

*FET-Kompakt-PA von
DL9AH Vorderansicht*

C40/41

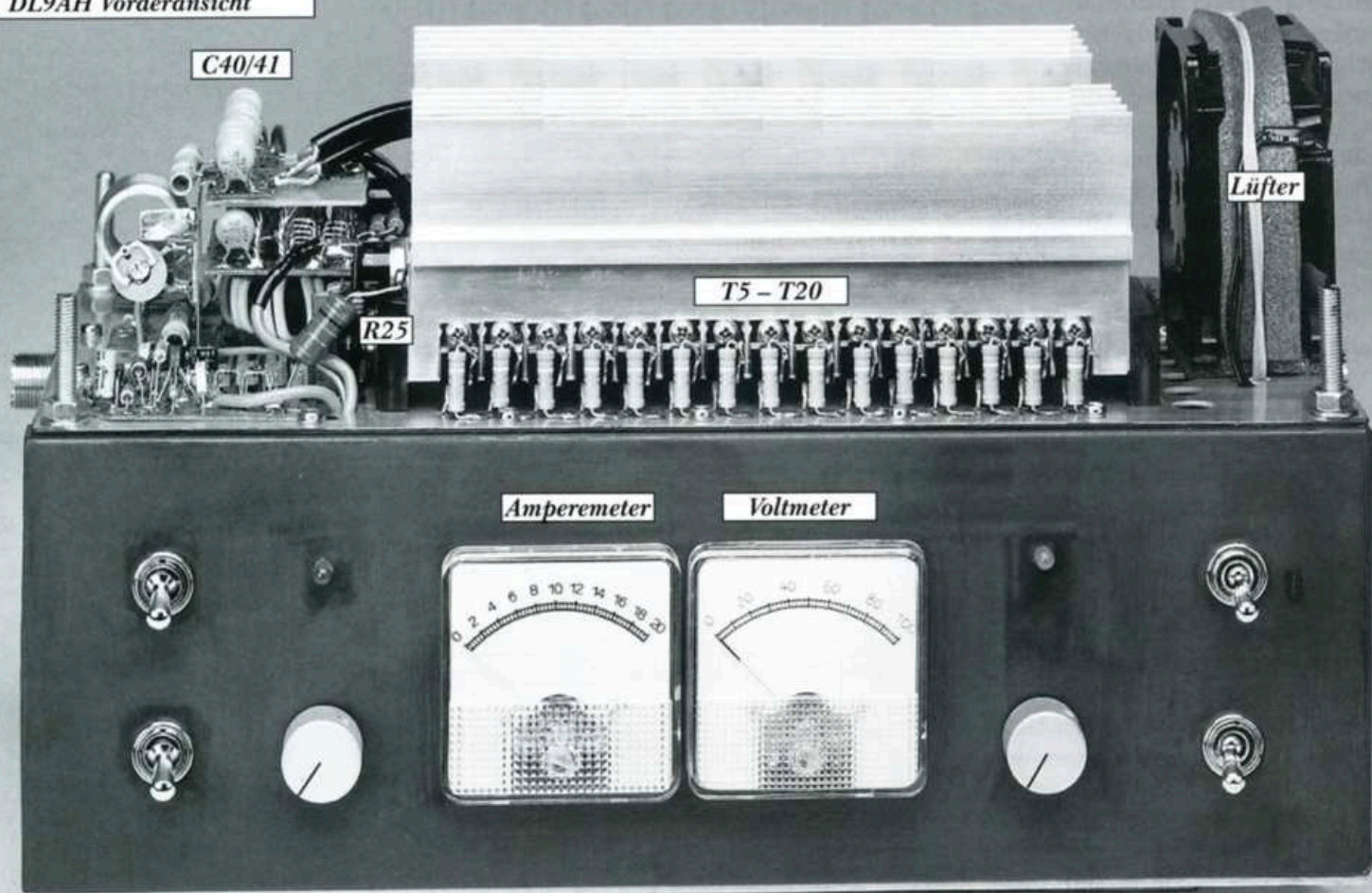
Lüfter

T5 - T20

R25

Amperemeter

Voltmeter



Der Verfasser hat sich seit mehr als 3 Jahrzehnten unter anderem auch mit dem Bau von Senderendstufen 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 – PA's (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, PL509, PL519). Diese Impulsröhren waren eigentlich nicht für die Hochfrequenzverstärkung 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 Ver-

wendung von 150 W Anodenverlustleistung 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.

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 hätte

Arbeitswiderstände von ungefähr 0,1 Ω nach sich gezogen, 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 4 Endstufenmodule parallel geschaltet und in einem Leistungsaddierer (Combiner) aufaddiert werden. Eine aufwendige, teure und auch kritische Methode.

Wenn man nämlich 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 darüber hinaus 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 (zum Beispiel 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 der größte Teil der Sprachaussteuerung stattfindet, 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!

Er suchte weiter und fand ... Impuls – Leistungs – Feldeffekttransistoren. Diese eigentlich für den Impulsbetrieb vorgesehenen, selbstsperrenden MOS-FET's 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.
2. Sie lieferten die notwendigen Spitzenströme.
3. Sie verfügten über eine ausreichende Verlustleistung.

4. Sie waren ausreichend preisgünstig, um notfalls auch einmal einen Rückschlag hinnehmen zu können.
5. Es waren Majoritätsträgerbauelemente, die sich im wesentlichen wie Elektronenröhren verhalten.
6. Sie hatten eine weitestgehend quadratische Kennlinie.

Diese quadratische Kennlinie, die auch als doppelt leistungslineare Kennlinie bezeichnet werden kann, ließ von vornherein eine saubere Verstärkung erwarten.

Nach einer Reihe von Vorversuchen entstand die erste „Transistor-Linear-PA nach DL9AH“, die in den Heften 8, 9 und 10/94 der Zeitschrift „beam“ veröffentlicht wurde.

Sie arbeitete mit 160 Volt Betriebsspannung bei etwa 9 Ampere und erbrachte bei einem guten Intermodulationsabstand von besser 35 dB (auf 2-Ton bezogen) ohne Mühe die angestrebte Ausgangsleistung von 750 Watt. Allerdings nur von 1,8 bis ca. 15 MHz. Und da lag der Nachteil. Die hier vorgestellte „FET-Kompakt-PA von DL9AH“ ist nicht nur kleiner, was der An-

regung einiger OM's entsprach (Auslands- bzw. Portableinsatz usw.), sondern sie erbringt auch durchgehend bis 10 Meter die erwünschte Ausgangsleistung von ca. 750 Watt. Abgesehen von einigen Änderungen arbeitet sie nach dem gleichen Prinzip wie die Erstentwicklung. Von daher ist es nützlich, auch hier auf einige Grundsätzlichkeiten zu verweisen.

Wenden wir uns zunächst dem Prinzipschaltbild zu. Nach Durchdenken und Durchrechnen verschiedener Schaltungskonzepte entschied sich der Verfasser für das klassische Gegentaktprinzip. Es erfüllte alle gestellten Forderungen und ließ sich einfach realisieren. Beim Gegentaktprinzip verstärkt jeder Transistor nacheinander nur die positive Halbwelle. Das heißt, wenn z. B. T5 eine positive Aussteuerung erhält, muß T36 mit einer negativen Halbwelle gesperrt werden. Die positive Halbwelle am Gate von T5 bewirkt, daß der Leistungsinnenwiderstand zwischen Source und Drain so niedrig wird, daß ausgehend von dem auf ca. 100 V aufgeladenen Kondensator C16 ein kräftiger Elektronenstrom über R17

Intermodulationsabstände (zum Beispiel 3. Ordnung) von 30 – 35 dB (auf 2-Ton bezogen), wie sie bei Röhrenendstufen üblich sind, lassen sich mit bipolaren Transistoren nur mit Mühe erreichen. Im Kleinaussteuerungsbereich, also dort, wo der größte Teil der Sprachaussteuerung stattfindet, 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!

Er suchte weiter und fand ... Impuls – Leistungs – Feldeffekttransistoren. Diese eigentlich für den Impulsbetrieb vorgesehenen, selbstsperrenden MOS-FET's 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.
2. Sie lieferten die notwendigen Spitzenströme.
3. Sie verfügten über eine ausreichende Verlustleistung.

4. Sie waren ausreichend preisgünstig, um notfalls auch einmal einen Rückschlag hinnehmen zu können.
5. Es waren Majoritätsträgerbauelemente, die sich im wesentlichen wie Elektronenröhren verhalten.
6. Sie hatten eine weitestgehend quadratische Kennlinie.

Diese quadratische Kennlinie, die auch als doppelt leistungslineare Kennlinie bezeichnet werden kann, ließ von vornherein eine saubere Verstärkung erwarten.

Nach einer Reihe von Vorversuchen entstand die erste „Transistor-Linear-PA nach DL9AH“, die in den Heften 8, 9 und 10/94 der Zeitschrift „beam“ veröffentlicht wurde.

Sie arbeitete mit 160 Volt Betriebsspannung bei etwa 9 Ampere und erbrachte bei einem guten Intermodulationsabstand von besser 35 dB (auf 2-Ton bezogen) ohne Mühe die angestrebte Ausgangsleistung von 750 Watt. Allerdings nur von 1,8 bis ca. 15 MHz. Und da lag der Nachteil. Die hier vorgestellte „FET-Kompakt-PA von DL9AH“ ist nicht nur kleiner, was der An-

regung einiger OM's entsprach (Auslands- bzw. Portableinsatz usw.), sondern sie erbringt auch durchgehend bis 10 Meter die erwünschte Ausgangsleistung von ca. 750 Watt. Abgesehen von einigen Änderungen arbeitet sie nach dem gleichen Prinzip wie die Erstentwicklung. Von daher ist es nützlich, auch hier auf einige Grundsätzlichkeiten zu verweisen.

Wenden wir uns zunächst dem Prinzipschaltbild zu. Nach Durchdenken und Durchrechnen verschiedener Schaltungskonzepte entschied sich der Verfasser für das klassische Gegentaktprinzip. Es erfüllte alle gestellten Forderungen und ließ sich einfach realisieren. Beim Gegentaktprinzip verstärkt jeder Transistor nacheinander nur die positive Halbwelle. Das heißt, wenn z. B. T5 eine positive Aussteuerung erhält, muß T36 mit einer negativen Halbwelle gesperrt werden. Die positive Halbwelle am Gate von T5 bewirkt, daß der Leistungsinnenwiderstand zwischen Source und Drain so niedrig wird, daß ausgehend von dem auf ca. 100 V aufgeladenen Kondensator C16 ein kräftiger Elektronenstrom über R17

den Source – Drain – Kanal von T5 und die obere Hälfte von L4, also von A1 zum Mittelpunkt Mp fließt.

Setzt man alle Spannungsverluste (Zusammenbrechen der Betriebsspannung, Verluste an R17, Kniespannung von T5 usw.) mit 30 V an, so ergibt sich am Ausgang eine negative, hochfrequente Spitzenspannung von 100 V-30 V=70 V_s zwischen A1 und Mp. Da die untere Wicklungshälfte von L4 (Mp – E2) durch Sperrung von T36 immer noch stromlos ist, kann sie zur Transformation herangezogen werden. Die an dieser windungszahlgleichen Wicklung entstehende Spannung von ebenfalls 70 V_s ist mit der oberen Spannung phasengleich und addiert sich mit dieser zu 140 V_s zwischen A1 und E2. Der an diesen Punkten angeschlossene Guanella-Übertrager multipliziert diese Spannung von 140 V_s um den Faktor 2 auf 280 V_s. Rechnet man diese Spitzenspannung auf den Effektivwert zurück, so ergibt sich ca. 200 V_{eff}. Legt man nun den Lastwiderstand von 50 Ω über die Kop-

pelkondensatoren C40 und C41 zur Gleichspannungstrennung parallel zum Ausgang des Guanella-Übertragers, so ergibt die an ihm stehende hochfrequente Wechselformel:

$$P = \frac{U^2}{R}$$

eine Leistung von ca. 800 Watt. 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 T5 durchgesteuert, so folgt nun die negative Halbwelle, die T5 sperrt. Gleichzeitig erhält T36 im Zuge der gegenphasigen Aussteuerung jetzt die positive Halbwelle. Die Verhältnisse, die zuvor bei T5 abgelaufen waren, wiederholen sich nun bei T36, 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 Halwel-

le zwar die gleichen Spannungsverhältnisse, die Polaritäten sind aber umgekehrt. Dort, wo vorher minus war, ist jetzt plus; im Breitbandsparttransformator sind beide Halbwellen wieder zu einer kompletten Sinusschwingung zusammengesetzt worden.

Alle Vorteile eines Sparttransformators konnten hier sowohl in technischer als auch finanzieller Hinsicht erneut voll ausgeschöpft werden. Die zunächst symmetrisch anfallende Ausgangsleistung von 800 W wird dabei durch den aus Anpaßgründen ohnehin notwendigen Doppelbalun nach „Guanella“ gleichzeitig unsymmetriert, so daß am Ausgang die Leistung asymmetrisch mit 50 Ω-Kabel abgegriffen werden kann. Um die Stromaufnahme der PA zu ermitteln, empfiehlt es sich, einfach mit Spitzenspannungen und -strömen zu rechnen. Da am Lastwiderstand von 12,5 Ω die um den Faktor 2 hochtransformierte Spannung von 140 V_s steht, arbeitet jede Seite auf ein Viertel von $12,5 \Omega = 3,12 \Omega$.

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

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

$$I_s = \frac{U_s}{R} = \frac{70 \text{ V}_s}{3,125 \Omega} = 22,4 \text{ A}$$

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. 1 A – 1,5 A fließen muß, also kein absoluter B-Betrieb vorliegt, kann der Wert $\pi = 3,14$ auf 3 abgerundet werden. Es ergibt sich somit auf jeder Seite ein Gleichstrom von 7,47 A; beide zusammen also etwa 15 A. Der Input beträgt somit bei ca. 90 V Gleichspannung unter Last und 15 A Gleichstrom:

$$P = U \times I = 90 \text{ V} \times 15 \text{ A} = 1350 \text{ W}$$

Setzt man den Output von 800 W ins Verhältnis zum Input von 1350 W, so ergibt sich ein Wirkungsgrad von:

$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}} = \frac{800 \text{ W}}{1350 \text{ W}} \approx 60 \%$$

Dieser Wert wurde in der Praxis auch ziemlich genau erreicht und sogar etwas überschritten.

Nach den Betrachtungen im Ausgang der PA wenden wir uns nun dem Eingang zu. Wie schon erwähnt, müssen beide Gagentaktseiten gegenphasig angesteuert werden. Weiterhin muß die Eingangskapazität von jeweils 170pF, zu der sich neben anderen Einflüssen noch die Rückwirkungskapazität von $6,3 \text{ pF} \times (V_u + 1) = 200 \text{ pF}$ addiert, frequenzkompensiert werden (V_u ist der Spannungs-Verstärkungs-Faktor). 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 Pro-

bleme. Das unsymmetrische Eingangssignal wird durch den Eingangsübertrager nicht nur von 50 : 9 auf einen Lastwiderstand von $5,55 \Omega$ heruntersgesetzt, sondern der Ausgang wird gleichzeitig symmetrisch. Das ermöglicht, beide Seiten (alle E1 und alle E2) über jeweils einen Spannungsteiler R14/R16 bzw. R20/R22 nach Masse zu schalten, und so das gegenphasige Steuersignal zu gewinnen.

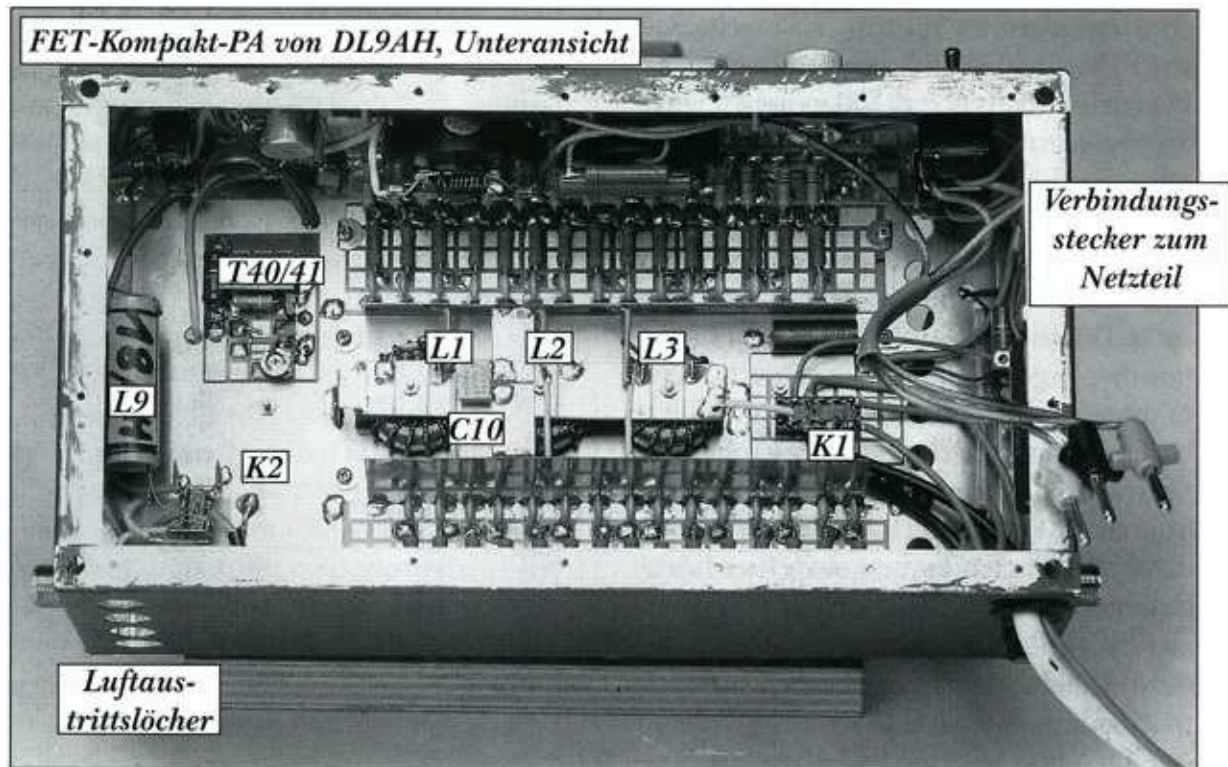
Die Parallelschaltung aller Widerstände auf jeder Seite soll einen Wert von ca. $2,77 \Omega$ ergeben, so daß das Eingangs-Koax-Kabel sauber abgeschlossen ist. Durch Erproben verschiedener Werte von C10 kann später das Eingangs-SWR auf 10 m (29 MHz) optimiert werden.

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.

Bleibt nur noch das Überwinden des

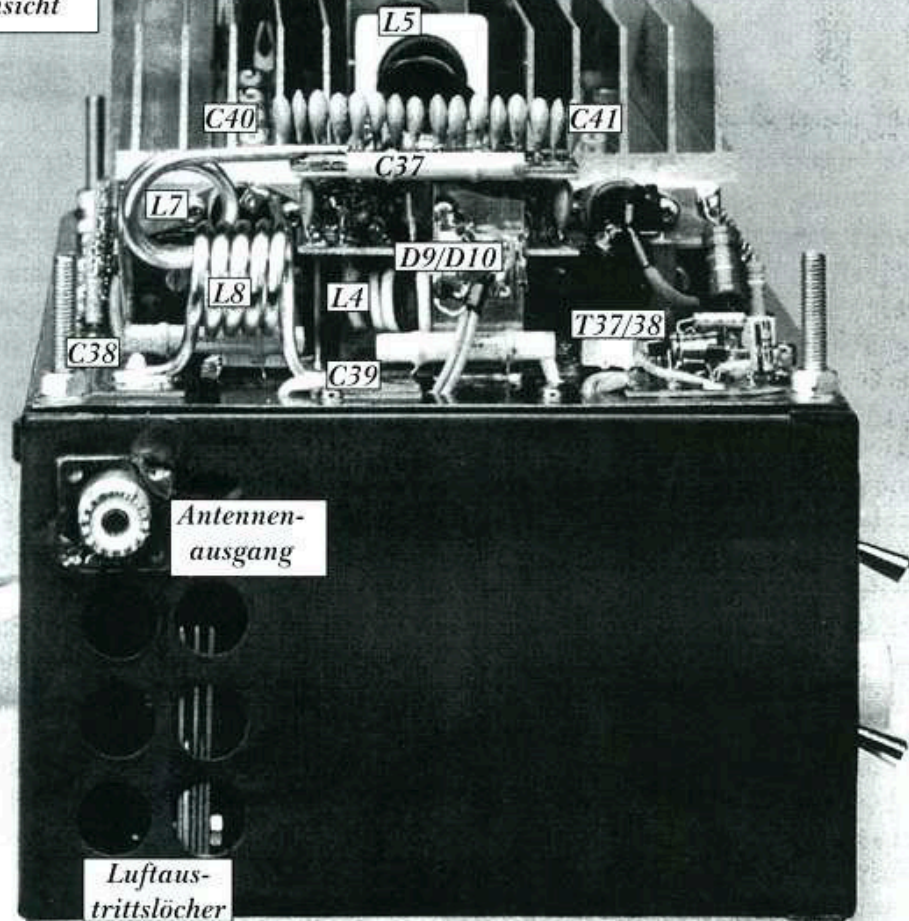
FET-Kompakt-PA von DL9AH, Unteransicht



Verbindungsstecker zum Netzteil

Luftaustrittslöcher

*FET-Kompakt-
PA von DL9AH
Seitenansicht*



mit steigender Frequenz niederohmig werdenden kapazitiven Widerstandes der Gesamteingangskapazität C_e . Dieser kapazitive Widerstand, der auf 10 m bereits sehr niederohmig ist, liegt R16 bzw. R22 parallel und mindert die Steuerwechselspannung bereits erheblich.

Um auf allen Bändern mit etwa gleicher Steuerleistung zurecht zu kommen, wird folgendes Verfahren angewendet: R16 wird etwas vergrößert und R14 wird etwas verkleinert, und zwar so weit, daß auf 10 m eine Vollaussteuerung mit ca. 80 W möglich ist. Um auf 160 m bei gleicher Steuerleistung nicht zuviel Steuerspannung an den Gates zu erzeugen, werden die Koppelkondensatoren C9 und C11 so bemessen, daß sich auf 160 m bereits ein deutliches Vorwiderstandsverhalten einstellt. Durch diese Eingangsschaltung, bei der die vorgeschalteten, linearen Bauelemente einen dominierenden Einfluß haben, erledigt sich die Eingangsunlinearität von selbst. Es kommt hinzu, daß die Sourcewiderstände (R17/R23) im Zuge ihrer Mehrfachaufgaben auch hier linearisierend wirken.

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 Antennensignal an der PA vorbeigeleitet, in Stellung „Senden“ wird das Steuersignal über die Kontakte 4/5 des Eingangsrelais K1, über den Eingangs-Guanella-Übertrager L1/L2/L3, über die Koppelkondensatoren C9/C11 und die Widerstände R14/R20 auf die Gates der insgesamt 32 MOSFETs gegeben. 2 x 16 Transistoren jeweils parallel zu schalten war notwendig, um auf eine gesamte Drainverlustleistung von ca. 1150 W – gleich ca. 100% Überdimensionierung – zu kommen. Bei den Strömen ist es dann noch günstiger. Selbst bei einer Erwärmung auf 100°C ist ein Gleichstrom von 38,4 A, und ein Spitzenstrom von 190 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-

oder Metalloxid/MOX-Widerstände verwenden, so daß 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, so daß 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.

Um die Transistoren gegeneinander im Finanß zu schützen, erhielt jeder Transistor einen einzelnen, relativ hochohmigen Gatespannungs-Zuführungswiderstand (R15/R21, ca. 50 K Ω). Schlägt ein Transistor durch und erscheint am Gate die volle Betriebsspannung UB von 100 V, so verhindert dieser Widerstand ein Hochlaufen der Gatespannung bei den anderen Transistoren (maximal auf die Zenerspannung von ZD1).

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 mehrfach die Transistoren unausgesucht erneuert und jedesmal die Intermodulationsabstände gemessen. Ergebnis: alle Sätze lagen oberhalb von 35 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 kappen, ist auf jeder Gegentaktseite eine einfache Einweg-Gleichrichtung vorgesehen, die auf der Betriebsspannung von 100 V aufsteht (Mp). Aus Gründen der leichten Beschaffbarkeit und des Prei-

ses werden jeweils 9 Universaldioden parallel und anschließend 9 dieser „Diodenpäckchen“ hintereinander (in Reihe) geschaltet. Das ergibt eine Spitzenspannungs-Festigkeit von ca. 630 Volt und einen kurzfristigen Spitzen-Strom von 18 Ampere, bei Kosten auf jeder Seite von z.Z. ca. 2,50 DM. Die Gleichspannungsseite wird mit Supressor-, Transil- oder einfachen Z-Dioden mit einer gesamten Z-Spannung von ca. 270V belegt. Unter normalen Betriebsverhältnissen wird die Z-Spannungsgrenze von total ca. 370V gegenüber Masse nicht erreicht. Übersteigt jedoch ein ungewollter Impuls diese Grenze, so werden die Z-Dioden leitend, und der Impuls wird sofort „online“ durch den Richtstrom der 81 Universaldioden auf jeder Seite belastet. LD1 und LD3 sollen unter normalen Bedingungen nicht aufleuchten. Sollten sie aber doch einmal aufleuchten, z.B. bei Fehlanpassung, sollte nicht weiter angesteuert werden.

Trotz dieser Schutzvorkehrung sollte aber auf saubere Kontakte geachtet werden, so daß vor allem Leistungsfunken

erst gar nicht entstehen können.

Wie bereits erläutert, ist die Stromquelle für die Ausgangsspitzenströme der Abblockkondensator C16 am Mittelpunkt von I4. Um die Entladungs-induktivitäten klein zu halten und um handelsübliche Kondensatoren verwenden zu können, wurden 10 bis 12 Kondensatoren mit kurzen Drähten parallel geschaltet. Das gleiche gilt für C40 und C41 (je 8 bis 10 mal).

Das Ausgangssignal steht grundsätzlich hinter L5/L6 zur Verfügung. Um aber ganz sicher zu sein, daß Störungen des UKW- oder Fernsehempfangs durch Oberwellen ausgeschlossen werden, hat der Verfasser gleich ein 2-stufiges Tiefpaßfilter mit einer oberen Grenzfrequenz zwischen 30 und 40 MHz eingebaut (L7/L8 und C37 bis C39). Dabei erhält L7 noch eine besondere Aufgabe. Um die Ausgangs- und Montagekapazitäten zu kompensieren und um damit die Anpassung zu verbessern, wird L7 mit den wirksam werdenden Kapazitäten am oberen Ende von 10 m wie ein Π -Filter in Resonanz gebracht. In der Praxis wird C37,

aber auch C38 und C39 so bemessen, daß sich auf 29 MHz der höchste Wirkungsgrad bei einem Output von ca. 750 W ergibt.

Die Oberwellenunterdrückung ist im Fernsbereich so gut, daß ein Fernsehgerät selbst mit Zimmerantenne in unmittelbarer Nähe (2m – 3m) der offenen PA störungsfrei betrieben werden kann. Voraussetzung ist natürlich, daß der Fernseher technisch einwandfrei ist und selbst keine störenden Beeinflussungen durch einen bestimmungswidrigen Nebenempfang (= mangelhafte, passive elektromagnetische Verträglichkeit) produziert. Auf den unteren Bändern 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“ sichergestellt ist. D7 ist nur eine Schutzdiode für den Strommesser bei Überlastung. T39 mit Beschaltung ist ein einfacher, einstufiger Spannungsregler, der am Ausgang (Emitter) eine ausrei-

chend 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 C49) eine Abfallverzögerung von etwa 10 ms. Mittlerer QSK-Betrieb bei Telegrafie ist damit möglich. Während bei Röhrenendstufen der Gitterstrom Einsatz 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 erheblich täuschen. Um ein sicheres Signal für eine etwa 100%-ige Aussteuerung zu erhalten, hat der Verfasser eine Aussteuerungsanzeige mit einer Leuchtdiode (LD2) entwickelt.

Von einer Gegentaktseite gelangt die mit der Hochfrequenzspannung überlagerte Betriebsspannung über den Trennwiderstand R25 und eine Diodenkette (wegen der Spannungsfestigkeit) auf die Basis eines auf 17 Volt vorgespannten PNP-Transistors. Nur wenn bei Vollaussteuerung der Drainspannungs-Restwert von ca. 16 Volt unterschritten wird, wird beim Transistor T37 die Basis gegenüber dem Emitter ausreichend negativ, so daß der Transistor T37 durchschaltet. Sein Kollektorstrom steuert T38 aus, und LD2 (rot) leuchtet auf.

Auf diese Weise hat man auch ein Indiz für die richtige Anpassung. Leuchtet die LED schon bei kleiner Stromaufnahme auf, ist der Lastwiderstand höher als 50 Ω ; leuchtet LD2 erst bei großen Strömen (18 A, max. 20 A) auf, dann ist der durch das Koaxkabel dargebotene Lastwi-

derstand niedriger als 50 Ω . In jedem Fall muß im praktischen Betrieb darauf geachtet werden, daß bei Sprachaussteuerung (SSB) LD2 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! Dieser im Prinzip simplen Aussteuerungsanzeige wurde eine sinnvolle ALC-Spannungsgewinnung angehängt. Sie 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 C31 ist immer aufgeladen (über D11 und R31). Liegt mehr als 100%-ige Aussteuerung vor und wird dadurch der Transistor in seiner Emitter-Kollektorstrecke leitend, so leuchtet nicht nur LD2 auf, sondern der Pluspol von C31 wird zusätzlich auf Masse „gezogen“. Die vorher bereits aufgenommene Ladung am Minuspol von C31 kann somit sofort über D12 den verhältnismäßig klei-

nen Kondensator C35 aufladen. Regeleinsatzverzerrungen sind von daher ausgeschlossen, sofern der angeschlossene Transceiver über ähnlich gute Regeleigenschaften verfügt. Das Trimpoti R35 dient der individuellen Anpassung an die Transceivererfordernisse; C36 und R34 gewährleisten eine ausreichende Regelabfallverzögerung.

Und nun zum Netzteil

Die Qualität eines guten Leistungsverstärkers steht und fällt mit der Qualität des Netzteils. Nach einigen Umwegen hat der Verfasser ein neuartiges „Simple Schaltnetzteil von DL9AH“ entwickelt. Es arbeitet ohne Transformator, hat einen Wirkungsgrad von über 98% (!), verfügt bei einer Last von 15 A über eine ausreichend niedrige Brummspannung und ist ausreichend spannungsstabil. Es ist darüber hinaus einfach, leicht, billig und erzeugt keine Störungen durch Oberwellen. Das Prinzip wird sofort verständlich, wenn man sich die Reihenschaltung D3, C5, D4, C6, D5 und C7 anschaut.

Es handelt sich um eine einfache Einweggleichrichtung mit drei hintereinandergeschalteten Ladeelkos, zwischen denen sich jeweils eine Diode befindet. Während der positiven Halbwelle der Netzspannung werden die Elkos zusammen auf ca. 330 V aufgeladen. Sind alle drei Elkos gleich, steht an jedem Elko (C5, C6 und C7) 1/3 der Netzspitzen-spannung an, also etwa 100 Volt. D4 + D5 stören bei diesem Aufladevorgang nicht, da sie in gleicher Durchlaßrichtung geschaltet sind wie D3. Sie sind als Trenndiode aber für die nach der Aufladung folgende Parallelschaltung von C5, C6 und C7 notwendig. Dazu wird der Minuspol von C5 + C6 über eine umgekehrt gepolte Diode (D1 + D2) mit Masse verbunden.

Der Pluspol von C5 + C6 braucht jetzt nur noch über je einen elektronischen Schalter (T2 + T4) im Prinzip dem Pluspol von C7 zugeschaltet zu werden. Ergebnis: 1/3 Spannung = 3-fache geladene Kapazität mit 3-fachem Entladestrom.

Die elektronischen Schalter dürfen allerdings nur nach abgelaufener Aufladephase geschlossen sein. Um dieses zu erreichen, wird den Darlington-Schalttransistoren T2 + T4 jeweils ein PNP-Transistor (T1 + T3) vorgeschaltet. Diese werden direkt vom Netz angesteuert. Sinkt die Spannung auf der hinteren Flanke der positiven Halbwelle ab, schaltet zunächst T1 + T3 und als Folge T2 + T4 durch.

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 C5, C6 und C7 (ca. 30 Ws !) sollten Kurzschlüsse tunlichst vermieden werden. Beim Experimentieren empfiehlt es sich, ausreichend lange zu warten, bis alle Elkos auch wirklich leer sind. Ein Voltmeter zusätzlich einzubauen, ist schon aus diesem Grunde sinnvoll. Ersatzweise, oder wenn durch die Parallelschaltung von vielen kleinen Elektrolytkondensatoren für C5, C6 und C7 wenig Platz verbleiben

sollte, kann auf eine Leuchtdiode (LD5) zurückgegriffen werden. Im Ausgang wird das Netzteil durch eine flinke 16 A – Sicherung abgesichert. R1 ist ein Anlaufwiderstand, der nach dem Einschalten bei geöffnetem S2 den Einschaltstrom begrenzt. Sind die Kondensatoren C5, C6 und C7 nach ca. 5 – 8 Sekunden aufgeladen, wird er durch Schließen von S2 überbrückt.

Durch den Schalterbetrieb kommt es zu einer Brummfrequenzverdreifachung. Sie ist zwar zeitlich unsymmetrisch, wirkt sich aber auf die Brummspannung günstig aus. C8 überbrückt hochfrequenzmäßig C7.

Verbleibt noch die Erstellung der positiven Gatespannung (UG). Sie wird nach dem Prinzip der Z-Dioden-Stabilisation gewonnen. R45 ist der Vorwiderstand, und die Transistoren T40/T41 stellen mit Beschaltung eine aktive, grob und fein einstellbare Z-Diode dar. Bei niedrigstem Wert von R50 und R51 steht an C55 die höchste Gatespannung.

Die Gatespannung direkt von ca. 100 V abzuleiten, stellt nicht nur eine Vereinfachung dar, sondern bringt auch die höchste Stabilität und die geringste Brummspannung. R50 wird so eingestellt, daß von außen mit R51 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 beibehält.

C53 ist ein Siebkondensator, ZD7 soll ein „Weglaufen“ der Gatespannung auf unzulässige Werte nach oben verhindern. 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 Montagerahmens, der Platinen, der Bauteile usw. Zunächst werden beim Montagerahmen und den Platinen mit Schleifpapier die Grate gebrochen. Die große, ungeätzte, doppelseitig kaschierte Hauptplatine 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 alle übrigen verwechselbaren Teile (Kühlblöcke, Kühlkörper, PA-Platine, usw.) anbringen sollte, sind wichtiger, als man am Anfang glaubt.

Ca. 5 mm vom Rand werden im Abstand von ca. 50 mm Löcher mit einem Durchmesser von 3,5 mm gebohrt. Die Platine dient danach als Bohrschablone für den Rahmen und die Bodenplatte. Eine doppelkaschierte Platine wurde gewählt, weil sie neben dem guten, kupferbedingten Leitwert eine doppelte Abschirmung zwischen dem oben liegenden Ausgang und dem unten liegenden Ein-

gang mitbringt. Da alle Bauelemente im Ausgang der PA oben montiert werden, die vergleichbar großen Ausgangsströme also auf der oberen Kaschierung fließen, ist eine Verkopplung mit den unten angebrachten Eingangsbauteilen weitestgehend ausgeschlossen. Die 3-mm-Schrauben, mit denen die Platine später mit dem Rahmen verschraubt wird, sollen, der besseren Durchkontaktierung wegen, oben Zahnscheiben oder Sprengringe erhalten.

Um den Platz auf der Oberseite der Platine möglichst geschickt auszunutzen, werden alle Bauteile provisorisch auf die Platine gestellt. Dazu werden vorher die Kühlkörper mittig von oben auf die Kühlblöcke aufgeschraubt. Seitlich werden aus einer Kunststoffplatte geschnittene ca. 8 mm starke Montagstützen (50 x 23 mm) so angeschraubt, daß der Kühlblock mit dem aufgesetzten Kühlkörper etwa 8 mm über der Platine „schwebt“. Dadurch wird die Montagekapazität minimiert und die obere Grenzfrequenz – in Verbindung mit dem auf 1/4 reduzierten

Lastwiderstand – deutlich über 30 MHz angehoben.

$$f_o = \frac{1}{2 \times \pi \times R \times C}$$

f_o = obere Grenzfrequenz (Abfall auf -3 dB)

Um hinterher auf beiden Seiten der Alu-Kühlblöcke löten zu können, wird gleich jetzt an allen vier Stirnseiten je ein Weissblechplättchen von 30 x 50 mm mit untergeschraubt. Die Positionen der beiden Kühleinheiten sollten so gewählt werden, daß einerseits zwischen ihnen ausreichend Platz für den Ausgangs-Koax-Übertrager bleibt, andererseits der Lüfter – für den Einsatz in heißen Ländern ggf. zwei nebeneinander – mit einem etwa 10 bis 12 mm breiten Spalt fixiert werden kann. Im Spalt werden einige ca. 10-mm-Löcher in die Platine gebohrt, so daß ein Teil der Kühlluft von oben unter das Chassis gedrückt wird.

Ist alles in dieser Weise zurechtgerückt und markiert, bleibt auf der linken Seite ein Freiraum von gut 90 mm übrig. Und nun beginnt das Bohren. Dort, wo später die Endstufentransistoren angeschraubt werden sollen, wird von unten an den Längsseiten der Kühlblöcke im Abstand von 13 mm eine Hilfslinie gezogen. Auf dieser Linie werden dann im Abstand von 11 mm die Bohrlöcher so angezeichnet, daß alle Transistoren symmetrisch Platz finden können. Die Unterkante der Transistoren soll mit der Unterkante der Kühlblöcke abschließen.

Nach dem sauberen Ankörnen werden die ca. 15 mm tiefen 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 „Oliven“-Öl zu schmieren. Spiritus ist entgegen allgemeiner Meinung ungeeignet, da er keine fettende Schmierwirkung hat. Gleiches gilt auch für das darauf folgende Schneiden der M3-Gewinde. Empfehlenswert ist ein Maschinen-Gewindeschneider, der vorne einen kleinen Bohrer angesetzt hat und der in einem Schnitt das Gewinde fertigstellt. Eine große Zeitersparnis bringt die Verwendung eines kleinen Akkubohrschraubers mit Drehmomentbegrenzung. Aber Vorsicht, sobald der Gewindeschneider zu klemmen beginnt: Lieber rückwärts laufen lassen und die Späne ausklopfen.

In gleicher Weise werden von unten, ca. 5 mm von der Längsaußenkante entfernt, bei allen vier Kunststoffstützen der Kühleinheiten jeweils zwei Löcher 2,5 mm gebohrt und mit einem 3-mm-Gewinde versehen. Die dazu gehörenden Befestigungslöcher in der Platine werden ebenfalls gebohrt. Beim probeweisen Anschrauben der Kühleinheiten wird auf je-

der Seite von unten eine Laborplatine so angeschraubt, daß sich die längs laufende 7 mm breite Leiterbahn mittig unter den Gatebeinchen der Endstufentransistoren befindet.

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 T5 – T20 hinten und T21 – T36 vorne gebohrt werden. Dazu wird jeweils 3 mm links unterhalb der Befestigungslöcher der 32 Transistoren eine Bohrmarkierung angebracht. Der Abstand zum Kühlblock soll ebenfalls ca. 3 mm betragen. Danach werden die oben probeweise montierten Kühleinheiten demontiert, die PA-Platinen aber unter Verwendung von 3-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 bis 3,5 mm aufgebohrt und wegen der Kurzschlußgefahr von oben und unten angesenkt. Zur Trennung der Gateanschlüsse wird jetzt bei den PA-Platinen 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 bis 10 mm) gebohrt werden. Einige zusätzliche Verlegenheitslöcher zu bohren, ist immer ratsam.

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 Stahlfussel wird unten rundherum der Rand auf eine Breite von ca. 10 mm mit Klebestreifen abgedeckt. Um die glänzenden Kupferoberflächen über Jahre zu erhalten, empfiehlt es sich, beide Seiten ein- oder zweimal mit Plastik-Spray zu überziehen. Während der Trockenzeit kann der Montagerahmen mit den Schaltern, Buchsen, Leuchtdioden usw. bestückt werden. Danach werden 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,

kann jetzt die hintere Kühleinheit 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 (T5 – T36), die mechanisch und elektrisch direkt mit der Kühleinheit verbunden sind.

Um eine möglichst kleine, kompakte PA zu bauen, wurde dieses Mal der Montagerahmen kleiner, aber etwas höher angeordnet. Das hat zwei Vorteile: Zum einen kann man die von ihrer Bauform möglichst flachen Meßinstrumente direkt in den Rahmen einlassen; zum anderen kann das Netzteil auf die Bodenplatte montiert und von unten in den Rahmen eingeschoben werden. Um Kurzschlüsse zu vermeiden, wird zunächst der Rand des Weißblechrahmens auf der Bodenplatte dick gekennzeichnet. Zur Befestigung der Bauteile und der aus Alu-Blechen hergestellten Kühlkörper für die

Schalttransistoren T2/T2' und T4/T4' werden am Rand Laborplatinenstreifen mit einem Kontaktkleber aufgeklebt. Die Elkos werden zu drei Paketen zusammengefaßt und ebenfalls so eingeklebt, daß sie später innen nicht anstoßen. Die Gehäuse der Elkos dürfen untereinander keinen Kontakt haben. Danach werden die Bauteile gemäß dem Schaltbild des Simple-Schaltteil, direkt auf die Elkos oder Labor-Platinenstreifen aufgelötet und miteinander verbunden. Da hier zum Teil große Ströme fließen, erschien es das Einfachste, farblich gekennzeichnete Telefonbuchsen und farblich passende Bananenstecker als Steckverbindung Netzteil-PA zu verwenden.

Ist alles fertiggestellt, kann das Netzteil über einen Schutztrenneinstelltrafo langsam hochgefahren werden. Dabei ist darauf zu achten, daß die Elkos ausreichend Zeit zur „Formierung“ erhalten. Stehen keine ausreichend dimensionierten Lastwiderstände für eine Probelastung zur Verfügung, kann ein Heizgerät oder ein Bügeleisen von ca. 2000 W ver-

wendet werden. Das Netzteil sollte in der Lage sein, die dabei zustande kommende Last von ca. 3,5 A mehr als 5 Minuten ohne unzulässige Erwärmung ertragen zu können.

Ist das Netzteil fertig, und ist für die Sicherung (16 A flink) ein geeigneter Platz gefunden worden, können die beiden Stufen zur Erzeugung von 17 V (T39 ...) und 4 V (T40, T41 ...) gemäß Schaltbild und Bestückungsplan aufgebaut und durchgemessen werden. Die zweckmäßigste Position ist dem Foto „Unteransicht“ (funk 3/97) zu entnehmen.

Und nun zur eigentlichen PA

Da die Hex-FETs empfindlich gegen statische Aufladung sind, sollten sie zuletzt montiert und verlötet werden. Beginnen wir mit dem Ausgang.

Ist der Sparausgangstrafo L4 (siehe Wickelplan für die Spulen L1 – L9) fertiggestellt, 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 beiden Kühleinheiten geschoben und mit der Hauptplatine verklebt (zunächst nur eine Kühleinheit montieren). Die Enden (A1 und E2) werden später möglichst kurz auf die Weißbleche an den Stirnseiten der Kühlblöcke aufgelötet. Von der oberen Kaschierung können nun hochfrequenzgünstig die 8-10 Kondensatoren C16 – C25 in 2 Paketen zu je 4-5 Stück (vorne und hinten) nach Masse geschaltet werden.

Mit einer ausreichend langen 3 mm Gewindestange, die vorher mitten durch den Spartrafo mit 2 Muttern in der Hauptplatine verschraubt worden ist, wird nun zunächst eine 80 mm lange Laborplatine mit ebenfalls einer untergelegten Filzscheibe aufgeschraubt. Damit diese Platine die vielen Dioden der „online“-Spannungsklippung D9, D10 aufnehmen kann, sollte die den Kühleinheiten zugewandte 7 mm breite Leiterbahn durch Sägeschnitte zu weiteren Lötinseln aufgeteilt werden. Ca. 25 mm darüber wird

dann später eine weitere vorbereitete Platte zur Aufnahme der Ausgangs-Koppelkondensatoren C40 und C41 (mit einer ggf. aufgeschraubten oder vernieteten großen Lötinsel) aufgeschraubt (vergl. Foto „Oberseite“).

Um die beiden mit Koaxkabel bewickelten Ferritstäbe des Ausgangs-Guanella-Übertragers zwischen den beiden Kühleinheiten montieren zu können, hat der Verfasser zwei einseitig kaschierte Basismaterialstreifen mit den entsprechend großen Löchern kurzerhand von oben stehend auf die Hauptplatine aufgelötet.

Dabei ist es wichtig, daß die Kupferkaschierung in der Höhe beider eingeschobener bewickelter Ferritstäbe durch Sägeschnitte unterbrochen wird. Die Kupferkaschierung darf keine Kurzschlußwindung darstellen.

Vor der endgültigen Montage der Kühleinheiten sollte auf der Stirnseite des Kühlblocks hinten ein Bi-Metall-Kontakt montiert werden, der bei Erreichen von 70 °C (max. 80 °C) die 17 V-Zuleitung zu den Relais unterbricht (S5). Auf der lin-

ken Stirnseite vorn kann ein Bi-Metall-Schließer angebracht werden, der bei 40 °C (max. 50 °C) einen ggf. vorhandenen Vorwiderstand des (der) Lüfter(s) überbrückt. Die Bi-Metall-Kontakte sollten etwas nach außen versetzt werden, so daß man im Bereich des Spar-Ausgangstrafos etwas mehr Platz hat.

Entsprechend unter einem Winkel von 90° werden L7 und L8 auf eine mit Leiterbahnunterbrechungen versehene Laborplatine aufgelötet und zusammen mit den Kondensatoren C37 und C39 auf dem Chassis hinten aufgeschraubt. Der Wickelkörper, der zur Erstellung von L7 und L8 diente (18-mm-Plastik-Panzerrohr aus dem Elektroinstallationsbereich), kann für die Herstellung von L9 verwendet werden. Die Spule wird mit einer isolierenden Unterlage gemäß Foto „Unterseite“ an die Seitenwand geklebt und vom Ausgang nach Masse verdrahtet (vergl. Wickelplan L1 – L9).

Links vorne neben den Kühleinheiten wird eine etwas zurechtgeschnittene Laborplatine mit doppelseitig klebendem

Teppichband aufgeklebt. Diese Platine nimmt dann die Bauteile für die Aussteuerungskontrolle und die ALC-Gewinnung auf. Sollten zur besseren Kühlung zwei Lüfter benutzt werden, kann der Platz hinten rechts dadurch freigeräumt werden, daß die dort auf dem Foto zu sehende kleine Platine zur 17V-Gewinnung auf eine Seitenwand unter das Chassis verlegt wird. Die Eckbolzen müssen in diesem Fall auf 3 oder 4 mm reduziert und genau an den äußeren Rand gesetzt werden. Der dann frei werdende Platz reicht aber zur Aufnahme von zwei Lüftern 80 x 80 mm aus.

Damit der (die) Lüfter auf Grund ihrer weichen und damit isolierenden Montage keine HF-Energie von oben nach unten verschleppen, sollten alle Anschlüsse möglichst sofort unter dem Chassis nach Masse abgeblockt werden (3,3 nF min. – 0,1 µF/250VAC oder 800 – 1000V DC). Wilde Schwingungen, für die man zunächst keine Erklärung hat, könnten sonst die Folge sein.

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 zwei induktionsarme 30 bis 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 C9 und C11 bringen die endgültige Stabilität. Entsprechend dem Bestückungsplan und dem Foto werden neben den Kondensatoren jetzt auch alle Widerstände aufgesetzt und verlötet. Alle Anschlußdrähte sollten so kurz wie möglich sein. Alle vergleichbaren Bauteile (z. B. R14 und R20) 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.

Zwischen den bereits teilweise bestückten Platinen (vergl. Foto „Unterseite“) wird jetzt der Eingangs-Guanella-Übertrager L1 – L3 entsprechend dem Bestückungsplan aufgeschraubt und angeschlossen. Alle Anschlußdrähte, besonders der nach Masse führende A2, sollen so kurz wie möglich gehalten werden. Zur Serienschaltung der Eingangs-Z-Leitungen L1 – L3 kann der einseitig kaschierte Deckstreifen für die Befestigung der drei bewickelten Ringkerne herangezogen werden. Mit jeweils 2 Sägeschnitten werden die Flächen, die man für die Befestigungsschrauben braucht, elektrisch von den übrigen Flächen getrennt. Die nun verbleibenden breiten „Leiterbahn“-Stücke können jetzt zur induktivitätsarmen Verbindung der CuL-Drähte verwendet werden. Die Masseverbindung wird aus gleichen Gründen mit einem Blechstreifen hergestellt.

Unmittelbar daneben 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 verbunden 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.

Ist alles gemäß Schaltplan, Bestückungsplan und Fotos eingebaut (mit Ausnahme der Transistoren T5 bis T36), kann die PA langsam hochgefahren und meßtechnisch überprüft werden. Wichtig ist dabei, daß alle Gatespannung von ca. 4,2 V führen. Sie soll über R50 eingestellt und über R51 veränderbar sein. Außerdem ist es ratsam, nicht nur die Funktion der Relais

anhand der Leuchtdiode LD4 (grün) zu kontrollieren, sondern auch die Arbeitsweise der jeweiligen Kontakte (u. a.) mit dem Ohmmeter nachzuprüfen.

Ist alles einwandfrei, können die Hex-FETs T5 bis T36 montiert werden. Wegen der ohnehin vorhandenen inneren Verbindung Drain-Kühlflansch werden die Drainbeinchen kurzerhand abgekniffen.

Die von außen betrachtet rechts liegenden Sourceanschlußbeinchen werden unmittelbar unterhalb des Transistorgehäuses nach oben gebogen. Von den Enden der hochgebogenen Sourcebeinchen können nun die Sourcewiderstände R17 und R23 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 32 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 von daher zu prü-

fen, ob alle Transistoren auch wirklich elektrisch einwandfrei sind. Dazu werden zunächst alle 32 hochliegenden Gates kurzfristig mit Masse verbunden und auf diese Weise entladen. Dann wird das Netzteil geringfügig hochgefahren, so daß an allen Drains – und damit auf beiden Kühlkörpern – eine Gleichspannung von 8 V – 10 V (nicht mehr!) steht. Da das Anlegen dieser Spannung, die auch für diesen Prüfvorgang von einem anderen Netzteil bezogen werden kann, die Gates wieder geringfügig aufgeladen haben könnte, werden noch einmal alle Gates kurzfristig mit Masse verbunden. Es darf nun kein Strom fließen.

Folgender Vorgang wird nun nacheinander bei allen 32 Transistoren wiederholt: Mit einem kleinen Schraubenzieher wird das Gate des 1. Transistors (z. B. T5) 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 Iso-

lation des Transistors einwandfrei, bleibt dieser Strom eine gewisse Zeit stehen, auch wenn man die Verbindung Gate – Kühlblock wieder löst. Nach ca. 3 Sekunden wird dieses Gate wieder kurzfristig mit Masse verbunden, und der gleiche Prüfvorgang kann beim nächsten Transistor vorgenommen werden. Stellt man auf diese Weise fest, daß bei allen 32 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 tatsächlich 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 ein „Dummy-Load“ wird angeschlossen, der Service-Schalter S3 und der Netzschalter S1 werden ein- und der Netzschalter S2 wird sicherheitshalber – quasi als Notbremse – ausgeschaltet. Nachdem R50/51 auf geringste Gatespannung gedreht worden sind, 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 R50 zu verstellen und nach dem Einschalten von S2 in Verbindung mit R51 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 zur Erreichung der Maximal- Leistung 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 mit Sicherheit Schäden für Leib und Leben ausschließen.

Zum Beispiel: 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 oder stundenlangen Rundspruchübertragungen ist trotz guter Kühlkörper mit einer deutlichen Erwärmung zu rechnen. Für eine ausreichende Kühlung ist von daher zu sorgen. Eine aus Basismaterialstücken zusammengesetzte Luftführungshaube über die PA zu „stülpen“ ist ratsam, weil dadurch die Kühlluft gezwungen wird, auch wirklich die

Rippen der Kühlkörper zu durchströmen.

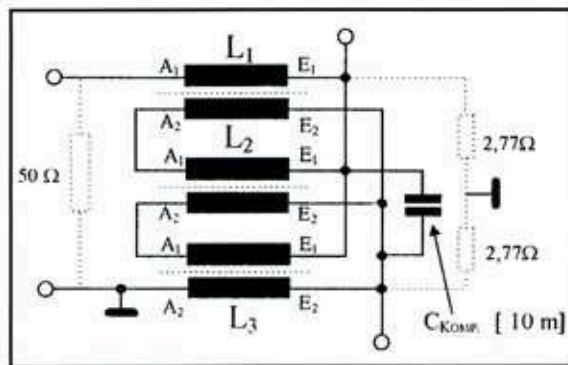
Sie stellt einerseits einen Berührungsschutz dar, andererseits schirmt die innenliegende Kupferkaschierung die PA nach außen ab. Sie verbessert außerdem den optischen Eindruck („das Auge funkt mit“). Statische Entladungen durch Blitzenentladungen in der Nähe können im Ausgang hohe Spannungsspitzen erzeugen. Trotz der „online“-Spitzenspannungsklippung ist es die sicherste Lösung, nach Gebrauch die Antenne von der PA und damit auch vom Steuersender zu entfernen.

Spulenwickelplan

L1, L2, L3 Eingangs-Guanella-Übertrager

Drei Ringkerne, 4C6-Material von Philips, $\varnothing=36$ mm, $A_L \geq 100 \times 10^{-9} \text{H/N}^2$ (Type: RCC36.6/15.6-4C65), werden jeweils mit 18 Windungen eng verdrehtem Kupferlackdraht (Z-Leitung) – 2 x 0,9 mm CuL / ca. 1 Meter lang, bewickelt.

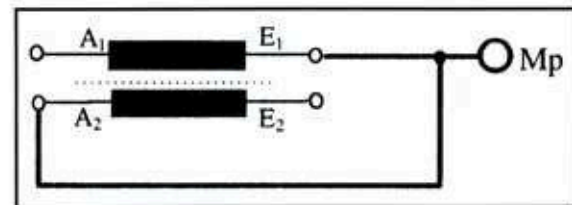
Die Ringkerne sollten vorher mit Plastikklebeband etwa 2-lagig bewickelt werden, so daß der verdrehte Kupferdraht nicht nur eine Isolation, sondern auch ein „weiches Bett“ bekommt. Scharfe Kanten an den Ringkernen sollten vorher mit grobem Schleifpapier abgerundet werden. Im Inneren der Ringkerne sollen die Windungen einen kleinen Abstand von etwa 1 – 1,5 mm haben. Mit dem Ohmmeter wird jeweils zwischen Anfang und Ende der durchgängige Draht festgestellt und durch Aufschieben von kleinen Isolierschlauchstücken markiert. (A1 am Anfang, E1 am Ende). Danach werden alle Wicklungen satt mit Plastikspray eingesprüht. Am Eingang werden alle drei Z-Leitungen hintereinander und im Ausgang alle 3 Z-Leitungen parallel geschaltet (vergl. Schaltbild 0.0). Damit keine Phasenfehler entstehen, sollen alle drei Ringkerne mit gleicher Windungszahl und gleicher Drahtlänge bewickelt werden.



Der Eingangswiderstand von 50Ω wird so „a-periodisch“ (all periodes = breitbandig) und nahezu verlustfrei auf 5,55 Ω übertragen und dann für jede Seite aufgeteilt auf ca. 2,77 Ω (Gegentakt-Ansteuerung). Die maximale Spitzen-Steuerspannung von 125 Volt (150 Watt max. Steuerleistung) wird so herunterübertragen auf den maximalen Steuerspannungswert der Transistoren von +/- 20 Volt.

L4 Breitband-Spartransformator-Ausgang

Ringkern, Philips Ferrit wie bei L1-L3. Die Verbindung Ende 1 (E1) mit Anfang 2 (A2) ergibt den Mittelpunkt (Mp).

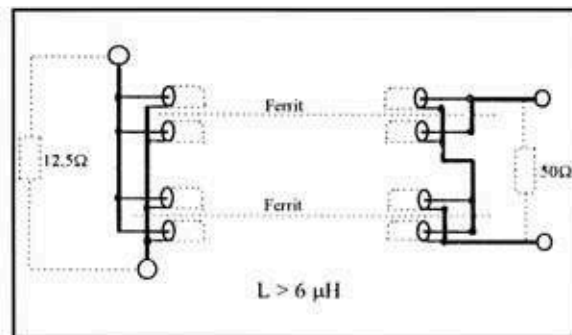


2 Drähte – Kupfer- oder Silberlitze – tetlonisiert, 2,5 mm², 2 mal 0,5 m lang, gleichzeitig (bifilar) zu einer Lage stramm aufwickeln, 8 Windungen.

L5 +L6 Ausgangs-Koax- Guanella-Übertrager

Benötigt werden 2 Ferritstäbe, ca. 10 mm dick, 160 mm lang, AL-Wert größer 50, wie sie für Rundfunk-Empfangsantennen verwendet werden. Jeder Ferritstab wird mit 2 x RG58 (2 x ca. 80 cm) bifilar stramm bewickelt. Jeweils am Anfang und am Ende werden Innenleiter mit Innenleiter und Abschirmung mit Abschirmung miteinander verbunden. Das ergibt eine aufgewickelte Z-Leitung von 25Ω. Bei der parallelen Montage sollten die bewickelten Stäbe einen gegenseitigen Abstand von etwa 1 bis 2 cm haben. Auf

der Transistorseite werden alle 4 Innenleiter und alle 4 Abschirmungen parallel geschaltet. Das ergibt einen Eingangswiderstand von ca. $12,5\Omega$. Alle 4 Innenleiter werden auf die eine, alle 4 Abschirmungen auf die andere Transistorausgangsseite gelegt. Am Ausgang dieses Guanella-Übertragers werden beide 25Ω -Leitungen hintereinander geschaltet, so daß sich dann 50Ω ergibt (Widerstands-Übersetzungsverhältnis 1:4/Spannungs-Übersetzungsverhältnis 1:2).



Der Lastwiderstand von 50 Ohm wird so a-periodisch nahezu verlustlos in den Ausgang der PA übertragen.

1. Filterspule

Ein ca. 33 cm langes Stück Draht („Elektriker“-Draht, 10 mm^2 massiv) abisoliert, mit Stahlwolle poliert, wird auf ein Plastik-Panzerrohr mit 18 mm Außendurchmesser zu $3\frac{1}{2}$ Windungen aufgewickelt und anschließend mit Plastikspray überzogen. $L = 0,37\mu\text{H}$, vergl. Foto „Seitenansicht“.

L8 2. Filterspule

Ein ca. 39 cm langes Stück Draht („Elektriker“-Draht, 10 mm^2 massiv) abisoliert, mit Stahlwolle poliert, wird auf ein Plastik-Panzerrohr mit 18 mm Außendurchmesser zu $4\frac{1}{2}$ Windungen aufgewickelt und anschließend mit Plastikspray überzogen. $L = 0,45\mu\text{H}$, vergl. Foto „Seitenansicht“.

L9 Schutzdrossel

Ein Stück Plastik-Panzerrohr, 18 mm Außendurchmesser, Länge ca. 70 mm, wird mit ca. 60 Wdg. = ca. 4 m CuL 0,9 mm, bewickelt. Dabei ergibt sich ein L von ca. $20\mu\text{H}$ und ein XL von ca. 230Ω auf 160 m. Diese „Gesundheitsdrossel“, die ja parallel zum 50Ω -Koaxkabel im Ausgang liegt, verhindert nicht nur statische Aufladungen auf der Antenne, sondern stellt auch gleichzeitig ein L/R-Glied und damit einen Hochpaß dar, so daß starke Sender auf niedrigen Frequenzen bei Empfangsbetrieb eine zusätzliche Dämpfung erfahren. Sie verhindert außerdem, daß bei einem Defekt Gleichspannung auf das Ausgangs-Koaxkabel gelangen kann.

Kurzdaten Power-HEXFET-Transistor IRF710:

Max. Dauerstrom	bei 25 °C 2A
Max. Dauerstrom	bei 100 °C 1,2A
Pulsspitzenstrom	5A
Gesamtverlustleistung	25 °C 36W
Spitzen-Drainspannung	400V
Steilheit	1,5A/V
Einschaltverzögerungszeit	7,9ns
Anstiegszeit	9,9ns
Ausschaltverzögerungszeit	21ns
Fallzeit	11ns
Eingangskapazität	170pF
Ausgangskapazität	34pF
Millerkapazität	6,3pF

Schlußbemerkungen

Aus der Länge des Textes und dem Umfang der Unterlagen mag der geneigte Leser erkennen, daß der Verfasser sich 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 Ein-

steiger mag es aber eine 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. Der Verfasser ist häufig auf 80 m und 40 m QRV und steht dort für Diskussionen und Rückfragen gerne zur Verfügung.

Der Verfasser bedankt sich für die vielen Erfahrungsberichte, die sich beim Nachbau der ersten FET-Linear-PA ergeben haben, für die vielen fruchtbaren Diskussionsbeiträge von DK6AE, Horst, für die tätige Mithilfe zur profimäßigen Herstellung dieser Dokumentation bei DL6EX, Peter, und vielen anderen.

Und nun: Viel Erfolg!

Arno Weidemann, DL9AH

1. Aus Sicherheitsgründen wurde für den Einsatz in heißen Ländern oder für extreme Einsätze von SSTV, RTTY etc., der Temperaturabschalt- punkt von 85 °C auf 70 °C herunter- gesetzt (S5).
2. Für solche Einsätze empfiehlt es sich außerdem, die Kühlung dadurch zu erhöhen, daß man - bei mittiger Montage des Kühlkörpers auf dem Kühlbock - innen jeweils auf dem 5 mm dicken Bodenrand des Kühlkör- pers ein zusätzliches Kühlblech auf- schraubt (Alu, 1,5-2,5 mm stark; 185 x 67 mm). Dadurch ergibt sich nach oben und unten jeweils eine zusätzli- che Kühlrippe.
3. Nach der Bearbeitung lassen sich die Kühlkörper, Kühlblöcke etc. sehr gut mit „AKO-Pads“ reinigen und polie- ren.
4. Wegen der besseren Wärmeableitung sollen Z-Dioden immer mit kurzen Drähten und viel Lötzinn eingelötet werden. Die Lötstellen dienen so als kleine Kühlflächen.
5. Beim Zusammenlöten der Basisma- terialstücke zur Erstellung der Luft- führungshaube (quasi Gehäuseober- teil) sollte der Temperaturverzug beim Löten beachtet werden. So empfiehlt es sich, zuerst die Längssei- ten unter einem Winkel von etwas mehr als 90° aufzustellen und in Längsrichtung mit einigen, gut 12 mm langen Lötstellen zu „heften“. Die erkalteten, sich zusammenzie- henden Lötstellen, ziehen das auf den Rand der Deckplatte aufgestell- te Seitenteil etwas nach innen, so daß dann der richtige Winkel von 90° üb- rig bleibt.

Das gleiche gilt für die übrigen Teile (rechts 45 x 85 mm, links 25 x 85 mm). Es ist nicht ratsam, danach die Kehle innen vollständig mit Lötzinn zulaufen zu lassen. Das erstarrende Lötzinn würde alles wieder verziehen.
6. Wärmeleitpaste sollte an allen Stel- len, an denen Wärme von einer auf die andere Fläche übergehen soll, nicht vergessen werden (zum Beispiel zwischen den einzelnen Blechen des Kühlpaketes im Netzteil).
7. Um alle Transistoren einzeln auf ihre Funktionsfähigkeit kontrollieren zu können, kann man parallel zu den Source-Widerständen Leuchtdioden mit einem Serienwiderstand von zir- ka 100 Ohm anordnen (32 mal). Eine gewisse Unterschiedlichkeit in der Leuchtstärke der Dioden auf den ver- schiedenen Bändern läßt sich aber nicht ganz vermeiden und muß da- her als „normal“ eingestuft werden.

Widerstände für den Bau der FET-Kompakt-PA

Nr	Symbol laut Schaltplan	Wert/Typ	Leistungs-/Spannungsangaben	Sonstiges	Bild
1	R1	50 Ω	25 Watt		1.0
2	R2	ca. 60 K Ω - 80 k Ω	1 Watt		1.0
3-5	R3-R5	6,8 K Ω	2 Watt		1.0
6	R6	22 K Ω - 33 K Ω	2 Watt		1.0
7	R7	8,2 K Ω	½ Watt		1.0
8	R8	22 K Ω - 33 K Ω	2 Watt		1.0
9	R9	8,2 K Ω	½ Watt		1.0
10	R10, R10'	ca. 1 Ω - 2,2 Ω	½ Watt		1.0
11	R11	ca. 470 Ω	½ Watt		1.0
12	R12, R12'	ca. 1 Ω - 2,2 Ω	½ Watt		1.0
13	R13	ca. 470 Ω	½ Watt		1.0
14	R14, R14'	27 Ω	2 Watt	alle 16 mal gleich	0.0
15	R15, R15'	40K Ω - 60 K Ω	½ Watt	alle 16 mal gleich	0.0
16	R16, R16'	56 Ω - 68 Ω	1 Watt	alle 16 mal gleich	0.0
17	R17, R17'	3,9 Ω - 4,7 Ω	2 Watt	alle 16 mal gleich	0.0
18f	R18, R19	330 Ω	¼ Watt		0.0
20	R20, R20'	27 Ω	2 Watt	alle 16 mal gleich	0.0
21	R21, R21'	40 K Ω - 60 K Ω	½ Watt	alle 16 mal gleich	0.0
22	R22, R22'	56 Ω - 68 Ω	1 Watt	alle 16 mal gleich	0.0
23	R23, R23'	3,9 Ω - 4,7 Ω	2 Watt	alle 16 mal gleich	0.0
24	R24	2,2 K Ω	½ Watt		0.0
25	R25	1 K Ω	2 Watt		0.0
26	R26	3,9 Ω	2 Watt		0.0
27	R27	3,9 Ω	2 Watt		0.0
28	R28	10 K Ω	½ Watt		0.0
29	R29	3,9 K Ω	½ Watt		0.0
30	R30	100 K Ω	½ Watt		0.0
31	R31	ca. 500 Ω	½ Watt		0.0
32	R32	ca. 700 Ω	½ Watt		0.0
33	R33	ca. 700 Ω	½ Watt		0.0
34	R34	200 Ω - 300 Ω	½ Watt		0.0
35	R35	50 K Ω - 100 K Ω	0,2 - 0,4 Watt	Poti, linear	0.0
36	R36	3,9 Ω	2 Watt		0.0
37	R37	3,9 Ω	2 Watt		0.0
38	R38	500 Ω	4 Watt		0.0
39	R39	15 K Ω - 20 K Ω	½ Watt		0.0
40	R40	ca. 700 Ω	½ Watt		0.0
41	R41	ca. 700 Ω	½ Watt		0.0
42	R42	200 Ω - 250 Ω	½ Watt		0.0
43	R43	2,2 K Ω	½ Watt		0.0
44f	R44, R45	6,8 K Ω	2 Watt	R44 wenn gewünscht	2.4
46	R46	3,9 Ω	2 Watt		2.4
47	R47	1,5 K Ω			2.4
48	R48	1,8 K Ω - 2,2 K Ω			2.4
49	R49	330 Ω			2.4
50	R50	1 K Ω	linear	Trimm-POTI	2.4
51	R51	4,7 K Ω	linear	POTI	2.4
52	R52	1 K Ω - 1,2 K Ω			2.4

alle Widerstände, wenn nicht anders erwähnt = ¼ Watt

Kapazitäten für den Bau der FET-Kompakt-PA

Nr	Symbol laut Schaltplan	Wert/Typ	Leistungs-/Spannungsangaben	Sonstiges	Bild
101	C1	3,3 nF	630V = /250V ~		1.0
102	C2	3,3 nF	630V = /250V ~		1.0
103	C3	3,3 nF	630V = /250V ~		1.0
104	C4	3,3 nF	630V = /250V ~		1.0
105	C5	wenigstens 5000 µF	120 - 200V ~	alle gleich	1.0
106	C6	wenigstens 5000 µF	120 - 200V ~	alle gleich	1.0
107	C7	wenigstens 5000 µF	120 - 200V ~	alle gleich	1.0
108	C8	3,3 nF - 0,1 µF	400V		1.0
109	C9, C9'	3,3 nF	250V ~	16 mal	1.0
110	C10	250 - 300 pF	250V ~	HF - tauglich, siehe (*)	1.0
111	C11, C11'	3,3 nF	250V ~	16 mal alle gleich	1.0
112	C12, C12'	0,022 - 0,056 µF	100V	16 mal alle gleich	1.0
113	C13	10 nF	100V		1.0
114	C14, C14'	22nF - 56 nF	100V	16 mal alle gleich	0.0
115	C15	0,1 µF	100V		0.0
116	C16 - C25	0,1 - 0,3 µF	250V min.	10 - 12 mal parallel	0.0
117	C26	0,1 µF	100V		0.0
118	C27	3,3 nF	250V ~		0.0
119	C28	0,1 µF	250V min.		0.0
120	C29	0,1 µF			0.0
121	C30	2,2 µF			0.0
122	C31	10 µF	25V		0.0
123	C32	0,1 µF	100V		0.0
124	C33	0,1 µF	250V		0.0
125	C34	0,1 µF	250V		0.0
126	C35	0,56 µF	25V		0.0
127	C36	10 µF	25V		0.0
128	C37	68 pF	350V ~ min.	HF-tauglich	0.0
129	C38	68 pF	350V ~ min.	HF-tauglich	0.0
130	C39	68 pF	350V ~ min.	HF-tauglich	0.0
131	C40	3,3 nF	250 V ~	8 x 3,3 nF Keramik	0.0
132	C41	3,3 nF	250 V ~	8 x 3,3 nF Keramik	0.0
133	C42	3,3 nF	250 V ~		0.0
134	C43	3,3 nF	250 V ~		0.0
135	C44	3,3 nF	250 V ~		0.0
136	C45	22 - 100 µF	25 V	Elko	0.0
137	C46, C46'	0,1 µF	100 V		0.0
138	C47	3,3 nF	250 V ~		0.0
139	C48	3,3 nF	250 V ~		0.0
140	C49	0,47µF - 0,56 µF	100V		0.0
141	C50	ca. 10 nF	100V		0.0
142	C51	0,1 µF	100V		0.0
143	C52	0,1 µF	100V		0.0
144	C53	22 µF - 100 µF	10 Volt	Elko	2.4
145	C54	0,1µF			2.4
146	C55	0,1µF			2.4

(* Nr. 110: HF-tauglich Eingangs-SWR 1:1 auf 10 Meter

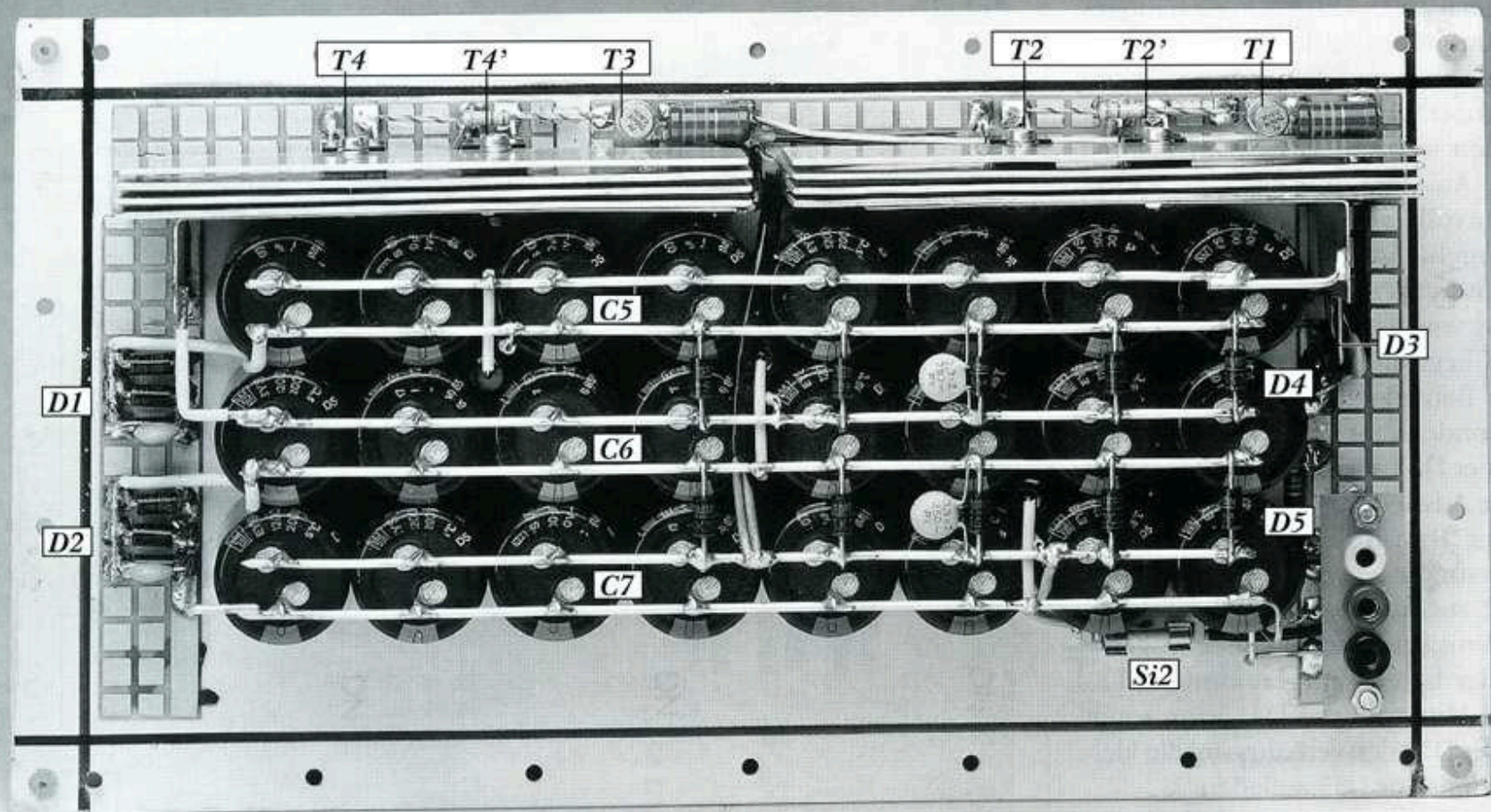
Sonstige Bauteile für den Bau der FET-Kompakt-PA

Nr.	Symbol laut Schaltplan	Wert/Typ	Leistungs-/Spannungsangaben	Sonstiges	Bild
201	D1	Leistungsdiode 1SA	600V mindestens	5 x Diode 3A Parallel	1.0
202	D2	Leistungsdiode 1SA	600V mindestens	5 x Diode 3A Parallel	1.0
203	D3	Leistungsdiode 1SA	600V mindestens	5 x Diode 3A Parallel	1.0
204	D4	Leistungsdiode 1SA	600V mindestens	5 x Diode 3A Parallel	1.0
205	D5	Leistungsdiode 1SA	600V mindestens	5 x Diode 3A Parallel	1.0
206	D6	1N4148, 1N4001-4007	DUS	o.ä.	1.0
207	D7	Si-Leistungsdiode	3-10 A	Schutzdiode Messwerk	0.0
208	D8	8 x 1N4148		8 Dioden in Reihe	0.0
209	D9	81 x 1N4148		je 9 parallel und 9 in Reihe (Matrix)	0.0
210	D10	81 x 1N4148		je 9 parallel und 9 in Reihe (Matrix)	0.0
211	D11	1N4001 - 4007			0.0
212	D12	1N4001 - 4007			0.0
213	D13	1N4148, 1N4001 - 4007		o.ä.	0.0
214	D14	1N4001 - 4007		o.ä.	0.0
215	D15	1N4001 - 4007		o.ä.	0.0
216	D16	1N4148	4 x in Reihe	o.ä.	2.4
217					
218					
301	T1	2N5416			1.0
302	T2, T2'	BU941 P		oder S637T, BU931 P	1.0
303	T3	2N5416			1.0
304	T4, T4'	BU941 P		oder S637T, BU931 P	1.0
305	T5 - T36	IRF710		Power-MOSFET	0.0
306	T37	BF506	pnp	ggf. BF440, BF451 o.ä.	0.0
307	T38	BC550	nnp	o.ä.	0.0
308	T39	BF458	nnp	o.ä.	0.0
309	T40	BD136	pnp	oder BD236	2.4
310	T41	BC550	nnp	oder ähnlich	2.4
401	S1	doppelpoliger Schalter	2x 10A /230V—		1.0
402	S2	Schalter	10A / 230V—		1.0
403	S3	Schalter	1-polig ein	Service-Schalter	0.0
404	S4	Schalter	1-polig ein	aktiv/standby	0.0
405	S5	Temperaturschalter	Öffner	bei 70°C	0.0
406					
410	K1	Relais 12 Volt	2 x S, 1 x 0	SDS S3-12V	0.0
411	K2	Relais 12 Volt	3 x S, 1 x 0	SDS S3-12V	0.0
420	Si 1	Sicherung	8 A - mittelträge		1.0
421	Si 2	Sicherung	16 A flink		1.0
422					
423	A	Einbauinstrument	20 - 30 A	Drehspulinstrument	0.0
424	V	Einbauinstrument	100 - 150 Volt	Drehspulinstrument	2.4
Nr.	Symbol laut Schaltplan	Wert/Typ	Leistungs-/Spannungsangaben	Sonstiges	Bild
501	ZD1	5,5 - 8 V	3 Watt min.	Leistungs-Z-Diode	0.0
502	ZD2	30 V	3 Watt min.	Leistungs-Z-Diode	0.0
503	ZD3	z.B.: 8 x 30 Volt = 240 Volt	Leistungs-Z-Dioden 3 Watt min.	z.B.: 8 Z-Dioden in Reihe	0.0
504	ZD4	z.B.: 8 x 30 Volt = 240 Volt	Leistungs-Z-Dioden 3 Watt min.	z.B.: 8 Z-Dioden in Reihe	0.0
505	ZD5	30 V	Leistungs-Z-Dioden 3 Watt min.		0.0
506	ZD6	18 V	1 Watt		0.0
507	ZD7	5,5 - 8 Volt			2.4
508					
520	LD1	LED / rot		20 mA rot	0.0
521	LD2	LED / rot		20 mA rot	0.0
522	LD3	LED / rot		20 mA rot	0.0
523	LD4	LED / grün		20 mA grün	0.0
524	LD5	LED / grün	wenn gewünscht	20 mA grün	2.4
525					
550	L1 - L3	Eingangübertrager		Guanella (siehe Text)	0.0
551	L4	Spartransformator		(siehe Text)	0.0
552	L5, L6	Ausgangübertrager		Guanella (siehe Text)	0.0
553	L7 - L9	Luftspulen		Tiefpass (siehe Text)	0.0
554					
555					
556	Dr1	HF-Drossel	200 mH min.		0.0
557	Dr2	HF-Drossel	200 mH min.		0.0
558					

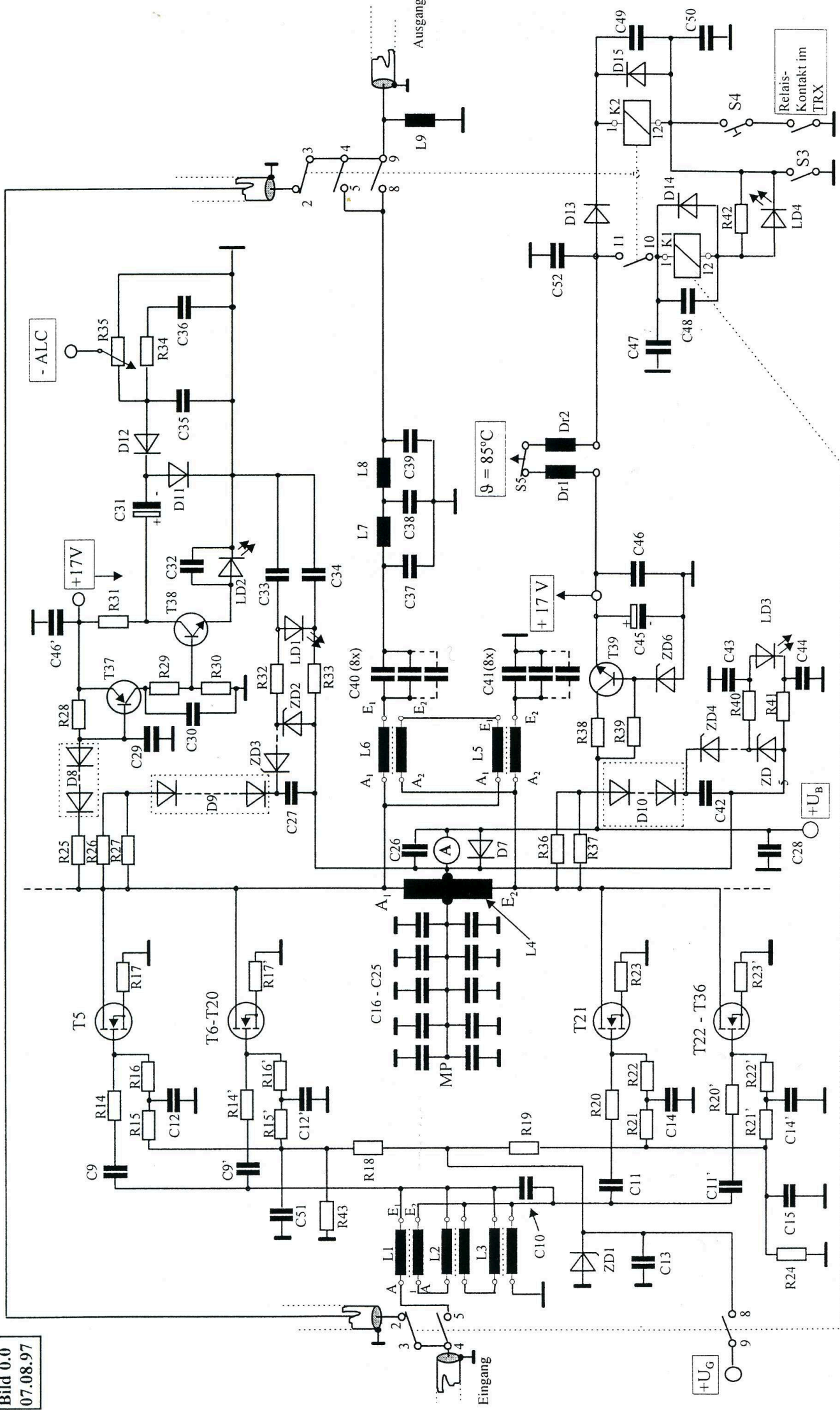
zusätzlich werden benötigt:

7 Laborplatinen von DL9AH (zusammen 290 x 190 mm, DIN A 4)

Anmerkung: Epoxidharz-Basismaterial läßt sich mit der Blechscherer schneiden!



Simple-Schaltnetzteil.



$\vartheta = 85^{\circ}\text{C}$

Relais-Kontakt im TRX

Ausgang

Eingang

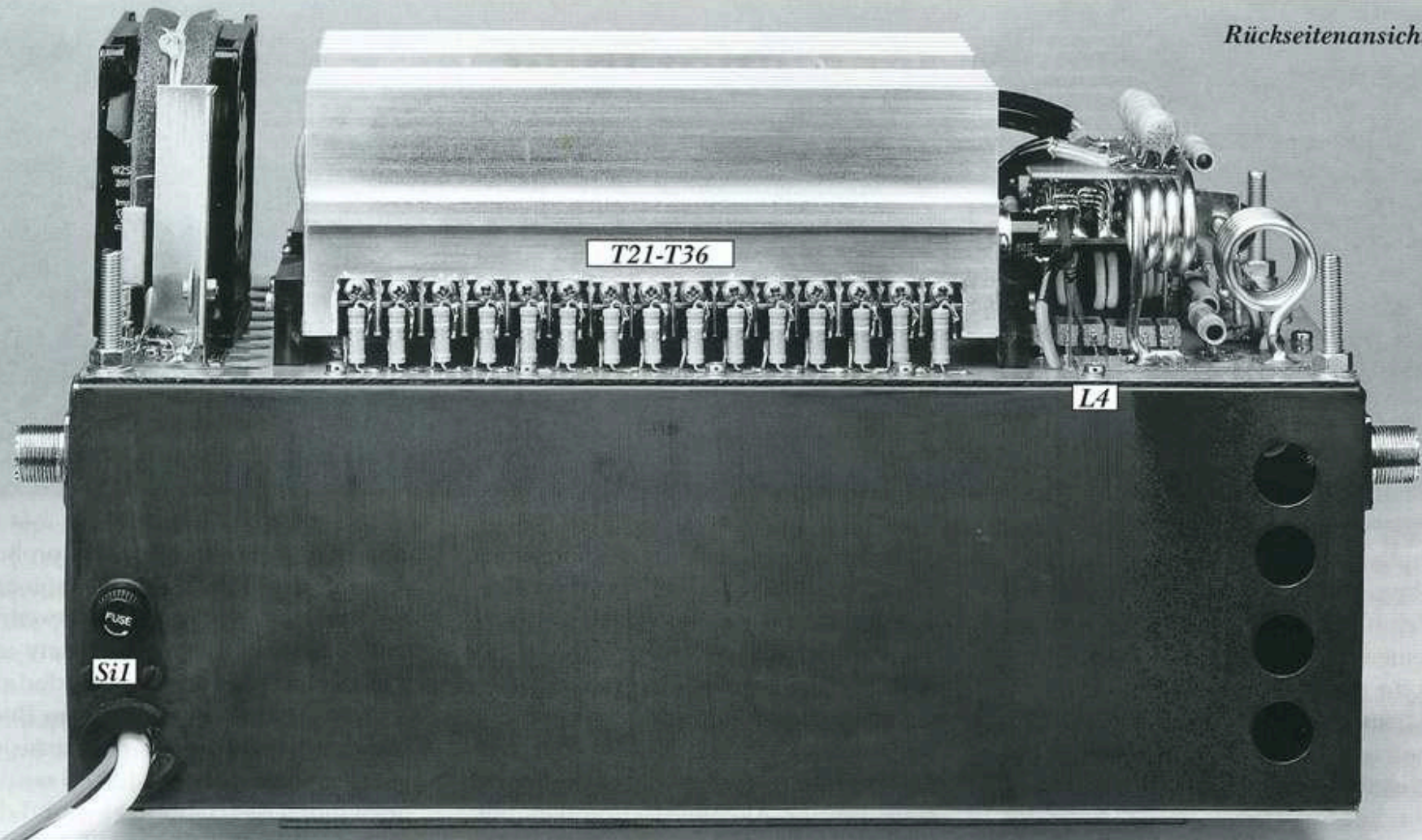
+UG

-ALC

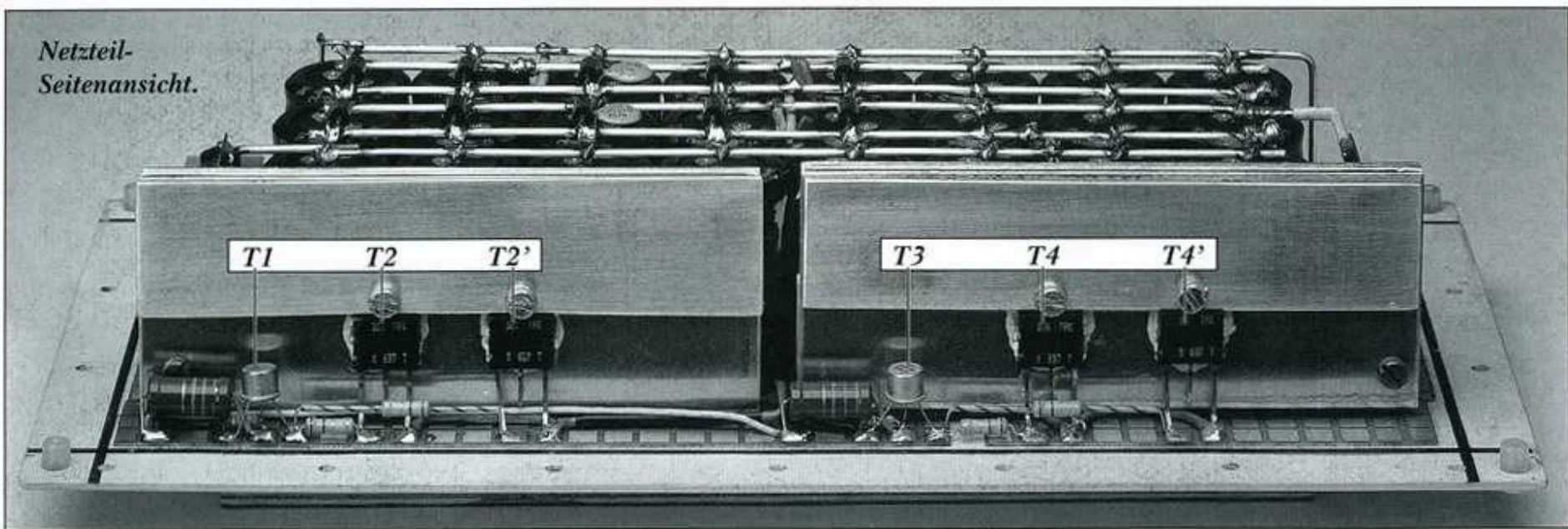
+17V

+UB

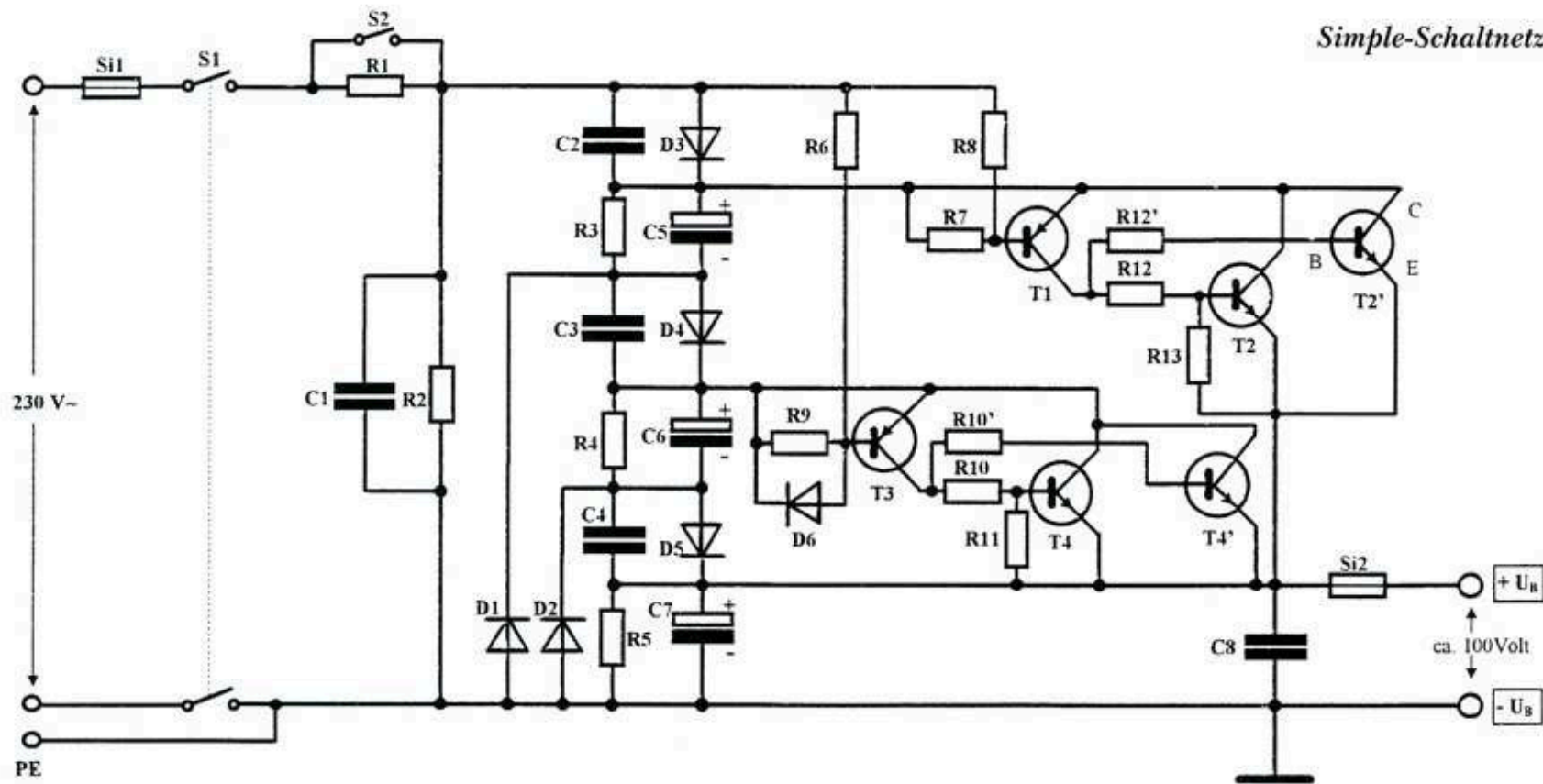
Rückseitenansicht.



*Netzteil-
Seitenansicht.*



Simple-Schaltnetzteil.

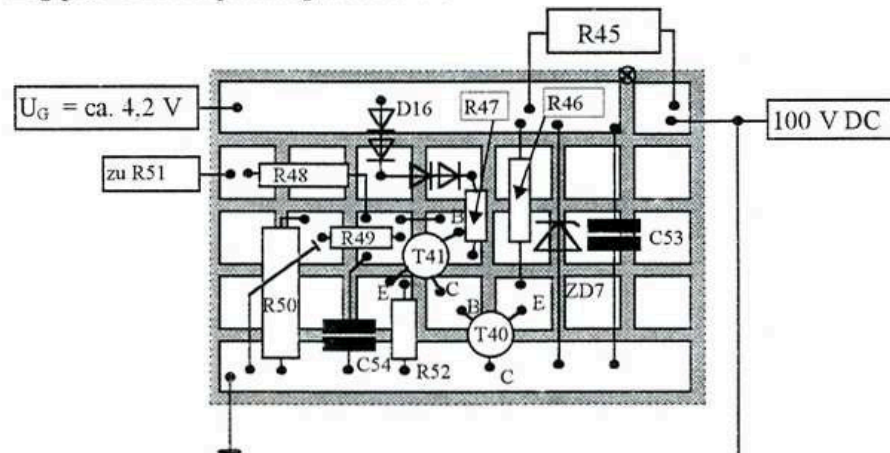


230 V~

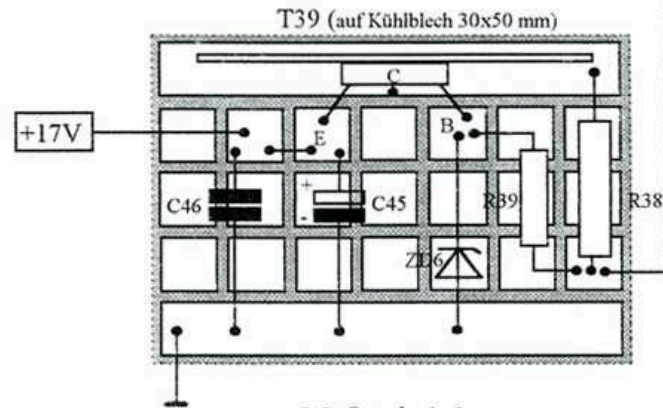
PE

+ UB
ca. 100V
- UB

Lageplan Gate-Vorspannung und 17V DC



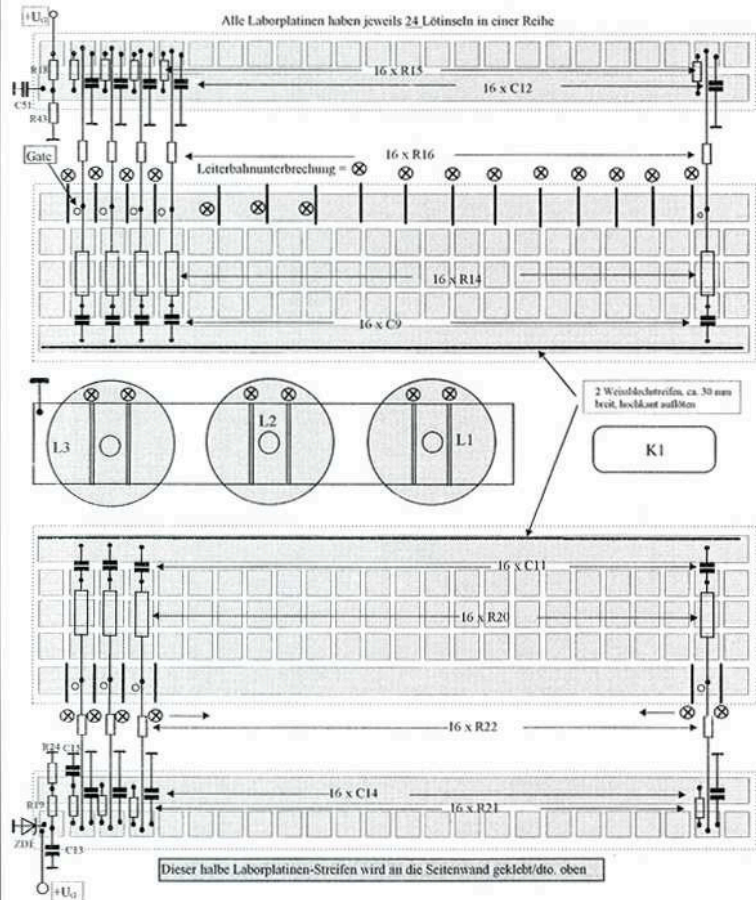
⊗ = Leiterbahnunterbrechung



Maßstab 1:1

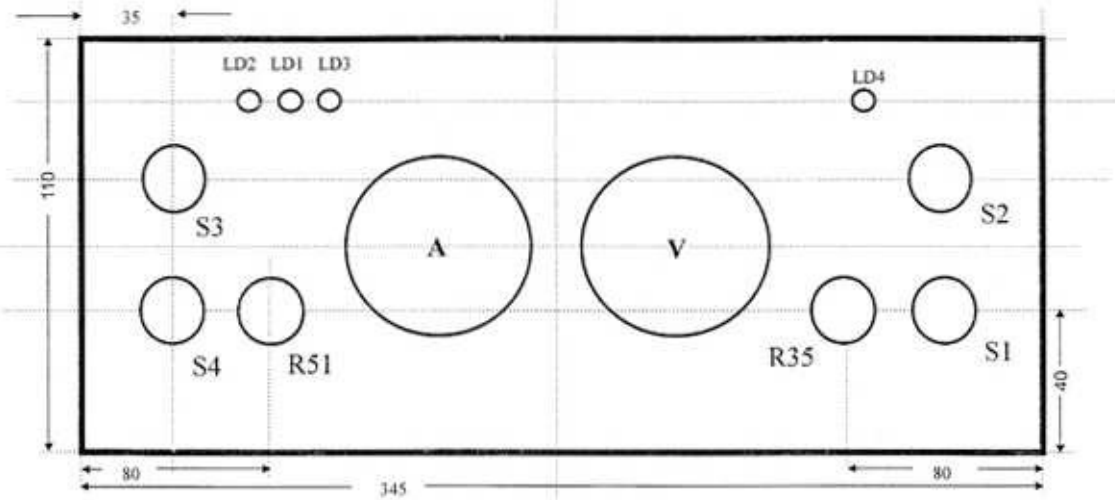
FET-Kompakt-PA von DL9AH 1/97

Lageplan Unterseite

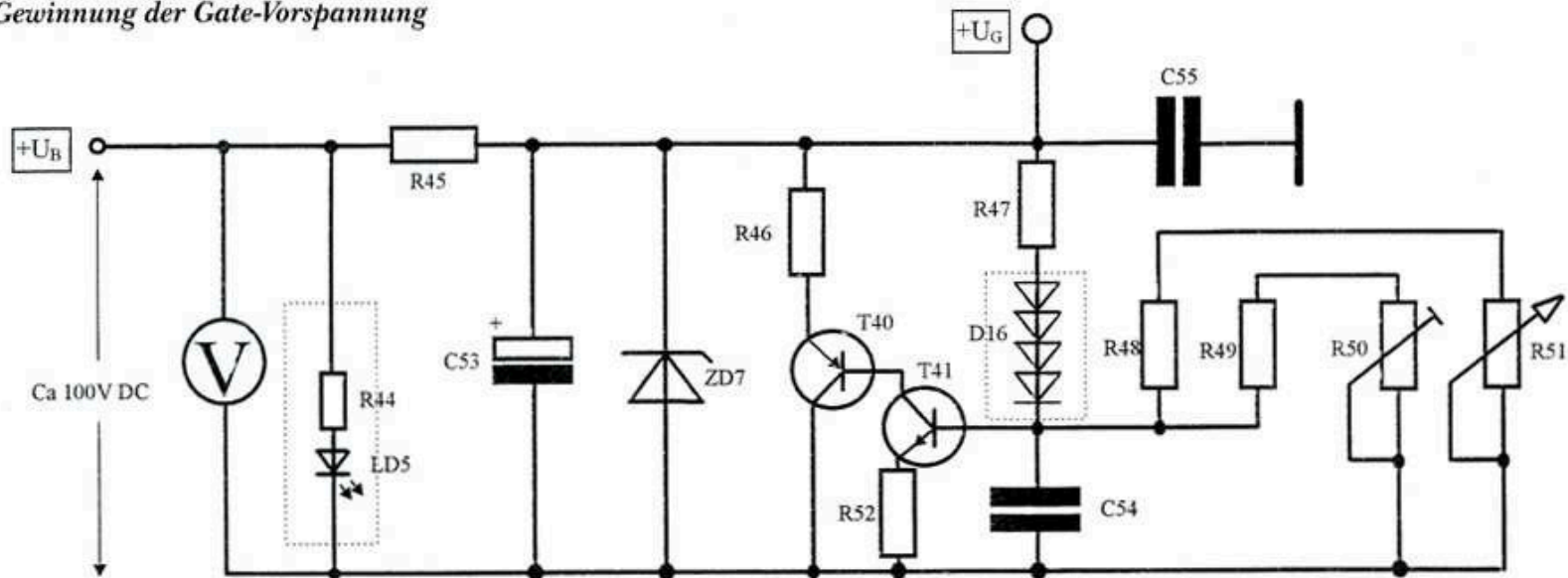


Zeichnung der Frontansicht

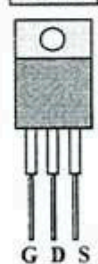
Gesamthöhe der PA mit
Haube: 200 mm, Tiefe 180 mm



Gewinnung der Gate-Vorspannung



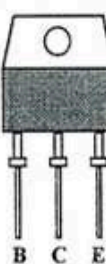
IRF 710



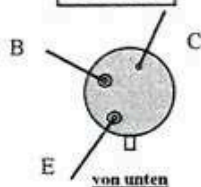
BD136
BD236
BF458



S 637 T
BU 941 P
BU 931 P



2 N 5416

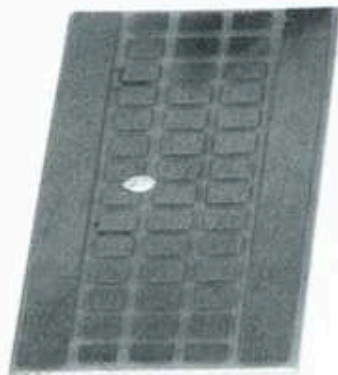


BC550 / BF509S



FET- Kompakt-PA von DL9AH – Spezielle Bauteile.

Guanella- Übertrager ($2 \times 50 \Omega$, RG58 auf Stab-Ferrithern)



*Teilstück einer Labor-
platine von DL9AH.*



L1



L7



L8