung werden die Schaltungen des vorherigen Kapitels aufgebaut und untersucht:

- Beim gegengekoppelten invertierenden Linearverstärker (Abbildung 2) wird für vier verschiedene Verstärkungsgerade die Frequenzabhängigkeit untersucht.
- Beim Umkehrintegrator und Umkehr-Differentiator (Abbildung 3 und 4) wird über ein Signalgenerator das Eingangssignal in Sinus-, Rechteck und Dreiecksspannung geändert und das Ergebnis wird an einem Oszilloskop kontrolliert. Wie beim gegengekoppelten invertierenden Linearverstärker wird auch hier die Frequenzabhängigkeit der Ausgangsspannung untersucht.
- Beim Schmitt-Trigger (Abbildung 5) wird der Wert bei dem die Ausgangsspannung ihr Vorzeichen wechselt ermittelt, indem auf ein Oszilloskop das Schalterverhalten beobachtet wird.
- Beim gedämpften harmonischen Schwingung (Abbildung 6) wird das (rechteckige) Eingangs- und Ausgangssignal werden auf ein Oszilloskop gegeben, aufgezeichnet und dann ausgemessen.

X

4 Auswertung

4.1 Fehlerrechnung

Zur Fehlerrechnung werden folgende Formeln verwendet. Der Mittelwert:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (14)$$

Abweichung vom Mittelwert:

$$s_x^2 = \frac{1}{N(N-1)} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \quad (15)$$

Fehlerfortpflanzung nach Gauß:

$$\Delta_y = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial y}{\partial x_i} \right)^2 \Delta x_i^2} \quad (16)$$

4.2 Frequenzgänge des Linearverstärkers

Es wurden vier Frequenzgänge für vier verschiedene Gegenkopplungen gemessen. Die gemessenen Werte sind in den Tabellen 2-5 zu sehen. Die Plots wurden mit Gnuplot erstellt. Die Ausgleichsgeraden wurden mit Hilfe der Gleichung:

$$\ln y = \beta \cdot \ln \nu + \alpha \quad f(\nu) = \alpha + \nu^\beta \quad (\text{linearisieren}) \quad (17)$$

erstellt. Gnuplot lieferte die Ausgleichsfunktionen für die vier Frequenzgänge wie folgt:

$$f_1(\nu) = (10,0007 \pm 0,7181) \cdot \left(\frac{\nu}{\text{kHz}} \right)^{-0,1670 \pm 0,0247} \quad (18)$$

$$f_2(\nu) = (25,6898 \pm 3,372) \cdot \left(\frac{\nu}{\text{kHz}} \right)^{-0,3087 \pm 0,0397} \quad (19)$$

$$f_3(\nu) = (78,5861 \pm 7,095) \cdot \left(\frac{\nu}{\text{kHz}} \right)^{-0,4206 \pm 0,0530} \quad (20)$$

$$f_4(\nu) = (1,02 \pm 5,04 \cdot 10^{-15}) \cdot \left(\frac{\nu}{\text{kHz}} \right)^{1,0937 \pm 8,234 \cdot 10^{-16}} \quad ? \quad (21)$$

Sinnvolle Skalierung

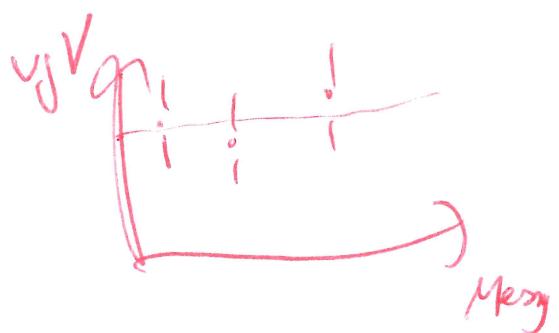
Mit Hilfe des Mittelwerts der Verstärkung V für annähernd konstante Werte, wird die Grenzfrequenz bestimmt. Die Grenzfrequenz wird mit der Formel $\frac{V'}{\sqrt{2}}$ berechnet und anschließend wird der Schnittpunkt mit der jeweiligen Ausgleichsfunktion $f_i(\nu)$ bestimmt. Aus den zuvor berechneten Werten lässt sich das Verstärkungs-Bandbreite-Produkt durch die Formel

$$\nu_g' V' = \text{const} \quad (22)$$

überprüfen. Die Ergebnisse aller Berechnungen sind in Tabelle 1 aufgeführt.

1. Bestimmen \checkmark ?
2. Fasaltschaltbild?
3. $V_g V' = \text{const}$?

9



$$[v] = \text{kHz}$$

Übersicht

X

Parameter	Messung 1	Messung 2	Messung 3	Messung 4
$R_N / \text{k}\Omega$	99,9	10,3	99,7	99,9
$R_1 / \text{k}\Omega$	9,98	4,7	4,7	99,3
$\frac{R_N}{R_1}$	10,01	?	2,13	1,01
V'	9,42	19,52	58,51	1,02
$\frac{\nu'_g}{\text{kHz}}$	20,99	13,02	5,82	/
$\frac{\nu'_g V'}{\text{kHz}}$	197,70	254,08	340,25	/

Tabelle 1: Frequenzganguntersuchung

Ah so...
Solltpunkt
 $f_i \Rightarrow V$? $\frac{U_A}{V}$

wedelschule
Layout

Messung 1	
$\frac{\nu}{\text{kHz}}$	$\frac{U_A}{V}$
0,4	3,94
0,5	3,94
1	3,94
2	4,00
3	4,00
4	4,00
5	4,00
10	4,00
25	3,90
50	3,50
75	2,80
100	2,30
125	1,90
150	1,70
175	1,50
200	1,40
225	1,20
250	1,10
275	1,00
300	0,90
325	0,90
350	0,90
375	0,80
400	0,70

Tabelle 2: 1.Frequenzgang

Messung 2	
$\frac{\nu}{\text{kHz}}$	$\frac{U_A}{V}$
0,4	8,20
0,5	8,20
1	8,20
2	8,20
3	8,20
4	8,20
5	8,20
10	8,00
25	7,00
50	4,60
75	3,40
100	2,60
125	1,85
150	1,50
175	1,30
200	1,17
225	1,05
250	0,94
275	0,84
300	0,78
325	0,74
350	0,68
375	0,66
400	0,60

Tabelle 3: 2.Frequenzgang

Messung 3	
ν kHz	$\frac{U_A}{V}$
0,4	24,5
0,5	24,5
1	24,5
2	24,5
3	24,5
4	25,5
5	24,5
10	18,3
25	8,60
50	4,60
75	3,20
100	2,21
125	1,80
150	1,53
175	1,35
200	1,20
225	1,05
250	0,96
275	0,88
300	0,80
325	0,74
350	0,70
375	0,66
400	0,62

Tabelle 4: 3.Frequenzgang

Messung 4	
ν kHz	$\frac{U_A}{V}$
0,4	0,43
0,5	0,43
1	0,43
2	0,43
3	0,43
4	0,43
5	0,43
10	0,43
25	0,43
50	0,43
75	0,43
100	0,43
125	0,43
150	0,43
175	0,43
200	0,43
225	0,43
250	0,43
275	0,43
300	0,43
325	0,43
350	0,43
375	0,43
400	0,43

Tabelle 5: 4.Frequenzgang

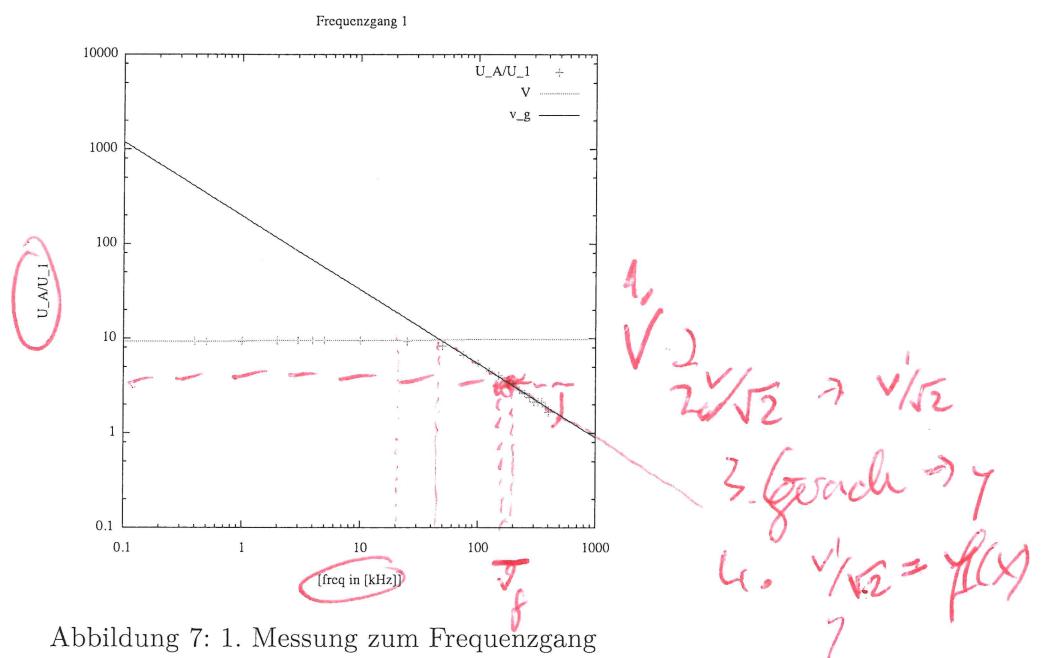


Abbildung 7: 1. Messung zum Frequenzgang

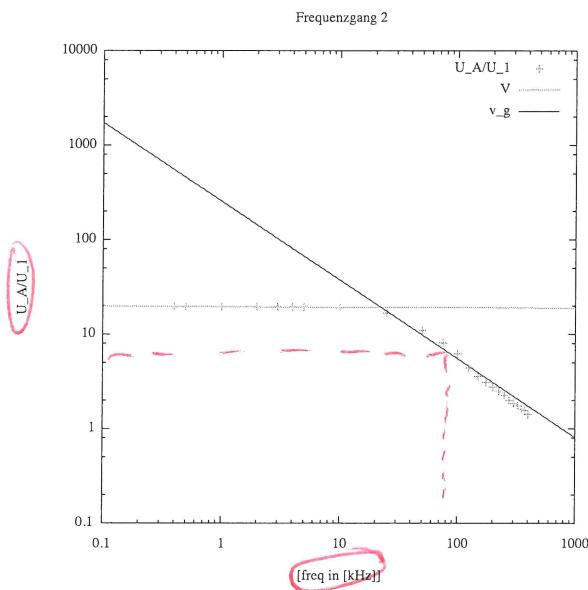


Abbildung 8: 2. Messung zum Frequenzgang

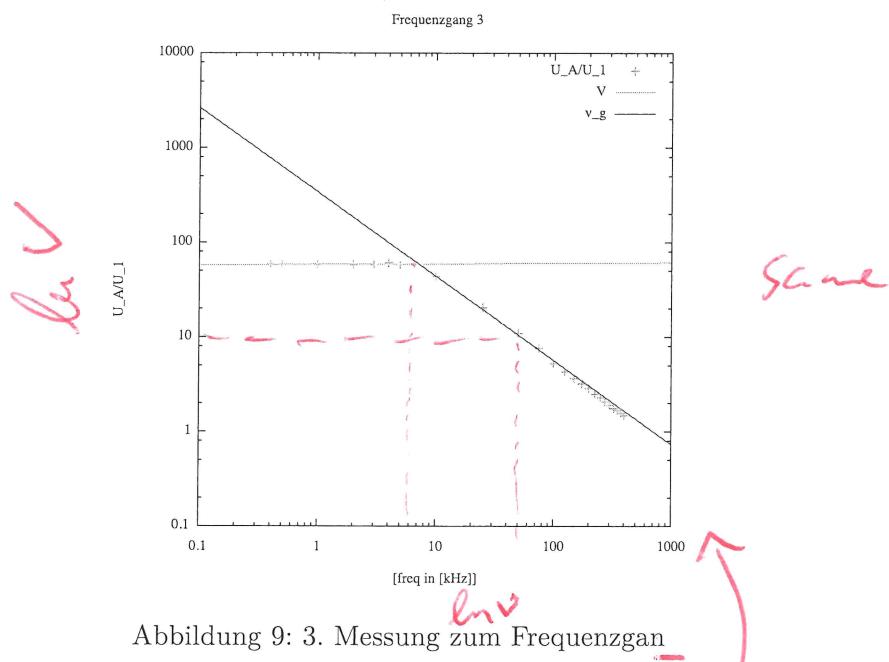


Abbildung 9: 3. Messung zum Frequenzgan

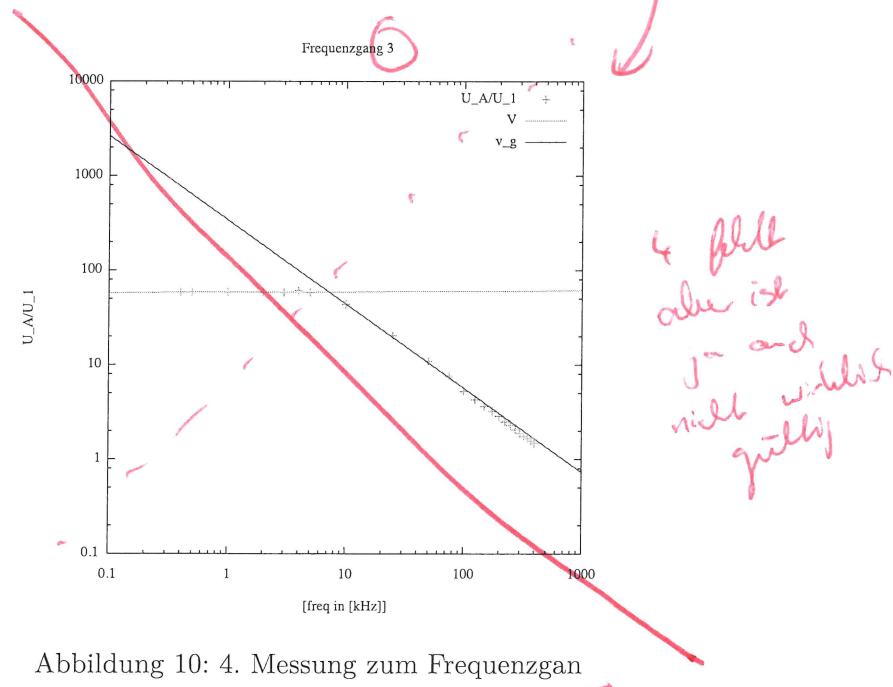


Abbildung 10: 4. Messung zum Frequenzgan

4.3 Schaltung als Umkehr-Integrator und -Differenziator

Um die Funktionsweise des Operationsverstärkers als Umkehr-Integrator und Differenziator zu untersuchen, wurde die Ausgangsspannung U_A in Abhängigkeit von der Fre-

X

quenz gemessen. Die Eingangsspannung U_1 lag während der Messung durchgehend bei $U_1 = 420 \text{ mV}$. Beim Umkehr-Integrator und Differentiator wurden die selben Bauteile verwendet. Somit kam eine Kapazität mit $C = 1000 \text{ nF}$ und ein Widerstand $R = 0,47 \text{ k}\Omega$ zum Einsatz. In den Tabellen 6 und 7 sind die Messwerte aufgeführt und in den Abbildungen 7 und 8 graphisch dargestellt. Dazu wurden die Verhältnisse $\frac{U_A}{U_1}$ wie bei Teilaufgabe a) geplottet.

Integrator		
	$C = 1000 \text{ nF}, R = 0,47 \text{ k}\Omega$	$U_1 = 420 \text{ mV}$
$\frac{\nu}{\text{kHz}}$		$\frac{U_A}{V}$
0,1		26,7
0,25		26,7
0,5		16,5
0,75		11,1
1		8,4
1,25		7,2
1,5		5,5
1,75		4,7
2,0		4,2
2,25		3,7
2,75		3,1
3,0		3,0
3,25		2,57
3,5		2,6
3,75		2,21
4,0		2,3
4,25		2,2
4,5		2,1
4,75		1,75
5,0		1,65
5,25		1,59
5,5		1,51
5,75		1,45
6,0		1,39

Tabelle 6: Messwerte Umkehr- Integrator

Differentiator		
	$C = 1000 \text{ nF}, R = 0,47 \text{ k}\Omega$	$U_1 = 420 \text{ mV}$
$\frac{\nu}{\text{Hz}}$		$\frac{U_A}{V}$
1		1,27
2		2,57
3		3,90
4		5,10
5		3,90
6		3,90
7		3,50
8		3,50
9		3,20
10		3,20
11		3,20
12		3,20
13		3,20
14		3,20
15		3,50
16		4,20
17		3,40
18		3,60
19		5,20
20		5,20
21		3,90
22		5,10
23		/
24		/
25		/

Tabelle 7: Messwerte Differentiator

X

Die gefitteten Ergebnisse sind:

$$f_{\text{int}}(\nu) = (19,4056 \pm 0,3461) \cdot \left(\frac{\nu}{\text{Hz}} \right)^{-0,8774 \pm 0,016} \quad (23)$$

$$f_{\text{diff}}(\nu) = (0,1226 \pm 0,005) \cdot \left(\frac{\nu}{\text{Hz}} \right)^{1,001 \pm 0,014} \quad (24)$$

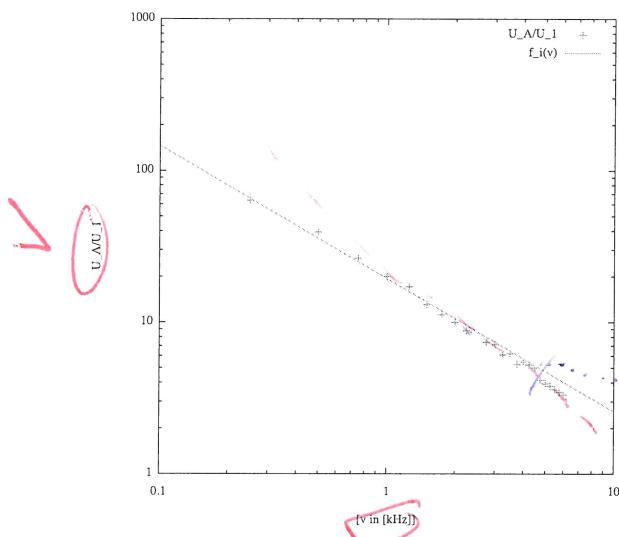
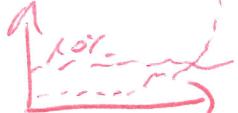


Abbildung 11: Umkehr-Integrator

1. Δy ? 
2. Korrelation

Was wäre
zu erwarten
gewesen?

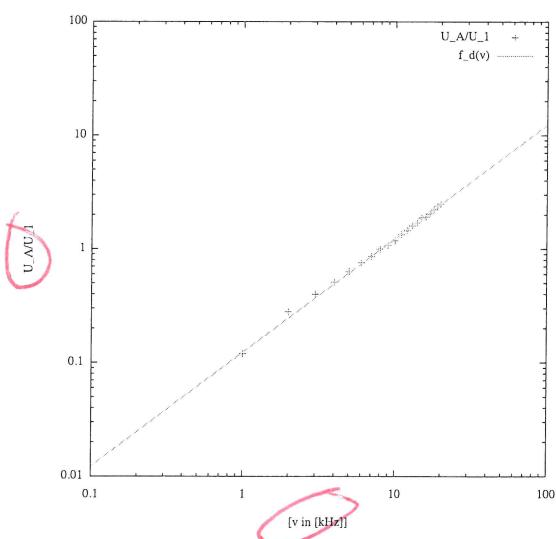


Abbildung 12: Differentiator

X

Die $\frac{1}{\nu}$ -Proportionalität für die Umkehr-Integrator-Schaltung und Differentiator-Schaltung besitzt Gültigkeit im gesamten messbereich. Lediglich sind minimale Abweichungen beim Umkehr-Integrator-Schaltung zu beobachten. Außerdem wurde das Ausgangssignal bei einer Sinus-, Dreieck-, oder Rechtecksspannung aufgenommen, um die Funktionsweise der beiden Schaltungen zu überprüfen. Bei dem Integrator wird das Eingangssignal integriert, erwartet wird also die Stammfunktion. Analog dazu wird beim Differentiator das Eingangssignal integriert, erwartet wird also die Ableitung.

?

In den Abbildungen 9 bis 11 sind die Bilder für den Integrator zu sehen. Das grüne Singal ist das Eingangssignal und das gelbe Signal das Ausgangssignal. Aus der Sinusspannung eine Kosinusspannung, aus der Dreieckspannung eine parabelförmige Spannung, sowie aus der Rechteckspannung eine Dreieckspannung.

Analog ergibt sich beim Differentiator aus der Sinusspannung eine Kosinusspannung, aus der Dreieckspannung eine Rechteckspannung, und aus der Rechteckspannung negative Darstellung der Rechtecksspannung.

4.4 Schmitt-Trigger als Schalter

Bei der Messung mit dem Operationsverstärker als Schmitt-Trigger in einer Schaltung wurden Bauteile mit folgenden Werten verwendet:

$$\begin{aligned} R_1 &= 0,47 \text{ k}\Omega \\ R_p &= 99,8 \text{ k}\Omega \\ U_{B+} &= 14,28 \text{ V} \\ U_{B-} &= -14,25 \text{ V} \\ \bar{U}_B &= (14,265 \pm 0,018) \text{ V} \end{aligned}$$

x

l

Der theoretische Schwellenwert ergibt sich zu

$$U_{\text{schwell,th}} = (672) \text{ mV}. \quad (25)$$

Experimentell wurde die Amplitude der Eingangsspannung an der Stelle, bei denen der Trigger umschaltet bestimmt:

$$U_{\text{schwell,exp}} = 760 \text{ mV}, \quad (26)$$

(27)

Ein Bild von der Messung am Umschaltpunkt ist in Abbildung 15 zu sehen.

Bild

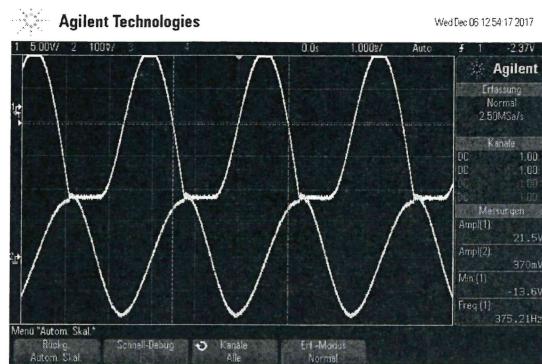


Abbildung 13: Sinusspannung

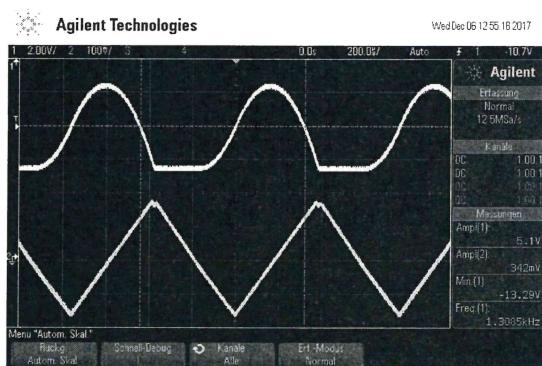


Abbildung 14: Dreicksspannung

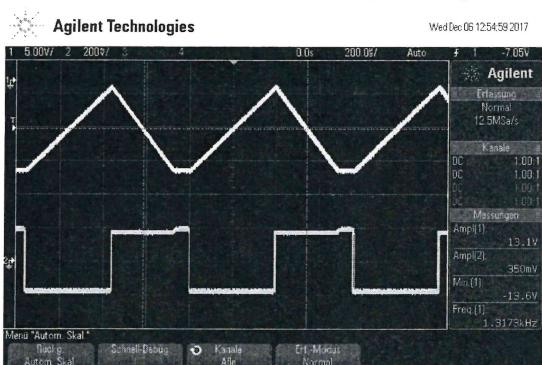


Abbildung 15: Rechtecksspannung

X

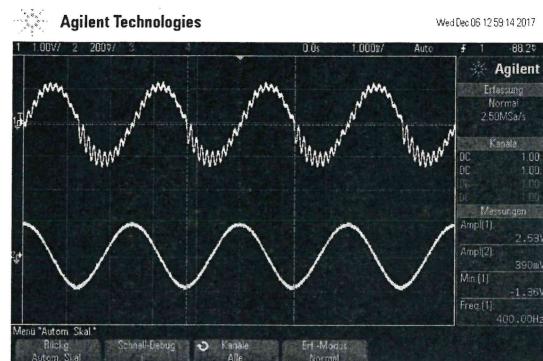


Abbildung 16: Sinusspannung

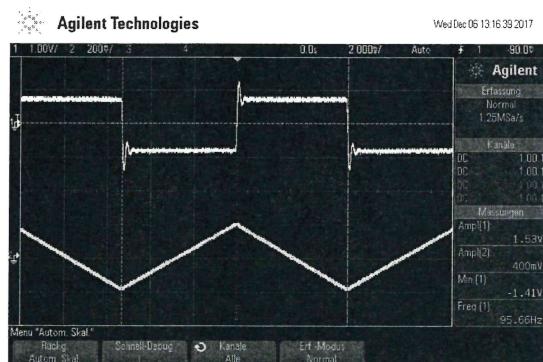


Abbildung 17: Dreiecksspannung

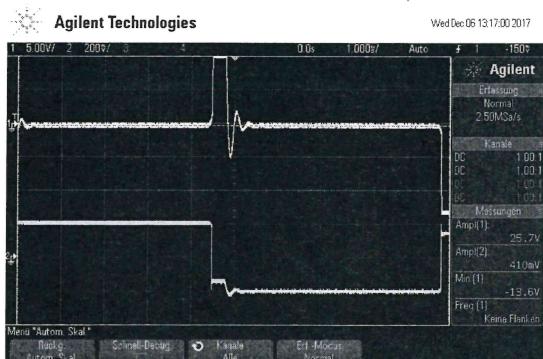


Abbildung 18: Rechtecksspannung

4.5 Gedämpfte Schwingung

Für den Aufbau der Schaltung von 2 Integratoren mit einem Umkehrverstärker nach Abbildung 6 wurden folgende Bauteile verwendet:

$$\begin{aligned}
 R_1 &= 9,96 \text{ k}\Omega \\
 R_2 &= 9,97 \text{ k}\Omega \\
 R_3 &= 0,99 \text{ k}\Omega \\
 R_4 &= 0,99 \text{ k}\Omega \\
 R_5 &= 98,9 \text{ k}\Omega \\
 C &= 100 \text{ nF}
 \end{aligned}
 \quad R = 9930 \pm 30 \Omega \quad (28)$$

$$\zeta(225 \pm 0,10) e^{-\zeta^2 F}$$

X

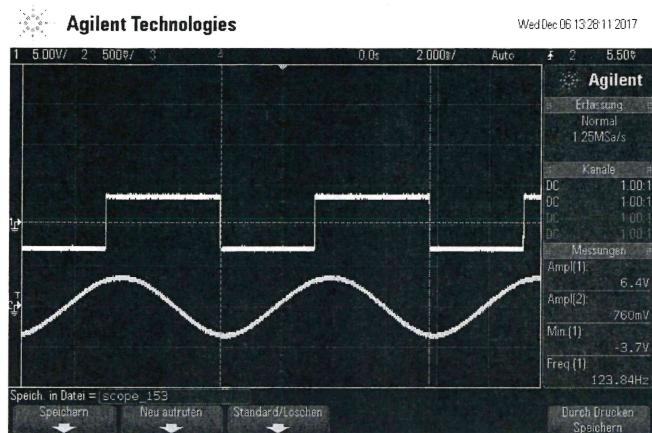


Abbildung 19: Schmitt- Trigger

Die Amplitude der gedämpften Schwingung wird in Abhängigkeit von der Zeit, mit Hilfe eines Oszilloskops untersucht.

$$U_{Theorie}(t) = \alpha \cdot e^{\beta \cdot t} + \gamma = (75.6115 \pm 3.59) \cdot e^{(-0.825434 \pm 0.13) \cdot t} + (3.1272 \pm 3.178) \quad (29)$$

wird die Zeitkonstante τ nach Gleichung 12 bestimmt, mit

$$\beta = \frac{1}{\tau} \quad (30)$$

$$\tau = (1,22 \pm 0,00) \text{ ms} \quad (31)$$

Der theoretisch zu erwartende Wert $\tau_{Theorie}$ folgt nach Gleichung 13 aus dem Widerstand $R_2 = 9,97 \text{ k}\Omega$ und der Kapazität $C=100 \text{ nF}$ mit $\eta=1$ zu

$$\tau_{Theorie} = 1,994 \text{ ms} \quad (32)$$

wieder neuer Logik

t/ms	U/V
5,7	3.5766
12,7	2.6344
19,5	1.9673
26,5	1.4661
33,2	1.0754
40,4	0.7814
48,8	0.5917
55,8	0.4952

Tabelle 6: Spannungsverlauf in Abhängigkeit von der Zeit

X

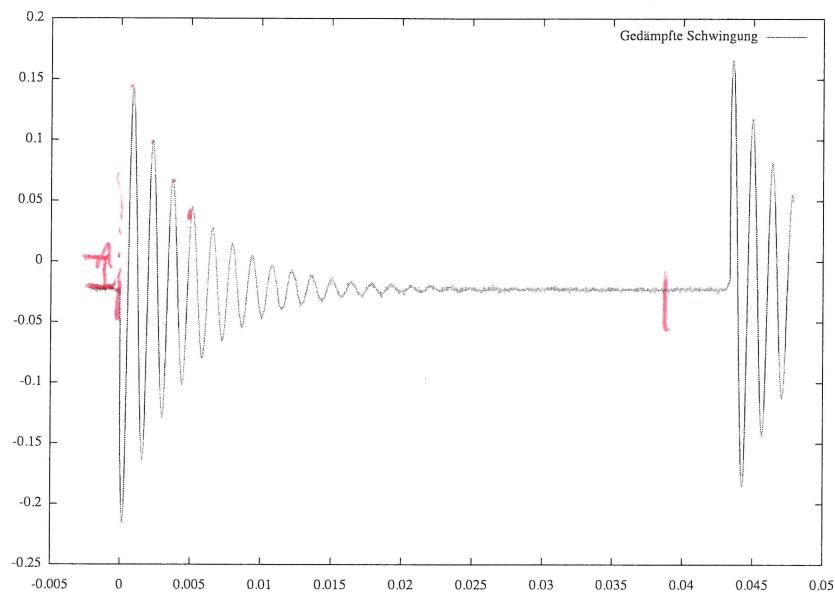


Abbildung 20: Gedämpfte Schwingung

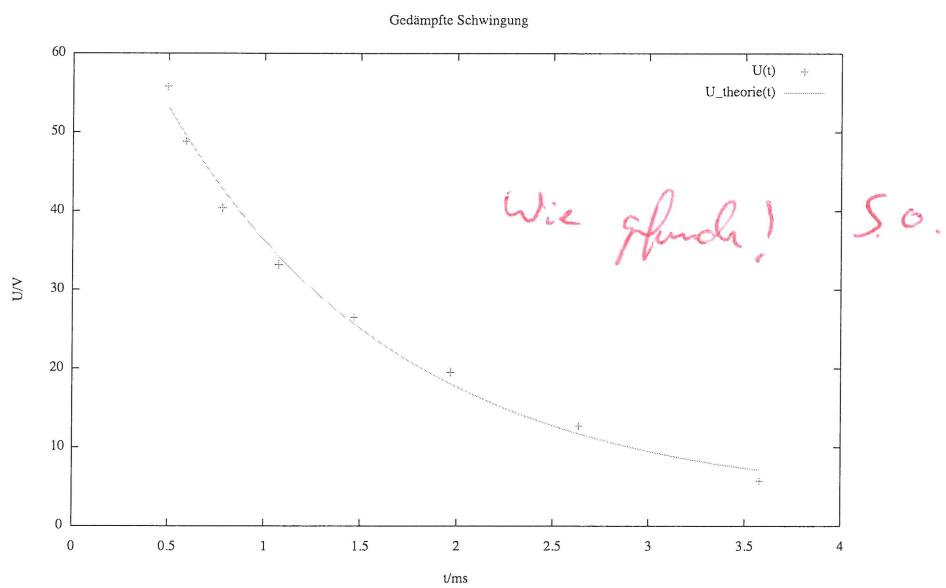


Abbildung 21: Amplitude der gedämpften Schwingung

X

5 Diskussion

In diesem Teil wird über die Ergebnisse und mögliche Fehler, durch Messfehler und Messungenauigkeiten etc. diskutiert.

- Beim gegengekoppelten invertierenden Linearverstärker liefern die Ergebnisse für die vier unterschiedlichen Frequenzgänge folgende Ergebnisse: Bei der ersten Frequenzgangmessung kann man davon sprechen, dass die Verstärkung nahe des Teilverhältnisses R_N/R_1 liegt. Jedoch ist bei den zwei nächsten Messungen der Unterschied viel größer. Zuletzt beim letzten Teil war keine vernünftige Auswertung möglich da wir zwei fast gleiche Widerstände verbaut und somit einen $R_N/R_1 = 1,01$ hatten. Demzufolge haben wir durchgehend gleiche Werte gemessen.
- Unsere gemessenen Werte lieferten für den Differentiator keine brauchbaren Ergebnisse, da wir bei der Messung die Bauteile miteinander kurzgeschlossen und somit die Messung verfälscht haben. Mit den Werten die wir anschließend bekommen haben, zeigte die Umkehr-Integrator-Schaltung und die Differentiator-Schaltung die erwartete Funktionalität.
- Bei der Schaltung des Schmitt-Triggers stimmen die Werte $U_{\text{schwell,th}}$ und $U_{\text{schwell,exp}}$ mit einer Abweichung von 13,1% überein.
- Bei der Messung der gedämpften harmonischen Schwingung haben wir für die gemessene Abklingdauer eine große Abweichung von ca. 60%.

sehr knapp

6 Literatur

?) [1] Skript zu Versuch V51, Physikalisches Fortgeschrittenen Paktikum TU Dortmund

7 Anhang

Messwerte?