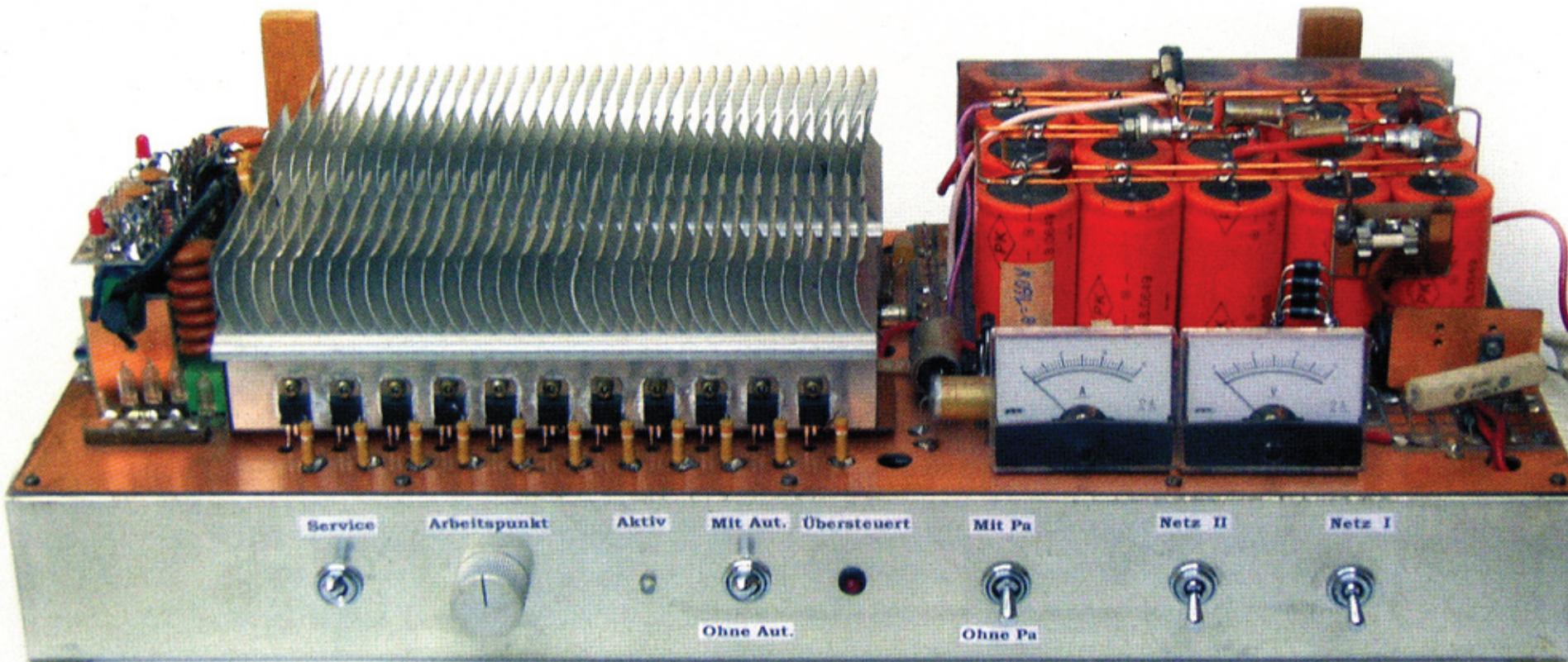


Ultralineare FET-Kurzwellen-Endstufe

Arno Weidemann, DL9AH

Dieser Beitrag stellt eine 700-W-Selbstbau-PA vor, die geringe Bauteilkosten mit hoher Qualität verbindet. Die Leistung wird dabei aus 22 IRF820-FETs gewonnen.



Ultralineare FET-Kurzwellen-Endstufe

Dieser Beitrag stellt eine 700-W-Selbstbau-PA vor, die geringe Bauteilkosten mit hoher Qualität verbindet. Die Leistung wird dabei aus 22 IRF820-FETs gewonnen.

Unsere Amateurfunk-Vorfahren hatten für ihre Experimente und Studien noch saubere, nahezu störungsfreie Kurzwellenbänder zur Verfügung. Das hat sich leider, besonders in den vergangenen drei Jahrzehnten, wesentlich geändert. Alle möglichen elektronischen Geräte wurden in Verkehr gebracht. So muss man heute mit einem deutlich höheren Störpegel rechnen als früher.

Mehr Leistung als Ausweg

Der Funkamateurliebt sich dieser Entwicklung nur dadurch anpassen, indem er seine Sendeleistung erhöht. Ist

der durchschnittliche Störpegel um ca. 10 dB angestiegen, so bleibt ihm nichts anderes übrig, als die Strahlungsleistung auch um 10 dB zu erhöhen, um in etwa den gleichen Störabstand zu haben wie früher. Eine solche Erhöhung kann man leider nicht oder nur teilweise durch bessere Antennen erzielen. Deshalb ist einfach mehr Sendeleistung notwendig!

Die Wege dahin sind vielfältig. So sind auch heute noch Röhrenendstufen in den verschiedensten Ausführungen interessant. Natürlich kann man auch fertige Endstufen kaufen. Die Preise sind allerdings recht hoch. Durch Selbstbau

lässt sich daher viel Geld sparen. Besonders beim Selbstbau geht der Zug der Zeit eindeutig in Richtung Transistoren. Bei den verschiedenen Versuchen hat sich herausgestellt, dass spannungsfeste Feldeffekttransistoren aufgrund ihrer nahezu vollquadratischen Kennlinie und wegen der möglichen hohen Betriebsspannungen die beste Wahl sind.

Transistorauswahl

Hat man die notwendige allgemeine Kenntnis und Erfahrung in Bezug auf die Elektronik, dann stellt sich zunächst die Frage nach den Kosten. Bei

der Gegenüberstellung der Preise der sicher noch besseren Sendetransistoren und den Billigtransistoren schneiden letztere ohne Frage besonders günstig ab. Denn damit ist nicht nur Betrieb bis einschließlich 10 m möglich, sondern man kann auch Intermodulationsabstände erreichen, die anderswo kaum zu finden sind.

Preiswerte Qualität

Das Besondere an der hier vorgestellten PA ist der mögliche hohe Intermodulationsabstand IM-D3 von 45 dB! Und das mit Kosten von unter 10 € für alle Endstufentransistoren zusammen! Daher ist es auch kein Drama, wenn die Endstufentransistoren einmal aus Versehen zerstört werden sollten. Der besonders hohe Intermodulationsabstand bedeutet, dass die Absenkung der uner-

wünschten Aussendungen im jeweils anderen Seitenband kaum noch messbare Werte um 55 dB ergeben. Diese besonders hohe Qualität besteht allerdings nur bis zu einer Leistung von ca. 700 W. Geht man darüber hinaus, dann nähert man sich nicht nur der „Todeszone“ der Endstufentransistoren, sondern produziert auch nicht unerhebliche „Splätter“. Es ist daher anzuraten, die später beschriebene ALC-Schaltung auch wirklich anzuschließen und die Ansteuerung auf maximal 700 W einzustellen.

Prinzipschaltbild

Nach Durchdenken und Durchrechnen verschiedener Schaltungskonzepte entschied sich der Verfasser, wie schon früher, für das klassische Gegentaktprinzip. Es erfüllt alle gestellten Forde-

rungen und lässt sich einfach realisieren.

Beim Gegentaktprinzip (**Bild 1**) verstärkt jeder Transistor nur eine Halbwelle. Das heißt, wenn z.B. T1 eine positive Aussteuerung erhält, sperrt T2 und umgekehrt. Die positive Halbwelle am Gate von T1 bewirkt, dass der interne Widerstand zwischen Source und Drain so niedrig wird, dass, ausgehend von dem auf ca. 160 V geladenen Kondensator C3, ein kräftiger Strom, wie eingezeichnet, fließt.

Setzt man für alle Spannungsverluste (Zusammenbrechen der Betriebsspannung, Verluste an R6 bzw. an R5, Knie-spannung der Transistoren) 30 V an, so ergibt sich am Ausgang eine negative Spitzenspannung von $160\text{ V} - 30\text{ V} = 130\text{ V}$ zwischen A1 und Mp (Mittelpunkt). Da die untere Wicklung (Mp –

E2) durch Sperrung von T2 immer noch stromlos ist, kann sie zur Transformation herangezogen werden. Die an dieser Wicklung entstehende Spannung von ebenfalls 130 V ist mit der oberen Spannung in Phase, sodass sich die Spannungen zu 260 V zwischen A1 und E2 addieren. Der entsprechende Effektivwert ist ca. 183 V. Das bedeutet eine Leistung von 676 W an 50Ω .

Die negative Halbwelle wird durch T2 in gleicher Weise verarbeitet und dazu invertiert. Nun sperrt T1. Die Polaritäten sind umgekehrt. Wo vorher minus war, ist jetzt plus; im Breitband-Spartransformator Tr 2 werden beide Halbwellen wieder zu einer kompletten Sinusschwingung zusammengesetzt.

Alle Vorteile eines Spartransformators konnten sowohl in technischer als auch finanzieller Hinsicht voll ausgeschöpft

werden. Über die gesamte Periode kann die Leistung von etwa 700 W zunächst symmetrisch und nach einen Balun (Tr 3) asymmetrisch abgegriffen werden.

Stromverbrauch

Um die Stromaufnahme der PA zu ermitteln, empfiehlt es sich, einfach mit Spitzenspannungen und Spitzenströmen zu rechnen. Da am Lastwiderstand von $12,5 \Omega$ auf jeder Seite eine Spitzenspannung von ca. 130 V steht, ergibt sich ein Spitzenstrom von 10,4 A. Zurückgerechnet auf einen mittleren Gleichstrom bei sinusförmigen Halbwellen und quasi B-Betrieb erhält man gemäß Integralrechnung $10,4 \text{ A} / 3,14 = 3,3 \text{ A}$ Gleichstrom auf jeder Seite, zusammen also 6,6 A. Das wiederum multipliziert mit der Betriebsspannung von

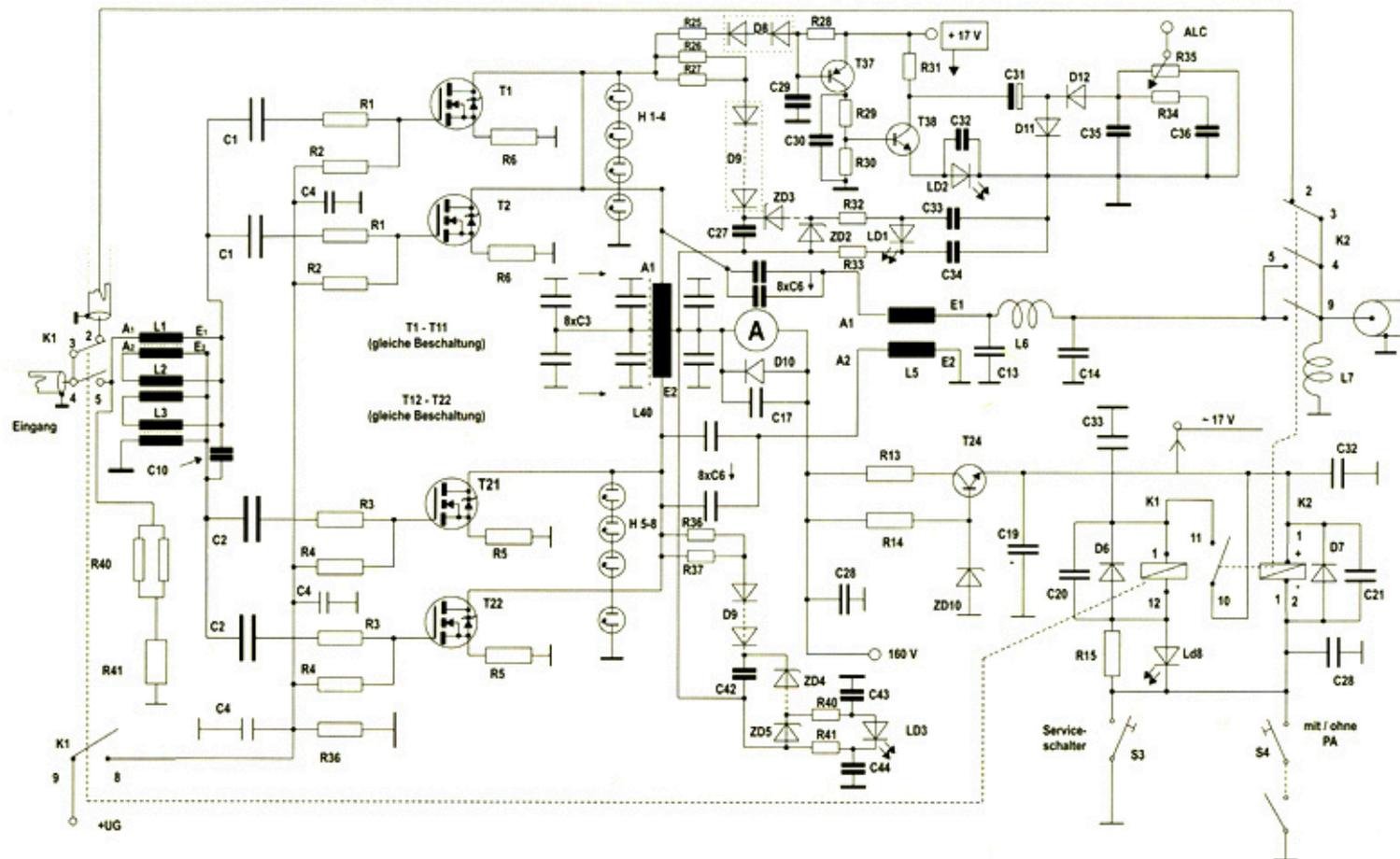
160 V ergibt einen Input von 1060 W. Der Wirkungsgrad beträgt somit 64 %.

Die Schaltung

Ein Blick in den Stromlaufplan (**Bild 2**) zeigt, dass die grundsätzliche Betrachtungsweise hier ihren Niederschlag gefunden hat. In Stellung „Empfang“ wird das Antennensignal an der PA vorbeigeleitet; in Stellung „Senden“ wird das Steuersignal über die Kontakte 4 und 5 des Eingangsrelais K1 dem Eingangs-Leitungsübertrager (nach Guannella) zugeführt. Danach erreicht das Steuersignal nach einer Spannungsübersetzung auf ein Drittel symmetrisch über C1 bzw. C2 und R1 bzw. R3 die Gates. Auf den oberen Bändern weicht das Eingangs-SWR geringfügig von 1 ab, weil die Summe aller Eingangskapazitäten den Eingangswider-

Bild 2:

Schaltung der breitbandigen PA; parallel zu C29 und C30 sind noch gleiche Widerstände 80...100 k Ω /2 W einzufügen



stand senkt. Zur teilweisen Kompensation dient C10. Auf den niedrigen Bändern wird der Eingangswiderstand zu hoch; daher die Reihenschaltung von R40 und R41, die ihn auf 70 bis 100 Ω bringt. Durch den mit der Frequenz steigenden induktiven Widerstand der Drahtwiderstände R40 riegelt sich diese Widerstandskombination auf den höheren Bändern quasi selbst ab.

Jeder Transistor hat einen eigenen Source-Widerstand, der einerseits die innerhalb der Toleranz streuenden Transistoren elektrisch angleicht und andererseits infolge Gegenkopplung linearisiert.

Durch Übersteuerung oder Funken etc. können im Ausgang erhebliche Impulsspitzen entstehen. Diese sind insofern gefährlich, als sie von hinten die Transistoren zerstören können. Sie müssen

also oberhalb des normalen verstärkten Ausgangssignals begrenzt werden. Das übernimmt eine einfache HF-Gleichrichtung auf jeder Seite. Für Hochfrequenz verwendbare spannungsfeste Dioden sind sehr teuer. Daher wurden hier billige Universaldioden parallel und in Reihe verwendet, um auf die notwendige Spannungsfestigkeit und den notwendigen Spitzenstrom zu kommen. Überschreiten die Impulsspitzen wesentlich die maximalen Sinusamplituden, so fließt ein Belastungsstrom über die angehängten Z-Dioden. Das verhindert, dass die maximale Drain-Spannung der Endstufentransistoren überschritten wird. Da die Z-Dioden dann aber heiß werden, darf die Überlastung nicht zu lange andauern.

Um die Ansteuerung auf allen Bändern anzugleichen, wurde eine ALC-Schal-

tung mit eingebaut. Sie erzeugt blitzschnell eine negative Regelspannung, die einstellbar dem Transceiver zugeführt werden kann. Diese Spannung regelt dann die Steuerleistung herunter. Diese ALC-Schaltung besitzt eine Übersteuerungsanzeige. Unterschreitet die Drain-Spannung der Endstufentransistoren 17 V, so zieht T37 einen Kollektorstrom, der T38 aussteuert. Am Emittter dieses NPN-Transistors liegt eine Leuchtdiode, die dann, also im Übersteuerungsfall, aufleuchtet.

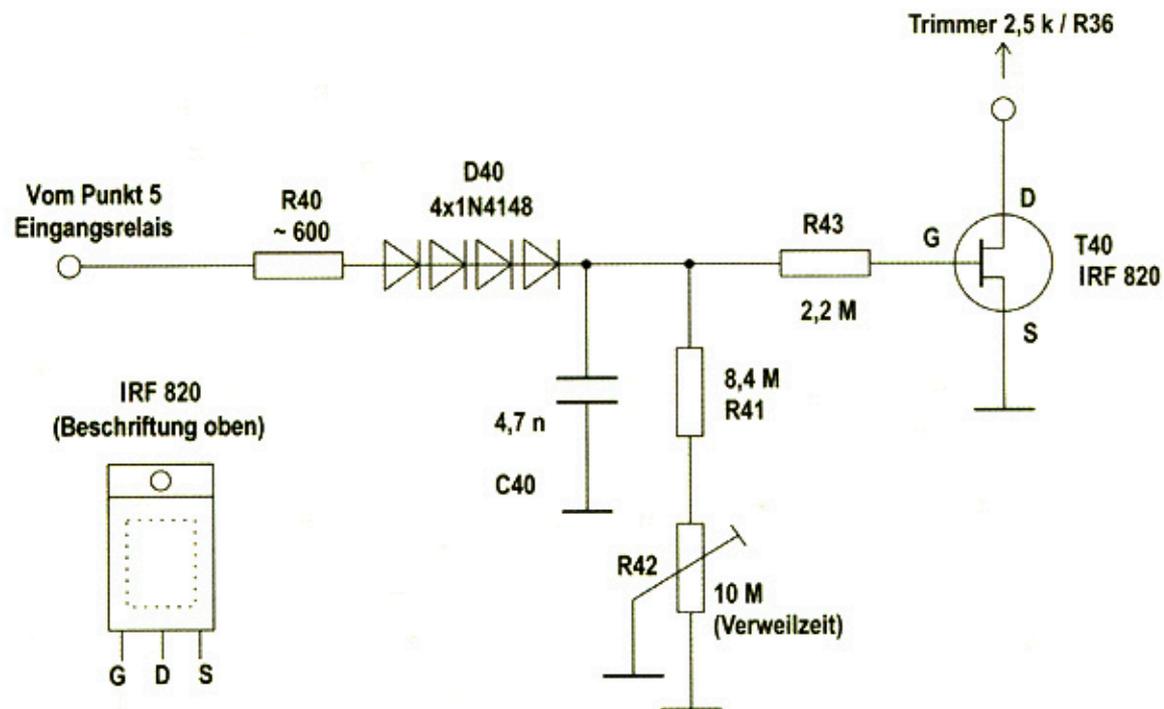
Um Störungen des UKW- oder Fernsehempfangs auszuschließen, wurde ein einfacher Tiefpass vorgesehen (C13, L4, C14). Da die Ausgangskapazitäten auf 10 m den Wirkungsgrad mindern, empfiehlt es sich, diesen auf 10 m in Resonanz zu bringen (Anpassen von C13 und L4 auf höchsten Output).

Die Arbeitspunktautomatik

Die in Bild 2 gezeigte Schaltung ist noch nicht ganz komplett. Es fehlt die Arbeitspunktautomatik nach **Bild 3**, die an den Kontakt 5 des Relais K1 angeschlossen wird.

Es handelt sich um einen einfachen elektronischen Schalter mit einem FET. Dieser wird von einer Gleichspannung angesteuert, die mithilfe einer Gleichrichtung vom Ansteuersignal gewonnen wird. Dieser FET kann übrigens von einem Schalter zu Kontroll- oder zu Einstellzwecken überbrückt werden.

Bild 3:
Die übersichtliche Schaltung der Arbeitspunktautomatik



Bevor man sich dem praktischen Aufbau zuwendet, ist es wirklich ratsam, ausgiebig die Schaltbilder, die Materialauflistungen, die Fotos und den Text zu studieren. Jedes Detail will gut überlegt sein! Sich vorzunehmen, gründlich, sorgfältig und stets mit Überlegung zu arbeiten, ist immer die beste Voraussetzung für den Erfolg.

Die Übertrager

Besonders viel Zeit und Sorgfalt verlangen die drei verschiedenen Übertrager.

Bild 4 zeigt den Aufbau des Eingangsübertragers ein wenig übersichtlicher als im Schaltbild.

Verwendet wurden drei Ferritringkerne von Siemens B64290-A48×12 mit einem AL-Wert von 40×10^{-9} H/Wdg. Jeder Kern erhielt 18 Windungen aus

eng verdrehter Kupferdrahtleitung (Z-Leitung) $2 \times 0,9$ mm. Man benötigt jeweils etwa 1 m Leitung. Die Kerne sollten zuvor mit Plastiklebeband etwa zweilagig bewickelt werden, sodass die Leitung ein „weiches Bett“ bekommt. Scharfe Kanten an den Kernen rundet man mit Schleifpapier ab.

Im Inneren der Kerne sollten die Windungen nur 1 bis 1,5 mm Abstand haben. Man findet mit einem Ohmmeter die durchgängigen Drähte und markiert sie z.B. mit Isolierschlauch. Danach werden die Wicklungen satt mit Plastikspray eingesprüht.

Am Eingang erfolgt eine Reihenschaltung, am Ausgang eine Parallelschaltung. Dadurch ergibt sich eine Widerstands-Transformationswirkung von 1:9, d.h. 50Ω (unsymmetrisch) werden auf rund $5,6 \Omega$ symmetrisch herabgesetzt.

Da die Gegentaktansteuerung zwei phaseninverse, unsymmetrische Spannungen benötigt, „sieht“ jede der beiden Transistorseiten rund $2,8 \Omega$. Die entsprechende Spannungstransformation ist je 1:6. Die maximale Steueramplitude von $44,7 V_S$ (entsprechend 40 W maximaler Steuerleistung) führt also zu einer Aussteuerung von $\pm 10,43 V_S$ an den Gates der Transistoren.

Beim Breitband-Spartransformator mit L4 wurde ein Kern wie beim Guanella-Übertrager benutzt. Bewickelt wird dieser aber mit zwei Drähten aus Kupfer- oder Silberlitze, teflonisoliert, $2,5 \text{ mm}^2$. Man bringt gleichzeitig 2×8 Windungen stramm und einlagig auf, benötigt also etwa 2×50 cm Draht. Durch Verbinden des Endes E1 mit dem Anfang A2 entsteht die „Mittelanzap-

fung“ (Bild 5).

Für den Ausgangsbalun mit L5 eignet sich ebenfalls der genannte Ringkern oder z.B. ein Valvo-Kern RCC36.6/15.6-4C65. Man bringt bifilar teflonisolierten 1,5-mm-Draht auf, nun aber 2×12 Windungen. Bild 6 skizziert diesen Übertrager.

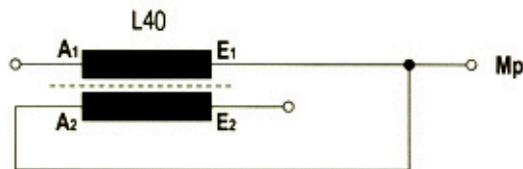


Bild 5: Einfacher Aufbau des Spartrafos

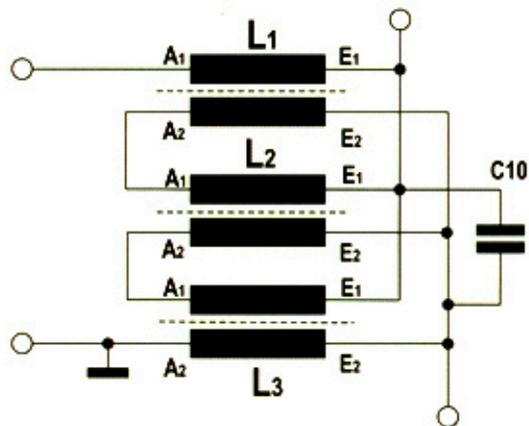


Bild 4: Die Verdrahtung des Guanelle-Übertragers im Eingang der PA

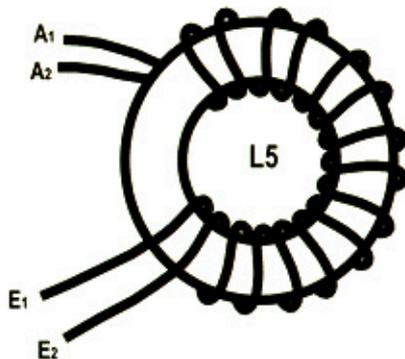


Bild 6: Skizze des Ausgangsbaluns

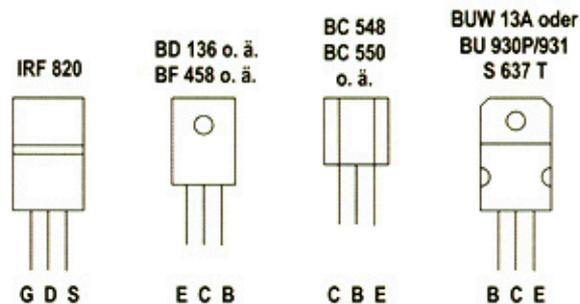


Bild 7: Anschlussbelegungen einiger Transistoren, jeweils mit Blick auf die Bezeichnung

Filterspule und Schutzdrossel

Für L6 wird ein ca. 30 cm langes Stück „Elektrikerdraht“ 10 mm², massiv, abisoliert, mit Stahlwolle poliert und auf ein Plastikschrutzrohr mit 18 mm Außendurchmesser gewickelt. Dabei sollten vier und eine halbe Windung entstehen. Diese werden dann mit Plastikspray überzogen. Man sieht diese Filterspule gut im Aufmacherbild von Teil 1. Sie besitzt etwa 0,4 µH.

Das gleiche Rohr, ca. 70 mm lang, kann man für die Schutzdrossel L7 verwenden. Man muss ca. 60 Wdg. aufbringen. Das bedeutet eine Drahtlänge von ca. 4 m. Benutzt wurde CuL-Draht 0,9 mm. Die Induktivität beträgt etwa 20 µH.

Diese Drossel verhindert statische Aufladungen und bildet mit dem Quellwi-

derstand einen Tiefpass, sodass Signale unter 1 MHz gedämpft werden.

Wichtige Hinweise für die Mechanik

Die mechanischen Herausforderungen beginnen mit dem Montagerahmen, zweckmäßigerweise aus „Weißblech“, 0,6 mm dick, der doppelseitig kaschierten Hauptplatine, dem Zurechtlegen der Bauteile usw.

Die große, ungeätzte, doppelseitig kaschierte Hauptplatine wird in der besten Position auf den vorher erstellten Rahmen gelegt und mit einem permanenten Filzschreiber an einer Ecke gekennzeichnet, z.B. HRO (Hinten; Rechts; Oben). Außerdem ist es ratsam, sie zunächst zu reinigen, dann mit möglichst vielen Schrauben zu montieren und sie erst dann mit Plastikspray

zu überziehen.

Danach werden die Kühlblocks (massive Aluminiumstangen, 20 mm × 30 mm) mit den Bohrlöchern einschließlich der geschnittenen Gewinde (M3) für die Transistoren und den aufgeschraubten Kühlkörpern so auf die Hauptplatine aufgebracht, dass zwischen diesen unter der Platine, in Längsrichtung der notwendige Platz verbleibt, um den Eingangsübertrager mit kurzen Drähten unterbringen zu können.

Weiter empfiehlt es sich, einen ebenso breiten, einseitig kaschierten Platinestreifen mit der Kaschierung nach oben unter jeden der Kühlblöcke zu legen. Diese Streifen sollten in Längsrichtung auf jeder Seite etwa 1 cm überstehen. Der Überstand dient als Kontaktfläche

für den Ausgang. Damit keine zu großen Kapazitäten zwischen den HF-führenden Kühlblöcken und Masse entstehen können, sollten unter diese Kontaktstreifen 5 bis 10 mm hohe schmale Abstandstreifen aus wärmefestem Kunststoff quer gelegt werden.

Je nachdem, wie das Gerät gestaltet werden soll, muss darauf geachtet werden, dass der notwendige Platz für alle übrigen Bauteile verbleibt.

Tipps und Tricks zur Verdrahtung

Damit die vom Eingangsübertrager weit entfernten Transistoren auch mit gleicher Ansteuerungsphase erreicht werden, sollten alle Zuleitungen induktionsarm erfolgen. Dazu eignen sich besonders gut Blechstreifen. In diesem Fall wurden zwei Weißblechstreifen

mit dem Maß 30 mm × 170 mm verwendet. Sie stehen senkrecht auf den beiden Randstreifen der Laborplatinen. Der Verfasser verwendet für alle seine Aufbauten nur noch diese Laborplatinen. Sie sind universell, einfach zu montieren (doppelseitige Klebestreifen), erfordern keine Vorarbeiten, und man kann nach Herzenslust ändern, ohne dass die Optik Schaden nimmt („Makro-SMD“).

Die einzelnen Baugruppen kann man separat auf entsprechenden Platinenstücken erstellen. Es empfiehlt sich dann aber immer, sie auch sofort auf einwandfreie Funktion zu prüfen.

Die auf den Fotos zu sehende Bauform ist elektrisch kaum zu verbessern. Sie ist außerdem in Bezug auf die Transistoren besonders servicefreundlich.

Die Endstufentransistoren sollten wegen

der grundsätzlichen Möglichkeit einer ungewollten statischen Aufladung zuletzt montiert werden. Die Praxis in den letzten 25 Jahren hat jedoch bewiesen, dass das Risiko sehr klein ist.

Bild 7 bringt Transistor-Anschlussbelegungen, auf die man grundsätzlich sorgfältig achte!

Unter allen Wärmeübergängen, z.B. auch unter die Transistoren, sollte Wärmeleitpaste gestrichen werden.

Damit man „mit und ohne PA“ experimentieren kann, ist es empfehlenswert, einen zusätzlichen Schalter einzubauen, mit dem man die Relaisleitung zum Voxrelais des Transceivers unterbrechen kann.

Die 700-W-Endstufe benötigt ungefähr 1 kW Input und verschiedene Spannungen. Auch das Netzteil will also wohlüberlegt sein. Da es ohne galvanisch trennenden Trafo betrieben wird, sind die Sicherheitsvorschriften zu beachten.

Die Qualität eines guten Leistungsverstärkers steht und fällt mit der Qualität des Netzteils.

Schaltnetzteil bevorzugt

Nach einigen Umwegen hatte der Verfasser schon früher ein neuartiges „simples Schaltnetzteil“ entwickelt. Es arbeitet ohne Transformator, hat einen Wirkungsgrad von über 98 % (!), liefert über 10 A bei ausreichend niedriger Brummspannung und ist genügend

spannungstabil. Das Netzteil ist darüber hinaus einfach, leicht, billig und erzeugt keine Störungen durch Oberwellen. Da es direkt vom Netz aus betrieben wird, ist aber darauf zu achten, dass es an einer unverwechselbaren Steckdose betrieben wird. Eine zusätzliche Erde mit Schutzleiterqualität ist empfehlenswert! Alle denkbaren sonstigen Schutzmaßnahmen sind zu beachten.

Sicherheitshinweis

Das hier vorgestellte Netzteilkonzept verzichtet auf einen galvanisch trennenden Trafo und bedient sich der direkten Energieversorgung aus dem Stromnetz. Beim eventuellen Nachbau und Betrieb sind daher die hierbei geltenden Sicherheitsvorschriften einzuhalten. Bei unsachgemäßer Handhabung besteht ein Sicherheitsrisiko für Leib und Leben! Nachbau und Betrieb sollten daher nur durch technisch in dieser Richtung erfahrene Funkamateure erfolgen.



Die Netzteilschaltung

Das Prinzip wird beim Blick auf **Bild 8** sofort verständlich, wenn man sich die Reihenschaltung D11 mit C29 sowie D12 mit C30 anschaut. Es handelt sich um eine einfache Einweg-Gleichrichtung, aber mit zwei hintereinander geschalteten Ladeelkos und Dioden. Während der positiven Halbwelle der Netzspannung werden die Elkos zusammen auf ca. 325 V geladen. D13 stört dabei nicht, da sie in Sperrrichtung geschaltet ist. Sie ist aber notwendig, um nach der kurzfristigen Aufladung (kleiner Stromflusswinkel) den Minuspol von C29 mit Masse zu verbinden. Der Pluspol von C29 braucht jetzt nur noch nach der Aufladung über einen elektronischen Schalter (T26, 27) dem Pluspol von C30 zugeschaltet werden. Das ergibt eine Parallelschaltung

von C29 und C30. Ergebnis: Die halbe Spannung von 325 V (minus den Spannungsabfällen an den Dioden) = ca. 160 V und der doppelte Entladestrom stehen zur Verfügung.

Der elektronische Schalter darf allerdings nur nach abgelaufener Aufladephase geschlossen sein. Daher wurde den Darlington-Schalttransistoren T26 und T27 ein PNP-Transistor (T25) vorgeschaltet. Dieser wird direkt vom Netz angesteuert. Sinkt die Spannung auf der hinteren Flanke der positiven Netzhälfte ab, schaltet zunächst T25 durch und als Folge davon leiten die beiden Darlington-Leistungstransistoren.

Durch den absoluten Schalterbetrieb wird nur ganz wenig Energie in Wärme umgesetzt, der Wirkungsgrad ist sehr hoch.

Tipps & Details

Wegen der hohen gespeicherten Energie in C29 und C30 sollten Kurzschlüsse tunlichst vermieden werden.

Beim Experimentieren empfiehlt es sich, ausreichend lange zu warten, bis alle Elkos auch wirklich leer sind. Empfehlenswert ist ein Taster, mit dem man im ausgeschalteten Betrieb einen Entladewiderstand von 200 bis 500 Ω /10...20 W einschalten kann.

Ein Voltmeter einzubauen ist ebenso sinnvoll. Ersatzweise, oder wenn durch die Parallelschaltung von vielen kleinen Elektrolytkondensatoren für C29 und C30 wenig Platz verbleiben sollte,

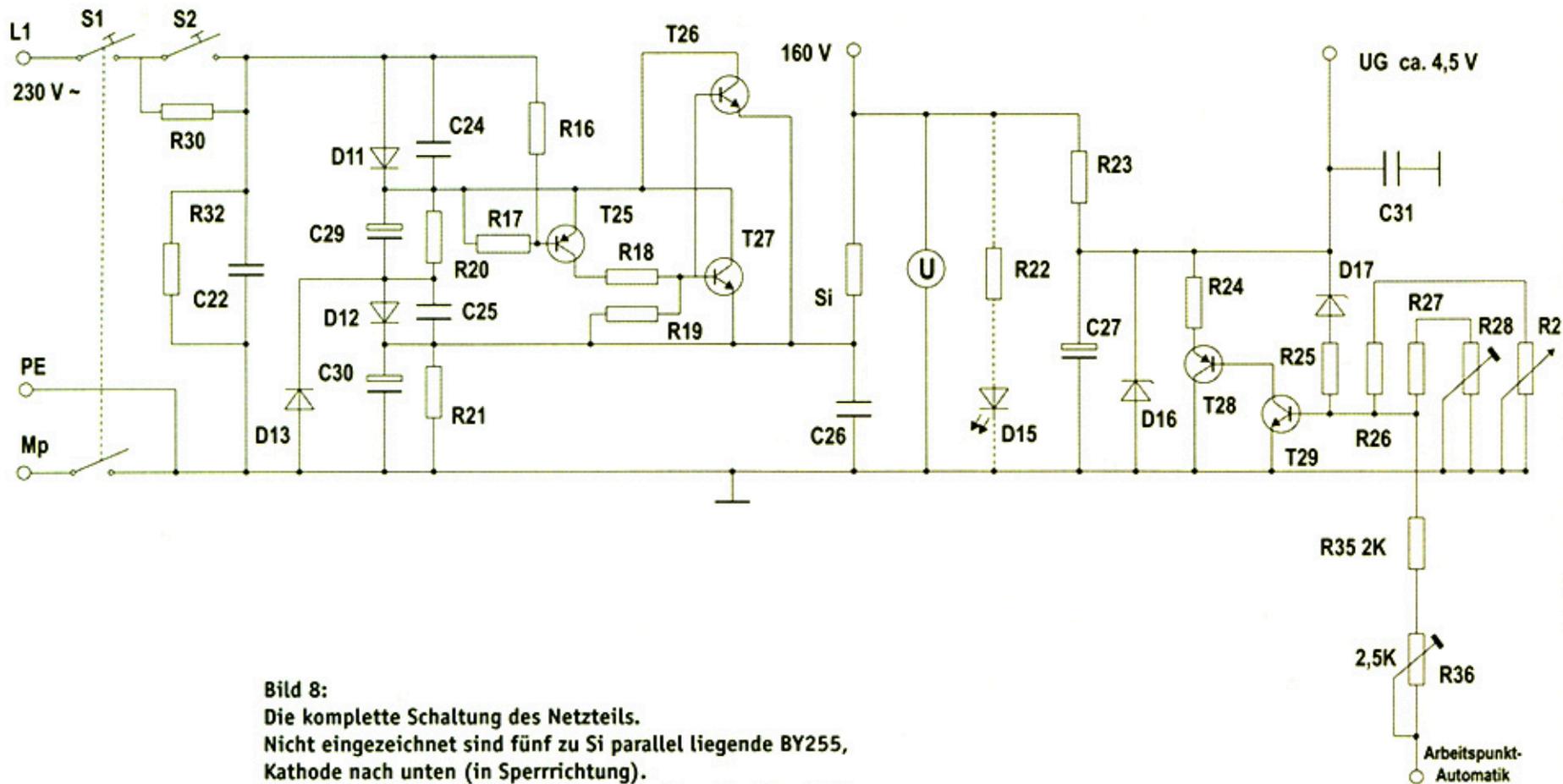


Bild 8:
 Die komplette Schaltung des Netzteils.
 Nicht eingezeichnet sind fünf zu Si parallel liegende BY255,
 Kathode nach unten (in Sperrrichtung).
 Mit R36 und R28 wird die Arbeitspunktautomatik eingestellt

kann man eine Leuchtdiode (LD15) verwenden. Im Ausgang wird das Netzteil durch eine flinke 16-A-Sicherung abgesichert. R30 ist ein Anlasswiderstand, der nach dem Einschalten bei geöffnetem S2 den Einschaltstrom begrenzt. Sind C29 und C30 nach 5...8 s aufgeladen, wird der Vorwiderstand durch Schließen von S2 überbrückt. Durch den „Simpel-Schalterbetrieb“ ist die Brummfrequenz hoch. Die Form ist zwar zeitlich unsymmetrisch, wirkt sich aber günstig aus.

C26 überbrückt hochfrequenzmäßig C30. D10 ist eine Schutzdiode für das Amperemeter. T24 mit Beschaltung ist ein einfacher Spannungsregler, der die Aufgabe hat, die Relais und die ALC-Schaltung mit etwa 17 V zu versorgen. Das Ausgangsrelais ist beim Ein- und

Ausschalten stromlos. Die verwendeten Typen SDS-S3 sind sehr schnell, sodass z.B. bei Telegrafie mittlerer QSK-Betrieb möglich ist. Nach Angabe des Herstellers können diese 12-V-Relais mit einer maximalen Spulenspannung von 23,7 V betrieben werden.

Die Gate-Spannung

Verbleibt noch die Erzeugung der positiven Gate-Spannung U_G . Sie wird nach dem Prinzip der einstellbaren Z-Dioden-Stabilisation gewonnen. R23 ist der Vorwiderstand, und die Transistoren T40/T41 stellen mit Beschaltung eine aktive, grob und fein einstellbare Z-Diode dar. C27 ist ein Siebkondensator, ZD16 soll ein „Weglaufen“ der Gate-Spannung verhindern. Bei niedrigstem Wert von R28 und R29 steht an C27 die höchste Gate-Spannung.

Die Gate-Spannung direkt von den ca. 160 V abzuleiten, stellt nicht nur eine Vereinfachung dar, sondern bringt auch die höchste Stabilität und die geringste Brummspannung.

R28 wird so einjustiert, dass bei Mittelstellung von R29 gerade eben ein Ruhestrom fließt (ca. 0,1 A). Mit R36 wird dann die Erhöhung des Ruhestroms bewirkt, die man braucht, um bei Ansteuerung durch Sprechen den optimalen Ruhestrom von 0,75 A zu erhalten. Tatsächlich sinkt der ungewöhnlich hohe Intermodulationsabstand (**Bild 9**) wieder, wenn man sowohl weniger als ergeben eine Verlustleistung von 120 W. Da mit der Automatik die mittlere Verlustleistung auf mindestens die Hälfte davon gemindert wird, werden die Transistoren weniger warm.

Thermisch verhält sich die gesamte An-

ordnung so, dass die PA in kaltem und in heißem Zustand weitgehend den gleichen Ruhestrom zieht und somit den eingestellten Arbeitspunkt beibehält.

Kühlung

Bei dem auf den Fotos zu sehenden Labormuster wurde auf einen fest eingebauten Ventilator verzichtet. Die Kühlung übernahm ein einfacher Tischventilator. Bei einem Nachbau sollte aber auf eine gute Kühlung geachtet werden. Schließlich verstehen sich die angegebenen Verlustleistungen der Transistoren nur bei 25 °C Umgebungstemperatur. Bereits sehr heißgefahrene Transistoren können daher nur noch eine begrenzte zusätzliche Verlustleistung an die vorbeistreichende Luft abgeben. Gerade bei Transistoren gilt daher: Man kann nie zuviel kühlen, höchstens zu wenig!

Bauteileliste

Netzteil und Gate-Vorspannungserzeugung

R30: 40...60 Ω /mind. 20 W
R16, R32: 50...70 k Ω /1 W
R20, R21: 20 k Ω /2 W
R17, R18: 5...10 k Ω /0,5 W
R19: 50 k Ω /0,5 W
R22, R23: ca. 30 k Ω /2 W
R24: 3,9 Ω /0,5 W
R25: 1,3...1,5 k Ω /0,5 W
R26: 1,8...2,2 k Ω /0,5 W
R27: 390 Ω / 0,5 W
R28: 1 k Ω , Trimpoti, lin. (UG grob)
R29: 4,7 k Ω , Poti, (UG fein)
R35: 2 k Ω /0,5 W
R36: 2,5 k Ω , Trimpoti (Ruhestromerhöhung bei Ansteuerung)
C22: 20...100 nF/1000 V
C29, C30: je 10...20 mF/200 V (beide gleiche Kapazität)
C24, C25: 2,2...4,7 nF/500 V
C26: 100 nF/400 V
C27: 1...2,2 mF
C31: 0,5 μ F/100 V
D11, D12, D13: Netzleistungsdiode 15 A, z.B. 5 \times BY255 parallel
D15: Leuchtdiode, rot, 20 mA (Bereitschaft)
D16: Z-Leistungsdiode 5,6...10 V (z.B. ZL10)
D17: Z-Diode 2,7 V
T25: BF472, BF872
T26, T27: S637T, BU931P o.ä.
T28: BD136 oder BD236
T29: BC548 o.ä.
Si: Feinsicherung 16 A, flink
U: Spannungsmesser 150...250 V DC

Bauteileliste PA

R1, 3: 18 /1 W
R2, 4: 60...80 k Ω /0,25 W
R5, 6, 26, 27, 36, 37: 3,9 Ω /0,5 W
R13: 2,2 k Ω /4 W, Draht
R14: ca. 60 k Ω /0,25 W
R15: 200...250 k Ω /0,25 W
R25: 1 k Ω /0,5 W
R28: 10 k Ω /0,5 W
R29: 3,9 k Ω /0,5 W
R30, 36: 100 k Ω /0,25 W
R31: 500 Ω /0,5 W
R32, 33, 40, 41: ca. 700 Ω /0,5 W
R34: 200...300 Ω /0,5 W
R35: Poti, linear, 50...100 k Ω /0,4 W
R40: 2 \times 7,5 Ω /2 W, Draht, parallel
R41: 120...150 Ω , in Summe ca. 15 W, Kohle oder Metallfilm
C1, 2: 350...400 pF/250 V
C3: 0,1 μ F/400 V
C19: 22 μ F/25 V
C4, 17, 28, 32, 33: 10 nF/100 V
C6, 20, 21, 24, 25, 27, 33, 34, 42, 43, 44: 4,7 nF/500...1000 V,
Trennschutzkondensatoren
C3: 8 \times ca. 0,1 μ F/400 V, parallel

C10: 250...300 pF, HF-tauglich, Position und Wert ggf. dem
Eingangs-SWR auf 10 m anpassen

C13, 14: 68 pF, 500 V, HF-tauglich

C29: 0,1 μ F/100 V

C30: 2,2 μ F/15 V

C31: 10 μ F/25 V

C32: 0,1 μ F/100 V

C35: 0,56 μ F/100 V

C36: 10 μ F/25 V

T1...22: IRF 820 oder STP4NK50Z

T24: BD139 o. ä.

T37: BF506

T38: BC550

D6, 7: 1N4001

D8: 9 \times 1N4148

D9 + D9: je 90 \times 1N4148 (je 9 parallel und dann 10 in Reihe)

D10: 2 \times BY 255 parallel

ZD2, 3, 4, 5: je z. B. 9 \times 30 V in Reihe, je mind. 3 W

ZD10: 18 V/1 W

LD1, 3: rot, 20 mA

LD8: grün, 20 mA

K1, K2: 12 V, z. B. SDS-S3/12 V

H1-8: Einlötlämpchen, 60...65 V (nicht unbedingt notwendig)

A: 15 A

Bauteileliste Arbeitspunktautomatik

R40: 600 Ω /0,25 W R42: Trimpoti 10 M Ω , lin. T40: IRF820

R41: 8,4 M Ω /0,25 W D40: 4 \times 1N4148 in Serie oder STP4NK50Z