

Versuch 5

Oszillatoren und Filter mit Operationsverstärkern**1. Einleitung**

In diesem Versuch werden weitere praktische Anwendungen von OPV in Schaltungen untersucht: Unter Verwendung einer frequenzabhängigen Rückkopplung lassen sich sowohl Oszillator- (zur Erzeugung definierter Schwingungen) als auch Filterschaltungen (zur definierten Filterung eines Frequenzspektrums) realisieren.

Im ersten Teil sollen Sie zwei verschiedene Oszillator-Grundsaltungen entwerfen, analysieren und aufbauen: den einfachen RC-Oszillator (astabiler Multivibrator) und den Wien-Brücken-Oszillator. Ihr Verhalten soll auch mit der EWB-Simulation untersucht werden.

Im zweiten Teil werden unter Anwendung von EWB aktive Filterschaltungen simuliert. Sie müssen Sie nicht unbedingt aufbauen - nur wenn Ihnen genügend Zeit zur Verfügung steht und das technisch einfach realisierbar ist, können Sie es tun. Aus Zeitgründen sollten Sie sich aber auf die Simulation mit EWB konzentrieren!

Wie immer entwerfen Sie zunächst Ihre Schaltung theoretisch. Unter Anwendung von EWB analysieren und dimensionieren Sie dann alle verwendeten Bauelemente - noch bevor Sie die Schaltung tatsächlich aufbauen.

Vergleichen Sie - soweit möglich und sinnvoll - stets Ihre Messresultate mit den Simulationsergebnissen von EWB und erklären Sie die Ursachen für auftretende Abweichungen!

2. Oszillatoren

Oszillatoren sind als Signalquellen für analoge Elektronik und als Taktgeneratoren für Digitalelektronik und Computertechnik von Bedeutung.

Schwingungen werden gewöhnliche durch (positive) Rückkopplung bzw. Mitkopplung in Verstärkern erzeugt. Wie Sie sicher in den letzten Versuchen beobachtet haben, treten in aufgebauten Verstärkerschaltungen bei ungünstiger Leitungsführung oft störende höherfrequente Schwingungen auf. Diese Schwingungen entstehen infolge unerwünschter Rückkopplung durch parasitär (also unbeabsichtigt) rückwirkende Elemente (Induktivitäten, Kapazitäten).

In diesem Abschnitt lernen Sie einige Standardmethoden zur gezielten Erzeugung spontaner Schwingungen kennen. Es wird untersucht, wie eine definierte Schwingungsfrequenz realisiert werden kann.

- Bauen Sie beide in diesem Abschnitt angegebene Oszillatorschaltungen auf!
- Messen Sie jeweils die Schwingungsfrequenz und finden Sie heraus, durch welche Bauelemente der Schaltung sie festgelegt ist!
- Skizzieren Sie den zeitlichen Verlauf der Ausgangssignale und diskutieren Sie den Oberwellenanteil der Schwingungen (Form, Harmonische etc.)!

2.1 Einfacher RC-Oszillator

In der Schaltung in Abb.1 wird ein OPV als sogenannter bistabiler Komparator (Vergleicher) eingesetzt, d.h. die Eingangsspannungen am invertierenden und nichtinvertierenden Eingang werden miteinander verglichen. Entsprechend den beiden möglichen Eingangszuständen $U_+ > U_-$ bzw. $U_+ < U_-$ kann das Ausgangssignal U_{aus} zwei verschiedene Zustände annehmen (daher die Bezeichnung "bistabil"). Der Komparator ist aber nun zusätzlich rückgekoppelt (RC-Glied), so dass die Schaltschwelle des Komparators (am invertierenden Eingang) zeitlich veränderlich ist. Untersuchen Sie die Signalformen an beiden Eingängen des OPV!

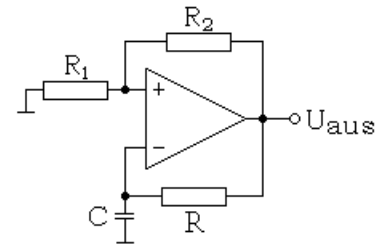


Abb.1 Schaltung des einfachen RC-Oszillators

Die Oszillatorfrequenz sollte von der RC-Zeitkonstante und der Verstärkung R_2/R_1 abhängen.

Bestimmen Sie diese Abhängigkeiten - Sie sollten in der Lage sein, sie analytisch zu berechnen! Vergleichen Sie Ihre Berechnungen mit den Messergebnissen!

2.2 Wien-Brücken-Oszillator

Bei diesem Oszillator wird ein resonantes RC-Netzwerk in der Rückkopplung verwendet (vgl. Abb.2a).

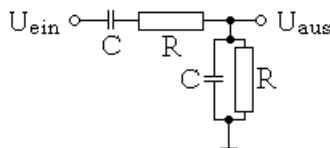


Abb.2a RC-Rückkopplungsnetzwerk

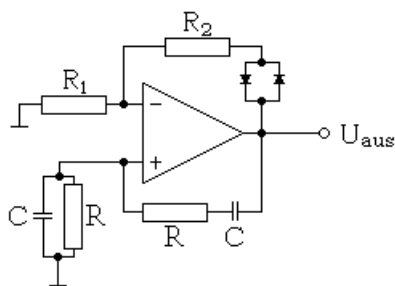


Abb.2b Wien-Brücken-Oszillator

Messen Sie zunächst die Frequenzcharakteristik des in Abb.2a dargestellten RC-Netzwerkes aus und überzeugen Sie sich vom Resonanzverhalten!

Danach bauen Sie die vollständige Schaltung nach Abb.2b auf. Die Verstärkung stellen Sie mit R_2/R_1 so ein, dass ein stabiles, näherungsweise sinusförmiges Signal erzeugt wird! Hinweis: Bei zu kleiner Verstärkung erhalten Sie ein Ausgangssignal in Sättigung, bei zu großer Verstärkung verhält sich die Schaltung wie der einfache RC-Oszillator. Die Schwingungsfrequenz ist nur abhängig von der RC-Zeitkonstante. Die beiden antiparallel geschalteten Dioden in Abb.2b verursachen eine leichte Nichtlinearität in der Gegenkopplung und damit eine Stabilisierung der Schwingungen. Testen Sie die Schaltung mit und ohne Dioden, um diesen Sachverhalt zu überprüfen!

3. Aktive Filter

Passive Filternetzwerke - bestehend aus Widerständen, Induktivitäten und Kapazitäten - werden üblicherweise zur Änderung des Frequenzganges in verschiedenen Verstärkerschaltungen eingesetzt.

Durch die Verwendung von OPV mit frequenzabhängiger Rückkopplung ist es möglich, aktive Filter höherer Ordnung mit steilen Flanken im Frequenzgang und definiertem Zeitverhalten ohne Induktivitäten aufzubauen. Damit können die oft großen, zu unhandlichen und teuren Spulen vermieden werden, die außerdem empfindlich für Störsignale (induktive Einkopplung!) sind. Ein Schlüsselbaustein zur Realisierung aktiver Filter ist der sog. Gyrator: eine Schaltung, die einen Kondensator effektiv als Induktivität wirken lässt.

Eine weitverbreitete Art von Filtern ist das aktive Zweipol-Filter, das ausführlich in [Horowitz & Hill, Kapitel 5.06] beschrieben ist. Dieses Filter kann zur Realisierung ganz bestimmter Frequenzgänge verwendet werden (z. B. Butterworth-, Bessel-,

Chebyshev-Filter). Die wichtigen Parameter sind die RC- Zeitkonstante (bestimmt die Grenzfrequenz) und die Verstärkung K (bestimmt die Flankensteilheit im Frequenzgang). Um Filter höherer Ordnung aufzubauen, schaltet man mehrere entsprechend dimensionierte Zweipol-Filter in Reihe hintereinander.

3.1 Tiefpassfilter

Unter Anwendung von EWB entwerfen Sie ein Tiefpassfilter, wie in Abb.3 dargestellt. (Diese Schaltung könnte mit den im Praktikum vorhandenen Bauelementen realisiert werden.)

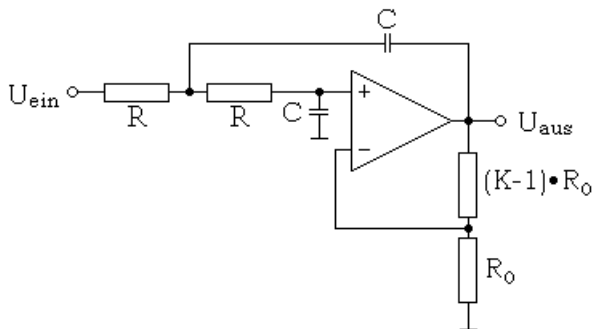


Abb.3 Aktives Tiefpassfilter

Setzen Sie $K=1.586$, so dass Sie ein sog. Butterworth-Filter erhalten. Untersuchen Sie das zeitliche Übertragungsverhalten für ein sprungförmiges Eingangssignal (Rechtecksignal)! Messen Sie die Anstiegs- und Abfallzeiten!

3.2 Bandpassfilter

Bandpassfilter sind äußerst nützlich, wenn ein Signal bekannter fester Frequenz oder in einem schmalen Frequenzbereich zu verarbeiten ist. Zur Unterdrückung von tieferen und höheren Frequenzen außerhalb des ausgewählten Frequenzbereiches sind Bandpassfilter sehr effizient.

Unter Anwendung von EWB entwerfen Sie ein aktives Bandpassfilter gemäß Abb.4 (diese Schaltung ist aus den im Praktikum vorhandenen Bauelementen nicht einfach realisierbar). Das Filter soll eine Mittenfrequenz von etwa 10 kHz und eine 3 dB-Bandbreite von 1 kHz haben. Dimensionieren Sie die passiven Bauelemente entspre-

Danach benutzen Sie ein sinusförmiges Eingangssignal, um den Amplituden- und Phasen-Frequenzgang dieses Filters zu untersuchen.

Wählen Sie zweckmäßig zur Darstellung des Amplitudenfrequenzgangs für beide Achsen eine logarithmische Einteilung. Den Phasenfrequenzgang stellt man gewöhnlich linear über der logarithmischen Frequenzachse dar. Bestimmen Sie die Grenzfrequenz (3dB-Punkt) und die Flankensteilheit (in dB/Dekade) für dieses Filter! Führen Sie dann die gleichen Untersuchungen mit $K=2.114$ (Chebyshev-Filter) und $K=1.286$ (Bessel-Filter) aus! Sehen Sie sich [Horowitz & Hill, Kapitel 5.06, Abb. 5.17] an: Wie werden diese zwei Filtertypen voneinander unterschieden? Ist es tatsächlich notwendig, die Verstärkung K auf 3 Dezimalstellen genau anzugeben?

chend! Simulieren und prüfen Sie mit EWB die Eigenschaften Ihrer Schaltung! Stellen Sie den Amplituden- und Phasenfrequenzgang in Bode-Diagrammen dar!

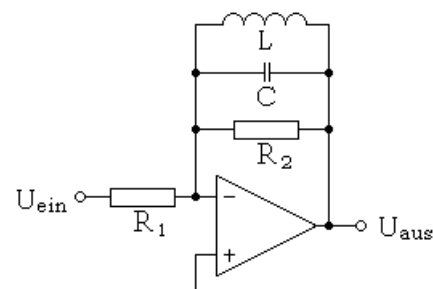


Abb.4 Aktives Bandpassfilter

3.3 Aktive Filter höherer Ordnung

Für viele Anwendungen benötigt man sehr steile Flanken im Frequenzgang. Das kann man durch Filter höherer Ordnung realisieren, indem mehrere einzelne Filter in Reihe hintereinander geschaltet werden. In Abb.5 ist das schematisch für n Tiefpässe dargestellt. Die OPV sind als Impedanzwandler (Puffer) geschaltet (vereinfachte Darstellung). Die Übertragungsfunktion eines Filters n . Ordnung ist durch die Beziehung

$$T = \left(\frac{1}{1 + j \cdot \omega \cdot RC} \right)^n \text{ gegeben.}$$

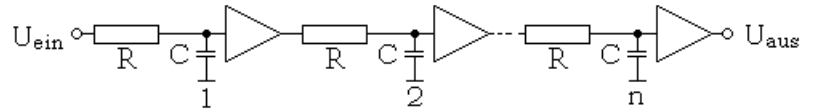


Abb.5 Kaskadierte aktive RC-Filter (schematisch)

Unter Anwendung von EWB entwerfen Sie ein RC-Filter n . Ordnung (mit $n = 1, 2, 3$ und 4): Zeigen Sie, dass der Frequenzabfall des Filters (in dB/Dekade) durch die Beziehung $20 \cdot n$ gegeben ist! Wie ändert sich die Phasenverschiebung mit der Ordnung n ?