

Auswertung zum Praktikum Grundlagen der Meßtechnik

Versuch Nr.: 8 Operationsverstärker

Theoretische Grundlagen

Der Hauptbestandteil eines Operationsverstärkers ist ein Differenzverstärker. Die Ausgangsspannung U_A ergibt sich aus der Differenz zwischen der Spannung am nichtinvertierenden Eingang U_P und der Spannung am invertierenden Eingang U_N des Operationsverstärkers:

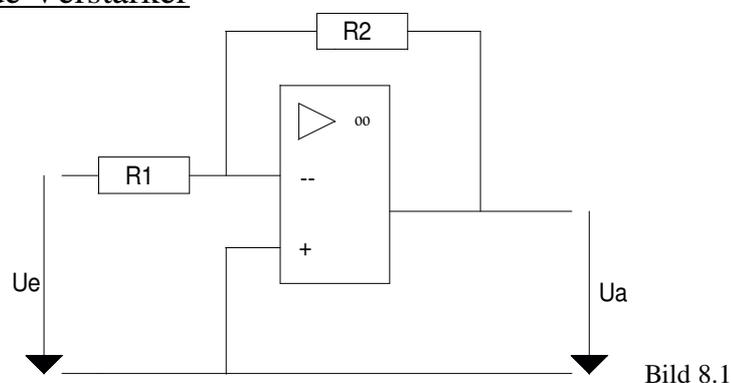
$$U_A = A(U_P - U_N)$$

Der Verstärkungsfaktor A wirkt sich also um so mehr aus, je größer die Spannungsdifferenz zwischen U_P und U_N ist. Es kann natürlich nur bis zu einer Ausgangsspannung verstärkt werden, die so groß ist wie die Betriebsspannung des Operationsverstärkers. Diesen Fall bezeichnet man als Sättigung. Solange sich der Operationsverstärker nicht in der Sättigung befindet gelten folgende Regeln:

- 1.: Die Ausgangsspannung stellt sich immer so ein, daß an beiden Eingängen die gleiche Spannung anliegt.
- 2.: An den Eingängen des Operationsverstärkers fließt weder ein Strom hinein noch heraus.
- 3.: Die Ausgangsspannung des Operationsverstärkers ist von der Belastung unabhängig. Der Ausgangswiderstand ist null.

Es gibt eine Vielzahl von Schaltungen für den Operationsverstärker, welche von der Peripherie bestimmt werden. Dementsprechend vielseitig sind auch dessen Anwendungsgebiete. In diesem Versuch beschäftigen wir uns mit drei verschiedenen Schaltungen:

1. Der invertierende Verstärker



Der Ausgang wird über R_2 auf den invertierenden Eingang zurückgekoppelt. Nach Regel 2 gilt:

$$I_{R2} = I_{R1}$$

$$\frac{U_{R2}}{R2} = \frac{U_{R1}}{R1}$$

und nach Regel 1:

$$\frac{-Ua}{R2} = \frac{Ue}{R1}$$

$$Ua = -Ue \frac{R2}{R1}$$

Die (invertierte) Verstärkung ist also das Verhältnis der Widerstände zueinander.

2. Der Integrierer

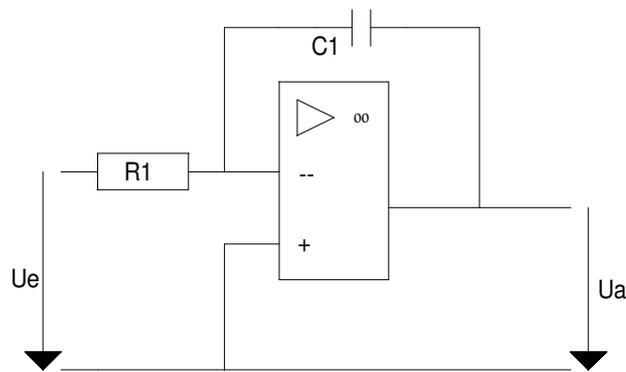


Bild 8.2

Der Ausgang wird über C1 auf den invertierenden Eingang zurückgekoppelt.
Nach Regel 2 gilt:

$$I_{C1} = I_{R1}$$

$$\frac{U_{C1}}{X_{C1}} = \frac{U_{R1}}{R1}$$

und nach Regel 1:

$$\frac{-Ua}{X_{C1}} = \frac{Ue}{R1}$$

$$Ua = -Ue \frac{X_{C1}}{R1} = -Ue \frac{1}{R1 \cdot \omega \cdot C1}$$

weiter gilt:

$$\frac{-Ue}{R1} = I_{C1} = C1 \frac{dUa}{dt}$$

$$Ua = -\int Ue \frac{1}{R1 \cdot C1} dt = -\frac{1}{R1 \cdot C1} \int Ue \cdot dt$$

Wie man sieht wird das Eingangssignal über die Zeit integriert. Am Ausgang erscheint also periodisch die Integralfunktion der am Eingang angelegten periodischen Funktion.

3. Summierverstärker

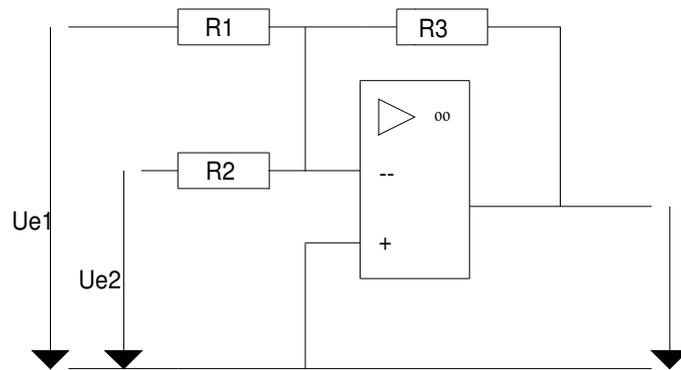


Bild 8.3

Der Ausgang wird über R3 auf den invertierenden Eingang zurückgekoppelt. Dort laufen jetzt 3 Ströme zusammen.

Nach Regel 2 gilt:

$$I_{R1} + I_{R2} + I_{R3} = 0$$
$$\frac{U_{R1}}{R1} + \frac{U_{R2}}{R2} + \frac{U_{R3}}{R3}$$

und nach Regel 1:

$$\frac{-Ua}{R3} = \frac{Ue1}{R1} + \frac{Ue2}{R2}$$

$$Ua = -R3 \left(\frac{Ue1}{R1} + \frac{Ue2}{R2} \right)$$

Versuchsdurchführung

Wir haben die Schaltungen entsprechend der Versuchsbeschreibung aufgebaut und uns alle Eingangs- und Ausgangssignale mit dem Oszilloskopen durchgeführt. Mit den uns zu Verfügung gestellten Widerständen konnte beim invertierenden Verstärker keine Verstärkung von -4 realisiert werden. Wir führten deshalb diesen Versuch mit einer Verstärkung von $-4,3$ durch. Beim Integrierer legten wir nach dem Rechtecksignal noch ein Dreiecksignal und eine Rampenfunktion an den Eingang.

Alle am Oszilloskop angezeigten Bilder wurden im Meßprotokoll skizziert.

Meßergebnisse

Da bei diesem Versuch keine Meßwerte aufgenommen wurden, sondern lediglich die Bilder vom Oszilloskop skizziert wurden beziehen sich folgende Aussagen auf das Meßprotokoll:

- Invertierender Verstärker: Wie man erkennen kann, ist die Ausgangsamplitude 4(Skizze) bzw. 4,3(Anzeige) mal höher als die Eingangsamplitude und zu dieser invertiert. Es zeigt sich also das erwartete Verhalten.
- Integrierer: Wie man erkennen kann, ist die Ausgangsfunktion das Integral der Eingangsfunktion. Das Rechtecksignal (stückweise Gerade) wird zum Dreiecksignal (stückweise Steigung), das Dreiecksignal (stückweise Steigung) wird zu einem Signal mit periodisch positiven und negativen quadratischen Funktionen (stückweise Parabel) und die Rampenfunktion (stückweise Steigung) wird zu einem Signal mit periodisch positiven quadratischen Funktionen (stückweise Parabel). Bei einer Frequenzänderung des Eingangssignals ließ sich die Frequenzabhängigkeit der Verstärkung erkennen. Es zeigt sich also das erwartete Verhalten.
- Summierverstärker: Wie man erkennen kann, entsteht am Ausgang die Summe der Eingangssignale. Der Sinus liegt auf dem Rechteck bzw. das Sinussignal ist um das Rechtecksignal verschoben. Es zeigt sich also das erwartete Verhalten.

Fehlerbetrachtung

Da bei diesem Versuch keine Meßwerte aufgenommen wurden, sondern lediglich die Bilder vom Oszilloskop skizziert wurden, ergeben sich keine erfaßbaren Fehler. Der größte Fehler bei diesem Versuch ist der Zeichenfehler. Da die Bilder aber nur skizziert werden sollten, ist davon auszugehen, daß in diesem Versuch nur das prinzipielle Verhalten des Operationsverstärkers beobachtet werden sollte.

Folgende Fehler können neben dem Zeichenfehler noch auftreten:

- keine Betriebsspannung am OP
- Verwechslung von Eingangs- und Ausgangssignal
- Vertauschung von C1 und R1
- invertierender und nichtinvertierender Eingang vertauscht

zu Theoretische Grundlagen

Der OP ist intern wie folgt aufgebaut:

Der Eingang besteht aus einem Differenzverstärker, von dem ja bekannt ist, daß er einen hohen Eingangswiderstand hat. Die Ausgangsspannung des Differenzverstärkers ist proportional zu der Spannungsdifferenz zwischen den beiden Eingängen. Diese Ausgangsspannung wird mehrfach weiterverstärkt, so daß eine sehr kleine Eingangsspannung schon eine beträchtliche Ausgangsspannung hervorruft. Diese Verstärkerstufen werden so realisiert, daß der Ausgangswiderstand sehr klein wird. Man erhält ein Ersatzschaltbild für einen reellen OP (Bild 8.4). Wegen des großen Verstärkungsfaktors V_0 , wird meist eine Beschaltung mit einem RC-Glied vorgenommen, damit der Verstärker nicht zu schwingen anfängt (*Frequenzkompensation*). Der Eingangswiderstand R_{ie} ist sehr groß (Typischer Wert: $0,1\text{M}\Omega - 10^6\text{M}\Omega$; Näherung: ∞). Das gleiche gilt für den Verstärkungsfaktor V_0 (Typischer Wert: $10^4 - 10^6$; Näherung: ∞). Der Ausgangswiderstand R_{ia} ist sehr klein (Typischer Wert: $10\Omega - 2,5\text{k}\Omega$; Näherung: 0Ω).

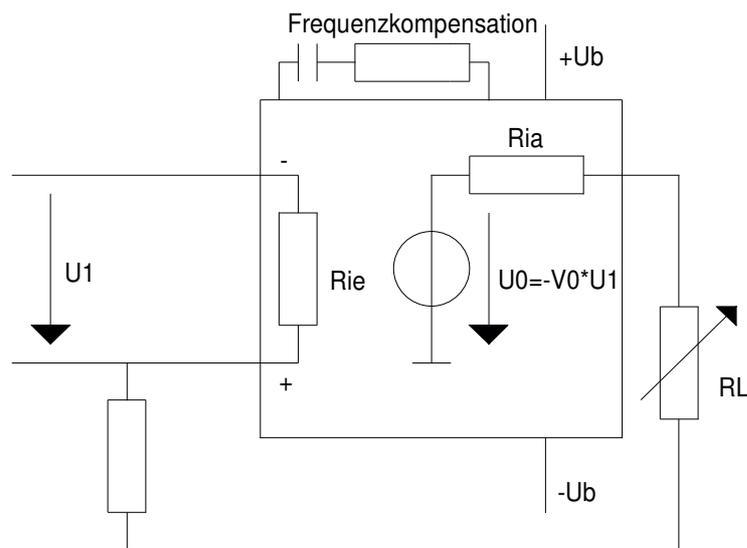


Bild 8.4

zu Meßergebnisse

Für die Eingangsfunktion Rechtecksignal ergibt sich für eine halbe Periode:

$$U_a = -\frac{1}{R_1 \cdot C_1} \int a \cdot dt = -\frac{1}{R_1 \cdot C_1} \int a \cdot dx = -\frac{1}{R_1 \cdot C_1} (ax + b)$$

Für die Eingangsfunktion Dreiecksignal ergibt sich für eine halbe Periode ebenso wie für die Eingangsfunktion Rampe für eine ganze Periode:

$$U_a = -\frac{1}{R_1 \cdot C_1} \int (ax + b) dt = -\frac{1}{R_1 \cdot C_1} \int (ax + b) dx = -\frac{1}{R_1 \cdot C_1} \left(\frac{a}{2} x^2 + bx + c \right)$$