

# White Paper No. 8

## Bandbreite und Slew-Rate

### 1 Einleitung

Verschiedene Nachfragen in der Vergangenheit bezüglich Bandbreite und Slew-Rate haben gezeigt, dass diese Begrifflichkeiten häufig nicht richtig interpretiert werden. Deshalb werden im folgenden die Begriffe kurz erläutert und ihre Auswirkungen auf den Verstärkeralltag erklärt.

### 2 Kleinsignal-Bandbreite

Wenn bei Verstärkern von Bandbreite gesprochen wird, ist meist die Kleinsignalbandbreite gemeint. Jeder Spannungs- oder Stromverstärker weist eine obere Frequenzgrenze auf, ab der die Verstärkung gegenüber niedrigen Frequenzen abfällt.

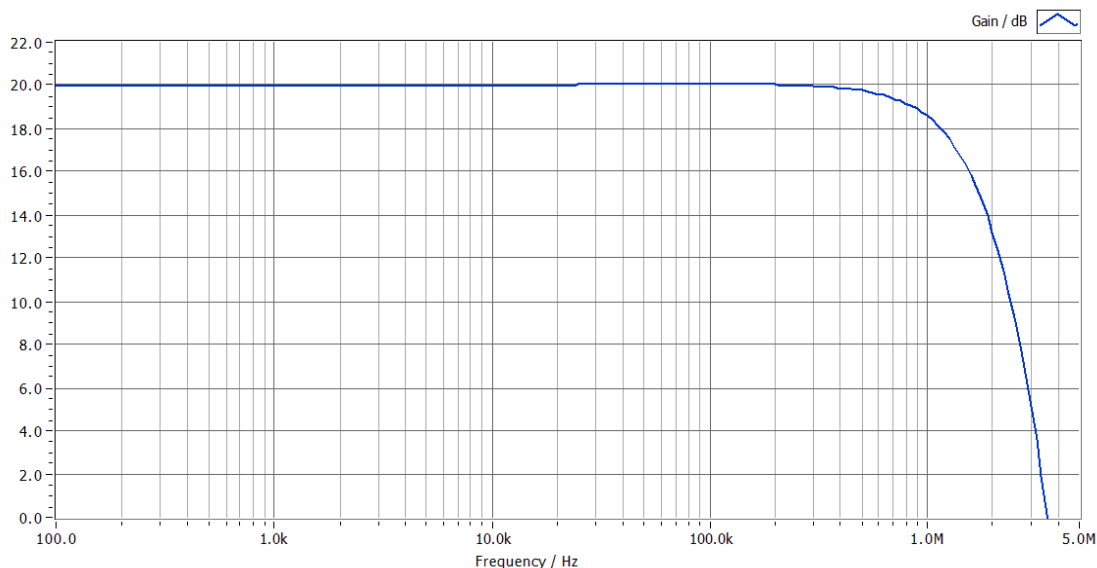
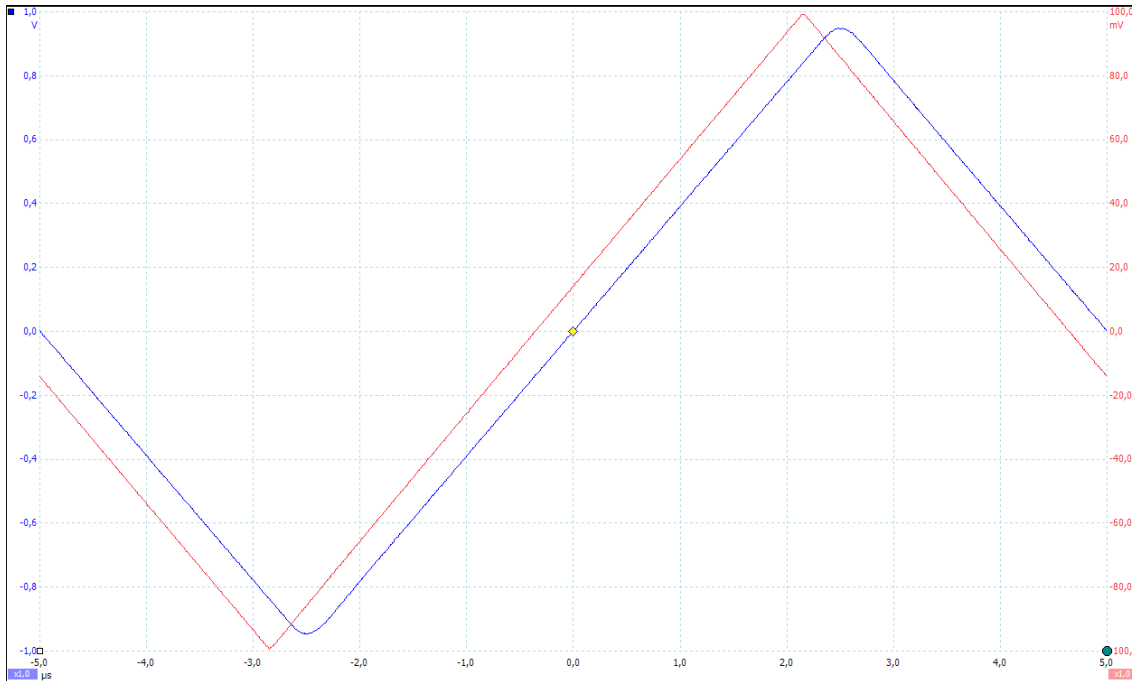


Abbildung 1: Verstärker-Gain als Funktion der Frequenz

Der Frequenzpunkt, an dem der Abfall  $-3 \text{ dB}$  ( $=0,7071$ ) beträgt, wird als Kleinsignal-Bandbreite bezeichnet. Sie wird im Leerlauf oder bei hoher Lastimpedanz und niedrigen Ausgangsspannungen (typ.  $<1 \text{ V}$ ) gemessen, um alle anderen begrenzenden Faktoren auszuschließen.

Für die Verstärkungen von sinusförmigen Signalen ist der Fall einfach, der Verstärker muss für die gewünschte Frequenz eine ausreichend hohe Verstärkung besitzen. Schwieriger ist der Fall für andere Testsignale, die nicht nur aus einem Sinus einer Grundfrequenz bestehen, sondern als Summe mehrerer Sinusschwingungen mit unterschiedlichen Frequenzen und Amplituden verstanden werden können. Hier kann die reduzierte Bandbreite zu einer Signalverfälschung führen, obwohl die Grundfrequenz innerhalb der Bandbreite liegt.

Als Beispiel sei eine Dreiecksschwingung mit 100 kHz gegeben. Wie im Graphen zu erkennen ist, kann der Verstärker das Signal ohne nennenswerten Amplitudenabfall erzeugen. Es kommt jedoch zu einer deutlichen Verrundung der Spitzen durch die limitierte Bandbreite des Verstärkers.



Rot : Eingangssignal, Blau : Ausgangssignal

Abbildung 2: Signalverfälschung durch zu geringe Kleinsignal-Bandbreite

Für die Reproduktion eines nicht sinusförmigen Ausgangssignals ist eine hohe Kleinsignal-Bandbreite für eine gute Signaltreue von Vorteil.

### 3 Slew-Rate

Neben der Kleinsignalbandbreite bestimmt aber auch die Slew-Rate, ob ein Verstärker ein Ausgangssignal überhaupt unverzerrt ausgeben kann. Dieser Parameter gibt an, wie schnell ein Verstärker die Ausgangsamplitude ändern kann. Eine hohe Slew-Rate ergibt dabei automatisch eine kurze Anstiegs- und Abfallzeit, welche z.B. bei Rechtecksignalen von großem Interesse ist. Die Slew-Rate wird dabei wie die Kleinsignal-Bandbreite bei Leerlauf oder hoher Lastimpedanz gemessen. Im Gegensatz zur Kleinsignal-Bandbreite wird der Verstärker aber bis kurz unter seine Aussteuerungsgrenze betrieben. Ob eine Sinusspannung bestimmter Frequenz und Größe erzeugt werden kann, ist mit folgender Formel einfach ausrechenbar.

$$\text{Slew-Rate} > 2\pi \cdot f \cdot V_{\text{peak}}$$

Nehmen wir eine Slew-Rate von 100 V/s an, so kann damit theoretisch eine Sinusspannung von 50 V<sub>rms</sub> bis 225 kHz erzeugt werden, bei 30 V<sub>rms</sub> wären dies sogar 375 kHz. Oberhalb dieser Frequenz ist die Slew-Rate für diese Sinus-Ausgangsspannung zu klein, d.h. es kommt zu einer trapezförmigen Verzerrung des Ausgangssignals. Der Klirrgrad steigt damit sprunghaft an.

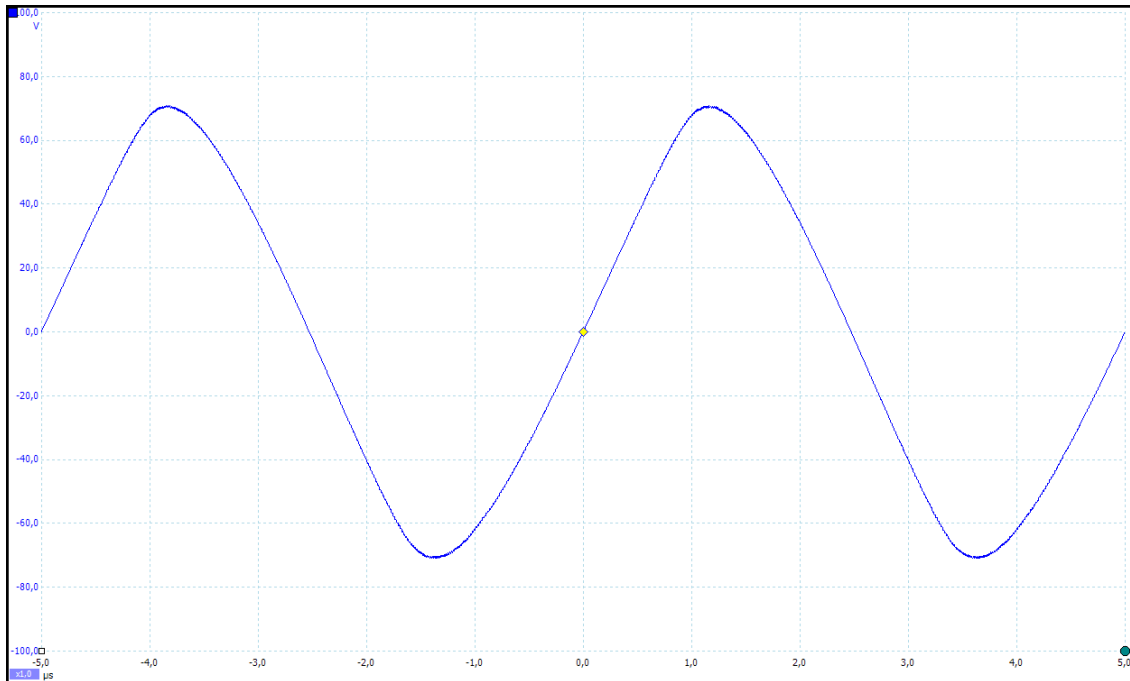


Abbildung 3: Verzerrung des Ausgangssignals durch unzureichende Slew-Rate

#### 4 Großsignal-Bandbreite

Die Ausgangsimpedanz eines Verstärkers ist nur bei niedrigen Frequenzen nahezu Null. Verschiedene physikalische Parameter wie die geringe Gegenkopplung bei höheren Frequenzen oder die abnehmende Stromverstärkung der Endstufentransistoren, um nur zwei wesentliche Punkte zu nennen, führen zu einem Anstieg der Ausgangsimpedanz.

Output Voltage vs. Frequency (THD + N < 1%)

Red: @ 8 Ohm

Blue: @ 4 Ohm

Green: @ 2 Ohm

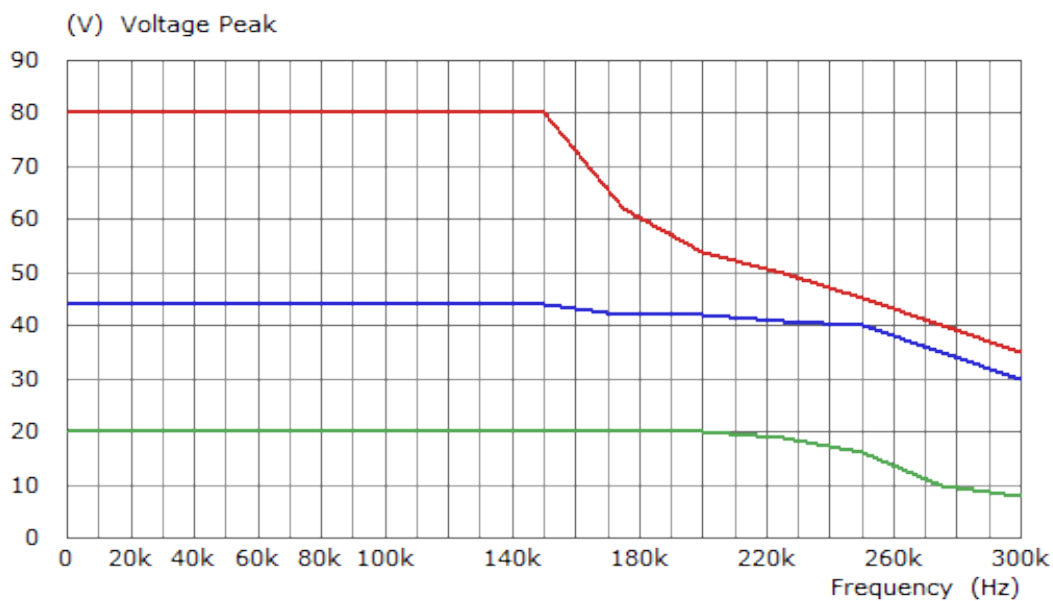


Abbildung 4: Verstärker-Ausgangsspannung bei verschiedenen Lastimpedanzen

Kleinsignal-Bandbreite und Slew-Rate sind beides Parameter bei unbelastetem Verstärker. Muss der Verstärker einen nennenswerten Laststrom liefern, wird die Großsignal-Bandbreite durch die Ausgangsimpedanz limitiert. Sie kann dann deutlich kleiner sein, als die Slew-Rate theoretisch zulässt. Oberhalb von 100 kHz spielt auch die interne und externe Verkabelung eine entscheidende Rolle, wie viel Leistung aus einem Verstärker bereitgestellt werden kann.

## 5 Fazit

Neben Kleinsignal-Bandbreite und Slew-Rate gibt es noch eine Reihe weiterer Parameter, welche die Ausgangsleistung eines Verstärkers bestimmen. Leistungsangaben im Datenblatt bei verschiedenen Lasten liefern dabei wertvolle Anhaltspunkte, ob der jeweilige Verstärker für die Prüf- und Testaufgabe geeignet ist.

Wie bei Operationsverstärkern üblich, besitzen die HUBERT Verstärker immer eine höhere Kleinsignal-Bandbreite, als die Slew-Rate für maximale Sinus Aussteuerung zulässt. Prüf- und Testsignale sind häufig nicht sinusförmig, so dass die höhere Bandbreite der Signaltreue zu Gute kommt.



Dr. Hubert GmbH  
Universitätsstraße 142  
44799 BOCHUM  
GERMANY  
Tel. +49 234 970569-0  
Fax. +49 234 970569-29  
sales@drhubert.de  
www.drhubert.de