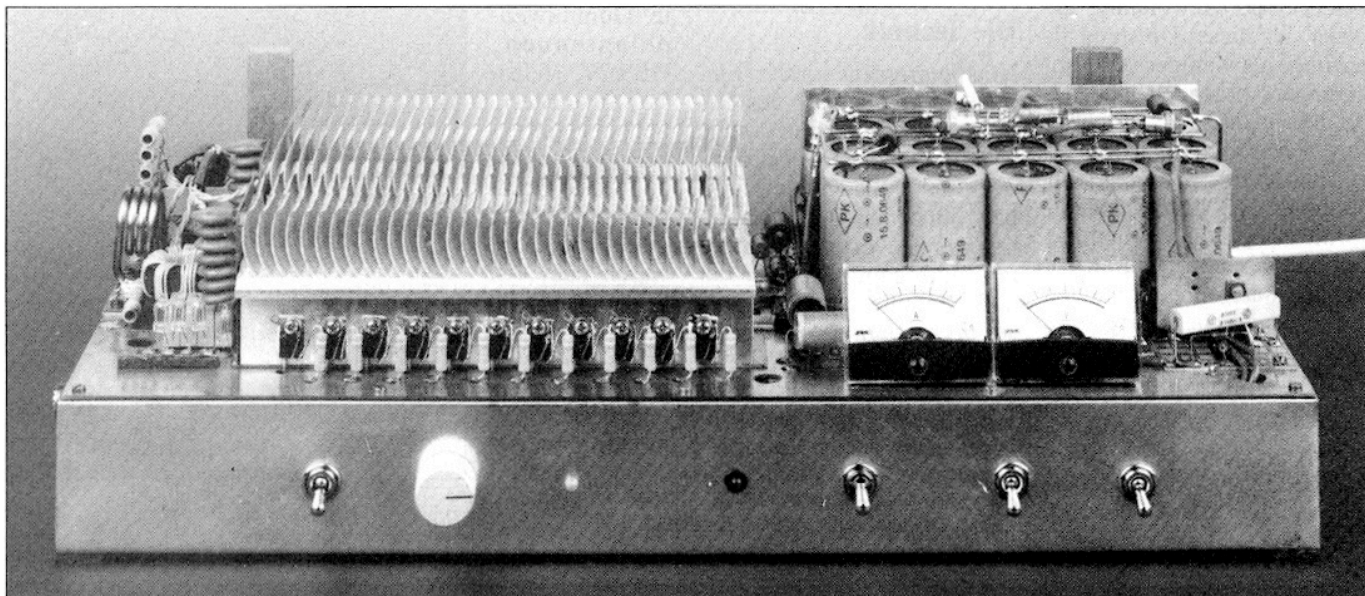


# Transistor-Linear-PA nach DL9AH

Alle Funkdienste sind bemüht, die Betriebssicherheit ihrer Funkverbindungen auch unter widrigen Betriebsbedingungen so hoch wie möglich zu halten. Dies gilt auch für den Amateurfunkdienst. So wundert es nicht, daß Funkamateure in aller Regel bemüht sind, ihre Antennenanlagen zu optimieren. Wunderantennen gibt es allerdings nicht. Selbst eine Idealantenne kann nur die Sendeleistung abstrahlen, die man ihr zuführt. Zuguterletzt bleibt nur die Erhöhung der Sendeleistung übrig, will man im QRM weiterhin bestehen.



## Vorüberlegungen

Der Verfasser hat sich seit mehr als 3 Jahrzehnten u. a. auch mit dem Bau von Senderstufen beschäftigt. Wichtig war ihm dabei, daß die Schaltung einfach und damit nachbausicher war, daß ein schwingungsfreier, sauberer und robuster Betrieb mit einem hohen Wirkungsgrad möglich war und daß die Kosten letztendlich in überschaubaren Größenordnungen verblieben. Unter diesen Prämissen entstanden die Linear-PAs (PA = Power Amplifier = Leistungsverstärker) nach DL9AH I bis VI/I, die mehrfach in der cq-DL und der »beam« veröffentlicht worden sind.

Neben den besonderen Schaltungsmerkmalen wurden in diesen PAs Zeilenendröhren aus Fernsehgeräten verwendet (PL 36, PL505, PL 509, PL519). Diese Impulsröhren waren eigentlich für die Hochfrequenzverstärkung nicht vorgesehen. Sie erwiesen sich aber bei richtiger Behandlung als so gut, daß sie typischen Senderöhren nicht nur ebenbürtig, sondern in mancherlei Beziehung erheblich überlegen waren. So wurde unter Verwendung von 150 W Anodenverlust-

leistung nominal mit einer dazu entwickelten Arbeitspunktautomatik nicht nur ein Output von bis zu 5 kW möglich, sondern bei 2 - 3 kW Output im C-Betrieb auch noch ein Wirkungsgrad von ca. 90% (!) erreicht; Werte, die bis dahin für nahezu unmöglich gehalten worden waren. Die Entwicklung dieser Zeilenendröhren-PA konnte damit als abgeschlossen betrachtet werden.

## Halbleiter-PA: Bipolar contra FET

Mit zunehmender Volltransistorisierung, und auch dadurch, daß seit ca. 1978 Zeilenendröhren nicht mehr gefertigt wurden, galt es nun, eine Lösung zu finden, um mit Transistoren ähnliche Ergebnisse zustande zu bringen. Das aber war gar nicht so einfach.

Eine Reihe von Versuchen mit bipolaren Transistoren wurde immer wieder verworfen. Die geringe Spannungsfestigkeit zwang zu einer niedrigen Betriebsspannung. Um auf die geforderte Leistung von ca. 750 W zu kommen, wären Spitzenströme von 200 A und mehr notwendig geworden. Das wiederum hät-

te Arbeitswiderstände von ungefähr 0,1 Ohm nach sich gezogen, usw. usw.

Unter Berücksichtigung dieser Verhältnisse wird verständlich, warum auch im kommerziellen Bereich HF-Endstufenmodule oberhalb von 200 W kaum zu finden sind. Man hilft sich dann so, daß in einem Gehäuse vier

### *Bild 1: Vorderansicht der Endstufe*

Endstufenmodule parallel geschaltet und in einem Leistungsaddierer (combiner) aufaddiert werden. Eine aufwendige, teure und auch kritische Methode. Wenn man hochfrequente Leistung addieren will, dann müssen die von den vier Modulen kommenden Spannungen gleiche Phase haben. Das zwingt nicht nur zu einem völlig gleichen Aufbau der Module, alle Transistoren müssen auch ein gleiches dynamisches Verhalten aufweisen.

Sie müssen aus einer großen Zahl von Transistoren zu vier gleichen, auch untereinander gleichen Paaren herausgemessen werden. Es kommt hinzu, daß die weitestgehend logarithmische

Kennlinie von bipolaren Transistoren eine im Prinzip unsaubere Kennlinie ist. Intermodulationsabstände (z. B. 3. Ordnung) von 30 - 35 dB (auf 2 - Ton bezogen), wie sie bei Röhrendstufen üblich sind, lassen sich mit bipolaren Transistoren nur mit Mühe erreichen. Im Kleinaussteuerungsbereich, also dort, wo sich der größte Teil der Sprachaussteuerung befindet, sinkt die Qualität häufig sogar auf Intermodulationsabstände von unter 20 dB (!) ab. Ein bescheidener Erfolg bei einem insgesamt doch recht großen Aufwand. Das alles wollte der Verfasser nicht!

## Impuls-Leistungs-FETs - (fast) ideal...

Auf der Suche nach dem optimalen Halbleitertyp stieß der Verfasser schließlich auf Impuls-Leistungs-Feldeffekt-Transistoren. Diese, eigentlich für den Impulsbetrieb vorgesehenen, selbstsperrenden MOS-FETs, hatten bei näherer Betrachtung alle Vorteile auf ihrer Seite:

1. Sie waren ausreichend spannungsfest, um im Gegentakt mit einer Betriebsspannung von ca. 160 V sicher arbeiten zu können.





L2 (Mp - E2) durch Sperrung von T22 immer noch stromlos ist, kann sie zur Transformation herangezogen werden. Die an dieser windungszahlgleichen Wicklung entstehende Spannung von ebenfalls  $140 V_s$  ist mit der oberen Spannung phasengleich und addiert sich mit dieser zu  $280 V_s$  zwischen A1 und E2. Rechnet man die Spitzenspannung auf den Effektivwert zurück, so ergibt sich  $200 V_{eff}$ . Legt man nun den Lastwiderstand von  $50 \text{ Ohm}$  über die Koppelkondensatoren C5 und C6 zur Gleichspannungstrennung parallel zu diesem Spartransformator L2, so ergibt die an ihm stehende hochfrequente Wechselspannung nach der allgemein bekannten Formel:

$$P = U^2/R$$

eine Leistung von  $800 \text{ W}$ . Diese auf eine Halbwelle bezogene Betrachtungsweise muß notwendigerweise noch um den Ablauf der zweiten Halbwelle ergänzt werden. Hatte bei dem oben beschriebenen Vorgang die positive Halbwelle den Transistor T1 durchgesteuert, so folgt nun die negative Halbwelle, die T1 sperrt. Gleichzeitig erhält T22 in Zuge der gegenphasigen Aus-

steuerung jetzt die positive Halbwelle.

Die Verhältnisse, die zuvor bei T1 abgelaufen waren, wiederholen sich nun bei T22, jedoch mit dem einen, aber wichtigen Unterschied, daß der über den Transistor fließende Elektronenstrom jetzt in Gegenrichtung von E2 zum Mittelpunkt Mp fließt. Daraus ergeben sich für diese zweite Halbwelle zwar die gleichen Spannungsverhältnisse, die Polaritäten sind aber umgekehrt. Dort, wo vorher minus war, ist jetzt plus; im Breitband-Spartransformator sind beide Halbwellen wieder zu einer kompletten Sinusschwingung zusammengesetzt worden. Alle Vorteile eines Spartransformators konnten hier sowohl in technischer als auch finanzieller Hinsicht erneut voll ausgeschöpft werden. Die zunächst symmetrisch anfallende Ausgangsleistung von  $800 \text{ W}$  brauchte nur noch über einen einfach zu erstellenden 2-Draht-Balun (balanced - unbalanced) auf den Ausgang geleitet zu werden und konnte dort asymmetrisch mit  $50\text{-Ohm-Koax-}$  Kabel abgegriffen werden. Um die Stromaufnahme der PA zu ermitteln, empfiehlt es sich, einfach mit Spitzenspannungen und

-strömen zu rechnen. Da am Lastwiderstand von  $50 \text{ Ohm}$  die um den Faktor 2 hochtransformierte Spannung von  $280 V_s$  steht, arbeitet jede Seite auf ein Viertel von  $50 \text{ Ohm} = 12,5 \text{ Ohm}$ .

$$\frac{U_1}{U_2} = \sqrt{\frac{R_1}{R_2}}$$

Der Spitzenstrom, der über die Transistoren jeweils fließen muß, beträgt also:

$$I_s = \frac{U_s}{R} = \frac{140 V_s}{12.5 \Omega} = 11.2 \text{ A}$$

Der mittlere Gleichstrom errechnet sich bei sinusförmigen Halbwellen und B-Betrieb gemäß Integralrechnung:

$$I = \frac{I_s}{\pi}$$

Da zur Vermeidung von Übernahmeverzerrungen ein Ruhestrom von ca.  $0,5 \text{ A} - 0,7 \text{ A}$  fließen muß, also kein absoluter B-Betrieb vorliegt, kann der

Wert für  $\pi = 3,14$  auf 3 abgerundet werden. Es ergibt sich somit auf jeder Seite ein Gleichstrom von  $3,73 \text{ A}$ ; beide zusammen also etwa  $7,5 \text{ A}$ . Der Input beträgt somit bei  $160 \text{ V}$  Gleichspannung und  $7,5 \text{ A}$  Gleichstrom:

$$P = U I = 160 V \cdot 7.5 A = 1200 W$$

Setzt man den Output von  $800 \text{ W}$  ins Verhältnis zum Input von  $1200 \text{ W}$ , so ergibt sich ein Wirkungsgrad von:

$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}} = \frac{800 W}{1200 W} = 66,6 \%$$

Dieser Wert wurde in der Praxis auch ziemlich genau erreicht. Nach diesen Betrachtungen im Ausgang der PA wenden wir uns nun dem Eingang zu. Wie schon erwähnt, müssen beide Gegentaktseiten gegenphasig angesteuert werden. Außerdem muß beachtet werden, daß bei diesen



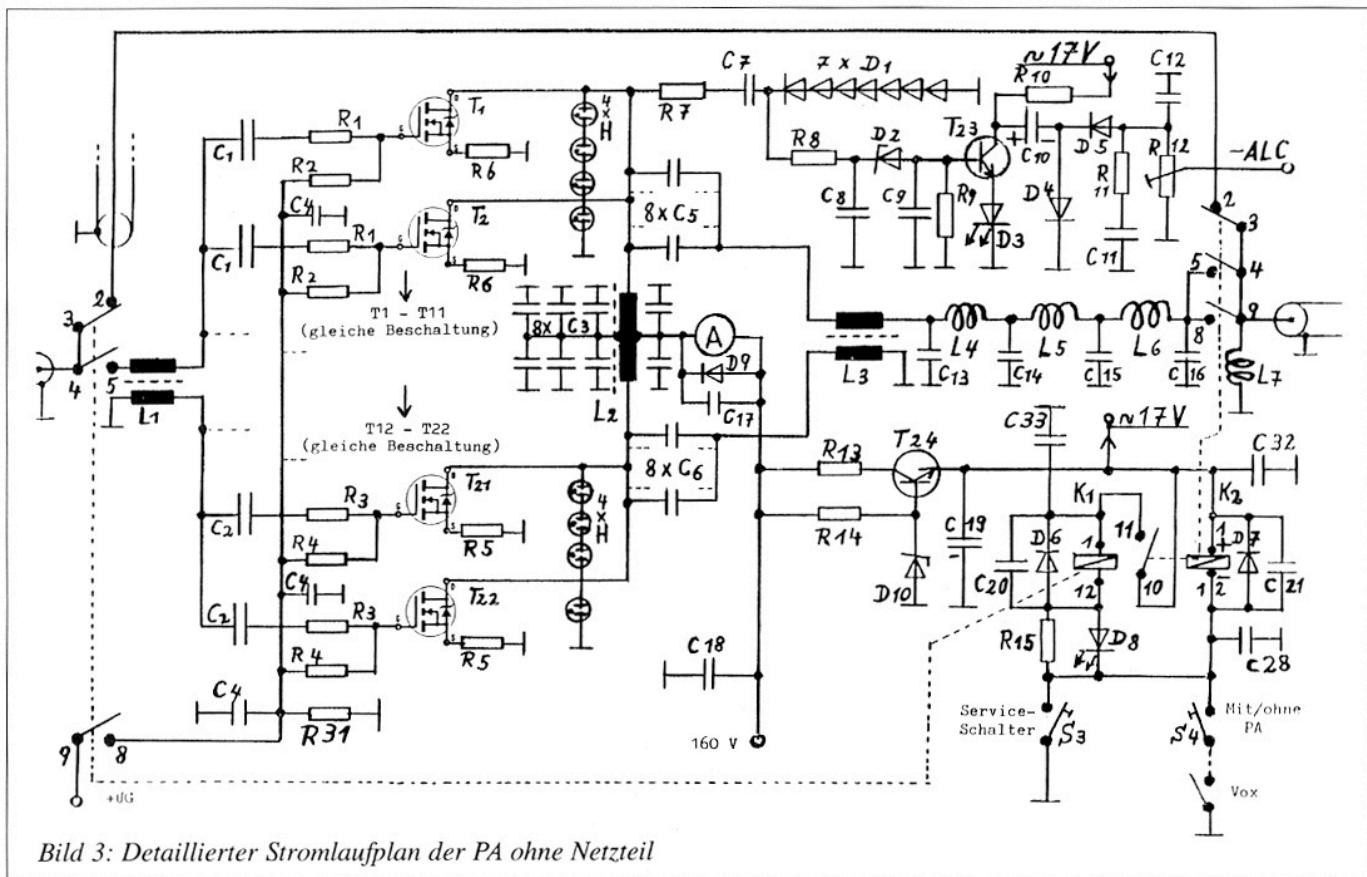


Bild 3: Detaillierter Stromlaufplan der PA ohne Netzteil

Power-FETs die Gate-Source-Strecke bei negativen Halbwellen durchlässig wird.

Der Eingangswiderstand bekommt also bei negativen Spannungswerten am Eingang einen Kennlinienknick. Werden keine Vorsorgemaßnahmen ergriffen, so führt diese Unlinearität zu Formveränderungen des Steuersignals und damit zu nichtlinearen Verzerrungen. Weiterhin muß die Eingangskapazität von jeweils 170 pF, zu der sich neben anderen Einflüssen noch die Rückwirkungskapazität von

$$6,3 \text{ pF} \times (V_u + 1) = \text{ca. } 250 \text{ pF}$$

addiert, frequenzkompensiert werden. Letztendlich muß auch noch die vom Steuersender kommende maximale Steuerleistung in Wärme umgesetzt werden können.

Ein Blick in das Prinzipschaltbild verdeutlicht die einfache Lösung dieser Probleme. Das unsymmetrische Eingangssignal wird zunächst über einen einfachen 2-Draht-Balun symmetriert und dann von beiden Seiten (Ende 1 und Ende 2) über 2 Spannungsteiler R1/R2 und R3/R4 hochfrequenzmäßig gegeneinan-

der gegen Masse geschaltet. Die Summe aller Widerstände soll etwa 50 Ohm ergeben, sodaß das Eingangskabel sauber abgeschlossen ist. Die Belastbarkeit der Widerstände wird kurzerhand so hoch gewählt, daß die ankommende Steuerleistung problemlos in Wärme umgesetzt werden kann.

Die Spannungsteilerverhältnisse sind so berechnet, daß auch bei etwas mehr als 100 W Steuerleistung die kritische Grenze von  $\pm 20 \text{ V}_s$  am Gate nicht überschritten wird. Durch die Gegenschaltung der Spannungsteiler wird außerdem die gegenphasige Ansteuerung der beiden Gegentaktseiten sichergestellt. Bleibt nur noch das Überwinden des mit steigender Frequenz niederohmig werdenden kapazitiven Widerstandes der Gesamteingangskapazität  $C_e$ . Dieser kapazitive Widerstand, der auf 20 m bereits sehr niederohmig ist, liegt R2 bzw R4 parallel und mindert die Steuerwechselspannung bereits erheblich.

Um auf allen Bändern mit etwa gleicher Steuerleistung zurechtzukommen, wird folgendes Verfahren angewandt: R2 wird etwas vergrößert und R1 wird etwas verkleinert, und zwar so

weit, daß auf 20 m eine Vollaussteuerung mit ca. 60 W möglich ist. Um auf 160 m bei gleicher Steuerleistung nicht zuviel Steuerspannung an den Gates zu erzeugen, werden die Koppelkondensatoren C1 und C2 etwa auf den gleichen Wert der Eingangskapazität zurückgenommen. Somit ergibt sich bei fallender Frequenz ein deutliches Vorwiderstandsverhalten. Die Koppelkondensatoren und die Eingangskapazitäten kompensieren sich jetzt gegenseitig. Bei steigender Frequenz werden beide niederohmig, bei fallender Frequenz werden beide hochohmig. Durch diese Eingangsschaltung, bei der die vorgeschalteten, linearen Bauelemente einen dominierenden Einfluß haben, erledigt sich die Eingangsunlinearität durch Widerstandssprung bei negativen Halbwellen von selbst. Es kommt hinzu, daß die Sourcewiderstände (R5/R6) im Zuge ihrer Mehrfachaufgaben auch hier linearisierend wirken.

## Der Stromlaufplan

Ein Blick in das eigentliche Schaltbild der PA zeigt, daß die gerade behandelten prinzipiellen Überlegungen hier ihren Niederschlag gefunden haben. In Stellung »Empfang« wird das Antennen-

signal an der PA vorbeigeleitet, in Stellung »Senden« wird das Steuersignal über die Kontakte 4/5 des Eingangsrelais K1, über den Eingangsbalun L1, über die Koppelkondensatoren C1/C2 und die Widerstände R1/R3 auf die Gates der insgesamt 22 MOS-FETs gegeben. 2 x 11 Transistoren jeweils parallel zu schalten war notwendig, um auf eine gesamte Drainverlustleistung von ca. 800 W - gleich 50% Überdimensionierung - zu kommen. Bei den Strömen ist es dann noch günstiger. Selbst bei einer Erwärmung auf 100 °C ist ein Gleichstrom von 26,4 A, und ein Spitzenstrom von 110 A möglich - eine völlig ausreichende Überdimensionierung.

Jeder Transistor erhält im Eingang einen eigenen Spannungsteiler, was eine Reihe von Vorteilen hat. Zunächst kann man handelsübliche 2-W- bzw. 4-W-Kohle-Widerstände verwenden, sodaß die große Zahl der Widerstände automatisch eine ausreichende Belastbarkeit ergibt. Des weiteren bleibt es bei jedem einzelnen Spannungsteiler bei der Frequenzkompensation von nur einer Eingangskapazität  $C_e$ . Außerdem wirken die (»Vor-«) Widerstände wie Dämpfungs- oder Entkoppelwiderstände, sodaß es



bei dieser Anordnung, selbst bei abgeschraubtem Ein- und Ausgangskoaxkabel, also bei offenem Ein- und Ausgang, nicht zu wilden Schwingungen kommt. Allerdings ist daran auch die Art des mechanischen Aufbaus beteiligt.

Jeder Transistor erhält einen eigenen, nicht kapazitiv überbrückten Sourcewiderstand, der einerseits verschiedene, innerhalb der Toleranz streuende Transistoren elektrisch angleicht, der andererseits durch Gegenkopplung linearisierend wirkt. Der Verfasser hat innerhalb dieses Schaltungskonzepts 3 mal die Transistoren unausgesucht erneuert und jedesmal die Intermodulationsabstände gemessen. Ergebnis: alle 3 Sätze lagen oberhalb von 35 -40 dB (auf 2-Ton bezogen) - bei Groß- und Kleinsignalaussteuerung.

Damit ist die PA besser als die meisten Sender oder Transceiver. Unnötig zu erwähnen, daß keine PA, auch diese nicht, übersteuert werden darf, da sonst die guten Werte zurückgehen und »Splatter« entstehen.

Um die Spannungsspitzen, die möglicherweise durch Wackelkontakte oder Funken im Ausgang entstehen können, zu kap-

Output	ca. 750 W ( Einton - Oberstrich )
Frequenz	1,8 - 14,5 MHz
IM - D3	besser als 35 dB ( auf 2-Ton bezogen )
IM - D3	besser als 41 dB ( auf 1-Ton bezogen )
Steuerleistung	60 W - 100 W max.
Betriebsspannung	230 V ~
Arbeitsspannung	160 V =
Stromaufnahme	ca. 7 - 9 A
Ruhestrom	ca. 0,5 - 0,7 A
Input	ca. 1200 - 1400 W
Wirkungsgrad	ca. 65 %

pen, sind auf jeder Gegentakte vier hintereinandergeschaltete Glimmlampen von den zusammengefaßten Drains nach Masse geschaltet. Sie haben eine Zündspannung von zusammen ca. 320 V - 340 V und verhalten sich während des normalen Betriebs neutral. Übersteigt eine Spannungsspitze diesen Wert, so zünden sie und belasten diese Spitze so, daß die Zerstörungsgrenze von 400 V möglichst nicht erreicht wird. Trotz dieser Schutzvorkehrung sollte aber auf saubere Kontakte geachtet werden, sodaß vor allem Leistungsfunken erst gar nicht entstehen können.

Wie bereits erläutert, ist die Stromquelle für die Ausgangsspitzenströme der Abblockkondensator C3 am Mittelpunkt von L2. Um die Entladungsinduktivitäten klein zu halten und um handelsübliche Kondensatoren verwenden zu können, wurden acht Kondensatoren mit kurzen Drähten parallel geschaltet. Das gleiche gilt für C5 und C6.

### Tiefpaßfilter, Störverhalten

Das Ausgangssignal steht grundsätzlich hinter L3 zur Verfügung. Um aber ganz sicher zu sein,

daß Störungen des UKW- oder Fernsehgrundfunkempfangs durch Oberwellen ausgeschlossen werden, hat der Verfasser gleich ein 3-stufiges Tiefpaßfilter mit einer oberen Grenzfrequenz zwischen 15 und 20 MHz eingebaut (L4 bis L6 und C13 bis C16).

Dabei erhält L4 noch eine besondere Aufgabe. Um die Ausgangs- und Montagekapazitäten zu kompensieren, und um damit die Anpassung zu verbessern, wird L4 mit den wirksam werdenden Kapazitäten am oberen Ende von 20 m (14350 kHz) wie ein Pi-Filter in Resonanz ge-

bracht. In der Praxis wird C14 so bemessen, daß sich auf dieser Frequenz der höchste Wirkungsgrad bei einem Output von ca. 750 W ergibt.

Die Oberwellenunterdrückung ist unter Einbeziehung der Montagekapazität (Kühlblock - Masse) im Fernbereich so gut, daß ein Fernsehgerät selbst mit Zimmerantenne in unmittelbarer Nähe (2 - 3 m) der offenen PA störungsfrei betrieben werden kann. Voraussetzung ist natürlich, daß der Fernseher technisch einwandfrei ist, und selbst keine störenden Beeinflussungen durch einen bestimmungswidrigen Nebeneingang (= mangelhafte, passive elektromagnetische Verträglichkeit) produziert.

Auf den unteren Bändern (160 m, 80 m, 40 m) ist zu prüfen, ob im Einzelfall die Antennenselektion, ggf. auch die Selektionswirkung von Antennenanpaßgeräten ausreicht, um die von der VO-Funk und DVO-AFuG geforderte Oberwellenunterdrückung von »um 40 dB« sicherzustellen.

D9 ist nur eine Schutzdiode für den Strommesser bei Überlastung. T24 mit Beschaltung ist ein einfacher, einstufiger Spannungsregler, der am Ausgang

(Emitter) eine ausreichend stabile Spannung von ca. 17 V zur Verfügung stellt. Sie dient zur Versorgung einer Übersteuerungsanzeige mit gleichzeitiger Gewinnung einer negativen ALC-Spannung (automatic-level-control). Zudem versorgt sie die beiden 12-V-Umschaltrelais im Eingang und im Ausgang der PA. Die Schaltung dieser Relais ist so ausgelegt, daß das Ausgangsrelais beim Ein- und Ausschalten stromlos schaltet. Die verwendeten SDS-Relais sind recht schnell.

Durch das Einschalten von K1 durch K2 ergibt sich eine Einschaltverzögerung von weniger als 20 ms; beim gleichzeitigen Abfallen (mit geringer Verzögerung des Ausgangsrelais K2 durch C21) eine Abfallverzögerung von etwa 10 ms. Mittlerer QSK-Betrieb bei Telegrafie ist damit möglich.

### Aussteuerungsanzeige

Während bei Röhrenendstufen der Gitterstromereinsatz ein Hinweis für beginnende Übersteuerung sein kann, ist man bei Transistorendstufen lediglich auf die richtige Beurteilung des aufgenommenen Gleichstromes angewiesen. Das kann aber aus verschiedenen Gründen erheb-

lich täuschen. Um ein sicheres Signal für eine etwa 90%ige Aussteuerung zu erhalten, wurde daher eine Aussteuerungsanzeige mit einer Leuchtdiode (D3) entwickelt. Über R7/C7 und 7 x D1 wird die an den Drains von T1-T11 liegende HF-Spannung gleichgerichtet und hinter dem Siebwiderstand R8 auf die Unterseite des Chassis der Z-Diode D2 zugeführt. Übersteigt die Gleichspannung den Z-Wert von etwa 125 V wird T23 durchgesteuert und die im Emitter liegende Leuchtdiode D3 (rot) leuchtet auf.

Auf diese Weise hat man auch ein Indiz für die richtige Anpassung. Leuchtet die LED schon bei kleiner Stromaufnahme, ist der Lastwiderstand höher als 50 Ohm; leuchtet D3 erst bei großen Strömen (10 A, max. 11 A) auf, dann ist der durch das Koaxkabel dargebotene Lastwiderstand niedriger als 50 Ohm. In jedem Fall muß im praktischen Betrieb darauf geachtet werden, daß bei Sprachaussteuerung (SSB) D3 nur bei Sprachspitzen gelegentlich aufleuchtet. Ein zu häufiges und zu intensives Aufleuchten bedeutet Übersteuerung, und damit Verzerrungen und Splatter. Das aber muß unbedingt vermieden werden! Die-

ser im Prinzip simplen Aussteuerungsanzeige wurde eine sinnvolle ALC-Spannungsgewinnung angehängt.

### ALC-Spannung

Die Schaltung zur Erzeugung der ALC-Spannung arbeitet extrem schnell und stellt am Ausgang eine Regelspannung von bis zu -12 V zur Verfügung. Der Pfiff liegt u.a. in der Dimensionierung der Bauteile. Der Kondensator C10 ist immer aufgeladen (über D4 und R10). Liegt mehr als 90%ige Aussteuerung vor und wird dadurch der Transistor in seiner Emitter-Kollektorstrecke leitend, so leuchtet nicht nur D3 auf, sondern der Pluspol von C10 wird zusätzlich auf Masse »gezogen«. Die vorher bereits aufgenommene Ladung am Minuspol von C10 kann somit sofort über D5 den verhältnismäßig kleinen Kondensator C12 aufladen. Regeleinsatzverzerrungen sind von daher ausgeschlossen, sofern der angeschlossene Transceiver über ähnlich gute Regeleigenschaften verfügt. Das Trimpoti R12 dient der individuellen Anpassung an die Transceiver-Erfordernisse; C11 und R11 gewährleisten eine ausreichende Abfallverzögerung.



## Das Netzteil

Die Qualität eines guten Leistungsverstärkers steht und fällt mit der Qualität des Netzteils. Nach einigen Umwegen hat der Verfasser ein neuartiges »Simple Schaltnetzteil nach DL9AH« entwickelt. Es arbeitet ohne Transformator, hat einen Wirkungsgrad von über 98% (!), verfügt bei einer Last von 10 A über eine ausreichend niedrige Brummspannung und ist ausreichend spannungsstabil. Es ist darüber hinaus einfach, leicht und billig. Das Prinzip wird sofort verständlich, wenn man sich die Reihenschaltung D11, C29, D12 und C30 anschaut.

Es handelt sich um eine einfache Einweggleichrichtung mit zwei hintereinandergeschalteten Ladeelkos, zwischen denen sich eine zweite Diode befindet. Während der positiven Halbwelle der Netzspannung werden beide Elkos zusammen auf ca. 330 V aufgeladen. Sind beide Elkos gleich, steht an jedem Elko (C29 und C30) die halbe Spannung, also 165 V. D12 stört bei diesem Aufladevorgang nicht, da sie in gleicher Durchlaßrichtung geschaltet ist wie D11. Sie ist als Trenndiode aber notwendig für die nach der Aufladung folgende Parallelschaltung von C29 und

C30. Dazu wird der Minuspol von C29 über eine umgekehrt gepolte Diode (D13) mit Masse verbunden.

Der Pluspol von C29 braucht jetzt nur noch über einen elektronischen Schalter (T26) im Prinzip dem Pluspol von C30 zugeschaltet zu werden. Ergebnis: halbe Spannung - doppelte, geladene Kapazität mit doppeltem Entladestrom.

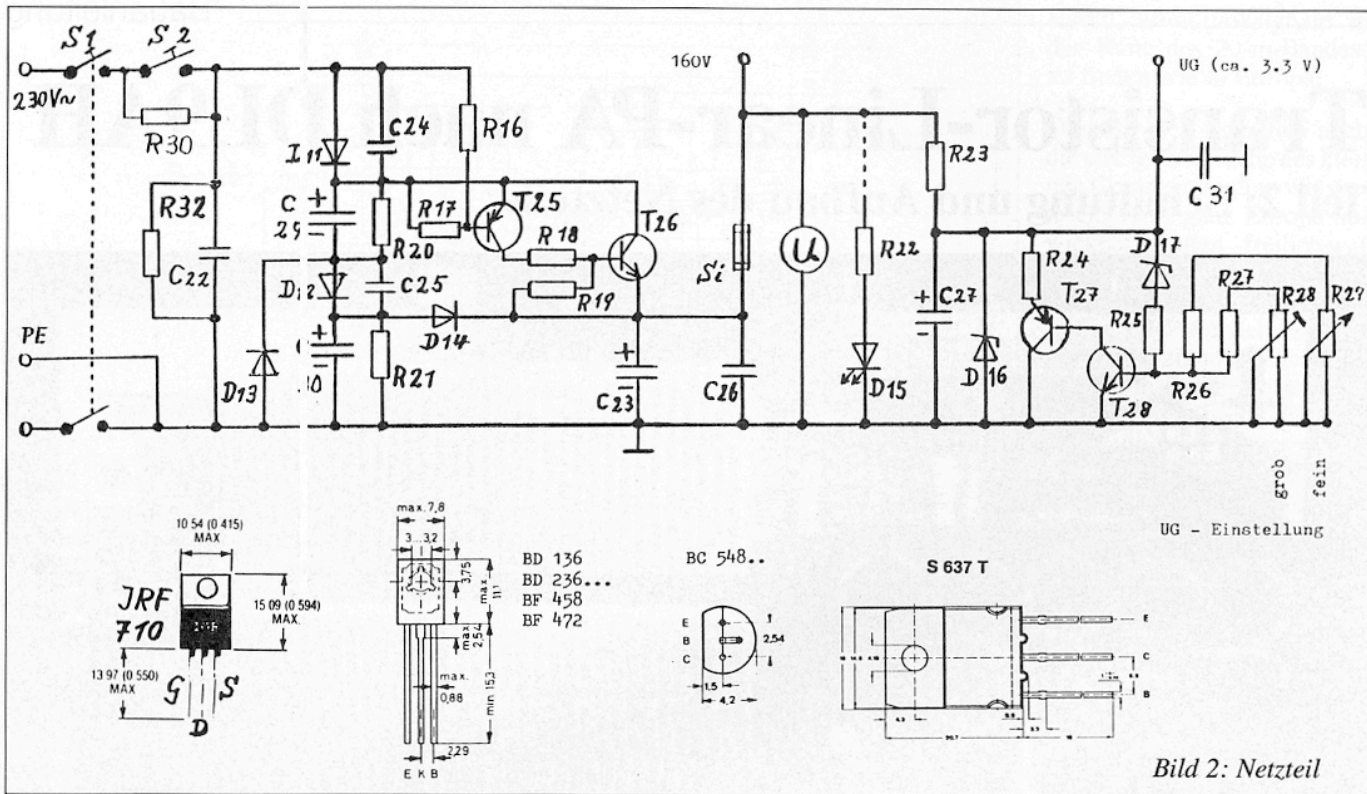
Der elektronische Schalter darf allerdings nur nach abgelaufener Aufladephase geschlossen sein. Um dies zu erreichen, wird dem Darlington-Schalttransistor T26 ein PNP-Transistor (T25) vorgeschaltet. Dieser wird direkt vom Netz angesteuert. Sinkt die Spannung auf der hinteren Flanke der positiven Halbwelle um die Hälfte ab, schaltet zunächst T25 und als Folge T26 durch. Um einen Umladestromstoß von C29 über T26 auf C30 zu verhindern, ist D14 eingesetzt worden. Über D14 fließt die eine Hälfte, über T26 die zweite Hälfte des Laststromes. Durch den absoluten Schalterbetrieb wird nur ganz wenig elektrische Energie in Wärme umgesetzt. Wenig Wärme bedeutet aber: hoher Wirkungsgrad.

Wegen der hohen gespeicherten Energie in C29 und C30 (ca. 250 Ws!) sollten Kurzschlüsse tunlichst vermieden werden. Beim Experimentieren empfiehlt es sich, ausreichend lange zu warten, bis beide Elkos auch wirklich leer sind. Ein Voltmeter zusätzlich einzubauen, ist schon aus diesem Grunde sinnvoll. Ersatzweise, oder wenn durch die Parallelschaltung von vielen kleinen Elektrolyt-Kondensatoren für C29 und C30 auf dem Chassis wenig Platz verbleiben sollte, kann auf eine LED (D15) zurückgegriffen werden. Sollte es nach dem Ausschalten der PA zu lange dauern bis C29 und C30 leer sind, kann für S1 ein doppelpoliger Umschalter verwendet werden. Über die nach dem Ausschalten geschlossenen Kontakte kann jeweils ein zusätzlicher Entladewiderstand von ca. 1 kOhm (4 - 6 W aus Porzellan, stoßstromfest) den Widerständen R20 und R21 parallelgeschaltet werden (nicht eingezeichnet).

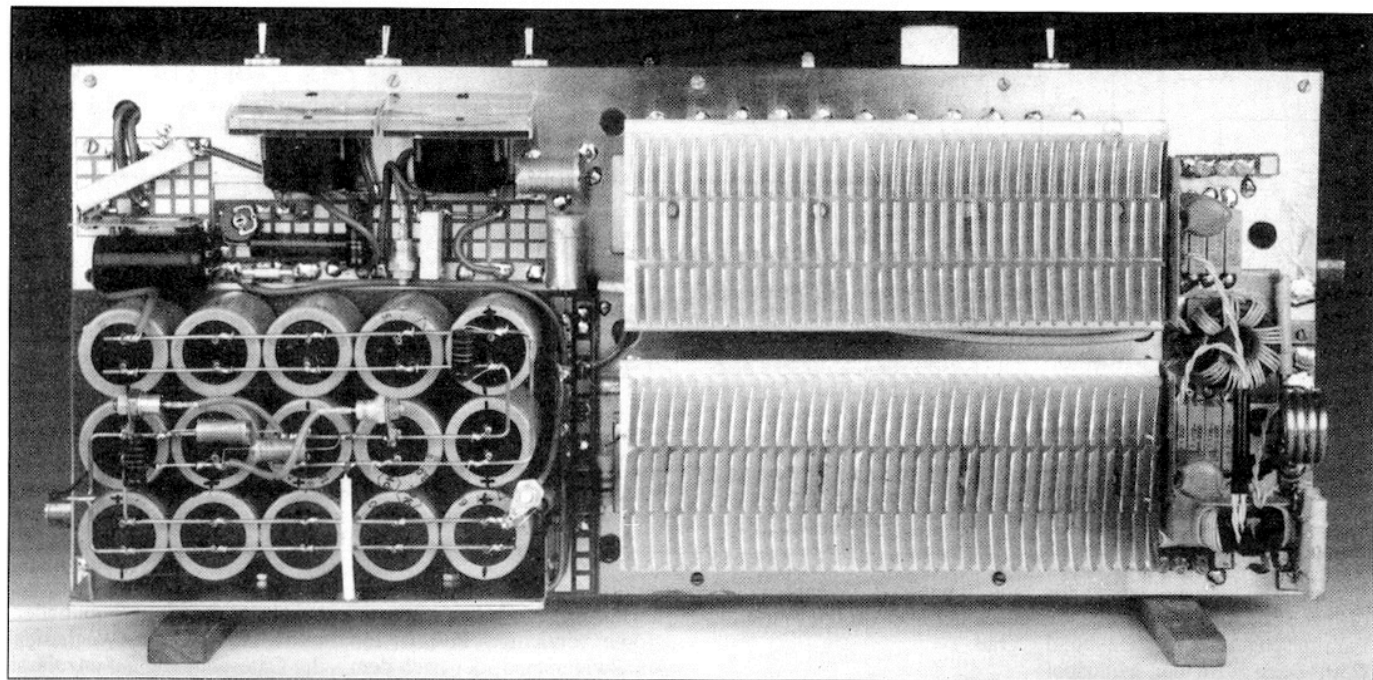
Im Ausgang wird das Netzteil durch eine flinke 16-A-Sicherung abgesichert, im Eingang wurde darauf wegen der gleichrichtungsbedingten hohen Spitzenströme verzichtet. R30 ist ein Anlaßwiderstand, der nach dem

Einschalten bei geöffnetem S2 den Einschaltstrom begrenzt. Sind die Kondensatoren C29 und C30 nach ca. 5 - 8 Sekunden aufgeladen, wird er durch Schließen von S2 überbrückt.

Es verbleibt nun noch die Erzeugung der positiven Gatespannung (UG). Sie wird nach dem Prinzip der Z-Dioden-Stabilisation gewonnen. R23 ist der Vorwiderstand, und die Transistoren T27/T28 stellen mit Beschaltung eine aktive, grob und fein einstellbare Z-Diode dar. Bei niedrigstem Wert von R28 und R29 steht an C31 die höchste Gatespannung. Die Gatespannung direkt von ca. 160 V zu beziehen stellt nicht nur eine Vereinfachung dar, sondern bringt auch die höchste Stabilität und die geringste Brummspannung. R28 wird so eingestellt, daß von außen mit R29 der Arbeitspunkt den gewählten Betriebsarten (CW, SSB etc.) angepaßt werden kann. Thermisch verhält sich die Anordnung so, daß die PA in kaltem und in heißem Zustand weitestgehend den gleichen Ruhestrom zieht und somit den eingestellten Arbeitspunkt behält. C27 ist ein Siebkondensator, D16 soll ein »Weglaufen« der Gatespannung auf unzulässige Werte nach oben verhindern.







Durch den Schalterbetrieb kommt es zu einer Brummfrequenz-verdopplung. Sie ist zwar zeitlich unsymmetrisch, wirkt sich aber auf die Brummspannung günstig aus. C23 glättet die Spannung etwas nach; C26 überbrückt ihn hochfrequenzmäßig.

### Einige Vorüberlegungen zum Aufbau

Bevor wir uns nun dem praktischen Aufbau zuwenden, ist es wirklich ratsam, sich ausgiebig mit den Schaltbildern, den Bestückungsplänen, den Materialauflistungen, den Fotos und dem Text zu beschäftigen.

Sich vorzunehmen, langsam und auch im Detail sorgfältig zu arbeiten, ist die beste Voraussetzung, sich vor Schaden zu bewahren. Das beginnt mit der optischen Kontrolle des Montage Rahmens, der Platinen, der Bauteile, usw. Zunächst werden beim Montagerahmen und den Platinen mit Schleifpapier die Grate gebrochen. An der Unterseite werden an den vier Ecken ausreichend große Löcher gebohrt, in die später klemmend Plastikfüßchen eingeschoben werden können. Die große, ungeätzte, doppelseitig kaschierte Hauptpla-

tine wird in der besten Position auf den Rahmen gelegt und mit einem permanenten Filzschreiber an einer Ecke gekennzeichnet, z. B. HRO (hinten, rechts, oben).

Diese Markierungen, die man auch an allen übrigen verwechselbaren Teilen (Kühlblöcke, Kühlkörper, Unterlagen, PA-Platine, usw.) anbringen sollte, sind wichtiger als man am Anfang glaubt.

Ca. 7 mm vom Rand werden im Abstand von ca. 100 mm Löcher mit einem Durchmesser von 3,5 mm gebohrt. Die Platine dient danach als Bohrschablone für den Rahmen. Eine doppelt-kaschierte Platine wurde gewählt, weil sie neben dem guten, kupferbedingten Leitwert eine doppelte Abschirmung zwischen dem oben liegenden Ausgang und dem unten liegendem Eingang mitbringt. Da alle Bauelemente im Ausgang der PA oben mon-

tiert werden, die vergleichbar großen Ausgangsmasseströme also auf der oberen Kaschierung fließen, ist eine Verkopplung mit den unten angebrachten Eingangsbauteilen weitestgehend ausgeschlossen. Die 3-mm-Schrauben, mit denen später die Platine mit dem Rahmen verschraubt wird, sollen der besseren Durchkontaktierung wegen oben Zahnscheiben oder Sprengringe erhalten.

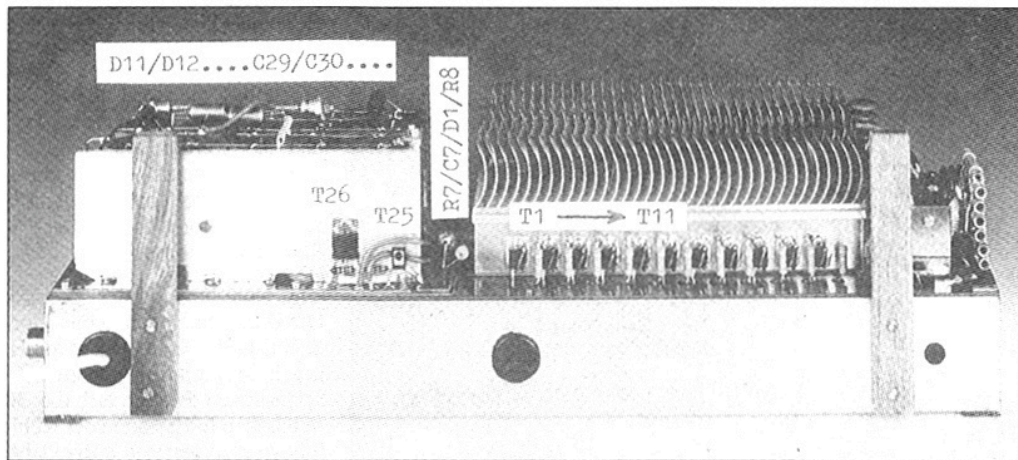


Bild 3: Rückseite



Um den Platz auf der Oberseite der Platine möglichst geschickt auszunutzen, werden alle Bauteile provisorisch auf die Platine gestellt. Da die Gehäuse der Elkos untereinander keinen elektrischen Kontakt haben dürfen, sollten solche ohne Plastiküberzug unten und oben einen Isolierring aus 3 bis 4 Windungen Plastikklebeband erhalten. Sie werden später kurzerhand auf den Kopf gestellt und entweder direkt auf die Platine, oder besser auf eine isolierende Unterlage geklebt. Zunächst werden so viele Elkos, wie man für C29 und C30 braucht - plus einem für C23 - zu einem Paket zusammengestellt, um die notwendigen Maße zu ermitteln. Sollte der Platz oben wegen der Einzelgrößen der Elkos nicht reichen, können einige auch unter dem Chassis angebracht werden. Der Bestückungsplan »Netzteilunterseite« kann dafür aufgrund der flexiblen »Laborplatinentechnik« beliebig umgestellt werden. Hinter dem Elkopaket sollte hinten ein Randstreifen zur Aufnahme des stehenden Kühlblechs für T26 frei bleiben. Dort wird dann später ein schmaler Laborplatinestreifen mit den 3-mm-Randschrauben mitverschraubt. Links daneben wird dann die PA-Platine - vier Laborplatinen

in einem Stück - mit der Leiterbahnseite nach unten auf die Hauptplatine gelegt. Darauf wiederum die länglichen Kühlblöcke und die dazu passenden Kühlkörper. Nachdem alles symmetrisch ausgerichtet worden ist, soll zwischen den Elkos und den Kühleinheiten ein Zwischenraum von 30 bis 40 mm verbleiben. In diesen Zwischenraum wird später ein weiterer, geteilter Laborplatinestreifen eingeklebt oder eingeschraubt, auf dem dann die HF-Gleichrichtung (R7/C7/7 x D1/R8) verlötet werden kann. Auf die sieben Millimeter breite Leiterbahn kann dann später auch der aus Stabilitätsgründen abgewinkelte Teil des Kühlblechs aus Weißblech für T26 stehend aufgelötet werden (vgl. Bild 1: Draufsicht).

Zur Verbesserung der Wärmeableitung wird darauf dann ein Kühlblech aus 3-mm- oder, falls nicht vorhanden, aus 2 x 1,5-mm-Aluminium mit T26 zusammen aufgeschraubt. Zwischen den Kühleinheiten und dem linken Rand der Hauptplatine soll jetzt ein Abstand von mindestens 80 mm verbleiben. Nachdem alles in dieser Weise zurechtgerückt worden ist, werden alle Teile mit einem permanenten Filzschrei-

ber gekennzeichnet, und die zunächst oben liegende PA-Platine wird umrandet.

Und nun beginnt das Bohren. Die Bohrschablonen (Transistor-Seitenansicht, Bild 4) werden ausgeschnitten und mit einem wasserlöslichen Kleber auf die 30 mm hohen Längsseiten der Kühlblöcke symmetrisch aufgeklebt. Nach dem sauberen Ankören werden die ca. 15 mm tiefen 2,4-mm-(max. 2,5 mm)Löcher möglichst mit einer Ständerbohrmaschine gebohrt. Bei tiefen Bohrungen in Aluminium läuft man immer Gefahr, daß sich der Bohrer festsetzt und abbricht. Um das zu verhindern, sollte man immer wieder den Bohrer zurückziehen und die Späne durch vorsichtiges Schlagen auf einen weichen Holzklötz nach unten ausklopfen.

Außerdem ist es wichtig, ausgiebig mit Gewindeschneidöl oder ersatzweise Olivenöl zu schmieren. Spiritus ist, entgegen allgemeiner Meinung, ungeeignet, da es keine fettende Schmierwirkung hat. Gleiches gilt auch für das darauf folgende Schneiden der M3-Gewinde. Empfehlenswert ist ein Maschinengewindeschneider, der vorne einen kleinen Bohrer angesetzt hat und der

in einem Schnitt das Gewinde fertigstellt. Eine große Zeiterparnis bringt die Verwendung eines kleinen Akkubohrschraubers mit Drehmomentbegrenzung. Aber Vorsicht, sobald der Gewindeschneider zu klemmen beginnt, lieber rückwärts laufen lassen und die Späne ausklopfen. Sind alle 22 Löcher fertig, werden mit Hilfe der Bohrschablonen in gleicher Weise von oben die 6,5-mm-Löcher gebohrt.

Die beiden Kühlblöcke sind jetzt die Bohrschablonen für die Löcher nach unten. Zunächst für die Isolierunterlagen - ca. 42 x 200 mm, symmetrisch auflegen - und danach für die PA-Platine. Dazu wird die PA-Platine wieder mit der Leiterbahnseite nach unten auf eine weiße Unterlage gelegt. Die Kühlblöcke werden jetzt mit der Transistorseite hinten und vorne, von oben betrachtet, an den inneren Rand der durchschimmernden, äußeren Leiterbahn gelegt. Hinten und vorne muß also noch eine Leiterbahn außen neben den Kühlblöcken von oben zu sehen sein.

Sind die Löcher gebohrt, kann die PA-Platine wiederum als Bohrschablone zunächst für die Kühlkörper dienen. Die Kühlkörper

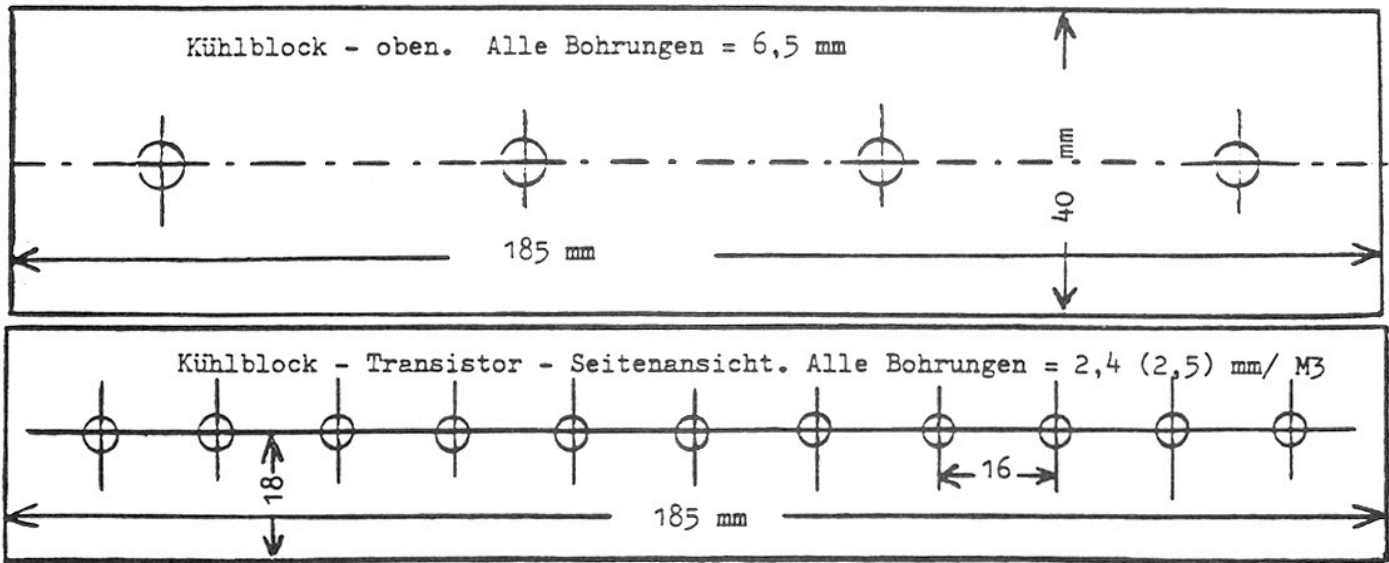


Bild 4: Bohrplan

## Stückliste

Bez.	Anz.	Wert/Typ
R1, R3	(22x)	100 - 120 Ohm/4 W Kohle oder Metox (Metox = Metall-Oxyd-Widerstand)
R2, 4	(22x)	50 - 60 Ohm/2 W Kohle oder Metox
R5, 6, 24	(23x)	4,2 - 5,2 Ohm/1 W Kohle oder Metox
R7	(1x)	250 - 350 Ohm/0,5 W Kohle oder Metox
R8	(1x)	22 K - 33 K/0,25 W Kohle oder Metox
R9	(1x)	300 K - 500 K/0,25 W Kohle oder Metox
R10	(1x)	1 K/0,5 W Kohle oder Metox
R11, 15	(2x)	200 - 250 Ohm/0,25 W Kohle oder Metox
R12	(1x)	50 K - 100 K Trimpoti/lin.
R13	(1x)	2,2 K/4 W Draht
R14	(1x)	50 K - 70 K/0,25 W Kohle oder Metox
R30	(1x)	40 - 60 Ohm/Draht, größer 20 W
R16, 32	(2x)	50 K - 70 K/1 W Kohle oder Metox
R17, 31	(2x)	5 K - 10 K/0,25 W Kohle oder Metox
R18	(1x)	5 - 10 Ohm/0,25 W Kohle oder Draht oder Metox
R19	(1x)	50 K - 100 K/0,25 W Kohle oder Metox
R20, 21	(2x)	10 K - 13 K/2 - 4 W (z. B. 2 x 22 K/2 W paral.)
R22, 23	(2x)	22 K/2 W Kohle oder Metox
R25	(1x)	1,3 K - 1,5 K/0,25 W Kohle oder Metox
R26	(1x)	1,8 K - 2,2 K/0,25 W Kohle oder Metox
R27	(1x)	390/0,25 W Kohle oder Metox
R28	(1x)	1 K Trimpoti/lin (UG - grob)
R29	(1x)	4,7 K Poti/lin (UG - fein)
C1, 2	(22x)	350 pF - 400 pF/250 V
C3, 18, 26	(10x)	0,1 µF/400 V
C4, 8, 28, 32, 33	(8x)	10 nF/100 V
C5, 6, 9, 17, 20, 24, 25	(21x)	2,2 nF - 4,7 nF/250 V ~ Trennschutzkond.
C7	(1x)	10 nF - 22 nF/630 V
C10	(1x)	10 µF/25 V

C11	(1x)	2,2 µF/25 V
C12, 21, 31	(3x)	0,56 µF/100 V
C13, 16	(2x)	68 pF/500 V ~ HF-tauglich
C14	(7x)	3 - 7 x 68 pF/500 V ~ parallel (s. Text)
C15	(2x)	2 x 68 pF/500 V ~ dito parallel
C19	(1x)	22 µF/25 V
C29, 30	(2x)	8000 µF - 15000 µF/200 V (C30 ca. 10 - 15% kleiner als C29)
C22	(1x)	20 nF - 0,1 µF/800 V - 1000 V
C23	(1x)	100 µF - 500 µF/350 V
C27	(1x)	100 µF - 2200 µF/12 V - 16 V
T1 - 22	(22x)	IRF 710, auf Kühlblock mit aufgesetztem Kühlkörper
T23	(1x)	BC 548, BC 550, BF 458 oder ähnlich
T24	(1x)	BF 458, auf Kühlblech >20 qcm (z. B. 4 x 5 cm)
T25	(1x)	BF 472, BF 872
T26	(1x)	S 637 T (Telef.), Bu 931 RP (SGS-Thomson) oder ähnlicher Darlington-Transistor auf Kühlblech >140 qcm (z. B. 8 x 18 cm)
T27	(1x)	BD 136, BD 236 oder ähnlich
T28	(1x)	BC 548 oder ähnlich
D1	(7x)	Universaldiode z. B. 1 N 4148
D2	(1x)	Z-Diode ca. 125 V/0,5 W (ggf. zusammengesetzt aus 2 hintereinander geschalteten)
D3, 15	(2x)	5 mm Leuchtdiode/20mA, rot
D4, 5, 6, 7	(4x)	Leistungsdiode 1 A, z. B. 1 N 4001 - 1 N 4007
D8	(1x)	5 mm Leuchtdiode/20 mA, grün
D10	(1x)	Z-Leistungsdiode 18 V/1 W
D9, 11, 12, 13, 14	(5x)	Netz-Leistungsdiode 10 A, z. B. D10/800 (Telef.)
D16	(1x)	Z-Leistungsdiode 4,7 V - 10 V
D17	(1x)	Z-Diode 2,7 V
Si	(1x)	Feinsicherung 16 A/flink
A	(1x)	Strommesser 10 A (15 A)
B	(1x)	Spannungsmesser 200 V
K1, 2	(2x)	Matushita SDS-Relais, S3 - 12 V
S1	(1x)	Kippshalter, 2 x um (s. Text)
S2, 3, 4	(3x)	Kippshalter 1 x ein
H	(8x)	Glimmlampe 65 V (ohne Vorwiderstand!) einlötfbar



werden nebeneinander mit einem Abstand in der Mitte von ca. 5 mm (evtl. Distanzleiste zwischenlegen) auf den Kopf gelegt. Die bereits gebohrte PA-Platine wird jetzt mit der Kaschierung nach oben symmetrisch aufgelegt. Die 5-mm-Löcher zur Herstellung der M6-Gewindebohrung in die Kühlkörper können nun angezeichnet werden.

Da man aber nie sicher sein kann, daß die Löcher im Kühlblock absolut senkrecht gebohrt worden sind, empfiehlt es sich, bei diesem Anzeichnungsvorgang die Kühlblöcke so zwischenzulegen, wie sie später montiert werden. Spätestens hier merkt man, wie wichtig es ist, alle Teile sauber zu markieren.

Sind die M6-Gewinde in die Kühlkörper geschnitten und paßt alles zusammen, wird die PA-Platine als Schablone für die Hauptplatine benutzt. Sie wird wie zuvor in die gezeichnete Umrandung gelegt, danach werden die Löcher angezeichnet und gebohrt. Da die Schrauben später keinen Kurzschluß verursachen dürfen, werden die Löcher in der Hauptplatine mit einem großen Bohrer (12 - 15 mm) von Hand angesenkt und entgratet.

Nun erst wird die PA-Platine nach unten gegeben und alle acht 6-mm-Schrauben von unten - ggf. mit einer Isolierunterlegscheibe - durch die PA-Platine, durch die Hauptplatine, durch die Isolierunterlage, durch den Kühlblock in die Gewinde der Kühlkörper probeweise eingeschraubt. Hat man sorgfältig gearbeitet, sieht alles akkurat und symmetrisch aus. Ist doch etwas schiefgelaufen, kann man nur noch nach dem Motto verfahren: »Hoch lebe das Langloch«!

Sind die endgültigen Positionen für die beiden Kühleinheiten gefunden, müssen noch die Löcher für die Durchführung der Gateanschlüsse der Transistoren T1 - T11 hinten und T12 - T22 vorne gebohrt werden. Dazu wird jeweils 3 mm links unterhalb der Befestigungslöcher der 22 Transistoren eine Bohrmarkierung angebracht. Der Abstand zum Kühlblock soll ebenfalls ca. 3 mm betragen. Danach werden die oben probeweise montierten Kühleinheiten demontiert, die PA-Platine aber unter Verwendung von 6-mm-Schrauben mit Muttern in der gleichen Lage von

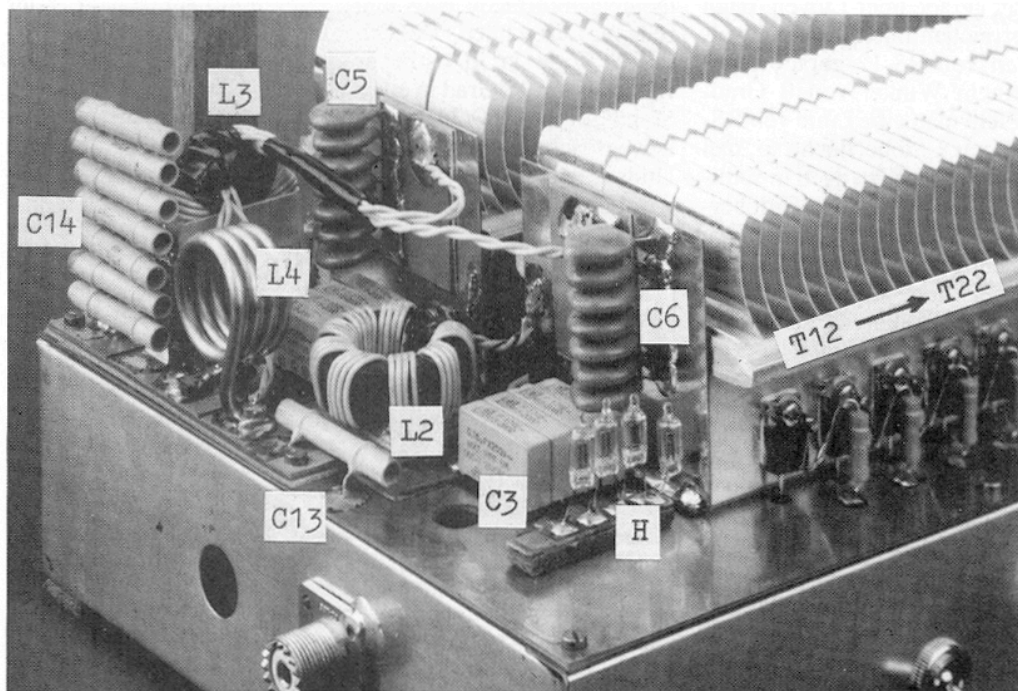
unten wieder angeschraubt. Nun kann mit einem Bohrer, der dem Durchmesser der Transistorbeinchen entspricht (ca. 1,2 - 1,5 mm) von oben durch die Hauptplatine und durch die äußere Leiterbahn der PA-Platine gebohrt werden.

Nach der Demontage werden die Löcher in der Hauptplatine auf 3 - 3,5 mm aufgebohrt und wegen der Kurzschlußgefahr von oben und unten angesenkt. Zur Trennung der Gateanschlüsse wird jetzt bei der PA-Platine auf den beiden Seiten die äußere Leiterbahn zwischen den Bohrungen mit einer Metall- oder Küchensäge so eingesägt, daß jedes Gate eine eigene, möglichst gleiche Lötinsel erhält. Der ganze Vorgang erscheint etwas kompliziert, ist aber notwendig, damit später auch alles paßt.

Nachdem die Positionen der größeren Bauteile festliegen, können jetzt auch die Löcher für die Kabeldurchführungen (8 - 10 mm) gebohrt werden. Einige zusätzliche Verlegens-

heitlöcher zu bohren, ist immer ratsam.

Die Platine »Netzteilunterseite« kann später von unten eingeklebt werden. Sollte eine Isolierunterlage für die Elkos oben verwendet werden und sollten für die Befestigung Löcher notwendig werden, die auch durch die Platine »Netzteilunterseite« gehen, so sind diese jetzt so zu bohren, daß sie bei der späteren Bestückung nicht stören. Alle übrigen Löcher, z. B. die Randlöcher in die Isolierunterlage mit den aufgeklebten Laborplatinenstreifen (Kühlblech/T26 etc.), sollten jetzt gebohrt werden. Der Verfasser hat die Meßinstrumente kurzerhand von oben auf die Platine aufgeklebt (Schmelzkleber, Klebepistole). Sollte eine andere Befestigungsmethode gewählt werden, so ist die dafür erforderliche Mechanik jetzt zu erstellen.



Ist alles fertig, kann die Hauptplatine von beiden Seiten mit Stahlwolle (Nr. 3 oder Nr. 4) in Längsrichtung poliert werden. Um Fettflecken durch das Anfassen zu vermeiden, empfiehlt es sich, saubere Handschuhe zu verwenden.

Nach dem Entfernen der Stahlwolle wird unten rundherum der Rand auf eine Breite von ca. 12 mm mit Klebestreifen abgedeckt.

Um die glänzenden Oberflächen über Jahre zu erhalten,

empfeht es sich, beide Seiten ein- oder zweimal mit Plastik-Spray zu überziehen. Während der Trockenzeit kann der Montage-rahmen mit den Schaltern, Buchsen, Leuchtdioden, Plastikfüßchen usw. bestückt werden. Danach wer-

den die Klebestreifen von der Hauptplatine entfernt und diese mit dem Montagerahmen, mit Ausnahme der Schrauben, die später für die Befestigung anderer Dinge notwendig sind, verschraubt.

Da der Randstreifen unter der Platine metallisch blank geblieben ist, hat die untere Kupferkaschierung jetzt rundherum einen guten Kontakt mit dem Rahmen. Die Randschrauben dienen übrigens zusätzlich der Durchkontaktierung (Zahnscheiben oder Sprengringe oben unterlegen). Wie vorher beschrieben, können jetzt die Kühleinheiten montiert werden. Dabei ist darauf zu achten, daß alle Flächen, bei denen ein guter Wärmekontakt notwendig ist, auch wirklich plan aufliegen (ggf. mit feinem Schleifpapier und Stahlwolle nacharbeiten) und vor dem Zusammenbau ausreichend mit Wärmeleitpaste eingestrichen worden sind. Das gleiche gilt später für die Endstufentransistoren (T1 - T22), die mechanisch und elektrisch direkt mit der Kühleinheit verbunden sind.



Die Isolierunterlagen für die Kühlblöcke werden vor der Montage mit Stahlwolle gereinigt und mit der nackten Kupferkaschierung nach oben unter die Kühlblöcke gelegt. Sie stellen zusätzlich Kontaktstreifen dar und sollen auf beiden Längsseiten etwa 5 bis 8 mm überstehen.

Die Kapazitäten, die sich dabei zwischen den Kühlblöcken und Masse ergeben (jeweils ca. 250 pF), sind gewollt. Beide Kapazitäten sind Bestandteile des Tiefpaßfilters und dienen der Oberwellenunterdrückung.

Auf den Köpfen der acht 6-mm-Befestigungsschrauben steht unten später die Ausgangswchelsspannung. Damit diese nicht auf den Eingang zurückkoppeln kann, werden die Schrauben auf beiden Seiten mit einem Weißblechstreifen, unter dem zur Isolation ein etwas breiterer, einseitig kaschierter Epoxydharzstreifen gelötet wird, abgeschirmt. Die Weißblechstreifen werden in der richtigen Höhe neben der PA-Platine

abgewinkelt und auf beiden Seiten mit der Hauptplatine verlötet.

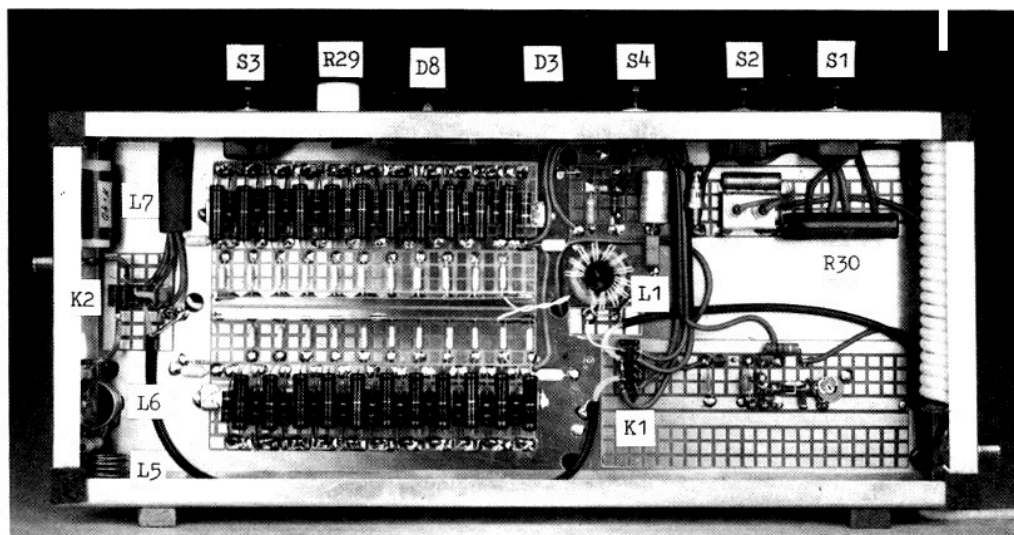
Auf die vorbereitete Isolierunterlage im Netzteil werden zunächst die Elkos auf dem Kopf eingeklebt (Kontakt-oderSchmelzkleber). Hinter dem sich dabei ergebendem Elkopaket für C29 / C30 und C23 kann dann das abgewinkelte Kühlblech aus Weißblech mit den aufgeschraubten Aluminiumplatten aufge-

lötet werden. Neben dem Loch für T26 reicht ein zweites zur mechanischen Befestigung aus. T25 braucht nicht gekühlt zu werden.

Danach wird die vorbereitete Isolierunterlage zusammen mit der Platine »Netzteilunterseite«, bei der zuvor die notwendigen Leiterbahnunterbrechungen (s. Bestückungsplan) vorgenommen worden sind, montiert. Die Elkoanschlüsse sind von oben gut

zugänglich. Es fällt somit leicht, die notwendige Menge an Elkos für C29 und C30 parallel zu schalten. Es empfiehlt sich, dafür blanken Draht (1,5 mm<sup>2</sup>) zu verwenden. Die parallel geschalteten Widerstände und Kondensatoren einschließlich der Dioden können nun von oben aufgelötet werden.

Werden die robusten Dioden D10/800 von Eupec/Belecke (AEG-Siemens) benutzt,





kann der Kabelschuh abgekiffen und hinten auf die Diode mit einer passenden Mutter aufgeschraubt werden. Dazu muß das Loch allerdings mit einer runden Schlüsselfeile etwas vergrößert werden. Auf diese Weise erhält man ein stabiles, lötfähiges Bein.

Die restlichen Bauteile im Netzteil (T25 und T26) einschließlich Netzleitung, S1, S2, R30 usw. können jetzt verschaltet werden. Ist alles fertiggestellt, kann das Netzteil über einen Schutz-trenneinstelltrafo langsam hochgefahren werden. Dabei ist darauf zu achten, daß die Elkos ausreichend Zeit zur »Formierung« erhalten. Stehen keine ausreichend dimensionierten Lastwiderstände für eine Probelast zur Verfügung, kann ein Heizgerät oder ein Bügeleisen von ca. 2000 W verwendet werden. Das Netzteil sollte in der Lage sein, die dabei zustande kommende Last von ca. 6 A mehr als 5 Minuten ohne unzulässige Erwärmung ertragen können.

Ist das Netzteil fertig und für die Sicherung (16 A flink) oben ein geeigneter Platz gefunden worden, können die beiden Stufen zur Erzeugung von 17 V (T24..) und 3,3 V (T27, T28..) gemäß Schaltbild und Bestückungsplan aufgebaut und durchgemessen werden.

### **Aufbau der PA**

Da die Hex-FETs empfindlich gegen statische Aufladung sind, sollten sie zuletzt montiert und verlötet werden. Beginnen wir mit dem Ausgang. Zunächst werden zwei Weißblechstücke von ca. 65 x 70 mm (links an der Ausgangsseite) stehend auf die 5 - 8 mm überstehenden Isolierunterlagen der Kühleinheiten aufgelötet. Sie dienen einerseits als Träger für die Kondensatoren C6 (vorne) und C5 (hinten) mit den dazu gehörenden, einseitig kaschiereten Isolierplättchen, andererseits stellen sie eine induktionsarme Zuleitung zu den Enden des Breitbandspartransformators L2 dar. Ist er fertig

gewickelt, wird zunächst eine weiche Isolierunterlage (z. B. dicker Filz) und darunter eine zu den Seiten ca. 10 mm überstehende Epoxydharzplatte untergeklebt. Auf die oben liegende Kaschierung wird mit kurzen Drähten der Mittelpunkt Mp gelötet. Das Ganze wird möglichst dicht an die Trennfuge der stehenden Weißbleche geschoben und mit der Hauptplatine verklebt. Die Enden (A1 und E2) werden möglichst kurz auf die Weißbleche aufgelötet. Von der oberen Kaschierung können nun hochfrequenzgünstig die 8 Kondensatoren C3 in 2 Paketen zu je 4 Stück (vorne und hinten) nach Masse geschaltet werden. Danach werden die jeweils 8 Kondensatoren C5 und C6 aufgelötet.

Obwohl Ferrit-Ringkerne ein geringes Streufeld haben, sollten L2 und L3 mechanisch so aufgebaut werden, daß sie sich gegenseitig magnetisch nicht beeinflussen. Gemäß Foto wird der Ausgangsbalun L3 auf einen einseitig kaschiereten Epoxydharzstreifen ge-

schraubt und stehend hinten auf die Hauptplatine gelötet. Ein weiterer, ca. 15 - 20 mm breiter, durch entsprechende Sägeeinschnitte quer durch die Kupferkaschierung unterteilter Epoxydharzstreifen, wird danach mit den Randschrauben verschraubt. Die großen Lötinseln dienen der Aufnahme von L4, C13 und C14. Auf 2 schmale Epoxydharzstreifen mit einer Reihe von kleinen Lötinseln können die jeweils 4 hintereinandergeschalteten Glimmlampen (H) gelötet werden. Bei horizontaler Montage muß der Abstand dieser Streifen nach Masse groß genug sein (> 5 mm), damit die sich ergebende Kapazität nicht schon zum Zünden der Glimmlampen beim normalen Betrieb führt.

Entsprechend unter einem Winkel von 90 Grad werden L5 und L6 auf eine mit Leiterbahnunterbrechungen versehene Laborplatine aufgelötet und zusammen mit den Kondensatoren C15 und C16 unter dem Chassis an die Seitenwand geschraubt. Der Wik-

kelkörper, der zur Erstellung von L4, L5 und L6 diente (Plastik-Panzerrohr aus der Elektroinstallation), kann für die Herstellung von L7 verwendet werden. Sie wird mit einer isolierenden Unterlage an die Seitenwand geklebt und vom Ausgang nach Masse verdrahtet.

Nachdem der Ausgang fertig ist, kann nun der Eingang der PA verschaltet werden. Bei Parallelschaltung von Transistoren sollten alle Steuerelektroden gleiche Phase erhalten. Um das hier zu erreichen, werden zunächst 2 induktionsarme 30 - 40 mm breite Weißblechstreifen hochkant mitten auf die beiden mittleren Leiterbahnen aufgelötet. Es genügen dazu vorne und hinten nur jeweils eine Lötstelle, denn die zusätzlichen Lötstellen für die nach beiden Seiten abgehenden Kondensatoren C1 und C2 bringen die endgültige Stabilität. Entsprechend dem Bestückungsplan werden neben den Kondensatoren jetzt auch alle Widerstände aufgesetzt und ver-

lötet. Alle Anschlußdrähte sollten so kurz wie möglich sein. Alle vergleichbaren Bauteile (z. B. R1 und R3) sollten nicht nur gleiche Werte, sondern auch gleich lange Anschlußdrähte haben. Je nach vorhandenem Material sind unter diesem Gesichtspunkt auch Parallel- oder Serienschaltung von Bauteilen zur Erreichung der richtigen elektrischen Werte möglich.

Auf die bereits teilweise bestückte Platine »Netzteilunterseite« wird jetzt der Eingangsbalun L1 entsprechend dem Bestückungsplan aufgeklebt und angeschlossen. Alle Anschlußdrähte, besonders der nach Masse führende A2, sollen so kurz wie möglich gehalten werden. Unmittelbar darunter wird das Eingangsrelais K1 auf dem Kopf mit Kontaktkleber (z.B. Pattex) aufgeklebt und direkt, also ohne Fassung, verdrahtet. Die Abschirmungen der verwendeten Koaxkabelstücke sollten jeweils auf beiden Seiten kurz mit Masse verbun-

den werden. In gleicher Weise wird das Ausgangsrelais -ggf. auf einer Unterlage - eingeklebt und verdrahtet. Die Verbindung der Kontakte 4 mit 9 und 5 mit 8 kann zweckmäßigerweise mit einem kleinen Stück Weißblech (ca. 10 x 20 mm - stehend) vorgenommen werden. Alle Leitungen, die von vorn nach hinten, oder umgekehrt verlaufen, sollen im Winkel des Montagerahmens verlegt und dort fixiert werden. In keinem Fall sollten irgendwelche Leitungen quer über die PA-Platine geführt werden. Wie bereits beschrieben sollen R7, C7, 7 x D1 und R8 oben aufgesetzt und verlötet werden.

Ist alles gemäß Schaltplan, Bestückungsplan und Fotos eingebaut (mit Ausnahme der Transistoren T1 bis T22) kann die PA langsam hochgefahren und meßtechnisch überprüft werden. Wichtig ist dabei, daß alle Gate-Lötinseln die geforderte Gatespannung von ca. 3,8 - 4 V führen. Sie soll über R28 eingestellt und

über R29 veränderbar sein. Außerdem ist es ratsam, nicht nur die Funktion der Relais anhand der Leuchtdiode D8 (grün) zu kontrollieren, sondern auch die Arbeitsweise der jeweiligen Kontakte (u. a.) mit dem Ohmmeter nachzuprüfen.

Ist alles einwandfrei, können die Hex-FETs T1 bis T22 montiert werden. Die mittleren Drain- und die von außen betrachtet rechts liegenden Source-Anschlußbeinchen werden unmittelbar unterhalb des Transistorgehäuses nach oben gebogen. Obwohl wegen der inneren Verbindung eigentlich nicht notwendig, hat der Verfasser unter die 3-mm-Befestigungsschrauben nicht nur passende Zahnscheiben oder Sprengringe, sondern auch noch Lötfahnen untergelegt. Nach dem festen Anschrauben (Stahlschrauben - Wärmeleitpaste nicht vergessen) werden die hochgebogenen Drainbeinchen sicherheitshalber mit den Lötfahnen verlötet. Von den Enden der hochgebogenen Source-



beinchen können nun die Sourcewiderstände R5 und R6 nach Masse verdrahtet werden; je nach Bauform und Größe der Widerstände entweder stehend oder schräg liegend.

Die Gatebeinchen stecken zwar schon in den Löchern, sollten aber zunächst noch nicht verlötet werden. Bei 22 Transistoren besteht immer das Risiko, daß einer defekt ist. Außerdem könnte einer -oder auch mehrere - durch statische Aufladung beim Einbau zerstört worden sein. Es empfiehlt sich daher zu prüfen, ob alle Transistoren auch wirklich elektrisch einwandfrei sind. Dazu werden zunächst alle 22 hochliegenden Gates kurzfristig mit Masse verbunden und auf diese Weise entladen. Dann wird das Netzteil geringfügig hochgefahren, sodaß an allen Drains - und damit auf beiden Kühlkörpern - eine Gleichspannung von 8 V - 10 V (nicht mehr!) steht. Da das Anlegen dieser Spannung, die für diesen Prüfungsgang von ei-

nem anderen Netzteil bezogen werden kann, die Gates wieder geringfügig aufgeladen haben könnte, werden alle noch einmal kurzfristig mit Masse verbunden. Es darf nun kein Strom fließen.

Folgender Vorgang wird nun nacheinander bei allen 22 Transistoren wiederholt: Mit einem kleinen Schraubenzieher wird das Gate des 1. Transistors (z. B. T1) kurzfristig nach hinten mit dem Kühlkörper (8 V - 10 V) verbunden. Es fließt nun ein Strom im Amperebereich, der am Sourcewiderstand einen entsprechenden Spannungsabfall erzeugt, den man sich zum Vergleich notieren sollte. Ist die Isolation des Transistors einwandfrei, bleibt dieser Strom stehen, auch wenn man die Verbindung Gate-Kühlblock wieder löst. Nach ca. 5 s wird dieses Gate wieder kurzfristig mit Masse verbunden und der gleiche Prüfungsvorgang kann beim nächsten Transistor vorgenommen werden. Stellt man auf diese Weise fest, daß bei allen 22 PA-

Transistoren das jeweils in der Luft hängende, aufgeladene Gate einen kräftigen Source-Drainstrom auslöst, andererseits ein entladenes Gate diesen Strom wieder zu Null gehen läßt, kann man sicher sein, daß die Transistoren einwandfrei sind.

Verbleibt nur noch das Verlöten der Gatebeinchen auf der PA-Platine unten. Dazu wird mit einem möglichst potentialfreien LötKolben zunächst die Lötstelle erwärmt, so daß dann von dort aus das fließende Lötzinn das jeweilige Gatebeinchen erreicht und in die Lötstelle mit einbezieht.

Nach einer weiteren Kontrolle, ob auch wirklich alles bedacht und eingebaut worden ist, kann die PA »angefahren« werden. Die Antenne, oder eine »Dummy-Load« wird angeschlossen, der Service-Schalter S3 und der Netzschalter S1 werden ein- und der Netzschalter S2 sicherheitshalber - quasi als Notbremse - ausgeschaltet. Nachdem R29 auf geringste Gatespannung ge-

dreht worden ist, kann die PA mit einem Schutztrenneinstelltransformator langsam hochgefahren werden.

Wichtig ist dabei, daß nach dem Schalten der Relais der Drain-Ruhestrom keine zu großen Werte annimmt. Ggf. ist R28 zu verstellen und nach dem Einschalten von S2 in Verbindung mit R29 zu korrigieren. Nun wird der Service-Schalter S3 ausgeschaltet, der Transceiver angeschlossen, und der zunächst vorsichtige Probetrieb kann beginnen.

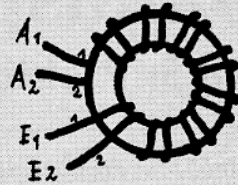
Im Einzelfall ist zu prüfen, ob der Schutzeinstelltrafo zu Erreichung der Maximalleistung groß genug ist, oder ob ein größerer Netztrenntrafo (230 V/230 V) beschafft werden muß.

Besonders stabile Verhältnisse bringt das direkte Anschließen der PA an das Netz. Werden in einem solchen Fall die Laborbestimmungen in Anspruch genommen, so sind jedoch zusätzliche Sicherheitsmaßnahmen zu ergreifen, die



## Stückliste

- L1 Balun 50/50 Ohm-Eingang  
Ringkern, Siemens-Ferrit  
Type: B64290 - A 48 x 12  
2 Drähte, telefonisoliert, ca.  
1 mm  $\varnothing$ , Kupfer- oder Silber-  
blitze, gleichzeitig (bifilar)  
zu einer Lage stramm auf-  
wickeln.  
10 - 12 Windungen



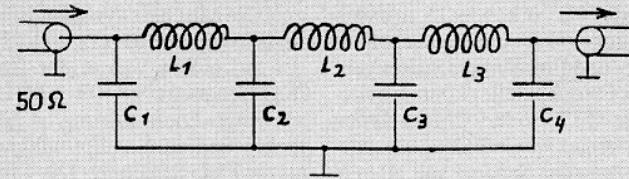
- L3 Balun 50/50 Ohm-Ausgang  
Ringkern, Siemens-Ferrit Type: B64290 - A 48 x 12  
wie L1, 2 Drähte - Kupfer oder Silberlitze -  
telefonisoliert, ca. 2 mm  $\varnothing$ , gleichzeitig (bifilar) zu  
einer Lage stramm aufwickeln.  
9 - 10 Windungen

- L2 Breitband-Spartransformator-Ausgang  
Ringkern, Siemens -Ferrit Type: B64290 - A 48 x 12  
wie L3 gewickelt. Die Verbindung Ende 1 (E1) mit  
Anfang 2 (A2) ergibt den Mittelpunkt (Mp)

- L4-6 Tiefpaß-Luftspulen-Ausgang  
ca. 3,5 Windungen, Innendurchmesser: 22 mm  
Kupferdraht (ggf. versilbert), ca. 3 -3,5 mm  $\varnothing$

- L7 Schutzdrossel-Ausgang  
ca 15 - 20  $\mu\text{H}$ , Luftspule, einlagig gewickelt  
ca. 40 Windungen,  $\varnothing = 22$  mm, CuL (Kupferlack-  
draht) = 0,8 - 1 mm

Sollte auf Grund der örtlichen Verhältnisse die Oberwellenunterdrückung auf den unteren Bändern nicht ausreichen, kann für das jeweilige Band folgendes Tiefpaßfilter der PA nachgeschaltet werden.



Band	C1 -C4	L1 -L3	$\varnothing^*$	Drahtdurchmesser
160 m	1200 pF	4,4 $\mu$	20	ca. 1,5 - 2 mm CuL
80 m	600 pF	2,2 $\mu$	12	ca. 2,0 -2,5 mm CuL
40 + 30 m	300 pF	1,1 $\mu$	9	ca. 2,5 -3 mm CuL

\* N bei  $\varnothing = 22$  mm (Windungszahl)

Die Werte sind im einzelnen unkritisch. Die Kondensatoren müssen hochfrequenztauglich und über 250 V AC spannungsfest sein

mit Sicherheit Schäden für Leib und Leben ausschließen. Z.B.: Eine unverwechselbare, eigene Steckdose mit einer eigenen Zuleitung, die vor dem Fehlerstromschutzschalter (FI) abgreift und entsprechend abgesichert ist. Zusätzlich zum normalen Schutzleiter PE eine weitere, getrennte Stationserde mit Schutzleiterqualität usw.

Bei längeren Durchgängen mit voller Leistung ggf. mit Kompressoransteuerung ist trotz guter Kühlkörper mit einer deutlichen Erwärmung zu rechnen. Für eine ausreichende Kühlung ist von daher zu sorgen. Gut bewährt haben sich Tangentiallüfter (Walzenlüfter). Sie erzeugen einen hohen Luftdurchsatz und sind relativ geräuscharm.

Der Luftstrom soll so gerichtet sein, daß das Netzteil geringfügig mitgekühlt wird. In keinem Fall darf die warme, im Extremfall heiße Abluft das Netzteil aufheizen. Statische Entladungen durch Blitzentladungen in der Nähe kön-

nen im Ausgang hohe Spannungsspitzen erzeugen. Trotz L7 und der Glimmlampen H ist es die sicherste Lösung, nach Gebrauch die Antenne von der PA und damit auch vom Steuersender zu entfernen.

### **Schlußbemerkungen**

Aus der Länge des Textes und dem Umfang der Unterlagen ist zu erkennen, daß sich der Verfasser bemüht hat, sowohl den theoretischen Hintergrund als auch die praktische Verwirklichung ausreichend leichtverständlich darzustellen. Für den erfahrenen Elektronik-Profi ist vieles bestenfalls ein Repetitorium, dem weniger geübten Einsteiger mag es aber ein deutliche Hilfe sein. In jedem Fall ist es notwendig, sich ausreichend mit den technischen Unterlagen, den Fotos und dem Text zu beschäftigen, bevor man mit dem Nachbau beginnt. Und nun: Viel Erfolg! Ein Angebot für einen kompletten Bausatz ist in beam 8/94, Seite 31 zu finden.