

Elektrotechnisches Grundlagenpraktikum

Operationsverstärker I

- Grundsaltungen
- Eigenschaften

Inhaltsverzeichnis

1	Lernziele	3
2	Literatur	3
3	Geräte	3
4	Theoretische Grundlagen	4
4.1	Einleitung	4
4.2	Der Operationsverstärker - ein Differenzverstärker	4
4.3	Eigenschaften integrierter Operationsverstärker	6
4.3.1	Differenzverstärkung	6
4.3.2	Offsetspannung, Gleichtaktunterdrückung	7
4.4	Prinzip der Gegenkopplung	9
5	Eigenschaften einfacher OP-Schaltungen	10
5.1	Der nicht-invertierende Spannungsverstärker	10
5.2	Der nicht-invertierende Impedanzwandler	12
5.3	Der invertierende Spannungsverstärker mit Gegenkopplung	12
5.4	Der Schmitt-Trigger – ein Schwellwertschalter mit Hysterese	14
6	Versuchsdurchführung	17
6.1	Aufgabe 1: Ermittlung der Kenndaten des OP	18
6.2	Aufgabe 2: Der Operationsverstärker als Inverter	18
6.2.1	Aufgabe 2a: Frequenzgang der Inverterschaltung	19
6.2.2	Aufgabe 2b: Frequenzgang der Leerlauf-Differenzverstärkung	20
6.3	Aufgabe 3: Frequenzgang des invertierenden Spannungsverstärkers	22
6.4	Aufgabe 4: Verstärkung eines schwachen Sensorsignales	23
6.4.1	Aufgabe 4a: Verstärkung mit invertierendem Verstärker	23
6.4.2	Aufgabe 4b: Verstärkung mit nicht-invertierendem Verstärker	24
6.5	Aufgabe 5: Entwurf eines Schmitt-Trigger Schwellwertschalters	25
	ETGP - Versuchsfeedback	27
	Anhang A Datenblatt OP uA741 (Auszug)	29

6 Versuchsdurchführung

Bild 6.1 zeigt die Versuchsbox für die Versuche Operationsverstärker I und II. Der Operationsverstärker vom Typ 741 wird in den Sockel in der Mitte der Frontplatte gesteckt. Hierbei ist auf die Kennung zu achten, die auch am Gehäuse des OP vorhanden ist.

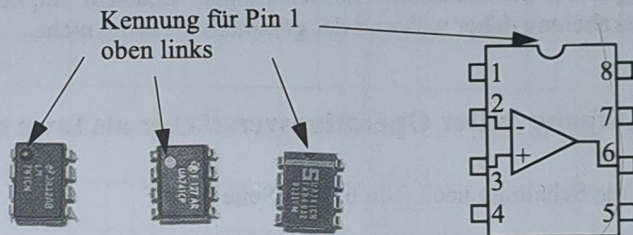
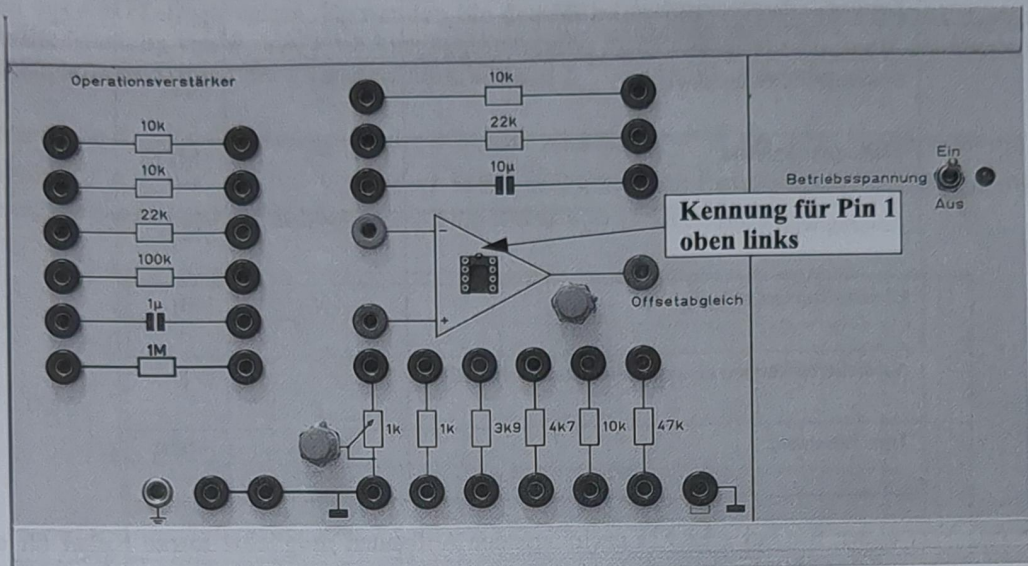


Bild 6.1 Versuchsbox Operationsverstärker (oben). Operationsverstärker-IC Typ 741 im Dual-In-Line (DIL) Gehäuse verschiedener Hersteller (unten)

Die Betriebsspannungen +15V und -15V sind im Versuchsaufbau intern bereits angeschlossen und müssen nach der Verkabelung am Schalter "Betriebsspannung" eingeschaltet werden.

Hinweis: Der Regler Offsetabgleich wird erst beim Versuch Operationsverstärker II benötigt.

Die vollständige Anschlussbelegung des IC kann dem Datenblatt in Anhang A entnommen werden. Alle Wechselspannungsmessungen sind mit dem Oszilloskop vorzunehmen. Sein Eingangswiderstand ist ausreichend hochohmig. Es lässt sich auch stets kontrollieren, ob die Ausgangsspannung noch unverzerrt ist, oder ob eine zu große Eingangsspannung verwendet wird. Verwenden Sie daher das Oszilloskop im Zweikanalbetrieb um die Eingangs- und Ausgangsspannung simultan darzustellen.

Stellen Sie den Funktionsgenerator zuerst auf seine Werkseinstellungen zurück. Beachten Sie hierzu die "Anleitung zum Funktionsgenerator" im vorderen Teil B des Skripts.

6.1 Aufgabe 1: Ermittlung der Kenndaten des OP

Bestimmen Sie die **typischen** Werte folgender Kenndaten ihres OP uA741C aus dem Datenblatt im Anhang:

Leerlauf-Differenzverstärkung bei 0 Hz	106	[dB]
Eingangs-Offset-Spannung	1	[mV]
Eingangswiderstand	2	[MΩ]
Ausgangswiderstand	75	[Ω]
Gleichtaktunterdrückung	90	[dB]
Aussteuerbarkeit bei einem Lastwiderstand von 10kΩ	+14	[V]
Transitfrequenz	1	[MHz]



Hinweis: Verwenden Sie bei **ALLEN** nachfolgenden Aufbauten **möglichst kurze Kabel** für die Verbindungen auf der Messbox! Die Schaltungen sind sehr empfindlich. Verändern oder berühren Sie die Verkabelung daher während der gesamten Messung nicht.

6.2 Aufgabe 2: Der Operationsverstärker als Inverter

Bauen Sie die Schaltung nach Bild 6.2 auf Seite 18 auf.

Für die frequenzabhängige Untersuchung der Schaltung wird diese mit einer sinusförmigen Wechselspannung gespeist. Die zu erfassenden Messgrößen sind die Amplituden der Spannungen.

Welche Näherungen dürfen Sie für die Herleitung der Übertragungsfunktion $\frac{\hat{u}_{out}}{\hat{u}_{in}}$ der Schaltung machen? Wie lautet die Übertragungsfunktion für niedrige Frequenzen?

Näherungen:

$$\frac{1}{\beta_D} \approx 0$$

$$\frac{\hat{u}_{out}}{\hat{u}_{in}} = v_r = -\frac{R_N}{R_1} = -1$$

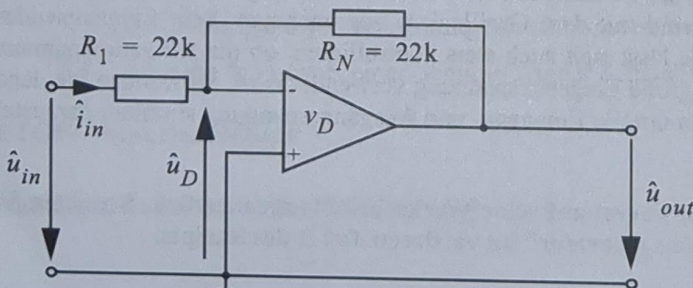


Bild 6.2 Gegenkopplungsschaltung als Inverter

6.2.1 Aufgabe 2a: Frequenzgang der Inverterschaltung

Speisen Sie die Schaltung mit einer sinusförmigen, offsetfreien Wechselspannung mit einer Amplitude von $\hat{u}_{in} = 150 \text{ mV}$ aus dem Funktionsgenerator.

Aktivieren Sie zur Einstellung der 150 mV Amplitude die -20 dB Dämpfung durch Herausziehen des AMPL-Drehreglers. Verwenden Sie den 50 Ω OUTPUT. Verwenden Sie AC-Coupling für die Messung von $\hat{u}_{out}$, da die Ausgangsspannung nicht offsetfrei sein kann. Im Bereich ab 1 MHz müssen Sie ggf. die Eingangsamplitude auf $\hat{u}_{in} = 150 \text{ mV}$ nachregeln. 

Messen Sie $\hat{u}_{out}$ am Oszilloskop mit der CURSOR MEASURE - V to GND Funktion für die Frequenzen: $f = 1 \text{ kHz}$, 10 kHz, 100 kHz – 1 MHz. Wählen Sie im Knickbereich und im Dämpfungsbereich selbst ausreichend Messpunkte um die Kurve korrekt zu erfassen.

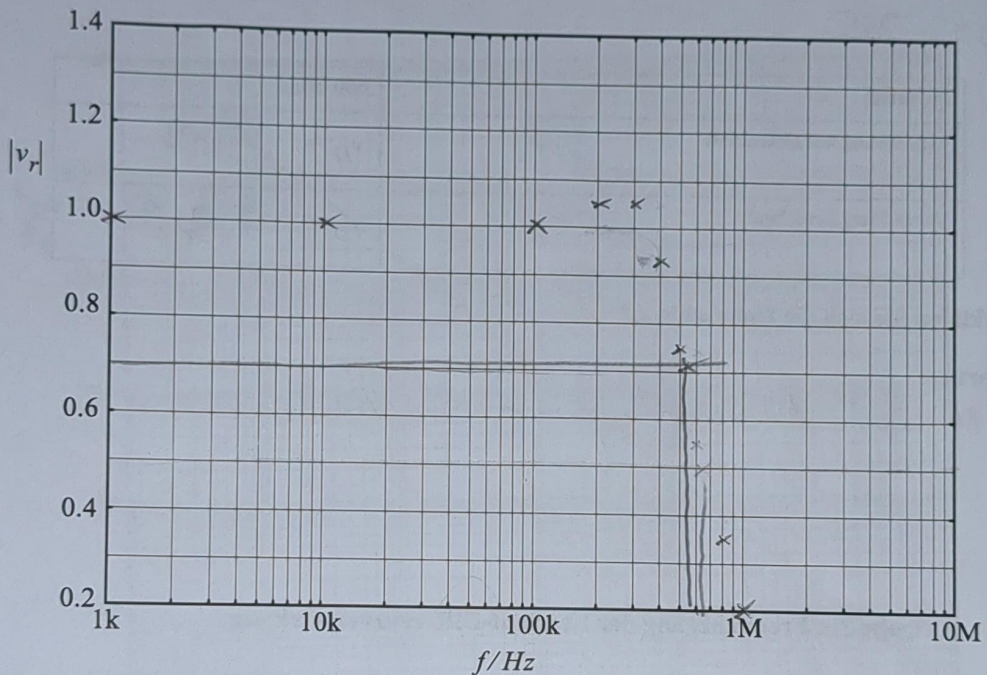


Bild 6.3 Frequenzgang der Inverterschaltung

Berechnen Sie die Verstärkung $|v_r|$ und tragen Sie diese in das Diagramm ein. Beobachten Sie die Phasenlage beider Spannungen.

Wo liegt die Grenzfrequenz der Schaltung? Tragen Sie diese in das Diagramm ein.

Antwort:

$$f_g = \sim 580 \text{ kHz}$$

Berechnen Sie die Leerlauf-Differenzverstärkungen v_D aus ihrer gemessenen Verstärkung v_r für 600 kHz. Stellen Sie dazu Gl. (5.13) auf Seite 13 nach v_D um. Beachten Sie die Vorzeichen der gemessenen Spannungen! Entnehmen Sie die Leerlauf-Differenzverstärkungen v_D aus dem OPEN-LOOP LARGE-SIGNAL DIFFERENTIAL VOLTAGE AMPLIFICATION Diagramm des Datenblatts im Anhang und vergleichen Sie die beiden Werte.

6. Kapitel: Versuchsdurchführung

Berechnung:

$$-\frac{U_{in}}{U_{out}} = \frac{1}{v_D} + \frac{R_1}{R_N} \left(1 + \frac{1}{v_D}\right)$$

$$= \frac{1}{v_D} \left(1 + \frac{R_1}{R_N}\right) + \frac{R_1}{R_N}$$

$$\frac{1}{v_D} = - \left(\frac{U_{in}}{U_{out}} + \frac{R_1}{R_N} \right) \cdot \frac{1}{1 + \frac{R_1}{R_N}}$$

$$v_D = -2,45$$

Frequenz	600 kHz
Verstärkung aus Datenblatt	$v_D = 5 \text{ dB}$
Verstärkung berechnet	$v_D = 7,8 \text{ dB}$

Wie erklären Sie sich die Unterschiede?

Antwort:

Mess- und Ableseungenauigkeiten + Verluste

6.2.2 Aufgabe 2b: Frequenzgang der Leerlauf-Differenzverstärkung

Im Datenblatt des OP haben Sie den typischen Verlauf der Leerlauf-Differenzverstärkung bereits kennengelernt. Diese soll nun für ihren OP vermessen werden. Da die Differenzspannung $\hat{u}_D$ sehr klein und deshalb sehr schlecht messbar ist, verwendet man die Schaltung nach Bild 6.4.

Welcher Zusammenhang besteht zwischen $\hat{u}_D$ und $\hat{u}_1$?

Antwort:

$$\frac{\hat{u}_D}{\hat{u}_1} = \frac{1 \text{ k}\Omega}{(47+1) \text{ k}\Omega} = \frac{1}{48} = 0,0208$$

Verwenden Sie die konstante Eingangsamplitude $\hat{u}_{in} \approx 3 \text{ V}$. Messen Sie jetzt die Spannungsamplituden $\hat{u}_{out}$ und $\hat{u}_1$ in Abhängigkeit von der Frequenz wieder mit dem Oszilloskop im Bereich 100 Hz – 1000 kHz, auch bei verrauschtem Signal, und tragen Sie $v_D(f) = \hat{u}_{out}/\hat{u}_D$ in das nachfolgende doppellogarithmische Papier ein. Um mögliche Offsetspannungen zu eliminieren messen Sie $\hat{u}_1$ und $\hat{u}_{out}$ am besten im **AC-coupling** Modus.

	100 Hz	1 kHz	10 kHz
u_{out}	3 V	3 V	
u_{in}	19 mV	182 mV	

6.2 Aufgabe 2: Der Operationsverstärker als Inverter

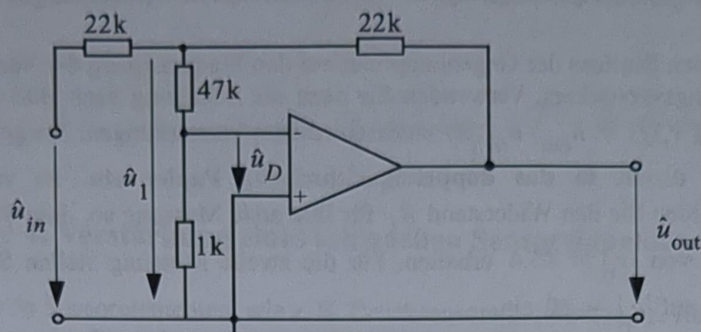


Bild 6.4 Messschaltung zur Bestimmung des Frequenzgangs der Leerlauf-Differenzverstärkung

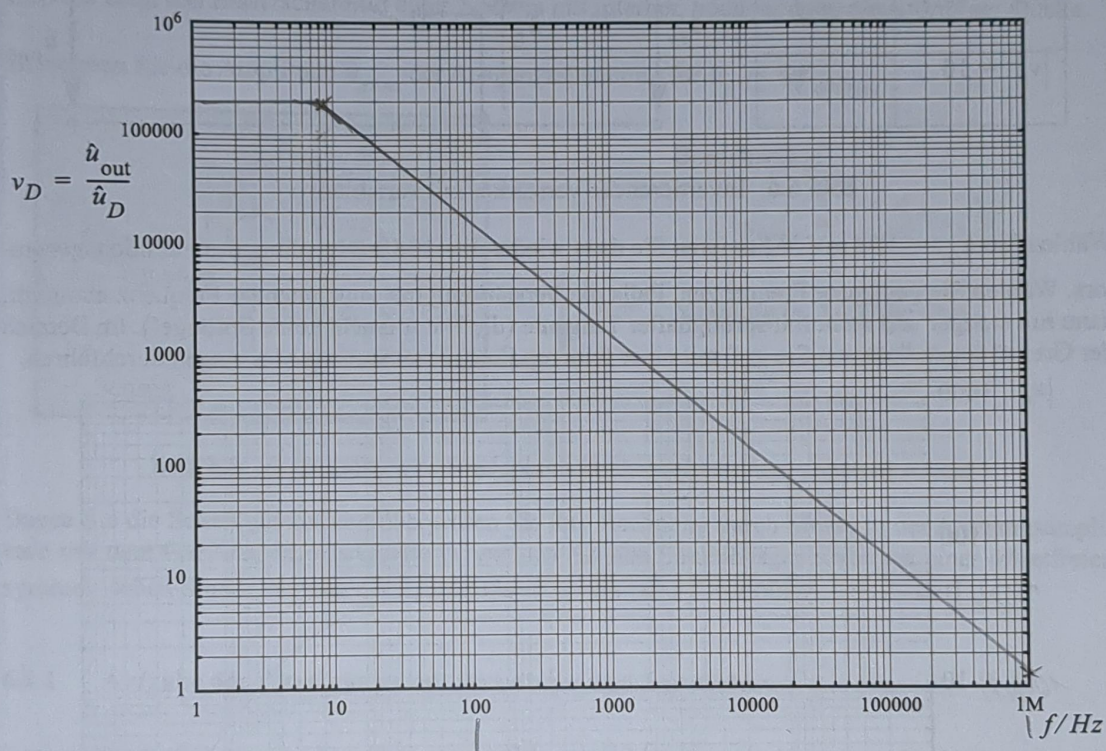


Bild 6.5 Frequenzgang der Leerlauf-Differenzverstärkung v_D .

Ergänzen Sie ohne Messung die Kurve im Bereich 0 – 100 Hz. Wie sind Sie vorgegangen?
Vergleichen Sie Ihr Ergebnis mit dem Diagramm im Datenblatt.

Antwort:

Tiefpass $\rightarrow$ gerade bis 8 Hz (Datenblatt)

$$v_D(0 \text{ Hz}) = 106 \text{ dB} \approx 200\,000$$

6.3 Aufgabe 3: Frequenzgang des invertierenden Spannungsverstärkers

Untersuchen Sie den Einfluss der Gegenkopplung auf den Frequenzgang der Verstärkung des invertierenden Spannungsverstärkers. Verwenden Sie dazu die Schaltung nach Bild 6.6. Vermessen Sie den Frequenzgang $v_r(f) = \hat{u}_{out} / \hat{u}_{in}$ für unterschiedliche Verstärkungen. **Tragen Sie die gemessenen Kennlinien direkt in das doppellogarithmische Papier ein.** Es sei der Widerstand $R_N = 1\text{ M}\Omega$. Wählen Sie den Widerstand R_1 für Ihre erste Messung so, dass Sie eine Gleichspannungsverstärkung von $|v_r| = 45.4$ erhalten. Für die zweite Messung stellen Sie die Gleichspannungsverstärkung auf $|v_r| = 10$ ein.

DC-Verstärkung	R_1
$ v_r = 45.4$	$22\text{ k}\Omega$
$ v_r = 10$	$100\text{ k}\Omega$

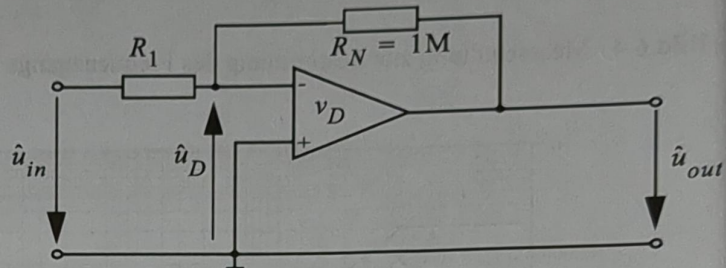


Bild 6.6 Invertierender Verstärker mit variablem v_r .

Wählen Sie $\hat{u}_{in} = 150\text{ mV}$. Aktivieren Sie dazu wieder die -20 dB Dämpfung des Funktionsgenerators. Wählen Sie geeignete Frequenzen. Falls die Verstärkung mit zunehmender Frequenz abnimmt, dann mit stetiger und nicht mit sprunghafter Tangente (die Natur macht keine Sprünge!). Im Bereich der Grenzfrequenz müssen Sie ggf. mit einer feineren Frequenzabstufung Messungen durchführen.

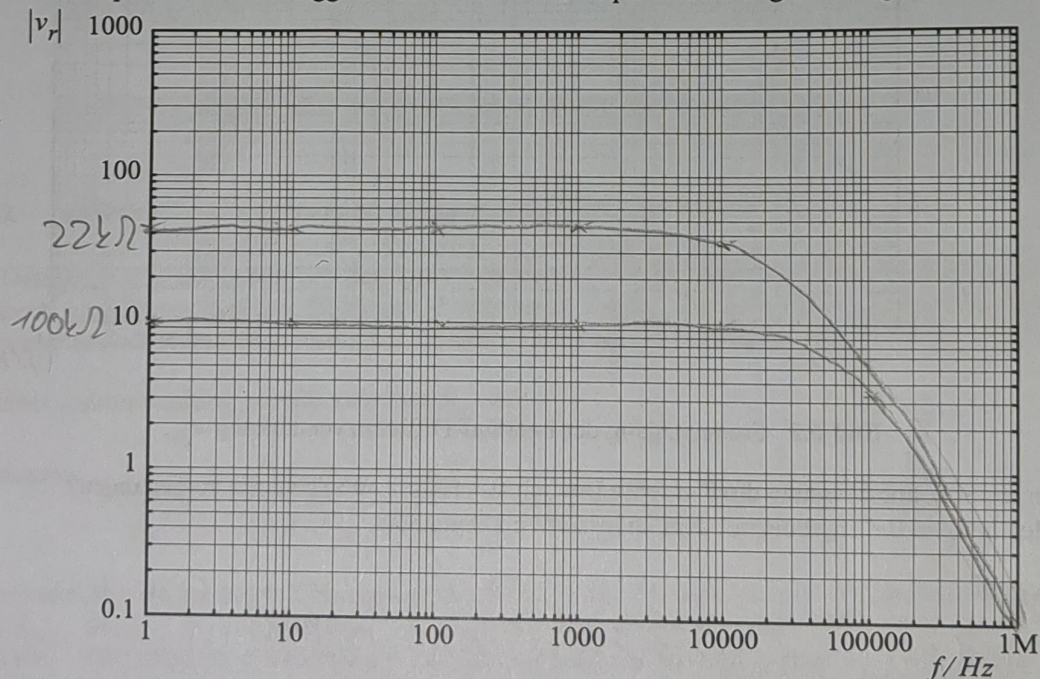


Bild 6.7 Einfluss der Gegenkopplung auf den Frequenzgang der Verstärkung

6.4 Aufgabe 4: Verstärkung eines schwachen Sensorsignales

Wie ist der qualitative Zusammenhang zwischen der eingestellten Verstärkung und der Bandbreite der Schaltung?

Antwort:

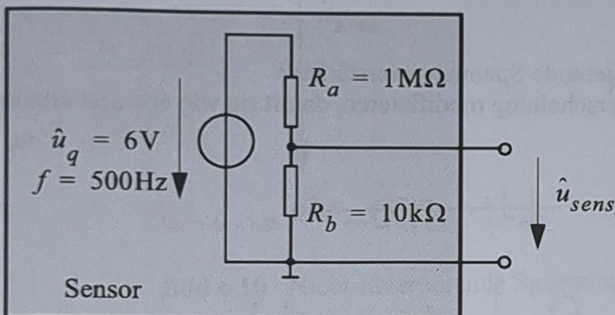
antiproportional $\rightarrow$ ~~sehr~~ Verstärkung $\uparrow$ Bandbreite $\downarrow$

6.4 Aufgabe 4: Verstärkung eines schwachen Sensorsignales

Ausgangssignale von Sensorelementen, wie z. B. Drucksensoren, liefern in der Regel nur sehr kleine Ausgangsspannungen im Bereich weniger Millivolt. Für eine digitale Weiterverarbeitung muss daher die Sensorspannung verstärkt werden. Die Verstärkerschaltung wird häufig mit einem Operationsverstärker realisiert.

Bild 6.8 zeigt das Ersatzschaltbild eines Sensors mit interner, hochohmiger, sinusförmiger Quelle.

Berechnen Sie die Amplitude $\hat{u}_{sens}$ der Ausgangsspannung für $\hat{u}_q = 6V$:



Berechnung:

$$\hat{u}_{sens} = 59,4mV$$

Messung (s. Aufgabe 4a):

$$\hat{u}_{sens} = 58,2mV$$

Bild 6.8 Ersatzbild eines Sensors mit hochohmigem Ausgangswiderstand

Bauen Sie die Schaltung auf und überprüfen Sie ihre Rechnung durch Messung der Ausgangsamplitude mit dem Oszilloskop. Als Quelle verwenden Sie den Funktionsgenerator mit einer offsetfreien symmetrischen Sinusspannung der Amplitude $\hat{u}_q = 6V$ und $f = 500Hz$.

6.4.1 Aufgabe 4a: Verstärkung mit invertierendem Verstärker

Speisen Sie nun $\hat{u}_{sens}$ aus dem Spannungsteiler von Bild 6.8 in den invertierenden Verstärker nach Bild 6.9 ein. Dimensionieren Sie R_1 so, dass für das gegebene $R_N = 100k$ die Verstärkung $|v_r| = 10$ wird.

Welche Ausgangsspannung $\hat{u}_{out}$ erwarten Sie?

Antwort:

$$-590mV$$

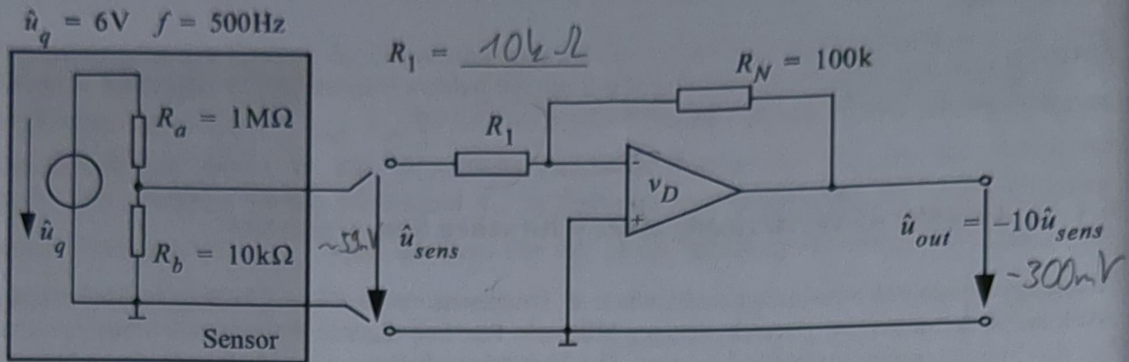


Bild 6.9 Invertierende Spannungsverstärker mit $|v_r| = 10$

Messen Sie die Ausgangsspannung $\hat{u}_{out}$ mit dem Oszilloskop und vergleichen Sie die Messung mit Ihrer Erwartung.

Wie erklären Sie sich den Unterschied?

Welchen Eingangswiderstand hat der invertierende Spannungsverstärker?

Wie müssten Sie die invertierende Verstärkerschaltung modifizieren, damit sie wie erwartet arbeitet?

Antwort:

~~Erwartung~~ 300mV gemessen statt 590mV erwartet

Eingangswiderstand beeinflusst Spannungsteiler

$$R_E = 10k\Omega$$

R_1 und R_N massiv erhöhen $\rightarrow$ aber $\frac{R_N}{R_1} = 10 = \text{konst.}$

6.4.2 Aufgabe 4b: Verstärkung mit nicht-invertierendem Verstärker

Eine der besonderen Eigenschaften des nicht-invertierenden Spannungsverstärkers ist sein hoher Eingangswiderstand. Damit ist es möglich, Messsignale aus sehr schwachen Signalquellen auszukoppeln.

Bestimmen Sie die Verstärkerschaltung nach Bild 6.10 so, dass $\hat{u}_{out} = 10\hat{u}_{sens}$ gilt.

Dimensionierung der Widerstände:

6.5 Aufgabe 5: Entwurf eines Schmitt-Trigger Schwellwertschalters

Stellen Sie zuerst $R_1 = R_{1a} + R_{1b}$ mit Hilfe des Ohmmessbereichs Ihres Multimeters auf den von Ihnen berechneten Wert ein und bauen Sie anschließend die Schaltung nach Bild 6.10 auf.

Überprüfen Sie mit dem Oszilloskop die Ausgangsspannung.
Welchen Eingangswiderstand R_i hat die Verstärkerschaltung?

Antwort:

$$\hat{u}_{out} = 580mV$$

$$R_i = 2M\Omega$$

$$R_1 = 5,2k\Omega$$

$$R_{1a} = 4,7k\Omega$$

$$R_{1b} = 0,5k\Omega$$

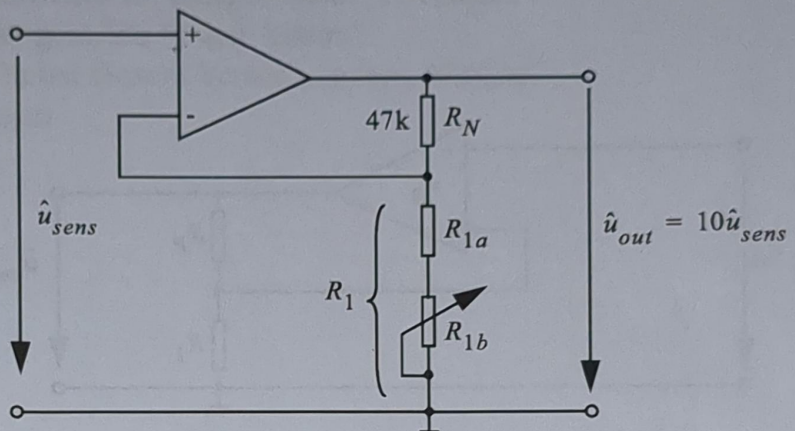


Bild 6.10 Nicht-invertierende Spannungsverstärker mit $v_r = 10$

$$v_r = 1 + \frac{R_N}{R_1}$$

$$R_1 = \frac{R_N}{9} = 5,2k\Omega$$

$$R_{1a} = 4,7k\Omega$$

$$R_{1b} = 0,5k\Omega$$

6.5 Aufgabe 5: Entwurf eines Schmitt-Trigger Schwellwertschalters

In diesem Versuch soll von Ihnen ein Schmitt-Trigger nach Bild 6.11 entworfen werden mit folgenden Eigenschaften: Obere Schwellenspannung $U_{aus} \approx +2.1V$, untere Schwellenspannung $U_{ein} \approx -2.1V$.

Bestimmen Sie zuerst messtechnisch den Aussteuerbereich des Operationsverstärkers. Dimensionieren Sie anschließend die Widerstände R_P und R_1 für die oben gegebenen Schwellenspannungen.

Bauen Sie den Schmitt-Trigger nach Bild 6.11 auf und überprüfen Sie ihre Schaltung, indem Sie ein dreieckförmiges Eingangssignal $\hat{u}_{in}$ der Frequenz 1kHz einspeisen. Variieren Sie die Amplitude.

6. Kapitel: Versuchsdurchführung

$$|U_{max}|/|U_{min}| = 130V$$

$$V_r = 1 + \frac{R_p}{R_1}$$

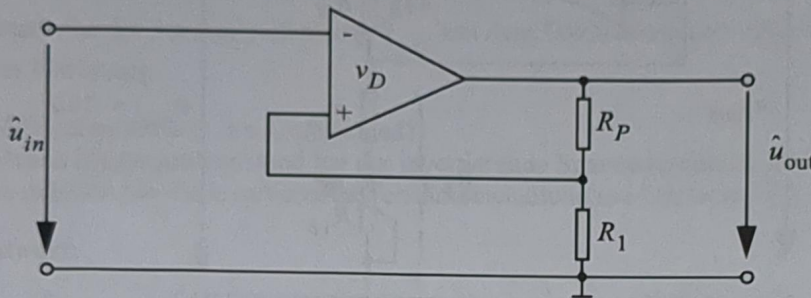
Dimensionierung der Widerstände:

$$U_{aus} = 2,1V, U_{ein} = -2,1V$$

$$U_{ein} = \frac{R_1}{R_1 + R_p} \cdot U_{max}$$

$$\rightarrow \frac{R_1}{R_1 + R_p} = 0,16 = \frac{21}{130}$$

$$U_{aus} = \frac{R_1}{R_1 + R_p} \cdot U_{max}$$



$$R_p = 22k\Omega$$

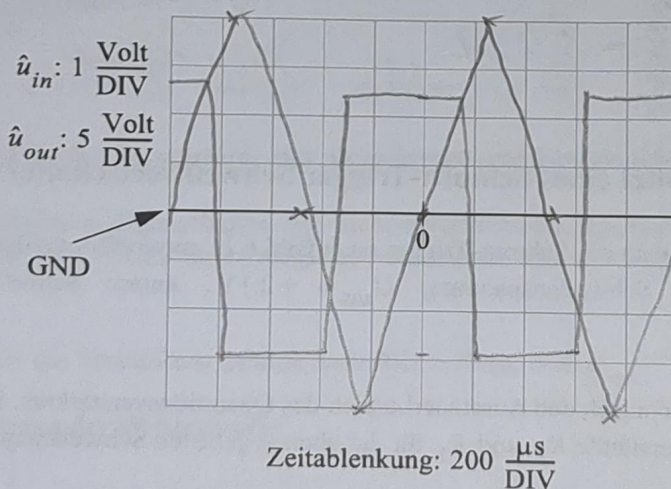
$$R_1 = 4,1k\Omega$$

$$\downarrow$$

$$3,9k\Omega$$

Bild 6.11 Schmitt-Trigger

Skizzieren Sie $\hat{u}_{in}$ und $\hat{u}_{out}$ für $\hat{u}_{in} = 4V$. Der Nulldurchgang des Dreiecksignals soll bei positiver Steigung durch den Mittelpunkt 0 führen.



Reinigen Sie die Arbeitsfläche ggf. von Radiergummi-Krümeln.

ETGP - Versuchsfeedback

Versuch: Operationsverstärker I

Datum: _____

1. Was hat Dir an diesem Versuch gefallen?
2. Gibt es Fehler/Unklarheiten im Skript? Wenn ja, welche?
3. Konnten die Betreuer gestellte Fragen klären?
4. Gibt es etwas, das Du bei diesem Versuch ändern würdest?
5. Sonstige Anmerkungen

μ A741, μ A741Y GENERAL-PURPOSE OPERATIONAL AMPLIFIERS

SLOS094B - NOVEMBER 1970 - REVISED SEPTEMBER 2000

- Short-Circuit Protection
- Offset-Voltage Null Capability
- Large Common-Mode and Differential Voltage Ranges
- No Frequency Compensation Required
- Low Power Consumption
- No Latch-Up
- Designed to Be Interchangeable With Fairchild μ A741

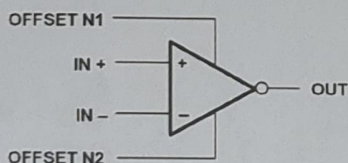
description

The μ A741 is a general-purpose operational amplifier featuring offset-voltage null capability.

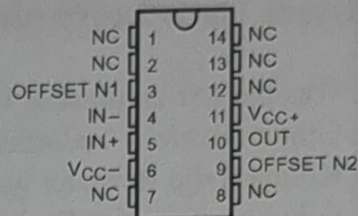
The high common-mode input voltage range and the absence of latch-up make the amplifier ideal for voltage-follower applications. The device is short-circuit protected and the internal frequency compensation ensures stability without external components. A low value potentiometer may be connected between the offset null inputs to null out the offset voltage as shown in Figure 2.

The μ A741C is characterized for operation from 0°C to 70°C. The μ A741I is characterized for operation from -40°C to 85°C. The μ A741M is characterized for operation over the full military temperature range of -55°C to 125°C.

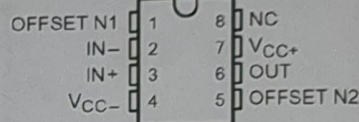
symbol



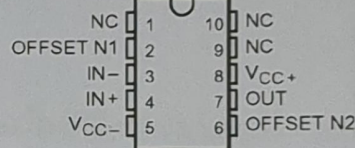
μ A741M ... J PACKAGE
(TOP VIEW)



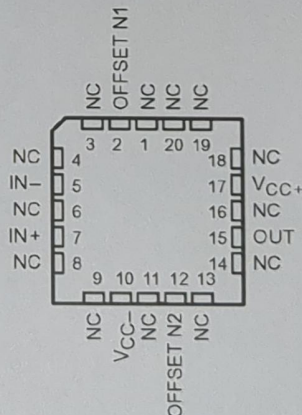
μ A741M ... JG PACKAGE
 μ A741C, μ A741I ... D, P, OR PW PACKAGE
(TOP VIEW)



μ A741M ... U PACKAGE
(TOP VIEW)



μ A741M ... FK PACKAGE
(TOP VIEW)



NC - No internal connection

$\mu A741$, $\mu A741V$ GENERAL-PURPOSE OPERATIONAL AMPLIFIERS

SLOS094B – NOVEMBER 1970 – REVISED SEPTEMBER 2000

electrical characteristics at specified free-air temperature, $V_{CC\pm} = \pm 15\text{ V}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS	T _A †	μA741C			μA741I, μA741M			UNIT
				MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
V _{IO}	Input offset voltage	V _O = 0	25°C	1			1			mV
			Full range	7.5			6			
ΔV _{IO(adj)}	Offset voltage adjust range	V _O = 0	25°C	±15			±15			mV
I _{IO}	Input offset current	V _O = 0	25°C	20			20			
			Full range	300			500			
I _{IB}	Input bias current	V _O = 0	25°C	80			80			nA
			Full range	800			1500			
V _{ICR}	Common-mode input voltage range		25°C	±12 ±13			±12 ±13			V
			Full range	±12			±12			
V _{OM}	Maximum peak output voltage swing	R _L = 10 kΩ	25°C	±12 ±14			±12 ±14			V
		R _L ≥ 10 kΩ	Full range	±12			±12			
		R _L = 2 kΩ	25°C	±10 ±13			±10 ±13			
		R _L ≥ 2 kΩ	Full range	±10			±10			
A _{VD}	Large-signal differential voltage amplification	R _L ≥ 2 kΩ	25°C	20			50			V/mV
		V _O = ±10 V	Full range	15			25			
r _i	Input resistance		25°C	0.3			0.3			MΩ
r _o	Output resistance	V _O = 0, See Note 5	25°C	75			75			Ω
C _i	Input capacitance		25°C	1.4			1.4			pF
CMRR	Common-mode rejection ratio	V _{IC} = V _{ICRmin}	25°C	70			70			dB
			Full range	70			70			
k _{SVS}	Supply voltage sensitivity (ΔV _{IO} /ΔV _{CC})	V _{CC} = ±9 V to ±15 V	25°C	30			30			μV/V
			Full range	150			150			
I _{OS}	Short-circuit output current		25°C	±25			±25			mA
I _{CC}	Supply current	V _O = 0, No load	25°C	1.7			1.7			mA
			Full range	3.3			3.3			
P _D	Total power dissipation	V _O = 0, No load	25°C	50			50			mW
			Full range	100			100			

† All characteristics are measured under open-loop conditions with zero common-mode input voltage unless otherwise specified. Full range for the $\mu A741C$ is 0°C to 70°C, the $\mu A741I$ is -40°C to 85°C, and the $\mu A741M$ is -55°C to 125°C.

NOTE 5: This typical value applies only at frequencies above a few hundred hertz because of the effects of drift and thermal feedback.

operating characteristics, $V_{CC\pm} = \pm 15\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$

PARAMETER		TEST CONDITIONS		$\mu A741C$			$\mu A741I, \mu A741M$			UNIT
				MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
t_r	Rise time	$V_I = 20\text{ mV}$	$R_L = 2\text{ k}\Omega$	0.3			0.3			μs
	Overshoot factor	$C_L = 100\text{ pF}$	See Figure 1	5%			5%			
SR	Slew rate at unity gain	$V_I = 10\text{ V}$ $C_L = 100\text{ pF}$	$R_L = 2\text{ k}\Omega$, See Figure 1	0.5			0.5			V/ μs

$\mu A741, \mu A741Y$
GENERAL-PURPOSE OPERATIONAL AMPLIFIERS

SLOS094B - NOVEMBER 1970 - REVISED SEPTEMBER 2000

TYPICAL CHARACTERISTICS

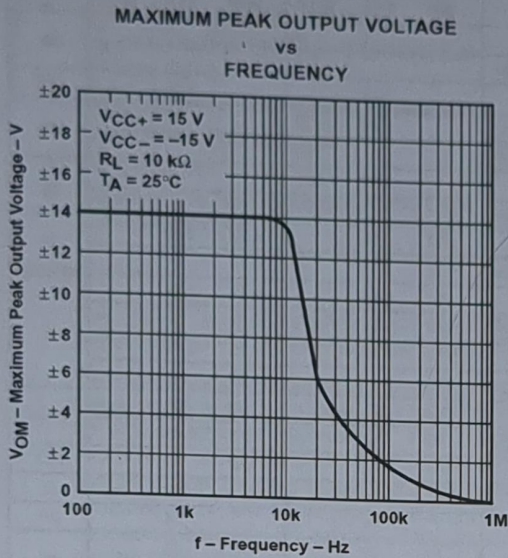


Figure 6

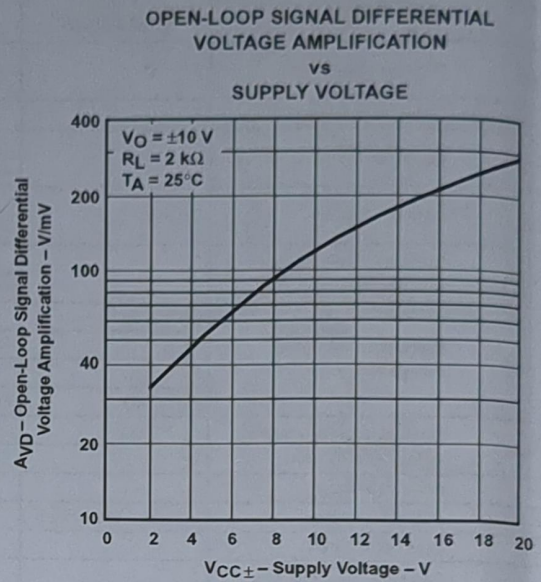


Figure 7

