



OTTO VON GUERICKE
UNIVERSITÄT
MAGDEBURG

EIT

INSTITUT FÜR
MEDIZINTECHNIK

Laborpraktikum

Elektronische Schaltungstechnik (EST)
Informationstechnik und Elektronik (IT&E)

Versuch ST5 / ITE5: Operationsverstärker

Inhaltsverzeichnis

1	Versuchsziel	3
2	Grundlagen	3
2.1	Einführung	3
2.2	Eigenschaften und Kenngrößen idealer und realer Operationsverstärker	3
2.3	Operationsverstärker – Grundsaltungen	7
2.4	Einfluß nichtidealer Eigenschaften des Operationsverstärkers	8
2.5	Differentiator / Integrator	8
2.6	Wienbrückenoszillator	9
2.7	Aktive Filter	10
2.8	Präzisionseinweggleichrichter	10
2.9	Phasenschieber	11
2.10	Instrumentationsverstärker	12
2.11	Bestimmung wichtiger Kenngrößen von Operationsverstärkern	12
3	Vorbereitung	13
4	Versuchsaufgaben	14
5	Literaturverzeichnis	16
6	Vorhandene Geräte	16

Abbildungsverzeichnis

1	Übertragungskennlinie eines realen OV	4
2	Kleinsignalersatzschaltbild	4
3	Ersatzschaltbild zur Berücksichtigung des Einflusses der Offset- und Ruhegrößen	5
4	Frequenzabhängigkeit der Leerlaufverstärkung	5
5	Nichtinvertierende Grundsaltung	7
6	Invertierende / Summierende Grundsaltung	7
7	Differentiator / Integrator	9
8	Wienbückenoszillator	9
9	Aktiver Tiefpaß 2. Ordnung	10
10	Präzisionseinweggleichrichter a) Schaltung; b) Übertragungskennlinie für ideale OV; c)Eingangs- und Ausgangsspannung	11
11	Phasenschieber	11
12	Instrumentationsverstärker	12
13	Meßschaltung zur Bestimmung der Offsetspannung	12
14	Meßschaltung zur Bestimmung des Biasstroms	13
15	Meßschaltung zur Bestimmung der Leerlaufverstärkung	13
16	Meßschaltung zur Bestimmung der Gleichtaktunterdrückung	14

Tabellenverzeichnis

1	Kenngrößen von Operationsverstärkern	6
---	--------------------------------------	---

1 Versuchsziel

Ziel des Versuches ist das Kennenlernen typischer Anwendungen von integrierten Operationsverstärkern, sowie ein Überblick über die wichtigsten Kenngrößen und deren meßtechnische Erfassung.

2 Grundlagen

2.1 Einführung

Der Operationsverstärker ist ein Gleichspannungsdifferenzverstärker, der in erster Linie als aktives Element in gegengekoppelten Schaltungen verwendet wird. Wegen seiner sehr hohen Verstärkung und der damit i.A. verbundenen hohen Schleifenverstärkung der gegengekoppelten Schaltung hängt das Übertragungsverhalten der Schaltung praktisch nur vom Rückkopplungsnetzwerk ab. Das Vorliegen preiswerter integrierter OV mit sehr guten Daten bewirkt, dass OV mit Ausnahme bei sehr hohen Frequenzen auf nahezu allen Gebieten der analogen Signalverarbeitung angewendet werden.

Wegen ihres echten Vierpolverhaltens sind OV sehr individuell und problemlos beschaltbar.

OV werden in zahlreichen Varianten hergestellt. Die Typenvielfalt reicht von preiswerten Standardtypen für allgemeine Anwendungen bis zu chopperstabilisierten und driftkompensierten Typen für Anwendungen mit besonders hohen Anforderungen an die DC-Eigenschaften.

2.2 Eigenschaften und Kenngrößen idealer und realer Operationsverstärker

Idealer Operationsverstärker: Schaltungen mit Operationsverstärkern lassen sich besonders schnell überblicken und berechnen, wenn ein *idealer OV* zugrunde gelegt wird. Das Verhalten von Schaltungen mit realem OV weicht im interessierenden Signalfrequenzbereich mehr oder weniger von diesem idealen Verhalten ab. Es ist zweckmäßig, den Einfluß der verschiedenen nichtidealen OV-Eigenschaften – falls überhaupt erforderlich – erst dann zu untersuchen, wenn man sich anhand des idealen OV einen Einblick in die Wirkungsweise der Schaltung verschafft hat. Dabei ist es meist zweckmäßig, den Einfluß der jeweils interessierenden Einflußgrößen getrennt zu betrachten.

Ein *idealer Operationsverstärker* ist gekennzeichnet durch:

- unendliche Leerlaufverstärkung und Bandbreite: $V \rightarrow \infty, B \rightarrow \infty$
- unendlich hohe Gleichtaktunterdrückung: $CMMR \rightarrow \infty$
- unendlich hohen Differenz- und Gleichtakteingangswiderstand: $r_D \rightarrow \infty, r_{GL} \rightarrow \infty$
- Ausgangswiderstand Null: $r_A = 0$
- keine Ruhestrome, Offset- und Driftgrößen: $u_A = 0$ für $u_D = 0$
- Rauschfreiheit
- Rückwirkungsfreiheit

Zum leichten Verständnis von OV-Schaltungen ist es stets zu empfehlen, von folgenden Grundeigenschaften auszugehen, die bei gegengekoppelten Schaltungen mit idealem OV erfüllt sind, solange der OV nicht außerhalb seines Aussteuerbereiches betrieben wird:

- Die Potentiale der gegengekoppelten Schaltung stellen sich stets so ein, dass die Differenzeingangsspannung u_D Null wird.
- Durch beide Eingangsklemmen fließt kein Strom (weder Signal- noch Ruhestrom).

Realer Operationsverstärker: Ein *realer Operationsverstärker* erfordert die Berücksichtigung seiner nicht-idealen Kennwerte. Dabei ist es oft nur notwendig, einzelne Kennwerte in Abhängigkeit von der konkreten Anwendung zu berücksichtigen.

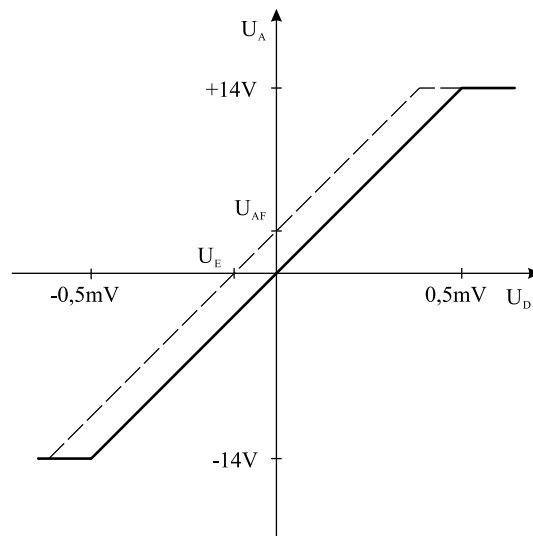


Abbildung 1: Übertragungskennlinie eines realen OV

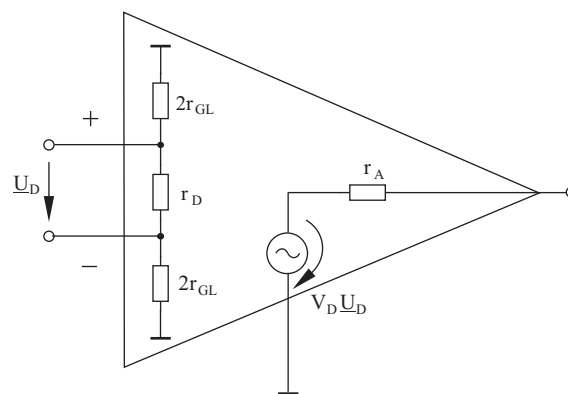


Abbildung 2: Kleinsignalersatzschaltbild

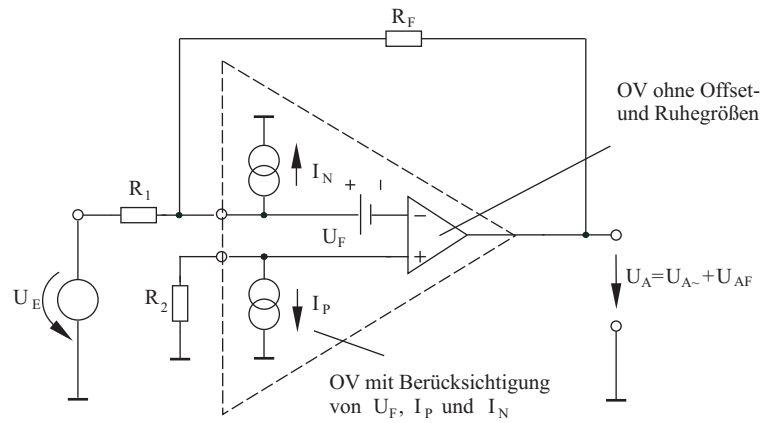


Abbildung 3: Ersatzschaltbild zur Berücksichtigung des Einflusses der Offset- und Ruhegrößen

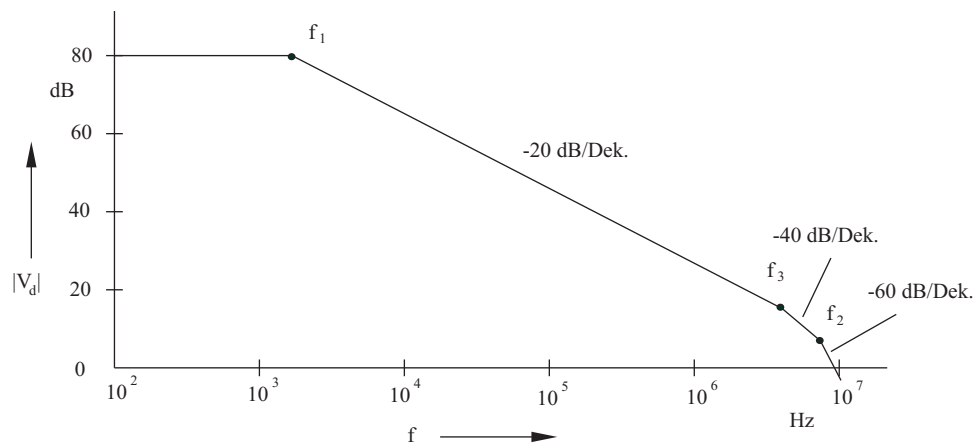


Abbildung 4: Frequenzabhängigkeit der Leerlaufverstärkung

Kennwert	Erläuterung, Definition	Typische Daten
Differenzverstärkung (Leerlaufverstärkung)	$V_D = V = \frac{U_A}{U_D}$	$> 80dB$
Gleichtaktverstärkung	$V_{GL} = \frac{V_D}{V_{GL}}$	$+20.. - 10dB$
Gleichtaktunterdrückung	$CMRR = \frac{V_D}{V_{GL}}$	$> 60...90dB$
Eingangsoffsetspannung (Eingangsfehlspannung)	U_F : Spannung, die zwischen den Eingangsklemmen angelegt werden muß, damit $U_A = 0$ wird	1 ... 3 mV
Temperaturdrift der Eingangsoffsetspannung	$\Delta U_F = \frac{\delta U_F}{\delta \vartheta} \Delta \vartheta$	$(5\mu V/K) \Delta \vartheta$
Eingangsoffsetstrom (Eingangsfehlstrom)	$I_F = I_P - I_N$: Differenz beider Eingangsströme für $U_A = 0$	10pA..200nA
Temperaturdrift des Eingangsoffsetstromes	$\Delta I_F = \frac{\delta I_F}{\delta \vartheta} \Delta \vartheta$	$(1pA...0,5nA/K)$
Eingangsruhestrom	$I_B = 0,5 \cdot (I_P + I_N)$; I_P, I_N Eingangsgleichströme	100pA..200nA
Differenzeingangs- widerstand	r_D : differentieller Widerstand zwischen den beiden Eingangsklemmen	$> 50...150k\Omega$
Gleichtakteingangs- widerstand	r_{GL} : differentieller Widerstand der beiden miteinander verbundenen Eingangsklemmen und Masse	$> 15M\Omega$
Ausgangswiderstand	r_A : differentieller Widerstand zwischen der Ausgangsklemme und Masse, wenn beide Eingänge auf Masse liegen	150 Ω
3-dB-Grenzfrequenz	$ V_D $ um 3 dB abgefallen	
V·B-Produkt, f_1 -Frequenz	Frequenz, bei der $ V_D $ auf 1 bzw. 0dB abgefallen ist	$> 1MHz$
Slew Rate	S_R : maximale Anstiegsgeschwindigkeit ($V/\mu s$) der Ausgangsspannung im Bereich von 10...90% des Endwertes	$> 100V/\mu s$
Betriebsspannungs- unterdrückung	$SVR = \frac{\Delta U_F}{\Delta U_S}$ (ΔU_S : gleichgroße Änderung der Beträge der positiven und negativen Betriebsspannung)	$< 200\mu V/V$

Tabelle 1: Kenngrößen von Operationsverstärkern

2.3 Operationsverstärker – Grundsaltungen

Nichtinvertierende Grundsaltung

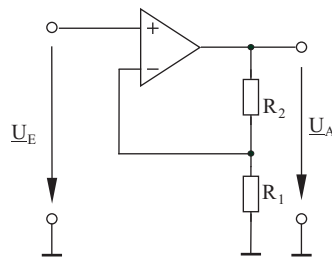


Abbildung 5: Nichtinvertierende Grundsaltung

$$V_{ideal} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

- Serienspannungsgegenkopplung
- keine invertierende Wirkung
- der invertierende OV-Eingang folgt näherungsweise dem Potential der Eingangsklemme
- hoher Eingangswiderstand $R_E \approx \infty$ (idealer OV)
- es tritt eine Gleichtaktaussteuerung $U_{GL} \approx U_E$ auf

Invertierende Grundsaltung / Summierer

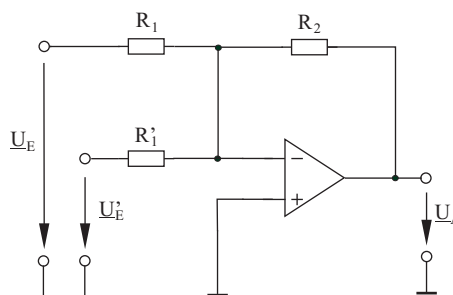


Abbildung 6: Invertierende / Summierende Grundsaltung

$$V_{ideal} = -\frac{R_2}{R_1}$$

- Parallelspannungsgegenkopplung
- invertierende Wirkung
- der invertierende OV-Eingang liegt praktisch auf Massenpotential (virtuelle Masse)
- kleiner Eingangswiderstand $R_E \approx R_1$
- kleine Gleichtaktaussteuerung

2.4 Einfluß nichtidealer Eigenschaften des Operationsverstärkers

- Endliche Leerlaufverstärkung V :

$$V' = \frac{V'_{ideal}}{1 + \frac{1}{kV}} \approx V'_{ideal} \left(1 - \frac{1}{kV}\right)$$

- Abhängigkeit der Leerlaufverstärkung V von der Frequenz

$$V = \frac{V_0}{1 + sT_0}$$

$$V' = \frac{V'_{ideal}}{\left(1 + \frac{1}{kV_0}\right) \left(1 + s \frac{T_0}{1 + kV_0}\right)} = \frac{V'_0}{1 + sT'_0}$$

$$T'_0 = \frac{T_0}{1 + kV}; \quad V'_0 = \frac{V'_{0ideal}}{1 + \frac{1}{kV_0}}$$

- Ausgangswiderstand r_A :

$$r'_A = \frac{r_A}{g} = \frac{r_A}{1 + kV}$$

- Eingangswiderstand:

nichtinvertierende Schaltung $Z_E = r_D(1 + kV) || 2r_{GL} \approx 2r_{GL}$

invertierende Schaltung $Z_E \approx R_1$

- endliche Gleichtaktunterdrückung:

$$\underline{U}_A = V_D \left(\underline{U}_D + \frac{U_{GL}}{CMRR} \right)$$

- Offset-, Drift- und Ruhegrößen:

$$U_{A\pm} = U_{A\pm 0} + \Delta U_{AF} = U_F \left(1 + \frac{R_F}{R_1}\right) + R_F \left(I_N I_D \frac{R_2}{R_1 || R_F}\right)$$

2.5 Differentiator / Integrator

Die Schaltung des Differentiators / Integrators enthält sowohl die Schaltung eines Differentiators als auch die eines Integrators.

$$G(s) = \frac{\underline{U}_A}{\underline{U}_E} = -\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{sR_1C_1}{(1 + sR_1C_1)(1 + sR_2C_2)}$$

Bei entsprechender Dimensionierung dient diese Schaltung als realer Differentiator, da der einfache Differentiator in der Praxis schlecht realisierbar ist.

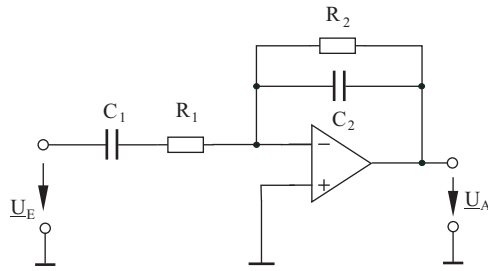


Abbildung 7: Differentiator / Integrator

2.6 Wienbrückenoszillator

Der Wienbrückenoszillator ist ein Sinusoszillator, der sich durch einen extrem niedrigen Klirrfaktor auszeichnet. Er ist deshalb für hochqualitative Instrumentierungs- und NF-Anwendungen besonders geeignet. Die Abstimmung ist dagegen schwierig, da Doppelpotentiometer mit gutem Gleichlauf notwendig sind. Der Wienbrückenoszillator besteht aus einem Operationsverstärker in dessen Rückkopplungszweig eine Wien-Robinson-Brücke geschaltet ist. Dadurch entsteht sowohl eine Mit- als auch eine Gegenkopplung. Damit der Oszillator schwingt muß die Mitkopplung überwiegen.

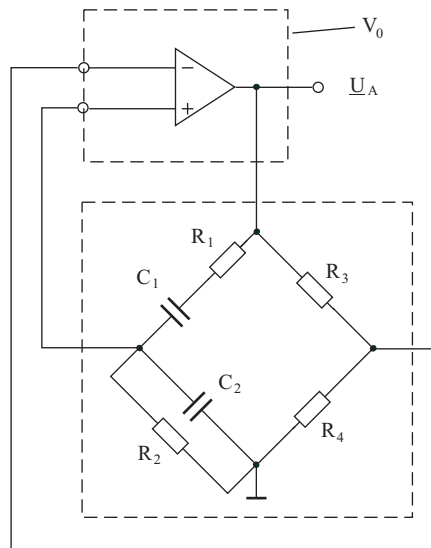


Abbildung 8: Wienbrückenoszillator

Mitkopplungsfaktor

$$k_F(\omega) = \frac{1}{1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1} + j \left(\omega R_1 C_1 - \frac{1}{\omega C_1 R_2} \right)}$$

Gegenkopplungsfaktor

$$k_N = \frac{R_4}{R_3 + R_4}$$

Der Mitkopplungsfaktor muß bei der gewünschten Schwingfrequenz eine Phasenverschiebung von Null aufweisen. Das ist bei der Kreisfrequenz

$$\omega_0^2 = \frac{1}{C_1 R_1 C_2 R_2}$$

der Fall. Bei dieser Frequenz hat das Mittkopplungsnetzwerk eine Dämpfung

$$k_F(\omega_0) = \frac{1}{1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1}}$$

Damit gilt für $R_1 = R_2 = R$ und $C_1 = C_2 = C$

$$\omega_0 = \frac{1}{RC} \quad \text{und} \quad k_F(\omega_0) = \frac{1}{3}$$

Deshalb muß durch den Gegenkopplungsfaktor eine Verstärkung von 3 eingestellt werden. Da der OV aber keine unendliche Verstärkung in der Praxis realisieren kann, muß die Verstärkung geringfügig größer als 3 sein bzw. eine Regelung der Verstärkung vorgesehen werden.

2.7 Aktive Filter

Aktive RC–Filter haben sich wegen ihrer Anwendungsvorteile gegenüber passiven Filtern im Frequenzbereich bis zu einigen 100 kHz durchgesetzt.

Nach ihrer Filtercharakteristik unterscheidet man verschiedene Filtertypen, z.B.: Bessel-Filter, Butterworth-Filter, Tschebyscheff-Filter

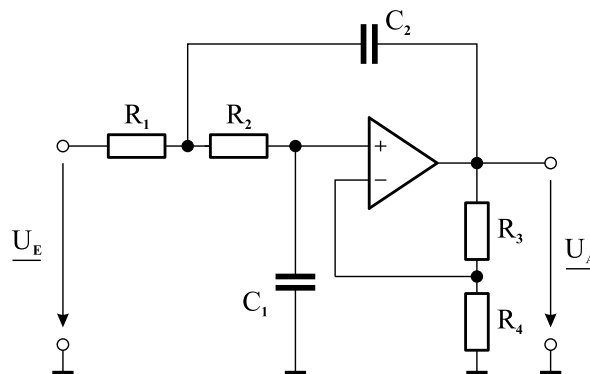


Abbildung 9: Aktiver Tiefpaß 2. Ordnung

Für $R_1 = R_2 = R$; $C_1 = C_2 = C$; $k = V_0 = 1 + \frac{R_3}{R_4}$ gilt :

Bessel-Filter:	$RC = 0,125 \cdot 1/f_G$	$V_0 = 1,267$
Butterworth-Filter:	$RC = 0,159 \cdot 1/f_G$	$V_0 = 1,586$
Tschebyscheff-Filter:	$RC = 0,205 \cdot 1/f_G$	$V_0 = 2,235$

2.8 Präzisionseinweggleichrichter

Um kleine Signale im mV-Bereich präzise gleichrichten zu können, werden gelegentlich Gleichrichterdiode in die Gegenkopplung von OV-Schaltungen einbezogen. Das Prinzip ist bekannt unter der Bezeichnung „ideale Diode“.

Bei negativer Eingangsspannung ist der Ausgang positiv und damit D_1 gesperrt und D_2 leitend.

Die Flußspannung von D_2 geht nur um die Verstärkung des OV vermindert in die Ausgangsspannung ein, da sie innerhalb der Gegenkopplungsschleife liegt (U_{FD}/V). Das Anlegen einer positiven Eingangsspannung bewirkt das Sperren von D_2 . Der Ausgang der Schaltung liegt über R_2 am virtuellen Massepunkt und damit

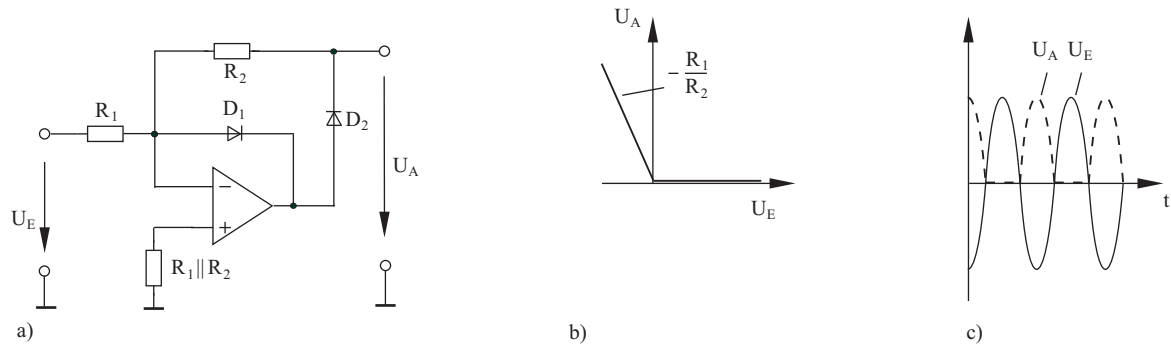


Abbildung 10: Präzisionseinweggleichrichter

a) Schaltung; b) Übertragungskennlinie für ideale OV; c) Eingangs- und Ausgangsspannung

nahe 0 Volt. Die Diode D_1 ist leitend und sorgt dafür, dass der OV selbst eine Verstärkung von 1 hat und damit nicht in die Sättigung gerät..

Bei Ansteuerung des Schaltung durch eine Wechselspannung wird der Übergang des Stromes von einer Diode zur anderen stark durch die Slew-Rate des OV beeinflusst. Die Anwendung der Schaltung ist deshalb auf niedrige und mittlere Frequenzen beschränkt.

2.9 Phasenschieber

Die Schaltung des Phasenschiebers weist eine frequenzabhängige Phasenverschiebung bei frequenzunabhängiger Verstärkung auf. Der Phasengang ist abhängig von der Zeitkonstante $C_1 \cdot R_1$.

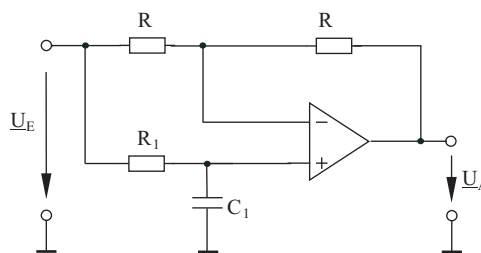


Abbildung 11: Phasenschieber

Für die Schaltung gilt: $|V| = 1$, $\varphi = -2 \arctan \omega C_1 R_1$

2.10 Instrumentationsverstärker

Instrumentationsverstärker dienen als Eingangsverstärker in der Meßtechnik. Sie zeichnen sich aus durch eine hohe Gleichtaktunterdrückung bei gleichzeitig hohen Eingangswiderständen.

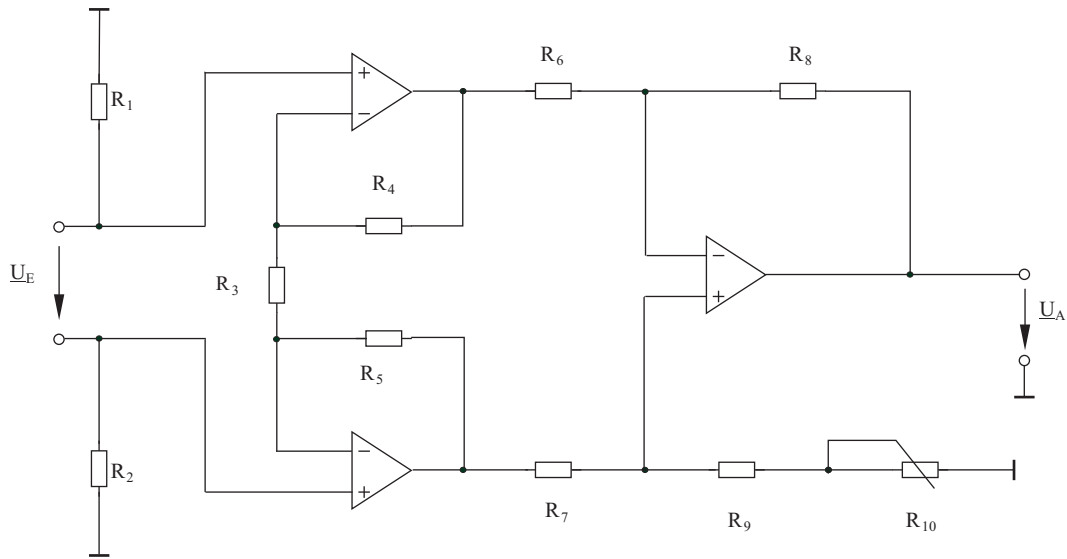


Abbildung 12: Instrumentationsverstärker

2.11 Bestimmung wichtiger Kenngrößen von Operationsverstärkern

Offsetspannung

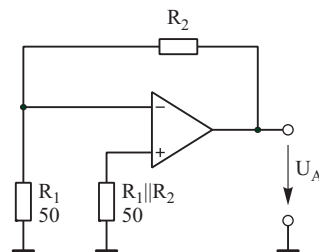


Abbildung 13: Meßschaltung zur Bestimmung der Offsetspannung

$$U_{F0} = \frac{U_A}{1 + \frac{R_2}{R_1}}$$

Biasstrom

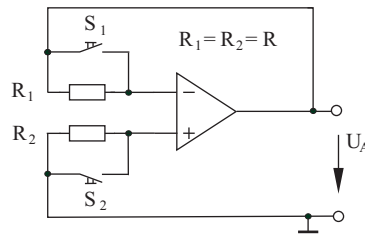


Abbildung 14: Meßschaltung zur Bestimmung des Biasstroms

S_1	S_2	
zu	zu	$U_A = U_{F0}$
auf	zu	$I_{N0} = \Delta U_A / R_1$
zu	auf	$I_{N0} = \Delta U_A / R_2$
auf	auf	$I_{N0} = \Delta U_A / R$

Leerlaufverstärkung

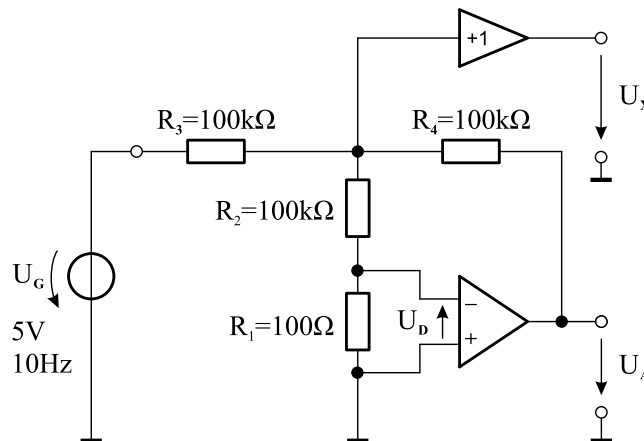


Abbildung 15: Meßschaltung zur Bestimmung der Leerlaufverstärkung

$$V_0 = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \frac{U_A}{U_X} \quad V_0 \approx 1000 \frac{U_A}{U_X}$$

Gleichtaktunterdrückung

$$CMRR/dB = 20 \cdot \lg \left[\frac{\Delta U_{CM}}{\Delta U_A} \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \right] = 20 \cdot \lg \left[\frac{\Delta U_{CM}}{\Delta U_A} 1000 \right]$$

3 Vorbereitung

Beschaffen Sie sich die Datenblätter der in Abschnitt 6 angegebenen OV-Typen. Machen sie sich mit den Grundlagen der Operationsverstärker entsprechend Abschnitt 2 vertraut. Überlegen Sie sich, wie die einzelnen Versuchsaufgaben in Abschnitt 4 in Zusammenhang mit den zur Verfügung stehenden Meßgeräten durchzuführen sind. Wie sehen die zu erwartenden Ergebnisse aus und wie sind diese zu interpretieren?

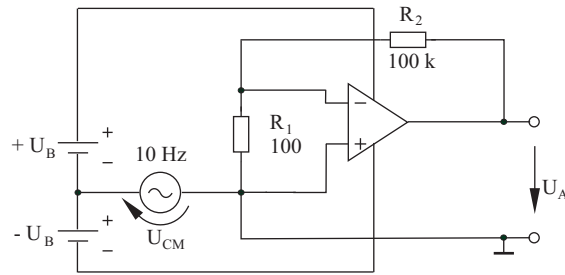


Abbildung 16: Meßschaltung zur Bestimmung der Gleichtaktunterdrückung

4 Versuchsaufgaben

Hinweis: Die Auswahl der durchzuführenden Versuchsaufgaben erfolgt durch den Versuchsbetreuer.

1. Aufgabe: Nichtinvertierender OV

- Berechnen Sie die Verstärkung für unterschiedliche Widerstände R_2 . Gehen Sie dabei von einer Leerlaufverstärkung des OV von ∞ aus. $R_2 = \infty; 500k\Omega; 50k\Omega; 5k\Omega; 500\Omega$ und 50Ω .
- Weisen Sie die Verstärkungen 1 und 100 messtechnisch für den Operationsverstärker **LM324** nach.
- Zeigen Sie die nichtinvertierende Wirkung. $f = 1kHz; U_E = 1V; Verstärkung = 1$
- Nehmen Sie den Frequenzgang des OV **TL081** für die Verstärkungen 1 und 100 im Frequenzbereich $10Hz \dots 3,5MHz$ auf. Alle Messwerte sind in ein Bodediagramm einzutragen. $U_E = 10mV$

2. Aufgabe: Invertierender OV

- Berechnen Sie die Verstärkung für unterschiedliche Widerstände R_1 . Gehen Sie dabei von einer Leerlaufverstärkung des OV von ∞ aus. $R_1 = 500k\Omega; 50k\Omega; 5k\Omega; 500\Omega$ und 50Ω .
- Weisen Sie die Verstärkungen 1 und 100 messtechnisch für den Operationsverstärker **LM324** nach.
- Zeigen Sie die invertierende Wirkung. $f = 1kHz; U_E = 1V; Verstärkung = 1$
- Nehmen Sie den Frequenzgang des OV **TL081** für die Verstärkungen 1 und 100 im Frequenzbereich $10Hz \dots 3,5MHz$ auf. Alle Messwerte sind in ein Bodediagramm einzutragen. $U_E = 10mV$

3. Aufgabe: Differentiator / Integrator

- Die Übertragungsfunktion des Differentiators / Integrators ist für die Widerstände $R_1 = 500k\Omega$ (d.h. $1M\Omega || 1M\Omega$) und $R_2 = 100k\Omega$ zu zeichnen. Es soll dabei der OV **TL081** verwendet werden.
- Die Übertragungsfunktion aus a) ist messtechnisch zu überprüfen.
- Schalten Sie an den Eingang des Differentiators / Integrators eine Rechteckspannung. ($U_E = 200mV$) und skizzieren Sie jeweils den Verlauf der Ausgangsspannung bei $f = 10Hz; 100Hz; 1kHz$ und $10kHz$.

4. Aufgabe: Wienbrückenoszillator

- Berechnen Sie den Widerstand R_4 , damit die Schwingbedingung erfüllt ist.
- Messen Sie die Schwingfrequenz mit einem geeigneten Widerstand R_4 und unter Verwendung des **TL081**.

- c) Das Ausgangssignal ist für den Fall, dass der Schalter S_1 geschlossen bzw. geöffnet ist zu erklären.
- d) Messen Sie den Klirrfaktor in beiden Stellungen von S_1 .

5. Aufgabe: Aktive Filter

- a) Berechnen Sie für den Tiefpass (Sallen-Key Schaltung) jeweils eine Dimensionierung für einen: Bessel-Filter, Butterworth-Filter, Tschebyscheff-Filter.
- b) Die Frequenzgänge sind für eine Eingangsspannung $U_E = 100mV$ nachzumessen. Benutzen Sie den **TL081**.

6. Aufgabe: Präzisions–Einweggleichrichter

- a) Bei einem sinusförmigen Eingangssignal ist die Ausgangsspannung bei verschiedenen Frequenzen zu oszillografieren und abzuzeichnen. Die Veränderungen der Kurvenform sind zu erklären.
 $f = 100Hz; 1kHz; 10kHz; 20kHz$
- b) Nehmen Sie die Kennlinie $U_{DC} = f(U_{AC})$ für den OV **TL081** auf. Die Gleichspannung am Ausgang ist mit einem digitalen Voltmeter zu messen. $f = 100Hz$

7. Aufgabe: Phasenschieber

- a) Welche maximalen Phasenwinkel zwischen Eingangs- und Ausgangssignal lassen sich mit dem Regler einstellen? Überzeugen Sie sich dabei von der Amplitudenkonstanz der Schaltung.
OV: **TL081**, $U_E = 100mV$, $f=1kHz$
- b) Das Eingangs- und Ausgangssignal ist auf dem Oszilloskop in der x-y-Ebene darzustellen (Lissajous Figur). Versuchen Sie, möglichst exakt einen Kreis einzustellen. Welchem Phasenwinkel entspricht dies?

8. Aufgabe: Instrumentationsverstärker

- Derzeit keine Aufgaben

OV–Kenngrößenbestimmung

- 9. **Aufgabe:** Erklären Sie die Messschaltung. Ermitteln Sie den Zusammenhang zwischen Ausgangsspannung und Offsetspannung. Für die OV **TL081**; **LM324**; **OP177** sowie **MAX430** sind geeignete Werte für den Widerstand R_2 zu wählen. Ermitteln Sie die Offsetspannungen.
- 10. **Aufgabe:** Erklären Sie die Messschaltung. Ermitteln Sie den Zusammenhang zwischen Ausgangsspannung und den Eingangsruhestromen bzw. dem Eingangsoffsetstrom. Für die OV **TL081**; **LM324**; **OP177** sind geeignete Werte für die Widerstände R_1 und R_2 zu wählen. Ermitteln Sie die Eingangsruhestrome bzw. die Eingangsoffsetströme.
- 11. **Aufgabe:** Erklären Sie die Messschaltung. Berechnen Sie den Zusammenhang zw. U_A , U_X und der Leerlaufverstärkung. Ermitteln Sie die Leerlaufverstärkung für die Operationsverstärker **LM324**; **TL081** und **OP177**. Für jeden OV ist der Offsetregler geeignet einzustellen. $U_E = U_A = 1V$, $f = 25Hz$ Nehmen Sie den Frequenzgang der Schleifenverstärkung im Bereich $f = 25Hz...25kHz$ für die OV **OP177** und **TL081** auf.
- 12. **Aufgabe:** Erklären Sie die Messschaltung. Leiten Sie den Zusammenhang zw. U_A , U_{CM} und der Gleichtaktunterdrückung her. In wie weit ist die Messung der Gleichtaktunterdrückung fehlerhaft? Messen Sie die Gleichtaktunterdrückung für den OV **TL081**.

5 Literaturverzeichnis

- [1] M. Seifart: Analoge Schaltungen. 6., durchges. Auflage, Verlag Technik, Berlin, 2003.
- [2] J. Dostal: Operationsverstärker. 2., durchges. Auflage, Huethig Verlag, Heidelberg, 1989.
- [3] U. Tietze, Ch. Schenk: Halbleiter-Schaltungstechnik. 12. Auflage, Springer Verlag, Berlin, 2002.
- [4] J. Federau: Operationsverstärker – Lehr und Arbeitsbuch zu angewandten Grundsaltungen. Vieweg Verlag, Braunschweig, 1998.
- [5] M. Zirpel: Operationsverstärker – Schaltungs- und Formelsammlung für die Operationsverstärker-Anwendungen. 6., unveränd. Auflage, Franzis Verlag, München, 1993.
- [6] H. Meyer: Operationsverstärker und ihre Anwendung. Pflaum Verlag, München, 1990.
- [7] Datenblätter für die OV:
LM 324; LM 6361 – www.national.com
TL 054; TL 081 – www.ti.com
TLC 2201; TLC 2264 – www.ti.com
OP 177 – www.analog.com
MAX 340 – www.maxim-ic.com

6 Vorhandene Geräte

- Funktionsgenerator HM8030-4; 0,3Hz – 3MHz
- AC Millivoltmeter MV21; 5Hz – 10MHz
- Zweikanal-Oszilloskop PM 3335 (60 MHz)
- Distortionmeter HM8027
- Digitalvoltmeter
- Versuchsaufbau mit

OV: LM324; TL054; TL081; MAX430; OP177; TLC2264; TLC2201; LM6361

R: 0Ω ; $2 \times 50\Omega$; 500Ω ; $5k\Omega$; $14,7k\Omega$; $15,4k\Omega$; $2 \times 25k\Omega$; $41,2k\Omega$; $2 \times 50k\Omega$; $84,5K\Omega$; $2 \times 100K\Omega$; $187K\Omega$; $2 \times 1M\Omega$; $2 \times 10M\Omega$

<p>OFFSETSPPANNUNG</p>	<p>BIASSTROM</p>	<p>LEERLAUFVERSTÄRKUNG</p>	<p>GLEICHZEITUNTERDRÜCKUNG</p>
<p>INVERTIERENDER VERSTÄRKER / SUMMIERER</p>	<p>NICHTINVERTIERENDE GRUNDSCHALTUNG</p>	<p>AKTIVER TIEFPASS</p>	<p>DIFFERENTIATOR / INTEGRATOR</p>
<p>PRÄZISIONSEINWEG-GLEICHRICHTER</p>	<p>PHASENSCHIEBER / ALLPASS 1. ORDNUNG</p>	<p>WIENBRÜCKENOSZILLATOR</p>	<p>INSTRUMENTATIONSVERSTÄRKER</p>