

Alesis Matica 500 - eine Fehlkonstruktion?

Vorweg:

Diese Stereo-Endstufe ist mit 2x 250 W RMS an 4 Ohm spezifiziert. Da es sich um einen Aufbau der Klasse B handelt, werden dabei bis zu 250 W Wärme entstehen, in jedem der insgesamt 12 Endstufentransistoren also etwa 21 W.

Die maximale Impulsbelastung der Endstufentransistoren tritt auf, wenn am Eingang ein Basssignal mit Vollaussteuerung liegt und am Ausgang eine Bassbox angeschlossen ist. Beim Abbremsen der Membran aus voller Geschwindigkeit müssen die Transistoren kurzzeitig sehr viel Energie in Wärme umwandeln, ohne sich zu überhitzen. Die eingebaute Sicherung der Endstufe begrenzt den momentanen Ausgangsstrom, der durch die Endstufentransistoren fließt. So soll indirekt auch die absorbierte Leistung der Endstufentransistoren begrenzt und diese damit vor Zerstörung bewahrt werden.

Wie bei langen Bergabfahrten mit dem KFZ muss man die Bremsen lockern, wenn sie zu überhitzen drohen. Solche Verstärker haben aber keine speziellen Bremsen, sondern nur einen Rückwärtsgang. Gebremst wird also im Rückwärtsgang, quasi mit der Kupplung. Jeder kann sich vorstellen, dass das an die Substanz geht.

Selbstverständlich erzeugt ein Verstärker unter diesen Bedingungen Verzerrungen. Und im Fall der Alesis Matica 500 wird er schnell mal beschädigt, trotz eingebauter Sicherungen. Das zeigen folgende Berechnungen:

Betriebsspannung: +/- 60 V

EMF der Antriebsspule bei voller Membrangeschwindigkeit: 60 V

Maximale Arbeitsspannung beim Abbremsen (Klemmenspannung + EMF):

$$\begin{aligned}U_{\max} &= 60 \text{ V} + 60 \text{ V} \\ &= 120 \text{ V}\end{aligned}$$

Strombegrenzung in Endstufe Matica 500:

$$\begin{aligned}I_{\max} &= 9 \text{ A} \\ &\text{oder mehr abhängig von Ausgangsspannung}\end{aligned}$$

Arbeitsspannung an Transistoren beim Ansprechen der Strombegrenzung:

$$\begin{aligned}U &= 120 \text{ V} - 4 \text{ Ohm} * 9 \text{ A} \\ &= 120 \text{ V} - 36 \text{ V} \\ &= 84 \text{ V}\end{aligned}$$

Die Ausgangsspannung des Verstärkers beträgt in diesem Moment:

$$\begin{aligned}U_{\text{out}} &= 84 \text{ V} - 60 \text{ V} \\ &= 24 \text{ V}\end{aligned}$$

Pulsleistung an Endstufentransistoren in diesem Moment:

$$\begin{aligned}P &= 84 \text{ V} * 9 \text{ A} \\ &= 756 \text{ W}\end{aligned}$$

Der Alesis Matica 500 ist eine aufwändige, dreifach redundante Konstruktion mit 200 W Endstufentransistoren. Diese können eine Pulsbelastung von nominell 600 W absorbieren.

Siehe dazu "Safe Operating Area", sicherer Arbeitsbereich im Datenblatt der Transistoren MJL21193, MJL21194 Figure 13 auf Seite 4. Hier gibt der Halbleiterhersteller Belastungsgrenzen für den sicheren,

d.h. zuverlässigen Betrieb seiner Halbleiter vor. Außerhalb dieser Grenzen gibt es keine Funktionsgarantie.

Die angegebene Belastbarkeit gilt auch nur, solange die Bauelemente kühl sind, siehe im Datenblatt die Beschreibung neben der Grafik. Hat der Kühlkörper mit den Endstufentransistoren eine Temperatur von 60 oder 80 °C statt 20 °C, so reduziert sich die Belastbarkeit auf die Hälfte, also etwa 300 W. Die eingebaute Temperatursicherung der Matica 500 trennt die Boxen erst bei etwa 80 °C Kühlkörpertemperatur ab. Logischerweise sind die Transistoren meistens noch heißer als der Kühlkörper.

Eine Pulsleistung von 756 W ist jedenfalls viel zu hoch und kann das Silizium der Endstufentransistoren schmelzen lassen. Eine der beiden Endstufen der Alesis Matica 500 wird dann komplett zerstört, denn ein Defekt in einem der Endstufentransistoren löst eine Katastrophe aus, in deren Folge etwa 20 weitere Bauelemente verbrennen, darunter auch Widerstände und Dioden. Anschließend reagieren die eingebauten Sicherungen des Geräts und trennen die Boxen beider Endstufen ab. Laut Serviceanleitung Alesis sind nach einer solchen Katastrophe alle Halbleiter der Endstufe zu ersetzen, auch solche die nicht offensichtlich zerstört sind.

Wohlgemerkt, die angenommenen Betriebsumstände waren nichts besonderes: Ein erwärmter Verstärker, 4 Ohm Lastimpedanz, hohe Aussteuerung - kein Kurzschluss oder so etwas. Der Verstärker ist insofern eine Fehlkonstruktion.

Wie können solche Fehler passieren?

A) Die Ingenieure haben ihre Belastungstests möglicherweise mit ohmschen Lasten, d.h. mit Dummies, durchgeführt statt mit Lautsprechern, deren "Elektromotoren" Bewegungsenergie speichern und im falschen Moment wieder freisetzen. Auf einen solchen Denkfehler der Konstrukteure läßt auch die eigenartige Aufschaltung der Strombegrenzung schließen, siehe bei der Diskussion "2 Ohm" weiter unten. Je nach Bewegungszustand des Lautsprechers kann beim Abbremsen der Membran die Stromgrenze jederzeit erreicht werden, auch bei Ausgangsspannung 0 V.

B) Wenn man den Verstärker mit dem kompletten Frequenzspektrum üblicher Musik betreibt, hält er vielleicht besser, als wenn man nur den Bass aus einer Weiche einspeist, womöglich mit Resonanzkorrektur. Die Membran eines Basslautsprechers speichert aufgrund ihrer höheren Masse natürlich viel mehr Bewegungsenergie.

Betrieb mit 8 Ohm-Lautsprechern

Beim Betrieb mit einem 8 Ohm Lautsprecher sieht die Rechnung günstiger aus. Aber auch in diesem Fall würde die Strombegrenzung ansprechen und die Spannung beim Abbremsen wäre

$$\begin{aligned}U &= 120 \text{ V} - 8 \text{ Ohm} * 9 \text{ A} \\ &= 120 \text{ V} - 72 \text{ V} \\ &= 48 \text{ V}\end{aligned}$$

und demnach die absorbierte Leistung

$$\begin{aligned}P &= 48 \text{ V} * 9 \text{ A} \\ &= 432 \text{ W}\end{aligned}$$

Dieser Wert liegt zumindest in Reichweite der Spezifikation von 300 bis 600 W. Das Datenblatt macht keine genauen Angaben über die SOA bei kurzen Belastungen von z.B. 10 msec. So lange dauert maximal das Abbremsen der Membran eines großen Basslautsprechers. Üblicherweise ist die Belastbarkeit der Transistoren bei kurzen Pulsen etwas höher, z.B. das Doppelte. Man darf davon ausgehen, das die Endstufe in dieser Betriebsart hält.

Betrieb mit 2 Ohm-Lautsprechern

Hier tritt eventuell bereits bei der Beschleunigung der Membran eine zerstörerische Belastung auf, nicht erst beim Abbremsen.

Im Moment der Vollaussteuerung nach vorheriger Ruhe würde der Verstärker wieder in Strombegrenzung gehen. Nun enthält die Matica 500 wie ihr großer Bruder eine veränderliche, von der Ausgangsspannung abhängige Strombegrenzung, die in diesem Fall eine Aussteuerung bis etwa 33 A ermöglicht, d.h. Vollaussteuerung an 2 Ohm. Diesen Fall würden die Transistoren überstehen, denn bei Vollaussteuerung ist ihre Arbeitsspannung gering, nur wenige Volt. Die umgesetzte Leistung würde also zum Beispiel

$$\begin{aligned} P &= 3 \text{ V} * (60 \text{ V} / 2 \text{ Ohm}) \\ &= 3 \text{ V} * 30 \text{ A} \\ &= 90 \text{ W} \end{aligned}$$

betragen. Das wäre für die drei Endstufentransistoren kein Problem, einer allein könnte das.

Was geschieht nun bei halber Aussteuerung? Wenn die Ausgangsspannung des Verstärkers 30 V beträgt, erhält man:

$$\begin{aligned} P &= (60 \text{ V} - 30 \text{ V}) * (30 \text{ V} / 2 \text{ Ohm}) \\ &= 30 \text{ V} * 15 \text{ A} \\ &= 450 \text{ W} \end{aligned}$$

Hier sind wir also bereits bei der Beschleunigung der Membran im kritischen Bereich. Die Pulsbelastung beim Abbremsen aus voller Bewegung wäre jedoch

$$\begin{aligned} U &= 120 \text{ V} - 2 \text{ Ohm} * 9 \text{ A} \\ &= 120 \text{ V} - 18 \text{ V} \\ &= 102 \text{ V} \\ P &= 102 \text{ V} * 9 \text{ A} \\ &= 918 \text{ W} \end{aligned}$$

Rechnung wie oben - Ergebnis wie oben: Zerstörung der Endstufe durch Überhitzung der Transistorchips.

Die Aussage im Benutzerhandbuch der Alesis Matica 500, der Verstärker sei 2-Ohm-stabil, erscheint in diesem Licht wenig hilfreich. In vollkommen kaltem Zustand übersteht der Verstärker so etwas vielleicht ohne Schaden, wenn man Glück hat. Eine saubere ingenieurtechnische Lösung des Problems und ein gutes Produkt ist es aber nicht. Es wird nicht lange halten und dem Image der Marke schaden. Ein gut konstruiertes Gerät dagegen gerät bei bestimmungsgemäßer Benutzung auch nicht ansatzweise in die Nähe der Zerstörungsgrenzen, geschweige denn darüber.

Andererseits:

Die Clipping-Anzeige der Alexis Matica 500 zeigt interessanterweise auch Strom-Clipping an. Der Benutzer kann also kritische Betriebszustände, d.h. wenn die Strombegrenzung eingreift, am Leuchten der LEDs erkennen. Wird beim Betrieb der Anlage also darauf geachtet, dass kein bzw. nur ganz selten Clipping auftritt, dann sollte das Gerät wohl halten.

Weitere Schwachstellen der Alesis Matica 500

1) Die beiden Temperatursensoren für die Ruhestromeinstellung der Endstufen sind intern über zwei kleine Kabel mit dreipoligen Steckverbindern an beiden Enden angeschlossen. Steht die Endstufe in der Nähe einer Box mit starken Vibrationen, zerstört der allererste winzigste Wackelkontakt an einem der zwölf Kontakte sofort die betreffende Endstufe.

Hier wäre jede andere Lösung besser gewesen.

2) Die beiden Vorwiderstände 680 Ohm für die Versorgung der OPV befinden sich in einer windgeschützten Ecke hinter dem Kühlkörper und in unmittelbarer Nähe der Endstufentransistoren Q3 und Q4. Dort werden ständig 6,5 W Wärme freigesetzt, und es herrschen nach wenigen Minuten Temperaturen von sicherlich 200 °C.

Solche Hot Spots in der Nähe von Halbleitern sind falsches Design. Dafür gibt es viel bessere Lösungen, z.B. Widerstände, die man am Chassis festschrauben kann.

3) In diesem Zusammenhang fällt auch die falsche Entlüftung direkt vom Kühlkörper zur Rückseite des Geräts auf. Dadurch werden das „innere Ende“ des Kühlkörpers und Bauelemente auf der Hauptplatine zu wenig gekühlt.

4) Die Methode, den Lüfter zu beschleunigen, während der Verstärker arbeitet, und ihn in den Pausen leise laufen zu lassen, ist großartig („coolsync“). Besonders dumm ist es aber auch, den Lüfter zu beschleunigen, wenn der Kühlkörper kalt ist, bzw. auf Umgebungstemperatur, denn das bringt rein gar nichts außer Lärm. Vermutlich würde das Gerät bei normalen Umgebungstemperaturen und bei Zimmerlautstärke kühl bleiben, wenn man den Lüfter erstmal gleichmäßig leise weiterlaufen lassen würde.

Das Lüftungskonzept erscheint insgesamt unfertig.

5) Die Verpolung der Endstufe B ist eine interessante Idee, aber wer liest schon das Handbuch. Hier entstehen bei der Integration in eine Anlage mit - vielleicht etwas unkonventionellen - Kabeln ganz leicht teure Schäden. Und man fragt sich, bei wievielen Anlagen wohl die Wiedergabe verpolt erfolgt. Auch hier wieder: Eine interessante Idee - mit unbedachten Folgen.

Soweit aus den Serviceunterlagen erkennbar, gelten alle vorherigen Überlegungen sinngemäß auch für die Alesis Matica 900.

Fazit

Wir haben gesehen, dass die bei Audio-Endstufen übliche Strombegrenzung keinen wirksamen Schutz der Endstufentransistoren garantiert. Die Überwachung der Kühlkörpertemperatur bewirkt auch keinen wirksamen Schutz der Transistorchips. Spätestens wenn der Lüfter und die Kühlrippen sich mit Staub zugesetzt haben, brennt es.

Selbstverständlich gelten alle diese Überlegungen sinngemäß auch für andere Marken- und No-Name-Geräte, z.B. aus Asien. Besonders im Bereich CAR-Audio wird hier mit völlig überzogenen und irreführenden Versprechungen geworben. Die allermeisten dieser Geräte eignen sich eher für den Hausgebrauch bei Zimmerlautstärke, aber nicht für die Beschallung einer Diskothek oder einer Fete. Ein gutes Beispiel dafür sind Geräte der Marken Denon und Yamaha, die mit einem 200 W Netztrafo angeblich 500 W RMS liefern und zwar ohne Lüfter, aber dafür 2-Ohm-stabil und in HiFi-Qualität! Im Vergleich dazu erscheinen die Alesis Matica Endstufen beinahe seriös.

Die dargestellten technischen Probleme lassen sich sehr wohl lösen und zwar mit anderen Verstärkerkonstruktionen der Klassen

- D d.h. mit schaltendem Regler (PWM plus Filter)

- G/H d.h. durch Trennung von "Motor" und "Bremse" im Verstärker

Bei kleineren Endstufen, wo alles auf einem Chip integriert ist, ermöglicht die interne Überwachung der Chiptemperatur einen wirksamen Schutz, z.B. das von NS propagierte „SPIKE“ im LM3886. Leider weiß man beim Einsatz solcher Bauteile nie, wie nahe man dem Ansprechen der Sicherung gerade ist, bzw. ob der Verstärker bereits verzerrt. Im übrigen beträgt die SOA eines kalten LM3886 nur 75 W.

Andererseits sind heute handliche und preiswerte Halbleiterbauteile verfügbar, die Pulsleistungen bis zu einigen Kilowatt sicher absorbieren können, nämlich Transistoren der Kategorien MOSFET und IGBT. Manchmal kann man ein vorhandenes Gerät mit solchen Bauteilen "härten". Ob sich das aber lohnt, steht auf einem anderen Blatt, denn den altmodischen Geräten aus den 1980ern und 1990ern fehlt natürlich auch ein vernünftiges Netzteil mit PFC und vieles andere mehr.

ToDo-Liste:

Für die Nutzung mit 2 Ohm:

1) Einbau einer handelsüblichen Kondensatorbank mit zusätzlichen 60 mF, d.h. Ausbau von 2x 10 mF auf 2x 40 mF. Die Platine passt in den freien Platz hinter der Luftansaugöffnung.

Vorsicht, Abstand halten: $80 \text{ mF} * 60 \text{ V} = 4,8 \text{ Joule}$.

2) Reduzieren der Trafospannung von 2x 44V auf 2x 30V oder so. Bei einem Ringkerntrafo wäre das einfacher!

3) Beseitigen der spannungsabhängigen Strombegrenzung, gleichzeitig Emitterwiderstände 0,22 Ohm durch 0,1 Ohm ersetzen, für etwa 20 A Strombegrenzung.

4) Dämpfungsfaktor optimieren, indem man die Gegenkopplungssignale unmittelbar am Relais abnimmt, selbstverständlich vor dem Kontakt.

5) Pfad von der Überstrombegrenzung zum Relais, d.h. bei wiederholtem bzw. ständigem Clipping Lautsprecher abtrennen. Realisierung z.B. mit Optokopplern.

Copyright 2010 cadt.de, Zitate gerne per Link.

Erstellt: 2010-07-30