

PRODUCTION PARTNER

Fachmagazin für Veranstaltungstechnik

Test
aus Ausgabe 12/2017
1/2018

4-kanalige DSP-Endstufe LD Systems DSP44K



Das Nachrichten-
portal rund um
die Medienwelt
und -Technik

PRODUCTION
PARTNER



4-kanalige DSP-Endstufe LD Systems DSP44K

Mit der DSP44K bricht bei LD Systems, eine innerhalb der Adam Hall Group angesiedelte Marke, ein neues Kapitel an: Die vierkanalige Endstufe mit DSP und Dante-Interface ist per Netzwerk konfigurierbar und kann über die Hersteller-Presets oder auch komplett frei konfiguriert werden.

Text und Messungen: Anselm Goertz | Fotos: Dieter Stork (2), Anselm Goertz

Die DSP44K repräsentiert genau das, was man heute von einer modernen Endstufe erwartet: Vier Kanäle, einen integrierten leistungsfähigen DSP, ein Dante-Interface und die volle Vernetzung und Programmierung per Netzwerk oder USB. LD Systems bietet diese Endstufe mit Setups für alle passiven Lautsprecher aus dem eigenen Programm an. Mit Hilfe der zugehörigen freien PC-Software kann die Endstufe

auch komplett frei für beliebige andere Anwendungen angepasst werden. Entwickelt wurde die Endstufe in Zusammenarbeit mit dem spanischen Hersteller RAM Audio. Das Dante-Interface kommt, wie immer, von Audinate.

Die Kernkompetenzen der DSP44K werden mit 4×1.200 W pro Kanal an 4Ω oder 2×2.400 W an 8Ω gebrückt angegeben. Die Endstufen sind als Class-H-Schaltung aufgebaut. Das Netzteil ist ein HF-Schaltnetzteil mit PFC (Power Factor Correction) und einem ausgeklügelten PMS (Power Manage-



ment System). Die Kombination eines Schalt-
 netzteils mit einer Class-H-Endstufe ist eine bei
 aktuellen Geräten seltener werdende Variante.
 Viele Hersteller setzen heute auf Class-D-Schal-
 tungen, die einen besseren Wirkungsgrad bie-
 ten, aber prinzipiell auch noch einige Nachteile
 in Sachen Audioqualität mit sich bringen. Die
 Class-H-Schaltung entspricht vom Prinzip her
 einer klassischen AB-Endstufe. Die Class-AB-
 Schaltung arbeitet jedoch mit einer festen Ver-
 sorgungsspannung im Vergleich zur Class-H-
 Schaltung, die zur Verbesserung des Wirkungs-
 grades mit einer gestuften Versorgungsspan-
 nung betrieben wird. Je nach Anforderung wird
 dann auf eine hohe oder niedrige Stufe zurück-
 gegriffen. Ohne diesen Schaltungskniff wäre
 diese Leistungsdichte mit 4,8 kW auf 2 HE auch
 nicht möglich.

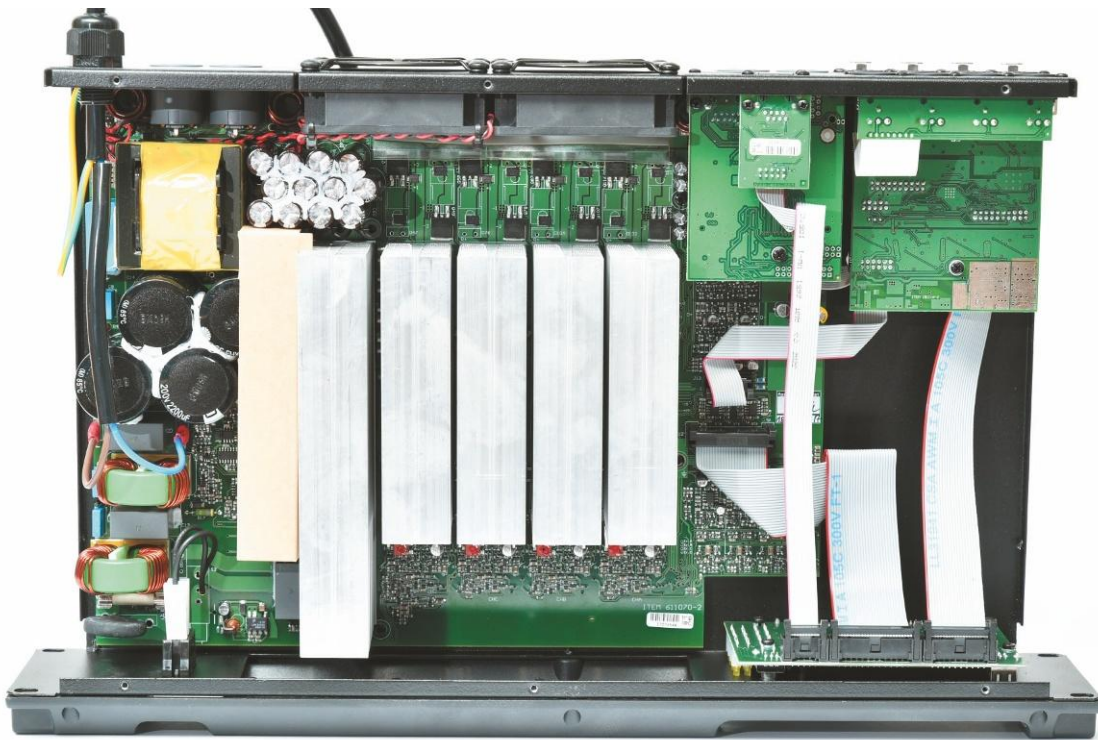
Werfen wir zunächst einen Blick auf das Äußere
 der Endstufe DSP44K. Die Frontseite wird von
 den Lufteinlässen und der Bedieneinheit für den



Frontansicht des DSP44K, links die Bedieneinheit mit vierzeiligem Textdisplay
 und Inkrementalgeber



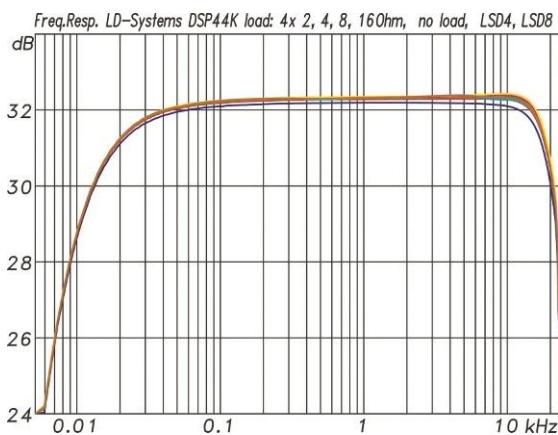
Rückansicht des DSP44K mit analogen Eingängen und Dante-Interface mit
 primärem und sekundärem Anschluss



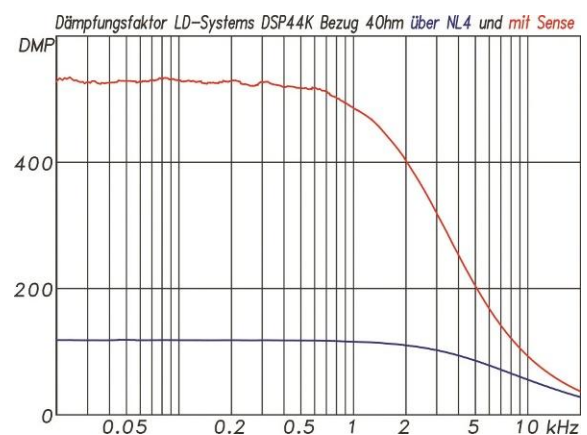
Innenansicht des DSP44K von unten: mittig die vier Endstufenkanäle mit Kühlprofilen, links das HF-Schaltnetzteil und rechts die DSP-Platine. Die Abdeckung zur Führung der Kühlluft im Gerät wurde für das Foto abgenommen.

DSP dominiert. Mit einem vierzeiligen Textdisplay, fünf Tastern und einem Inkrementalgeber können hier Setups abgerufen und diverse Einstellungen vorgenommen werden. Im normalen Betrieb werden die ausgewählten Eingänge, der

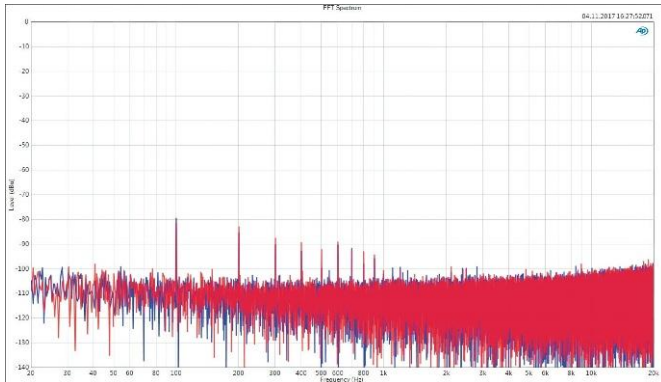
Signalpegel, Mute oder auch mögliche Limiter-Aktivitäten angezeigt. Auf der Rückseite gibt es zwei Lüfter, die temperaturgesteuert arbeiten und die Kühlluft von vorne nach hinten durch das Gerät ziehen. Für die Signalzuspielung gibt es



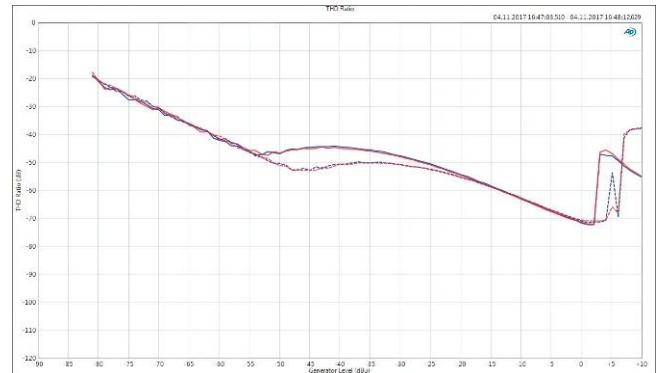
Frequenzgang mit 2-, 4- und 8- Ω -Lastwiderständen und mit 4- bzw. 8- Ω -Lautsprecher-Dummy-Loads. Dank des Class-H-Konzeptes sind kaum lastabhängige Unterschiede zu erkennen. (Abb. 1)



Dämpfungsfaktor bezogen auf eine 4- Ω -Last, gemessen über die Speakonbuchse (blau) und über die zweite unbelastete Buchse (rot, Abb. 2)



Störspektrum am Ausgang (CH1 rot, CH2 blau) 128K FFT
Gesamtpegel -61 dBu, -64 dBu(A) (Abb. 3)



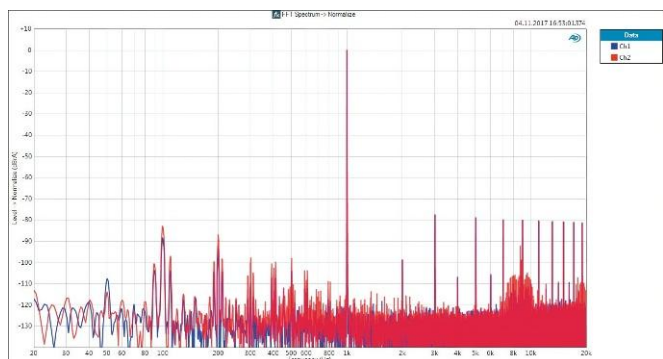
Klirrfaktor (THD) bei 1 kHz mit $4 \times 4 \Omega$ und $4 \times 8 \Omega$ (gestrichelt)
Last gemessen für CH1 und CH2 in Abhängigkeit vom Eingangspegel (x-Achse, Abb. 4)

vier analoge Eingänge auf XLR mit Linkbuchsen. Die Ausgänge sind auf vier Speakon-Buchsen herausgeführt, wo die zugehörigen Kanäle jeweils auf den $1 \pm$ Pins liegen. Die Ausgänge A und C sind zusätzlich auf den Pins $2 \pm$ noch mit den Kanälen B und D belegt, so dass man hier für Mehrwegesysteme zwei Kanäle abgreifen oder die beiden Ausgänge im Brückenmodus betreiben kann. Die passende Konfiguration dazu lässt sich leicht über die Software und den DSP einstellen. Im Weiteren gibt es dann noch drei RJ45-Netzwerkbuchsen, von denen zwei für das Dante-Netzwerk als primärer und sekundärer Anschluss dienen und die dritte für eine Netzwerkverbindung konfiguriert ist. Das Dante-Audionetzwerk kann bei Bedarf mit zwei unabhängigen Netzen redundant aufgebaut werden, so dass beim Ausfall des primären Netzes automatisch auf das sekundäre Netz umgeschaltet wird. Alternativ können die beiden Buchsen mit Hilfe der Dante-Controller-Software auch auf einen Daisy-Chain-Modus umkonfiguriert werden, wo sich das Netzwerk dann von einem zum nächsten Gerät durchlinken lässt, was jedoch ohne Redundanz geschieht. Welche der vielen Signal-Feeds in einem Dante-Netz für die vier Kanäle der Endstufe zur Verfügung stehen, wird ebenfalls über die Dante-Controller-Software in einer Matrix eingestellt. Mit Dante vernetzten Geräten und der Controller-Software lassen sich von einfachen Punkt-zu-Punkt-Verbindungen bis hin zu komplexen Anlagen nahezu beliebige Systeme aufbauen. Die Controller-Software ist dabei übersichtlich und intuitiv in ihrer Funktion gestaltet, so dass man auch als Neuling beim Thema Audionetze keine Berührungängste haben muss.

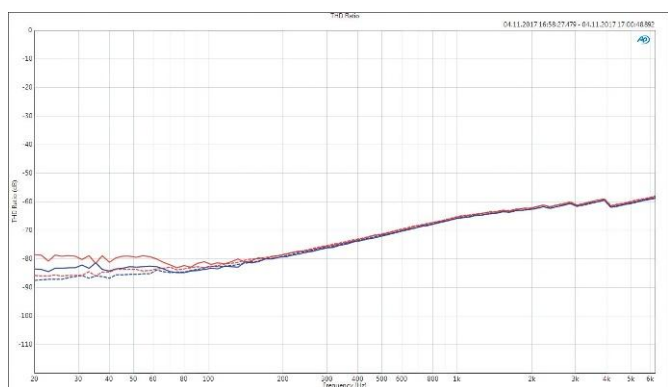
Nach der äußerlichen Betrachtung steht noch ein kurzer Blick ins Innenleben an. Hier steht die Schaltung „auf dem Kopf“. Man schraubt daher auch nicht den Deckel auf, sondern die Bodenplatte. Die Bauteile auf den PCBs hängen dann bei normaler Aufstellung quasi mit dem Kopf nach unten. Der Vorteil dieses Aufbaus liegt darin, dass sich möglicher Staub im Gerät, der z. B. durch die Lüftung angesaugt wurde, nicht auf den PCBs abgelagert. Zusammen mit Feuchtigkeit könnten die Ablagerungen sonst zu Störungen führen. Unabhängig davon wäre es trotzdem gut, wenn die Lufteinlässe der Endstufe mit einem Staubfilter ausgerüstet wären.

Frequenzgang und Dämpfungsfaktor

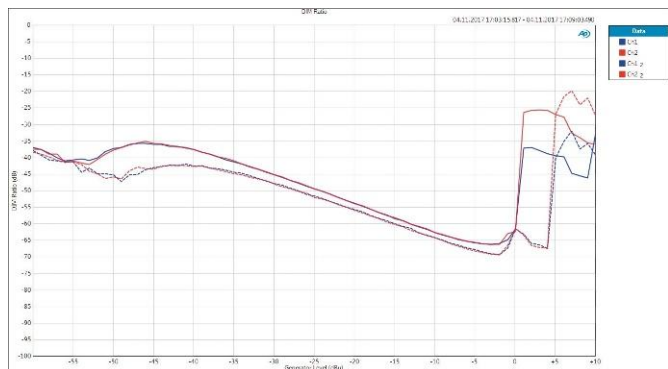
Beginnen wir bei den Messergebnissen mit dem Frequenzgang in Abhängigkeit von der Last, dann zeigt sich hier direkt ein erster Unterschied der Class-H-Schaltung zu Class-D-Endstufen. Die Kurven aus Abb. 1 lassen auch bei höheren Frequenzen kaum Abhängigkeiten von der Last erkennen. Selbst bei 2Ω gibt es nur minimale Unterschiede oberhalb von 10 kHz von 0,3 dB bis 0,6 dB bei 20 kHz im Vergleich zur Messung ohne Last. Das spiegelt sich entsprechend auch im Dämpfungsfaktor in Abb. 2 wider. Bezogen auf eine $4\text{-}\Omega$ -Last, wird bei 20 kHz immer noch ein Wert von 30 erreicht. Die beiden Kurven aus Abb. 2 zeigen die Messung des Dämpfungsfaktors von Kanal B einmal über die Speakonbuchse zusammen mit der Last gemessen und einmal mit der Messleitung über die zweite Buchse gemessen, wo die Messung den Übergangswiderstand der Buchse umgeht. Der Unter-



Klirrspektrum (THD+N) bei 1 kHz und $4 \times 4 \Omega$ Last (CH1 rot, CH2 blau) bei einer Leistung von $4 \times 200 \text{ W}$ an 4Ω . Das Klirrspektrum wird von ungeraden Komponenten dominiert. (Abb. 5)



Klirrfaktor (THD) bei $4 \times 4 \Omega$ und $4 \times 8 \Omega$ Last (CH1 rot, CH2 blau) in Abhängigkeit von der Frequenz bei einer Leistung von $4 \times 100 \text{ W}$ und $4 \times 50 \text{ W}$ Leistung (Abb. 6)



Intermodulationsverzerrungen DIM100 an $4 \times 4 \Omega$ und $4 \times 8 \Omega$ (gestrichelt) Last (CH1 rot, CH2 blau, Abb. 7)

schied mit Werten im Dämpfungsfaktor von 120 zu 530 fällt auf den ersten Blick recht groß aus, bedeutet aber lediglich einen Kontaktwiderstand von 26 m Ω . Nur wenige Meter Kabel haben bereits einen wesentlich höheren Widerstand. Ein 10-m-Kabel mit einem Querschnitt von $2 \times 2,5 \text{ mm}^2$ kommt so auf 140 m Ω . Rechnet man 10 m Kabel und zwei Übergangswiderstände zusammen, dann sind das in der Summe ca. 200 m Ω , die bezogen auf die 4 Ohm für den Lautsprecher unabhängig von der Endstufe nur noch einen Dämpfungsfaktor von maximal 20 ermöglichen. Ob die Endstufe selber jetzt einen Wert von 100 oder 500 hat, ist dann weniger relevant.

Störabstand

Das Thema Störabstand wird für Endstufen immer dann besonders relevant, wenn Lautsprecher mit einer hohen Sensitivity angeschlossen werden sollen. Liegt der Störpegel am Ausgang, wie bei der DSP44K bei -61 dB , dann bedingt das für einen Lautsprecher mit einer Sensitivity von 100 dB 1 W/1 m einen Störpegel in 1 m Entfernung von 28 dB. Mit A-Bewertung, die hier sinnvollerweise anzuwenden ist, sind es dann 25 dBA. Ein solcher Wert ist für typische Beschallungsanwendungen unproblematisch. Treibt die Endstufe einen Kompressionstreiber mit 115 dB Sensitivity direkt an, dann beträgt der Störpegel in 1 m Entfernung 40 dBA, die in den meisten Fällen auch noch unkritisch sein dürften. Bei sensiblen Anwendungen, z. B. im Kino oder Theater, wäre die Verträglichkeit von Fall zu Fall zu prüfen. Das am Ausgang der DSP44K gemessene Störpektrum findet sich in Abb. 3. Neben dem gleichmäßig verteilten weißen Rauschen, gibt es auch noch einige Vielfache von 100 Hz, die vermutlich durch die Ladeströme der Primärkondensatoren eingestreut werden. Das Störpektrum in dieser Form ist unabhängig von den Einstellungen der Endstufe und tritt auch bei gemuteten Ausgängen des DSPs auf. Dem Störpegel von -61 dBu steht eine maximale Ausgangsspannung von knappen $+40 \text{ dBu}$ gegenüber. Der S/N oder Dynamikumfang beträgt somit 101 dB bzw. 104 dB mit A-Bewertung des Störanteils.

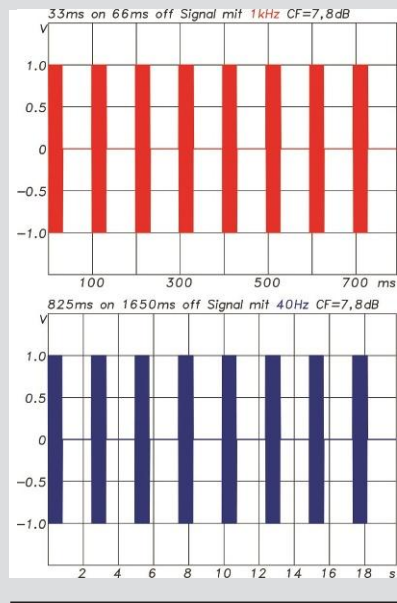
Verzerrungsmessungen

Bei den Verzerrungsmessungen wurden alle Messreihen an 4- und an 8- Ω -Lasten durchgeführt. Der Übersicht halber enthalten die Grafiken immer nur zwei der insgesamt vier Kanäle. Selbstverständlich wurden bei den Messungen aber immer alle Kanäle unter Last betrieben. Abb. 4 zeigt die harmonischen Verzerrungen für einen 1-kHz-Sinus in Abhängigkeit vom Eingangspegel. An $4 \times 4 \Omega$ wird die Clipgrenze bei

Leistungsmessung

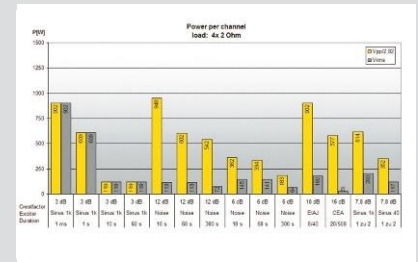
Die bereits zur letzten Ausgabe überarbeiteten Leistungsmessungen bei Endstufen werden hier weiter verwendet und noch um eine Messung ergänzt. Diese verwendet ebenfalls ein getaktetes Sinus-Burst-Signal mit einem Taktverhältnis von 1:2 entsprechend einem Crestfaktor von 7,8 dB. Ein Standard für diese Art der Messung ist ein 33 ms langer 1-kHz-Burst gefolgt von einer 66-ms-Ruhephase. Um auch eine Aussage für die Standfestigkeit bei tiefen Frequenzen und längeren Bursts treffen zu können, haben wir diese Messung um eine weitere Messsequenz mit einem 825 ms langen 40-Hz-Burst gefolgt von einer 1,65 s langen Ruhephase ergänzt. Bei der 40-Hz-Messung sind die Zeiten entsprechend dem Frequenzverhältnis um den Faktor 25 gestreckt. Beide Messungen arbeiten mit einem 33 Perioden langen Burst gefolgt von einer 66 Perioden entsprechenden Ruhephase. Der Crestfaktor beträgt in beiden Fällen 7,8 dB. Für die Messung werden diese Signale dauerhaft angelegt. Das Limit ist dann erreicht, wenn die Einhüllende der Bursts eine sichtbare Verformung erleidet.

Alle Leistungsmessungen wurden an Lasten von $4 \times 2 \Omega$, $4 \times 4 \Omega$ und $4 \times 8 \Omega$ durchgeführt. Eine Abschaltung der Endstufe gab es nur in einem Fall, für das extreme 6-dB-Crestfaktor-Signal nach einer Dauer von ca. 125 s. Die Endstufe reaktivierte sich vorbildlich nur 20 s später selbstständig. Die verfügbare Dauerleistung als average Power Wert liegt unabhängig von der Signalform bei ca. $4 \times 120 \text{ W}$ an 2Ω und $4 \times 240 \text{ W}$ an 4 und 8Ω . Mit einem 12-dB-Crestfaktor-Signal erreicht man berechnet aus dem Spitzenwert durch 1,41 Leistungswerte von $4 \times 542 \text{ W}$ an 2Ω , $4 \times 1.342 \text{ W}$ an 4Ω und $4 \times 665 \text{ W}$ an 8 Ohm . Für 4Ω und 8Ω passen die Werte gut mit dem Datenblatt zusammen. Die neue 1:2-Burstmessung lässt erkennen, dass der 33-Perioden-40-Hz-Burst an 2Ω und an 4Ω die Endstufe im Vergleich zu den 33 Perioden bei 1 kHz deutlich mehr strapaziert. Die verfügbare Leistung halbiert sich. An den $8\text{-}\Omega$ -Lastwiderständen gibt es dagegen keinen signifikanten Unterschied.

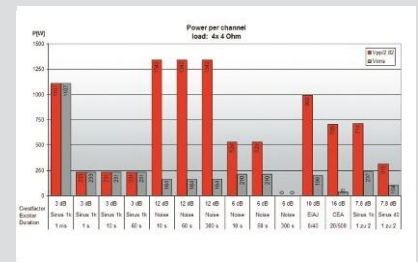


Burst-Signale mit einem Verhältnis der Ein- und Auszeit von 1:2 entsprechend einem Crestfaktor von 7,8 dB. Oben für 1-kHz-Bursts mit 33 Perioden entsprechend 33 ms des 1-kHz-Sinus gefolgt einer 66 ms Ruhephase. Unten für 40-Hz-Bursts ebenfalls mit 33 Perioden, hier mit einer Länge von 825 ms entsprechend gefolgt von einer 1,65 s Ruhephase (Abb. 8)

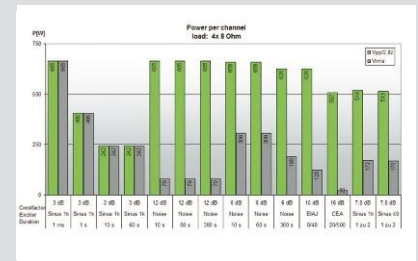
Fasst man die Ergebnisse aller Leistungsmessungen zusammen, dann haben wir es bei der DSP44K mit einer Endstufe zu tun, die an 8Ω und 4Ω stressfrei arbeitet, und an 2Ω an ihre Grenzen stößt, aber, und das ist ganz wichtig, dabei nicht ausfällt. Den $2\text{-}\Omega$ -Modus sollte man daher als eine Art Notfalloption betrachten oder für Fälle, wo zwar viele Lautsprecher, aber nur mit reduziertem Pegel betrieben werden sollen. Wie die 40-Hz-Bursts erkennen lassen, stoßen die Endstufen bzw. deren Netzteil hier an die Grenzen. Wohlgermerkt gilt das alles für eine gleichzeitige Belastung aller vier Kanäle. Teilt sich bei Mehrwegesystemen das Signalspektrum über mehrere Wege auf, dann hat das Netzteil für die Bässe natürlich mehr Reserven.



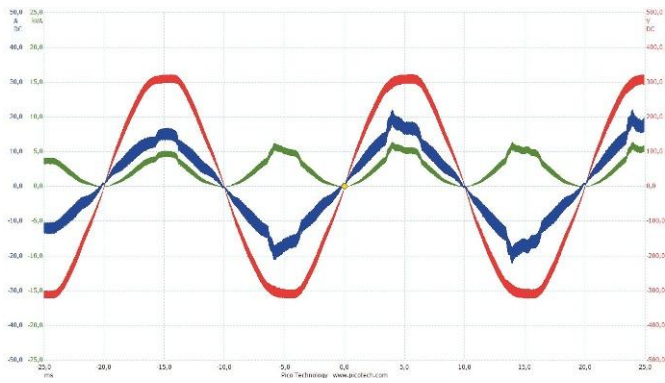
Leistungswerte an 2Ω bei gleichzeitiger Belastung aller Kanäle (Abb. 9)



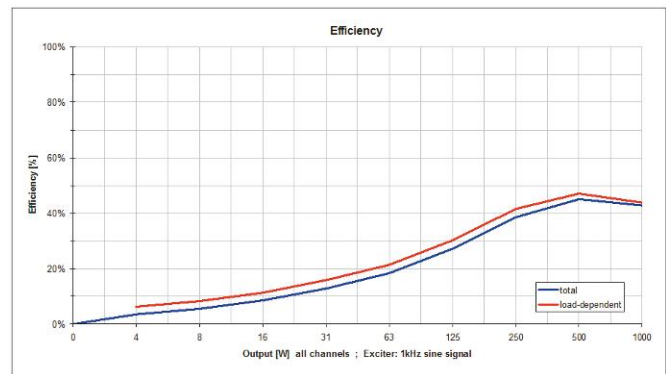
Leistungswerte an 4Ω bei gleichzeitiger Belastung aller Kanäle (Abb. 10)



Leistungswerte an 8Ω bei gleichzeitiger Belastung aller Kanäle (Abb. 11)



Verlauf von Netzspannung (rot), Netzstrom (blau) und der daraus berechneten Leistungsaufnahme (grün) mit einem RMS-Wert von 2.360 VA. Die abgegebene Leistung betrug 1.000 W. Die PFC arbeitet korrekt. Es gibt jedoch eine starke hochfrequente Komponente bei 46,5 kHz in der Stromaufnahme, die sich auch der Netzspannung überlagert. (Abb. 12)



Wirkungsgrad des Amps in % in Abhängigkeit von der abgegebenen Leistung (x-Achse). In rot die Kurve ohne Grundlast. Class-H spezifisch ist der Wirkungsgrad im Vergleich zu Class-D-Verstärkern schlechter. (Abb. 13)

+2 dBu am Eingang erreicht. Bei einer Verstärkung von 32 dB entspricht das einer Ausgangsleistung von 375 W pro Kanal, die kurzzeitig für den Sinusburst der Messung erreicht werden. Darüber hinaus setzt ein Limiter ein, der die Verzerrungen sauber auf unter 1% begrenzt. An den 8-Ω-Lastwiderständen wird die Clippinggrenze für eine ca. 4 dB höhere Eingangsspannung erreicht. Etwas ungewöhnlich am Kurvenverlauf ist das völlige Fehlen der sonst bei Class-H-Schaltungen immer gut erkennbaren Schaltschwellen der Versorgungsspannungen. Die erreichten Verzerrungswerte von -70 dB sind hinreichend und erfüllen die Angabe von 0,05 % (-66 dB) aus dem Datenblatt. Betrachtet man dazu das Klirrspektrum aus Abb. 5, dann bestehen die Verzerrungen zu einem Großteil aus ungeradzahigen Komponenten, die zu höherer Ordnung kaum abfallen. Etwas ungewöhnlich sind zudem die Rauschglocken bei 9 und bei 18 kHz. In Abhängigkeit von der Frequenz gemessen (Abb. 6), verhält sich die Endstufe mit einer leicht ansteigenden Kurve zu hohen Frequenzen hin unauffällig.

Recht gut fallen die Messungen der transienten Intermodulationsverzerrungen aus Abb. 7 aus. Die Kurven fallen gleichmäßig bis auf -70 dB an 8 Ω und auf -66 dB an 4 Ω ab. In der 8-Ω-Messung ist erstmals auch die typische Sprungstelle einer Class-H-Schaltung zu erkennen. Abschließend lässt sich über die Verzerrungsmessungen festhalten, dass die

Werte für die typischen Anwendungen völlig hinreichend sind und dem Datenblatt entsprechen, grundsätzlich aber für eine Class-H-Schaltung ein klein wenig enttäuschen.

Netzlast

Das Netzteil der DSP44K ist mit einer PFC (Power Factor Correction) Schaltung ausgestattet. Betrachten wir die Netzspannung mit ihrem weitgehend sinusförmigen Verlauf, dann ist es das Ziel der PFC, einen Strom mit möglichst ähnlichem Verlauf zu bewirken. Konkret bedeutet das, die Endstufe soll sich als Netzlast möglichst wie ein einfacher reeller Widerstand verhalten. Abweichungen zwischen dem angestrebten ideal sinusförmigen und dem tatsächlichen Stromverlauf werden als Verzerrungsblindleistung bezeichnet. Wie gut das gelingt beschreibt als Messwert der Powerfactor P_F . Neben der Verzerrungsblindleistung gibt es auch noch die Verschiebungsblindleistung durch induktive oder kapazitive Lasten, was bei Endstufennetzteilen aber keine große Rolle spielt.

Kritisch bei Netzteilen ist vor allem der Ladestrom der Kondensatoren, der ausgeprägt impulsförmig ist und somit einen hohen Anteil Oberwellen und Verzerrungsblindleistung erzeugt. Die Aufgabe der PFC-Schaltung ist es nun, diesen Verlauf möglichst gut an die sinusförmige Netzspannung anzupassen. Abb. 12 zeigt dazu eine Messung von

Netzspannung, Netzstrom und der daraus berechneten Leistung, wenn die Endstufe mit einer Ausgangsleistung von 1.000 W_{avg} betrieben wird, was einer Vollaustattung entspricht. Die blaue Kurve ist sehr gut dem Verlauf der Spannung angenähert. Der so gemessene Leistungsfaktor betrug 0,99. Die PFC beherrscht ihre Aufgabe somit bestens. Etwas weniger schön ist der HF-Anteil im Strom bei 46,5 kHz mit einer Amplitude von 4 A_{pp}. Dieser HF-Anteil könnte auch ein Grund für die ungewöhnlichen Rauschglocken im Klirrspektrum der Endstufe sein. Der Powerfactor-Messwert wird davon jedoch nicht beeinflusst, da die 46,5 kHz weit außerhalb des Messbereiches für die 50-Hz-Oberwellen liegen.

Die Leistungsaufnahme der Endstufe wurde in drei Betriebszuständen gemessen: Ohne Signal wurden aus dem Stromnetz 52 W aufgenommen. Voll ausgelastet mit einem Sinussignal bei 1.000 W abgegebener Leistung betrug die Leistungsaufnahme 2.320 W. Zieht man davon noch 52 W Grundlast ab, dann ergibt sich für den lastabhängigen Teil ein Wirkungsgrad von 44 %. Dieser Wert entspricht dem aus der Kurve in Abb. 13 für 1.000 W.

Führt man die Messung nicht mit einem Sinussignal durch, sondern mit einem Noise mit 12 dB Crestfaktor bei maximaler Aussteuerung, dann ergibt sich eine Leistungsaufnahme von 1.760 W bei einer Ausgangsleistung von 656 W in der Summe für alle vier Kanäle. Zieht man auch davon wieder die 52 W Grundlast ab und setzt die dann noch verbleibenden 1.708 W ins Verhältnis zur abgegebenen Leistung von 656 W, dann kommt man auf einen Wirkungsgrad von 38 %. Der etwas schlechtere Wert könnte damit begründet sein, dass die Endstufe durch den hohen Spitzenwert des Signals immer auf der höchsten Versorgungsspannung arbeitet und damit mehr Verluste erzeugt. Alle Messungen für die Kurven in Abb. 13 wurden mit Sinussignalen durchgeführt.

Leistungsaufnahme aus dem Stromnetz:

No signal:	52 W
Max. Power mit Noise 12 dB CF:	1.760 W
Max. Power mit Sinus 1 kHz:	2.320 W

Im direkten Vergleich zu Class-D-Endstufen, die einen Wirkungsgrad von 80 % und mehr erzielen, liegt man mit dem Class-H-Konzept schlechter. Auf der anderen Seite gibt es aus Sicht der Audioqualität aber auch einige Pluspunkte, die für die Class-H-Schaltung sprechen.

Übersicht: LD Systems / DSP44K

Leistung 4 Ω/ 4 Ch	Sinus 10 s	12 dB CF 60 s	Peak 1 ms
in W pro Ch	225	1.342	1.107

Noise	dBu	dBu(A)
	-61	-64

Dynamik	dB	dB(A)
	101	104

f[Hz]	20	1 k	20 k
Gain dB	31,5	32,3	30,4
Phase °	+50,2°	0,7	-27,2°
HP-Filter		11 Hz	
TP-Filter		21,8 kHz	

f[Hz]	100	1 k	10 k
CTC dB	62	54	37
CMRR dB	63	63	63
DF rel. 4 Ω	118	115	55

THD(f) @ 25 % Power	-82	-66	-60
	Min.	vor Clip	

THD 1 kHz	-71	-71
IMD 60 Hz/7 kHz	67	-62

Leistungsaufnahme	
No signal	52 W
Full power	1.760 W @ 4 × 4 Ω bei 12 dB CF

Gewicht in kg	7 kg
Bauhöhe HE	2
UVP incl. MwSt.	2.249 €, 1.998 € ohne Dante
Straßenpreis in €	
S.Nr.	44k1028
Netzteil	HF Schaltnetzteil 200–240 V mit aktiver PFC
Schaltung	Class-H
DSP System	Firmware V 1.0.2
Remote	LD Systems OCS V3.0.4 Build 6

DSP und OCS Software

Ebenfalls zusammen mit RAM Audio wurden das integrierte DSP-System der DSP44K Endstufe und die zugehörige OCS (Online Control System) PC-Software entwickelt. Die Software dient zur Konfiguration von Setups und für die Einstellung bzw. Überwachung während des Betriebs der Endstufe. Der Betrieb der Software ist online und offline möglich. Wenn sich alle Verstärker im Netzwerk befinden, kann zunächst eine automatische Suche über einen bestimmten Adressbereich ausgeführt oder es können den Verstärkern IP-Adressen fest zugewiesen werden. Für die Bedienung des Verstärkers gibt es die Modi „User“ und „Custom“, wobei der Custom Mode durch ein Passwort geschützt werden kann.

Grundsätzlich startet die Software so wie in Abb. 14 gezeigt. Ganz links befindet sich die Auflistung der im Netzwerk gefundenen Geräte, was hier nur ein DSP44K ist. Andere Geräte von LD Systems mit Zugang zur Software gibt es zurzeit nicht. Das Blockschaltbild zeigt dazu die Struktur des gerade ausgewählten Gerätes. Auf der linken Seite befinden sich die Eingänge, deren Routing und alle Funktionen in den Eingangskanälen mit Gain, Mute, Phase reverse, Delay bis 137 ms und einer Filterbank mit zwölf parametrischen Filtern, mit je einem Low- und High-Shelf sowie zehn Bell Filtern. Das Eingangsrouting lässt zunächst die Auswahl zwischen Analog und Dante als Quelle zu. Die Auswahl geschieht immer paarig für die Eingänge 1 und 2 oder

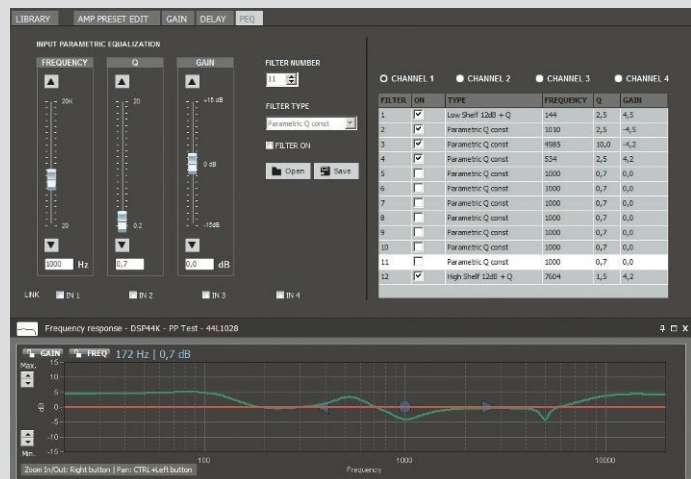
3 und 4. Im anschließenden Source Select können für die vier Wege entweder ein beliebiger einzelner Eingang oder die Summe aus 1 und 2 oder 3 und 4 gewählt werden.

Die eingestellte Filterfunktion wird in der Grafik unter den Filterparametern angezeigt. Die angezeigten Kurven beziehen sich immer auf einen kompletten Feed von einem Eingang zu einem Ausgang. Welche Funktionen aus dem Feed angezeigt werden, lässt sich für jeden Block in der Signalverarbeitung auswählen. Optional lassen sich auch noch die Phasenverläufe und die Summenfunktion der Kanäle anzeigen. Für Entwickler gibt es die interessante Möglichkeit, gemessene Lautsprecherfrequenzgänge diverser bekannter Messprogramme zu importieren und diese mit in die Berechnung der angezeigten Kurven einzubeziehen. Ganz nebenbei bekommt man so ein Entwicklungswerkzeug für aktive Lautsprecher mitgeliefert.

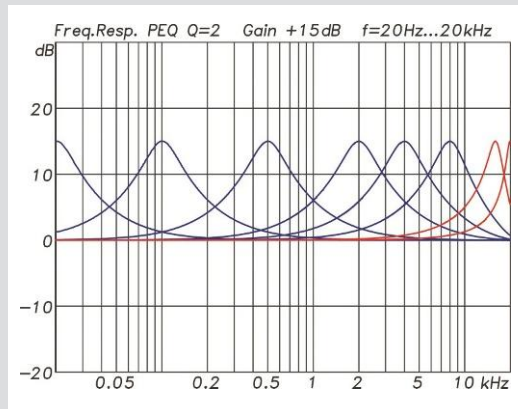
Bei der Betrachtung der Filter wollen wir uns auf einige kritische Punkte und Besonderheiten beschränken. Das wäre zunächst das immer noch sensible Thema der Filterkurvenkorrektur bei hohen Frequenzen nahe der halben Abtastrate. Da bei der mathematischen Transformation von der unendlichen analogen Frequenzachse auf die digitale Seite das „Unendliche“ auf die halbe Abtastrate abgebildet wird, wird der Verlauf der Filterkurve gestaucht, wenn er sich



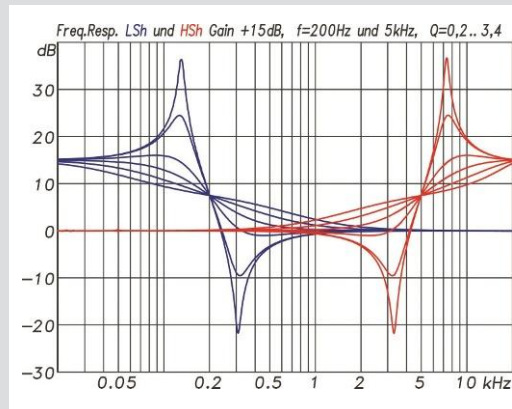
Bedienoberfläche mit Blockschaltbild des DSP-Systems, der Lautsprecherauswahl (rechts) und den so eingestellten Filterfunktionen (unten, Abb. 14)



Filterbank in den Eingängen mit zwölf parametrischen Filtern (Abb. 15)



Bell-Filter mit einer Güte von $Q = 2$ und $+15$ dB Gain für Mittenfrequenzen von 20 Hz bis 20 kHz. Die nicht frequenzkompensierten Filter werden zu hohen Frequenzen schmaler. (Abb. 16)



Shelving Filter mit einem recht weiten Bereich für die Einstellung der Güte und entsprechend extremen Filterkurven, die Kurven werden so auch in der Software angezeigt. (Abb. 17)

der halben Abtastrate, hier 24 kHz, nähert. Abb. 16 zeigt den Effekt anhand eines Bellfilters mit einer festen Güte von 2, das von tiefen zu hohen Frequenzen durchgestimmt wird. Oberhalb von 10 kHz verformt sich der Kurvenverlauf deutlich. Dieser Effekt könnte bis knapp vor der halben Abtastrate durch eine Umrechnung der Filtergüte kompensiert werden, worauf man hier jedoch verzichtet. Der Kurvenverlauf wird in der Grafik korrekt mit der Stauchung angezeigt, so dass man sieht, was passiert und entsprechend händisch die Güte anpassen kann.

Die Low- und High-Shelf-Filter verfügen etwas ungewöhnlich über den gleichen Einstellbereich wie auch die Bell-Filter, d. h. mit einer Güte von 0,2 bis 20,0. Abhängig vom eingestellten Gain werden diese Werte in der Umsetzung

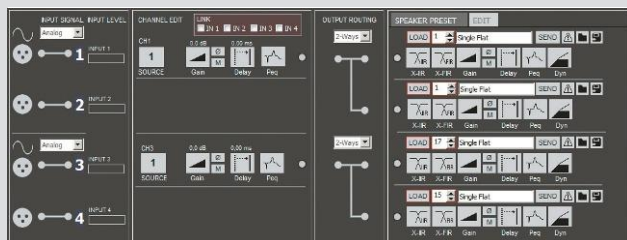
für das Filter limitiert, was aber trotzdem noch zu extremen Kurvenverläufen führen kann. Abb. 17 zeigt einige Beispiele. Bei einem Gain von $+15$ dB lassen sich Güten von bis zu 20 einstellen, die tatsächliche Umsetzung endet bei 3,4.

Nach den Eingangskanälen folgt zunächst das Output-Routing, wo sich im Custom Modus paar-

weise für die Kanäle 1 und 2 sowie 3 und 4 der Betrieb als unabhängige Kanäle (single), als 2-Wege-System oder als gebrückter Kanal auswählen lässt. Im User Modus wird die Einstellung durch die geladenen Lautsprecher-Presets automatisch definiert.

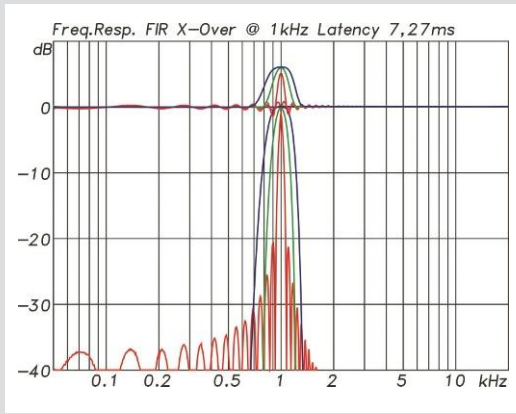
Während der User Modus für die Ausgangskanäle generell nur die Auswahl fertiger Presets zulässt, können im Custom-Modus auch eigene Presets erstellt werden. Die dafür vorgesehenen Funktionen zeigt Abb. 18 auf der rechten Seite des Blockschaltbildes. Dort stehen in dieser Reihenfolge IIR X-Over Filter, FIR X-Over Filter, eine Gain- und Delay-Einstellung sowie eine Filterbank mit 16 Filtern und ein zweifacher Kompressor/Limiter für Peak- und RMS-Werte bereit. Die IIR-X-Over-Filter bieten mit Linkwitz-Riley, Butterworth und Bessel die bekannten Charakteristika mit Steilheiten bis maximal 48 dB /Oct. Auch wenn extrem steile Filter zunächst verlockend erscheinen, sollte man diese nur dann einsetzen, wenn es gar nicht anders geht. Hoch- und Tiefpassfilter mit mehr als 24 dB/Oct. Steilheit haben sich in Hörversuchen aufgrund ihrer starken Phasendrehungen als kritisch herausgestellt.

Als Ausweg gelten FIR-X-Over Filter, die generell Hoch- und Tiefpassfilter mit linearphasigem Verhalten ermöglichen. Der Filterentwurf stellt jedoch einige Ansprüche an die

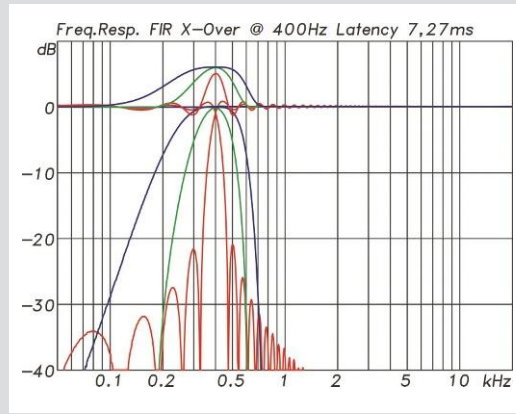


Funktionen im Custom Mode zur Definition der Lautsprecher-einstellung (rechts, Abb. 18)

DSP und OCS Software



FIR-Filter für die X-Over-Funktion bei 1 kHz mit unterschiedlichen Einstellung für die Fensterfunktion. Oben jeweils die zugehörige Summenkurve. In der Summenfunktion führen die Filter zu einer Überhöhung von bis zu 6 dB. (Abb. 19)



FIR-Filter für die X-Over-Funktion bei 400 Hz mit unterschiedlichen Einstellungen für die Fensterfunktion, oben jeweils die zugehörige Summenkurve (Abb. 20)

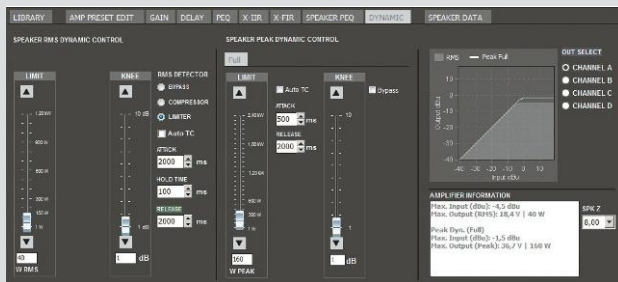
Berechnung und Optimierung. Steilflankige Filter mit tiefen Eckfrequenzen bedingen zudem größere Latenzen. In der DSP44K arbeiten die FIR-Filter mit einer festen Latenz von 7,27 ms entsprechend 699 Koeffizienten. Die FIR-Filter können als Hoch- oder Tiefpässe und als Bandpässe definiert oder als Custom Designed mit einem ASCII-Koeffizientensatz eingestellt werden. Der Anwender hat zudem noch die Wahl zwischen verschiedenen Fensterfunktionen, mit denen die 699 Koeffizienten aus der vorher berechneten längeren Impulsantwort ausgeschnitten werden. Die tiefste einstellbare Eckfrequenz liegt hier bei 400 Hz. Die Abbildungen 19 und 20 dazu zeigen einige Beispiel für korrespondierende FIR-Hoch- und Tiefpassfilter bei 1 kHz und

400 Hz. Mit einer Rechteck-Fensterfunktion entsteht ein mehr oder weniger starkes Überschwingen. Die anderen Fenstervarianten können das auf Kosten der Steilheit vermeiden.

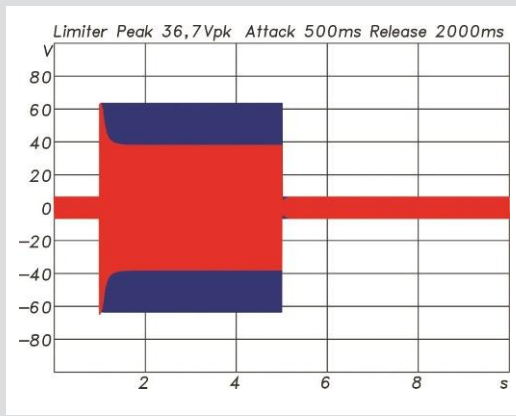
Gut sichtbar für die 400-Hz-Einstellung verhalten sich die Hoch- und Tiefpässe jedoch nicht spiegelsymmetrisch zur Trennfrequenz und

treffen sich dort auch nicht, wie üblich und notwendig, bei -6 dB, sondern bei 0 dB. In der Folge addieren sich die korrespondierenden Hoch- und Tiefpässe nicht zu einem konstanten Verlauf, sondern bilden eine deutliche Überhöhung aus. Möchte man hier ernsthaft mit FIR-Filtern arbeiten, dann empfiehlt sich eine separate Filter Software, die die FIR-Filterkoeffizienten als File im ASCII-Format speichert. Diese können dann bei passender Länge von 699 Koeffizienten im Custom-Modus der FIR-Filter von der OCS-Software gelesen werden.

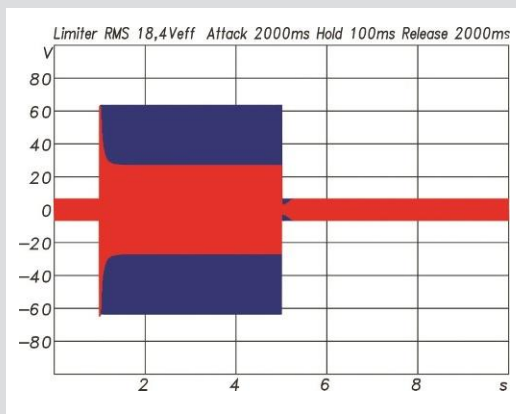
Als letztes Glied in den Ausgangskanälen findet sich der Limiter und Kompressor. Hier gibt es zwei einstellbare Grenzwerte: Einen für den Peak-Limiter und einen für den RMS-Limiter. Diese Aufteilung ist wichtig und sinnvoll. Hat man nur einen Wert, dann beschneidet man entweder die Spitzen zu früh oder man läuft Gefahr den Lautsprecher thermisch zu überlasten. Nur der zweistufige Limiter kann einen Lautsprecher in den Spitzenwerten und auch bei thermischer Überlast sicher schützen. Abb. 21 zeigt eine typische Einstellung für einen kleinen Lautsprecher oder Hochtontreiber mit 40 W thermischer Dauerbelastbarkeit und 160 W maximaler Peakleistung. Die Werte werden direkt in W eingestellt. Die damit einhergehende maximale Ausgangsspannung als Effektivwert (RMS) und Spitzenwert (Peak) werden im Amplifier-Information-Fenster rechts angezeigt. Neben den Schwellwerten lassen sich auch Attack,



Limiter in der OCS-Software mit separaten Einstellungen für den Peak- und RMS-Limiter. Im Fenster rechts unten werden die zu einer einstellbaren Impedanz daraus resultierenden Leistungswerte angezeigt. (Abb. 21)



Peak-Limiter mit Sinusburst, der eingestellte Threshold wird exakt eingehalten (Abb. 22)



RMS-Limiter mit Sinusburst, der eingestellte Threshold wird exakt eingehalten. Die Zeitkonstanten für Attack und Release lassen sich jedoch nicht nachvollziehen. (Abb. 23)

Hold (nur bei RMS), Release und Knee der Kennlinie einstellen.

Die Abbildungen 22 und 23 zeigen das Verhalten der beiden Limiterstufen. Die eingestellten Schwellwerte von 36,7 V Peak und 18,4 V RMS werden exakt eingehalten. D. h., man kann sich auf die Limiter verlassen. Nicht ganz nachvollziehbar sind jedoch die eingestellten Zeitkonstanten. In beiden Fällen war eine Release-Zeitkonstante von 2 s eingestellt, die aber nirgends zu erkennen ist. Gleiches gilt für die Zeitkonstanten 0,5 bzw. 2 s Attack.

Fazit

Die neue vierkanalige DSP-Endstufe DSP44K von LD Systems hat viel zu bieten: Neben reichlich Leistung aus den vier Kanälen mit je 1,34 kW an 4 Ω bei 12 dB Crestfaktor gibt es jede Menge Funktionen im integrierten DSP-System. Für den normalen Anwender steht eine große Bibliothek mit fertigen Setups für diverse LD-System-Lautsprecherbaureihen zur Verfügung. Im Entwickler-Modus können mit den Filtern, X-Over-Funktionen und Limitern auch eigene Setups gebaut werden. Da auch gemessene Lautsprecherfrequenzgänge in die Bediensoftware geladen werden können, eignet sich die OCS-Software sogar als Entwicklungstool für aktive Lautsprecher. Die Verbindung von der PC-Software geschieht entweder via USB oder per Ethernet. Die OCS-Software erschließt sich in jedem Fall schnell und intuitiv. Falls es doch Fragen geben sollte, kann auch noch das für heutige Verhältnisse recht ausführliche Manual zur Hand genommen werden. Als Class-H-Schaltung erreicht die DSP44K nicht den Wirkungsgrad aktueller Class-D-Modelle, kann dafür aber mit durchweg ordentlichen Verzerrungswerten punkten. Die Leistungsmessungen zeigen eine echte Dauerleistung als average Power von ca. 4×240 W an 4 Ω oder 8 Ω . Der 2- Ω -Betrieb ist ohne Abschaltung möglich, fördert jedoch mit 4×120 W average Power nicht mehr so viel Leistung zu Tage. Die PFC-Schaltung des Netzteils sorgt für geringe Blindströme im Netz. In den DSP-Funktionen gibt es noch einige kleine Ungereimtheiten, die sich aber vermutlich bald mit Firmware-Updates beheben werden. Ein weiteres Highlight der DSP44K ist das Dante-Interface mit primärem und sekundärem Netzwerkanschluss. Das alles gibt es schon für einen UVP inkl. MwSt. von 2.249 € und als DSP45K ohne Dante-Interface für nur 1.998 €.