



Elektronikpraktikum

7 Eigenschaften realer Operationsverstärker

Stichworte zur Vorbereitung: Eigenschaften realer Operationsverstärker; Unterschiede zum idealisierten Modell; Bedeutungen und deutsche Bezeichnung der Größen „gain-bandwidth product“, „slew rate“, „open-loop gain“, „(closed-)loop gain“; „offset“-Spannungen und -Ströme bei realen Operationsverstärkern und deren Kompensation; Fourier-Transformation periodischer Signale; Fourierspektren von Sinus-, Rechteck- und Dreieck-Signalen; Vergleichen Sie die Operationsverstärker OP27G und OP177G hinsichtlich der oben genannten Parameter anhand der Datenblätter.

Schriftliche Vorbereitung: Dimensionieren Sie die am Versuchstag benötigten Schaltungen. Wie lautet die Übertragungsfunktion U_a/U_e und der Phasengang für einen Tiefpass? Leiten Sie daraus die Frequenzabhängigkeit der Verstärkung $v(f)$ eines intern kompensierten Operationsverstärkers ab, der dieser Charakteristik folgt. Wie sieht das zugehörige Ersatzschaltbild eines realen Operationsverstärkers aus? Erstellen Sie qualitative Diagramme $\log_{10}(v)$ (in dB darstellen) über $\log_{10}(f)$ mit den Daten für den OP27G und den OP177G und zeichnen Sie die Bandbreiten bei Verstärkung 1, 10 und 100 ein (Diagramme ausreichend groß darstellen!). Berechnen Sie für beide Operationsverstärker die maximale Frequenz, die bei der jeweils gegebenen slew rate noch zu einem unverzerrten Sinussignal mit $25 V_{pp}$ Ausgangsspannung führt. Welche Verstärkung müssen Sie einstellen, damit die errechnete Frequenz noch innerhalb der damit verbundenen 3-dB-Bandbreite liegt?

Verständnisfragen: Worin unterscheiden sich reale Operationsverstärker vom idealen Modell? Welche Größen charakterisieren die realen Eigenschaften des Verstärkers? Worauf müssen Sie achten, wenn Sie für einen bestimmten Zweck einen Verstärker benötigen? Hat man völlige Freiheit bei der Wahl einer Verstärkung, lässt sich dann mit jedem Operationsverstärker für beliebige Frequenzen eine funktionierende Schaltung realisieren? Wenn nein, was limitiert die Möglichkeiten?

Auf welche Eigenschaft müssen Sie bei der Auswahl eines Operationsverstärkers besonders achten, wenn Sie mit einem Schmitt-Trigger eine sehr steile Flanke erzeugen wollen?

Worin besteht der Unterschied zwischen Bandbreiten-Begrenzung und slew rate-

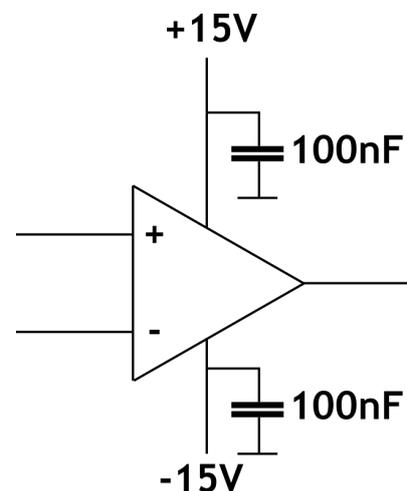
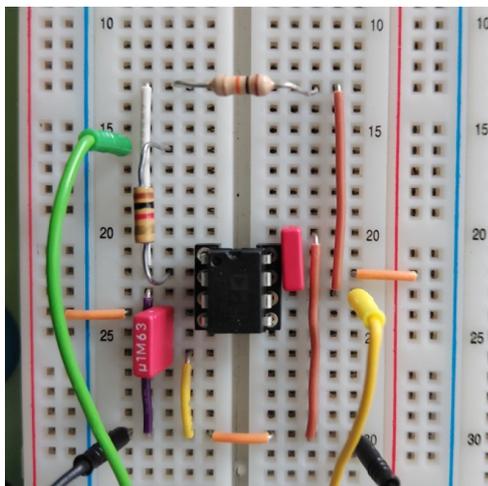
Begrenzung?

LabVIEW-VIs:

Für die Aufnahme von Daten steht ein fertiges LabVIEW-Programm zur Verfügung (V07-V08_frequenzgang.vi). Beachten Sie insbesondere bei der Messung der Phase, dass die Verstärker in einer invertierenden Beschaltung betrieben werden ($\hat{=} 180^\circ$ Phasenverschiebung!). Bei sehr kleinen Ausgangsspannungen versagt die automatische Erfassung der Phase, Messdaten müssen entsprechend bearbeitet werden. Achtung: Das Programm verlangt eine externe Triggerung mit dem Sync-Signal des Generators!

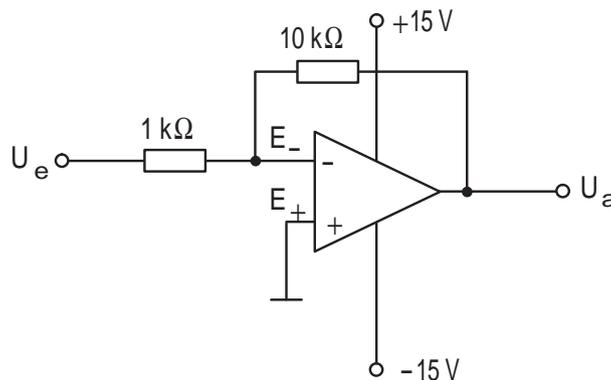
Hinweis:

Achten Sie bei den folgenden Versuchen darauf, nicht zu große oder zu kleine Eingangspegel zu wählen, um am Ausgang nicht gegen U_{Bat} zu laufen bzw. um ein ausreichend gutes Signal-Rausch-Verhältnis zu bekommen. Jeweils bei f_{min} und f_{max} überprüfen! Die Auswertung mit dem Oszilloskop funktioniert mit Signalamplituden ab 20 mV in der Regel gut. Stützkondensatoren (Lesen Sie unter diesem Stichwort nach, wofür das dient.) mit einer Kapazität von jeweils etwa 100 nF in den beiden Versorgungsleitungen verbessern die Stabilität von Operationsverstärker-Schaltungen:



7.1 Frequenzgang

Vergleichen Sie die Operationsverstärker der Typen OP177 und OP27 als invertierende Verstärker mit einer Verstärkung von 20 dB. Untersuchen Sie jeweils das Frequenzverhalten von Amplitude und Phase der gegengekoppelten Operationsverstärker bei 0 dB, 20 dB und 40 dB. Bestimmen Sie daraus jeweils die „Gain-Bandwidth“-Produkte der beiden Verstärkertypen. Vergleichen Sie die gemessenen Daten mit den Datenblättern. **Sind die bei Variation der Verstärkung beobachteten Frequenzgänge mit den Datenblättern konsistent?**



7.2 Slew Rate

Bestimmen Sie die maximal mögliche zeitliche Änderung der Ausgangsspannung ('slew rate') indem Sie den Operationsverstärker OP177 mit einer Verstärkung von 10 mit einem Rechtecksignal (ca. 10 kHz) ansteuern. **Wie ändert sich die Kurvenform am Ausgang des Verstärkers, wenn Sie versuchen, die Ausgangsspannung von ca. 200 mV_{pp} auf 10 V_{pp} zu erhöhen?** Vergleichen Sie den experimentellen Wert mit dem Datenblatt.

7.3 Verzerrung

Untersuchen Sie das Ausgangssignal des Verstärkers, wenn Sie am Eingang Sinussignale unterschiedlicher Amplituden anlegen. Benutzen Sie dazu die FFT-Funktion des Oszilloskops. **Was bedeutet Verzerrung?** Diskutieren Sie die Spektren (zB. hinsichtlich Verzerrungsgrad, Zusammensetzung des Spektrums, relative Stärke der Oberwellen zur Grundwelle, Nicht-Linearität...)

7.4 Limitierte Bandbreite

Was ist für die in 7.1 gemessenen Bandbreitenbegrenzungen der Verstärker verantwortlich? Prüfen Sie durch Rechnung, ob die maximale slew rate hier eine Rolle gespielt hat. Was bedeuten die gewonnenen Erkenntnisse für das Frequenzverhalten von Operationsverstärkern bei großen und kleinen Signalamplituden?

7.5 Offset-Kompensation

Stellen Sie die Verstärkung der Schaltung aus 7.1 auf 40 dB ein und messen Sie die Ausgangsspannung für $U_e=0\text{ V}$ (Kurzschluss). Berechnen Sie daraus die Eingangs-Offsetspannung. Überlegen Sie, welche Möglichkeiten zur Kompensation dieser Spannung denkbar sind. Wie gut können Sie die Offset-Spannung nach der im Folgenden abgebildeten Methode kompensieren?

