Bild 1: Gesamtschaltbild

ECH 81 · OA 91 · EC(C) 85 · EF 89 · E(C)C 85 · EMM 803 · BA 102 · EAF 801 · 2 x AA 113 · B 30 C 2500 · B 250 C 75 tb · T17 = AD150 T16 = AC117 T15 = AC126 od. AC151 · T1,T2,T8,T9 = AC 126 od. AC 151r · T3,T10 = AF 118 od. SFT 162 · T5,T12 = AC 132 T4,T11 = AC 127 · T6 T7 T13 T14 = AD 150 · BZY 83 D12

Bandfilter 3 siehe 32 080 - 04 30 · Bandfilter 4 siehe 32 080 - 04 40 · Bandfilter 5 siehe 52 080 - 04 50

Schaltung 52 890 / 52 893 29 5 64 gez. gepr.

52 890 / 52 893

C 1,2 3 34,41 33,35,37,38,39 40,5,4,42,6,45,11,8,57,47,48,12,43,10,7,46,53,54,56,50,52,55,24,9,16,15,13,18,17,59,61,14,58,19,60,62,79,63,27,21,20,64,84,65,22,83,32,66,68,31,28,70,67,69,105,72,104,71,75 77,78,74,76 91 80,82,85,81,87,86,88,89,96,93,113,116,108,128,97,95,92,112,115,117,90,110,130,131,94,114,106,132,98,118 99,119,101,121,100,120,102,122,109,124,103,123 111,125 201,202,222,221

R 13 6 2 15,16,17 104 3 103,14 19,18 20 34,23,1 35 7,9,25,24,5,4,28,8,10,11,26,47,92,21,22,105,27,40,43,106,41,42,39,32,33,30,12,49,50,36,38,31,37,29,52,72,112,45,53,73,96,100,55,51,71,75,113,114,56,76,54,74,57,77,115,116,58,78,59,61,101,79,81,44,62,91,82,60,64,83,80,84,83,94,98,65,66,85,86,93,67,97,87,68,69,70,88,89,90,108,109,110,111

Ned. Ver. v. Historie v/d Radio

ARCHIEF DOCUMENTATIEDIENST

SP ST AUS TE TA LW MW KW UW FA AUT

SP ST A TB TA U2 M K U1 F N

S1-Kontakte in Stellung LW Contacts de S1 en position LW Contacts of S1 in position LW

1/8W 1/4W 1/3W 1/2W 1W 2W 3W

30V- Keramik ceramic · 500V- Keramik ceramic · 125V- Styroflex plastic · 500V- Styroflex plastic · 250V- Papier paper · 400V- Papier paper · 400V~ (b) Papier paper

Com start Fin end

TA - Eingang mit Meßpunkten
TA - entrée incl. points de mesure
TA - input incl. testpoints

Lautsprecher - Fassung von unten
Socle du haut - parleur de dessous
Socket of loudspeaker seen from below

Stereo - Fassung von unten
Stereo - socle de dessous
Stereo - socket seen from below

Ferrit - Antenne
L'antenne de ferrit
Ferrit rod antenna

F.M. - Tuner

L 30, L 34, L 35, L 40, L 42, L 46 bitte von unten trimmen! balancer d'en bas, s.v.p.! please trim from bottom!

Bereich / Gamme / Waveband	Osz / Osc	Vorkreis / Circuit d'entrée / Input circuit	Frequenz / Alignment - fr
UW 87 - 104 MHz (Mc)	L 5 C 15	L 4 C 12	90,8 MHz (Mc) 101 MHz (Mc)
KW 5,88 - 18,5 MHz (Mc)	L 21 —	L 13 C 35	7 MHz (Mc) 16,5 MHz (Mc)
MW 513 - 1630 kHz (kc)	L 25 C 53	L 17 (L 18) C 37 (C 39)	580 kHz (kc) 1510 kHz (kc)
LW 145 - 350 kHz (kc)	L 27 —	L 20 (L 19) —	160 kHz (kc)

MW vor LW abgleichen
D'abord, alignez le circuit PO et, puis, le circuit GO.
Aligne MW (BC) - circuits before LW - circuits

L 1	7/1,5 vers.	L 20	490/0,15 LS
L 2	2/0,5 L	L 21	11/0,5 L
L 3	2/0,5 L	L 22	7/0,12 LS
L 4	3 1/2/1,0	L 23	
L 5	gedruckt m.	L 24	
L 6	Kern LONB 403 C	L 25	97/0,15 LS
L 7	45/0,15 LS	L 26	11/0,15 LS
L 8	31/0,15 LS	L 27	220/0,12 LS
L 9		L 28	
L 10		L 29	23/0,2 LS
L 11	97/20x0,05 S	L 30	15/0,2 LS
L 12	35/0,12 L	L 31	120/20x0,05 LS
L 13	12/0,5 L	L 32	
L 14		L 33	2 1/2/20x0,05 LS
L 15		L 34	120/20x0,05 LS
L 16	350/0,1 LS	L 35	50/0,13 L
L 17	145/20x0,05 LS	L 36	7/0,13 L
L 18	60/20x0,05 S	L 37	14+14/0,3 L
L 19	188/0,15 LS	L 38	85/20x0,05 LS

L 39	2/20x0,05 LS	Netztrafo	Tr 1
L 40	85/20x0,05 LS	Power transf.	
L 41	23/0,2 LS	Bv. 52 890 - 10 01	
L 42	15/0,2 LS	0 - 110 V	320/0,60 L
L 43	75/20x0,05 LS	110 - 127 V	43/0,60 L
L 44		127 - 220 V	271/0,45 L
L 45	2 1/2/20x0,05 LS		240 V 725/0,16 L
L 46	75/20x0,05 LS		28 V 82/0,90 L
			6,3 V 20 - 0,80 L
D1	5 µH / 100 Ω		
D2	14/0,3 LS		
D3	2/0,5 verz.		
D4	15/0,3 LS		
D5	32/0,4 L		
D6	Ferrit - Perle		
D7	"		
D8	165/0,1 LS		
D9	Ferrit - Perle		
D 201	260/0,8 Cu L		
D 221	260/0,8 Cu L		

Spannungen mit Instrument 33 kΩ/V gegen Masse in Stellung UW ohne Signal.

Tensions doivent être mesurées relativement à masse du chassis par un instrument 33 kΩ/V dans la position UW sans puissance d'entrée.

Potentials are to be measured with reference to ground by means of an instrument 33 kΩ/V in the position UW without input.

1' - 6' Stereo - Decoder 52 941 oder Stecker ou fiche or plug LON B 1119

a) Ruhestrom bei 20° C
courant de repos à 20° C
steady current at 20° C

nur bei Seriument 52 090/52 091 only Lautsprecher-Boxen links Loudspeaker-cabinets left Speaker cabinets left 52 990 · rechts à droite 52 991 right

linker Kanal (ge) à gauche left

rechter Kanal (ri) à droite right

LOEWE OPTA

„Botschafter - Stereo"	52 294
„Botschafter - Stereo" m. Dec.	52 295
„Lauenstein - Stereo"	52 296
„Lauenstein - Stereo" m. Dec.	52 297
„Stereo - Luxus - Steuergerät" LO 40	52 090
„Stereo - Luxus - Steuergerät" LO 40 m. Dec.	52 091

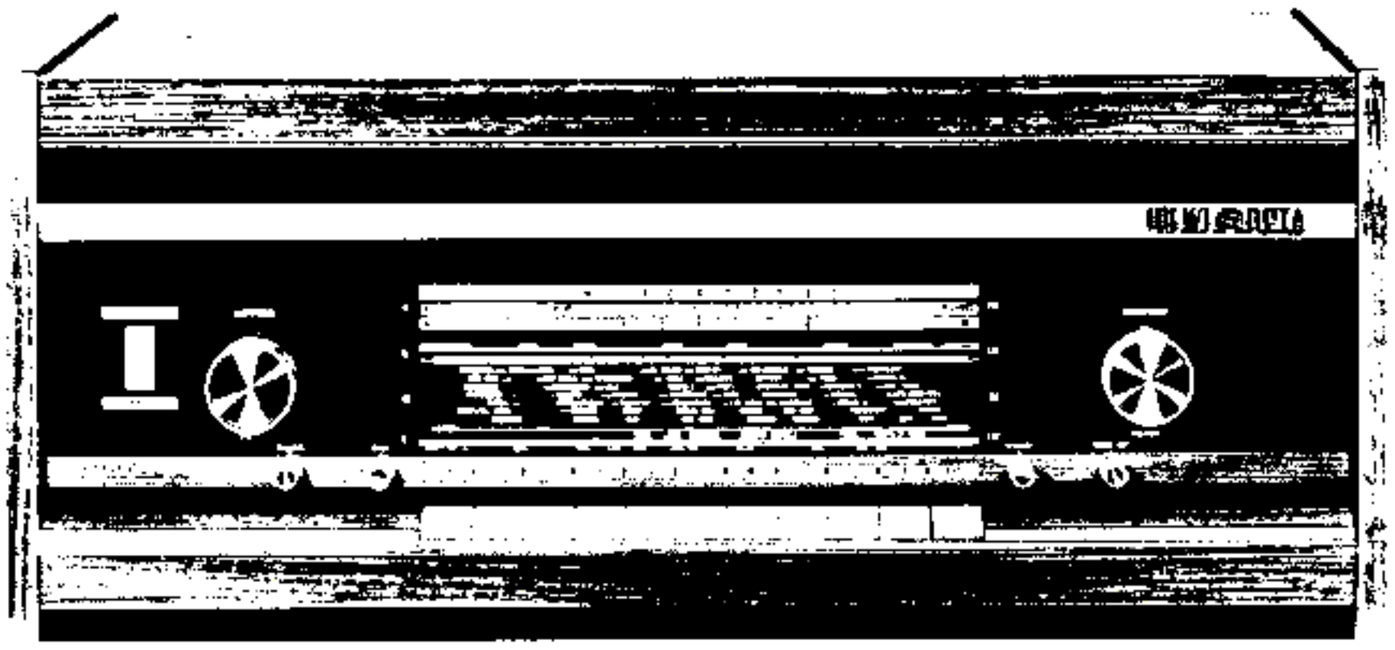
With compliments from Eckhard Kull

Stereo-Luxus-Steuergerät »LO 40« (52 091) mit Decoder und transformatorlosen Transistor-NF-Gegentaktendstufen

Im Hinblick auf die künftige Hi-Fi-Normung in Deutschland wurde für das neue Stereo-Luxus-Steuergerät »LO 40« und einige Musiktruhen von LOEWE OPTA ein neuartiger Niederfrequenzverstärker entwickelt. Dieser Niederfrequenzverstärker ist vollständig mit Transistoren bestückt und für eine maximale Ausgangsleistung von 2 x 20 W ausgelegt. Er entspricht den z. Z. als Entwurf vorliegenden Hi-Fi-Normen DIN 45 500.

Beim HF- und ZF-Teil wurde die bewährte der HF-Stereofonie angepaßte Röhrenschaltungstechnik unserer Vorjahresserie unverändert beibehalten. Im UKW-Teil und im dreistufigen FM-ZF-Teil wurden bereits mit dem Beginn des Stereo-Rundfunks einige wesentliche Verbesserungen vorgenommen, um den gesteigerten Anforderungen zu entsprechen, die der Empfang des Stereo-Multiplex-Signales mit seinen hohen Modulationsfrequenzen bis 53 kHz an den Empfänger stellt. Aus diesem Grunde haben wir bei unseren Stereo-Geräten die Bandbreite des FM-Zwischenfrequenzverstärkers um ca. 30 kHz verbreitert und diesen Wert auch bei den diesjährigen Geräten beibehalten. Selbstverständlich enthält das Steuergerät »LO 40« auch einen dreistufigen ZF-Verstärker mit den bekannten hohen Selektions- und Begrenzungseigenschaften. Hier ist besonders der Einsatz der EAF 801 als dritte ZF-Stufe zu erwähnen, die ausgezeichnete Begrenzereigenschaften hat. Der Ratiodetektor mit seiner linearisierten S-Kurve ergibt einen vernachlässigbar kleinen Demodulationsklirrfaktor und eine sehr gute AM-Unterdrückung. Mittels der UKW-Scharfabstimm-Automatik wird eine genaue Abstimmung des Empfängers auf die Mitte der S-Kurve erreicht. Besonders für den störungsfreien Empfang von Stereo-Sendungen ist diese Abstimmautomatik von Bedeutung.

Alle diese hervorragenden Eigenschaften des HF- und ZF-Teiles in Verbindung mit dem neuen Transistor-NF-Verstärker gewährleisten beim Hi-Fi-Steuergerät »LO 40« eine hohe Empfangs- und Wiedergabe-Qualität. Das Steuergerät »LO 40« wird mit zwei getrennten Lautsprecher-Boxen »52 990/52 991« betrieben, die speziell in Anpassung an den NF-Verstärker entwickelt wurden. Die beiden Boxen lassen sich nach akustischen Gesichtspunkten so aufstellen, daß ein optimaler Stereo-Klangeindruck erreicht wird.



Stereo-Luxus-Steuergerät »LO 40«

Techn. Daten des Stereo-NF-Teils

Maximale Ausgangsleistung
je Kanal: 20 W
Übertragungsbereich bei 1 dB
Verstärkungsabfall an den
Frequenzgrenzen: 40 Hz ... 16 000 Hz
Klirrfaktor im Frequenzbereich
40 Hz ... 10 kHz bei 12,5 W Ausgangsleistung je Kanal und Abschluß
mit Nennimpedanz: K ≦ 1 %
Eingangsempfindlichkeit bezogen
auf 50 mW Ausgangsleistung,
1000 Hz: 10 mV
Eingangswiderstand je Kanal:
≈ 500 kΩ
Abschlußwiderstand
(Lautsprecherimpedanz) je Kanal
(zulässiger Minimalwert): 4 Ω
Innenwiderstand an den
Lautsprecheranschlüssen: ca. 0,4 Ω
Lautsprecherdämpfungsfaktor: 20 dB

Unterschied der Ausgangsspannung
zwischen ausgangsseitigem
Leerlauf und Nennlast: 1 dB
Leistungsverstärkung (1000 Hz): 84 dB
Gegenkopplungsfaktor in der
Endstufe: 20fach
Störspannungsabstand je Kanal bei
aufgedrehtem Lautstärkeregler
(unbewertet) bezogen auf 50 mW
Ausgangsleistung: 54 dB
bezogen auf 20 W
Ausgangsleistung: 80 dB

Bestückung

NF-Verstärker:
4 x AC 151, 2 x AF 118, 2 x AC 127,
2 x AC 132, 4 x AD 150, 1 x BZY 83 D 12
Geregelter Netzteil:
1 x AC 151, 1 x AC 117, 1 x AD 150,
1 x BZY 83 D 12, 1 x B 30 C 2500

Schaltungsbeschreibung des NF-Verstärkers

Der Schritt, von der bisher in Rundfunkgeräten üblichen Röhrenschaltungstechnik im Niederfrequenzteil abzugehen und Transistoren zu verwenden, bietet eine Reihe von Vorteilen. Bei der hier angewendeten transformatorlosen Gegentakt-B-Schaltung ist — wie der Name schon sagt — der Fortfall des Ausgangstransformators das auffälligste Merkmal. Desgleichen werden auch keine Treibertransformatoren benötigt. Die Schaltung ist so ausgelegt, daß Lautsprecher mit dem üblichen Anpassungswiderstand von 4 ... 5 Ω direkt angeschlossen werden können. Die modernen Leistungstransistoren mit ihren Grenzdaten von etwa 30 V und 3 A eignen sich hierfür sehr gut. Ein Röhrenverstärker für 2 x 20 W würde mit seinen Endstufen und Ausgangstransformatoren sehr aufwendig werden, wenn er diese Leistung in einem breiten Frequenzband und bei einem niedrigen Klirrfaktor abgeben soll. In der transistorbestückten Endstufe ist durch den Fortfall des Ausgangstransformators mit seinen starken Phasenverzerrungen an den Frequenzgrenzen die Anwendung großer Gegenkopplungen (20-fach) möglich geworden, ohne daß dabei Schwingneigungen auftreten. Infolge der Gegenkopplung sinkt der Klirrfaktor für den in Heimgeräten in Frage kommenden Ausgangsleistungsbereich auf Beträge ab, die weit unter 1 % liegen. Der Eingangswiderstand des transistorisierten Niederfrequenzverstärkers konnte auf vergleichbare Werte wie bei Röhrenverstärkern gebracht werden; durch die spezielle Schaltungstechnik der Vorstufen liegt der Eingangswiderstand am ersten Transistor in der Größenordnung von 1 MΩ.

Die zum Betrieb des Transistorverstärkers bei Vollast benötigte Gleichstromleistung ist im Vergleich zu einem Röhrenverstärker erheblich geringer, weil die Heizleistung und die Leistungsverluste im Ausgangstransformator wegfallen und die Restspannungen der voll durchgesteuerten Leistungstransistoren verhältnismäßig klein sind. Dadurch wird erstens die Wärmeentwicklung vermindert, und zweitens kann der Netzteil für eine kleinere Leistung aus-

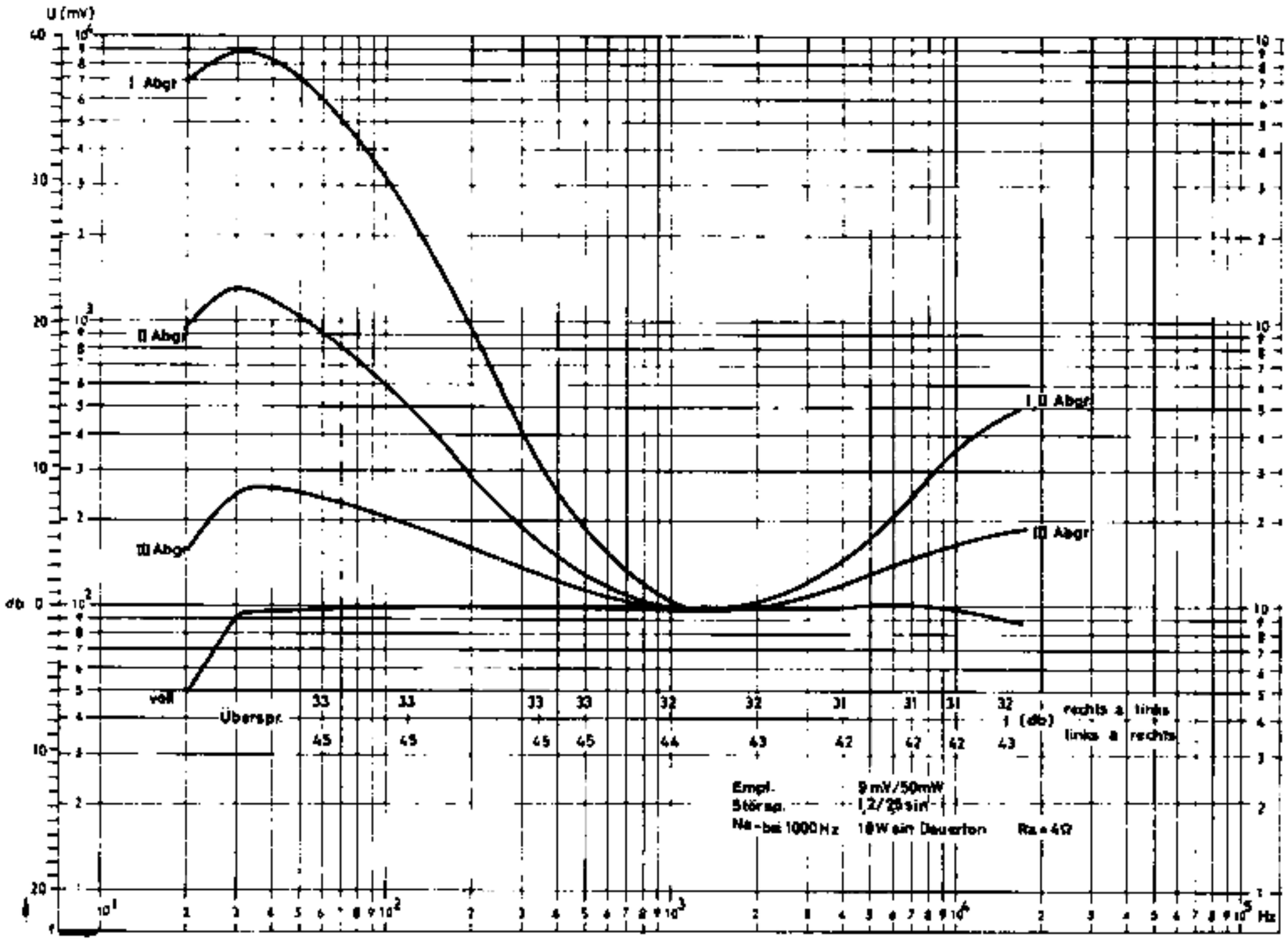
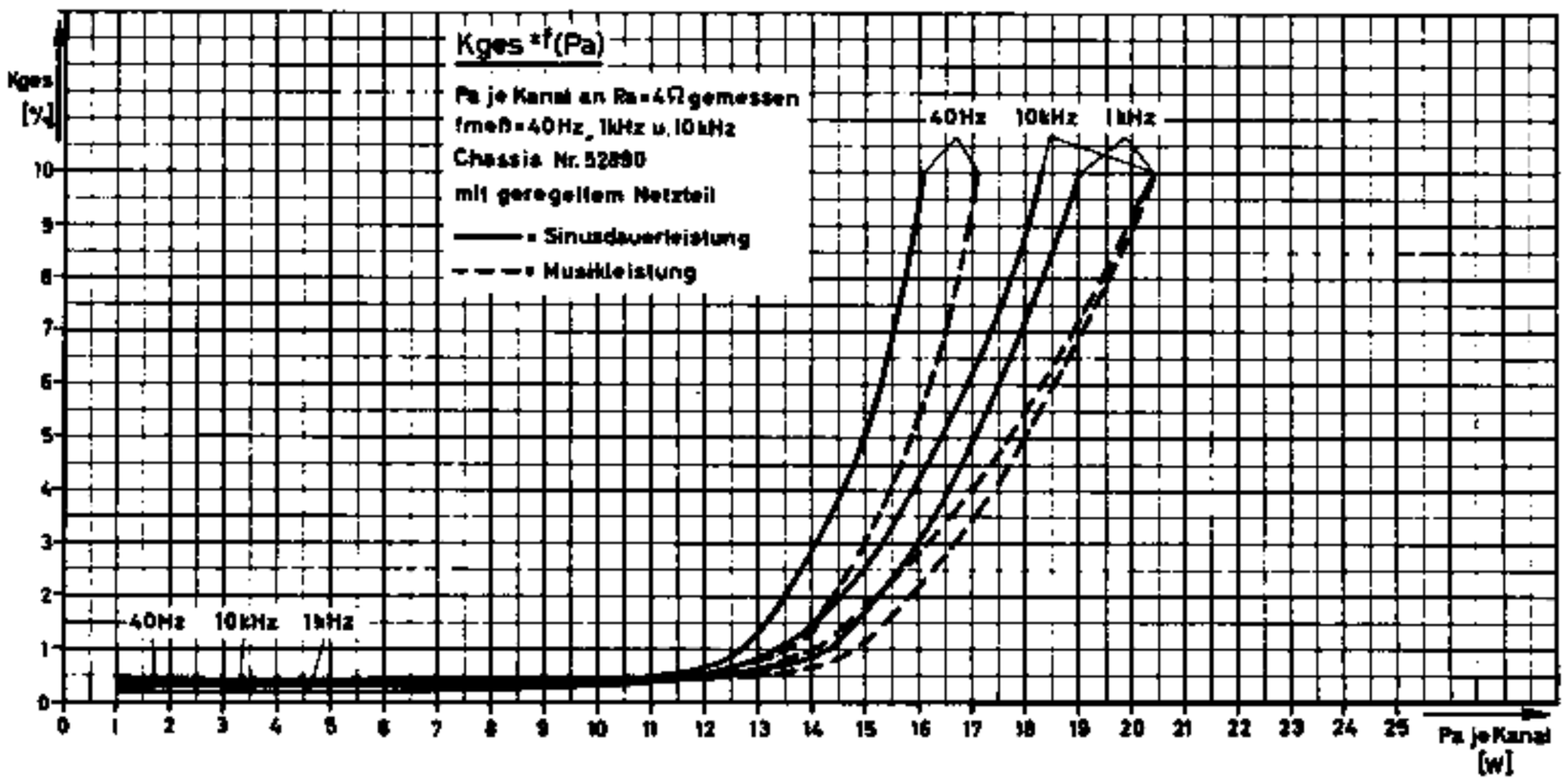


Bild 2: Frequenz-Kurven des NF-Verstärkers für verschiedene Lautstärkeregler-Stellungen

Bild 3: Klirrfaktorkurven des NF-Verstärkers



gelegt werden. Die Betriebsspannung der Endstufe wird durch einen geregelten Netzteil stabilisiert. Bei größter Aussteuerung und größtem Gleichstrombedarf beider Kanäle wird die Betriebsspannung annähernd konstant gehalten und auf diese Weise bei gleicher Leerlaufspannung eine größere Ausgangsleistung erzielt als ohne Netzteilstabilisierung. Die Leerlaufbetriebsspannung darf aus Gründen der Spannungssicherheit für die Transistoren nicht größer als —29 . . . —30 V gewählt werden.

Bei Transistorschaltungen hat man bekanntlich in der Fertigung und in der Reparatur mit starken Exemplarstreuungen der Transistoren hinsichtlich Steilheit und Stromverstärkungsfaktor zu rechnen. In dem Stereoverstärker des Steuergerätes »LO 40« sind in jeder einzelnen Transistorstufe durch die besondere Schaltungstechnik so starke Wechsel- und Gleichspannungsgegenkopplungen wirksam, daß sich derartige Streuungen innerhalb weiter Grenzen praktisch nicht auswirken. Ebenso wird durch derartige Gegenkopplungen die Temperaturstabilität sehr gut. So hängt z. B. die Streuung der Verstärkungsfaktoren in den Stereokanälen im wesentlichen nur von den Toleranzen einiger kleiner Schichtwiderstände ab! Bei evtl. später notwendig werdenden Reparaturen wirkt sich das sehr günstig aus. Ein Auswechseln von Transistoren gegen solche der gleichen Type kann ohne Schwierigkeiten vorgenommen werden, eine Veränderung der Verstärkerdaten, wie Verstärkungsfaktor, Ausgangsleistung und Aussteuerbereich, Gleichheit von linkem und rechtem Kanal, Klirrgrad usw., ist dabei nicht zu befürchten.

Bild 1 zeigt das gesamte Schaltbild des Chassis 52890. Anhand des linken NF-Kanals soll die Schaltung des transformatorlosen Transistor-NF-Verstärkers beschrieben werden. Der gesamte Niederfrequenzteil ist mit 17 Transistoren bestückt, auf jeden Kanal entfallen sieben Transistoren und weitere drei auf den geregelten Netzteil. Von den Transistoren T 1 . . . T 7 des linken Kanals bilden T 1 und T 2 die Vorstufe. T 3 ist die Treiberstufe, die über die Phasenumkehrstufe T 4, T 5 die Endstufe mit den Leistungstransistoren T 6 und T 7 ansteuert.

Vorstufe

Die beiden Vorstufentransistoren T 1 und T 2 sind miteinander in Gleichspannungskopplung verbunden. T 1 ist eine Impedanzwandlerstufe in Emitterfolgerschaltung. Sie hat durch die Rückführung der Emitterwechselspannung über C 98 auf den Basisteiler einen sehr hohen Eingangswiderstand in der Größenordnung von 1 mΩ. Dadurch fällt am Basiswiderstand R 54 nicht die gesamte Eingangswechselspannung ab, sondern nur die Differenzspannung zwischen Basis und Emitter, und R 54 erscheint somit vom Eingang her gesehen um ein Vielfaches vergrößert. Wie bei Röhrenverstärkern üblich, wird dieser hohe Eingangswiderstand in Verbindung mit dem hochohmigen Tandem-Lautstärkeregler R 55 am Eingang für eine gute Schallplattenwiedergabe mit Kristalltonarmen gebraucht.

Der Tandem-Lautstärkeregler ist eine lineare Ausführung mit maximal 2 dB Abweichung zwischen den beiden Widerstandsbahnen. Er hat bei einem Gesamtwiderstand von jeweils 1,3 MΩ je drei Anzapfungen bei 1/4, 1/2 und 3/4 des Gesamtwiderstandswertes. Durch eine passend gewählte Beschaltung der Anzapfungen mit RC-Gliedern zur Physiologie-Entzerrung entsteht ein logarithmischer Widerstandsverlauf und eine sehr gute physiologische Lautstärkeregelung. Bild 2 zeigt die Frequenzkurven des gesamten NF-Verstärkers für verschiedene Lautstärkeregler-Stellungen bezogen auf 1000 Hz ≙ 0 dB.

Der Transistor T 2 arbeitet als Spannungsverstärker in Emitterschaltung. Er wird von der Impedanzwandlerstufe in galvanischer Kopplung angesteuert. Durch die Widerstände R 61 und R 62 in der Emitterleitung entsteht eine Stromgegenkopplung und ein großer Ausgangswiderstand dieser Stufe, wie er für die Ansteuerung der Treiberstufe benötigt wird. Diese Stromgegenkopplung stabilisiert den Emittergleichstrom und den Verstärkungsgrad von T 2 gegen Temperaturschwankungen und Exemplarstreuungen. Ebenso ist bei der Emitterfolgerstufe T 1 eine starke Gegenkopplung durch den Widerstand R 58 wirksam.

Für T 1 und ebenso für T 2 werden die NF-Vorstufentransistoren AC 151 Gruppe VII bzw. AC 126 mit der hohen Stromverstärkung von 125 . . . 250 eingesetzt. Für T 1 werden auf geringes Rauschen besonders ausgemachte Exemplare der genannten Typen verwendet, während für T 2 normal rauschbehaftete Exemplare gewählt werden können. Dies ist bei Reparaturen genau zu beachten.

An den oberen Punkt von R 61, also wechselstrommäßig an den Emitter von T 2, ist der Balanceregler R 91 mit seinem einen Ende angeschlossen. Das andere Ende des Balancereglers ist mit dem entsprechenden Transistor T 9 im rechten Kanal verbunden. Je nach Stellung des Schleifers von R 91 wird die Gegenkopplung für T 2 verändert und somit die Spannungsverstärkung für den gesamten Kanal

vergrößert oder verkleinert. Im rechten Kanal erfolgt gleichzeitig eine entsprechende gegensinnige Veränderung der Spannungsverstärkung. Die Betriebsspannung für die Vorstufen wird von der Zenerdiode Gr 7 (BZY 83 D 12) auf —12 V stabilisiert. Der Endstufenbetriebsspannung (—29 V) sind infolge der starken Strombelastung durch die B-Endstufe noch restliche Spannungsschwankungen überlagert, die durch R 44 (2,2 kΩ), Gr 7 und C 106 geglättet werden. Bei einem dynamischen Zenerdiodenwiderstand von $r_{z\,max.} = 30\,\Omega$ beträgt der

$$\text{Glättungsfaktor} \geqq \frac{2200 + 30\,\Omega}{30\,\Omega} \approx 74$$

Treiberstufe

Die Treiberstufe T 3 arbeitet in Emitterschaltung mit einer sehr hohen Spannungsverstärkung. Sie ist mit dem HF-Leistungstransistor AF 118 bestückt, der vor allem durch die hohe Grenzfrequenz und die kleine Kollektor-Kapazität eine geringe Phasendrehung bei hohen Frequenzen und außerdem einen großen Spannungsaussteuerbereich hat. Bei derartig starken Gegenkopplungen, wie sie in dieser Schaltung angewendet werden, mußte auf sehr geringe Phasendrehungen in den einzelnen Stufen geachtet werden. So treten weder im normalen Aussteuerbereich noch im Übersteuerungsbereich Instabilitäten oder Schwingneigungen auf. Die Treiberstufe ist über C 101 an die Vorstufe angekoppelt. Über den Kondensator C 103, der vom NF-Ausgangspunkt der Endstufe auf den unterteilten Kollektorwiderstand R 65/R 66 der Treiberstufe führt, wird eine Mitkopplung angewandt. Eine Mitkopplung kann man in Transistorschaltungen ohne weiteres anwenden, wenn sie hinreichend phasenrein sind. Sie bewirkt eine Vergrößerung des Spannungsaussteuerbereiches der Treiberstufe T 3 und setzt gleichzeitig deren Stromaussteuerung sowie den Klirrfaktor und die Intermodulationsverzerrungen herab. Da die Phasenumkehrstufe und die Endstufe eine Spannungsverstärkung haben, die nur etwas kleiner als 1 ist, muß die Treiberstufe in der Lage sein, unverzerrt eine Wechselspannung abzugeben, die etwas größer ist als die Ausgangsspannung am Lautsprecher. Der Arbeitspunkt der Treiberstufe wird durch den Emitterwiderstand R 67 stabilisiert (Gleichstromgegenkopplung). R 67 ist mit dem Kondensator C 109 überbrückt, um nicht durch eine Wechselstromgegenkopplung die Spannungsverstärkung von T 3 absinken zu lassen. Der Gleichspannungsabfall an R 67 stabilisiert im wesentlichen den Kollektorstrom von T 3 gegen Exemplarstreuungen und die Temperaturabhängigkeit der Basis-Emitter-Spannung. Die Haupt-Gegenkopplung, die auch für T 3 wirksam ist, wird vom NF-Ausgang auf die Basis von T 3 geführt.

Phasenumkehrstufe

Die Phasenumkehrstufe bilden die zwei zueinander komplementären Transistoren T 4 (AC 127) und T 5 (AC 132 bzw. AC 152). Beide Transistoren haben praktisch gleiche elektrische Daten und Kennlinien, sie sind jedoch von entgegengesetzter Polarität, T 4 ist ein npn-Typ, T 5 ein pnp-Typ. Sie sind gleichstrommäßig in Reihe geschaltet, dabei sind ihre Emitteranschlüsse gegeneinander gerichtet. Mit ihren Basisanschlüssen sind sie an den Ausgang der Treiberstufe galvanisch angekoppelt. Die Endtransistoren T 6 und T 7 sind gleichfalls in galvanischer Kopplung mit den Komplementärtransistoren verbunden. R 68 und R 70 sind die relativ niederohmigen Außenwiderstände von T 4 und T 5. Die galvanische Kopplung spart Koppelelemente (Elkos und Widerstände zur Arbeitspunkteinstellung) ein und vermeidet Phasendrehungen und Verstärkungsabfälle an der unteren Frequenzgrenze. Dies gilt für alle galvanisch gekoppelten Stufen wie Vorstufe, Treiberstufe, Phasenumkehrstufe und Endstufe. Bei der Phasenumkehrstufe und der Endstufe kommt hinzu, daß bei galvanischer Kopplung die Mittenspannung der Endstufe sicher stabilisiert werden kann und ein einwandfreier B-Betrieb der Komplementärtransistoren und der Endtransistoren möglich ist.
Die Komplementärtransistoren T 4 und T 5 werden von der Ausgangswechselspannung des Treibers T 3 gleichphasig angesteuert. In den positiven Halbwellen führt jedoch nur T 4 Strom, während gleichzeitig T 5 gesperrt ist, in den negativen Halbwellen ist T 5 leitend und T 4 gesperrt. Entsprechend diesen Stromfluß- und Sperrphasen entstehen abwechselnd an den Außenwiderständen R 68 und R 70 kleine Halbwellensinusspannungen. Sie haben je nach Aussteuerung des NF-Verstärkers Scheitelwerte bis zu etwa 0,5 V (in Schaltungen, in denen bei den Endtransistoren keine Emitterwiderstände verwendet werden) bzw. 2 V (in dieser Schaltung mit Emitterwiderständen R 108 und R 109). Diese Spannungen reichen aus, um die Endtransistoren bis zu Kollektorströmen von $i_c = 3$ A durchzusteuern.
Im Ruhezustand ohne Signal fließt durch T 4 und T 5 ein kleiner Ruhestrom. Er entsteht dadurch, daß die Basisanschlüsse beider Transistoren mit dem Heißleiter R 93 verbunden sind. Der Kollektorgleichstrom von T 3 erzeugt an R 93 einen kleinen Spannungsabfall von ca. 0,4 V, durch den beide Transistoren etwas in Durchlaßrichtung vorgespannt werden. Das ergibt eine gewisse Überlappung ihrer Kennlinienzweige im unteren gekrümmten Bereich. Zum Einhalten der Symmetriebedingung sind für T 4 und T 5 gepaarte Transistoren einzusetzen (gleicher Kennbuchstabe).

Endstufe

Die Endstufe besteht aus den beiden Leistungstransistoren T 6 und T 7 (AD 150). Sie sind ebenfalls wie die Transistoren der Phasenumkehrstufe gleichstrommäßig in Reihe geschaltet und arbeiten im Gegentakt-B-Betrieb. Der Verbindungspunkt vom Emitter bzw. Emitterwiderstand R 108 des oberen Leistungstransistors T 6 zum Kollektor des unteren Leistungstransistors T 7 bildet den NF-Ausgangspunkt der Endstufe. An dieser Stelle wird auch der Lautsprecher über den verhältnismäßig großen Koppelkondensator C 111 angeschlossen. Die Emitterwiderstände R 108 und R 109 (0,5 Ω) dienen durch ihre gegenkoppelnde Wirkung zur sicheren Sperrung der Endtransistoren bei Frequenzen, die in der Nähe der β-Grenzfrequenz (12 kHz) und höher liegen.
Zum Erreichen einer symmetrischen Endstufenaussteuerung wird das Mittenpotential des NF-Ausgangspunktes im Ruhezustand auf einen Wert von etwa der halben Betriebsspannung festgehalten. Von dem Spannungsteiler R 63/R 64, der mit seinem oberen Ende an den NF-Ausgangspunkt angeschlossen ist, wird die Basisspannung für T 3 abgegriffen. Dadurch entsteht eine 20fache Gegenkopplung für Gleich- und Wechselspannungen, die den Arbeitspunkt von T 3 und das Mittenpotential stabilisiert. Diese Gegenkopplung hat noch weitere sehr wichtige Vorteile. Sie verringert in der Endstufe beträchtlich den Klirrfaktor und besonders die störenden Übernahmeverzerrungen, für die das Gehör sehr empfindlich ist. Außerdem verursacht sie eine Verringerung des Innenwiderstandes der Endstufe auf einen Wert von nur 0,4 Ω. Er beträgt somit den zehnten Teil des Lautsprecher-Anpassungswiderstandes. Durch einen so kleinen Innenwiderstand wird die Ausgangsspannung des Verstärkers nahezu lastunabhängig, und störende Lautsprecher-Eigenresonanzen erfahren eine gute Dämpfung.
Der Kondensator C 102 verstärkt die Gegenkopplung bei Frequenzen über 16000 Hz, er vermindert den Klirrfaktor bei hohen Frequenzen und bestimmt die obere Grenzfrequenz des Verstärkers. Parallel dazu liegt der Höhenregler R 60/C 100, mit dem durch Gegenkopplungsregelung die Höhen beschnitten werden können.
Im Ruhezustand ohne Signal sind die beiden Endtransistoren T 6 und T 7 durch die geringen Ruhespannungsabfälle an R 68 und R 70 — durch diese Widerstände fließt der Ruhestrom der Phasenumkehrstufe — geringfügig in Durchlaßrichtung vorgespannt, so daß ein Endstufenruhestrom von ca. 15 . . . 20 mA fließt. Bei Vorhandensein einer NF-Wechselspannung am Ausgang der Treiberstufe T 3 wird während der positiven Halbwellen der Leistungstransistor T 7 von T 4 angesteuert und stromführend, der obere Leistungstransistor T 6 ist zusammen mit T 5 gleichzeitig gesperrt. Während der negativen Halbwellen werden T 6 und T 5 angesteuert und stromführend sowie gleichzeitig T 7 zusammen mit T 4 gesperrt.
In den negativen Halbwellen wirken T 5 und T 6 lediglich als Stromverstärker in Emitterfolgerschaltung, die Gesamtstromverstärkung ist ungefähr

gleich dem Produkt der Einzelstromverstärkungen. Die Spannungsverstärkung ist etwas kleiner als 1. Eine ebensolche Funktion haben T 4 und T 7 in den positiven Halbwellen, obwohl deren Schaltung etwas von der oberen abweicht, die Gesamtstromverstärkung ist auch hier wieder ungefähr gleich dem Produkt der Einzelstromverstärkungen. Die Verstärkungssymmetrie erfordert für die Leistungstransistoren gepaarte Typen. In dem angeschlossenen Lastwiderstand (Lautsprecher) setzen sich die beiden Stromhalbwellen, die abwechselnd von dem oberen und dem unteren Gegentakt-Transistorzweig kommen, wieder zum vollständigen Wechselstrom zusammen. Dabei schwankt das Mittenpotential der Endstufe entsprechend der Ausgangswechselspannung am Lastwiderstand um seine Mittellage. Bei Vollaussteuerung der Endstufe erreicht die dem Mittenpotential überlagerte Wechselspannung mit dem oberen und dem unteren Scheitelwert zusammen nahezu den Betrag der Betriebsspannung. Die Größe der Betriebsspannung bildet somit die Aussteuerungsgrenze. Zwischen der Ausgangsleistung Pa, dem Lautsprecheranpassungswiderstand Ra und der Betriebsspannung Ub besteht ein bestimmter Zusammenhang:

$$U_b = \sqrt{8 \cdot P_a \cdot R_a} + 2\,U_{CE\,sat} + 2\,\hat{u}_{RE}$$

Als Betriebsspannung des Verstärkers ist also mindestens zu wählen: der doppelte Scheitelwert der Ausgangswechselspannung zuzüglich zweifache Kollektorrestspannung $U_{CE\,sat}$ des voll durchgesteuerten Leistungstransistors und zweifacher Spannungsabfall $\hat{u}_{RE}$ am Emitterwiderstand R 108 bzw. R 109.

Für $P_a = 20\,W$, $R_a = 4\,\Omega$,

$U_{CE\,sat} = 0{,}5\,V$ und $\hat{u}_{RE} = 1{,}5\,V$

erhält man

$$U_b = \sqrt{8 \cdot 20 \cdot 4} + 2 \cdot 0{,}5 + 2 \cdot 1{,}5 \quad [V]$$

$$\underline{U_b = 29\,V}$$

Bei dieser Betriebsspannung wird noch ein genügender Sicherheitsabstand von den zulässigen Spannungsgrenzwerten der Transistoren eingehalten. Durch weitere, den Spannungsaussteuerbereich einengende Spannungsabfälle an R 67, am Innenwiderstand des Netzteiles, am Innenwiderstand des Elektrolytkondensators C 111 werden 20 W Leistung nur mit ca. 10% Klirrfaktor abgegeben, an den Scheitelwerten der Ausgangsspannung zeigt sich bereits eine Abkappung (Clipping).

Die Phasenumkehr- und die Endtransistoren arbeiten im B-Betrieb. Das ergibt bei gegebener Ausgangsleistung die geringste Verlustleistung in den Transistoren. Die Endtransistoren der beiden Stereokanäle und der Leistungstransistor des geregelten Netzteiles sind auf einem großen Kühlblech angeordnet, das zur besseren Wärmeableitung geschwärzt ist. Für einen einwandfreien B-Betrieb ist die richtige Einstellung des Ruhestromes besonders wichtig. Ein zu hoher Ruhestrom läßt die Verlustleistung in den Transistoren unnötig anwachsen, ein zu kleiner Ruhestrom verursacht leicht Übernahmeverzerrungen, die u. U. bei kleinen Ausgangsleistungen hörbar werden können. Die starke Gegenkopplung in der Endstufe mildert jedoch derartige Erscheinungen bei geringfügigen Abweichungen des Ruhestromes von seinem Optimalwert. Durch den Heißleiter, der mit auf dem Kühlblech für die Transistoren befestigt ist, wird der Ruhestrom temperaturstabilisiert.

Geregelter Netzteil

Der geregelte Netzteil (Bild 1) liefert an seinen Ausgangsklemmen eine stabilisierte Spannung von rd. —29 V und speist beide NF-Kanäle. Als Stellglied dient der Leistungstransistor T 17, er ist mit dem Treiber T 16 als Emitterfolger in Kaskade geschaltet. T 15 ist der Spannungsverstärker, der über den Teiler R 115/R 116 die Ausgangsspannung mit der Referenzspannung vergleicht, die an der Zenerdiode Gr 8 (BZY 83 D 12) abfällt.

Bei Abweichungen der Ausgangsspannung vom Sollwert infolge von Netzspannungs- oder Lastschwankungen ändert sich der Kollektorstrom von T 15. Dadurch verlagert sich entsprechend die Kollektorspannung von T 15, die wiederum die Kaskade an der Basis von T 16 ansteuert. Eine Verschiebung des Basispotentials von T 16 wirkt sich mit großer Stromverstärkung direkt als gleiche Verschiebung des Emitterpotentials von T 17 aus, wodurch auf diese Weise der äußeren Spannungsveränderung entgegengewirkt wird. Die Kondensatoren C 131 und C 132 dienen zur Ableitung von Strömen bei höheren Frequenzen.

Um die Verständlichkeit der vorangegangenen Ausführungen über »Eisenlose Endstufen« zu vertiefen, geben wir allgemeine theoretische Gedanken in einer kurzgefaßten Übersicht mit vergleichenden Überlegungen über die wichtigsten prinzipiellen Schaltungsvariationen bei Verwendung von Röhren oder Transistoren wieder.

Eisenlose NF-Endstufen

Diese Abhandlung könnte auch mit »Brückenschaltungen in der NF-Endstufe« überschrieben werden, denn darum handelt es sich bei allen Ausführungen »eisenloser« Endstufen. »Eisenlos« bedeutet dabei, daß diese Endstufen ohne Ausgangstransformator auskommen und deshalb folgende Vorteile bieten. Man vermeidet die Verluste und Verzerrungen des Ausgangstrafos und gewinnt die doppelte Ausgangsleistung bei gleichem Klirrfaktor.

Prinzip:

Eine Ankopplung des Lautsprechers ohne Ausgangstrafo läßt sich in normalen Gegentakt-Endstufen aus folgenden Gründen nicht durchführen:

1. Ein Lautsprecher mit Mittelabgriff der Schwingspule ist nicht handelsüblich; außerdem sinkt der Wirkungsgrad, da jeweils nur eine Hälfte der Schwingspule in Betrieb ist.
2. Für viele Zwecke ist eine gleichstrommäßige Trennung des Lautsprechers vom Verstärker wünschenswert. Nach Möglichkeit soll außerdem der Lautsprecher unsymmetrisch an Masse liegen.
3. Man benötigt – insbesondere bei Röhrenschaltungen – recht hochohmige Lautsprecher, die in der Fertigung teuer und ebenfalls nicht handelsüblich sind.

Mit Hilfe von Brückschaltungen lassen sich diese Schwierigkeiten weitgehend überwinden. Abb. 1 zeigt das Prinzip. Die vier Impedanzen Z_1 bis Z_4 können aus Röhren, Transistoren, Spannungsquellen oder anderen Bauteilen bestehen. Die Brücke ist abgeglichen, wenn am Lautsprecher keine Spannung anliegt. Steuert man diese Impedanzen in geeigneter Phasenlage, so wird die Brücke aus dem Gleichgewicht gebracht, so daß durch den Lautsprecher ein Strom fließt.

Dieses Prinzip kann man in vielfältiger Weise mit Röhren, pnp- oder npn-Transistoren abwandeln, so daß man zu vielen Schaltungsvariationen kommen kann, von denen hier einige aufgezeigt werden.

Abb. 1

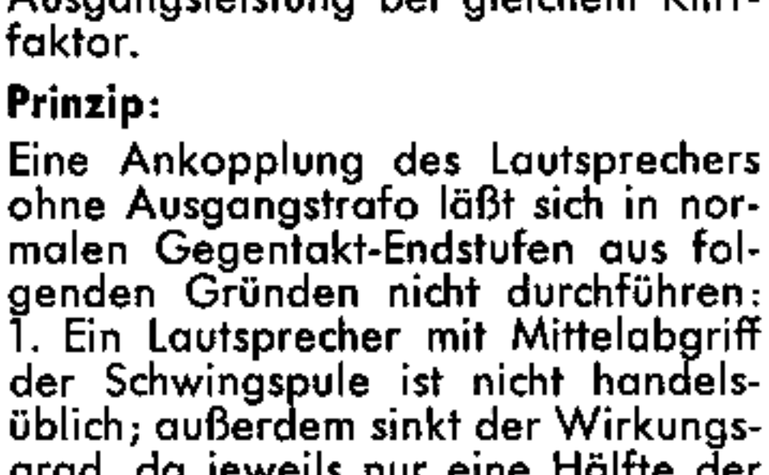
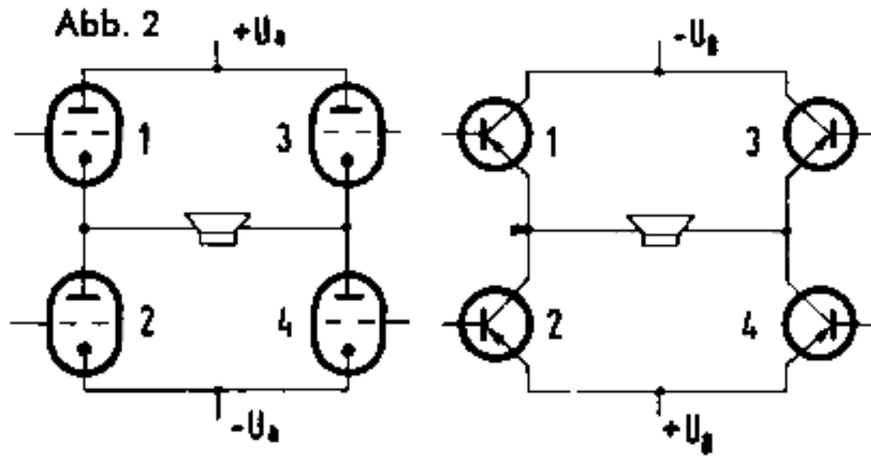


Abb. 2



a) Brückenschaltungen mit vier Röhren oder Transistoren

Die Glieder 1 und 4 sowie 2 und 3 werden gleichphasig angesteuert. Diese Schaltungsart bietet trotz des großen Aufwands einige Vorteile: Sie ist besonders stabil gegenüber Alterung (Röhren) oder Temperaturgang (Transistoren). Schwierig ist die Ansteuerung der einzelnen Glieder. Die Glieder 1 und 4, die gleichphasig angesteuert werden, haben einen unterschiedlichen Steuerspannungsbedarf, da Glied 1 in Anodenbasis- bzw. Kollektorschaltung und Glied 4 in Katodenbasis bzw. Emitterschaltung betrieben werden.