

# Fachbereich Elektrotechnik

## Praktikum Elektronik 2



FH MÜNSTER  
University of Applied Sciences

Versuch: OPV Grundlagen	Parallelgruppe:	Datum:	Antestat:
Teilnehmer:			Abtestat:
(Name)	(Vorname)		

## Einleitung

### Durchführung des Praktikums

Die vorbereitenden Aufgaben sind vor dem Beginn des Praktikums zu bearbeiten. Denken Sie daran, dass die Protokolle Ihre Vorarbeiten und die Arbeit während des Praktikums dokumentieren sollen. Dies beinhaltet z.B. verwendete Schaltung, Graphen, Parameter, Messbedingung, etc. Ein weiterer Punkt ist, dass Sie versuchen sollen Ihre Ausarbeitungen in einem Textverarbeitungsprogramm zu erstellen. Sie werden im Laufe Ihres Studiums noch weitere Protokolle erstellen müssen. Daher empfiehlt es sich frühzeitig in die gängigen Tools einzuarbeiten.

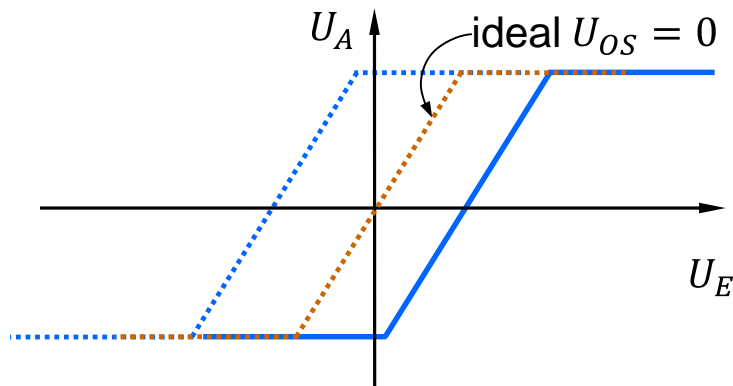
### Operationsverstärker

Operationsverstärker wurden für die Durchführung mathematischer Operationen in Analogtechnik entwickelt und werden deshalb auch als Rechenverstärker bezeichnet. Sie sind standardisierte Universalschaltungen, um gewünschte Eingangs- und Ausgangsbeziehungen zu realisieren. Es dominiert hierbei die Ausführung als integrierter Schaltkreis. Gebräuchliche Kurzbezeichnung für den Operationsverstärker sind: OpAmp (operational amplifier), OP oder OPV. Der Operationsverstärker ist eine in sich geschlossene Anordnung von verschiedenen Einzelbaugruppen: einem Differenzverstärker als Eingangsstufe, einer Konstantstromquelle (für die Differenzverstärkerbaugruppe), einem Verstärker mit Gleichtaktunterdrückung von 80 dB bis 100 dB, der Endstufe und einer Strombegrenzung. Die Schaltung OPV wird als Bauelement behandelt. Durch eine äußere Beschaltung kann dieser unterschiedliche Übertragungscharakteristika annehmen.

### Offsetspannung, Offsetkompensation

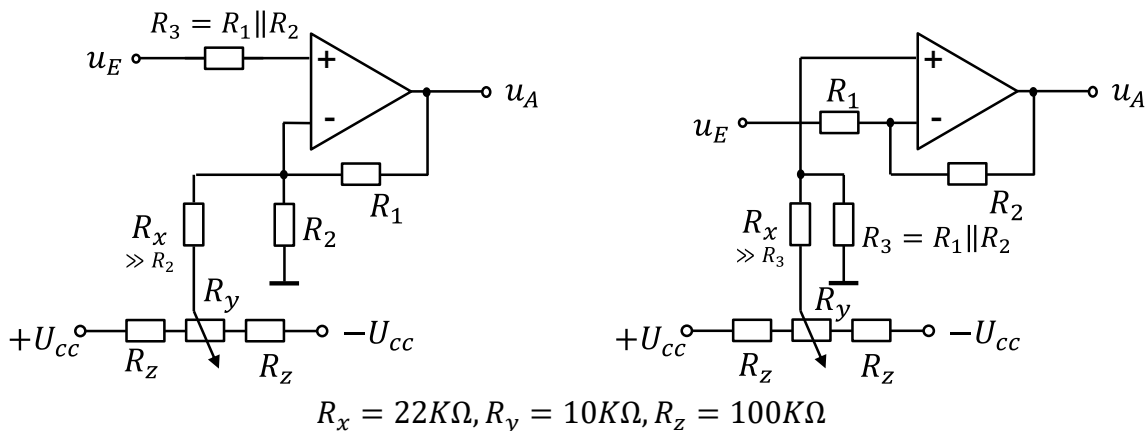
Im Idealfall sollte die Übertragungskennlinie des OPV durch den Nullpunkt verlaufen (rote Kurve in Abbildung 1). Dies bedeutet, dass bei 0 Volt Eingangsspannung auch 0 Volt Ausgangsspannung zu messen sein sollte. Die Kennlinie sollte linear und mit der Steigung  $A_D$  verlaufen. Im Realfall stellt sich aber aufgrund von internen (oder auch externen) Unvollkommenheiten der Schaltung eine Ausgangsspannung ungleich Null ein (blaue Kurve in Abbildung 1). Diejenige Differenzeingangsspannung, die an den Eingängen angelegt werden muss, damit die Ausgangsspannung 0 Volt wird, bezeichnet man als Eingangsfehlspannung bzw. Eingangs-Offset-Spannung  $U_{OS}$ . Dieser Fehler kann durch Biasströme, Unsymmetrie der Differenzverstärkerstufen,

Temperaturdrift etc. bewirkt werden.  $U_{OS}$  kann beide Polaritäten besitzen. Alle Wege, diesen Fehler zu beheben, werden Offsetkompensation genannt.



**Abbildung 1: Offsetspannung**

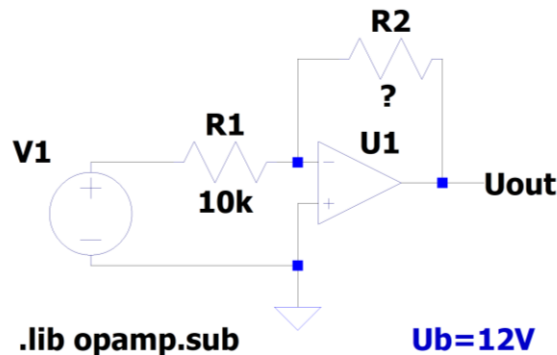
Abbildung 2 zeigt zwei Beispiele der externen Kompensation. Die Offsetspannung wird durch eine Gegenspannung am Eingang kompensiert. Der Widerstand  $R_3$  wirkt dem Biasstrom (Eingangsruhestrom) entgegen, indem man die wirksamen Widerstände in den Eingangsleitungen gleich groß macht (vergl. Vorlesung Elektronik 1, Kap. 6 Seiten 22ff.). Mit dem Potentiometer kann die Ausgangsoffsetspannung auf Null eingestellt werden. Die produktionsbedingten Offset-Spannungen werden bei fast allen ICs, die mehrere OPVs in einem Gehäuse unterbringen, intern Offset-kompensiert. Ihr Fehler kann aber immer noch einige mV Differenz betragen. Einige Hersteller ermöglichen den Offsetabgleich über zwei Anschlüsse am IC. Eine weitere Reduktion bis zu  $1 \mu\text{V}$  ist durch eine so genannte Chopper-Stabilisation möglich, bei der während des Betriebs die Offset-Spannung gemessen und kompensiert wird.



**Abbildung 2: Offsetkompensation für nichtinvertierenden OPV (links) und invertierenden OPV (rechts).**

# Versuchsvorbereitung

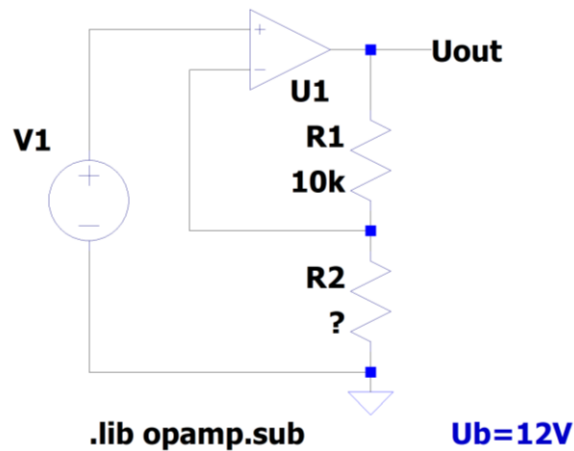
## Invertierender Operationsverstärker



**Abbildung 3: Invertierender Verstärker**

- a) Leiten Sie für den in Abbildung 3 gezeigten invertierenden Verstärker die Übertragungsfunktion  $\frac{U_{aus}}{U_{ein}}$  her. Bedenken Sie dabei, dass der Operationsverstärker eine endliche Verstärkung  $A_D$  besitzt, ansonsten sich aber ideal verhält.
- b) Berechnen Sie allgemein den Eingangswiderstand eines Invertierenden Verstärkers.
- c) Dimensionieren Sie die Schaltung, so dass die Gleichspannungsverstärkung  $A_{D0} = -4$  beträgt, unter der Annahme, dass die OPV Verstärkung  $A_D$  unendlich ist. Wählen Sie den Widerstand aus der E12 Normreihe aus. Machen Sie eine Worst Case Betrachtung des Gleichspannungsverstärkungs-Schwankungsbereich für Widerstände mit einer Toleranz von  $\pm 1\%$ .
- d) Simulieren Sie die Schaltung mit den idealen Widerstandswerten in LTSpice. Tragen Sie dafür auf der Abszisse die Eingangsspannung  $U_{ein}$  und auf der Ordinate die Ausgangsspannung  $U_{aus}$  auf. Benutzen sie hierzu den idealen Operationsverstärker *opamp* aus der Library *opamp*. Hierzu verwenden Sie bitte folgende SPICE-Direktive: *.lib opamp.sub*. Des Weiteren führen Sie eine AC Simulation durch. Wählen Sie selbständig geeignete Bereiche für die verschiedenen Simulationen.

## Nichtinvertierender Operationsverstärker



**Abbildung 4: Nichtinvertierender Verstärker**

- Leiten Sie für den in Abbildung 4 gezeigten Nichtinvertierenden Verstärker die Übertragungsfunktion  $\frac{U_{aus}}{U_{ein}}$  her. Bedenken Sie dabei, dass der Operationsverstärker eine endliche Verstärkung  $A_D$  besitzt, ansonsten sich aber ideal verhält.
- Berechnen Sie allgemein den Eingangswiderstand eines Nichtinvertierenden Verstärkers.
- Dimensionieren Sie die Schaltung, so dass die Gleichspannungsverstärkung  $A_{D0} = 5$  beträgt, unter der Annahme, dass die OPV Verstärkung  $A_D$  unendlich ist.
- Welches ist die kleinstmöglich einstellbare Verstärkung mit einem Nichtinvertierenden Verstärker.?
  - Welche Widerstandswerte müssen dafür eingestellt werden?
  - Welchen Namen trägt diese Schaltung?
- Simulieren Sie die Schaltung in LTspice. Tragen Sie dafür auf der Abszisse die Eingangsspannung  $U_{ein}$  und auf der Ordinate die Ausgangsspannung  $U_{aus}$  auf.
- Führen Sie eine AC Simulation durch.

Ersetzen Sie das ideale OPV Modell mit dem des realen ADTL082 Modells.

- Simulieren Sie die Schaltung in LTspice. Tragen sie dafür auf der Abszisse die Eingangsspannung  $U_{ein}$  und auf der Ordinate die Ausgangsspannung  $U_{aus}$  auf. Welche Unterschiede stellen Sie zwischen der Simulation mit idealem und realem OPV fest? Begründen Sie ihre Aussagen.
- Führen Sie eine AC Simulation durch. Welche Unterschiede stellen Sie zwischen der Simulation mit idealem und realem OPV fest? Begründen Sie Ihre Aussagen.

## Hochohmige Spannungsquelle

In der Signalverarbeitung kommt es häufig vor, dass man z.B. ein Signal eines Sensors mit einem großen Innenwiderstand verstärken muss. Diese Art von Sensoren kann man als ideale Spannungsquelle mit großem Innenwiderstand modellieren. Untersuchen Sie den Einfluss der Schaltung (invertierender bzw. nichtinvertierender Verstärker) auf das Messsignal. Daher fügen Sie der idealen Spannungsquelle aus den vorherigen Versuchen einen Innenwiderstand  $R_i$  hinzu.

- a) Simulieren Sie den invertierenden und nichtinvertierenden Verstärker mit der modifizierten Spannungsquelle. Hierzu verwenden Sie als OPV das ADTL082 Modell. Führen Sie einen Parametric Sweep für den Innenwiderstand  $R_i$  mit  $1\text{k}\Omega$ ,  $100\text{k}\Omega$  und  $1\text{M}\Omega$  durch.
- b) Welchen Unterschied zwischen invertierendem und nichtinvertierendem Verstärker können Sie feststellen? Geben Sie für die beobachteten Unterschiede eine Begründung an.

## Differentiator und Integrator

Erklären Sie das Funktionsprinzip von Integratoren und Differentiatoren mit Ihren eigenen Worten. Geben Sie die Übertragungsfunktion der jeweiligen Schaltung an.