

Elektronik Praktikum: OPV 2

Datum, Ort: [REDACTED], PHY/D-213

Betreuer: Eckstein

Praktikanten: [REDACTED]

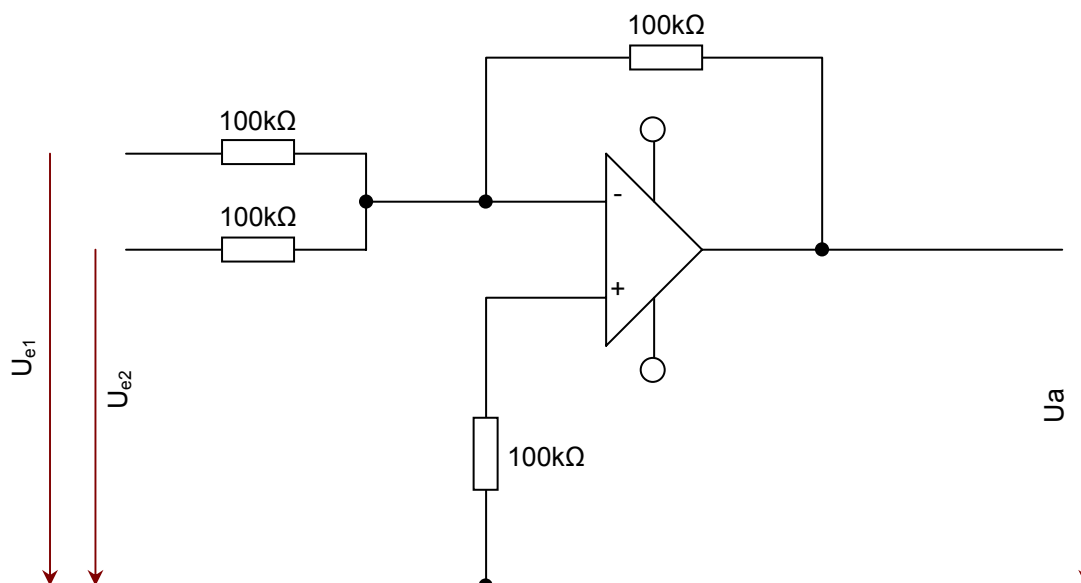
Gruppe: [REDACTED]

Ziel der Versuche

- Schaltung des OPVs als invertierender Addierverstärker für zwei Eingangsspannungen. Diskussion der Abweichung der Messwerte von der Theorie.
- Schaltung des OPVs als inv. Differenzverstärker für zwei Eingangsspannungen. Diskussion der Abweichung der Messwerte von der Theorie.
- Schaltung des OPVs als Bandpass (Hoch- und Tiefpass). Aufnahme der Übertragungskennlinie.
- Schaltung des OPVs zu einem inv. Schmitttrigger. Angabe der Hysterese. Diskussion der Abweichung der Messwerte von der Theorie.
- Nutzung des Schmitttriggers als Sinus-Rechteck-Wandler. Ermittlung der Grenzen des Tastverhältnisses.

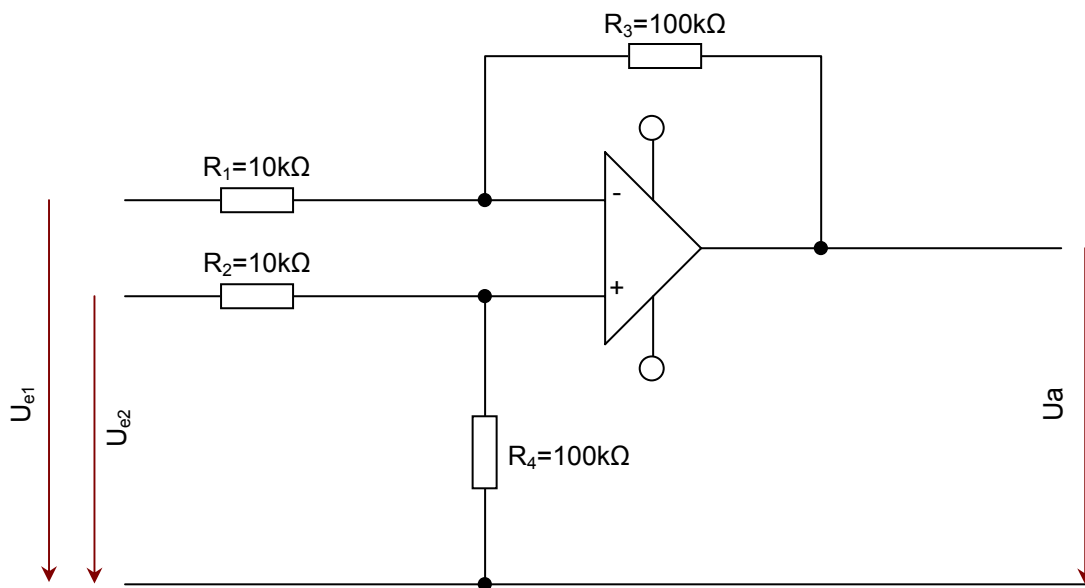
Durchführung

Aufgabenteil 1: Der OPV wurde entspr. der folgenden Zeichnung dimensioniert:



Die Betriebsspannungen wurden auf $U_{B+}=+18V$ sowie $U_{B-}=-18V$ eingestellt. Nach dem Offsetabgleich wurden die Eingangsspannungen für die Messung angelegt (siehe Tabelle). Die sich ergebende Ausgangsspannung wurde gemessen.

Aufgabenteil 2: Der OPV wurde entspr. der folgenden Zeichnung dimensioniert:

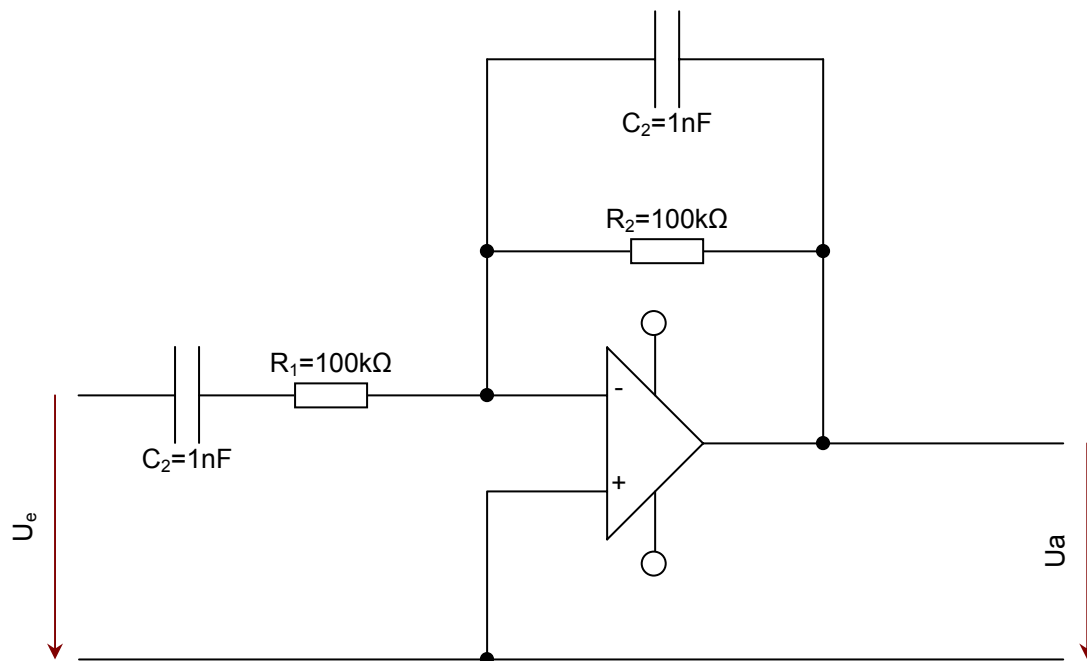


Diese Dimensionierung ergab sich aus folgender einfachen Berechnung:

$$\left. \begin{aligned}
 v_1 &= \frac{R_3}{R_1} = -10 \Rightarrow R_3 = 10 \cdot R_1 \\
 v_2 &= \frac{1 + \frac{R_3}{R_1}}{1 + \frac{R_2}{R_4}} = -10 \Rightarrow R_4 = 10 \cdot R_2
 \end{aligned} \right\} \Rightarrow R_1 = R_2 = 10k\Omega \Rightarrow R_3 = R_4 = 100k\Omega$$

Die Eingangsspannung U_{e1} wurde auf 5V festgesetzt. Die Eingangsspannung U_{e2} wurde entsprechend der Aufgabenstellung im Bereich 4,0V bis 5,0V variiert. Die Ausgangsspannungen wurden gemessen.

Aufgabenteil 3: Der OPV wurde entpr. der folgenden Zeichnung dimensioniert:



Diese Dimensionierung entstand aus der Überlegung, die Widerstände von den vorgegebenen Kondensatoren abhängig zu machen:

$$R = \frac{1}{C \cdot f \cdot \pi} = \frac{1}{3600\pi} \cdot C^{-1}$$

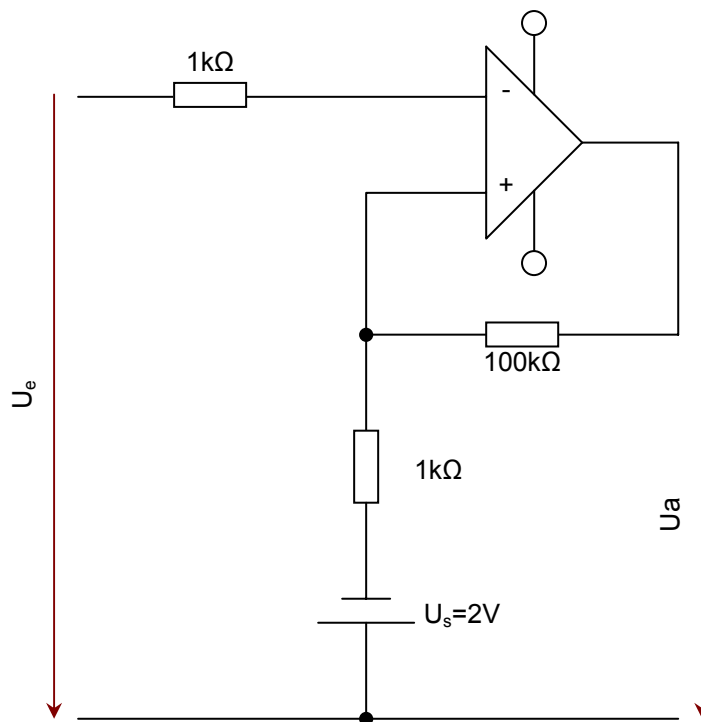
Nach der Dimensionierung wurde mit Hilfe eines Sinusgenerators eine konstante Eingangsspannung $U_{e,eff}=3V$ angelegt. Die Frequenz wurde am Sinusgenerator variiert. Die Ausgangsspannung $U_{a,eff}$ wurde gemessen. Die Frequenz wurde schrittweise erhöht, und zwar so, dass sie bei bestimmten Ausgangsspannungen abgelesen wurde. Auf diese Art wurde die Frequenz, welche die maximale Ausgangsspannung lieferte ermittelt.

Im Anschluss wurde die Frequenz noch weiter erhöht, bis sich die Ausgangsspannung wieder 0V angenähert hatte.

Zu beachten: Da der Sinusgenerator bei zunehmender Frequenz die abgegebene Spannung teilweise deutlich reduzierte, wurde über die gesamte Versuchsreihe am Sinusgenerator die Spannung immer wieder auf die anfangs geforderten, konstanten 3V (effektiv) korrigiert.

Aufgabenteil 4a: Der OPV wurde entpr. der folgenden Zeichnung dimensioniert:

Um die Sprungspannungen in den Bereich um 2 V zu verschieben, wurde die Verschiebungsspannung $U_s=2V$ angelegt. Die gewählten Widerstände ermöglichen die geforderte Differenz zwischen den Sprungspannungen. Es wurden verschiedene Eingangsspannungen angelegt, und sich schrittweise an die Sprungspannungen jeweils von „links“ bzw. „rechts“ angenähert. Die Ausgangsspannung wurde auf Masse gemessen (daher in Zeichnung auch auf Masse).



Aufgabenteil 4b: Der OPV wurde wie in Aufgabenteil 4b dimensioniert.

Statt der Gleichspannungsquelle wurde hier der Sinusgenerator angeschlossen.

Es wurden zwei Untersuchungen durchgeführt:

- 1) U_s blieb unverändert. Die Eingangsspannung $U_{e,eff}$ wurde am Sinusgenerator variiert. Am Ausgang wurde mit Hilfe eines Oszilloskops das Tastverhältnis ermittelt.
- 2) Die Eingangsspannung blieb unverändert. U_s wurde variiert. Am Ausgang wurde mit Hilfe eines Oszilloskops das Tastverhältnis ermittelt.

Bei beiden Untersuchungen wurde die Frequenz mit $f=const=10kHz$ angesetzt.

Die Ermittlung des Tastverhältnisses erfolgte durch simples Kästchenzählen auf dem Oszilloskop.

Messergebnisse

Aufgabenteil 1											
U_{e1}/V	U_{e2}/V	U_a/V	U_{e1}/V	U_{e2}/V	U_a/V	U_{e1}/V	U_{e2}/V	U_a/V	U_{e1}/V	U_{e2}/V	U_a/V
0	0	0	0	0,5	-0,5	0	2	-2,0	0	5	-4,99
0,5	0	-0,5	0,5	0,5	-1,0	0,5	2	-2,5	0,5	5	-5,5
2	0	-2	2	0,5	-2,5	2	2	-3,99	2	5	-7,0
5	0	-4,99	5	0,5	-5,49	5	2	-7,0	5	5	-9,99

Aufgabenteil 2, $U_{e1}=\text{const}=5V$							
U_{e2}/V	U_a/V	U_{e2}/V	U_a/V	U_{e2}/V	U_a/V	U_{e2}/V	U_a/V
4,0	-10,05	4,3	-7,05	4,6	-4,04	4,9	-1,03
4,1	-9,06	4,4	-6,06	4,7	-3,04	5,0	-0,01
4,2	-8,05	4,5	-5,05	4,8	-2,03	---	---

Aufgabenteil 3, $U_{e,\text{eff}}=\text{const}=3V$								
$U_{a,\text{eff}}/V$	$\frac{U_{a,\text{eff}}}{U_{e,\text{eff}}}$	f/Hz	$U_{a,\text{eff}}/V$	$\frac{U_{a,\text{eff}}}{U_{e,\text{eff}}}$	f/Hz	$U_{a,\text{eff}}/V$	$\frac{U_{a,\text{eff}}}{U_{e,\text{eff}}}$	f/Hz
0	0,000	10	1,0	0,333	645	1,0	0,333	4080
0,1	0,033	50	1,1	0,367	750	0,9	0,300	4730
0,2	0,067	100	1,2	0,400	865	0,8	0,267	5500
0,3	0,100	170	1,3	0,433	1020	0,7	0,233	6360
0,4	0,133	226	1,4	0,467	1280	0,6	0,200	7700
0,5	0,167	288	1,44	0,480	1580	0,5	0,167	9300
0,6	0,200	346	1,4	0,467	2050	0,4	0,133	12000
0,7	0,233	413	1,3	0,433	2620	0,3	0,100	16200
0,8	0,267	488	1,2	0,400	3070	0,2	0,067	25100
0,9	0,300	560	1,1	0,367	3560	0,1	0,033	56100

Aufgabenteil 4a							
U_e/V	U_a/V	U_e/V	U_a/V	U_e/V	U_a/V	U_e/V	U_a/V
0	17,26	2,14	17,25	3	-16,5	1,86	-16,49
2	17,26	2,15	17,25	2,15	-16,5	1,85	-16,48
2,1	17,26	2,16	-16,5	1,87	-16,5	1,84	17,26

Aufgabenteil 4b, Untersuchung 1, $U_s = \text{const} = 2V$, $f = \text{const} = 10\text{kHz}$							
$U_{e,\text{eff}} / V$	Puls/Kästchen	Pause/Kästchen	$\frac{\text{Puls}}{\text{Pause}}$	$U_{e,\text{eff}} / V$	Puls/Kästchen	Pause/Kästchen	$\frac{\text{Puls}}{\text{Pause}}$
1,6	4	0,5	8,000	2,3	6	2,3	2,609
1,7	6	1,1	5,455	2,4	6	2,4	2,500
1,8	8	1,6	5,000	2,5	6	2,6	2,308
1,9	6	1,6	3,750	4	6	3,8	1,579
2,0	6	1,8	3,333	5	5	3,5	1,429
2,1	6	2	3,000	7	5	3,9	1,282
2,2	6	2,2	2,727				

Aufgabenteil 4b, Untersuchung 2, $U_{e,\text{eff}} = \text{const} = 5V$, $f = \text{const} = 10\text{kHz}$							
U_s / V	Puls/Kästchen	Pause/Kästchen	$\frac{\text{Puls}}{\text{Pause}}$	U_s / V	Puls/Kästchen	Pause/Kästchen	$\frac{\text{Puls}}{\text{Pause}}$
-1,5	3,3	4,4	0,750	3,5	5	2,5	2,000
-0,5	3,7	4	0,925	4,5	6	2,2	2,727
0,5	4	3,7	1,081	5,5	6	1,5	4,000
1,5	5	3,8	1,316	6,5	6	0,6	10,000
2,5	5	3,1	1,613				

Auswertung

Aufgabenteil 1:

Die abweichenden Messwerte ergeben sich durch mehrere Faktoren. Zum einen lassen sich die Spannungen nicht genau einstellen. Zum anderen ist davon auszugehen, dass die Leitungen und der OPV an sich bereits einen eignen Widerstandswert haben, der die Schaltung beeinflusst. Außerdem haben die Widerstände an sich bereits einen Fehler (ca. 2-3%), der Produktionsbedingt ist. Dies bedeutet, dass die Widerstände durchaus nicht wie in der Dimensionierung gefordert gleich groß sind. Bei der Messung der Werte entsteht durch die Messgeräte auch ein, wenn auch minimaler, Fehler.

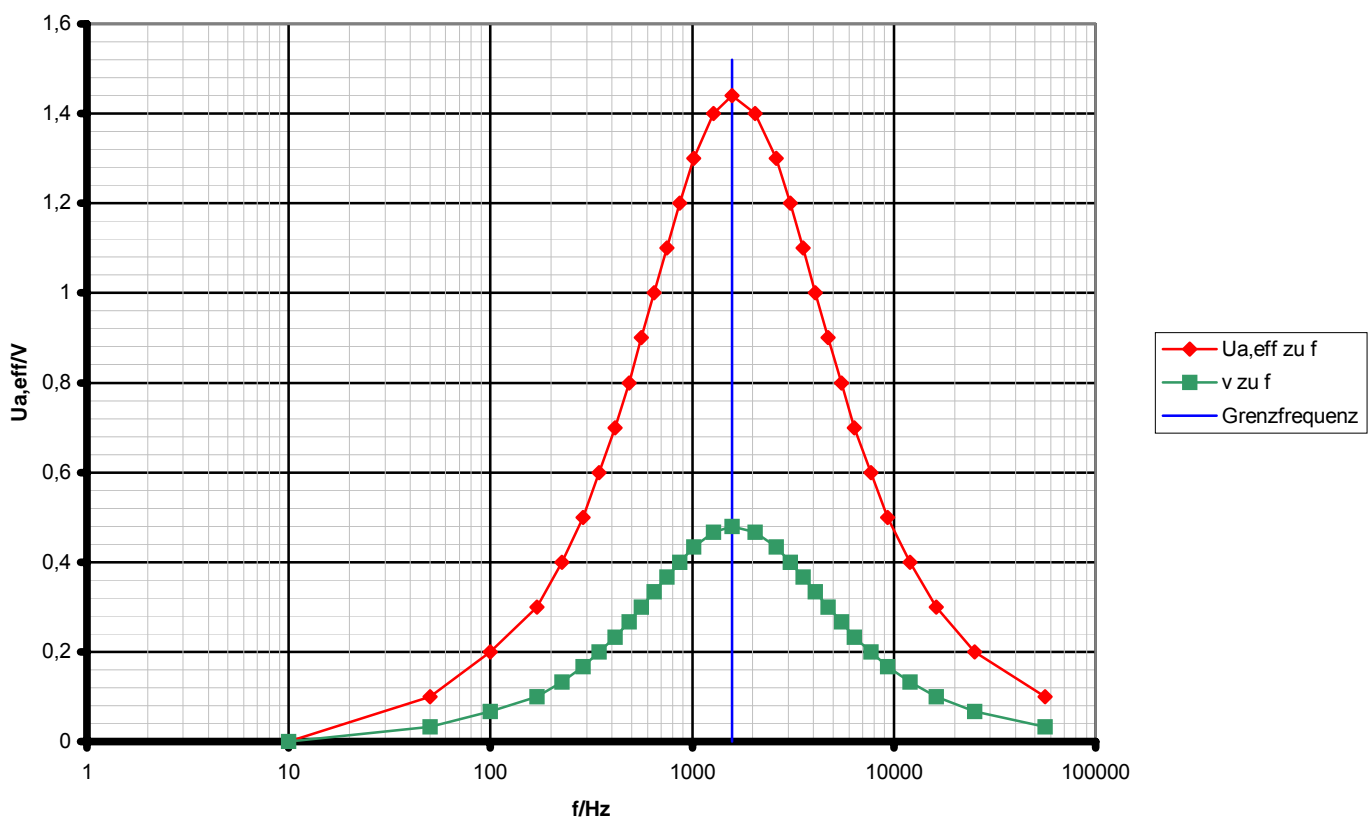
In Anbetracht der möglichen Fehlerquellen ist es erstaunlich, dass die Mehrzahl der Messwerte mit den theoretisch erwarteten übereinstimmen. Dies kann daher rühren, dass sich verschiedene Fehlerquellen evtl. kompensieren. Andererseits könnten die vorgegebenen Komponenten derart qualitativ gut sein, dass sich die Fehler in der Größenordnung der Messung nicht auswirken.

Aufgabenteil 2:

Im Wesentlichen gilt hier die selbe Argumentation wie im Aufgabenteil 1. Jedoch wird auf Grund der Verstärkung auch der Fehler verstärkt. Dadurch ist zu erklären, dass keiner der Messwerte exakt mit der Theorie übereinstimmt. Der Fehler ist jedoch auch hier minimal (2. Nachkommastelle!!).

Aufgabenteil 3:

Frequenz-Ausgangsspannungsdiagramm, $U_{e,eff} = \text{const} = 3V$

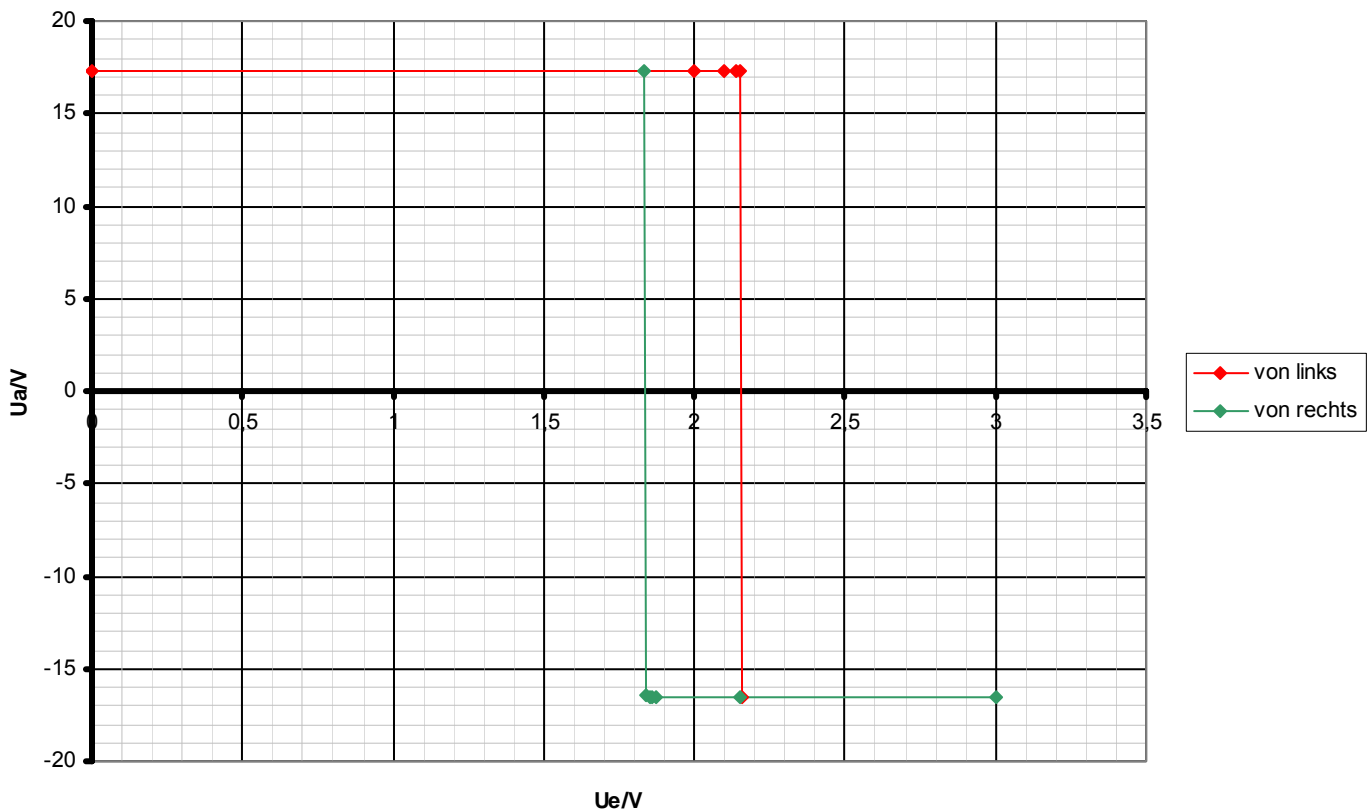


Die Grenzfrequenz liegt nicht genau bei den geforderten 1600 Hz, da die gegebenen Schaltelemente eine praktische Umsetzung der errechneten Kondensatorkapazität bzw. Widerstandswert nicht ermöglichten. Die gegebenen Schaltelemente führen theoretisch zu einer Grenzfrequenz von $\sim 1591,55$ Hz. Dass auch diese Frequenz in der Praxis nicht genau erzielt wurde, ist zu erklären durch die bereits in Aufgabenteil 1 und 2 geführte Argumentation, hier erweitert auf die Kondensatoren.

Zu sehen ist, dass die gemessene maximale Ausgangsspannung knapp unterhalb der halben Eingangsspannung liegt. Theoretisch sollte sie genau auf der halben Eingangsspannung liegen (Kombination von Hoch- und Tiefpass; beide liefern maximale Ausgangsspannung $\frac{1}{\sqrt{2}} U_{e,eff}$). Die Abweichung ist auch hier durch bereits bekannte Argumentation zu erklären.

Aufgabenteil 4a:

Hysterese, $U_s = \text{const} = 2\text{V}$



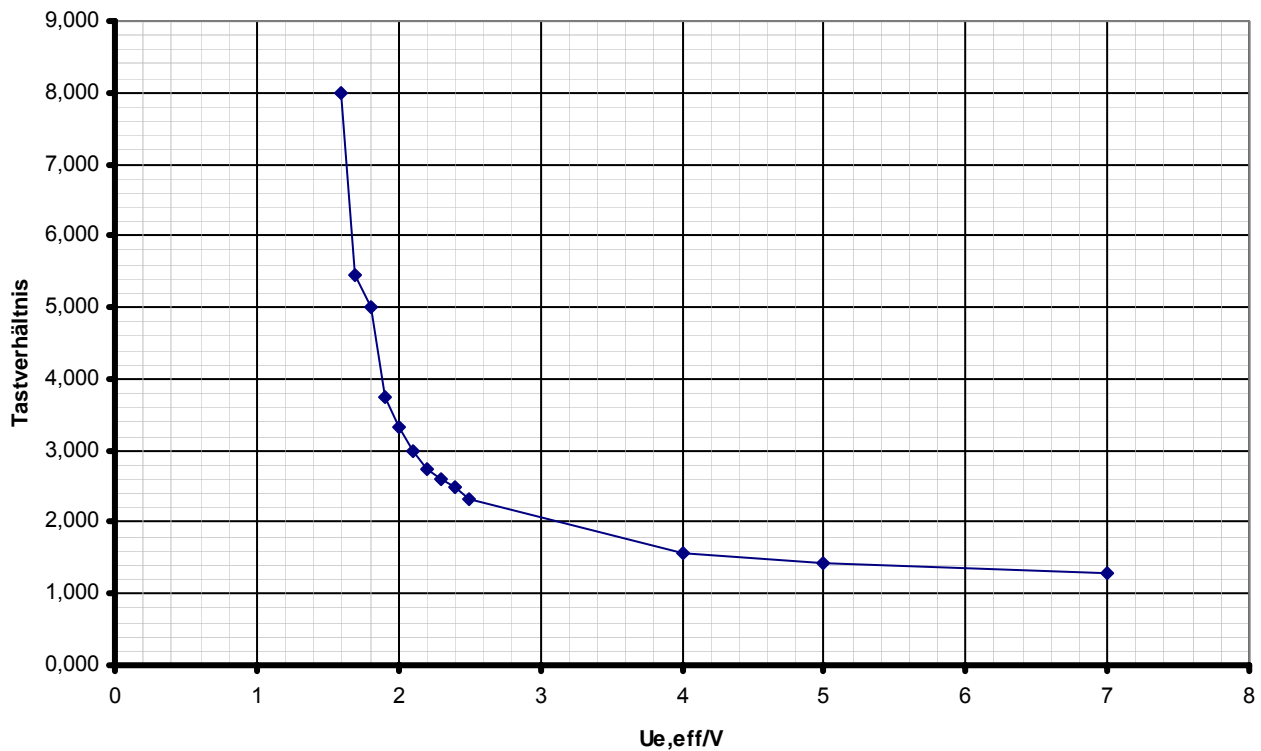
Deutlich zu sehen ist, dass die gemessene Hysterese $\sim 0,3\text{V}$ beträgt. Die Sprungspannungen konnten nicht genau gemessen werden (Schaltungsbedingt; Drehknöpfe konnten nicht genau genug gedreht werden), jedoch liegen im etwa: von „links“ zwischen 2,15V und 2,16V; von „rechts“ zwischen 1,85V und 1,84V. In der Differenz tatsächlich ungefähr 0,3V.

Wie erwartet liegen die Sprungspannungen im Bereich von U_s . Die Differenzen zwischen U_s und den Sprungspannungen sind abhängig von der Ausgangsspannung U_a . Da diese jedoch vorher nicht genau bestimmt werden kann, war die Dimensionierung eine geschätzte.

Mit der vorher geschätzten Ausgangsspannung $U_a = \pm 16,2\text{V}$ hätte die oben aufgeführte Dimensionierung theoretisch zu einer Hysterese von 0,324V führen sollen. Dieser Wert wurde in erster Näherung gut getroffen. Die realen Ausgangsspannungen führten zu dem Unterschied zwischen Theorie und Praxis. Hinzu kommen die aus den vorherigen Argumentationen bekannten Fehler.

Aufgabenteil 4b:

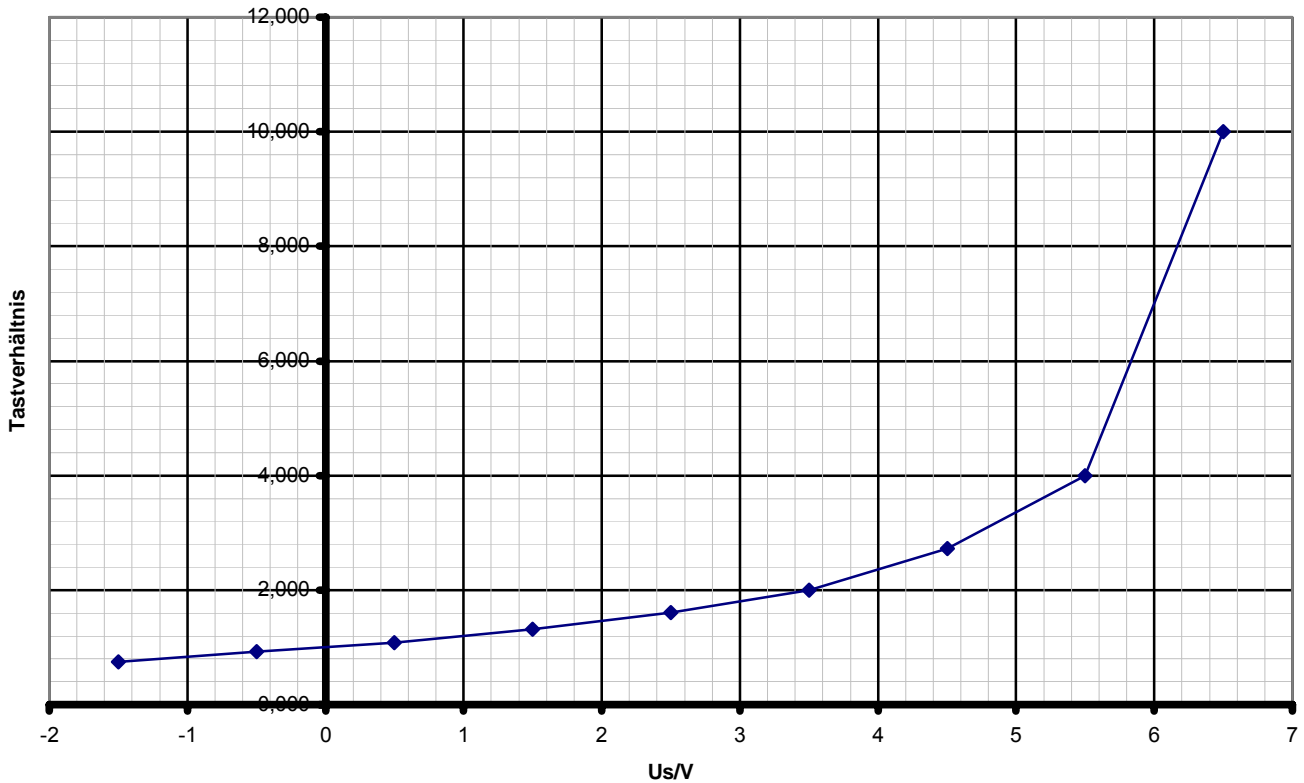
Verlauf des Tastverhältnisses, Untersuchung 1



In der oben aufgeführten Messwert-Tabelle sind nicht alle durchgeführten Messungen aufgeführt, sondern nur diejenigen, die zu „sinnvollen“ Messergebnissen führten. Für angelegte $U_{e,eff}=1,5V$ (entpr. $U_{e,ss}=2,12V$), war kein Tastverhältnis berechenbar. Dies ist zu erklären dadurch, dass für Eingangsspannungen, kleiner die obere Sprungspannung, keine Schaltvorgänge stattfinden. Man kann grob sagen: „Der OPV kriegt nichts mit“.

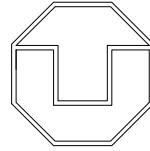
Für höhere Spannungen geht das Tastverhältnis auf Grund der zunehmenden Amplitude gegen 1. Dies ist auch deutlich in der Grafik zu erkennen!

Verlauf des Tastverhältnisses, Untersuchung 2



Theoretisch sollte die Pause immer länger werden, um so niedriger die Schiebepannung U_s angesetzt wird, das Schaltschwelle im Prinzip am Sinus der Eingangsspannung nach „unten“ wandert. Dies bedeutet, dass das Tastverhältnis gegen Null gehen muss, da für den Fall, dass der Sinus vollständig oberhalb der Schaltschwelle liegt, nur noch Pause anliegt. Die Messung bestätigt die Theorie (siehe Grafik). Theoretisch sollte mit den gegebenen Konstanten bei $U_s \approx 7V$ die andere Grenze des Tastverhältnisses erreicht sein, da dort die Schaltschwelle oberhalb der Eingangsspannung liegt ($U_{e,eff} = 5V$ entspr. $U_{e,ss} \approx 7V$). Die Messung bestätigt auch dies (siehe Grafik). Die Überlegungen sind analog denen, die hinter Untersuchung 1 stehen.

Generell ist das Tastverhältnis theoretisch unabhängig von der Frequenz. Da der reale OPV jedoch eine endliche Schaltzeit besitzt, ist in der Realität für hohe Frequenzen keine sinnvolle Messung mehr durchführbar. Daher wurde auf eine Untersuchung 3 verzichtet.



Ausgewählte Anwendungen des Operationsverstärkers

Aufgabenstellung

1. Schalten Sie den Operationsverstärker als Addierverstärker für 2 Eingangsspannungen U_{e1} und U_{e2} . Dimensionieren Sie die Schaltung so, daß für die Ausgangsspannung $U_A = -(U_{e1} + U_{e2})$ gilt.
Nehmen Sie die Meßwerte U_A für $U_{e1}, U_{e2} = (0.0V, 0.5V, 2.0V, 5.0V)$ auf und diskutieren Sie die Meßfehler.
2. Schalten Sie den Operationsverstärker als Differenzverstärker für 2 Eingangsspannungen U_{e1} und U_{e2} . Dimensionieren Sie die Schaltung, so daß für die Ausgangsspannung $U_A = 10 * (U_{e1} - U_{e2})$ gilt.
Nehmen Sie die Meßwerte U_A für $U_{e1} = 5.00V$ und $U_{e2} = (4.00V, 4.10V..., 5.00V)$ auf und diskutieren Sie die Meßfehler
3. Bauen Sie mit Hilfe des Operationsverstärkers einen Bandpaß mit den Grenzfrequenzen $f_u = f_o = 1.6$ kHz auf.
Nehmen Sie die Übertragungskennlinie $U_A/U_e = f(f)$ auf und stellen Sie diese grafisch dar.
4. Nutzen Sie den Operationsverstärker zum Aufbau eines invertierenden Schmitt-Triggers mit den Eingangspegeln $U_{e-ein} = 2.5V$ und $U_{e-aus} = 2.4V$. Prüfen Sie die Funktionsweise der Schaltung und stellen Sie die Meßergebnisse grafisch dar. Geben Sie die gemessene Hysterese der Schaltung an.

Diskutieren Sie die Abweichungen der gemessenen von den theoretisch zu erwartenden Werten.

Setzen Sie diesen Schmitt-Trigger als Sinus-Rechteck-Wandler ein. Ermitteln und diskutieren Sie die Grenzen des Tastverhältnisses.

Beachten Sie die Hinweise zur Schaltungsrealisierung und zur Meßtechnik !

Hinweise zur Schaltungsrealisierung und zur Meßtechnik

Zur Realisierung der Operationsverstärkerschaltungen steht eine Leiterplatte mit dem intern frequenzkompensierten Operationsverstärker B081 und einer Reihe ausgewählter passiver Bauelemente, die durch (Kurzschluß-) Brücken und Verbindungskabel untereinander und mit dem OPV verbunden werden können, zur Verfügung. Sie enthält zwei voneinander unabhängig einstellbare Gleichspannungsquellen. Die Betriebsspannungszuführung erfolgt extern.

Meßzubehör

- v Gleichspannungsnetzgeräte (Laborstromversorgungen)
- v variable Gleichspannungsquellen (auf der Leiterplatte)
- v Sinusgenerator
- v Impulsgenerator (für spezielle Anwendungen)
- v 2-Kanal-Oszilloskop (Analogoszilloskop)
- v Wechselspannungsvoltmeter
- v Digitalvoltmeter (für Gleichspannungsmessungen)

Theoretische Grundlagen / Versuchsvorbereitung

Zur Vorbereitung auf die Versuche mit Operationsverstärkern ist als Ergänzung der Vorlesungsmitschriften und entsprechender Übungsaufzeichnungen folgende **Literatur** geeignet:

- v J. Dostal, Operationsverstärker, Verlag Technik Berlin 1986
- v M. Seifert, Analoge Schaltungen, Verlag Technik Berlin 1987, S. 236-247
- v U. Tietze, Ch. Schenk, Halbleiter-Impulstechnik, Springer-Verlag Berlin 1990, S. 122-158
- v K.-M. Rohe, Elektronik für Physiker, Teubner Studienbücher, B.G. Teubner Stuttgart 1987