

Praktikum Elektronik

Versuch OPV-Anwendungen

1 Allgemeine Hinweise

Die **Aufgaben zur Versuchsvorbereitung sind von jedem Studenten selbst als Hausaufgaben schriftlich auszuführen** und dem gemeinsamen Protokoll der Versuchsgruppe beizufügen. Sie werden in die Bewertung des Versuches einbezogen.

Ebenso zur Vorbereitung des Praktikums gehört, sich über **alle Versuchsaufgaben** zu informieren und diese, soweit das möglich ist, theoretisch vorzubereiten (Formeln, Diagramme, Tabellen, Literatur).

Jede Praktikumsgruppe fertigt ein Protokoll an, welches innerhalb von 2 Wochen abzugeben ist. Die im Versuch erforderlichen Diagramme sind auf Millimeterpapier zu zeichnen oder computergestützt anzufertigen.

Die Versuchsanordnung (Analog-Board) ist bereits vom Versuch „OPV-Grundsaltungen“ bekannt. In der dortigen Anleitung finden Sie auch nähere Informationen zum verwendeten Operationsverstärker $\mu\text{A} 741$.

Bei der Versuchsdurchführung sind die Messschaltungen mit Hilfe der am Versuchsplatz vorliegenden Versuchsanordnung aufzubauen.

Alle notwendigen Verbindungskabel und -brücken sowie sämtliche Adapter sind in dem zum Versuch gehörenden Zubehörkasten vorhanden.

Bei der Versuchsdurchführung sind die einzelnen Aufgaben mit der in der Anleitung genannten Schaltungskennzeichnung (z. B. „Schaltung 3“) durchzuführen.

Beachten Sie:

- Auf- und Abbau der Messschaltungen und alle Veränderungen an der Messschaltung dürfen nur im spannungslosen Zustand vorgenommen werden.
- Die Polarität der unsymmetrischen (einseitig geerdeten) elektronischen Messgeräte ist zu beachten (insbesondere bei der Zwei-Kanal-Messung mittels Oszilloskop).

Die Berechnungen, Erläuterungen und das Ausfüllen der Diagramme soll möglichst direkt in der Anleitung erfolgen. Für die dazu notwendigen Ausführungen ist in den Vorbereitungs- bzw. Messaufgaben ausreichend Platz vorhanden (als Gleichungsbruchstück oder eingerahmt). Die notwendigen Diagrammvordrucke befinden sich im Anhang.

2 Vorbereitungsarbeiten

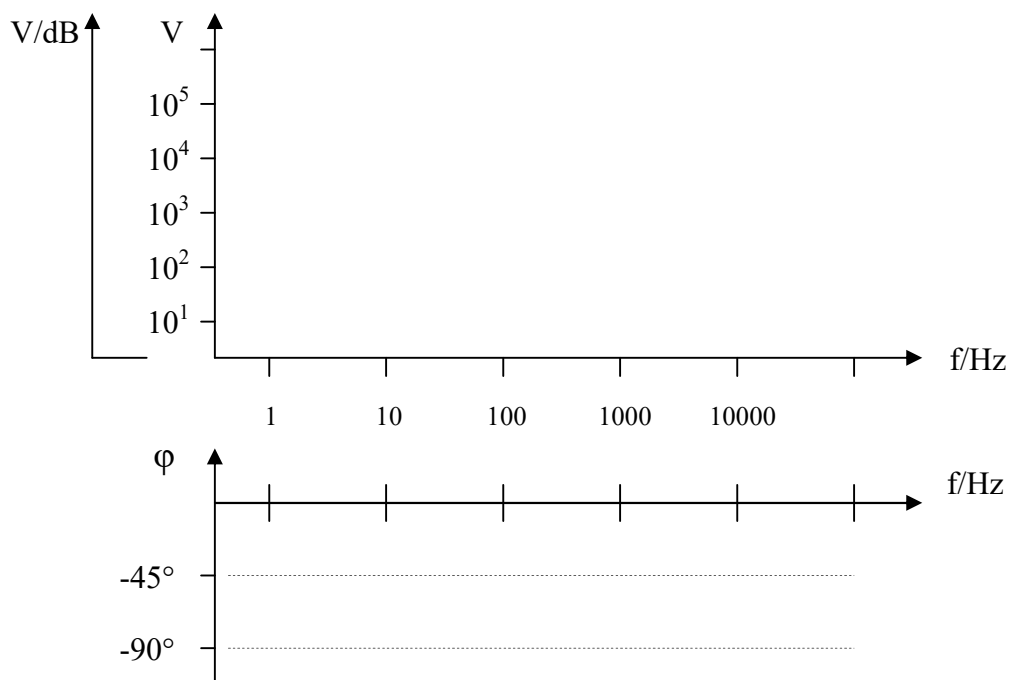
2.1 Berechnen Sie die Kleinsignalkreisgrenzfrequenz ω_g eines Differenzverstärkers für den gilt:

$$\text{für } V_D = \frac{100000}{1 + j \frac{\omega}{2\pi \cdot 10s^{-1}}}$$

$\frac{V_{\omega_g}}{V_{D(0)}} = \qquad \qquad \qquad \omega_g = \qquad \qquad \qquad s^{-1}$

2.2 Gegeben ist ein OPV mit einer Leerlaufverstärkung von **50 000** und einem Verstärkung-Bandbreite-Produkt von **5 · 10⁶ Hz**.

2.2.1 Zeichnen Sie den Verstärkungsfrequenzgang und das Bodediagramm für den nicht gegengekoppelten (nicht invertierenden) Verstärker. Ergänzen Sie die dB-Skala.

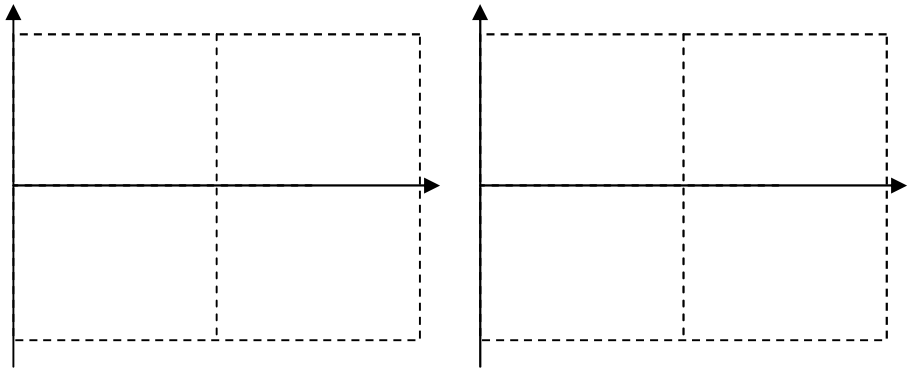


2.2.2 Mit diesem OPV soll ein Verstärker mit $V=100$ realisiert werden. Lesen Sie aus dem Diagramm die dabei erreichbare Grenzfrequenz ab und zeichnen Sie diese in 2.2.1 ein.

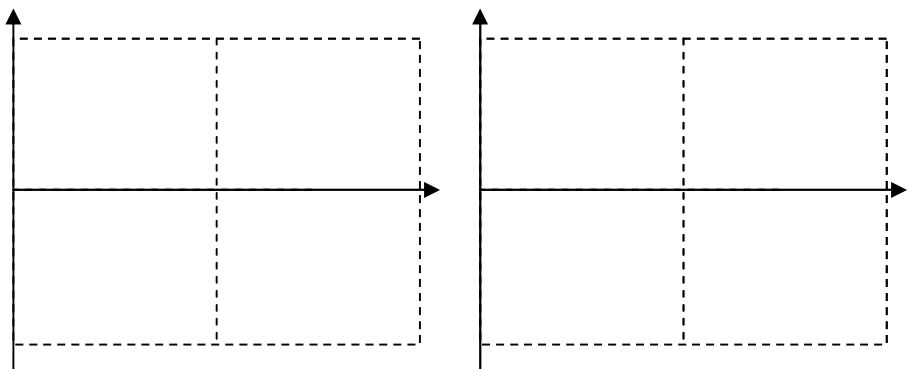
2.3 Machen Sie sich mit der Funktionsweise und den entsprechenden theoretischen Zusammenhängen der in Abschnitt 3 angegebenen Versuchsschaltungen vertraut.

2.4 Zeichnen Sie folgende Signale vor und nach Durchlaufen einer **idealen nichtinvertierenden** Differenzierschaltung (prinzipiell).

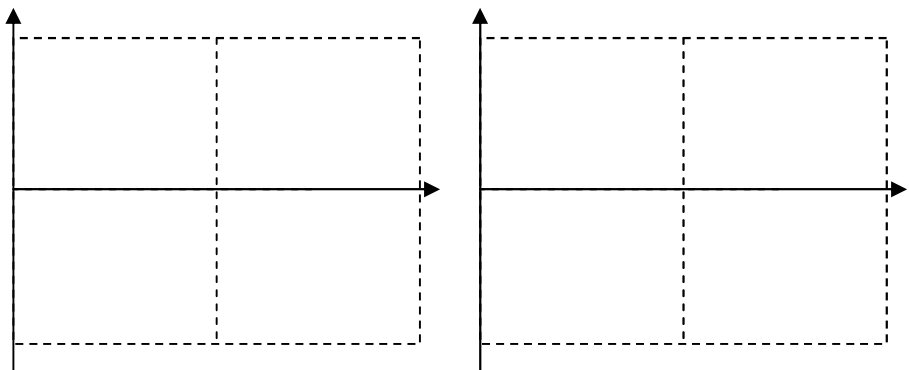
Sinus:



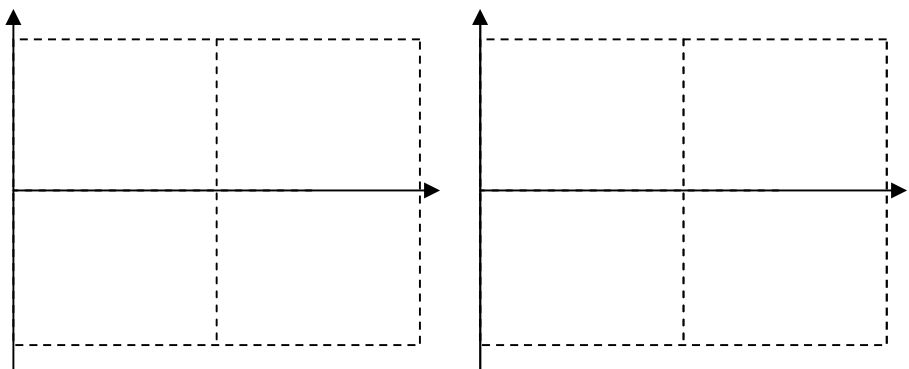
Rechteck:



Dreieck:

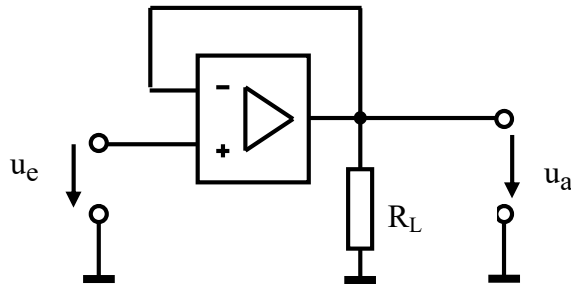


Rampe:



3 Versuchsaufgaben

3.1 Impedanzwandler (Spannungsfolger)



Schaltung 1 verwenden

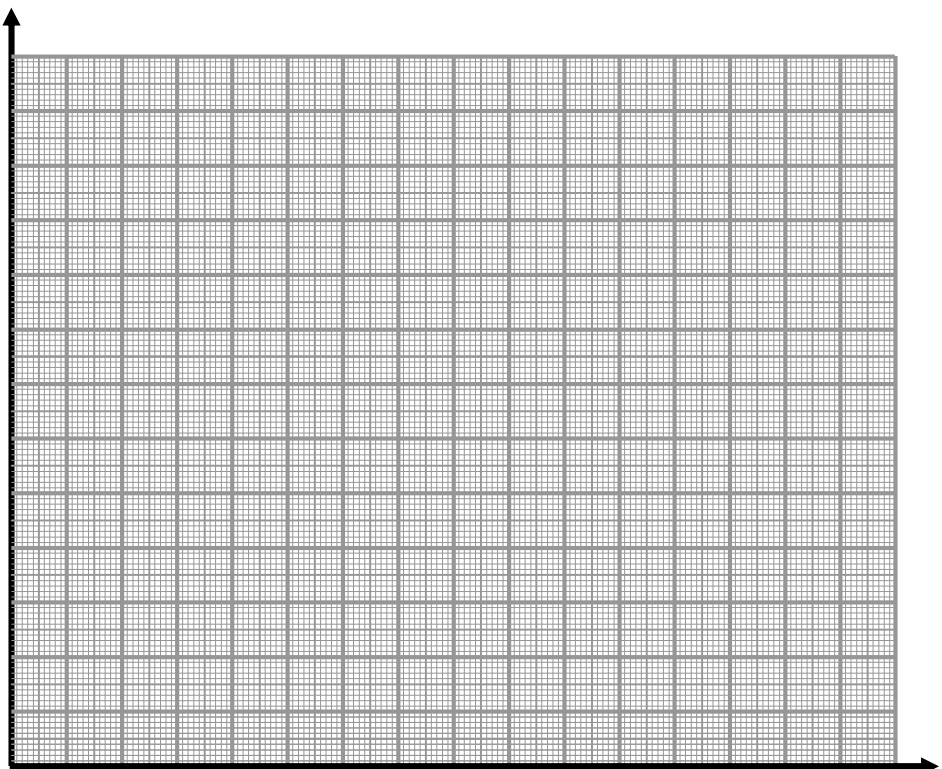
*) Hinweis:
Verwenden Sie den Funktionsgenerator bei Bedarf im Leerlauf (ohne externem Anpassungs-R)

3.1.1 Messen Sie die Ausgangsspannung als Funktion der Eingangsspannung bei unterschiedlichen Signalfrequenzen und tragen Sie die Ergebnisse in das Diagramm ein

$u_e = 50 \text{ mV} \dots 5 \text{ V}^*$
 $R_L = 10 \text{ k}\Omega$

a) $f = 1 \text{ kHz}$

b) $f = 70 \text{ kHz}$



3.1.2 Beobachten Sie die Signale oszilloskopisch. Erklären Sie die Veränderungen (bei b) der Signalform des Ausgangssignales nach Überschreiten des linearen Bereiches. Ermitteln Sie für Anstieg und Abfall die Slew-Rate. Vergleichen Sie die Werte mit dem Datenblatt.

Gründe für Veränderungen des Ausgangssignales:

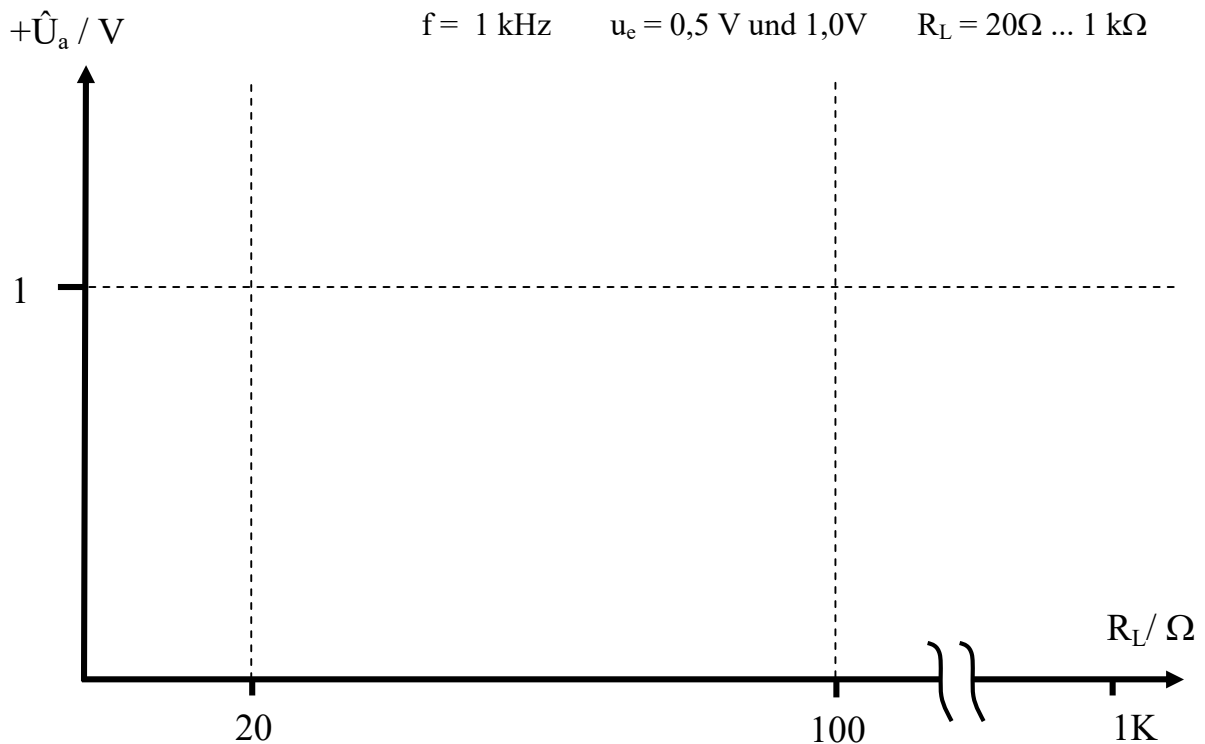
gemessen:

Slew-Rate (Anstieg): $\text{V}/\mu\text{s}$

Slew-Rate (Abfall): $\text{V}/\mu\text{s}$

3.1.3 Untersuchen Sie mittels Oszi die Abhängigkeit des Ausgangssignales vom Lastwiderstand R_L (externe Stellwiderstände verwenden) für zwei Eingangsspannungen.

a)



b)

u_e / V	R_{LAST} / Ω	$+\hat{U}_a / \text{V}$	$+\hat{I}_a / \text{mA}$ (Rechnung)
0,5	20		
1,0	30		
2,0	50		

Diskutieren Sie die Ergebnisse (Kurve und Tabelle)! Ab wann bricht die Ausgangsspannung zusammen? Warum? In welchem Betriebszustand befindet sich der Ausgang des OPV dabei?
(Hinweis: Innenschaltung des OPV)

Erläuterung: $+\hat{U}_a$... positive max. Ausgangsspannung, $+\hat{I}_a$... positiver max. Ausgangsstrom

3.1.4 Messen Sie die Ausgangsspannung bei zwei unterschiedlichen Innenwiderständen r_g des Generators

Hinweis: für b) Reihenschaltung mit zusätzlichem $R=1M\Omega$

- a) $f = 1 \text{ kHz}$ $u_e = 0,5 \text{ V}$ $R_L = 10 \text{ k}\Omega$ $r_g = 50 \Omega$
 b) $f = 1 \text{ kHz}$ $u_e = 0,5 \text{ V}$ $R_L = 10 \text{ k}\Omega$ $r_g = 1 \text{ M}\Omega$

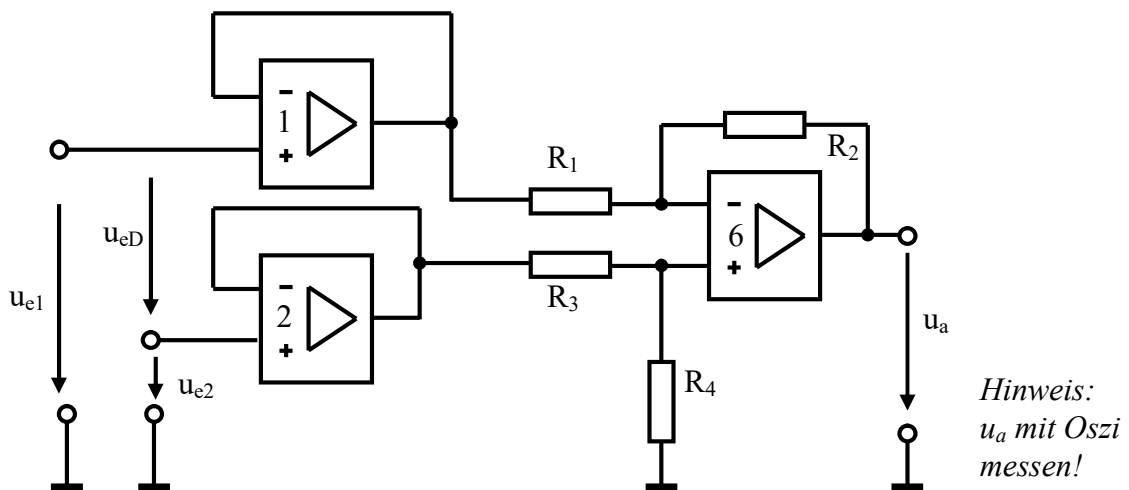
a) $u_{\text{out}} =$	V	b) $u_{\text{out}} =$	V
-----------------------	---	-----------------------	---

c) Schätzen Sie aus den Ergebnissen von a) und b) die Größe des wirksamen Eingangswiderstandes des OPV's ab

r_{in} (grobe Abschätzung mit „ \gg “ / „ \ll “):

3.2 Instrumentationsverstärker

Schaltung 1, 2 und 6 verwenden



Der Differenzverstärker wird durch zwei vorgeschaltete Spannungsfollower zu einem Instrumentationsverstärker ergänzt. Zusätzlich zu den Messungen ist die Ausgangsspannung oszilloskopisch zu beobachten.

$R_1 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 100 \text{ k}\Omega$, \rightarrow $R_3 =$ $\text{k}\Omega$, $R_4 =$ $\text{k}\Omega$

3.2.1 Ermitteln Sie die Differenzverstärkung durch Messung von Ein- und Ausgangsspannung

bei: $f = 1 \text{ kHz}$

Hinweis: Beachten Sie bei c) die Notwendigkeit der „massefreien“ Einkopplung der Eingangsspannung! (Der FuG hat, anders als der Oszi, keine galvanische Verbindung zwischen Signalmasse und Geräteschutzleiter)

a)	$u_{e1} = 0,1\text{V}$	$u_{e2} = 0\text{V}$	$u_a =$ V	$V_D =$ V	$=$ dB
b)	$u_{e1} = 0\text{V}$	$u_{e2} = 0,1\text{V}$	$u_a =$ V	$V_D =$ V	$=$ dB
c)	$u_{eD} = 0,1\text{V}$		$u_a =$ V	$V_D =$ V	$=$ dB

3.2.2 Ermitteln Sie die Gleichtaktverstärkung und Gleichtaktunterdrückung*

bei: $f = 1 \text{ kHz}$ $u_{e1} = u_{e2} = 1 \text{ V}$

$u_a =$ V	$V_{GI} =$ V	$=$ dB	$V_{CMR} =$ V	$=$ dB
-----------	--------------	--------	---------------	--------

*) : Common-mode rejection ratio, $V_{CMR} = V_D / V_{GI}$, vergleiche Datenblatt!

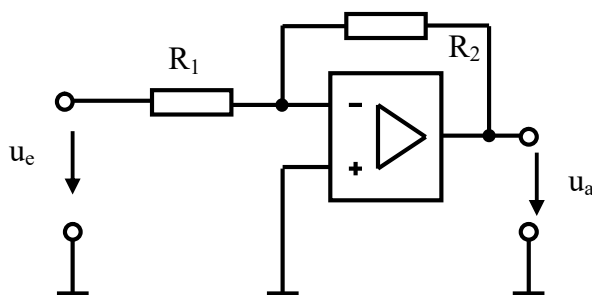
3.2.3 Ermitteln Sie die Verstärkung für

$f = 1 \text{ kHz}$ $u_{e1} = u_{e2} = 0,1 \text{ V}$ $u_{e2}(t) = -u_{e1}(t)$

*Hinweis: Für die Signalinvertierung ist zusätzlich **Schaltung 3** zu verwenden.*

$u_a =$ V
$V_{1,2,3,6} =$ V $=$ dB

3.3 Kleinsignalgrenzfrequenz in Abhängigkeit von der Verstärkung



Schaltung 2 verwenden

3.3.1 Bestimmen Sie die 3dB-Grenzfrequenz f_g des invertierenden Verstärkers (Schaltung 2) mit den Beschaltungen a) und b) unter folgenden Bedingungen:

$u_e = 20 \text{ mV}$ $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$ a) $R_2 = 1 \text{ M}\Omega$, b) $R_2 = 100 \text{ k}\Omega$

Hinweis: Realisieren Sie R_2 bei b) unter Verwendung des externen Festwiderstandes $115 \text{ k}\Omega$ (nicht Dekade!) als Parallelschaltung zu dem im Analogboard vorhandenen $R = 1 \text{ M}\Omega$.

$V_a = 100$	Kriterium für Grenzfrequenz: $u_{\text{out}}(f_g) = \quad \cdot u_{\text{out}}(1 \text{ kHz})$	$f_{g(a)2} =$
$V_b = 10$		$f_{g(b)2} =$

3.3.2 Berechnen Sie die Spannungsverstärkung V_u für $f = 1 \text{ kHz}$

$V_{u(a)2} = \frac{u_{\text{out}(a)}}{u_e} = \quad = \quad \text{dB}$
$V_{u(b)2} = \frac{u_{\text{out}(b)}}{u_e} = \quad = \quad \text{dB}$

3.3.3 Wiederholen Sie mit Schaltung 4 die Messungen laut 3.3.1 und 3.3.2

$f_{g(a)4} =$	$V_{u(a)4} =$
$f_{g(b)4} =$	$V_{u(b)4} =$

Schaltung 4 verwenden

3.3.4 Schalten Sie die unter 3.3.1b und 3.3.3b realisierten Verstärker in Reihe und bestimmen Sie für diese Anordnung f_g und V_u

$f_{g2,4} =$
$V_{u2,4} =$

3.3.5 Berechnen Sie mit den unter 3.3.1b und 3.3.3b ermittelten Werten die Größen

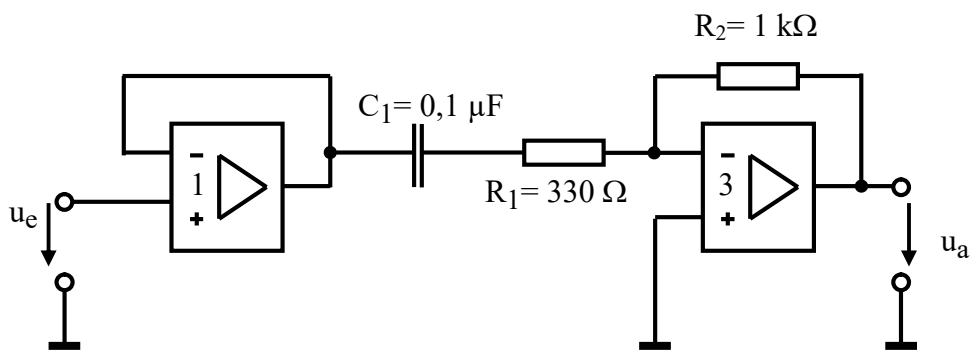
$1/f_{g(\text{gesamt})} = \sqrt{1/f_{g(b)2}^2 + 1/f_{g(b)4}^2} = \quad , \quad f_{g(\text{gesamt})} =$
$V_{u(\text{gesamt})} = V_{u(b)2} \cdot V_{u(b)4} =$

und vergleichen Sie diese Werte mit den Mess-Ergebnissen von 3.3.4

3.3.6 Vergleichen Sie die Ergebnisse von 3.3.1 und 3.3.4

$f_{g(b)2} = \quad \cdot f_{g2,4}$	$V_{u(b)2} = \quad \cdot V_{u2,4}$
------------------------------------	------------------------------------

3.4 Differenzierschaltung

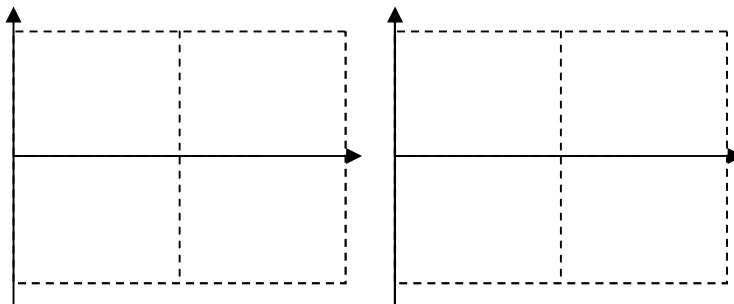


Schaltung 1 und 3 verwenden

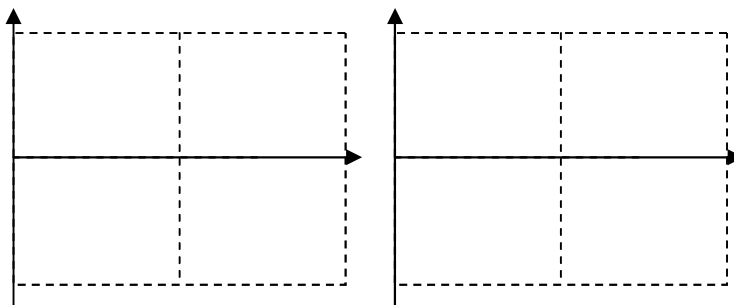
3.4.1 Speisen Sie die angegebene Differenzierschaltung mit Sinus-, Rechteck- und Rampensignalen ($f = 0,2 \dots 2,5 \text{ kHz}$, $U_{pp} = 1 \text{ V}$) und überprüfen Sie Ein- und Ausgangssignal mittels einer zweikanaligen Darstellung am Oszilloskop.

3.4.2 Zeichnen Sie die oszillografisch ermittelten Signale phasenrichtig(!) in die folgenden Diagramme ein ($f = 1 \text{ kHz}$):

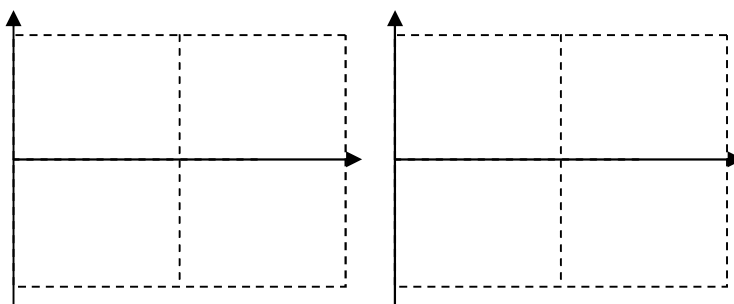
Sinus:



Rechteck:

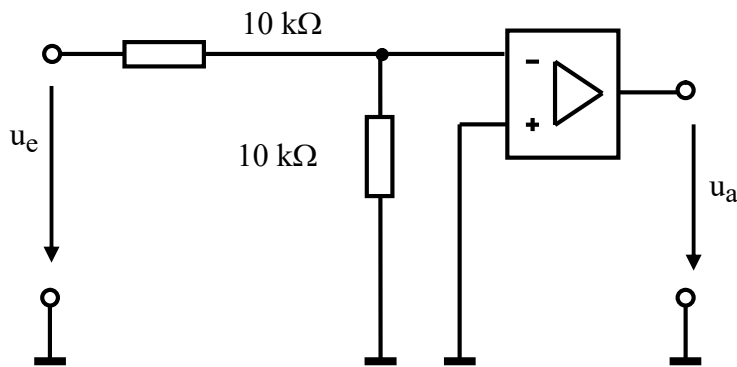


Rampe:



3.5 Komparator

Verwenden Sie für diese Aufgabe die Messfunktionen des Oszilloskopes (wichtig: DC-Kopplung). Beginnen Sie für die Eingangsspannung mit einem symmetrischen Sinussignal:



Schaltung 6 verwenden

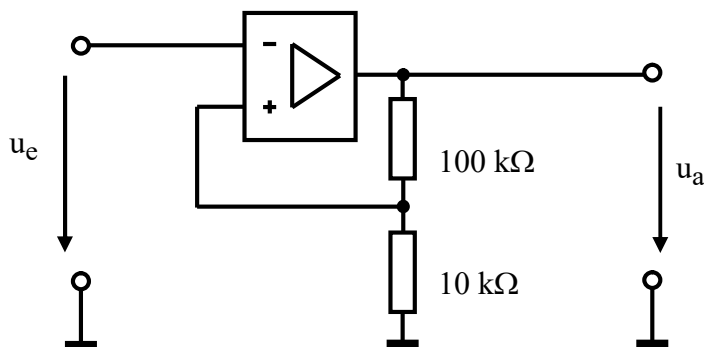
$f = 30 \text{ Hz}$,
 $u_e = 50 \text{ mV}_{pp}$

(1) Ermitteln Sie die Umschaltpegel!

$U_{e(HL)} = \quad \text{mV}$ $U_{e(LH)} = \quad \text{mV}$

(2) Beobachten Sie die Signale unter Hinzufügung verschiedener Offsetspannungen und diskutieren Sie die Änderungen des Ausgangssignales (Tastverhältnis)!

3.6 Schmitt-Trigger



Schaltung 6 verwenden

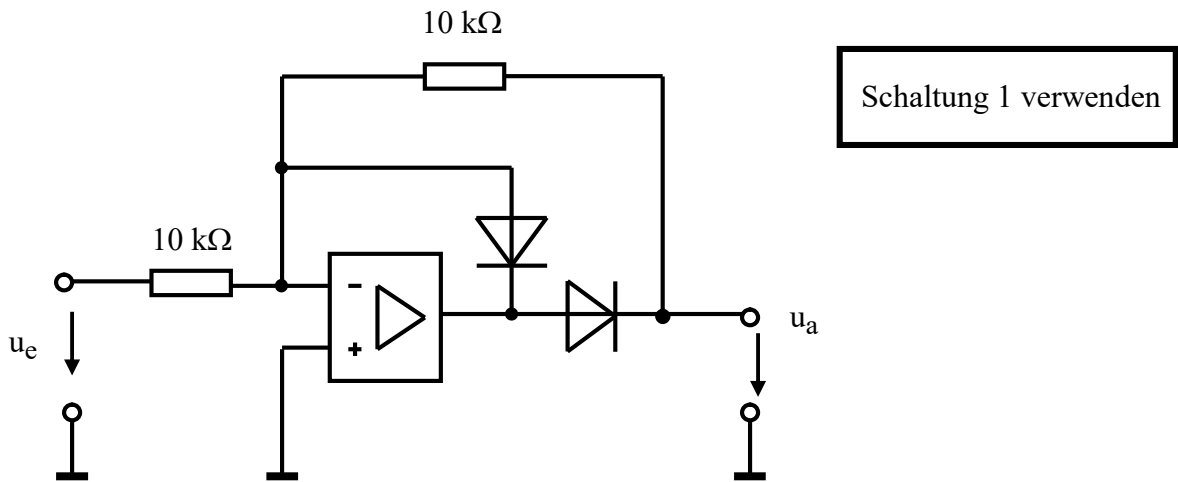
$f = 1 \text{ kHz}$,
 $u_e = 3 \text{ V}$

(1) Messen Sie die Umschaltpunkte. Nennen Sie den Grund für die Hysterese.

$U_{e(HL)} = \quad \text{V}$
 $U_{e(LH)} = \quad \text{V}$

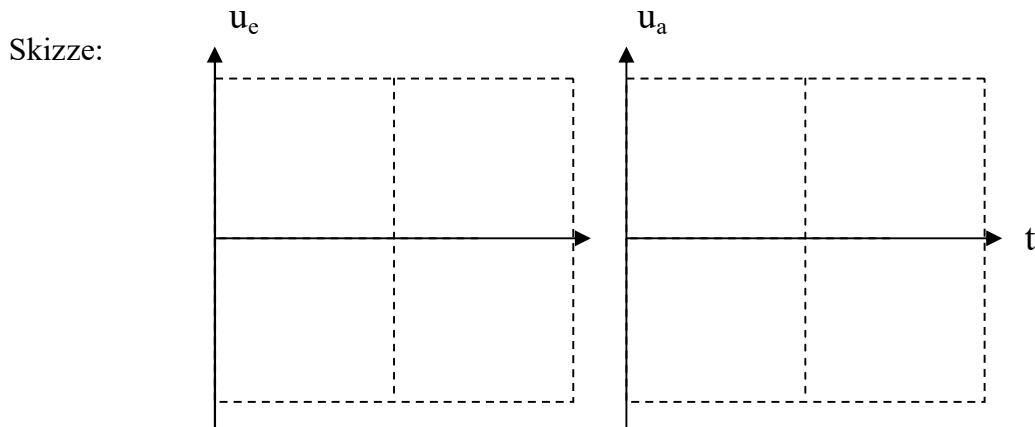
(2) Stellen Sie die Hysterese-Funktion des Schmitt-Triggers mittels *Lissajous*-Figur (Oszi) dar.

3.7 Präzisionsgleichrichter (Einweggleichrichter ohne Schleusenspannung)



Beobachten Sie oszilloskopisch das Ausgangssignal des Präzisionseinweggleichrichters und bestimmen Sie für zwei Eingangsspannungswerte die Peakspannung und den arithmetischen Mittelwert des Ausgangssignals bei $f = 1 \text{ kHz}$.

Hinweis: Beachten Sie „DC“-Kopplung am Oszi!



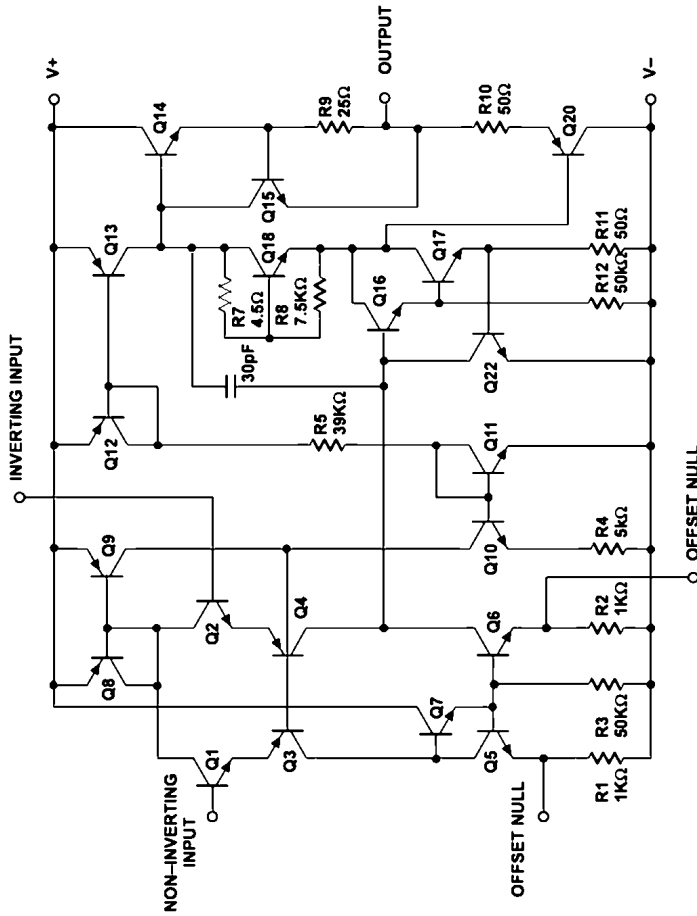
$u_{e1} = 0,2 \text{ V}$	$U_{a1p} =$	$ \bar{u}_{a1} =$
$u_{e2} = 2 \text{ V}$	$U_{a2p} =$	$ \bar{u}_{a2} =$

(„p“... Peak, Spitzenwert)

ELECTRICAL CHARACTERISTICS
 $V_{CC} = \pm 15V$, $T_{amb} = +25^{\circ}C$ (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_{io}	Input Offset Voltage ($R_S \leq 10k\Omega$) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		1	5	mV
I_{io}	Input Offset Current $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		2	30 70	nA
I_{ib}	Input Bias Current $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		10	100 200	nA
A_{vd}	Large Signal Voltage Gain ($V_o = \pm 10V$, $R_L = 2k\Omega$) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	50 25	200		V/mV
SVR	Supply Voltage Rejection Ratio ($R_S \leq 10k\Omega$) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	77 77	90		dB
I_{CC}	Supply Current, no load $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		1.7	2.8 3.3	mA

V_{icm}	Input Common Mode Voltage Range $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	± 12 ± 12			V
CMR	Common Mode Rejection Ratio ($R_S \leq 10k\Omega$) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	70 70	90		dB
I_{os}	Output short Circuit Current $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	10	25	40	mA
$\pm V_{opp}$	Output Voltage Swing $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	$R_L = 10k\Omega$ $R_L = 2k\Omega$ $R_L = 10k\Omega$ $R_L = 2k\Omega$	14 13		V
SR	Slew Rate $V_i = \pm 10V$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, unity Gain	0.25	0.5		V/ μs
t_r	Rise Time $V_i = \pm 20mV$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, unity Gain		0.3		μs
K_{ov}	Overshoot $V_i = 20mV$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, unity Gain		5		%
R_i	Input Resistance	0.3	2		M Ω
GBP	Gain Bandwidth Product $V_i = 10mV$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, $f = 100kHz$	0.7	1		MHZ
THD	Total Harmonic Distortion $f = 1kHz$, $A_v = 20dB$, $R_L = 2k\Omega$, $V_o = 2V_{pp}$, $C_L = 100pF$, $T_{amb} = +25^{\circ}C$		0.06		%
e_n	Equivalent Input Noise Voltage $f = 1kHz$, $R_S = 100\Omega$		23		$\frac{nV}{\sqrt{Hz}}$



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	UA741M	UA741	UA741C	Unit
V_{CC}	Supply voltage		± 22		V
V_{id}	Differential Input Voltage		± 30		V
V_i	Input Voltage		± 15		V
P_{tot}	Power Dissipation 1)		500		mW
	Output Short-circuit Duration		Infinite		
T_{oper}	Operating Free-air Temperature Range	-55 to +125	-40 to +105	0 to +70	$^{\circ}C$
T_{stg}	Storage Temperature Range		-65 to +150		$^{\circ}C$

1. Power dissipation must be considered to ensure maximum junction temperature (Tj) is not exceeded.