

Versuch 51 - Schaltungen mit Operationsverstärkern

Ziel des Versuchs

In diesem Versuch sollen grundlegende Schaltungen mit Operationsverstärkern aufgebaut und untersucht werden. Hierbei sollen Unterschiede zwischen einem realen und idealen Operationsverstärker, sowie einige Anwendungsmöglichkeiten und Grenzen verdeutlicht werden.

Vorbereitung

Für die Durchführung ist es notwendig, dass Sie das Datenblatt des Operationsverstärkers LM741 lesen (online verfügbar). Dabei ist die Herkunft (Firma) des Datenblatts nicht relevant. Weiterführende Informationen finden Sie im Buch „*Operationsverstärker*“ [1] von Joachim Federau und in „*Gleichstromnetze, Operationsverstärkerschaltungen, elektrische und magnetische Felder*“ [2] Kapitel 2 von Ludwig Brabetz. Für die Schaltung 6 können Sie im Buch „*Operational amplifiers*“ [3] von Jerald G. Graeme nachschlagen. Die Bücher sind im Anhang referenziert. Nach Studium der Literatur sollten Sie in der Lage sein die folgenden Fragen zu beantworten:

1. Welche der 8-Kontakte am Operationsverstärker werden Sie verwenden müssen und was für Spannungen dürfen nicht überschritten werden?
2. Weshalb werden in den meisten Fällen die beiden Versorgungsspannungen um 0 V symmetrisch verwendet? Was passiert, wenn die beiden Spannungen nicht exakt entgegengesetzt gleich groß sind?
3. Nennen Sie einige Unterschiede zwischen realem und idealem Operationsverstärker.
4. Verdeutlichen Sie sich, wie man eine Schaltung aufbaut, indem Sie im Anhang eine Schaltung nach Abbildung 1 exemplarisch in die vorgefertigte Zeichnung 9 skizzieren.
5. Was versteht man unter Gleichtaktunterdrückung?
6. Wie hängen Verstärkung und Ausgangsbandbreite zusammen?
7. Zeigen Sie rechnerisch, dass ein Operationsverstärker zur Integration und Differenzierung einer Spannung genutzt werden kann. Wie ist jeweils das Frequenzverhalten hierbei?
8. Was versteht man unter dem Begriff „Mitkopplung“?
9. Wie sieht der Kurvenverlauf eines Graphen mit der Eingangsspannung auf der x-Achse und der Ausgangsspannung auf der y-Achse bei einer Mitkopplung aus? (Stichwort: Schmitt-Triggerschaltung) Für die Auswertung benötigen Sie die Gleichung des Umschaltpunktes/Schwellwertes.
10. Welcher Signalverlauf ergibt sich, wenn der Ausgang eines Schmitt-Triggers über einen Integrator rückgekoppelt wird? Betrachte hierzu die Abbildung 5.
11. Was ist der theoretische Wert der Frequenz der erzeugten Schwingung bei der Schaltung in Abb. 5?
12. Welche DGL beschreibt den Spannungsverlauf am Ausgang des Schwingungsgenerators in Abbildung 6 am Punkt U_a ?

Literatur

- [1] Joachim Frederau, „Operationsverstärker“, Springer-Verlag (2017)
<https://katalog.ub.tu-dortmund.de/titel/ubd.lobid:HT019406017>
- [2] Ludwig Brabetz, „Gleichstromnetze, Operationsverstärkerschaltungen, elektrische und magnetische Felder“, De Gruyter (2015)
https://katalog.ub.tu-dortmund.de/titel/ubd.dmpmms:dg_9783110351521
- [3] Jerald G. Graeme, „Operational amplifiers“, McGraw-Hill (1971)
<https://katalog.ub.tu-dortmund.de/titel/ubd.lobid:HT000588990>

Versuchsaufbau

Der Versuch wird auf einer sogenannten Steckplatine aufgebaut. Grundlegend befinden sich am Versuchsstand ein Oszilloskop, ein Funktionsgenerator als Eingangsspannungsquelle, eine Steckplatine PB-100/*breadboard* von Conrad, mehrere verschiedene Elektronikbauteile und ein Multimeter. Bei der Steckplatine befinden sich auch die Versorgungsspannungen und der Ground-Anschluss, sowie Anschlussmöglichkeiten für ein Oszilloskop und Funktionsgenerator.

Der genaue Versuchsaufbau, hängt von der jeweiligen Schaltung ab. Beachten Sie die Richtung der Kerbe auf dem Operationsverstärker, um die Kontakte korrekt zu zuordnen. Durch fehlerhafte Kontaktierung oder Überbrückung von Widerständen, kann der Operationsverstärker kaputt gehen.

Versuchsdurchführung

Invertierender-Linearverstärker

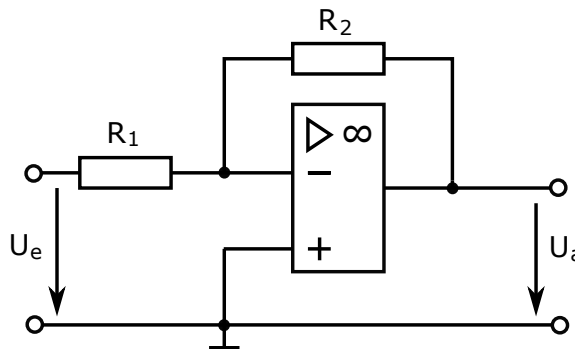


Abbildung 1: Aufbau des invertierenden-gegengekoppelten-Linearverstärkers

Bauen Sie den in Abb. 1 gezeigten invertierenden Linearverstärker mit $R_1 = 1\text{ k}\Omega$ und $R_2 = 100\text{ k}\Omega$ auf. Messen Sie bei einer Eingangsspannung $U_e = 50\text{ mV}$ ($U_e^{PP} = 100\text{ mV}$) über mehrere Dekaden den Frequenzgang eines gegengekoppelten Verstärkers. Machen Sie den Abfall der Verstärkung mit steigender Frequenz bei sinusförmigen Eingangssignalen dadurch kenntlich. Messen Sie parallel hierzu die Phase zwischen der Eingangs- und Ausgangsspannung in Abhängigkeit des Widerstandsverhältnisses und der Frequenz.

Stellen Sie die Verstärkung über den Gegenkopplungszeitpunkt ein und stellen Sie mittels eines Oszilloskops sicher, dass die Verstärkung unverzerrt ist. Bedenken Sie, dass das untere Potenzial am Nicht-Invertierenden-Eingang auf Erde liegt.

Wiederholen Sie die Messungen für mindestens zwei weitere Verstärkungsfaktoren.

a) Die ermittelten Messwerte der Frequenz und Verstärkungsgrade tragen Sie in einem doppelt-logarithmischen Graphen dar. In diesem sollten ein Plateaubereich und ein abfallender Bereich kenntlich sein. Zur Bestimmung der Leerlaufverstärkung kann im Plateau-Bereich entweder eine Gerade durchgefittet oder ein Mittelwert gebildet werden.

Durch den abfallenden Bereich soll eine Kurve durchgefittet werden und aus den beiden Bereichen gewonnenen Parametern die Grenzfrequenz (Punkt wo $U_a = V * U_e / \sqrt{2}$ ist), die Leerlaufverstärkung, sowie das Bandbreitenprodukt ermittelt werden.

b) Tragen Sie die Phasenbeziehung in Abhängigkeit der Frequenz auf. Was für eine Form hat die Kurve? Welcher Grundsaltung ähnelt damit die Schaltung 1?
(Durch diese müssen Sie **KEINEN** Fit legen.)

Umkehr-Integrator

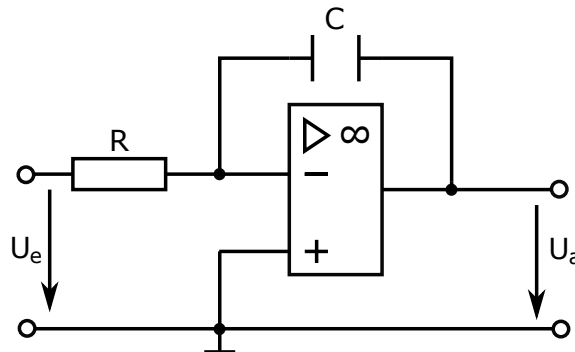


Abbildung 2: Umkehr-Integrator-Schaltung

c) Bauen Sie einen Umkehrintegrator wie in Abbildung 2 mit $R = 10 \text{ k}\Omega$ und $C = 100 \text{ nF}$ auf. Überprüfen Sie, ob die gewählte Zeitkonstante sinnvoll ist, indem sie die Proportionalität zwischen Ausgangsspannung und dem Kehrwert der Frequenz für ein sinusförmiges Eingangssignal nachmessen. Messen Sie Ein- und Ausgangsspannung in Abhängigkeit der Frequenz.

Plotten Sie ihre Frequenz- und Ausgangsspannungsmesswerte in einem doppelt-logarithmischen Diagramm. Suchen Sie einen sinnvollen Frequenzbereich und machen Sie eine Ausgleichsgrade. Ermitteln Sie daraus die in den Vorbereitungen ermittelte Proportionalität. Zeigen Sie ihre Eingangssignale im Vergleich zu den resultierten integrierten Ausgangssignalen.

Nutzen Sie ein digitales Speicheroszilloskop um die Ausgangssignale für sinusförmige, dreieckförmige und rechteckförmige Eingangssignale darzustellen und abzuspeichern. Speichern Sie sowohl Bildschirmfotos als auch Rohdaten (CSV-Format). Achten Sie darauf, dass die Eingangsspannung keinen Gleichspannungsanteil enthalten darf.

invertierender-Differenzierer

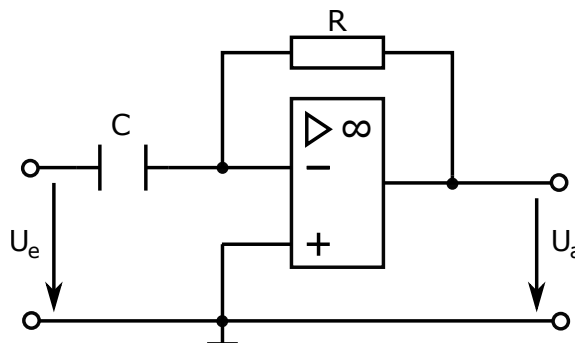


Abbildung 3: invertierende-Differenzierer-Schaltung

d) Bauen Sie einen Differenzierer mit $R = 100 \text{ k}\Omega$ und $C = 22 \text{ nF}$ auf (Schaltung 3). Verfahren Sie bei den Messungen analog zu Teilaufgabe c).

nicht-invertierende-Schmitt-Trigger

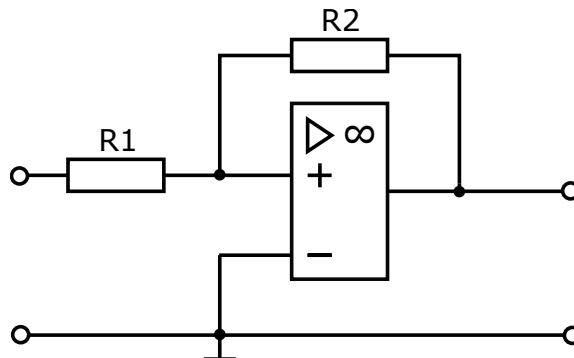


Abbildung 4: nicht-invertierende-Schmitt-Trigger-Schaltung

e) Bauen Sie eine Schmitt-Trigger-Schaltung mit $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$ und $R_2 = 100 \text{ k}\Omega$ (Abbildung 4) auf. Legen Sie ein sinusförmiges Signal am Eingang an und vergrößern Sie von 0 V ausgehend die Amplitude in einigen Millivolt-Schritten. Bestimmen Sie am Oszilloskop die Amplitude, bei der die Schaltung gerade anfängt zu kippen (Scheitelwert). Alternativ können Sie ein Dreiecks-Signal verwenden, welches eine größere Spannung als die Kippspannung hat und anhand dieser mehrere Punkte ablesen wo die Schaltung anfängt zu kippen, und über diese mitteln.

Beachten Sie hierbei, dass es sich um eine Hysterese-Verlaufskurve handelt zwischen Eingangs- und Ausgangsspannung. Speichern Sie in diesem Zustand synchrone Daten von Eingangsspannung und Ausgangsspannung am Oszilloskop. Vergleichen Sie die Kippspannung/Scheitelspannung mit dem theoretisch vorhergesagten Wert.

Signalgenerator

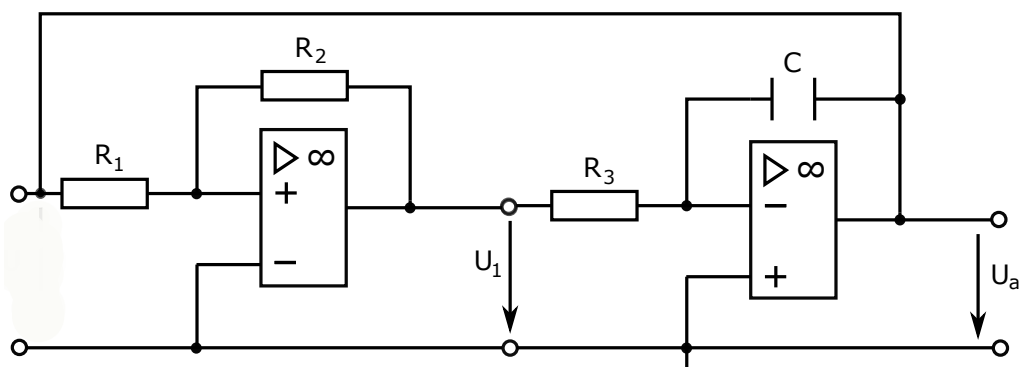


Abbildung 5: Signalgenerator-Schaltung

f) Ergänzen Sie einen invertierenden Integrator hinter der obigen Schmitt-Trigger-Schaltung (Abbildung 5) und führen Sie das Ausgangssignal des Integrators auf den Eingang des Schmitt-Triggers zurück. Das System fängt spontan an zu schwingen und erzeugt ein Dreieckssignal U_a der Frequenz $\nu_{\text{Dreieck}} = \frac{R_2}{4C R_1 R_3}$ und Amplitude $U_{\text{max}} \cdot \frac{R_1}{R_2}$. Beobachten Sie mithilfe des Oszilloskops die Signale U_1 und U_a und vergleichen Sie Frequenz und Amplitude mit den Theoriewerten. Verwenden Sie folgende Bauteile für die Schaltung: $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 100 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 1 \text{ k}\Omega$ und $C = 1 \text{ }\mu\text{F}$.

Für Interessierte: variierende Amplituden

Bauen Sie die variierende-Amplituden-Schaltung 6 für den Fall $C = 22 \text{ nF}$ oder $C = 100 \text{ nF}$ auf. Das Schaltobjekt P in der Schaltskizze ist hierbei ein Potentiometer.

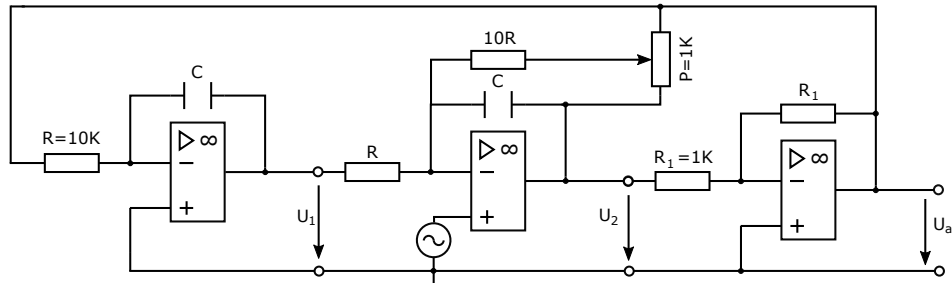


Abbildung 6: Schaltung für Variierende Sinusamplituden

Zeigen Sie experimentell, dass folgendes gilt:

$$T = 2\pi RC \quad (\text{Schwingungsdauer}) \quad (1)$$

$$\tau = \frac{20RC}{|\eta|} \quad (\text{Abklingdauer/Zunahmedauer}) \quad (2)$$

τ ist hierbei die Zeit für die Abnahme/Zunahme der Amplitude bis auf den e-ten(oder auf das e-fache) Teil ihres Anfangswertes. Hierbei stellt η die Dämpfung($\eta < 0$) bzw. Enddämpfung($\eta > 0$) dar und gibt den Bruchteil der Ausgangsspannung U_A dar, welcher auf den Eingang des OPV2 gegeben wird. Dabei kann sein Wert durch das Potentiometer P zwischen -1 bis 1 variiert werden.

g) Im Falle $\eta < 0$ soll eine gedämpfte Schwingung mit Hilfe des Oszillographen aufgenommen werden. Aufgrund der Dämpfung, müssen sie zusätzlich in den Aufbau noch eine Rechteckspannung in den nicht-invertierenden Eingang des OPV2 einspeisen, da das System nicht von alleine anfängt zu schwingen.

Ermitteln Sie hieraus die Abhängigkeit der Schwingungsamplitude von der Zeit. Stellen Sie dafür das Ergebnis in einem halblogarithmischen Diagramm dar und ermitteln sie daraus τ . Vergleichen Sie dabei ihr Ergebnis erneut mit dem Theorie-Wert.

h) Für den Fall $\eta > 0$ wird eine charakteristische Frequenz/Schwingungsdauer entstehen, welche mithilfe des Oszilloskops ausgemessen werden sollen. Vergleichen Sie diese mit dem theoretischen Wert.

Zusätzliche Informationen/Inhalte

Für das Verständnis, wie eine Steckplatine zu verwenden ist, informieren Sie sich im Idealfall. Exemplarisch ist in Abbildung 7 eine Zeichnung für die Verbindungslinien dargestellt.

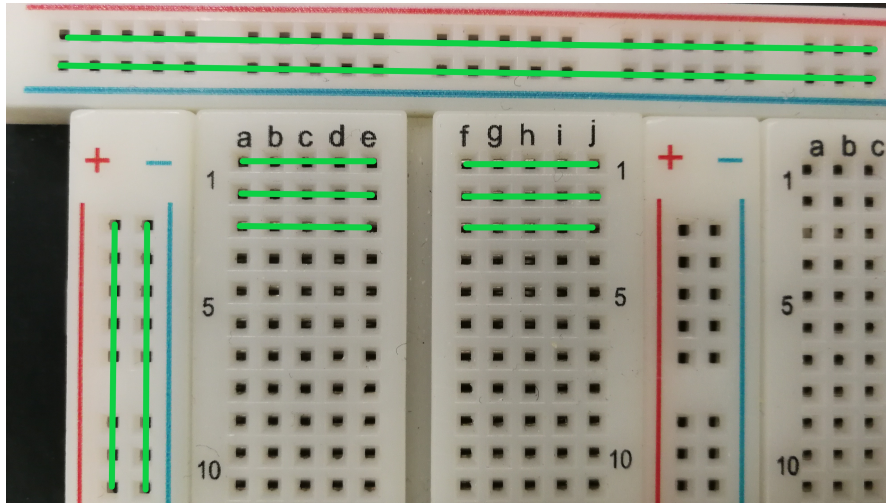


Abbildung 7: Das skizzierte Bild, stellt exemplarisch die elektrisch miteinander verbundenen Reihen durch grüne Linien dar. Bei Fragen den entsprechenden Betreuer fragen.

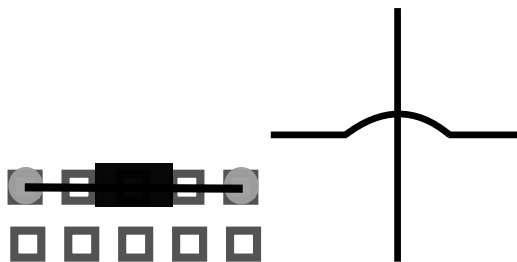


Abbildung 8: Exemplarisches einzeichnen eines Widerstandes (Links) und überkreuzter Verbindungen, die nicht verbunden sind (Rechts).

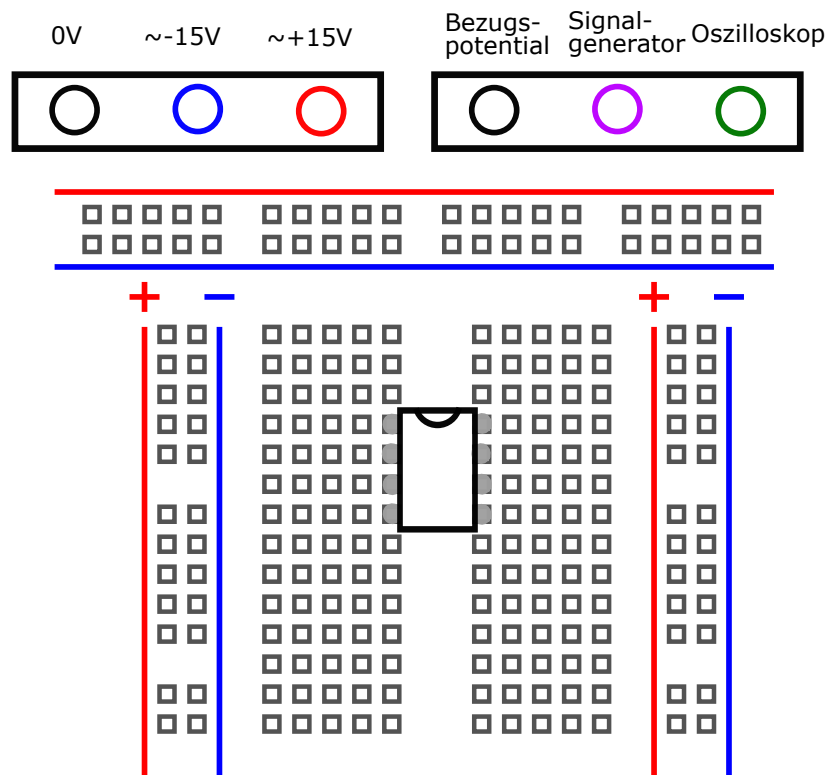


Abbildung 9: Breadboard zum testen der invertierenden-Gegenkopplung-Schaltung

Anmerkung:

Die in dieser Anleitung dargestellten Operationsverstärker sind die üblichen Schaltzeichen nach der DIN-EN-6067 Norm, wobei eine veraltete Version existiert. Ein Vergleich wird in Abbildung 10 dargestellt.

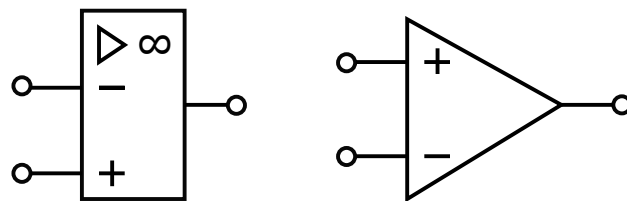


Abbildung 10: Links das Schaltzeichen nach der Norm DIN-EN-6067. Rechts das veraltete Symbol.