

# AUSWERTUNG: TRANSISTOR- UND OPERATIONSVERSTÄRKER

FREYA GNAM, TOBIAS FREY

## 1. EMITTERSCHALTUNG DES TRANSISTORS

**1.1. Aufbau des einstufigen Transistorverstärkers.** Wie im Bild 1 der Vorbereitungshilfe wurde die Schaltung aufgebaut. Um die Lage des Arbeitspunktes zu bestimmen, messen wir  $U_C = 7,73 \text{ V}$ .

**1.2. Verstärkung der Schaltung.** An die Schaltung aus dem ersten Aufgabenteil wurde nun eine Dreiecksspannung mit einer Frequenz von ca. 1 kHz angelegt. Mit dem Oszilloskop haben wir die Ausgangsspannung beobachtet. Durch Variation der Amplitude des Eingangssignals erhält man verschiedene Ausgangsamplituden:

TABELLE 1. Aufgabe 1.2

$U_e \text{ [V]}$	$U_a \text{ [V]}$	$\nu$
0,18	10,2	56,67
0,11	6,4	58,18
0,06	3,8	63,33

Der Verstärkungsfaktor  $\nu$  berechnet sich aus dem Verhältnis der Eingangsspannung  $U_e$  zur Ausgangsspannung  $U_a$ :

$$\nu = \frac{U_a}{U_e}$$

Im Mittel ergibt sich:  $\nu = 59,39$

Die Qualität des Verstärkers kann über die beobachtbaren Verzerrungen des Ausgangssignals am Oszilloskop beurteilt werden. Wir beobachten eine leichte Verzerrung der großen Ausgangsamplituden.

**1.3. Verstärkung ohne den Emitterkondensator.** Baut man den Kondensator  $C_e$  aus der Schaltung aus, so wird die Wechselstromgegenkopplung nicht mehr verhindert. Der Verstärkungsfaktor wird also wegen des Spannungsabfalls an  $R_e$  verkleinert.

Im Mittel ergibt sich:  $\nu = 4,40$ . Dieser Wert stimmt näherungsweise überein mit  $\frac{R_C}{R_E} = \frac{470 \Omega}{100 \Omega} = 4,7$ .

TABELLE 2. Verstärkung ohne den Emitterkondensator

$U_e$ [mV]	$U_a$ [mV]	$\nu$
110	500	4,55
52	220	4,23
140	620	4,43

TABELLE 3. Messreihe gegengekoppelter Verstärker

Frequenz [Hz]	$U_a$ [mV]	$\nu$
10	170	1,06
20	300	1,88
30	400	2,50
40	480	3,00
50	560	3,50
60	600	3,75
70	620	3,88
80	640	4,00
90	640	4,00
100	680	4,25
100000	720	4,50

1.4. **Gegengekoppelter Verstärker.** Die Eingangsspannung ist fest:  $U_e = 160$  mV.

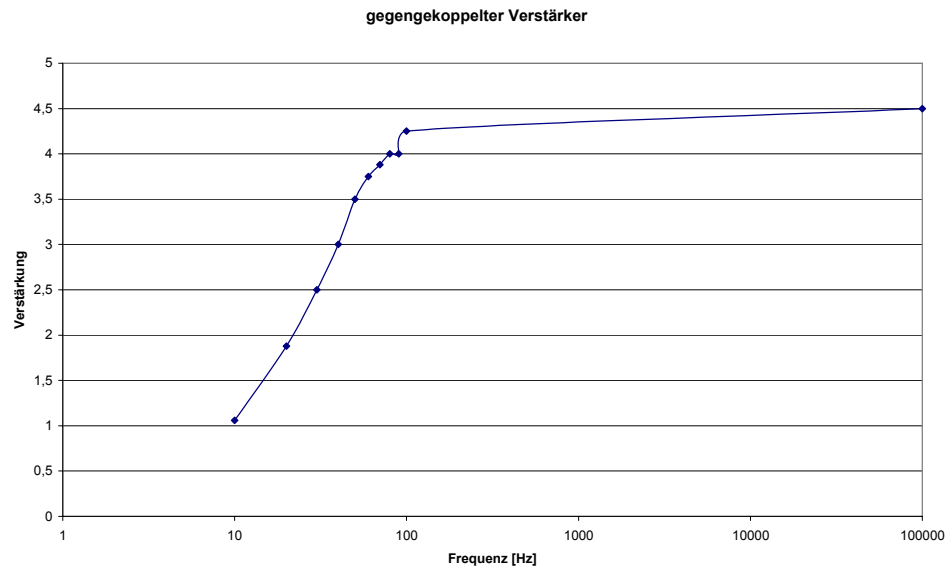
Wie man an unserer Messreihe erkennt, liegt die Verstärkung für Signale mit Frequenzen unter 50 Hz deutlich unter dem Wert der Verstärkung bei 1 kHz. Bei sehr niedrigen Frequenzen ist die Ausgangsspannung geringer und somit auch die Verstärkung, während die Verstärkung bei sehr hohen Frequenzen auf einem konstanten Wert bleibt: Für eine Frequenz von  $f = 100$  kHz erhalten wir die Ausgangsspannung  $U_a = 720$  mV. Die Verstärkung beträgt also  $\nu = 4,5$ .

## 2. NICHTINVERTIERTE GRUNDSCHALTUNG DES OPERATIONSVERSTÄRKERS

2.1. **Nichtinvertierender Verstärker.** Wir bauen mit einem Operationsverstärker einen nichtinvertierenden Verstärker auf gemäß Bild 2 aus der Vorbereitungshilfe. Die Beschaltung des Operationsverstärkers erfolgte so, dass eine zehnfache Verstärkung des Eingangssignals erreicht wurde. Um die Funktionsweise der Schaltung zu überprüfen, haben wir am Eingang eine Dreiecksspannung mittlerer Frequenz anlegt und das Ausgangssignal am Oszilloskop betrachtet.

Wir messen die Verstärkung der Schaltung:  $\nu = \frac{U_a}{U_e} = \frac{1,8\text{V}}{0,2\text{V}} = 9$

ABBILDUNG 1. Aufgabe 1.4: Abhängigkeit der Verstärkung von der Frequenz



In der Vorbereitung wurde gezeigt, dass  $\nu = 1 + \frac{R_1}{R_2} = 1 + 10 = 11$ . Unsere Messung weicht von diesem berechneten Wert um 22% ab.

**2.2. Eingangswiderstand.** Anstatt für die Bestimmung des Eingangswiderstandes, wie in der Vorbereitung vorgeschlagen, ein Potentiometer zu benutzen, verwendeten wir den größten verfügbaren Widerstand von  $1\text{ M}\Omega$ . Wir messen ohne Vorwiderstand die Eingangsspannung  $U_e = 160\text{ mV}$  und mit dem  $1\text{ M}\Omega$ -Vorwiderstand die halbe Eingangsspannung  $U_{e0,5} = 80\text{ mV}$ . Der Eingangswiderstand muss also etwa  $1\text{ M}\Omega$  groß sein.

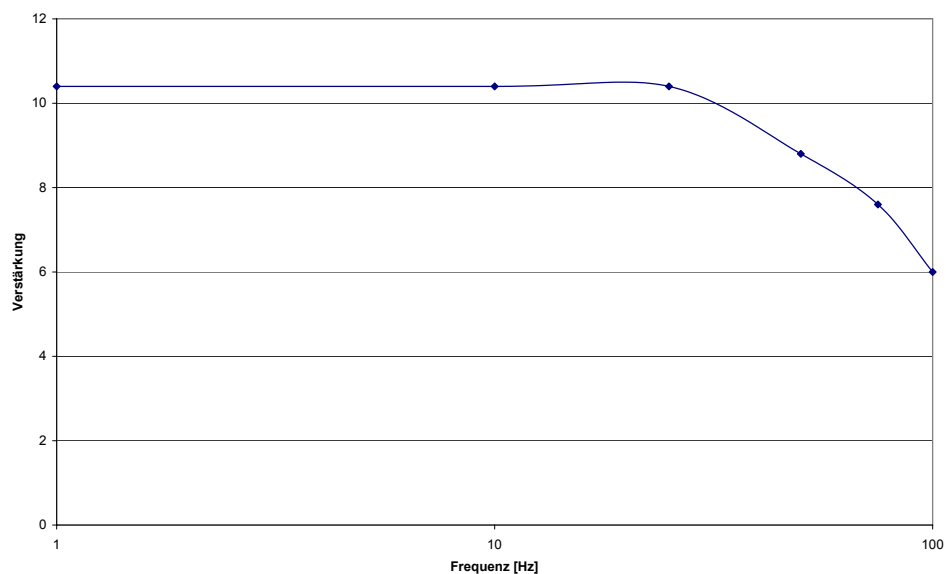
**2.3. Verstärkung in Abhängigkeit von der Frequenz.** Um die Abhängigkeit des Ausgangssignals von der Frequenz zu ermitteln haben wir am Eingang eine Sinusspannung angelegt. Das Ausgangssignal wurde am Oszilloskop betrachtet.

Die Verzerrung des Signals bei hohen Frequenzen liegt an der zeitlichen Verzögerung des Gegenkopplungssignal.

TABELLE 4. Verstärkung in Abhängigkeit von der Frequenz

Frequenz [kHz]	$\nu$
0,01	10,4
0,1	10,4
1	10,4
10	10,4
25	10,4
50	8,8
75	7,6
100	6,0

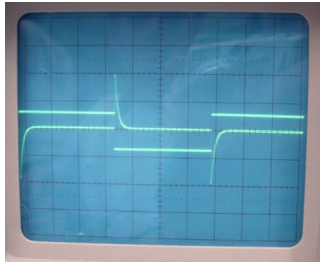
ABBILDUNG 2. Aufgabe 2.3: Abhängigkeit der Verstärkung von der Frequenz



### 3. INVERTIERENDE GRUNDSCHALTUNG

**3.1. Invertierender Operationsverstärker.** Wir haben Schaltung 3 aufgebaut, die einen invertierenden Verstärker mittels Operationsverstärker mit zehnfacher Verstärkung darstellt. Mit einer Eingangsspannung  $U_e = 44 \text{ mV}$  und einer Ausgangsspannung  $U_a = 440 \text{ mV}$  erhalten wir bei einer  $1 \text{ kHz}$  Sinuswechselspannung die Verstärkung  $\nu = -10$ , die genau dem Verhältnis  $-\frac{R_2}{R_1}$  entspricht.

ABBILDUNG 3. Differenzierer, Eingangssignal Rechteckspannung



3.2. **Addierer.** Die Addiererschaltung wurde gemäß Bild 4 aufgebaut. Die angelegte Gleichspannung haben wir über ein Potentiometer geregelt. Auf dem Oszilloskop beobachteten wir beim Anlegen einer positiven Gleichspannung eine gleichmäßige Verschiebung des Bildes nach oben, bei einer negativen eine Verschiebung nach unten. Die zusätzliche Spannung wurde also zu der vom Funktionsgenerator kommenden Spannung addiert.

3.3. **Integrierer.** Um die Funktionsweise des Integrierers zu überprüfen, haben wir Schaltung 5 aufgebaut. Als Eingangssignale wurden Rechteck- und Dreiecksspannungen mit Frequenzen von 10 Hz bis 100 Hz verwendet.

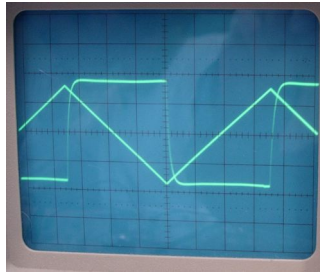
Der Integrierer integriert erwartungsgemäß jede Spannung, die wir an ihn anlegten. So wurde die Rechteckspannung zu einer invertierten Dreiecksspannung. Wir beobachteten bei einer 50 Hz Rechteckspannung am Eingang eine verzerrte Dreiecksspannung am Ausgang, bei hohen Frequenzen dagegen war die Dreiecksspannung deutlich zu erkennen. Mit einer Dreiecksspannung als Eingangsspannung erhalten wir eine parabelförmige Ausgangsspannung.

3.4. **Differenzierer.** Der Differenzierer wurde gemäß Schaltung 6 aufgebaut. Wir haben eine Dreiecksspannung und eine Rechteckspannung differenzieren lassen. Dabei war bei der Rechteckspannung ein Peak an der Sprungstelle zu beobachten, der exponentiell auf null zurückfiel. Je höher die Frequenz der Eingangsspannung war, desto flacher fiel die Ausgangsspannung ab. Dieser Effekt ist auf den Kondensator zurück zu führen, der sich exponentiell entlädt. Bei einer Dreiecksspannung konnte man deutlich die ausgegebene Rechteckspannung erkennen.

#### 4. KOMPLEXERE SCHALTUNGEN

4.1. **Idealer Einweggleichrichter.** Um den idealen Einweggleichrichter zu realisieren, haben wir Schaltung 7b aufgebaut. Als Eingangssignale verwendeten wir diesmal

ABBILDUNG 4. Differenzierer, Eingangssignal Dreiecksspannung



verschiedene Wechselspannungen mit einer Frequenz unter 1 kHz. Der Einweggleichrichter sperrte positive Spannungsanteile und ließ negative invertiert durch. Bei niedriger Signalstärke und einer Sinuswechselspannung mittlerer Frequenz zeigte der ideale Gleichrichter ein klares Ausgangssignal ohne Verzerrungen, das genauso stark wie das Eingangssignal war.

**4.2. Generator für Dreieck- und Rechteckspannung.** Gemäß Bild 8 der Vorbereitungshilfe haben wir zwei Operationsverstärker zusammengeschaltet, um eine Rechteckspannung und eine Dreiecksspannung zu erhalten. Die Schaltung funktionierte, wie in der Vorbereitung beschrieben. Bei einer Versorgungsspannung von 15 V erreichten wir die Darstellung beider Signale auf dem Oszilloskop.

Experimentell ermitteln wir die Periodendauer  $T = 2 \text{ ms}$ . Damit ergibt sich die Frequenz  $f = \frac{1}{T} = 500 \text{ Hz}$ . Wir vergleichen unsere Messung mit dem theoretisch zu erwartenden Wert: Der Kondensator wird pro Periode zwei Mal entladen und wieder geladen.

$$T = 2 \cdot 2 \cdot t_C$$

mit der Aufladezeit  $t_C$  des Kondensators:

$$t_C = \frac{Q}{I} = \frac{C \cdot U_C \cdot R}{U_R}$$

$U_C$  ergibt sich aus der Spannungsteilerschaltung:

$$U_C = \frac{5,6 \text{ k}\Omega}{10 \text{ k}\Omega} \cdot 15 \text{ V} = 8,4 \text{ V}$$

Damit ergibt sich:  $T = 2,24 \text{ ms}$  und  $f = 446 \text{ Hz}$

**4.3. Programmierbare DGL 2.Ordnung.** In diesem Versuchsteil wurde die Programmierung von Differentialgleichungen zweiter Ordnung mit Hilfe von Operationsverstärkern demonstriert.

Experimentell ermitteln wir die Periodendauer  $T = 29 \text{ ms}$ . Damit ergibt sich die Frequenz  $f = \frac{1}{T} = 34,48 \frac{1}{\text{s}}$ .

Wir vergleichen dies mit dem theoretisch zu erwartenden Wert:

$$\omega_0 = \frac{1}{RC}$$

$$f = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \cdot 10 \text{ k}\Omega \cdot 470 \text{ nF}} = 33,9 \text{ Hz}$$