

Elektronik Praktikum – Operationsverstärker 2 (OV2)

Datum: --.2008
Betreuer: P. Eckstein
Gruppe:
Praktikanten:

Versuchsziele

- Aufgabe 1: Schaltung eines OPV als invertierenden Addierverstärker für 2 Eingangsspannungen
- Verstärkungsfaktor $v = -1$
 - Messung der Ausgangsspannung U_a für $U_{e1}, U_{e2} = (0.0V, 0.5V, 2V, 5V)$
- Aufgabe 2: Schaltung eines OPV als Differenzverstärker für 2 Eingangsspannungen
- Verstärkungsfaktor $v = 10$
 - Messung der Ausgangsspannung U_a für $U_{e1} = 5V, U_{e2} = (4.0V, 4.1V, \dots, 5.0V)$
- Aufgabe 3: Aufbau eines Bandpasses mit den Grenzfrequenzen $f_u = f_o = 1,6 \text{ kHz}$
- Aufnahme der Übertragungskennlinie $U_a / U_e = f(f)$
- Aufgabe 4: Schaltung eines OPV als invertierenden Schmitt-Trigger
- Hysterese mit $U_H = 0,2 \text{ V}$
 - Bestimmung der Eingangsspiegel $U_{e\text{-ein}}, U_{e\text{-aus}}$
 - Anwendung Komparator als Sinus – Rechteck-Wandler, Ermittlung der Grenzen des Tastverhältnisses $TV = \frac{\tau_p}{\tau_n}$

Durchführung

Aufgabe 1:

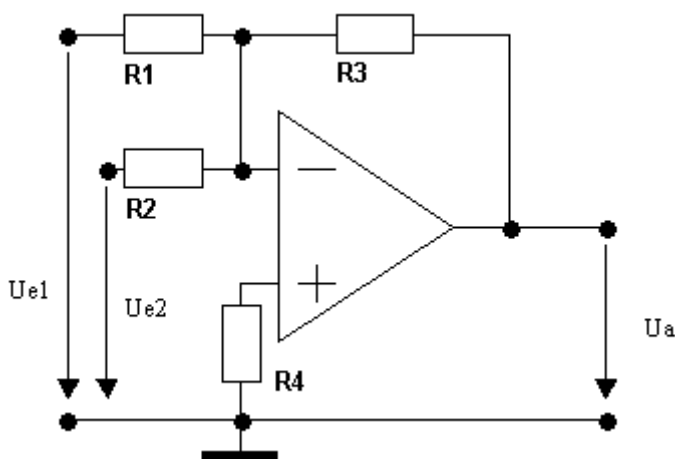


Abbildung 1: OPV als invertierender Addierverstärker

Der OPV wurde entsprechend Abbildung 1 beschaltet und mit einer Betriebsspannung von $U_B = \pm 17 \text{ V}$ betrieben. Um die geforderte Verstärkung von $v = -1$ ($U_a = -(U_{e1} + U_{e2})$) zu erreichen, wurde wie folgt dimensioniert:

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 100 \text{ k}\Omega$$

Zur Verminderung des Offsetdrifts wurde der Widerstand R_4 verwendet. Nach erfolgtem Offsetabgleich ($U_{\text{off}} = 0,000V$) wurde für verschiedene Eingangsspannungen U_{e1}, U_{e2} die Ausgangsspannung U_a ermittelt.

Aufgabe 2:

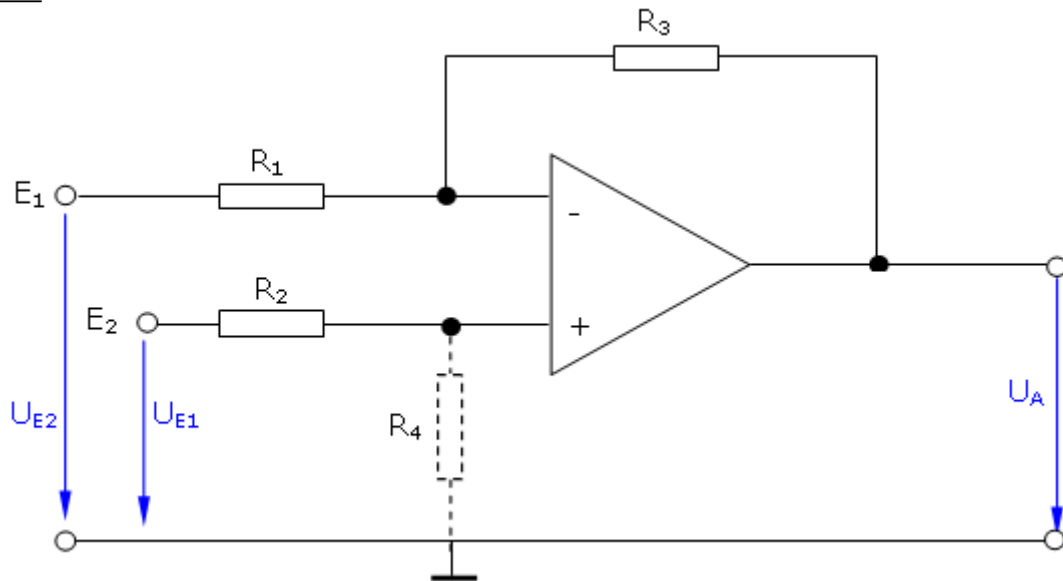


Abbildung 2: OPV als Differenzverstärker

Die Schaltung wurde gemäß Abbildung 2 aufgebaut und mit einer Betriebsspannung von $U_B = \pm 17 \text{ V}$ betrieben. Um die geforderte Verstärkung von $v = 10$ zu erreichen, wurde wie folgt dimensioniert:

$$R_1 = R_2 = 10 \text{ k}\Omega$$

$$R_3 = R_4 = 100 \text{ k}\Omega$$

Zur Verminderung des Offsetdrifts wurde der Widerstand R_4 verwendet.

Anschließend wurde für $U_{e1} = 5.0\text{V}$ und $U_{e2} = (4.0\text{V}, 4.1\text{V}, \dots, 5.0\text{V})$ die Ausgangsspannung U_a gemessen.

Aufgabe 3:

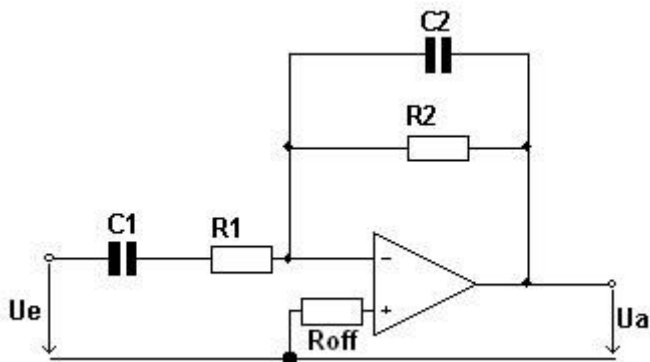


Abbildung 3: Bandpass

Die Schaltung wurde gemäß Abbildung 2 aufgebaut und mit einer Betriebsspannung von $U_B = \pm 17 \text{ V}$ betrieben. Der OPV Bandpass besteht aus einem Hochpass (C_1, R_1) und einem Tiefpass (C_2, R_2). Die Grenzfrequenz beider Baugruppen ergibt sich aus: $f_g = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C}$

Um die geforderte Grenzfrequenz von $1,6 \text{ kHz}$ so genau wie möglich zu erreichen wurde wie folgt dimensioniert:

$$R_1 = R_2 = 1 \text{ k}\Omega$$

$$C_1 = C_2 = 100 \text{ nF}$$

Zur Verminderung des Offsetdrifts wurde der Widerstand $R_{\text{off}} = 1 \text{ k}\Omega$ verwendet. Anschließend wurde mit Hilfe des Sinusgenerators die Eingangsspannung $U_{e\text{SS}} = 1,76 \text{ V}$ angelegt und die Ausgangsspannung U_a in Abhängigkeit von der Frequenz f mit dem Oszilloskop gemessen.

Aufgabe 4 a:

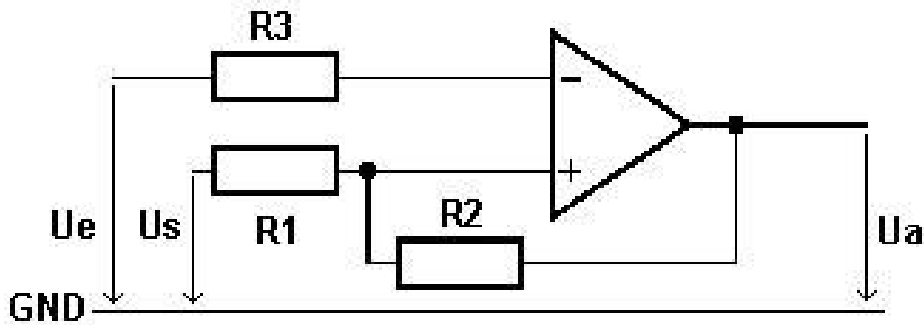


Abbildung 4: invertierender Schmitt-Trigger mit Hysterese

Der Schmitt-Trigger wurde nach Abbildung 4 aufgebaut und mit einer Betriebsspannung von $U_B = \pm 11 \text{ V}$ betrieben. Die Hysterese wurde annähernd auf $U_H = 0,2 \text{ V}$ eingestellt, indem die Widerstände wie folgt dimensioniert wurden:

$$R_1 = R_3 = 1 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 100 \text{ k}\Omega$$

Weiterhin wurde eine Schwellspannung $U_S = 2,1 \text{ V}$ angelegt. Die Eingangsspannung wurde langsam geändert um sich der Sprungspannung anzunähern. Dies wurde für die Spannungen $U_{e\text{-ein}}$ und $U_{e\text{-aus}}$ mehrfach wiederholt.

Aufgabe 4 b:

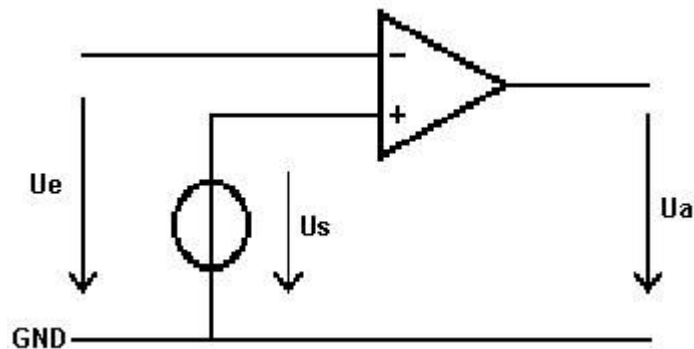


Abbildung 5: Komparator ohne Hysterese

Der OPV wurde gemäß Abbildung 5 als Komparator ohne Hysterese beschaltet. Der Funktionsgenerator wurde auf eine konstante Frequenz von $f = 1 \text{ kHz}$, Sinuswelle, gestellt und die Eingangsspannung $U_{e\text{SS}} = 4,00 \text{ V}$ beliebig gewählt. Hieraus ergab sich die Ausgangsspannung $U_{a\text{SS}} = 20,6 \text{ V}$. Nachfolgend wurden die Grenzwerte des Tastverhältnisses $TV = \frac{\tau_p}{\tau_n}$ für

verschiedene Schwellspannungen U_S bestimmt.

Zum Vergleich wurde der OPV noch einmal als Schmitt-Trigger mit Hysterese geschaltet und die Grenzen des Tastverhältnisses bestimmt.

Messwerte

Aufgabe 1 UB+=17,00V UB=-17,00V Uoff=0,000V

		0,5	2,0	5,0	Ue1 / V
0,0	0,000	-0,500	-2,000	-5,000	
0,5	-0,500	-1,001	-2,502	-5,502	
2,0	-2,000	-2,504	-4,003	-7,010	
5,0	-5,000	-5,507	-7,010	-10,010	
Ue2 / V					

Aufgabe 2 UB+=17,00V UB=-17,00V Uoff=0,000V Ue1=5,00V

Ue2 / V	4,0	4,1	4,2	4,3	4,4	4,5	4,6	4,7	4,8	4,9	5,0
Ua / V	10,030	9,040	8,040	7,030	6,030	5,017	4,008	3,008	2,011	1,001	-0,005

Aufgabe 3 UB+=17,00V UB=-17,00V Rp = 1kΩ Cp = 100nF Fg ideal=1591,55Hz UeSS=1,76V

f / Hz	U _{aSS} / mV	U _a / U _e	f / Hz	U _{aSS} / mV	U _a / U _e
15	50	0,03	1750	896	0,51
20	55	0,03	1850	888	0,5
50	88	0,05	2000	880	0,5
75	116	0,07	2200	864	0,49
125	164	0,09	2500	832	0,47
175	218	0,12	2750	800	0,45
250	290	0,16	3300	728	0,41
350	394	0,22	3800	672	0,38
500	524	0,3	4500	592	0,34
650	624	0,35	5200	528	0,3
800	712	0,4	6500	448	0,25
950	776	0,44	8000	368	0,21
1100	848	0,48	10000	304	0,17
1200	864	0,49	13000	246	0,14
1300	880	0,5	17000	196	0,11
1450	896	0,51	22000	132	0,08
1550	904	0,51	30000	100	0,06
1591	912	0,52	40000	80	0,05
1650	896	0,51	60000	60	0,03

Aufgabe 4a UB+=11,00V UB=-11,00V Us=2,1V R1=1kΩ R2=100kΩ R3=1kΩ

Ue-ein / V	Ue-aus / V
1,981	2,180
1,985	2,180
1,984	2,183
1,985	2,180
1,984	2,181
1,986	2,180
1,984	2,181

UH= 0,197

Mittelwert:

Aufgabe 4b UB+=11,00V UB=-11,00V UeSS=4,00V UaSS max=20,6V F = 1kHz

	Komparator ohne Hysterese			Komparator mit Hysterese		
	tp / μs	tn / μs	tp / tn	tp / μs	tn / μs	tp / tn
max	910	90	10,11	890	110	8,09
min	90	910	0,1	140	680	0,21

Auswertung

Aufgabe 1:

Die gemessenen Werte liegen im erwarteten Bereich, die Spannungen U_{e1} und U_{e1} wurden addiert. Die Abweichungen vom Idealwert sind mit maximal 10 mV sehr klein, die meisten Werte weisen erst Abweichungen ab der dritten Nachkommastelle auf. Diese Abweichungen können verschiedene Ursachen haben:

Die Eingangsspannungen lassen sich nicht exakt einstellen

Leitungen und OPV besitzen selbst einen Widerstand

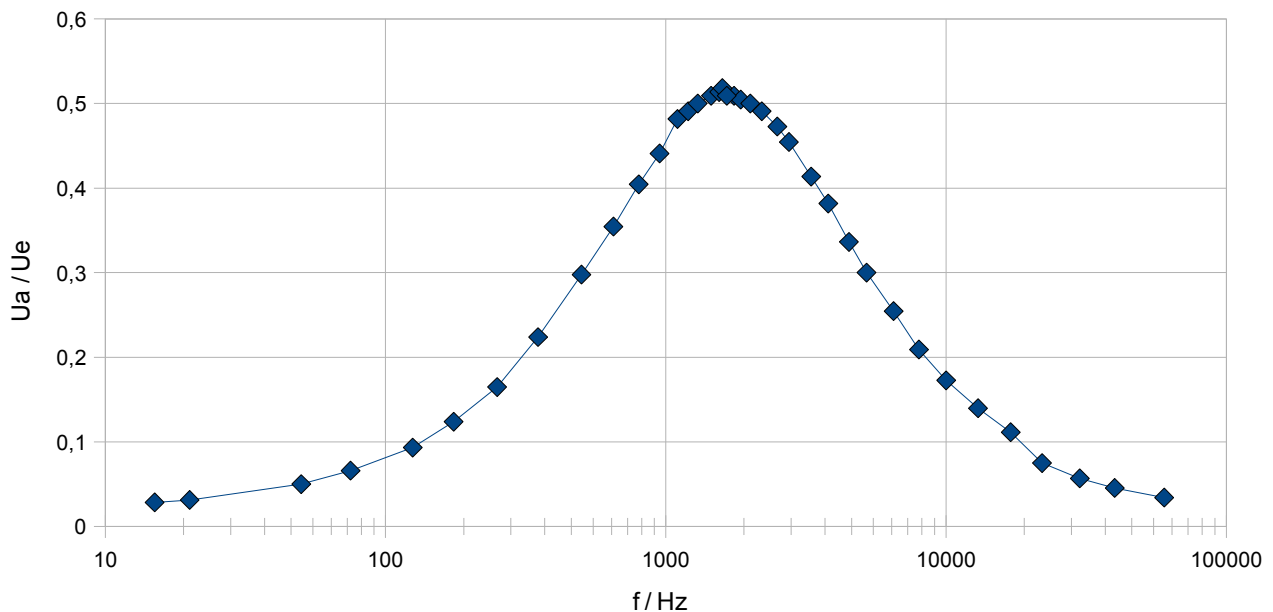
Des Weiteren führen die Fertigungstoleranzen der Widerstände zu einer leicht abweichenden Verstärkung, der Idealwert 1 wird somit nicht genau erreicht

Aufgabe 2:

Die gemessenen Werte liegen auch hier im erwarteten Bereich, die Spannung U_2 wurde von der Spannung U_1 abgezogen und das Ergebnis um das 10-fache verstärkt. Die Abweichungen vom Idealwert der einzelnen Ergebnisse betragen maximal 40 mV und sind in Anbetracht der Verstärkung von 10 sehr klein. Die Fehlerursachen sind mit denen aus Aufgabe 1 identisch, werden aber noch durch die Verstärkung vergrößert.

Aufgabe 3:

Übertragungskennlinie Bandpass



Im Diagramm ist die Verstärkung für verschiedene Frequenzen aufgetragen. Die vorgegebene Grenzfrequenz von 1,6 kHz ließ sich nicht mit den auf der Platine vorgegebenen Widerständen und Kapazitäten realisieren. Um möglichst nahe an die vorgegebene Grenzfrequenz zu kommen wurde wie folgt dimensioniert:

$$R_1 = R_2 = 1 \text{ k}\Omega$$

$$C_1 = C_2 = 100 \text{ nF}$$

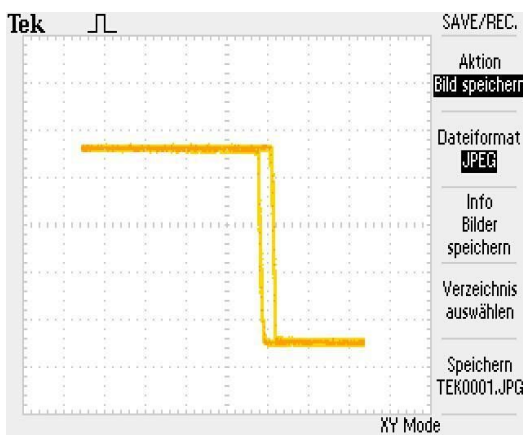
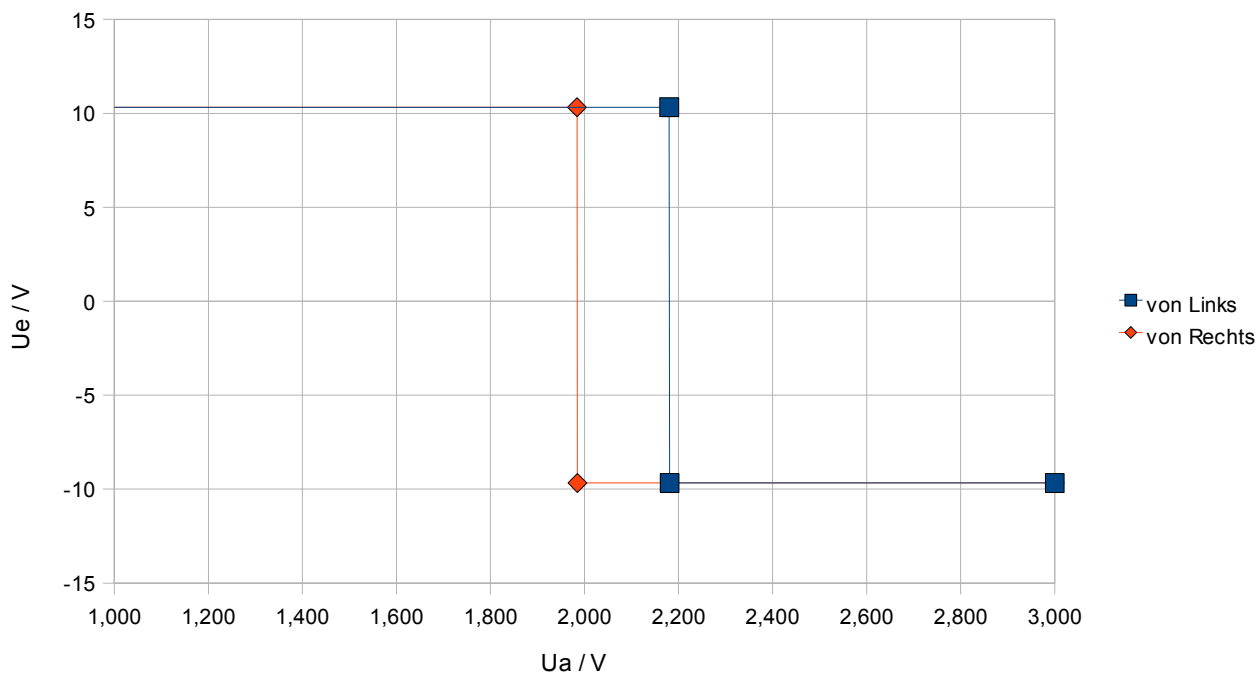
Daraus ergibt sich die erwartete Grenzfrequenz $f_g = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C} = 1591,55 \text{ Hz}$. Anhand des

Diagramms und der Messwerte ist erkennbar, dass diese auch real im Rahmen der Messungenauigkeit erreicht wurde. Des Weiteren ist erkennbar, dass die maximale Verstärkung bei der Grenzfrequenz knapp oberhalb des erwarteten Wertes von $v = 1/2$ liegt. Diese resultiert aus den maximalen Verstärkungen des Hoch- und Tiefpass von jeweils $v_{fg} = 1/\sqrt{2}$ bei der Grenzfrequenz. Werden Hoch- und Tiefpass hintereinander geschaltet ergibt sich die maximale resultierende

Verstärkung aus: $v = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{1}{2}$

Aufgabe 4a:

Hysterese Schmitt-Trigger



Anzeige des Oszilloskops im XY Modus

Wie im Diagramm zu erkennen beträgt die Hysterese annähernd $U_H = 0,2 \text{ V}$. Die Sprungspannungen konnten nur sehr ungenau bestimmt werden, da die Eingangsspannung nicht genau genug mit dem Poti geregelt werden konnte.

Theoretisch liegt der Mittelpunkt der Hysterese bei:

$$U_m = U_s \cdot R_2 / (R_1 + R_2) = 2,08 \text{ V}$$

Die Abweichung der Flanken vom Mittelpunkt ergibt sich theoretisch durch:

$$U_x = \pm U_{sat} \cdot R_1 / (R_1 + R_2) = 0,109 \text{ V} \quad U_H = 2 \cdot U_x$$

wobei idealerweise U_{sat} als die Betriebsspannung des OPV gesetzt wird.

Wie man erkennt wurden diese Werte im Rahmen der Messungenauigkeiten auch real gemessen. Die Abweichungen vom theoretischen Wert lassen sich teilweise dadurch erklären, dass die Sättigungsspannung in der Realität nicht der Betriebsspannung entspricht, sondern betragsmäßig etwas kleiner ist. Weiterhin spielen auch Messfehler eine große Rolle.

Aufgabe 4b:

Das maximale gemessene Tastverhältnis des Komparators ohne Hysterese von $TV = 10,11$ liegt bei $U_s = 1,921$ V. Als minimales Tastverhältnis wurde $TV = 0,1$ bei $U_s = -1,966$ V ermittelt. Oberhalb bzw. unterhalb dieser Grenzen finden keine Schaltvorgänge statt, da die Schaltschwelle nicht mehr im Bereich der Eingangsspannung liegt. Grund für die Begrenzung des Tastverhältnisses ist auch der endliche Anstieg der Flanken des OPV.

Im Vergleich erhält man bei dem Schmitt-Trigger mit Hysterese ein maximales Tastverhältnis von $TV = 8,09$ bei $U_s = 1,853$ V und ein minimales Tastverhältnis von $TV = 0,21$ bei $U_s = -1,906$ V. Weiterhin sind Eingangs- und Ausgangssignal phasenverschoben, was auf die Hysterese zurück zu führen ist.

Theoretisch ist das Tastverhältnis von der Frequenz des Eingangssignals unabhängig, durch eine endliche Schaltzeit und der slew rate sind aber keine sinnvollen Ergebnisse bei hohen Frequenzen zu erwarten.