



**Versuche P2-59, 60, 61:**

**Operationsverstärker**

**Raum F1-15**

Einfache elektrische Verstärkerschaltungen sind vielfach verwendete Hilfsmittel im physikalischen Labor. Jeder Experimentalphysiker (und auch jeder Physiklehrer) sollte in der Lage sein, Sie bei Bedarf rasch zu konzipieren und aufzubauen.

Bei diesem Versuch lernen Sie zwei Grundbausteine von Verstärkerschaltungen kennen, den Transistor und den Operationsverstärker. Im Vordergrund steht dabei die Anwendung dieser beiden Elemente in konkreten Schaltungen und nicht ihr 'halbleiterphysikalisches Innenleben', das erst in späteren Vorlesungen behandelt werden wird. Hier genügen zunächst einfache Modellvorstellungen.

**Aufgaben:**

**1. Emitterschaltung eines Transistors:** Das ist die am häufigsten verwendete Transistorverstärkerschaltung. Verwenden Sie dafür aber hier nicht zuviel Zeit. Die Aufgaben zum Operationsverstärker (ab Aufgabe 2) sollen vorrangig erarbeitet werden.

**1.1 Bauen Sie auf der Experimentier-Steckplatine den einstufigen gleichstromgegekoppelten Transistorverstärker auf.** Welche Funktionen haben die einzelnen Bauelemente, speziell  $R_e$ ? Überprüfen Sie die Lage des Arbeitspunktes. Wozu dient der Kondensator  $C_e$ ? Erläutern Sie Sinn und Wirkungsweise der Gegenkopplung.

**1.2 Führen Sie dem Verstärker als Eingangssignal eine Dreiecksspannung mittlerer Frequenz (ca. 1kHz) zu und beobachten Sie oszilloskopisch das Ausgangssignal und bestimmen Sie die Verstärkung.** Stellen Sie durch Variation der Amplitude des Eingangssignals verschiedene Ausgangsamplituden (etwa  $3V_{SS}$  und  $10V_{SS}$ ) ein und beurteilen Sie die Qualität des Verstärkers.

**1.3 Entfernen Sie den Emitterkondensator  $C_e$ . Beobachten Sie wieder das Ausgangssignal bei verschiedenen Amplituden und bestimmen Sie die Verstärkung dieses stromgegekoppelten Verstärkers.** Warum finden Sie gerade den Wert  $R_c/R_e$  als Verstärkungsfaktor? Erklären Sie die Wirkungsweise der Gegenkopplung durch  $R_e$  (Stromgegekoppelter Verstärker).

**1.4 Bestimmen Sie die Verstärkung des Strom- und Gleichstromgegekoppelten Verstärkers für verschiedene Frequenzen (10/25/50/100/500Hz /1/5/10/50/100kHz).**

Besonders wichtig ist hierbei der Frequenzbereich 10Hz bis 500Hz. Plotten Sie für beide Schaltungen den Verlauf der Verstärkung und erklären Sie diesen.

**2. Grundschaltung eines Operationsverstärkers:**

**2.1 Bauen Sie auf der Experimentier-Steckplatine mit einem Operationsverstärker einen nichtinvertierenden Verstärker mit etwa zehnfacher Verstärkung.** Überprüfen Sie die Funktion der Schaltung. Führen Sie dem Eingang eine Dreiecksspannung mittlerer Frequenz (1kHz) zu und beobachten Sie oszilloskopisch das Ausgangssignal. Vergleichen Sie die experimentell und rechnerisch ermittelten Verstärkungsfaktoren.

**2.2 Demonstrieren Sie den hohen Eingangswiderstand und den kleinen Ausgangswiderstand dieser Schaltung mit Hilfe geeigneter Verfahren.**

**2.3 Bestimmen Sie die Verstärkung in Abhängigkeit von der Frequenz (10/100/1000Hz /10/25/50/75/100kHz).** Wählen Sie als Eingangssignal eine Sinuswechselspannung mit einer Amplitude von  $0,5V_{SS}$  und beobachten Sie das Ausgangssignal oszilloskopisch. Können Sie die bei hohen Frequenzen auftretenden Verzerrungen erklären?

**3. Die invertierende Grundschaltung:** Dies ist wohl die wichtigste Grundschaltung von Operationsverstärkern.

**3.1 Bauen Sie mit einem Operationsverstärker einen invertierenden Verstärker mit zehnfacher Verstärkung auf.** Überprüfen Sie die Funktion und erklären Sie die Wirkungsweise der Schaltung. Leiten Sie die Verstärkung her.

**3.2 Bauen Sie einen „Addierer“ für zwei Eingangssignale auf.** Als Eingangssignale können Sie Dreieck-, Rechteck- oder Sinusspannung (bis 1kHz) und eine mit den auf der Platine vorhandenen Potentiometern realisierbare regelbare Gleichspannungen im Bereich -15V ... +15V verwenden. Beobachten Sie die Ausgangsspannung oszilloskopisch. Schalten Sie den Eingang des Oszilloskops auf „DC-Kopplung“, damit die Gleichspannung korrekt dargestellt wird.

**3.3 Bauen Sie den „Integrierer“ auf.** Schalten Sie wieder zurück auf „AC-Kopplung“. Verwenden Sie als Eingangssignal Rechteck- und Dreiecksspannungen niedriger Frequenz (im Bereich 50Hz bis 100Hz) und großer Amplitude, beobachten Sie oszilloskopisch. Erklären Sie die Wirkungsweise der Schaltung (ohne Berücksichtigung des Widerstandes  $R_s$ , der nur der Stabilisierung des Integrierers dient).

**3.4 Bauen Sie den „Differenzierer“ auf.** Testen Sie die Funktion mit Rechteck- und Dreieckssignalen (im Bereich 50Hz bis 500Hz). Erklären Sie die Wirkungsweise der Schaltung.

**4. Komplexere Schaltungen mit Operationsverstärkern:** Im Folgenden werden nun einige etwas komplexere Schaltungen aufgebaut und untersucht. Welche der beiden Grundschaltungen erkennen Sie dabei am häufigsten wieder?

**4.1 Bauen Sie mit einem Operationsverstärker einen idealen Einweggleichrichter auf und überprüfen Sie seine Funktion mit verschiedenen Eingangsspannungssignalen ( $f < 1\text{kHz}$ ).** Was sind die Vorteile dieser Schaltung gegenüber einer einfachen Gleichrichterschaltung mit einer Diode und einem Widerstand? Probieren Sie es aus! Wofür könnte ein solcher idealer Gleichrichter Verwendung finden?

**4.2 Bauen Sie mit zwei Operationsverstärkern einen Generator für Dreieck- und Rechtecksignale auf.** Erklären Sie die Funktionsweise der angegebenen Schaltung. *Hinweis:* Einer der Operationsverstärker arbeitet als Schwellenwertschalter, der andere als Integrierer.

**4.3 Bauen Sie die so genannte „Programmierte Differentialgleichung 2. Ordnung“ auf.** Diese Generatorschaltung zur Erzeugung von Sinuswechselspannungen ermöglicht die Simulation einer Integralgleichung 2. Ordnung. Sie erkennen die beiden hintereinandergeschalteten Integrierer. Mit dem Potentiometer können Sie die Dämpfung der Schwingung einstellen. Die Schwingungsamplitude wächst an oder klingt ab, je nachdem ob Sie den Schleifer des Potentiometers aus der Mittelstellung nach rechts oder nach links gedreht haben. Eine genaue Beschreibung dieser Schaltung finden Sie in 'Tietze, Schenk: Halbleiterschaltungstechnik'. Versuchen Sie, durch Variation des Potentiometerwiderstands die drei Fälle - Schwingfall, aperiodischer Grenzfall und Kriechfall - zu simulieren.

### **Zubehör:**

Experimentier-Steckplatine mit 1 Transistor (2N2219A, npn) und 3 Operationsverstärkern (LM741) sowie diversen Verbindungskabeln, Dioden, Widerständen, Kondensatoren (nötigenfalls benachbarte Werte verwenden!)

Funktionsgenerator (0,2Hz .. 2MHz; Sinus oder Rechteck oder Dreieck; 0 ..  $\pm 10\text{V}$ )

Oszilloskop (Tektronix , 2 Kanäle))

### **Literatur:**

Transistorverstärker:

Böger, Kähler, Weigt: *Bauelemente der Elektronik und ihre Anwendungen*, 3.Aufl., Kap.10, speziell 10.6.1

Bishop: *Einführung in lineare elektronische Schaltungen* (1977), Kap.3

Operationsverstärker:

Bishop: *Einführung in lineare elektronische Schaltungen* (1977), Kap.5.7, 6.1, 6.2, 7

Weddigen, Jüngst: *Elektronik* (1993)

Rohde: *Elektronik für Physiker*, Kap. 3 und 4