



Hans erklärt die Wirkungsweise seiner MOS-FET-PA.



Hans Diebold, DJ4WZ, zeigt seine 400-Watt-Endstufe.

400-Watt-MOSFET-PA

KW-Endstufe von 160 bis 17 m für wenig Geld selbst gebaut

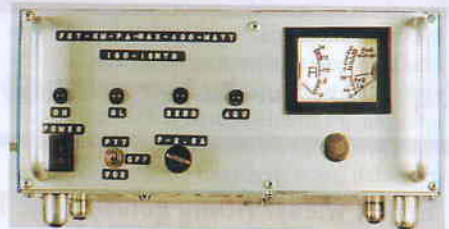
Transistor-Endstufen, die 400 Watt Output liefern, kosten oft viel Geld. Möchte man es preiswert haben, ist der Selbstbau eine Alternative. Hans Diebold, DJ4WZ, aus dem rheinlandpfälzischen Zweibrücken hat eine PA auf MOSFET-Basis entwickelt. Für Fans kleinerer Leistung beschreibt der Beitrag zusätzlich eine Eigenbau-Endstufe, die 250 Watt Ausgangsleistung liefert.

Preiswertere KW-Endstufen, die mit 400 oder 500 Watt Sendeleistung angegeben werden, halten nicht immer, was der Hersteller verspricht. Oft sind es lediglich 250 Watt oder etwas mehr, die als Output zur Verfügung stehen. Grund genug für den passionierten Bastler Hans Diebold, DJ4WZ, eine PA zu bauen, die bei einer Ansteuerleistung von 10 Watt auf den drei unteren Kurzwellenbändern 400 Watt liefert. Auf 20 und 17 m stehen 200 Watt Output zur Verfügung. Wenn man Diebolds Funkraum betritt, fallen sofort unzählige KW-Endstufen ins Auge, die er in den vergangenen Jahren gefertigt hat. „Ich habe früher Sender und Empfänger selbst gebaut. Was lag also näher, als auch Endstufen zu bauen. Mit 50-Watt-PAs fing es an“, sagt der ehemalige Techniker für Unterhaltungselektronik und erklärt am geöffneten Gerät die Wirkungsweise.

Das Netzteil

Zunächst fallen die beiden großen Elkos mit je 10.000 µF ins Auge. In neueren Schaltungen

hat Diebold auf einen Elko verzichtet. Er hat sie wie im Bild A (nächste Seite) zu sehen auf einer Platine befestigt: „Auf die Platine kann man ebenfalls verzichten, da Elko, Shunt, Potentiometer und der Einschalt-Strom-Begrenzer (NTC) auch verdrahtet werden können.“ Bis auf den NTC kommen alle Bauteile von der Firma Reichelt. Auf dem Foto ist er links neben dem Potentiometer zu sehen. Man erhält ihn bei Conrad. Der 5-Ω-NTC begrenzt den Einschaltstrom, weil er temperaturabhängig ist: Wird er wärmer, verringert sich sein Widerstand. „Für die Primärwicklung des Trafos spart man sich dadurch eine große Sicherung“, erläutert der 74-Jährige. Die Elkos haben eine Spannungsfestigkeit von 63 V. Unter der Elkoplatine ist ein Ringkerntrafo befestigt. Er liefert 2×18 V, so dass auf der Sekundärseite eine Leerlaufspannung von $36 \times \sqrt{2} = 51$ V anliegt. Die Betriebsspannung beträgt 40 V. Mit dem 1-kΩ-Poti ist das Amperemeter einstellbar. Der Shunt ist für die maximal fließenden 20 A ausgelegt. Er ist auf dem Foto rechts neben dem 1-kΩ-Poti zu sehen und besteht aus drei



Die 400-Watt-Endstufe von vorne. Die Anzeigeelemente sind schwierig zu bekommen. Bei alten Stereoanlagen wird man fündig.



Eine 200-Watt-PA von DJ4WZ.



Der Richtkoppler, den Hans Diebold in allen Endstufen verwendet.

bis fünf Windungen 0,6-mm-Widerstandsdraht. „Wie groß er ist, hängt vom Strommessgerät ab: Reagiert das Amperemeter zu schnell, muss man ihn verkleinern. Im umgekehrten Fall ist er zu vergrößern“, rät Diebold. Oben links im Netzteil ist der Brückengleichrichter befestigt.

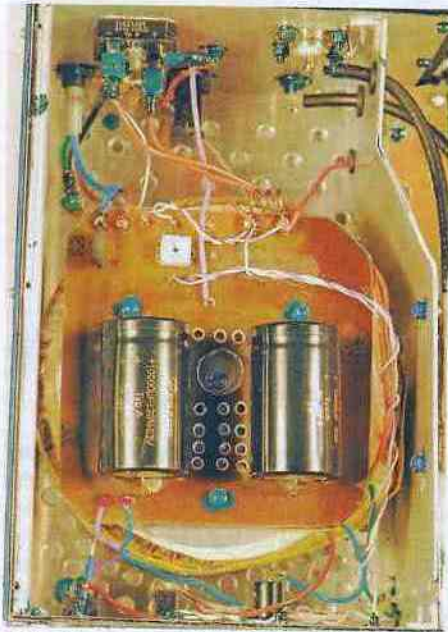


Bild A: Das Netzteil für die 400-Watt-Endstufe.

Zwei 0,1 μF -Abblock-Kondensatoren verhindern, dass Hochfrequenz ins 220-V-Netz gelangt.

Aufbau der 400-Watt-Endstufe

Herzstück sind vier Single-Gate-MOSFETs vom Typ IRF-740 oder IRF-730. Man sieht sie im Bild B am oberen Rand. Am Source-Ausgang sind 0,1- Ω -Widerstände und 0,22- μF -Abblock-Cs gelötet, damit keine Hochfrequenz anliegt. Sie verhindern eine Gegenkopplung, die den Verstärkungsgrad verringert. Das Foto zeigt die Widerstände als 4 cm lange, 0,4 mm dicke Widerstandsdrähte links und rechts vom Ausgangsübertrager in der oberen Bildhälfte. Die 0,22- μF -Abblock-Cs hat Diebold wie den 70-pF-Kondensator am Eingang des Eingangstrafos auf die Unterseite der Platine gelötet: Man sieht sie im Schaltplan und im Platinenlayout. Im Bestückungsplan fehlen sie entsprechend. Auf der Gateseite fallen im Schaltplan Kondensatoren mit 0,1 μF ins Auge. Sie verhindern, dass die Gleichspannung an Masse liegt. Einen symmetrischen Gegentaktbetrieb ermöglicht der Eingangsträger, der auf dem Foto in der Mitte abgebildet ist. Er besteht aus einem Kern mit der Nummer 264354002 von der Firma Industrial Electronics. Sie ist im Internet unter www.industel.com zu finden. Man kann allerdings nur sehr große Mengen kaufen, sonst geht man leer aus. Hans Diebold musste 500 Kerne abnehmen: „Interessierte können sich deshalb bei mir melden, wenn sie die Ferrite für ihre Selbstbau-PA brauchen.“ Außer den Anzeigeinstrumenten und den Ferritkernen hat er wie beim Netzteil alle Bauteile von der Firma Reichelt bezogen. „Die Anzeigeinstrumente sind immer schwerer zu bekommen. Früher war das einfacher, weil man welche aus Stereoanlagen verwenden konnte. Heute gibt es nur noch

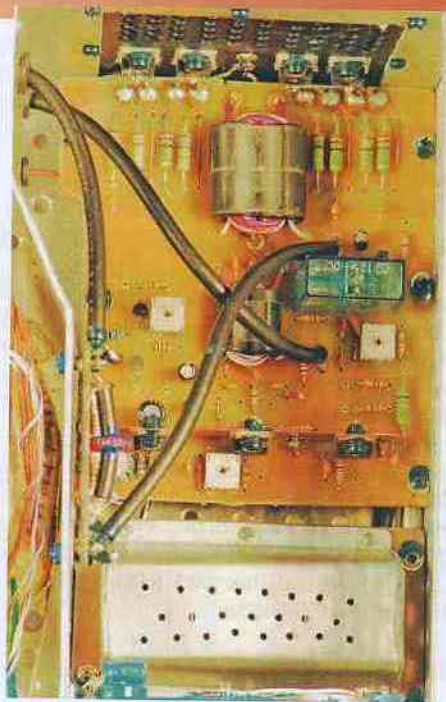
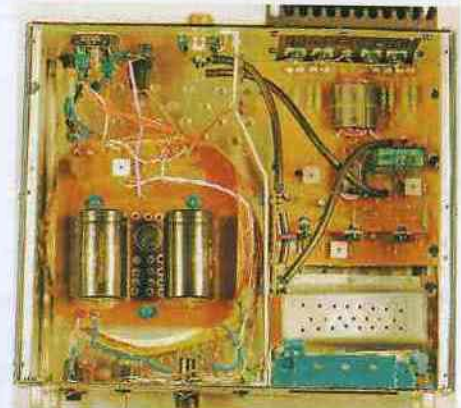


Bild B: Die Endstufenplatine der 400-Watt-PA mit vier IRF-730 (oben im Bild).

elektronische Balkenanzeigen“, erinnert er sich. Den Kern des Eingangstrafos TR-1 hat Diebold folgendermaßen bewickelt: fünf Windungen aus 0,6-mm-Teflonlitze am Eingang, auf der Gateseite $2 \times 1,5$ Windungen. Satt Teflonlitze kann man auch handelsüblichen Kupferdraht verwenden, der mit PVC isoliert ist. Beim Ausgangstrafos TR-2 ist es umgekehrt: $2 \times 1,5$ Windungen am Eingang und 5 Windungen am Ausgang zum Tiefpassfilter. Er hat eine Grenzfrequenz von 22,5 MHz, so dass die PA auf 21 MHz mit rund 150 Watt Output noch einsetzbar ist. Der Tiefpass erscheint auf dem Foto als großer silbener Kasten am unteren Ende. Die beiden 0,68- μH -Spulen des Tiefpasses bestehen jeweils aus 1 mm Kupferlackdraht und acht Windungen. Der Innendurchmesser beträgt 12 mm. Die dritte Spule hat mit neun Windungen eine Induktivität von 0,72 μH . Auf der Gateseite hat Hans Diebold vor die vier IRF-730-MOSFETs parallel zu den 27- Ω -Widerständen keramische 1-nF-Kondensatoren gelötet: „Sie verringern auf den höheren Kurzwellenbändern die 27- Ω -Widerstände, so dass mehr Ansteuerleistung zur Verfügung steht. Auf den unteren Frequenzen sind sie weitgehend wirkungslos.“

Rechts im Bild B ist unter dem Ausgangsübertrager das Relais befestigt. Es schleift das Signal durch, wenn der PTT-Schalter auf OFF steht, so dass man mit der Sendeleistung des Transceivers auf 12 und 10 m QRV ist. Ein Transistor vom Typ BD244 schaltet über das Relais auf Senden oder Empfangen. „Es kann auch ein anderer gewöhnlicher PNP-Transistor mit 3 Ampere sein“, sagt Diebold. Die erforderliche Spannung von 12 V erhält er vom Transistor $\mu\text{A}7812$. Beide sind im Schaltbild in der linken unteren Mitte zu sehen. Auf dem Foto bilden sie mit dem Stelltransistor LM317 eine Reihe in der unteren Mitte. Letzterer produziert und stabilisiert mit Hilfe eines 1-k Ω -



Das „Innenleben“ der 400-Watt-Endstufe: links das Netzteil, rechts die Endstufenplatine.



Die 250-Watt-Endstufe.

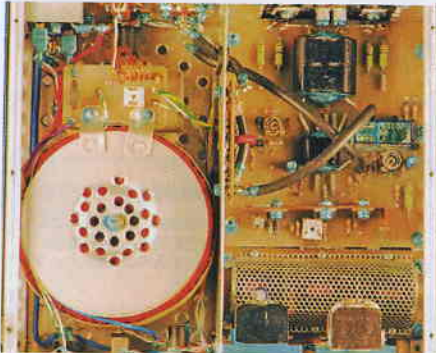
Potis die Gatespannung von 3,8 V, die für den Ruhestrom erforderlich ist. Das 1-k Ω -Poti ist auf dem Foto unter den drei Transistoren abgebildet: Der Schalttransistor BD244 ist rechts zu sehen, der Stelltransistor LM317 in der Mitte und links der $\mu\text{A}7812$. Im Schaltbild befindet sich über dem Transistor eine 37-V-Zenerdiode. „Sie ist schwer zu bekommen. Hat man keine zur Hand, tut es auch eine 12-V-Zenerdiode zusammen mit einem $\mu\text{A}7824$ -Transistor“, rät Diebold. Unterhalb des Relais ist ein 5-k Ω -Poti gelötet. Im Schaltbild ist es in der Mitte neben dem Eingangsträger TR-1 zu sehen. Es schaltet über einen Thyristor das Gerät ab, wenn Ansteuerleistung oder SWR zu hoch sind. Im Schaltbild sieht man den Thyristor links neben dem Relais. Auf dem Foto ist er knapp oberhalb des Relais, wenn auch etwas schwer erkennbar.

Ein 2,5-k Ω -NTC steuert zusammen mit einem 10-k Ω -Poti den leisen Lüfter. Beide sind im Schaltplan links abgebildet. Da NTCs schwer zu bekommen sind, hat Diebold stattdessen einen pnp-Germaniumtransistor verwendet, dessen Basis unbenutzt bleibt. Der Lüfter springt ab einer Betriebstemperatur von 40 Grad an, läuft also nicht durchgehend. Das 10-k Ω -Poti ist auf dem Foto links neben dem Eingangsträger zu sehen. Betreibt man die Endstufe in SSB mit der empfohlenen Ansteuerleistung, ist bei einem guten SWR Funkbetrieb fast ohne Lüftergeräusche möglich. Ebenfalls ein pnp-Germaniumtransistor stabilisiert als NTC den Ruhestrom, weil er bei steigender Temperatur niederohmiger wird. Der Ruhestrom steigt normalerweise, wenn sich die MOSFETs während des Betriebs erwärmen. Der NTC befindet sich im Schaltplan unterhalb des Stelltransistors LM317.

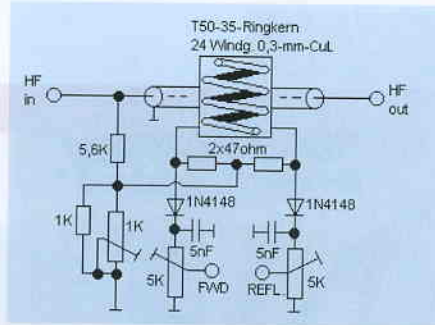
Im Schaltbild taucht der Richtkoppler nur als Symbol auf. Bild B zeigt ihn links über dem silbernen Tiefpassfilter-Gehäuse. Normalerweise



Die 250-Watt-PA von hinten: Nicht nur das Gehäuse, auch Lüfter und Kühlkörper sind kleiner als bei der 400-Watt-Version.



Das „Innenleben“ der 250-Watt-Endstufe mit zwei IRF-640 (oben rechts): Links im Gehäuse ist wie bei der 400-Watt-Ausführung das Netzteil eingebaut.

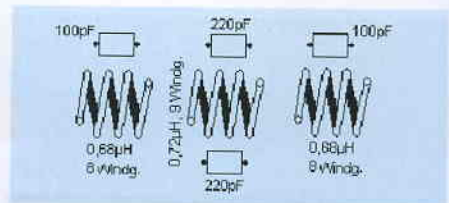


▲ Schaltplan des Richtkopplers.

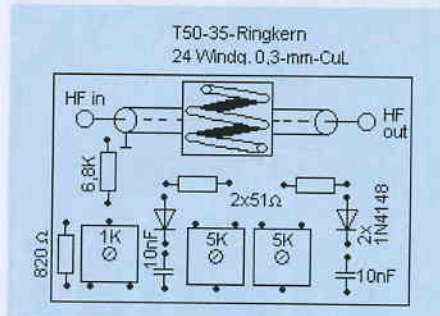
ermittelt der Richtkoppler den SWR-Rücklauf. Hans Diebold misst mit ihm die rücklaufende Spannung. Ist das SWR schlechter als 1:1,5 schaltet der Thyristor das Gerät ab. Bei welchem SWR sich die PA ausschaltet, ist am mittleren 5-k Ω -Poti einstellbar. Auf dem Foto, das den Richtkoppler zeigt, sieht man über den Potentiometern einen kleinen Amidon-Ringkern, durch den man das RG-58-Koaxialkabel zieht. Der Kern ist mit 24 Windungen 0,3-mm-Kupferlackdraht bewickelt. Anfang und Ende der Wicklung münden in zwei 1N4148-Dioden.

Die 250-Watt-Ausführung

Die Schaltung der 250-Watt-PA entspricht im Wesentlichen dem der 400-Watt-Ausführung. Statt der vier IRF-730 oder IRF-740 verwendet Hans Diebold zwei IRF-640. Eine 35-V-Zenerdiode kann man auch hier gegen ein 12-V-Modell

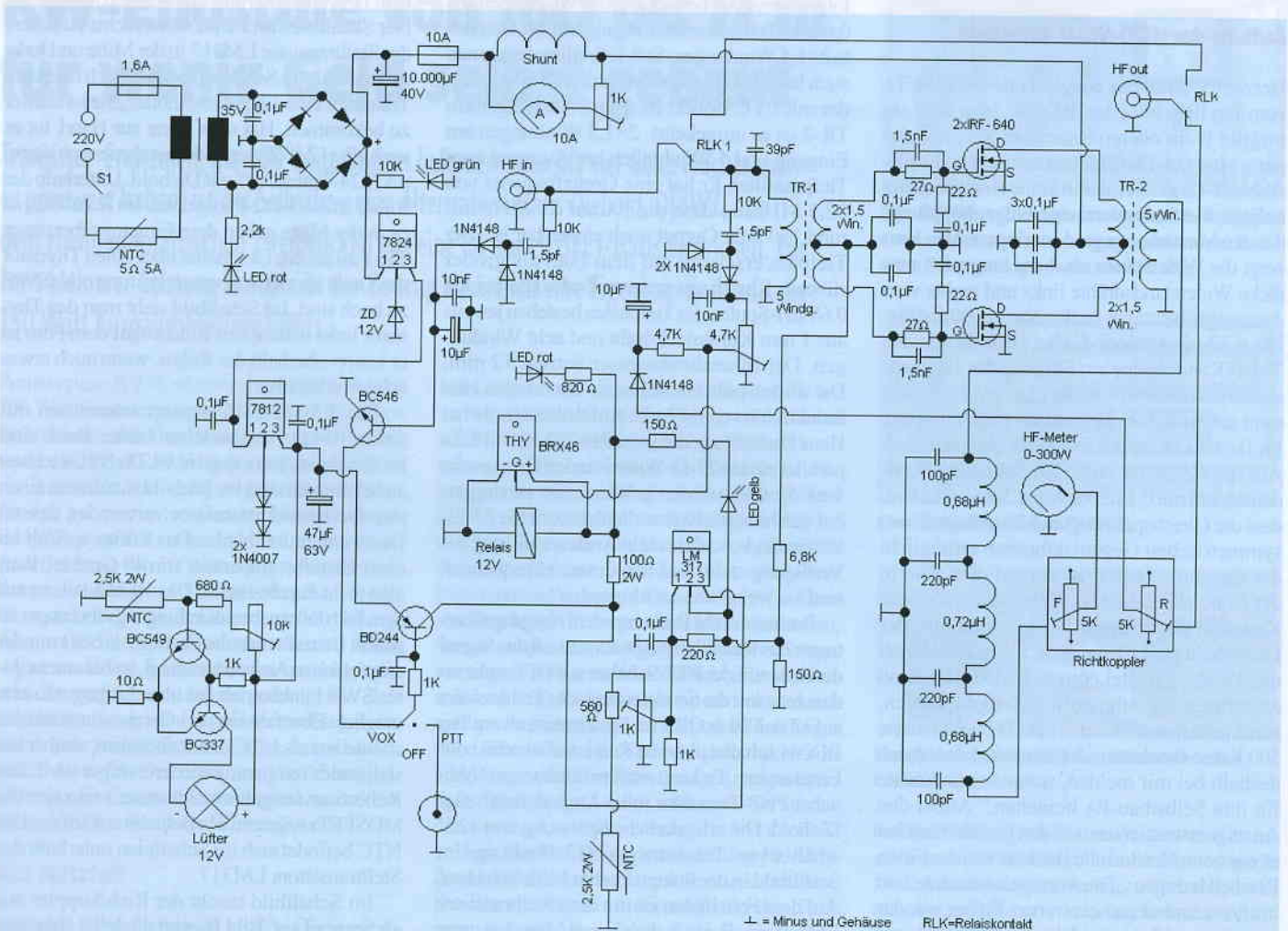


▲ Bestückungsplan der Tiefpassfilter-Platine.



▲ Bestückungsplan der Richtkoppler-Platine.

tauschen, wenn man einen μ A7824-Transistor einsetzt. Hans Diebold hat ihn ins Netzteil der 250-Watt-PA gelötet. Der μ A7812 befindet sich wie bei der 400-Watt-Version auf die Endstufenplatine. Die 0,1- Ω -Widerstände und 0,22- μ F-Abblock-Kondensatoren an den Source-Ausgängen der 400-Watt-PA entfallen. Ein 39-pF-Kondensator ist auf die Unterseite der Platine gelötet, so dass er nicht im Bestückungsplan auftaucht. Das Netzteil besitzt einen Ringkerntrafo mit 2×15 V. Die Leerlaufspannung liegt entsprechend bei $30 \times \sqrt{2} = 42$ V, die Betriebsspannung bei 35 V.



Schaltplan der 250-Watt-PA.

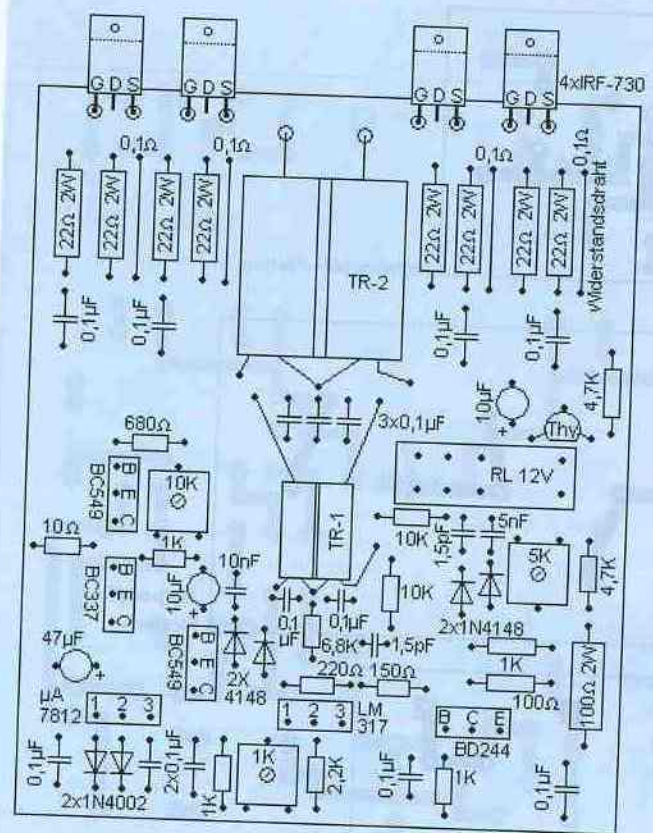
100pF

-Platine.

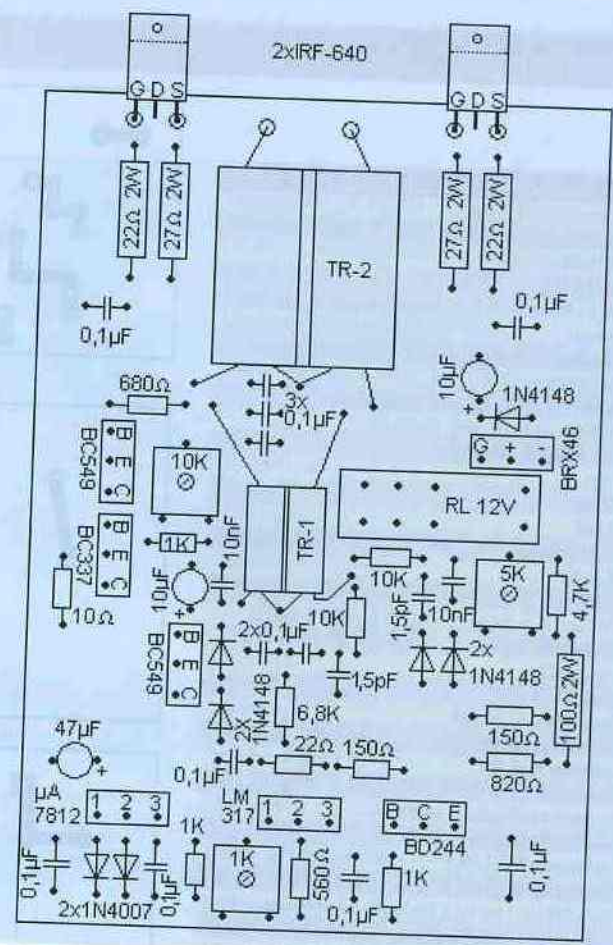
- HF out
- 1N4148
- 10nF

Platine.

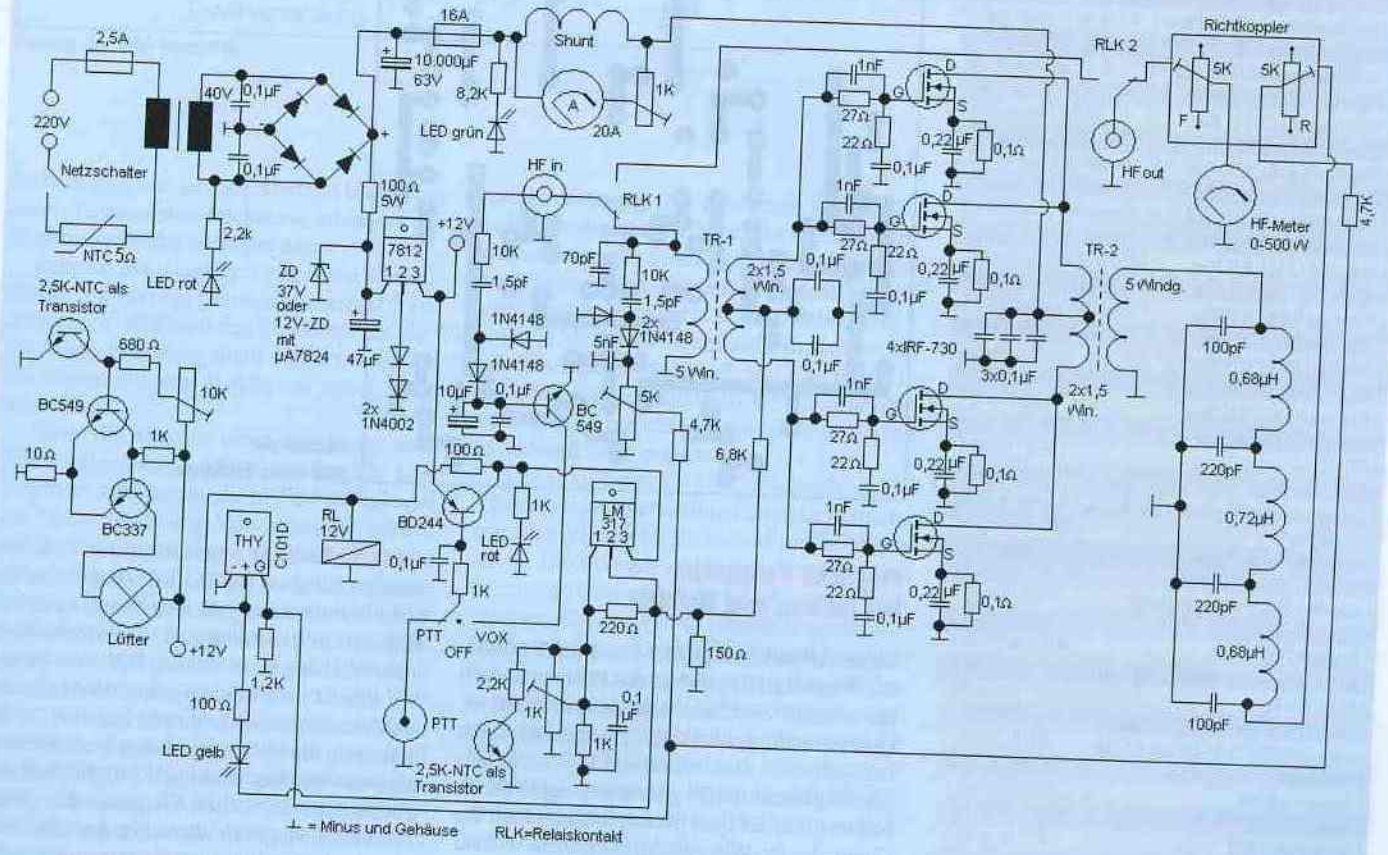
Transistor
 zteil der
 ndet sich
 ndstufen-
 2- μ F-Ab-
 asgängen
 Kondens-
 elötet, so
 acht. Das
 2x15 V.
 end bei
 35 V.



Bestückungsplan der Platine für die 400-Watt-Endstufe.



Bestückungsplan der 250-Watt-PA-Platine.



Schaltplan der 400-Watt-Endstufe.

7/2005

funk 9/2005