

Operationsverstärker 1

Ziel des Versuches:

Der Aufbau und das Ausmessen von Operationsverstärkerschaltungen soll einen Einblick in die Welt der analog Elektronik geben. Zudem soll die Bedienung von analogen und digitalen Oszilloskopen vermittelt werden.

Bitte lesen Sie die ersten beiden Seiten Theorie, bevor Sie mit den Übungen beginnen.

Im FP dauert der Versuch etwa 2 Nachmittage und es sind folgende Aufgaben zu lösen:

Aufgabe 1 (Kennenlernen der Geräte, nicht schriftlich!)

Aufgabe 2 oder 3 (nicht beide)

Aufgabe 4 oder 5 (nicht beide)

Grundlagen Operationsverstärker:

Der Operationsverstärker (OP) ist ein sehr vielseitiges elektronisches Bauteil das in der analogen Schaltungstechnik zum Einsatz kommt. Er ist in der Lage bestimmte mathematische Operationen auf elektrische Signale anzuwenden – deshalb der Name.

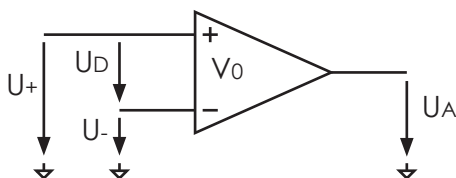


Bild 1: Idealer OP

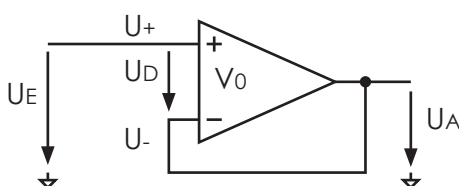
$$U_A = U_D \cdot V_0$$

$$U_D = U_+ - U_- \text{ (Differenzspannung)}$$

$$V_0 = \text{Leerlaufverstärkung}$$

Ein idealer OP verstärkt die Spannungsdifferenz der beiden Eingänge unendlich gross und gibt das Resultat auf den Ausgang. In die Eingänge fliesst dabei kein Strom und der Ausgang kann beliebig viel Spannung und Strom abgeben.

Damit ein OP sinnvoll funktionieren kann, muss er mit zusätzlichen Bauteilen beschaltet werden. Dabei spielt die Rückkopplung vom Ausgang zum invertierenden Eingang eine wichtige Rolle.



$$U_A = U_D \cdot V_0$$

$$U_A = (U_E - U_A) \cdot V_0$$

$$U_A = U_E / (1 + 1/V_0)$$

$$U_A = U_E \quad U_D = 0V \quad (\text{für } V_0 \gg 1)$$

Bild 2: OP mit direkter Rückkopplung (Spannungsfolger: $V=1$)

Hier ist die einfachste Beschaltung eines OP gezeigt (Spgs.-Verstärkung $V=1$).

Bei funktionierender Rückkopplung beträgt die Spannungsdifferenz der beiden Eingänge praktisch Null Volt, da die Leerlaufverstärkung sehr gross ist (z.B. 10^6). Dies ist sehr nützlich um OP-Schaltungen zu verstehen und Berechnungen anzustellen.

Für einen realen Op gibt es einige Einschränkungen, die in einem Datenblatt festgehalten sind. Je nach Anwendung gibt es verschiedene Typen. Für die folgenden Versuche wird der CA3140E verwendet (siehe CA3140-datasheet). Weiterführende Informationen und Übungen im Buch: Operationsverstärker von Joachim Federau im Kapitel 1+7.

Grundlagen Oszilloskop:

Das Oszilloskop stellt den zeitlichen Verlauf von elektrischen Spannungen auf einem Bildschirm dar.

Die „alten“ analogen Oszilloskope (Kathodenstrahl Oszillograph, KO) arbeiten mit einem fokussierten Elektronenstrahl der wiederholt von links nach rechts über einen Phosphorschirm geführt wird, und von der Mess-Spannung vertikal abgelenkt, ein nachleuchtendes Bild auf dem Schirm hinterlässt. Sie sind nur für sich zeitlich wiederholende Signale geeignet, haben dafür aber eine sehr rasche Reaktion und eine stufenfreie Anzeige.

Digitaloszilloskope digitalisieren mit sehr schnellen AD-Wandlern die Mess-Spannung und stellen das Resultat auf einem Videodisplay dar. Gegenüber den analogen Geräten bieten sie viel mehr Messmöglichkeiten und die Messdaten können auf einen Computer übertragen werden. Auch einmalige Signale können gemessen werden, weil das Bild gespeichert wird. Bei der Reaktion und der Auflösung sind sie den analogen Geräten unterlegen.

Die Bedienung der Oszilloskope ist bei beiden Typen sehr ähnlich.

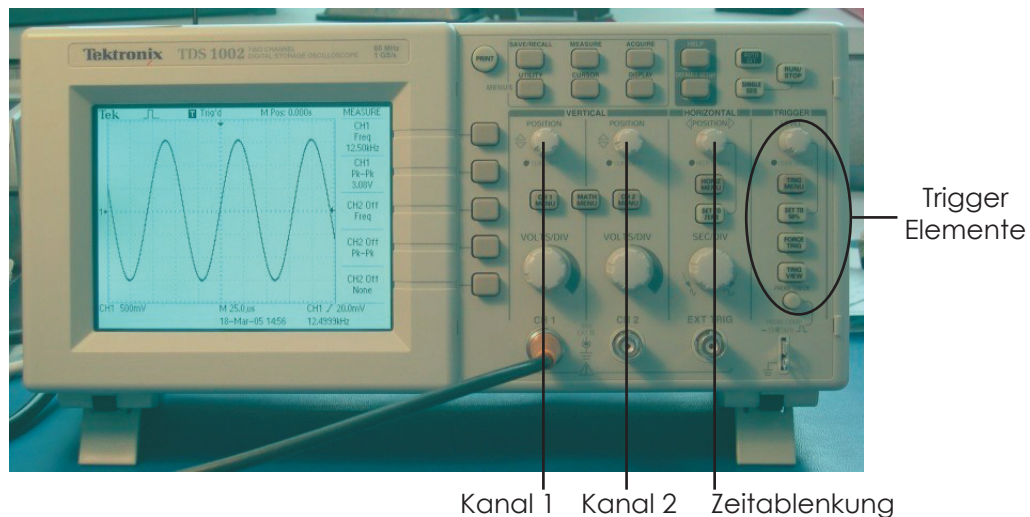


Bild 3: Digital-Oszilloskop Hauptbedienungs-elemente

Vertikalelemente:

Die meisten Oszilloskope besitzen 2 Spannungseingänge mit Empfindlichkeitseinstellung (Volt/Division), Position und wählbarer Eingangskopplung (DC, AC, GND). Beim analogen Gerät muss man noch wählen wie die 2 Kanäle gleichzeitig dargestellt werden sollen (alternating oder chopper).

Horizontalelemente:

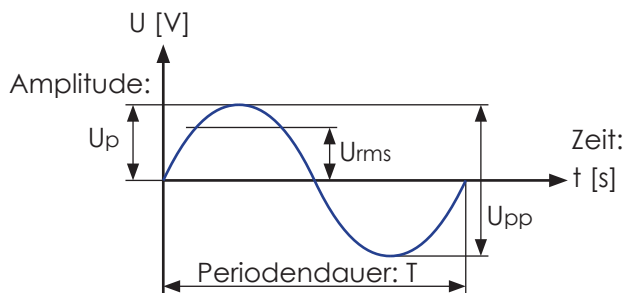
Die Zeitablenkung ist für beide Kanäle gemeinsam (Zeit/Division).

Damit auf dem Bildschirm ein stehendes Bild erscheint, muss mit dem sogenannten Trigger das repetierende Mess-Signal stets zum richtigen Zeitpunkt gemessen werden. In der Regel genügt dazu der „Auto“-Mode, die Wahl der Flankenrichtung und der Pegel. Für schwierige Fälle können noch weitere Modi (Normal, Single), andere Kopplungsarten, oder ein externes Triggersignal gewählt werden.

1. Aufgabe: Funktionsgenerator und Oszilloskop

Verwendete Geräte: - Funktionsgenerator: GW instek GFG-8219A
- Oszilloskop Analog: Hameg HM204-2
- Oszilloskop Digital: Tektronix TDS1002
- Verkabelung: 2x BNC-Kabel, 1x BNC T-Stück

Verbinden Sie den Ausgang des Funktionsgenerators mittels T-Stück und BNC-Kabel jeweils mit dem Kanal 1 des analogen und des digitalen Oszilloskopes.
Der Zweck dieses Versuches ist, die Geräte kennenzulernen. Bitte spielen Sie mit den Möglichkeiten der Geräte. Die folgenden Übungen sind als Anregung gedacht.



Definitionen:

Frequenz: $f = 1/T$
 $U_{pp} = 2 * U_p$
 $U_{rms} = U_p / \sqrt{2}$ (bei Sinus)

Der RMS-Wert erzeugt in einem Verbraucher die gleiche Leistung wie der Gleichstromwert.

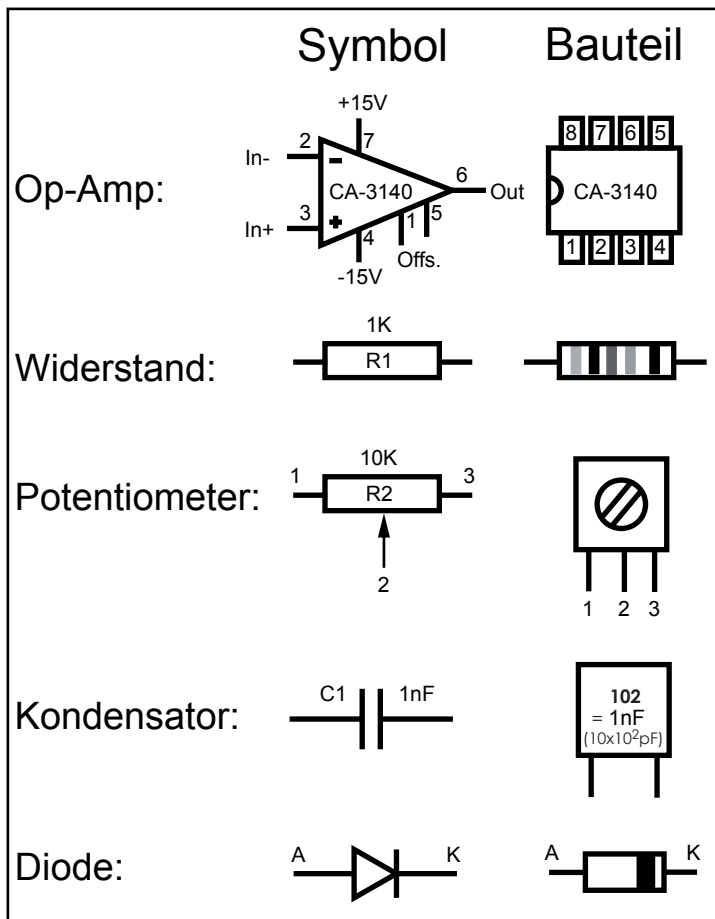
- a) Stellen Sie den Generator auf die maximale Amplitude (1kHz Rechteck) und versuchen Sie mit beiden Oszilloskopen ein stehendes Bild zu bekommen (Trigger).
Wichtige Triggereinstellungen: Quelle (**Ch1...**), Kopplung (**DC, AC...**), Mode (**Auto/Nor-**mal), Level (drehen), Flanke (steigend oder fallend).
Der Triggerzeitpunkt auf dem Schirm ist beim analogen Gerät immer links, beim digitalen einstellbar (Pfeil), aber am Besten in der Mitte (Vorgeschichte sichtbar).

Messen Sie die Amplitude und die Periodendauer. Zu Beachten sind dabei die „V/Division“ (Proben-Faktor = x1) resp. die „Time/Division“ Einstellungen.

Tipp: beim digitalen Gerät gibt es im Menü „Measure“ automatische Messungen, oder im Menü „Cursor“ Cursormessungen, welche die Messungen erleichtern. Daten können abgespeichert, und über RS232 auf den Computer übertragen werden. (Programm: Tektronix „Open Choice Desktop“ V1.1)

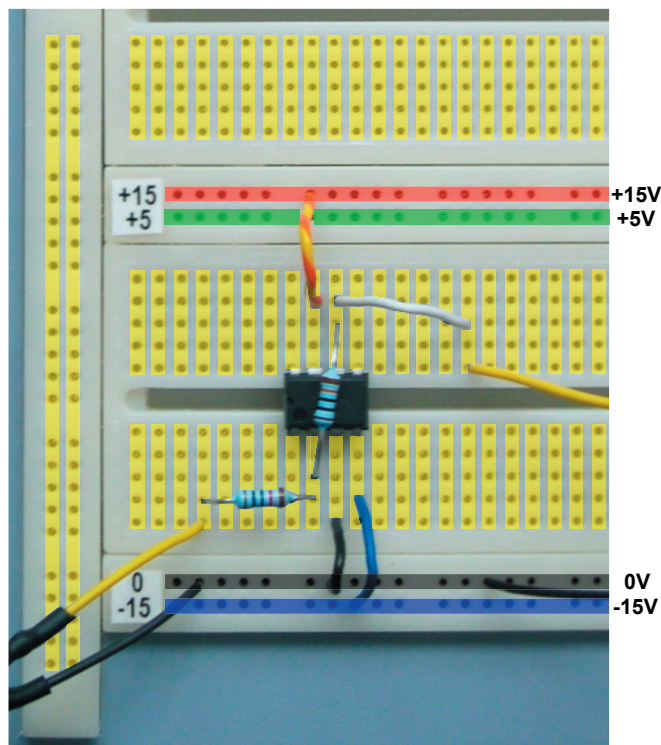
- b) Generieren Sie eine 50kHz Sinusschwingung mit einer AC-Amplitude von 100mVpp und einer DC-Offsetspannung von +1V. Skizzieren und vermessen Sie die Kurve.
Tipp: mit Einkopplung „AC“ sieht man nur die AC-Komponente.
- c) Versuchen Sie den Generator auf die kleinstmögliche Amplitude zu stellen (ca. 14mVpp). $f=1\text{kHz}$ / Sinus. (**Tipp:** -20dB entspricht einer Abschwächung durch 10)
Welches Oszilloskop bildet sauberer ab?
Begrenzen Sie beim Digitalscope die Bandbreite im „Ch1-Menü“ auf 20MHz.
Spielen Sie mit der „Average-Funktion“ im Menü „Acquire“ des Digitalscopes.
Ändern sie die Kurvenform bei eingeschaltetem Average. Was fällt auf?
- d) Messen Sie gleichzeitig auf einem Oszilloskop mit 2 Kanälen. An der Rückseite des Generators befindet sich noch ein Rechteckausgang (TTL-Out).
Versuchen Sie einmal sehr tiefe Frequenzen zu messen (z.B. 1Hz).
Mit welchem Oszilloskop gelingt das am Besten?

Hilfsblatt: Operationsverstärker 1

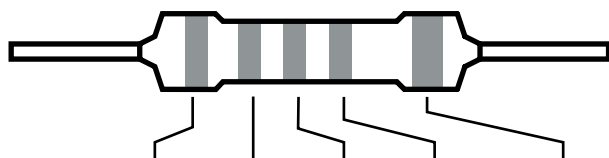


Steckbrett (Ausschnitt)

Interne Verbindungen farblich markiert



Widerstands-Farbcode



Farbe	1.Ziffer	2.Ziffer	3.Ziffer	Multiplikator	Toleranz	(T. -Koeff.)
ohne					+/- 20%	
silber				10^{-2}	+/- 10%	
gold				10^{-1}	+/- 5%	
schwarz	0	0	0	10^0		200ppm/K
braun	1	1	1	10^1	+/- 1%	100ppm/K
rot	2	2	2	10^2	+/- 2%	50ppm/K
orange	3	3	3	10^3		15ppm/K
gelb	4	4	4	10^4		25ppm/K
grün	5	5	5	10^5	+/- 0.5%	
blau	6	6	6	10^6	+/- 0.25%	10ppm/K
violett	7	7	7	10^7	+/- 0.1%	5ppm/K
grau	8	8	8	10^8	+/- 0.05%	
weiss	9	9	9	10^9		

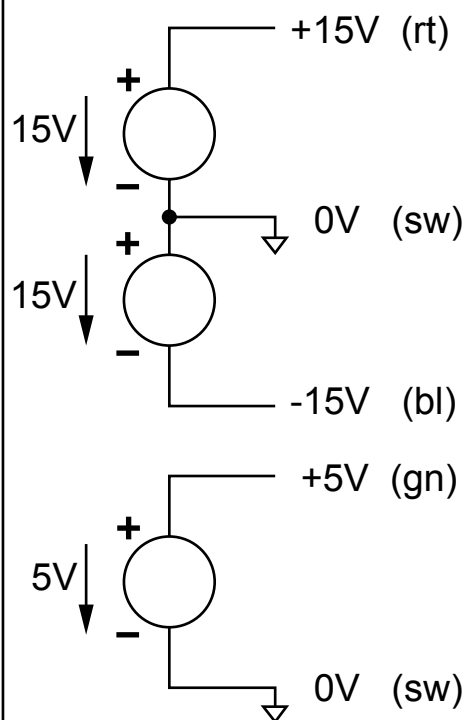
Widerstandsreihen - Normwerte

E 6	E 12
100	100
	120
150	150
	180
220	220
	270

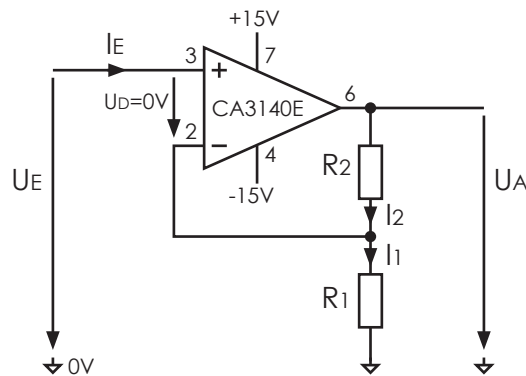
E 6	E 12
330	330
	390
470	470
	560
680	680
	820

Werte sind mit ganzzahligen pos. oder neg. Potenzen von 10 zu multiplizieren.

3-fach Speisung



2. Aufgabe: Nicht-Invertierender Verstärker



- a) Leiten Sie die Formel für die Ausgangsspannung U_A in Funktion von U_E , R_1 und R_2 her.
Tipp: $U_D=0V$; Wie gross ist die Spannung über R_1 ?

- b) Wie gross ist die minimale Spannungsverstärkung V_{MIN} der Schaltung? ($V=U_A/U_E$)
 Welche Widerstände würden Sie für diese Verstärkung wählen?

- c) Dimensionieren Sie die Widerstände R_1 und R_2 für eine Verstärkung von 10.
 Verfügbare Widerstände: 1k 2k 10k 15k 18k 20k 30k 39k 68k 100k 200k 1M.
Tipp: I_2 sollte nicht grösser als 1mA werden ($U_{E_{max}}=+/-10V$).

- d) Bauen Sie die Schaltung auf dem Steckbrett auf und legen Sie den Eingang mit einem Draht auf 0V. Bevor sie das Netzgerät mit dem Testbrett verbinden, bitte +15V und -15V überprüfen. Nach dem Anschliessen der Speisung sollte U_A etwa 0V sein.

- e) Schliessen Sie den Eingang nun an den Funktionsgenerator und kontrollieren sowohl Ein- wie Ausgangsspannung der Schaltung mit dem Oszilloskop. Stimmt die Verstärkung?

Tipp: wählen Sie: $U_E=100mV_p$ (peak Amplitude) $f=1kHz$ Kurvenform=Sinus

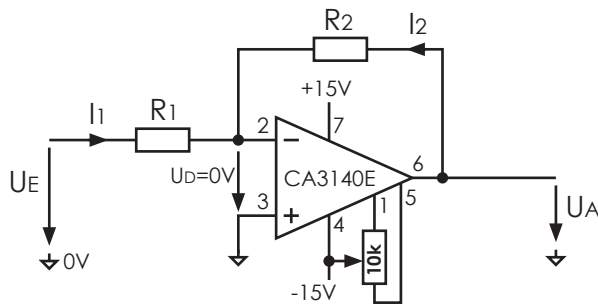
Achtung! Spannungen müssen mit dem Oszilloskop immer gegenüber 0V gemessen werden, weil alle Eingänge am Gerät geerdet sind. Sonst kann es Kurzschlüsse zur Folge haben!

- f) Wie gross ist die Bandbreite der Schaltung? Die Bandbreite entspricht der Frequenz, bei der die Amplitude auf den Faktor $1/\sqrt{2}$ gegenüber der gewünschten Amplitude absinkt (Sinus). Überlegen Sie sich, auf welchem Punkt der Kurve die Schaltung arbeitet (Fig. 6 im CA3140 Datenblatt)

- g) Überlegungsaufgabe: Wie gross ist der Eingangswiderstand der Schaltung?
 $R_{IN} = U_E/I_E$

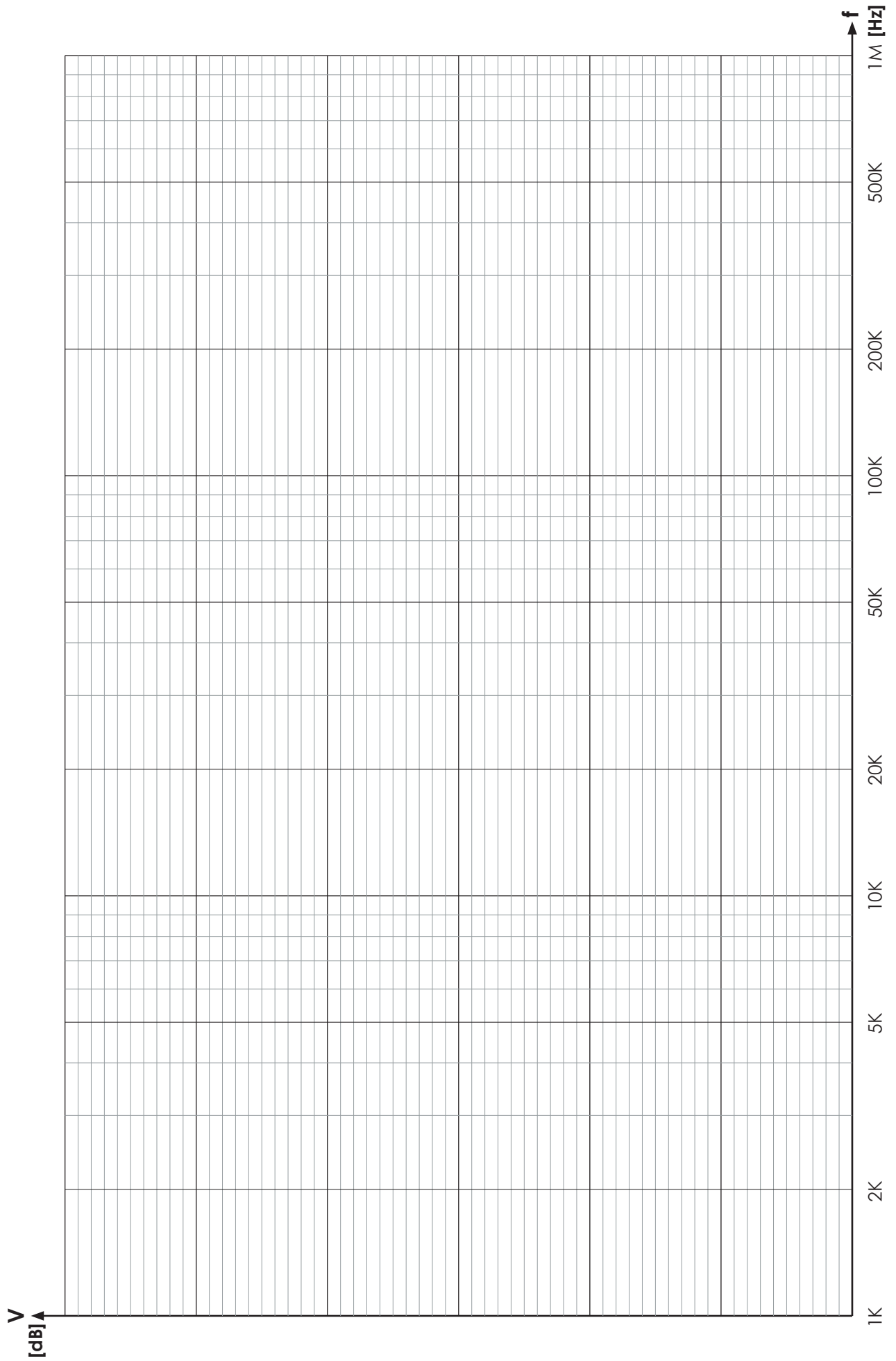
Weiterführende Informationen und Übungen im Buch: Operationsverstärker von Joachim Federau im Kapitel 2.7.

3. Aufgabe: Invertierender Verstärker

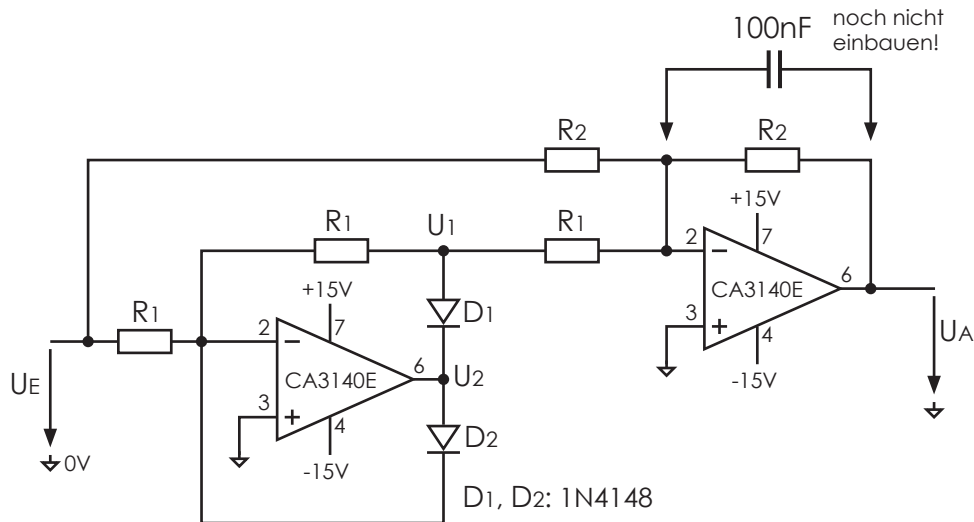


- Leiten Sie die Formel für die Ausgangsspannung U_A in Funktion von U_E , R_1 und R_2 her.
Tipp: $U_D=0V$; Wie gross ist die Spannung über R_1 ? Wohin fliesst I_1 ?
- Wie gross ist die minimale Spannungsverstärkung V_{MIN} der Schaltung? ($V=U_A/U_E$)
Welche Widerstände würden Sie für diese Verstärkung wählen? Ist das sinnvoll?
- Dimensionieren Sie die Widerstände R_1 und R_2 für eine Verstärkung von 10 und 100.
Verfügbare Widerstände: 1k 2k 10k 15k 18k 20k 30k 39k 68k 100k 200k 1M.
Tipp: I_1 sollte nicht grösser als 1mA werden ($U_{E_{max}}=\pm 10V$).
- Bauen Sie die Schaltung auf dem Steckbrett auf (ohne das 10k Potentiometer).
Bevor sie das Netzgerät mit dem Testbrett verbinden, bitte +15V und -15V überprüfen.
Nach dem Anschliessen der Speisung sollte U_A etwa 0V sein (Eingang offen).
Messen Sie die Ausgangsspannung U_A bei beiden Verstärkungen, sowohl mit offenem Eingang, als auch mit auf 0V geerdetem Eingang.
Was stellen Sie fest? Welche Ursache könnte dahinter stecken?
Bauen Sie nun das 10k Potentiometer ein und versuchen Sie mit dem Schraubenzieher U_A auf 0V (bei $V=100$, Eingang auf 0V) einzustellen.
- Stellen sie den Funktionsgenerator auf „10mVp / f=1kHz / Sinus“ und schliessen Sie diesen am Eingang der Schaltung an.
Messen Sie den Frequenzgang (U_A [dB] in Funktion von f [1kHz bis 1MHz]) und tragen Sie die Kurven für $V=10$ und $V=100$ im logarithmischen Blatt ein (f : 1, 2, 5, 10... genügt).
(nachfolgende Seite ausdrucken)
Tipp: $U_A[\text{dB}] = 20 \cdot \log(U_A/U_E)$ 0dB entspricht $V=1$, 20dB; $V=10$, -40dB; $V=0.01$ usw.
Das Digital-Oszilloskop besitzt übrigens eine Amplitudenmessung (Measure)
- Bestimmen Sie die „slew rate“ (max. Anstiegsgeschwindigkeit des Ausgangs) in [V/us] bei $V=10$.
Tipp: Wählen Sie $U_E=400\text{mVp}$, Rechteckspannung

Weiterführende Informationen und Übungen im Buch: Operationsverstärker von Joachim Federau im Kapitel 2.1.



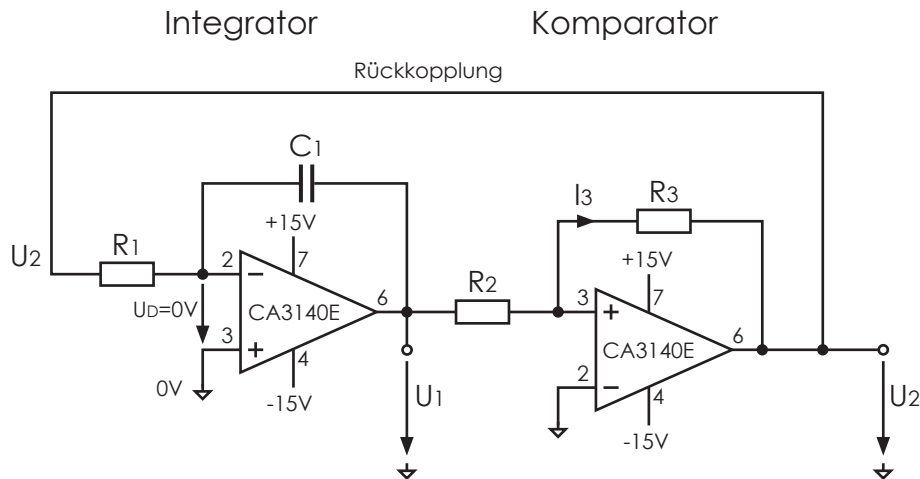
4. Aufgabe: Präzisions-Gleichrichter



- Bauen Sie den Präzisionsgleichrichter auf und legen Sie mit dem Funktionsgenerator eine Sinusspannung an den Eingang. ($R_1 = 10K$, $R_2 = 20K$)
- Messen Sie mit dem Oszilloskop U_E , U_1 , U_2 , und U_A bei $f=1kHz$ und skizzieren Sie diese in Funktion der Zeit auf. (DC-Offset vorher am Funktionsgenerator ausgleichen)
- Wiederholen Sie die Messung b) mit Skizze, jedoch bei $f=100kHz$. Was könnte für die Signalverschlechterung verantwortlich sein?
- Schalten Sie parallel zum Rückkopplungswiderstand R_2 des Ausgangsverstärkers eine Kapazität von 100nF und spielen Sie etwas mit der Frequenzeinstellung. Was stellen Sie fest?
Berechnen Sie den arithmetischen Mittelwert einer gleichgerichteten Sinusschwingung und vergleichen Sie diesen mit der Ausgangsspannung.

Weiterführende Informationen und Übungen im Buch: Halbleiter-Schaltungstechnik von Tietze Schenk Kapitel 20.3.1 (S. 1081-1083).

5. Aufgabe: Oszillator



- Der OP rechts ist als Komparator geschaltet; erkennbar an der positiven Rückkopplung. Liegt am + Eingang eine etwas positivere Spannung als am - Eingang an, so geht der Ausgang wegen der hohen Leerlaufverstärkung in den positiven Anschlag (knapp +15V). Bei negativer Spannung ist es umgekehrt. Dimensionieren Sie R_2 und R_3 des Komparators damit er erst bei U_1 von etwa $\pm 10V$ den Ausgang schaltet (I_3 soll max. etwa 1mA betragen).
- Bauen Sie **nur** den Komparator auf, und testen sie die Schaltunkte mit dem Funktionsgenerator (Sinus oder Dreiecksspannung mit DC-Offset verwenden). Warum sind die Beträge der beiden Schaltunkte ungleich? Wie können Sie das mit dem Einbau einer roten Leuchtdiode ausgleichen ($U_D=1.6V$, langes Bein = Anode)?
- Der OP links ist als invertierender Integrator geschaltet. Leiten Sie die Formel für U_1 in Funktion von U_2 , R_1 , C_1 und t her.
Tipp: Bei einem Kondensator gilt: $U_C = (1/C) \cdot \int I_C \cdot dt$ (ohne Anfangsladung)
- Überlegen Sie sich wie die Schaltung des Oszillators funktioniert. Skizzieren Sie U_2 und U_1 in Funktion von t . Wie gross ist die Amplitude von U_1 bzw. U_2 ? Dimensionieren sie R_1 ($C_1=1nF$), damit der Oszillator mit 10kHz schwingt.
Tipp: Lösen Sie das Integral von c) für einen Zeitabschnitt während U_2 konstant ist.
- Bauen Sie den Integrator auf, und testen Sie ihn zuerst **alleine** mit dem Funktionsgenerator aus. Warum scheint der Integrator nicht so richtig zu funktionieren?
- Hängen Sie nun die vollständige Schaltung zusammen, so wie oben abgebildet. Messen und skizzieren Sie nun U_1 und U_2 in Funktion der Zeit. Stimmen die Kurven mit d) überein? Stimmt auch die Frequenz und die Amplitude von U_1 ?
- Halbieren Sie den Wert von R_2 . Wie wirkt sich das auf Amplitude und Frequenz von U_1 aus?
Welches andere Bauteil müssen Sie wie ändern, damit die Frequenz wieder auf 10kHz zurückkehrt, ohne dabei die Amplitude zu verändern?

Weiterführende Infos und Übungen im Buch: Operationsverstärker von Joachim Federau im Kapitel 4.71 + Halbleiter-Schaltungstechnik, Tietze Schenk Kapitel 14.5.2 (S. 892).

Materialliste für Versuche:

Operationsverstärker1 (Oszilloskop), Operationsverstärker 2 (LabView), gemeinsam

Geräte:	Computer:	Mitbenutzung Compi Fluoreszenzversuch (vis a vis) Computer inkl. Tastatur, Maus, Monitor, NI PCI6221
	Funktionsgenerator:	GW instek GFG-8219A
	Netzgerät:	N1-13 Cool (oder vergleichbar)
	Oszilloskop Analog:	Hameg HM204-2
	Oszilloskop Digital:	Tektronix TDS1002
		32MB CompactFlash Speicherkarte
	Steckbrett:	K&H SD-35 Solderless Breadboard
	Anschlussbox NI:	SC-2345 inkl. Steckbrett klein und Anschlusskabel
	Digitales Voltmeter:	2x Voltcraft VC160 (inkl. Messkabel)
	Werkzeugbox:	1x graue Kunststoff-Schachtel
Kabel:	in Kunststoffkiste gross:	2x BNC-BNC Kabel 1m
		2x BNC-Drahtanschluss 1m
		2x Bananen-Drahtanschluss
		4x Bananenkabel 0.5m (sw, rt, gn, bl)
		1x RS232 Kabel (TDS1002)
Bücher:	in Kunststoffkiste gross:	Halbleiter-Schaltungstechnik, Tietze Schenk
		Operationsverstärker, Joachim Federau
		Labview, Das Grundlagenbuch, Rahman Jamal
		Labview für Studenten, Rahman Jamal
		Bedienungsanleitung GW instek GFG-8219A Bedienungsanleitung Tektronix TDS1002
CD's:	in Kunststoffkiste gross:	CD1: Tektronix „Open Choice“
		CD2: Tietze Schenk
		CD3: Labview für Studenten
Kleinteile:	Schachtel 1:	Widerstände
		Trimm-Potentiometer: 10K
		Kondensatoren
	Schachtel 2:	2x Schraubenzieher (Trimpoti)
		2x BNC T-Adapter
		8x CA3140E Operationsverstärker
		Dioden, Leuchtdioden
		diverse Verbindungsdrähtchen

Die Bücher und die Kleinteile werden **gemeinsam** mit dem Versuch Operationsverstärker 2 (LabView) genutzt. Bitte überprüfen Sie am Ende des Versuchs die Vollständigkeit des Materials, Danke!

Links: Datenblatt: CA3140