

# Berechnung von Limitern zum Schutz von Lautsprechern

Die meisten Lautsprecher-Management-Systeme oder Controller besitzen in jedem Ausgangsweg einen separat einzustellenden Limiter, der die Lautsprecher vor zu großen Signalen schützen soll. Um einen möglichst großen Schutz gewährleisten zu können, ist es erforderlich, die Limiter auf die Eigenschaften der angeschlossenen Endstufe und des angetriebenen Wandlers abzustimmen.

Die wohl größten Differenzen und Unklarheiten von Lautsprecherkennwerten findet man bei der Angabe der elektrischen Belastbarkeit. Das ist vermutlich darin begründet, dass sich die Ermittlung diesbezüglicher Daten vergleichsweise schwierig gestaltet, ob der starken Abhängigkeit der Art und Einwirkungsdauer des verwendeten Testsignals.

Üblicherweise wird als Kriterium für die elektrische Belastbarkeit die Leistung herangezogen. Die Leistung ist definiert als Energie pro Zeit. Mit dem Umstand, dass sich Leistung nicht direkt messen lässt und der Zeitabhängigkeit begegnet man hier schon zwei Problemstellen.

Grundsätzlich kann man die maximale Belastbarkeit eines Lautsprechers in zwei Grenzen begründet sehen: die mechanische Belastbarkeit und die thermische Belastbarkeit.

Beide Fälle treten ein, wenn im Lautsprecher eine bestimmte Leistung umgesetzt wird. Diese Leistung lässt sich naturgemäß nicht direkt bestimmen, sie steht aber im direkten Zusammenhang zur angelegten Spannung.

Im ersten Fall ist z. B. die Auslenkung der Membran zu groß und die Schwingspule schlägt an die Polplatte oder springt aus dem

Spalt oder die Membran selbst zerreißt. Im zweiten Fall heizt sich z. B. die Schwingspule derart stark auf, dass sich der Kleber der Schwingspule löst oder die Isolation des Schwingspulendrahtes schmilzt, wodurch ein Kurzschluss entsteht.

$$P = \frac{U^2}{R}$$

Die Leistung P ist der Quotient des Quadrates der Spannung U und der Impedanz Z des Lautsprechers.

In der Praxis, wo zumeist Musik oder Sprache wiedergegeben werden soll, ist das Signal und damit die Spannung, die am Lautsprecher anliegt, jedoch sehr zeitvariant und damit nur schwer zu beschreiben. Allerdings lassen sich für je einen bestimmten Zeitabschnitt der Spitzenwert und der Mittelwert (siehe Kasten) der Spannung bestimmen. Das Verhältnis dieser beiden Größen wird als Crest-Faktor bezeichnet und als logarithmisches Maß in dB angegeben.

Die Abbildung zeigt ein Signal mit einem Crest-Faktor von 6 dB. Der Pegel der Signalspitzen liegt also um 6 dB höher als der Durchschnittspegel. Das ist vergleichbar mit einem Verhältnis von 2:1 zwischen dem Spitzenwert (Peak) und dem quadratischen Mittel (RMS) einer Spannung, oder mit einem Verhältnis von 4:1 zwischen dem Spitzenwert und dem quadratischen Mittel einer Leistung.

Im Fall der mechanischen Überlastung ist der Spitzenwert der Spannung und im Fall der thermischen Überlastung der durchschnittliche Wert der Spannung zur Berechnung der Leistung relevant.

Daher braucht man streng genommen zwei verschiedene Limiter: Einen Limiter zum Schutz vor mechanischer Überlast, der Pegelspitzen sofort limitiert und einen Limiter zum Schutz vor thermischer Überlast, der den Dauerpegel limitiert, also einen niedrigeren Schwellwert, aber eine längere Ansprechzeit hat, um kurzzeitige Peaks passieren zu lassen.

Ein guter Kompromiss ist ein Limiter mit variabler Attack-Zeit, wobei als Schwellwert

der Dauerpegel zu wählen ist und mit der Attack-Zeit wird das Ansprechen entsprechend angepasst, so dass kurzzeitige Pegelspitzen durchgelassen werden.

Solch ein Attack weist tendenziell den gleichen Charakter auf, wie ihn der zeitliche Verlauf der Belastungsgrenze eines Lautsprechers darstellt. Je kürzer ein Impuls ist, desto größer darf dessen Amplitude sein. Bei Tieftonlautsprechern sind längere und bei Hochtonlautsprechern kürzere Attack-Zeiten zu wählen.

Einen zusätzlichen Schutz bietet noch ein Overshoot-Limiter, wie er z. B. im BSS FDS-366T Omnidrive zu finden ist. Hier lässt sich beispielsweise bei einem üblichen Verhältnis der Peak-Leistung zur Dauerleistung von 4:1 ein Overshoot von 6 dB einstellen, um einen recht sicheren Betrieb zu gewährleisten.

## Was wird berechnet?

Um einen Limiter zum Schutz eines Lautsprechers zu berechnen, gilt es sich zunächst zu verdeutlichen, was eigentlich ausgerechnet wird:

Ausgangspunkt ist die maximale elektrische Leistung, die im Lautsprecher umgesetzt wird. Mit dieser Leistung und der Nennimpedanz (siehe Kasten) des Lautsprechers lässt sich die Spannung berechnen, die maximal vom Verstärker abgegeben werden darf. Diese Spannung ist direkt abhängig von der Spannung, die am Eingang der Endstufe und damit am Ausgang des Controllers anliegt.

Der Faktor mit dem diese beiden Spannungen verknüpft sind ist die so genannte Spannungsverstärkung der Endstufe oder englisch Voltage Gain (Dieser Wert ist übrigens konstant und unabhängig vom abgegebenen Strom!).

Es gilt also die maximale Ausgangsspannung des Controllers zu berechnen und hierauf wird schlussendlich der Schwellwert des Limiters eingestellt.

### Vorgehensweise:

1. Zunächst ist die maximal zulässige Ausgangsspannung der Endstufe zu bestimmen. Als Grundlage hierfür dient die vom

## INFO ZUM AUTOR

Volker Holtmeyer

(31) studierte nach seiner Ausbildung zum Energieelektroniker Fernsehtechnik und elektronische Medien an der FH Wiesbaden. Während dieser Zeit begann er seine freiberufliche Arbeit beim Ingenieurbüro für Beschallungstechnik IFB in Bischofsheim. Seit 2002 ist er neben dieser Tätigkeit auch als

Applikationsingenieur beim Vertriebshaus Audio Pro Heilbronn beschäftigt. Weiterhin ist er freier Toningenieur und betreibt einen kleinen PA-Verleih.



**Spitzenbelastbarkeit (Peak Power)**

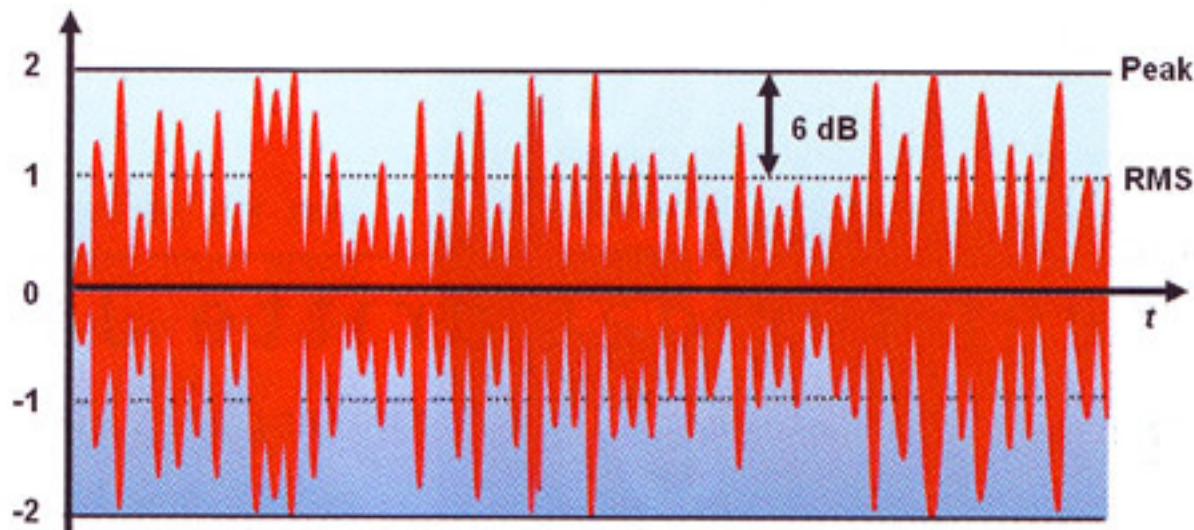
Die Spitzenbelastbarkeit basiert auf der Berechnung mit dem Spitzenwert der Spannung und ist ein Maß für die mechanische Belastbarkeit eines Lautsprechers. Für ein Signal mit einem Crest-Faktor von 6 dB ist die Spitzenbelastbarkeit beispielsweise viermal so groß wie die Dauerbelastbarkeit.

**Dauerbelastbarkeit (Average Power)**

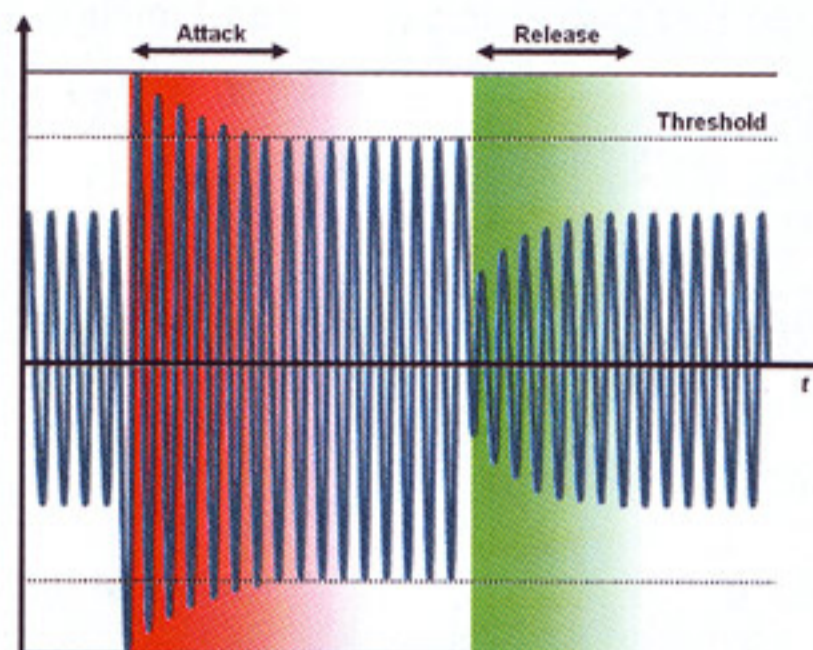
Die Dauerbelastbarkeit wird mit dem quadratischen Mittel der Spannung errechnet und ist ein Maß für die thermische Belastbarkeit eines Lautsprechers. Daher wird sie auch häufig nicht ganz korrekt als „RMS-Leistung“ bezeichnet.

**Nennimpedanz**

Lautsprecher werden auf Grund ihres Impedanzverlaufs in Gruppen verschiedener nomineller Impedanzen bzw. Nennimpedanzen von z. B. 4 Ohm oder 8 Ohm eingeteilt. Diese Nennimpedanz wird in der Regel in Datenblättern angegeben und lässt sich aus dem Impedanzverlauf entnehmen. Dabei darf das Minimum des Impedanzverlaufs 80 % der Nennimpedanz nicht unterschreiten.



Crest-Faktor



Charakteristik von Attack und Release eines Limiters

Hersteller angegebene maximale Dauerleistung des Lautsprechers. Damit wird mit der Nennimpedanz nach dem ohmschen Gesetz die maximale Spannung des Dauerpegels am Lautsprecher berechnet, die (Leistungsverluste unberücksichtigt) identisch ist mit der Ausgangsspannung der Endstufe. Dabei ist die Spannung die Wurzel aus dem Produkt der Leistung und der Nennimpedanz.

2. Dieser Wert ist nun als Pegel in dBu (bezogen auf 0,775 V) auszudrücken.
3. Schließlich ist die Spannungsverstärkung der Endstufe zu ermitteln, die üblicherweise dem Handbuch oder dem Datenblatt zu entnehmen ist.
4. Die Differenz des Pegels der maximalen Ausgangsspannung und dem Pegel der Spannungsverstärkung ist als Schwellwert des Limiters einzustellen.

z. B.:

$$U = \sqrt{100W \cdot 8\Omega} = 28,3V$$

2. Umrechnen in dBu

$$20 \cdot \log \frac{U}{0,775V}$$

z. B.:

$$20 \cdot \log \frac{28,3V}{0,775V} = 31,2dBu$$

3. Spannungsverstärkung (Voltage Gain) des Verstärkers ermitteln (siehe Datenblatt)

z. B.: 34 dB (bzw. 50fach)

4. Differenz aus der maximalen Ausgangsspannung in dBu und der Spannungsverstärkung in dB ist als Threshold des Limiters einzustellen, z. B.:

$$31,2 \text{ dBu} - 34 \text{ dB} = -2,8 \text{ dBu}$$

**Berechnungsbeispiel**

1. Maximal zulässige Ausgangsspannung des Verstärkers für den entsprechenden Lautsprecher berechnen (mit  $P_{RMS}$  des Lautsprechers)

$$U = \sqrt{P \cdot Z}$$

**Beachtungswertes**

Zu beachten ist noch Folgendes:

- Bei der Parallelschaltung mehrerer gleicher Lautsprecher ist der Schwellwert übrigens identisch mit dem des einzelnen

Lautsprechers, da die am Lautsprecher anliegende Spannung gleich bleibt (solange die maximale Spannung der Endstufe nicht durch eine zu geringe Impedanz sinkt).

- Die Ausgangspegelanzeigen der meisten Controller beziehen sich auf den jeweils eingestellten Limiter-Schwellwert! Das bedeutet beispielsweise, dass bei einem zu hoch eingestellten Schwellwert fälschlicherweise der Eindruck erweckt werden kann, dass unter Umständen noch reichlich Headroom vorhanden ist.
- Falls die Leistung der Endstufe kleiner ist als die Leistung des Lautsprechers, kann es zu einem Clipping der Endstufe kommen, wobei hochfrequente Signanteile erzeugt werden, die insbesondere Hochtöner stark belasten. In diesem Fall wäre es ratsam, den Limiter des Controllers zu nutzen, um ein Clipping der Endstufe zu verhindern. Dabei wird der Limiter-Schwellwert entsprechend herabgesetzt und zur Berechnung die Leistung der Endstufe herangezogen.

Text und Abbildungen: Dipl.-Ing. (FH) Volker Holtmeyer