

INGENIEUR OTTO DICIOL

Niederfrequenzverstärker - kritisch betrachtet

Im Interesse der Ausbreitung des Hi-Fi-Gedankens ist es erfreulich, daß seit über einem Jahr auch ein Großbetrieb wie Grundig entsprechende und gleichzeitig preisgünstige Geräte für komplette Übertragungsanlagen fertigt. Bei solchen Anlagen ist es vorteilhaft, wenn sie weitgehend individuell zusammengestellt werden können. Eine günstige Lösung hierfür bietet das Baukastenprinzip. Bild 1 zeigt derartige Geräte aus der Grundig-Bausteinserie. Da alle diese Geräte in vorhandene Möbel eingebaut werden können, bleibt der architektonische Charakter des Raumes gewahrt. Gleichzeitig können die Lautsprecher so aufgestellt werden, daß eine große Fläche guter stereofoner Hörsamkeit entsteht.



Bild 1. Bausteine der Grundig-Hi-Fi-Stereo-Serie. Hinten: links und rechts die Teile der Lautsprecherkombination LS 21; in der Mitte das Empfangs- und Bedienungsteil HF 1; vorn links das Einbau-Tonbandgerätechassis TM 45, vorn in der Mitte der Hi-Fi-Stereo-Endverstärker NF 2; vorn rechts die Nachhallrichtung HS 1/HV 1

Das Äußere

Da die Verstärker NF 1 und NF 2 in Möbel eingebaut werden und somit unsichtbar bleiben, brauchte zu deren Gehäusegestaltung kein Stilist herangezogen zu werden. Das Aussehen der Verstärkergehäuse sowie ihr Volumen wird daher nur von den technischen und fertigungsmäßigen Notwendigkeiten bestimmt (Bild 2). Dies bedeutet gleichzeitig Kosteneinsparungen, die dem Verkaufspreis zugute kommen und der niedriger ist, als man ihn für so hochwertige Geräte erwartet.

Der Innenaufbau

Der Gedanke der Zweckmäßigkeit wurde auch beim Innenaufbau beachtet. Nach dem Lösen weniger Schrauben sind die Schutzhauben der Verstärker abzunehmen. Beim Verstärker NF 1 sind dann die Röhren und die meisten Einzelteile, beim Modell NF 2 die Röhren, Übertrager und die Netzsicherung zugänglich (Bild 3). Bei beiden Ausführungen wird die Netzspannung durch einfaches Umstecken der Sicherung umgeschaltet. Zusätzlich ist beim Typ NF 1 die gedruckte Schaltung nach dem Umklappen eines Chassisteiles bequem zugänglich (Bild 5). Diese Konstruktion ist deshalb sehr servicegerecht. Der Verstärker NF 2 dagegen ist in konventioneller Art verdrahtet. Bild 4 zeigt das Chassis nach dem Abnehmen des Bodenbleches. Um dieses Blech abzunehmen, sind nicht nur Schrauben zu lösen, sondern auch vier Gummipfropfen, die als Füße dienen, herauszudrücken bzw. später wieder „hineinzupfriereln“. Dies hat beim Testgerät nicht gefallen. Vielleicht findet sich hierfür noch eine bessere Lösung. Alle Einzelteile der beiden Verstärker sind so ausreichend dimensioniert, daß Geräteschäden durch Überlasten nicht zu erwarten sind. Das Zusammenschalten der Verstärker mit den Lautsprechern und den anderen Geräten der Bausteinserie erfolgt mit unverwechselbaren Steckverbindungen.

Außer den Eigenschaften wie geringe nichtlineare Verzerrungen, linearer Frequenzgang, großer Signal-Geräuschspannungsabstand ist von Hi-Fi-Verstärkern zu fordern, daß sie auch impulsartige Modulation, z. B. Pauken, Triangel, Gitarre usw., möglichst exakt übertragen. Hierfür ist der Durchlaß bzw. die Verformung eingespeister Rechteckimpulse der meßtechnische Qualitätsmaßstab. Beim Verstärker NF 1 sind in Bild 9 trotz steiler Anstiegflanken Formverzerrungen des Rechteckimpulses, insbesondere bei 40 Hz und 10 kHz, deutlich sichtbar. Dagegen ist in Bild 10 der Rechteckdurchlaß beim Verstärker NF 2 als gut zu bezeichnen.

Die Meßwerte

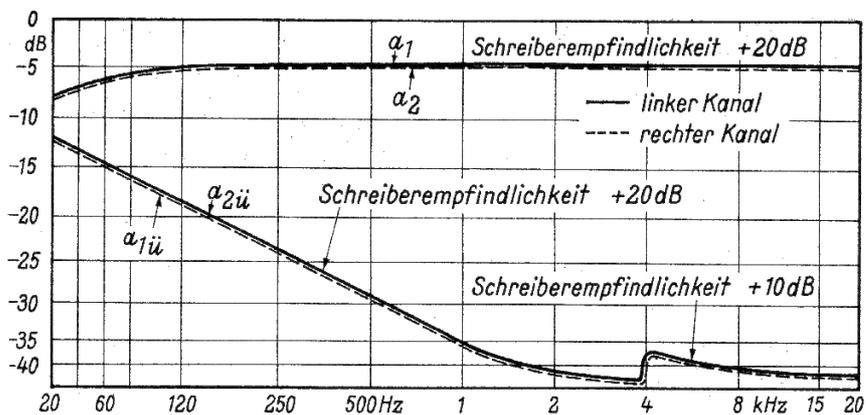
	NF 1	NF 2		4. Frequenzgang	NF 1	NF 2	
1. Ausgangsleistung je Kanal, gemessen bei 1 kHz an 5 Ω reell (Vom Hersteller werden als Nenn- leistung angegeben	8,6	16,2	W	a) zwischen 20 Hz und 20 kHz	≤ -3	≤ -0,8	dB
	8,5	15	W)	b) zwischen 60 Hz und 20 kHz (siehe auch Bild 7a und 7b)	≤ -1	≤ -0,2	dB
2. Nichtlineare Verzer- rungen				5. Signal-Störspan- nungs-Abstand (be- zogen auf Vollausst- steuerung)			
a) Klirrfaktor bei Nennleistung (8,5 W beim NF 1, 15 W beim NF 2) bei 1 000 Hz	0,45	0,25	%	a) gemessen mit einem Mittelwerte anzeigenden Röh- renvoltmeter entsprechend	1 : 7 000 77	1 : 19 000 85,5	dB
b) Klirrfaktor bei Vollaussteuerung zwischen 40 und 10 000 Hz an 5 Ω reell bei 40 Hz zwischen 120 und 10 000 Hz	5,4 ≤ 1,15	0,64 ≤ 0,45	% %	b) gemessen mit einem Spitzen- werte anzeigen- dem Röhrenvolt- meter (J 77) entsprechend	1 : 5 000 ≥ 74	1 : 15 000 ≥ 83,5	dB
Den Klirrfaktorver- lauf in Abhängig- keit von der Aus- gangsleistung zeigt Bild 6a und 6b				c) Geräuschspan- nungsabstand, bewertet nach CCIR (gemessen mit J 77). Hierzu siehe auch Bild 8a und 8b	1 : 25 000 ≥ 88	1 : 40 000 ≥ 92	dB
c) Intermodulation bei Vollaussteue- rung an 5 Ω reell, bei den Frequen- zen 40 Hz und 12 kHz mit einem Pegelunterschied von 12 dB	1,4	0,8	%	6. Übersprechdämp- fung zwischen 20 Hz und 20 kHz	siehe Text und Bild 11	≥ 1 : 400 ≥ 52	dB
3. Eingangsempfind- lichkeit für Vollausst- steuerung	0,6	1,1	V	7. Pegelunterschied zwischen beiden Verstärkerkanälen zwischen 20 Hz und 20 kHz	≤ 0,2	≤ 0,2	dB
				8. Pegelunterschied zwischen Leerlauf und Vollast der Ver- stärkerausgänge entsprechend	1 : 1,2 ≥ 1,6	1 : 1,13 ≥ 1,1	dB
				9. Ausgangsschein- widerstand, gemes- sen bei 1 kHz	1,5	0,95	Ω
				10. Leistungsaufnahme	51	93	VA
				11. Abmessungen:			
				Breite	250	240	mm
				Höhe	120	140	mm
				Tiefe	180	220	mm

Die Schaltung

Die Stromlaufpläne der Verstärker NF 1 (Bild 12) und NF 2 (Bild 13) lassen erkennen, daß beide keine sogenannten Vollverstärker sind, die den unmittelbaren Anschluß mittelpegeliger Quellen gestatten. Endverstärker, zu denen auch der NF 1 und NF 2 zu zählen sind, benötigen – wie dies aus der Eingangsempfindlichkeit für Vollaussteuerung entnommen werden kann – einen Vorverstärker. Ein solcher ist im Rundfunkempfangsteil HF 1 mit Lautstärke-, Höhen-, Tiefen- und Balance-Einstellern enthalten. Anstelle des Empfangsteiles HF 1 können natürlich auch andere Stereo-Vorverstärker verwendet werden, ferner das Rundfunkempfangsteil HF 2 der Bausteinserie.

In diesem Zusammenhange sei hier die Frage gestellt, ob die häufig auch bei Verstärkern anzutreffende Definition der Eingangsempfindlichkeit in Millivolt Eingangsspannung für 50 mW

Bild 11. Verlauf der Übersprechdämpfung in Abhängigkeit von der Frequenz beim Verstärker NF 1; Kurve a_1 bzw. a_2 Ausgangspegel des angesteuerten Kanals. Kurve $a_{1\bar{u}}$ bzw. $a_{2\bar{u}}$ Ausgangspegel des nicht angesteuerten Kanals. Dies ist also ein Maß für die Übersprechdämpfung



Ausgangsleistung in der Ela- und insbesondere in der Hi-Fi- Technik zweckmäßig ist. Der Mehrzahl der Benutzer oder Interessenten sagt diese Definition nicht allzuviel. Außerdem ist auf Grund akustischer Gesetze mit einer Ausgangsleistung von 50 mW nicht die Dynamik zu erzielen, die für Hi-Fi-Übertragungen benötigt wird. Hier wären Vereinbarungen über eine andere Definition angebracht.

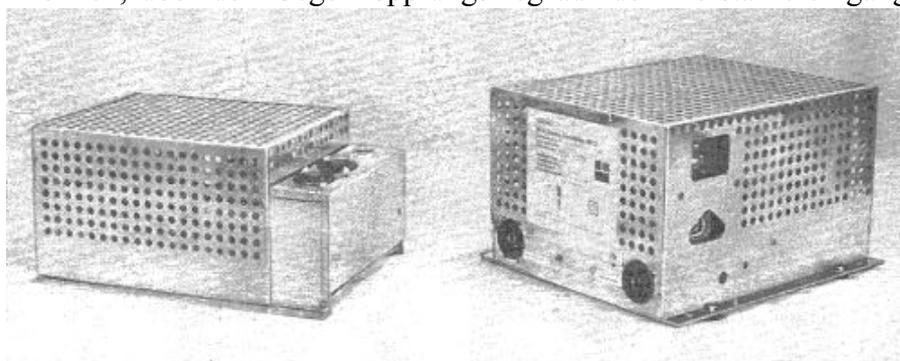
Der Vergleich der Schaltungen beider Geräte zeigt den gleichen Grundaufbau. Das erste Triodensystem der Röhre ECC 83 arbeitet als Vorstufe. Die Phasendrehung zum Ansteuern der Gegentaktleistungsstufe erfolgt mit einer Katodenschaltung im zweiten System der gleichen Röhre. Entsprechend der unterschiedlichen Ausgangsleistung werden beim Verstärker NF 1 schwächere Röhren und kleinere Ausgangsübertrager gegenüber dem Modell NF 2 verwendet. Jeder Kanal der Ausführung NF 1 besitzt als Leistungsröhre die Doppelpentode ELL 80. Die Ausgangsübertrager haben die Kerngröße EI 60. Die Katoden der beiden Doppelröhren ELL 80, die im AB-Betrieb arbeiten, sind parallel geschaltet und erhalten die Gittervorspannung durch einen gemeinsamen, kapazitiv überbrückten Katodenwiderstand. Infolge des sehr niedrigen Verkaufspreises und der dadurch bedingten scharfen Kalkulation mußte vermutlich diese Lösung gewählt werden. Dies erfordert jedoch für eine optimale Arbeitsweise der Endstufe nur geringe Streuungen der Endröhrendaten.

Der Verstärker NF 2 verwendet für die ebenfalls im AB-Betrieb arbeitenden Endstufen pro Kanal je zwei Röhren EL 84. Die Ausgangsübertrager haben die Kerngröße M 74. Im Gegensatz zum Typ NF 1 erhalten die vier Endröhren EL 84 über einen Gleichrichter mit nachfolgender guter Siebkette eine feste Grundgittervorspannung. Bei zunehmender Aussteuerung (Übergang zum B-Betrieb) wird diese Vorspannung durch den Spannungsabfall erhöht, der – infolge des hierbei ansteigenden Anoden- und Schirmgitterstromes – zusätzlich an dem jeder Endröhrenkatode zugeordneten 50-9-Widerstand entsteht.

Trotz der bei beiden Verstärkern sehr sorgfältig bemessenen Stufen könnten die guten Meßwerte für nichtlineare Verzerrungen und Frequenzgang nicht erreicht werden, wenn nicht gleichzeitig eine kräftige Gegenkopplung wirksam wäre. Da der Katodenwechselstrom der Eingangsröhre über die Sekundärwicklung des Ausgangsübertragers fließen muß und so mit der Endstufe verkoppelt ist, wirkt die Gegenkopplung bei beiden Ausführungen über den gesamten Verstärkerzug. Gleichzeitig ergibt der in diesem Stromkreis liegende und zur Höhenkorrektur mit einem kleinen Kondensator überbrückte Widerstand die erforderliche Gittervorspannung für die Vorröhre. Die im gleichen Weg liegende Kleindrossel soll verhindern, daß Knackstörungen, die von einer langen Lautsprecherleitung aufgenommen werden können, über den Gegenkopplungsweg auf den Verstärkereingang gelangen.

Die im Gegenkopplungskanal des Verstärkers NF 2 angeordneten Elektrolyt -

Bild 2. Außenansicht der Stereoverstärker NF 1 (links) und NF 2 (rechts)



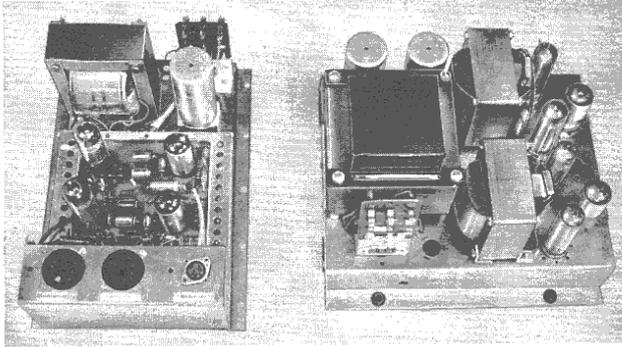


Bild 3. Die beiden Stereoverstärker NF 1 und NF 2 ohne Schutzhaube

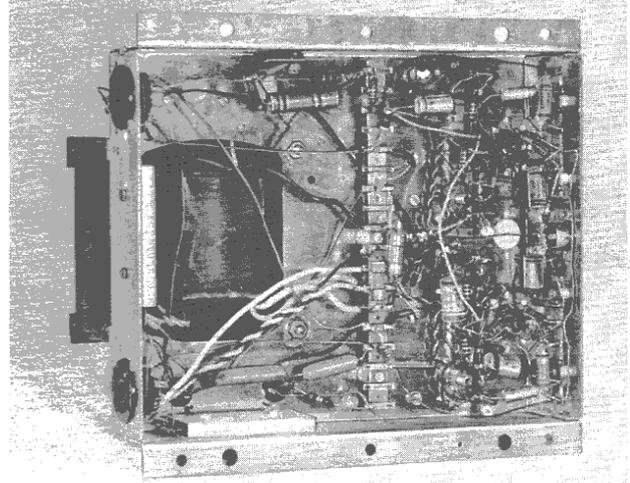


Bild 4. Die Unterseite des Stereoverstärkers NF 2

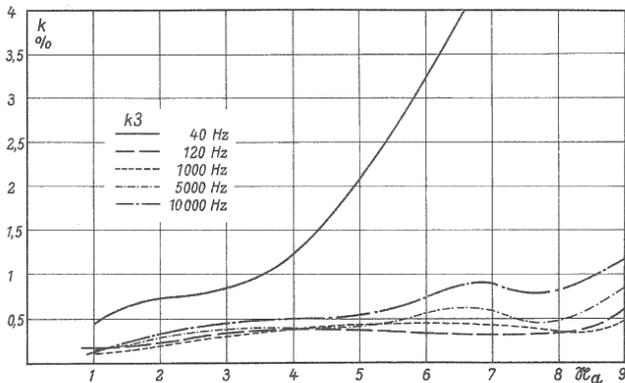
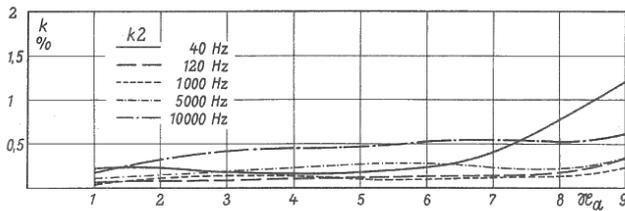


Bild 6a. Klirrfaktorverlauf (k_2 und k_3) in Abhängigkeit von der Ausgangsleistung für verschiedene Frequenzen beim Stereoverstärker NF 1

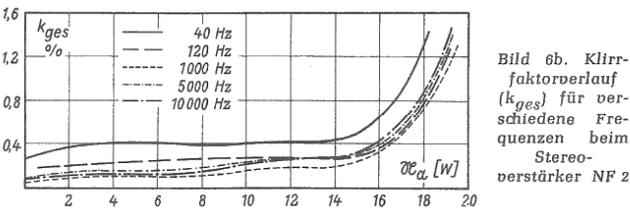


Bild 6b. Klirrfaktorverlauf (k_{ges}) für verschiedene Frequenzen beim Stereoverstärker NF 2

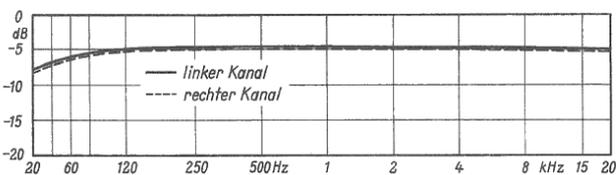


Bild 7a. Frequenzgang des Stereoverstärkers NF 1, relativer Pegel, aufgenommen mit Frequenzgangschreiber

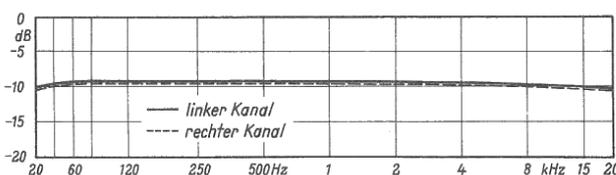


Bild 7b. Frequenzgang des Stereoverstärkers NF 2, relativer Pegel, aufgenommen mit Frequenzgangschreiber

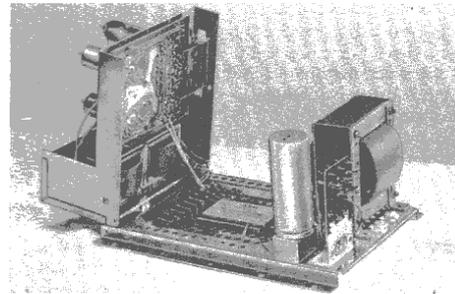


Bild 5. Die Unterseite des Einzelteilträgers beim Stereoverstärker NF 1 mit gedruckter Schaltung

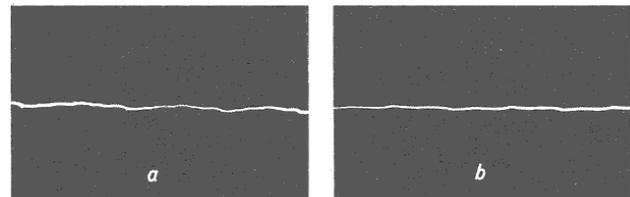


Bild 8. Die Störspannung des Stereo-Endverstärkers NF 1 (Bild 8a) und NF 2 (Bild 8b) verursacht selbst bei der hohen Oszillografenempfindlichkeit von 1 mV/mm kaum eine Auslenkung des Elektronenstrahles

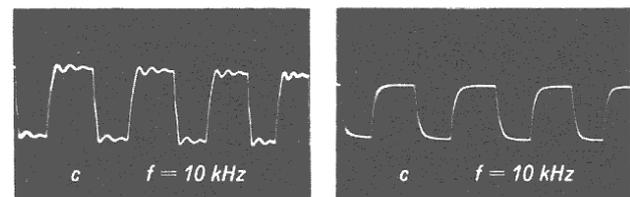
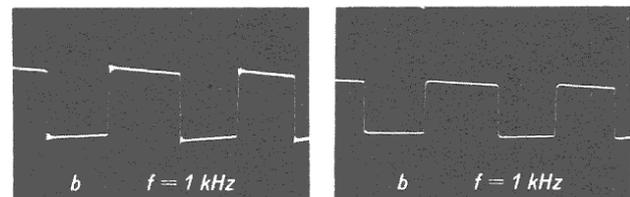
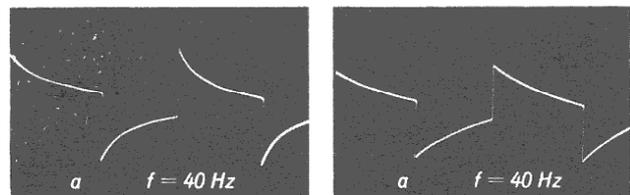


Bild 9. Impulsbilder am Ausgang des Verstärkers NF 1 bei verschiedenen Impulsfolgefrequenzen

Bild 10. Impulsbilder am Ausgang des Verstärkers NF 2 bei verschiedenen Impulsfolgefrequenzen

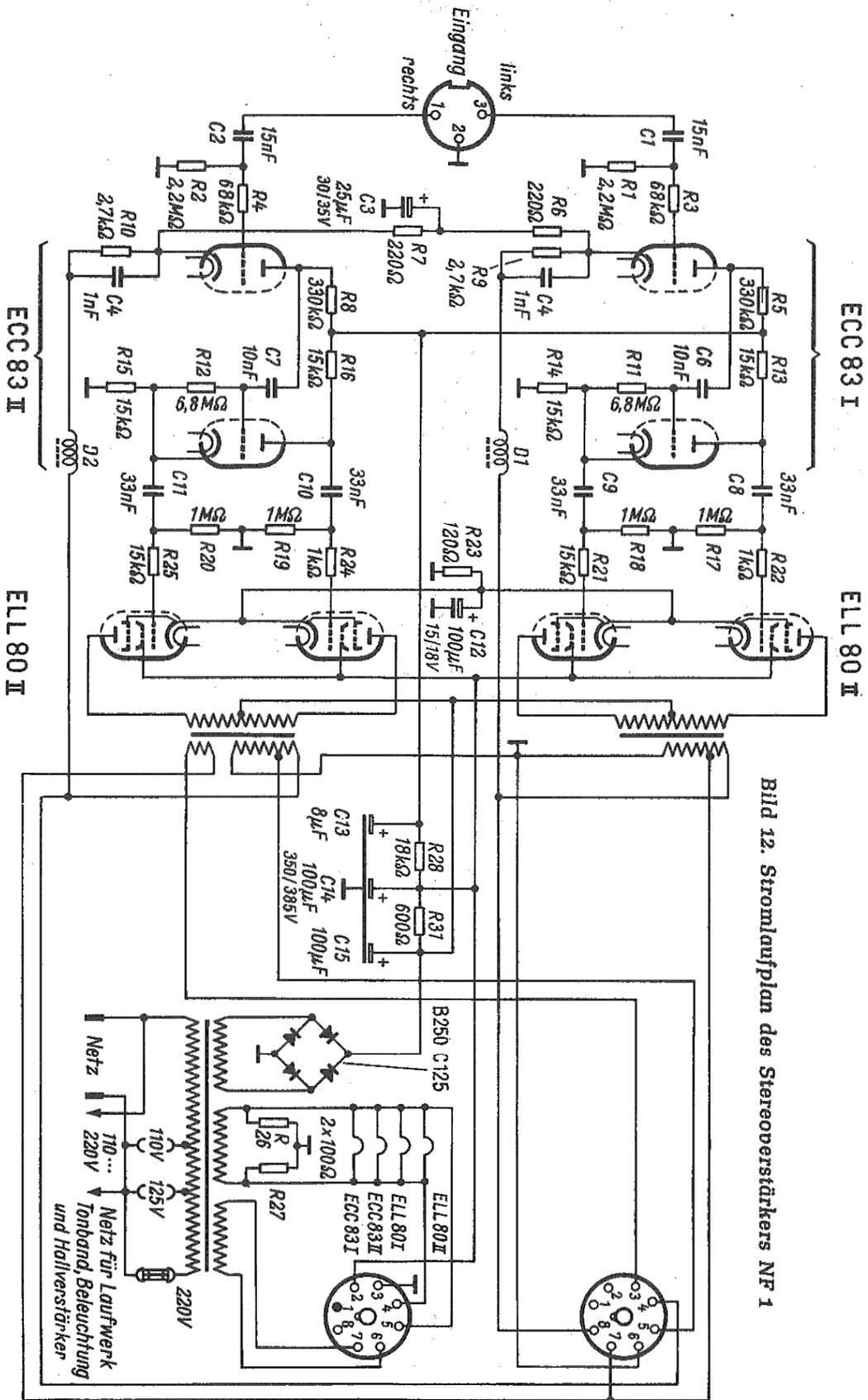


Bild 12. Stromlaufplan des Stereoverstärkers NF 1

- Ausgang II**
Lautsprecher
 3 = Mittenlautspr.
 4 = 5Ω } rechts
 5 = 3Ω }
 6 = Masse
 7 = 3Ω } links
 8 = 5Ω }

- Ausgang I**
Stromversorgung
 2 = +255V 38mA
 3 = Masse
 4 } 6,3V~0,3A
 5 }
 6 } 6,3V~2A
 7 }
 7 }
Netzschalter im Rundfunkteil
Sicherungen
 110/125V 0,8A }
 220V 0,4A } träge

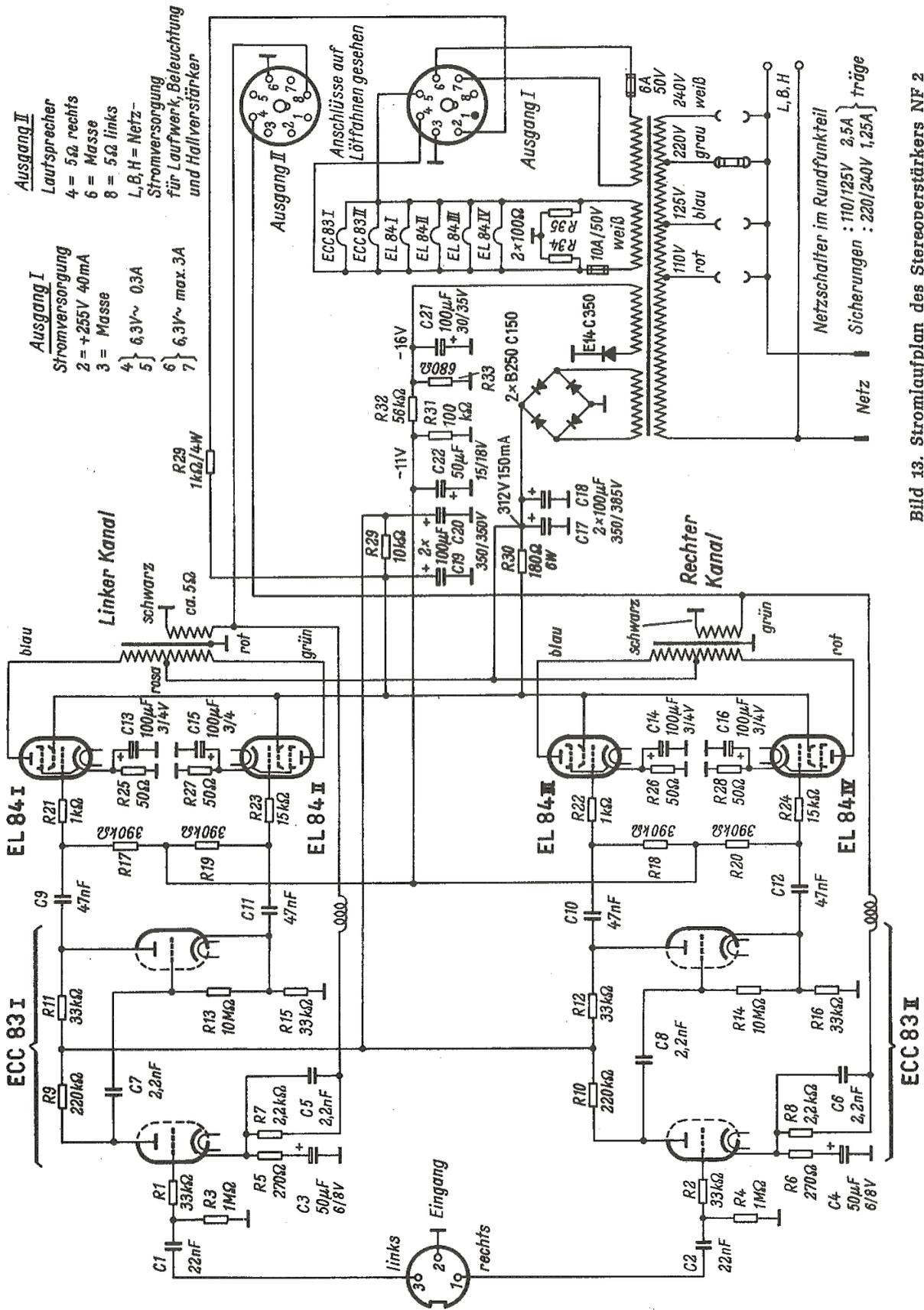


Bild 13. Stromlaufplan des Stereoverstärkers NF 2

kondensatoren (C 3 bzw. C 4 zu je 50 μ F) bedeuten für die Tonfrequenz einen Kurzschluß und haben die Aufgabe, den Weg des Katodengleichstromes festzulegen.

Da mit dem Verstärker NF 1 auch finanzschwächeren Interessenten die Möglichkeit gegeben werden soll, eine hochwertige Stereo-Anlage zu schaffen, wurde bei diesem auch für die Lautsprechergruppe eine Einsparmöglichkeit geschaffen. Um den Stereo- Eindruck zu erzielen, brauchen die tiefen Frequenzen nicht unbedingt nach Kanälen getrennt zu werden. Somit ist für die Tiefenwiedergabe auch ein einziger Lautsprecher ausreichend. Daher hat der Verstärker NF 1 eine zusätzliche Buchse 3 = Mittenlautsprecher (*Bild 12*), die auf die Hintereinanderschaltung von zwei Wicklungen beider Ausgangsübertrager führt. Diese Kanalzusammenschaltung der Bässe wird bei Benutzung der hierfür vorgesehenen Lautsprechergruppe LS 30 automatisch wirksam.

Die Tiefenverkopplung am Ausgang erfordert zwangsläufig auch eine solche am Verstärkereingang, wenn der untere Frequenzbereich bei allen Betriebsarten ohne Leistungsverlust übertragen werden soll. Die Verkopplung der Tiefen am Eingang erfolgt durch den frequenzabhängigen Spannungsteiler R 9/R 6 C 3 bzw. R 10/R 7 C 3. Hieraus ergibt sich der Verlauf der Übersprechdämpfung in Abhängigkeit von der Frequenz nach *Bild 11*.

Der Stromversorgungsteil beider Verstärker ist reichlich dimensioniert und kann gleichzeitig den Rundfunkempfangsteil HF 1 oder einen anderen Vorverstärker speisen. Als Anschlußdosen für die Lautsprecher und die Stromversorgung des Rundfunkempfangsteiles werden gleiche Typen benutzt. Durch entsprechende Kontaktbelegung und Sperrung einer Buchse ist dafür Sorge getragen, daß die beiden Anschlußstecker nicht vertauscht werden können.

Da für die Stereoverstärker NF 1 und NF 2 hochwertige Lautsprecherkombinationen mit einer Impedanz von 5 Q angeboten werden, erscheint es verständlich, daß die Ausgänge dieser beiden Verstärker nur für diese Impedanz ausgelegt sind, zumal die hierdurch bedingte Kosteneinsparung dem Verkaufspreis wieder zugute kommt.

Gesamteindruck

Die vorstehenden Ausführungen und Meßwerte lassen erkennen, daß die Gesamtkonstruktion der Stereo-Endverstärker NF 1 und NF 2 mit großer Sorgfalt ausgeführt wurde, wobei auch feine Details nicht vernachlässigt wurden. Im Interesse einer möglichst genauen Berichterstattung erschien es bei der Darstellung der Klirrfaktordaten des Modells NF 1 als zweckmäßig, deren k_2 - und k_3 -Werte aufzuzeigen (*Bild 6a*). Die k_5 -Werte für die Frequenzen 40...10 000 Hz überschreiten nicht die 0,5- bzw. 1 %-Grenze. Lediglich der k_3 -Anteil für 40 Hz und für eine Ausgangsleistung $N_a \geq 3,6$ W liegt höher. Die Ursache hierfür liegt nicht in einer mangelhaften Konstruktion des Ausgangsübertragers, sondern ist durch seine Kerngröße (EI 60) physikalisch bedingt. Infolge des äußerst niedrigen Verkaufspreises dürfte es bei diesem Gerät nicht möglich sein, größere Ausgangsübertrager zu verwenden. Es muß jedoch als beachtlich konstruktive und fertigungsmäßige Leistung bezeichnet werden, zu dem vorgesehenen Preis einen betriebssicheren Stereo-Endverstärker zu liefern, der ab 60 Hz den wesentlichen Hi-Fi-Forderungen gerecht wird. Der um über 100 DM höhere Verkaufspreis des Stereo-Endverstärkers NF 2 bietet dem Entwickler bedeutend bessere Möglichkeiten. Infolgedessen steht mit dem Typ NF 2 ein Gerät zur Verfügung, das nicht nur sehr preiswert ist und für die Beschallung auch größerer Räume verwendet werden kann, sondern auch auf Grund seiner Übertragungseigenschaften und Meßwerte mit großer Sicherheit alle an einen Hi-Fi-Stereoverstärker zu stellenden Qualitätsansprüche erfüllt.
