

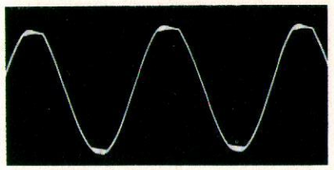
Bild 16 Ausgangsleistung als Funktion des Belastungswiderstands R_1 (Kriterium: Verzerrungseinsatz gemäss *Bild 17a).*

Technische Daten laut Hersteller

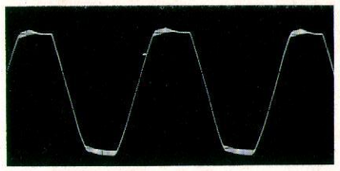
Garantierte Mindestwerte

Bestückung	45 Transistoren 30 Dioden 1 GA-Diode 1 TRIAC 5 Brücken-Gleichrichter
Stromversorgung	110...220 V, umschaltbar 50...60 Hz 320 W bei Nennleistung
Sinus-Dauertonleistung	2 × 60 W / 4 Ω 2 × 45 W / 8 Ω 2 × 30 W / 16 Ω
Musikleistung	> 2 × 90 W / 4 Ω
Klirrfaktor bei Nennleistung/4 Ω	< 0,1% / 1 kHz < 0,2% / 40 Hz...15 kHz, 0,1 W...60 W
Frequenzgang	20 Hz...20 kHz + 0/ − 1 dB an 4 Ω + 0/ − 0,5 dB an 8 Ω
Leistungsbandbreite nach DIN 45 500	10 Hz...50 kHz / 4 Ω 10 Hz...65 kHz / 8 Ω (Quellenimpedanz 220 Ω)
Fremdspannungsabstand bezogen auf 60 W / 4 Ω	> 90 dB bei 220 Ω-Abschluss der Eingänge
Übersprechdämpfung	> 70 dB / 1 kHz
Eingangsimpedanz	12 kΩ
Eingangsempfindlichkeit für 60 W / 4 Ω	0,775 V

Bild 17 Darstellung des Verzerrungseinsatzes



a) Verzerrungseinsatz bei P_a = 72,5 W (R_1 = 4 Ω; f = 1 kHz).



b) Ausgangsspannung U_a = 20 V an 4 Ω ≙ P_a = 100 W (f = 1 kHz).

forderlich, d. h., die unsymmetrische Endstufe muss von Signalquellen angesteuert werden, die bei einem Quellwiderstand ≦ 1 kΩ eine unverzerrte Ausgangsspannung von etwa 1 V abgeben können.

Hinsichtlich der Übertragungseigenschaften stellt die A 722-Endstufe als Leistungsverstärker für das neue *Revox-System 700* einen Phonobaustein dar, der an den Grenzbedingungen der DIN 45 500 kaum zu messen ist. Vergleicht man die üblichen technischen Daten echter Studio-Verstärker mit denen der A 722-Endstufe, erkennt man, welche neuen Maßstäbe die A 722 für die Hi-Fi- und Tonstudiotechnik gleichermassen setzt.

Die hohe unverzerrte Leistungsreserve, die Vielzahl elektronischer Schutzschaltungen, eine zweistufig schaltbare Begrenzung der Ausgangsleistung, die Möglichkeit der Kettenschaltung bis zu vier Endstufen, die Fernbedienbarkeit und vieles andere mehr bieten dem anspruchsvollen Ela-Praktiker einen hohen Gebrauchswert. Ein Stereo-Endverstärker, der auf dem internationalen Phono-Markt ein absolut zukunftsicheres, schwer zu überbietendes Spitzenerzeugnis darstellt.

Eigene Messungen

Sinusdauertonleistung
gemessen bei 1 kHz, Aussteuerung beider Kanäle

an 4 Ω reell	2 × 65 W
an 8 Ω reell	2 × 48 W
an 16 Ω reell	2 × 32 W

Musikleistung
gemessen mit sehr rhythmischer Tanzmusik, Aussteuerung beider Kanäle: 2 × 90 W

Frequenzgang
Bild 12 zeigt den Frequenzgang im Bereich von 20...20 000 Hz, bei einer Eingangsspannung von 780 mV

an 4 Ω reell	+ 0/−0,5 dB
an 8 Ω reell	+ 0/−0,5 dB
an 16 Ω reell	+ 0/−0,5 dB

Leistungsbandbreite
Eckfrequenzen, bei denen der Klirrfaktor bei halber Leistung 1% erreicht
(Halbe Leistung = 24 W
pro Kanal an 8 Ω reell): 10...63 000 Hz
(siehe auch *Bild 13)*

Dynamischer Innenwiderstand
bei 1 kHz und einer Nennleistung von 60 W an 4 Ω
Ri_{dyn} = 0,13 Ω

Dämpfungsfaktor
bei 1 kHz

an 4 Ω	D = 30
an 8 Ω	D = 60

Fremdspannungsabstand
bezogen auf Vollaussteuerung, Eingänge mit 220 Ω abgeschlossen. 2 × 60 W an 4 Ω: 99 dB

Geräuschspannungsabstand
bezogen auf Vollaussteuerung, Eingänge mit 220 Ω abgeschlossen. 2 × 60 W an 4 Ω: 104 dB

Rechteckverhalten
Bild 15 zeigt das Rechteckverhalten bei den Frequenzen 40 Hz, 1 kHz und 12,5 kHz bei einer Ausgangsleistung von 25 W an 4 Ω

Übersprechdämpfung
gemessen bei 2 × 23 W an 4-Ω- und 220-Ω-Abschluss des nichtangesteuerten Kanals

40 Hz	98 dB
1 kHz	77 dB
12,5 kHz	60 dB

radio tv electronic **Sonderdruck aus Heft 8/1974**

radio tv electronic TEST

Kraftpaket Revox A 722

Hans-Joachim Haase

Konzeption und Aufbau

Unter der Typenbezeichnung A 722 hat die Firma *Studer* erstmalig eine reine Stereo-Endstufen-Komponente auf den Markt gebracht *(Bild 1).* Als vollständig in sich abgeschlossener Verstärkerbaustein lässt sie sich auch mit Fremdfabrikaten kombinieren, ist jedoch vornehmlich als Schlussbaustein zum neuen Revox-System 700 entwickelt worden.

Bei der Konzipierung der Modulationsführung dieses Systems, für das die verfahrenstechnischen Vorgänge der Tonstudiotechnik prägende Vorbilder waren, erschien es sinnvoll, eine Trennung des Vorverstärkers von der geplant leistungsstarken Endstufe vorzunehmen. Man kann sagen, ein begrüssenswerter Entschluss. So wurden nicht nur das schaltungstechnisch aufwendige Empfangsgerät A 720 und das Tonbandgerät A 700 volumen- und gewichtsmässig erheblich entlastet, sondern die Trennung hat sich ohne Zweifel auch günstig auf die übertragungstechnisch kritischen Daten wie z. B. das Übersprechen und den Fremdspannungsabstand ausgewirkt. Dass im weiteren das thermische Problem bei Endstufenleistungen im Bereich um 90 W nicht unbeträchtlich ist, beweist die aufwendige Lösung der Endstufenkühlung in der A 722.

Bild 2 zeigt die Anschaltung der Endstufe A 722 in das 700er-System. Aufbaumässig braucht sie nicht unbedingt unmittelbar neben den anderen Geräten stehen, sondern kann in grösserem Abstand untergebracht werden, da Bedienungsvorgänge an der Endstufe im Normalfall nicht erforderlich sind. Die Anschaltung an das Netz erfolgt automatisch mit der Inbetriebnahme der Steuergeräte.

Wie auch bereits beim A 78 können am A 722 pro Kanal zwei getrennte Lautsprechergruppen A und B jeweils einzeln oder gemeinsam betrieben werden. Die Auswahl erfolgt durch Tastendruck auf der Frontplatte. Im Betrieb werden die angeschlossenen Lautsprecher durch ein Relais verzögert ein- und spontan abgeschaltet. Auf diese Weise werden sie völlig knackfrei an die Endstufe geschaltet. In Verbindung mit einer elektronischen Lautsprecher-Schutzschaltung *(Bild 3)* trennt dieses Relais die Lautsprecher auch von der Endstufe, wenn diese überlastet oder fehlangepasst wird. Ein weiteres, sehr interessantes Schaltungsdetail stellt die Leistungsbegrenzungs-Schaltung dar *(Bild 4).* Mit Hilfe eines zeitverzögert angesteuerten Komparators werden die Lautsprecher abgeschaltet, wenn die Ausgangsleistung 20% oder 50% der Sinus-Nennleistung überschreitet. Diese reduzierten maximalen Leistungen lassen sich durch Tastenbetätigungen wählen und ermöglichen auch das Anschalten von Lautsprecherkombinationen geringerer Belastbarkeit. Überschreitet nur ein Kanal die angewählte Leistungsgrenze, wird auch nur dieser eine Kanal abgeschaltet. Das geschieht, wie es das *Bild 5* verdeutlicht, mit folgender Ansprechzeit:

$$t_{Ansprech} = \frac{6{,}5\ mm}{30\ mm/s} = 0{,}2\ s$$

Dies ist ausserordentlich schnell. Die Last bleibt abgeschaltet, bis entweder die Übersteuerung zurückgenommen oder der aufgetretene Fehler in der Lautsprecherschaltung behoben wurde. Eine Warnlampe «Overload» signalisiert auf der Frontplatte den eingetretenen Überlastungsfall.

Das Blockschaltbild *Bild 6* zeigt den elektronischen Aufbau der gesamten Endstufe. Dabei stellt lediglich der stark gezeichnete Linienverlauf - über die beiden Verstärker A 1 und A 2 - den eigentlichen NF-Stromlauf dar. Die anderen Blöcke zeigen die bereits angedeuteten elektronischen Schaltglieder. Den Stromlauf der NF-Endstufe zeigt *Bild 7.* Im grundsätzlichen Aufbau besteht er aus der Differenzeingangsstufe Q 1 und Q 2, der Treiberstufe Q 8, der Phasenumkehrstufe Q 9/Q 10 und den komplementären Endstufen-Transistoren Q 11/Q 12.

Die Differenzeingangsstufen Q 1/Q 4, bei denen die Transistoren Q 5, Q 2 und Q 3 die Aufgaben einer Konstantstromquelle übernehmen, vergleicht die Spannung zwischen Masse und dem Mittelpunkt (zwischen R 16/R 17) der Schaltung und regelt die Mittenspannung auf Nullpotential ein. Damit wird verhütet, dass über den Last-(Lautsprecher-)Widerstand Gleichstrom fliesst. Der Nullabgleich wird von den aktiven Elementen Q 4/Q 5 und D 1 bestimmt. Der Transistor Q 7 hat die Aufgabe, den mit dem Trimmer P 1 eingestellten Ruhestrom gegen Temperatur- und Betriebsspannungsschwankungen zu stabilisieren.

Die Endstufentransistoren sind auf grossflächigen Kühlkörpern montiert *(Bild 8).* Ebenso ein NTC-Widerstand, der in Abhängigkeit der Kühlkörpertemperatur einen leise laufenden Ventilator stufenlos steuert. Sollte die Temperatur 85 °C trotzdem überschreiten, bewirkt ein weiterer, in *Bild 3* erkennbarer NTC-Widerstand das Abschalten der Lautsprecherbelastung.

Der Photowiderstand R_{LDR} in dieser Schaltung befindet sich in dem in *Bild 6* angedeute-

Bild 1 Hochleistungs-Hi-Fi-Stereo-Endstufe Revox A 722.



Bild 2 Zusammenschaltung der Endstufe A 722 mit dem Revox-System 700.

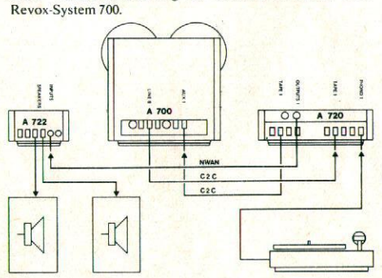
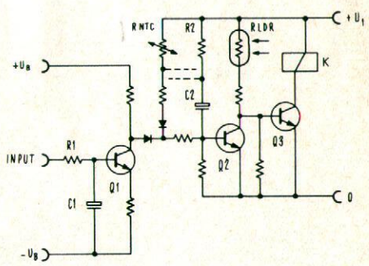


Bild 3 Lautsprecher-Schutzschaltung.



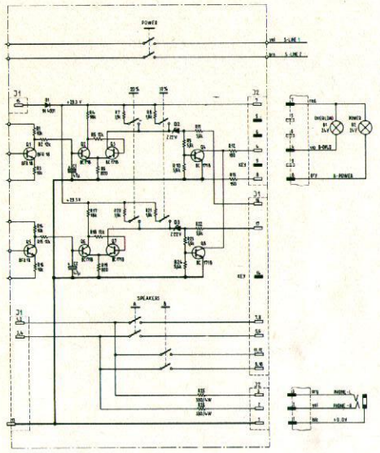


Bild 4 Stromlauf der Leistungsbegrenzungsschaltung und dem Lautsprecher-/Kopfhöreranschluss.

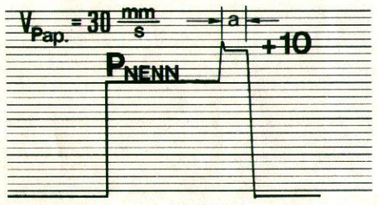


Bild 5 Ansprechgeschwindigkeit der Überlastungs-Abschaltautomatik der Endstufe.

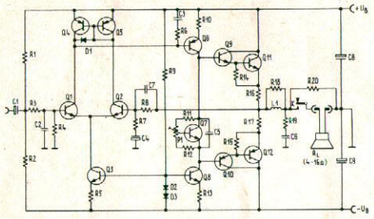


Bild 7 Schaltung der Stereo-Endstufe (ohne Schutzschaltung).

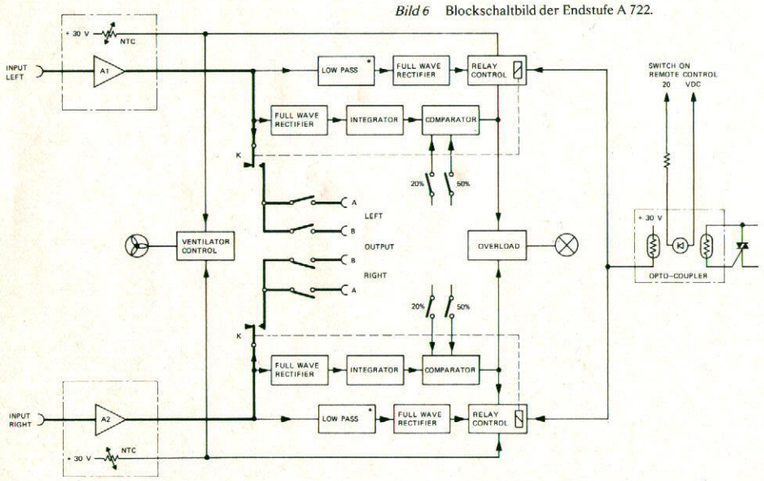
ten Optokoppler und bewirkt, durch ein mit dem Einschalten ausgelöstes Helligkeitssignal, die Durchsteuerung von Q 3 und damit das verzögerte Anschalten der Lautsprecher über das Relais *K*.

Das Wirkungsprinzip einer DC- bzw. Tiefstfrequenz-Schutzschaltung ist in *Bild 3* durch die Schaltung des Q 1 angedeutet. Dieser Transistor spricht auf Gleich- (DC) oder sehr niederfrequente Spannungen an ($f_g \approx 0{,}6$ Hz), die sich bei einer Störung in der Endstufe am Lautsprecherausgang bilden können. Das dann über Q 2-Q 3 weitergeleitete Fehlersignal schaltet dann über Relais K die Lautsprecher ab.

Wird die Endstufe in der bereits angedeuteten Weise über den gewählten Leistungs-Grenzbereich hinaus belastet, tritt die in *Bild 9* gezeigte elektronische Schutzschaltung in Funktion. Wird die Schwellspannung an der Basis des Q 13 - infolge des Übergangs der Diode D 4 in den Sperrbereich - überschritten, wird dieser leitend und schliesst das Steuersignal an der Basis des Treibertransistors Q 9 gegen Masse kurz, wodurch der Kollektorstrom des Endstufentransistors Q 11 stark zurückgeht.

Umfangreiche Testreihen führten bei Studer zu der Erkenntnis, dass ein zu sehr hohen Frequenzen hin erweiterter Übertragungsbereich zur Erzielung einer grossen Leistungsbandbreite problematisch ist. Die typischen Gegenkopplungen - vom Lautsprecherausgang zur Eingangsstufe zurück - können über die relativ langsamen Endstufentransistoren eine Übersteuerung der Eingangsstufe durch kurzzeitig anstehende Tonimpulse meist nicht verhindern, so dass sich die sogenannten Transient-Intermodulationsverzerrungen ausbilden. Die in *Bild 13* gezeigte Leistungsbandbreite der A 722-Endstufe zeigt eine in diesem Sinne optimierte Grenzfrequenz von etwa 63 kHz. Wie *Bild 10* zeigt, lassen sich zur Erzielung noch höherer Schalleistungen an die Steuergeräte bis zu vier Endstufen A 722 anschliessen. Auf die dort skizzierte, sehr einfache Weise lässt sich sowohl verstärkermässig als auch akustisch jedes Beschallungsproblem optimal lösen, zusätzlich verbunden mit dem grossen Vorteil der jeweiligen apparativen Anpassung an die Anforderungen der Schallübertragung. Die Netz-Ein/Aus-Schaltung erfolgt beliebig, entweder direkt an den einzelnen Endstufen oder gemeinsam mit dem jeweiligen Steuergerät. Bei der Ferneinschaltung der A 722-Endstufe durch die Steuergeräte A 700 oder A 720 wird nicht die Netzspannung direkt geschaltet, sondern über ein störungsunkritisches 20-V-Gleichspannungssignal ein Optokoppler in Funktion gesetzt *(Bild 6)*. Dieser schaltet im Netzteil einen als elektronischen Netzschalter eingesetzten Triac durch. Dabei könnten die A 722-Endstufen auch an verschiedenen Stromversorgungsnetzen betrieben werden.

Bild 6 Blockschaltbild der Endstufe A 722.



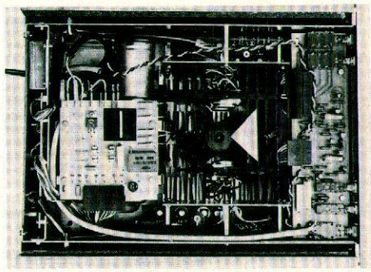


Bild 8 Aufbau und Anordnung der Bausteine. Der Pfeil zeigt auf den Ventilator zwischen den Kühlrippen der Endstufen-Transistoren.

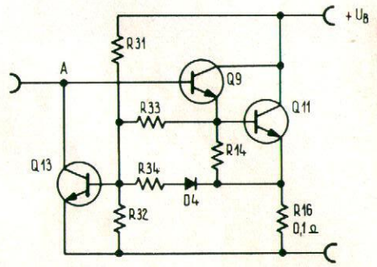


Bild 9 Elektronische Schutzschaltung der Endstufe.

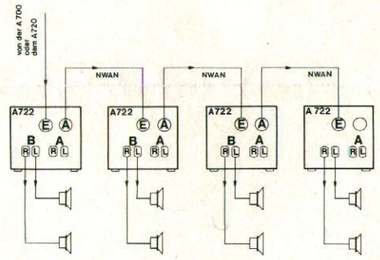


Bild 10 Möglichkeit der Kombination mehrerer Endstufen A 722 zur Erzielung einer höheren Schalleistung bzw. Schallversorgung in verschiedenen Abhörräumen.

Ausgangsleistung

Die bis zum oszilloskopisch kontrollierten Verzerrungseinsatz erreichbare Ausgangsleistung als Funktion des Lastwiderstandes zeigt *Bild 11*.

Die Kontrolle der zur Verfügung stehenden Musikleistung wurde mit einer sehr rhythmischen Tanzmusik durchgeführt. Auch hier zeigte sich, dass die von Studer genannte Musikleistung von 90 W an 4 Ω erreicht wird.

Übertragungsbereich und Frequenzgang

Bei konstanter Eingangsspannung wurde die Frequenzabhängigkeit der Ausgangsspannung für Vollast an den (3) Widerständen 4, 8 und 16 Ω gemessen *(Bild 12)*. Kommentar: «Gerader geht's nicht!» Der Unterschied im Übertragungsmass beider Kanäle ist im gesamten Übertragungsbereich < 1 dB.

Dynamischer Innenwiderstand

Der dynamische Innenwiderstand sollte möglichst klein sein, da er direkt für den Dämpfungsfaktor *D* verantwortlich ist. Er wird bei Nennleistung (60 W) und einer Frequenz von 1 kHz gemessen und wie folgt errechnet:

$$R_{i\,dyn} = R_l \frac{U - U_l}{U_l}$$

$$= 4\,\Omega \frac{(16{,}0 - 15{,}5)\,V}{15{,}5\,V} = \underline{0{,}13\,\Omega}$$

Dämpfungsfaktor

Der Dämpfungsfaktor ist - bei annähernd konstantem Ri_{dyn} - abhängig von der angeschalteten Lautsprecherbelastung, also

$$D = \frac{R_l}{R_i}$$

Je grösser diese dimensionslose Zahl ist, desto kürzer sind die Ausklingvorgänge der weich eingespannten Tieftonlautsprecher. Nach DIN 45500 soll *D* mindestens 3 sein. Bei Verwendung von 4-Ω-Lautsprechern an der A 722 ist $D \approx 30$, bei 8 Ω Last wird $D \approx 60$.

Fremdspannungsabstand

Auch bei offenem Eingang gingen die Messwerte (siehe Tabelle «Eigene Messungen») nur unbedeutend zurück. Ein Anschwingen konnte weder bei angeschalteter Last-Impedanz (4 Ω und 5 mH) noch bei Leerlauf festgestellt werden. Das Oszillogramm der Störspannung zeigt *Bild 14*.

Einschwingverhalten

Die Oszillogramme in *Bild 15* zeigen das Einschwingverhalten bei der Übertragung von Rechteckspannungen verschiedener Frequenz am reellen Lastwiderstand 4 Ω bei 25 W Ausgangsleistung. Infolge der grossen Leistungsbandbreite bei gleichstromfreien Ausgängen sind die Flankensteilheiten ausgezeichnet. Resonanzerscheinungen sind nicht zu erkennen.

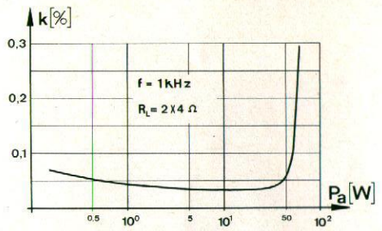


Bild 11 Klirrfaktor als Funktion der Ausgangsleistung (pro Kanal) bei Aussteuerung beider Kanäle.

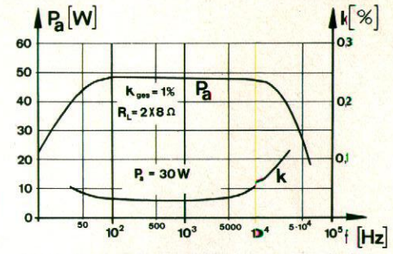


Bild 13 Leistungs-Bandbreite und Frequenzabhängigkeit des Klirrfaktors.

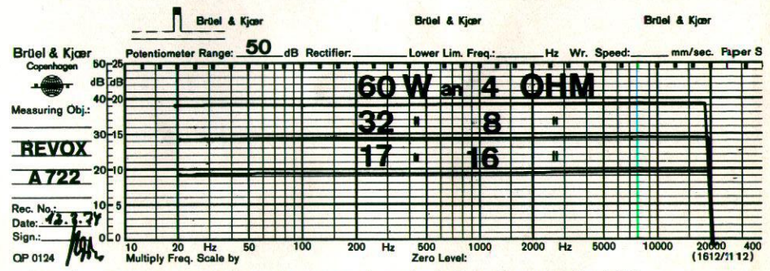


Bild 12 Übertragungsbereich und Frequenzgang unter Vollast an den drei Lastwiderständen 4,8 und 16 Ω.

Übersprechen

Das bei Nennleistung gemessene Übersprechen ist aus der Tabelle «Eigene Messungen» ersichtlich. Die festgestellten geringfügigen Unterschiede der Kanäle $R \rightarrow L$ bzw. $L \rightarrow R$ sind bedeutungslos.

Verzerrungen

Der Eigen-Klirrfaktor der A 722-Endstufe lässt sich unterhalb der Nenn-Ausgangsleistung nur mit einem sehr verzerrungsarmen Tongenerator und grösster Sorgfalt bei der Messung reproduzierbar bestimmen, da er - wie die Diagramme in den *Bildern 11 und 13* zeigen - sowohl in Abhängigkeit der Übertragungsfrequenz als auch der Ausgangsleistung ausserordentlich gering ist, teilweise den Wert 0,05% unterschreitet.

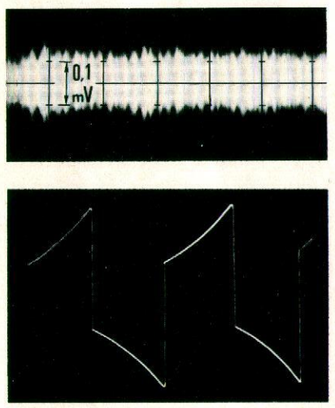
Wie bei allen Komplementär-Endstufen steigt er bei Überschreitung einer bestimmten Ausgangsleistung dann allerdings spontan an. Die Photos von *Bild 17* zeigen, dass von einer bestimmten, im Bereich um den Nulldurchgang nach wie vor unverformten Spannungskurve an ein Clippen der Amplitude einsetzt, was praktisch gleichbedeutend mit kräftigem Oberwelleneinsatz ist.

Die A 722-Endstufe dürfte ein Musterbeispiel dafür sein, wie gering man die Nichtlinearitäten einer Komplementärstufe durch sorgfältige Schaltungsdimensionierung und Transistor-Paarbildung halten kann. Da erfahrungsgemäss Klirrfaktor und Intermodulationsverzerrungen, bei einer so ausgezeichneten Linearität eines Übertragungsgliedes (unterhalb der Übersteuerungsgrenze!), etwa proportional zueinander verlaufen, wurde auf die Messung der Intermodulationsverzerrungen verzichtet.

Zusammenfassung

Die mit insgesamt 45 Transistoren, 30 Dioden, 1 Triac und 1 Doppel-Optokoppler bestückte Stereo-Endstufe A 722 ist eine komplementäre Endstufe für 60 W Sinus- bzw. 90 W Musik-Ausgangsleistung am Lastwiderstand 4 Ω. Bei 16 Ω stehen noch 30 W Sinus-Ausgangsleistung zur Verfügung.

Zur Erreichung der Nenn-Ausgangsleistung ist am Verstärker-Eingangswiderstand 12 kΩ eine Eingangsspannung von etwa 800 mV er-



◀ *Bild 14* Oszillogramm der Fremdspannung am R_l = 4 Ω. Der Eingang wurde mit 220 Ω abgeschlossen.

Bild 15 Kurvenformen der Ausgangsspannung bei P_a = 25 W und R_l = 4 Ω bei Übertragung einer Rechteckspannung. ▼

40 Hz 1 kHz 12,5 kHz