
Einsatz digitaler Limiter in der Beschallungstechnik

A.GOERTZ ; S.MÜLLER (Institut für Technische Akustik der RWTH Aachen)

Einleitung

In weiten Bereichen der Studio- und Bühnentechnik kommen Limiterschaltungen zum Einsatz. Die grundsätzliche Funktion eines Limiters besteht darin, das Überschreiten bestimmter Pegelgrenzen zu verhindern und so die nachfolgenden Systeme vor Übersteuerung oder Überlastung zu schützen. In diesem Fall soll speziell auf Limiter in Controllern für Lautsprecher eingegangen werden. Innerhalb des Controllers befinden sich die Limiter als letzte Stufe vor den Endverstärkern und „überwachen“ dort die Signale für die einzelnen Systeme. In aktiven Mehrwegsystemen, wo jeder Zweig (Tief-, Mittel- und Hochtöner) über seinen eigenen Endverstärker verfügt, kann so eine genau auf den Lautsprecher angepaßte Kontrolle des Signales erfolgen.

Ein Lautsprecher kann sowohl mechanisch, wie auch thermische überlastet werden. Eine mechanische Überlastung durch zu große Beschleunigungskräfte an der Membran führt zunächst zu nichtlinearen Verzerrungen und im ungünstigen Falle zur Zerstörung des Lautsprechers durch Anschlagen der Schwingspule auf der Polplatte oder durch ein Zerreißen der Membran. Diese Grenzen drücken sich in der maximalen Spitzenbelastbarkeit eines Lautsprechers aus, die insbesondere bei Tieftonsystemen mit Resonatorgehäusen eine ausgeprägte Frequenzabhängigkeit aufweisen kann. Der Limiter hat hier die Aufgabe keine Spitzenwerte oberhalb eines bestimmten Grenzwertes zu zulassen. Das Komprimieren dieser Spitzenwerte führt dann zu einer Signalverdichtung und einem höheren Lautheitseindruck ohne gravierenden Anstieg der nichtlinearen Verzerrungen. Signaltheoretisch kann diese Stufe der Signalbearbeitung durch die Verringerung des Crestfaktor beschrieben werden.

Thermisch gerät ein Lautsprecher durch länger andauernde hohe Belastung in einen kritischen Bereich. Weit vor der Zerstörungsgrenze macht sich bereits der Effekt der Powercompression durch die Erhöhung des Gleichstromwiderstandes der Schwingspule bei steigender Temperatur bemerkbar. Mit der Berechnung eines thermischen Modells kann daher versucht werden die aktuelle Schwingspulentemperatur zu bestimmen und bei Bedarf die eingespeiste Leistung zu reduzieren. Die Problematik der thermischen Kontrolle eines Lautsprechers soll hier aber nur am Rande erwähnt werden, so daß im Folgenden nur die Funktion des Peaklimiters behandelt wird.

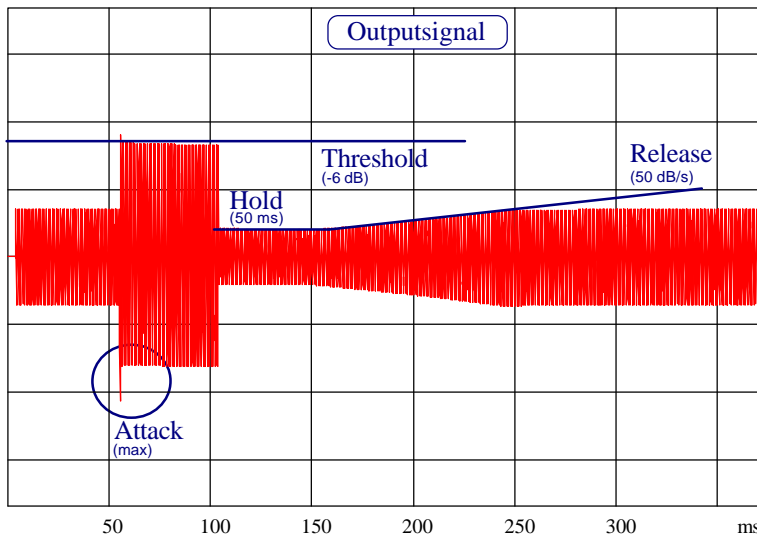


Abb.1 Ausgangssignal eines Limiters mit Kenngrößen
Eingangssignal: Sinusfunktion mit 12 dB
Pegelsprung

Kenngrößen eines Peak-Limiters

Peak-Limiter lassen sich über vier Kenngrößen beschreiben. Neben der Pegelschwelle (Threshold), ab der eine Kompression einsetzt, gibt es drei Zeitkonstanten. Die Ansprechzeit (Attack-Time) in dB/s, mit der die Geschwindigkeit der Verstärkungsreduktion angegeben wird, die Freigabezeit (Release-Time), die die Geschwindigkeit der Rücknahme der Verstärkungsreduktion angibt und die Haltezeit (Hold-Time), die den Zeitraum angibt, über den eine Verstärkungsreduktion

beibehalten wird, nachdem die Pegelschwellenüberschreitung nicht mehr besteht. Abbildung 1 zeigt ein Beispiel mit einer 1 kHz-Sinusfunktion als Eingangssignal, die über einen Zeitraum von 50 ms sprunghaft eine Pegelerhöhung von 12 dB erfährt. Der Grundpegel der Sinusfunktion sei hier zu 0 dB angenommen. Der Limiterschwelle beträgt +6 dB, so daß nur für den Zeitraum des erhöhten Pegels eine Überschreitung der Schwelle um 6 dB vorliegt. Mit einer möglichst kurzen Attack-Time wird das Signal um 6 dB komprimiert. Nachdem der Pegel wieder unter den Threshold gefallen ist, wird die Kompression über eine Hold-Time von weiteren 50 ms beibehalten und danach mit einer Release-Time von 50 dB/s zurückgenommen.

Konventionelle Limiter

Abbildung 2 zeigt das Blockschaltbild eines herkömmlichen Limiters, wie er in vielen analogen Geräten in dieser oder ähnlicher Form zu finden ist. Ein VCA (Spannungsgesteuerter Verstärker) übernimmt die Einstellung der Verstärkung bzw. Kompression. Die für den VCA notwendige Steuerspannung wird durch einen Vergleich des vorgegebenen Schwellwertes mit der gleichgerichteten Ausgangsspannung gewonnen. Überschreitet das Ausgangssignal den Schwellwert, so wird der Spannungssprung am Komparatorausgang über ein RC-Glied, dessen Zeitkonstante die Attack-Time bestimmt, an den VCA Steuereingang weitergeleitet. Liegt keine Schwellwertüberschreitung mehr vor, wird über die Zeitkonstante eines zweiten RC-Gliedes die Verstärkung auf den Ausgangswert zurückgefahren.

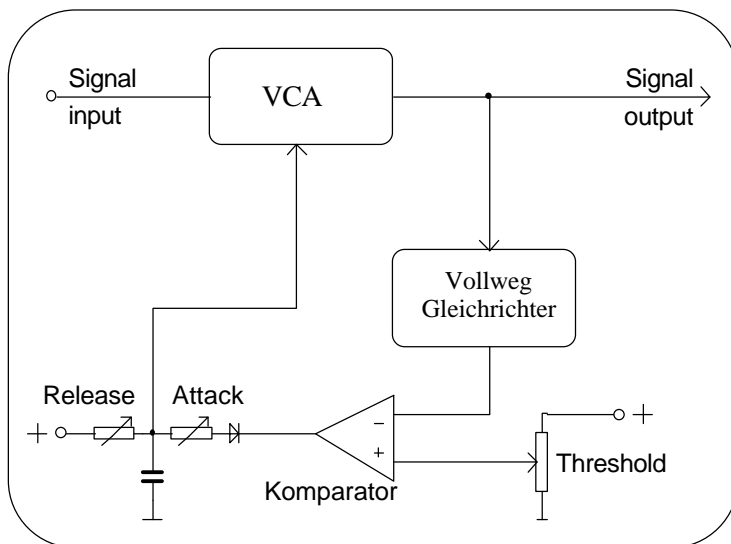


Abb.2 Blockschaltbild eines konventionellen Limiters

Ansprechen des Limiters verursachen. Selbst der einfache RC-Tiefpaß führt dazu, wie auch in Abbildung 1 zu erkennen ist, daß direkt nach einem Pegelsprung der Limiter nicht schnell genug reagieren kann und ein kurzzeitiges Überschreiten der vorgegebenen Schwelle nicht zu verhindern ist. Sicher vermeiden läßt sich eine Schwellwertüberschreitung mit diesem Limitertyp daher nur, wenn der Grenzwert für das Ansprechen des Kompressors unterhalb des eigentlich angestrebten Schwellwertes gelegt wird. Eine optimale Ausnutzung der nachfolgenden Komponenten ist damit natürlich nicht mehr zu erreichen. Abhängig vom Programmmaterial muß daher ein Kompromiß zwischen gelegentlichem Übersteuern und möglicherweise verschenktem Maximalpegel gefunden werden.

Ein neues Limiterkonzept

Neue Controller, bei denen sämtliche Funktion auf digitaler Ebene bearbeitet werden, eröffnen auch für das Konzept der Limiter verbesserte Möglichkeiten. Eine vorausschauende Signalanalyse erlaubt bereits in der Zukunft auftretende Grenzwertüberschreitungen zu detektieren und die Verstärkung über einen festen Zeitraum mit einer optimal abgestimmten Zeitkonstanten zurückzunehmen. Der Spitzenwert wird dabei soweit abgeschwächt, daß er genau den Schwellwert erreicht. Auch plötzliche Sprünge im Signal führen so nicht mehr zu Übersteuerungen und erlauben daher die Limiterschwelle bis an den Grenzwert der Endstufen oder Lautsprecher zu verschieben. Für starke transiente Impulse kann zusätzlich der Effekt der Vorverdeckung ausgenutzt werden, der die Regelzeit vor dem Impuls nicht wahrnehmbar werden läßt. Eine anschließende Hold-Time stellt sicher, daß in den direkt folgenden Passagen keine Pegelschwankungen auftreten.

Problematisch erscheint hier der Zusammenhang, daß die sprungförmige Ausgangsspannung des Komparators nur über einen Tiefpaß erster Ordnung geglättet direkt die VCA-Steuerspannung erzeugt. Die nur schwach gedämpften hochfrequenten Anteile im Steuersignal werden direkt mit dem Nutzsignal multipliziert und erzeugen so zusätzliche Verzerrungen, die bei kritischem Programmmaterial mit wenig Hochtonanteil als deutliches Knistern hörbar werden. Tiefpaßfilter höherer Ordnung würden eine zu große Laufzeitverzögerung und damit ein zu langsames

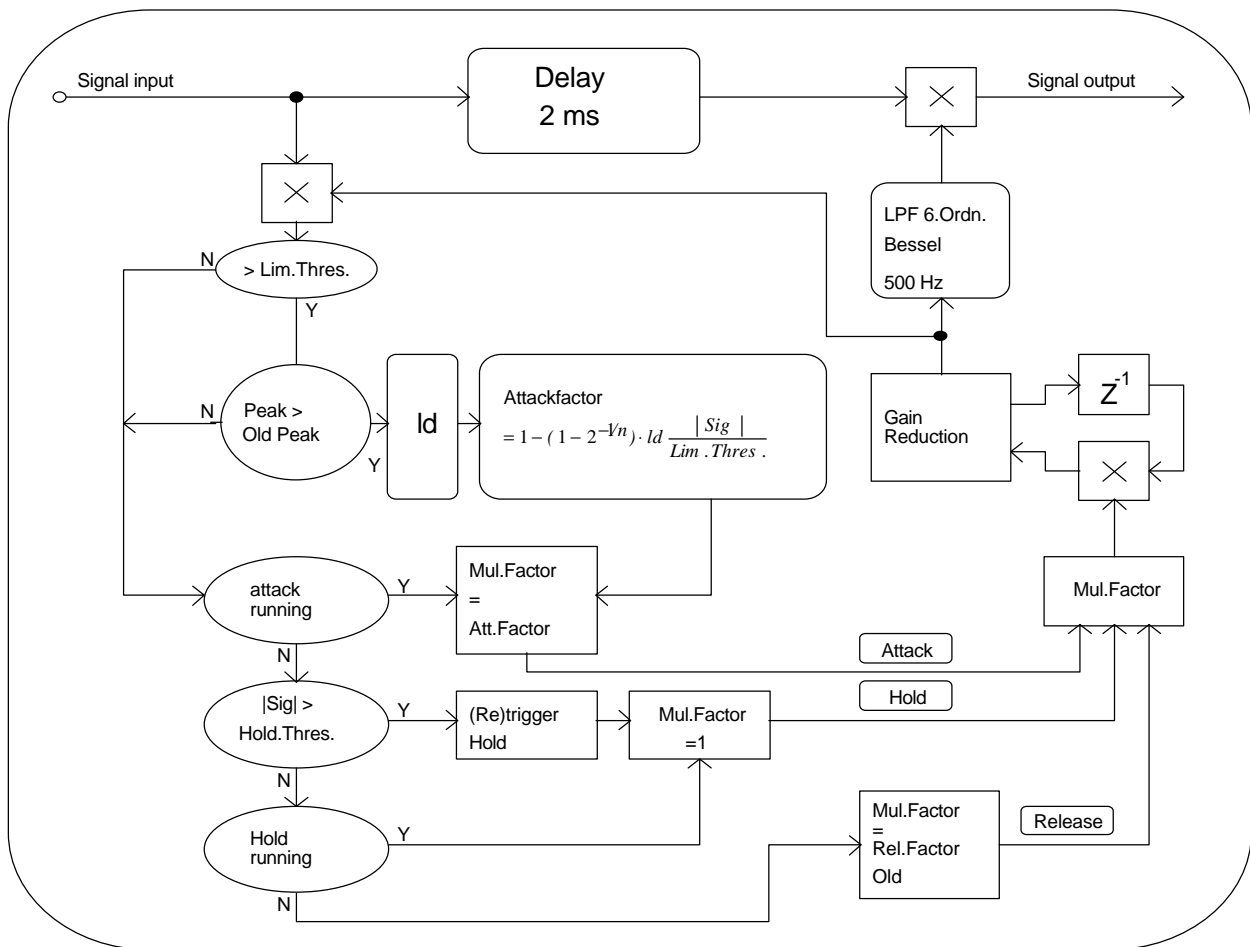


Abb.3 Blockschaltbild des digitalen Limiters

Abbildung 3 zeigt das Blockschaltbild des Limiters für einen Ausgangszweig des digitalen Controllers. Die vorausschauende Signalanalyse wird durch 2 ms Verzögerung im Signalweg ermöglicht, die zur Hälfte für den Regelvorgang vor einer Schwellwertüberschreitung zur Verfügung steht. Die verbleibende Millisekunde Delay wird zur Kompensation der Laufzeit des Tiefpaßfilters im Steuersignal benötigt. Das Tiefpaßfilter kann jetzt problemlos mit 6. Ordnung realisiert werden ohne das Ansprechverhalten des Limiters zu verschlechtern. Ein Besselfilter 6. Ordnung mit einer Eckfrequenz von 500 Hz hat sich hier als günstig erwiesen und verhindert sicher das Durchgreifen hochfrequenter Anteile der Steuersignales auf das Nutzsignal. Die Steuerung der Signalabschwächung (Gain Reduction) läuft über den Multiplikationsfaktor, der sich in der Attack-, Hold- oder Release-Phase befinden kann. Ein Attack-Vorgang wird ausgelöst, wenn der Eingangspegel die Limiterschwelle überschreitet. Abhängig vom Maß der Überschreitung wird dann für einen festen Zeitraum die Verstärkung mit einem konstanten und auf den Spitzenwert eingestellten Zeitkonstanten in dB/s zurückgenommen. Für den Fall, daß während dieser Attack-Vorgang läuft, ein weiterer noch größerer Peak detektiert wird, erfolgt die Berechnung einer neuen Zeitkonstanten. Die anschließende Hold Phase, hier 20 ms, wird neu gestartet, sofern sich das Eingangssignal während dieser Hold Phase erneut bis auf 1 dB der Limiterschwelle nähert. Ist weder die Limiter- noch diese Holdschwelle erreicht, so wird die Verstärkung mit einer einstellbaren Release-Zeitkonstanten auf den Normalwert zurückgefahren.

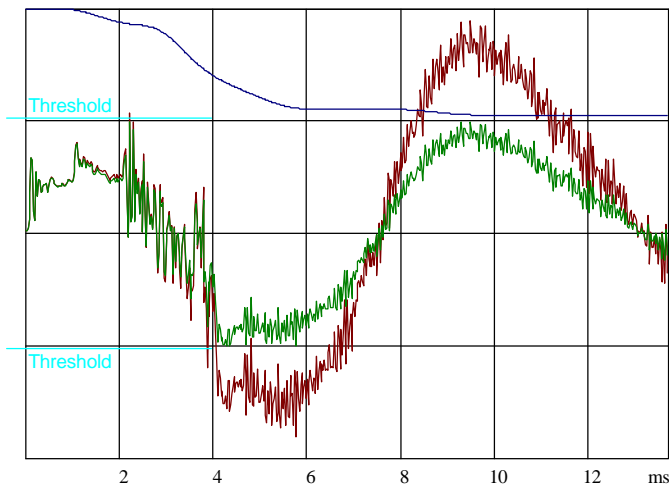


Abb.4 Limiter-Eingangs- bzw. Ausgangssignal und Verlauf der VCA-Steuerspannung

Die typischen Signalverläufe für einen Regelvorgang zeigt Abbildung 4. Neben dem Eingangs- bzw. Ausgangssignal des Limiters ist das Steuersignal für die Verstärkungseinstellung aufgetragen. Eine Millisekunde vor der ersten geringfügigen Schwellwertüberschreitung reagiert der Limiter und nimmt die Verstärkung leicht zurück. Die darauf folgende heftigeren Überschreitung der Pegelgrenze führen zu weiteren stärkeren Signalabschwächungen. Der Verlauf des Steuersignales, dessen Steigung die Abregelgeschwindigkeit wiedergibt, läßt deutlich erkennen, daß der Limiter sich je 1 ms vor einer Grenzwertüberschreitung auf den neuen Maximalwert einstellt.

Hochfrequente Anteile im Steuersignal, die sich als scharfe Knickstellen im Verlauf der Kurve zeigen würden, sind durch die Tiefpaßfilterung nicht mehr vorhanden. Nach einem mehrstufigen Attack Vorgang folgt zwischen 6 und 8 ms eine Hold-Phase, die durch ein erneutes Maximum im Eingangspegel unterbrochen wird. Im Ausgangssignal ist keinerlei Überschreitung der Limiterschwelle mehr zu erkennen, obwohl der Verlauf genau die Grenzlinie erreicht.

Vergleich der beiden Verfahren

Zusammenfassend kann über die beiden Limiterkonzepte gesagt werden, daß die digitale Variante nicht ein grundsätzlich neues Verfahren darstellt, sondern eine im Detail verfeinerte Form des herkömmlichen VCA gesteuerten analogen Limiters ist. Die entscheidenden Verbesserungen konnten durch die vorausschauende Signalanalyse in zwei Punkten erreicht werden. Der digitale Limiter begrenzt auch kurze Impulse immer exakt bis an die eingestellte Schwelle und läßt so eine optimale Ausnutzung der nachfolgenden Komponenten zu. Störungen durch das Steuersignal werden durch das steile Tiefpaßfilter völlig unterdrückt.

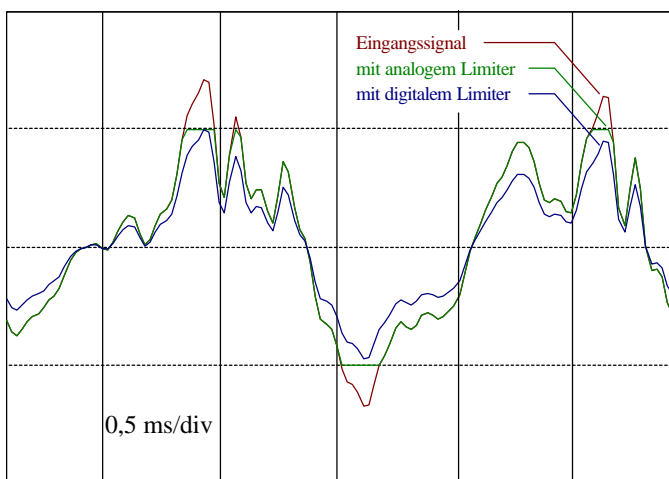


Abb.5 Originalsignal und mit analogem bzw. digitalem Limiter bearbeitetes Signal

Hörversuche

Hörversuche mit unterschiedlichen Musikmaterialien ergaben bei unkritischen Passagen mit perkussiven Instrumenten oder E-Gitarren keine Unterschiede. Streich- oder Blasinstrumente brachten dagegen klare Unterschiede zu Tage. Durch gelegentliches Clipping und Durchgreifen der hochfrequenten Anteile in der Steuerspannung verursachte der einfache analoge Limiter zerrende und

knisternde Störgeräusche. Bei gleicher Signalkompression (Crestfaktor ohne Limiter 15,52 dB, mit analogem Limiter 9,38 dB und mit digitalem Limiter 9,52 dB) waren mit der digitalen Variante unter keinen Umständen Störungen wahrzunehmen.