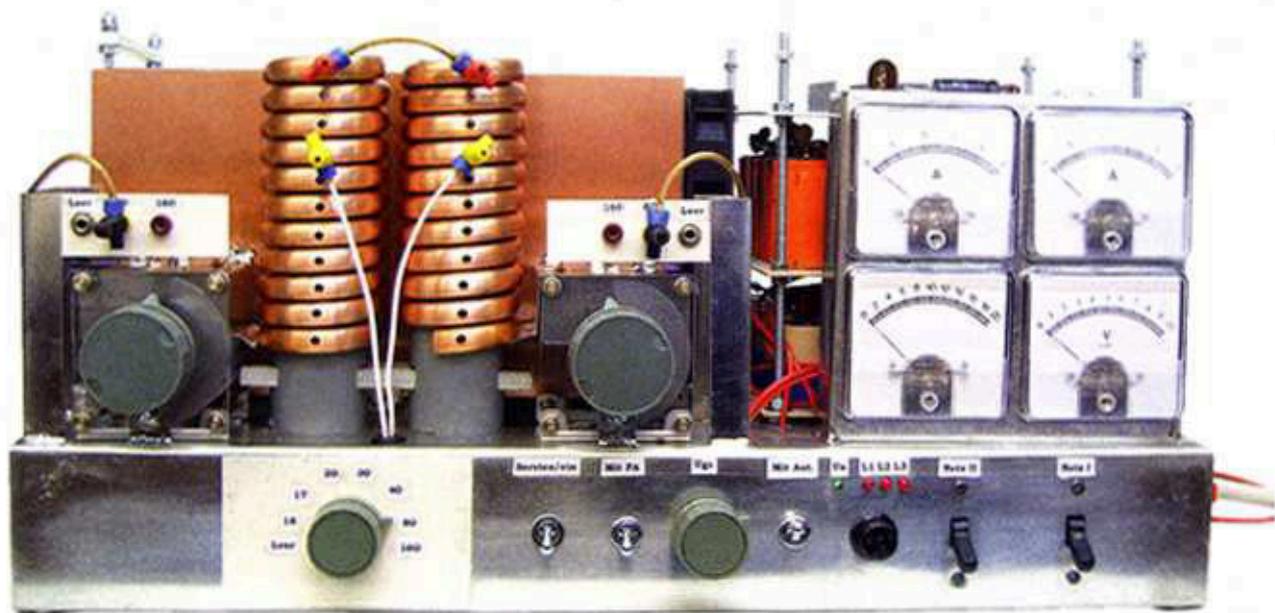


Ultralineare Kurzwellen-Endstufe

Diese PA wurde mit Zeilenendstufen-Röhren gebaut und besitzt neben der geringen Intermodulation noch einige bemerkenswerte Vorteile. Durch eine Überdimensionierung wird im Leistungsbereich bis zu den zulässigen 750 W ein sauberes HF-Signal erzeugt.



Aus den Literaturhinweisen [1–8] kann man erkennen, dass der Verfasser sich bereits zu Beginn der 60er Jahre mit der Entwicklung von Endstufen beschäftigt hat. Seinerzeit ging es unter der Limitierung von 150 W Anodenverlustleistung in erster Linie darum, den Wirkungsgrad der Endstufe möglichst hoch zu treiben, um auf diese Art auf eine möglichst große legale Ausgangsleistung zu kommen. Er erreichte am Ende unter

Anwendung von einigen raffinierten Schaltungstricks einen Wirkungsgrad von ca. 90 % im C-Betrieb.

Überdimensionierung sinnvoll

Nachdem die Bauteile immer kleiner geworden waren, wandte sich der Verfasser den Billig-Feldeffekttransistoren zu. Mit diesen erreichte er in mehreren Entwicklungsstufen letztendlich eine Ausgangsleistung von etwa 4 kW in einem Modul. Mit einem dazu entwickelten, einfachen, aber sehr stabilen und darüber hinaus auch noch sehr preiswerten „Simple“-Schaltnetzteil waren bei einer reduzierten Ausgangsleistung von 750 W Intermodulationsabstände von deutlich über 35 dB, auf Zweiten bezogen, möglich. Es deutete sich schon hier an, dass hohe Qualität nur durch eine Überdimensionierung zu erreichen war. Diese Überdimensionierung war also in der Folge notwendig, um wie bei kom-

merziellen Endstufen einen außerordentlich hohen Intermodulationsabstand zustande zu bringen. Gleichzeitig sollte die Endstufe aber einfach, robust, billig und leicht sein.

Das alles wäre mit typischen Senderröhren nicht möglich gewesen. Der dann notwendige große und damit zwangsläufig schwere Hochspannungstrafo z.B. hätte einschließlich der sonstigen notwendigen Bauteile das Volumen und vor allen Dingen das Gewicht dessen überschritten, was sich der Verfasser vorgestellt hatte.

Zeilenendstufen-Röhren als Lösung

Er benutzte also die ihm vertrauten Zeilenendstufen-Röhren PL 509 oder PL 519. Diese Röhren, die früher in den Farbfernsehgeräten als Schalter verwendet wurden, hatten einige Vorteile. Zunächst besaßen sie, da für den Schal-

Sicherheitshinweise

Das hier vorgestellte Endstufenkonzept verzichtet auf einen galvanisch trennenden Trafo und bedient sich der direkten Energieversorgung mittels dreier Netzphasen.

Beim eventuellen Nachbau und Betrieb sind daher die hierbei geltenden Sicherheitsvorschriften einzuhalten.

Die hohen Betriebsspannungen stellen bei unsachgemäßer Handhabung ein Sicherheitsrisiko für Leib und Leben dar!

Nachbau und Betrieb sollten daher nur durch technisch in dieser Richtung erfahrene Funkamateure erfolgen.

Weiterhin ist die maximal zulässige Ausgangsleistung von 750 W in DL nicht zu überschreiten.

terbetrieb ausgelegt, eine besonders große Ovokathode. Ansonsten waren sie von der Fertigung her so angelegt wie normale Verstärkerröhren.

Ein weiterer Vorteil war die spezielle Anordnung der Elektroden innerhalb des Systems. Diese konstruktive Besonderheit erfordert keine hohe Anodenspannung, sondern alle diese Röhren kommen mit 650 V aus, wobei sie, einschließlich der noch älteren PL 36 aus der Schwarz-Weiß-Fernsehzeit, ausgesprochen robust arbeiten.

Die große Kathode erbrachte automatisch einen großen Kathodenspitzenstrom selbst dann, wenn man diese Röhren nicht in den Gitterstrom hinein steuerte. Vieles sprach also für den Einsatz dieser Röhren in einer Verstärkerstufe. Nachteilig waren nur die relativ größeren Ein- und Ausgangskapazitäten. Aber auch die kann man in den Griff bekommen.

Betrieb im Gegentakt

Eine dieser Möglichkeiten, die dynamischen Kapazitäten zu verkleinern, ist der Gegentaktbetrieb.

Auf diese Art kann man die gesamten Kapazitäten auf ein Viertel reduzieren. Außerdem erhöhen sich dadurch automatisch die Qualität und damit der Intermodulationsabstand, auf den es ja bei einer PA besonders ankommt. Gegentaktbetrieb erhöht zudem die Oberwellen-Unterdrückung, da nun beide Halbwellen z.B. im Ausgang die gleiche Amplitude haben. Dies kann eine Eintakt-PA nicht garantieren. Der Ab-

stimmufwand ist etwas größer, aber es wurde eine Lösung gefunden, mit der man gut leben kann.

Praktische Resultate

Welche guten Ergebnisse man mit diesen gelegentlich geringschätzig betrachteten Zeilenendröhren erreichen kann, zeigt **Bild 1**. Eckhard, DJ5EU, hatte mit einem SDR-Transceiver Flex-5000 bei besonders guten Bedingungen und ausreichend frei-

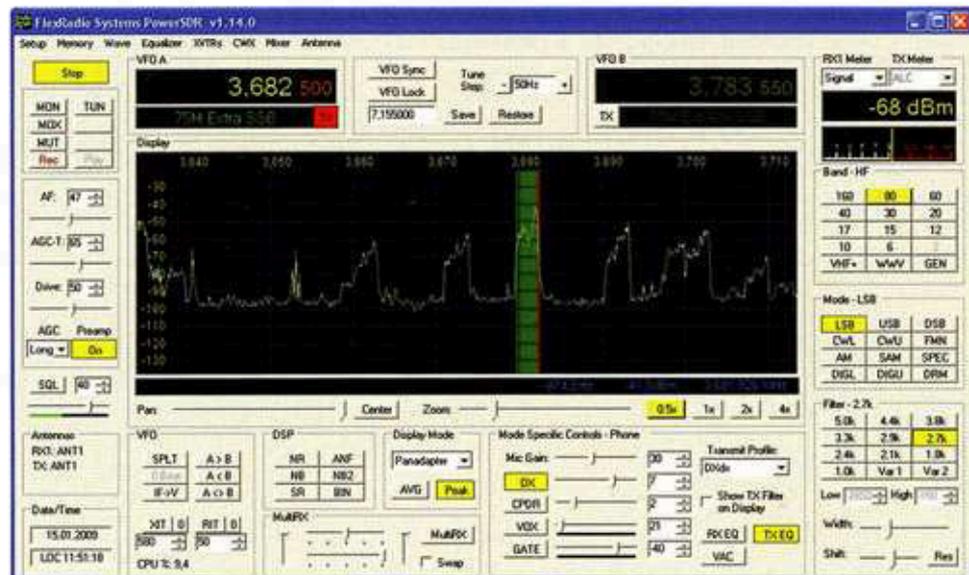


Bild 1: Die Fensterdarstellung des Signals beim Empfang durch DJ5EU

en Nachbarfrequenzen die Aussendungen des Verfassers beobachtet und diesem das Ergebnis zugeschickt. Geht man davon aus, dass der Flex-5000 tatsächlich nur eine Messabweichung von 1 dB hat, so bedeutet das gemäß der Dezibel-Einteilung am linken Rand eine gesamte Absenkung der unerwünschten Aussendungen im oberen Seitenband von etwa 50 dB! Zumindest für den Amateurfunkbereich ein gigantischer Wert! Und das auch noch unter praktischen Bedingungen mit einem älteren Transceiver von Yaesu, dem FT-980, der allerdings in Endstufe, Treiber und Vortreiber verbessert wurde.

Die Intermodulationsmessung mit zwei Leistungsmesssendern, einer Leistungs-Weatstone-Brücke und einem älteren, aber sauber kalibrierten Spektrumanalysator HP 141T ergab zwar nur 46 dB (**Bild 2**), aber selbst unter kommerziellen Gesichtspunkten ist das ein hervorragender Wert. Die nähere Beschäftigung mit diesem Konzept lohnt sich also.

Startpunkt Heizung

Die Überlegungen, wie man so ein Projekt gestalten kann, sollten mit der Heizung beginnen. PL 509 und PL 519, die beide aus dem gleichen Fertigungsautomaten stammen, sind „stromgeeichte“ Röhren, und zwar auf 300 mA Heizstrom. Die Heizspannung beträgt 40 V. Schaltet man also sechs Stück davon in Serie, so kann man sie direkt aus 230 V speisen. Es ist nun die Frage, ob man auf jeder Gegentaktseite sechs Stück parallel oder zweimal sechs Stück parallel schaltet. Wählt man die erste Variante, also insgesamt zwölf Röhren, so hat man auf jeden Fall den Vorteil, mit Sicherheit bis auf 10 m QRV werden zu können. Die maximale Ausgangsleistung und damit die Überdimensionierung reicht zwar nur bis 1 kW „Output“, aber der Intermodulationsabstand dürfte immer noch hoch genug sein. Außerdem käme man dann auch mit einem Einphasen-Netzteil aus. Der Verfasser hat sich für die zweite Variante entschieden. Er hat also $2 \times 6 = 12$

Stück PL 519 auf jeder Seite parallel geschaltet, die dann im Gegentakt angesteuert wurden. Ihm war klar, dass damit die Beherrschung der jeweils doppelten Kapazitäten vor allen Dingen im Eingang auf den höheren Bändern schwieriger werden würde. Da er aber ohnehin kein typischer DXer ist, wollte er sehen, wie weit er damit kommen würde.

Balun sorgt für Phasenversatz

Gegentaktbetrieb fordert zwei gegenphasige Ansteuersignale. Mit einem Balun 1:1 mit 2×8 bifilaren Windungen auf einem guten Ringkern konnte diese Forderung für alle Bänder erfüllt werden (links in **Bild 3**). Gemäß Schaltung (**Bild 4**) werden die beiden Wicklungen elektrisch wie eine 50- Ω -Leitung behandelt. Am Ausgang dieses Baluns liegen zwei gleiche „Widerstandspakete“ gegen Masse als Vorlast bzw. Steuersender-Wirklast zum Abschließen.

Der Lastwiderstand von einem Ende zum anderen dieses Baluns liegt prinzipiell bei 50 Ω , also wären auf jeder Seite 25 Ω

nach Masse richtig. Da aber die dynamischen Eingangskapazitäten der Röhren nicht vollständig durch die den Gittern vorgeschalteten Dämpfungswiderstände kompensiert werden können, werden die aufgeteilten Lastwiderstände höher bemessen. Mit steigender Frequenz wird die Eingangskapazität der Röhren immer niederohmiger, sodass man auf diese Weise die Eingangsimpedanz ein wenig ausmitteln kann.

Obwohl der Verfasser durch einen Bandschalter auf jedem Band eine Kompensationspule von der einen Seite zur anderen schaltet, konnte er das Eingangs-SWR auf den höheren Bändern nicht bei 1 halten.

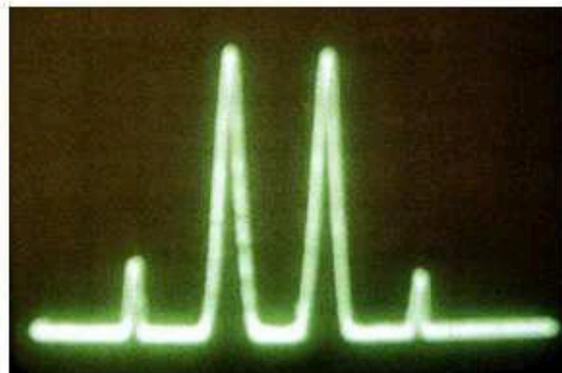


Bild 2: Spektraldarstellung des Ausgangssignals

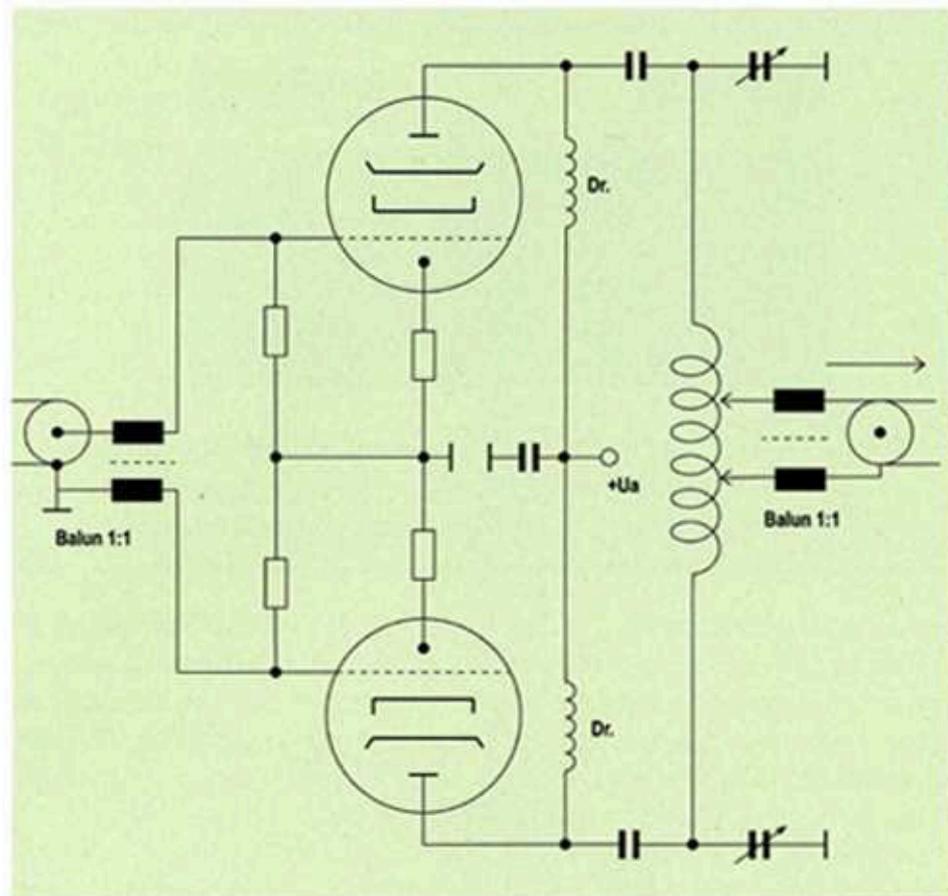


Bild 3:
Das Prinzip der
Gegentakt-Endstufe

Daher ist ein Steuersender oder Transceiver mit eingebautem automatischen Tuner sinnvoll.

Rund um die Röhren

Die Röhren werden identisch beschaltet. Jede Röhre bekommt zwei Gitter-1-Vorwiderstände, einen Gitterableitwiderstand, einen nicht zu großen Koppelkondensator am Gitter 1, einen Gitter-2-Vorwiderstand, einen Gitter-2-Abblockkondensator und einen unüberbrückten Kathodenwiderstand.

Wegen der schädlichen Zusatzinduktivitäten sollten keine Drahtwiderstände in den Kathodenleitungen verwendet werden. Anders am Gitter 1. Dort wird ein Drahtwiderstand von $7,5 \Omega/2 W$ als UKW-Drossel verwendet. Diesem liegt ein Metallfilm- oder Kohlewiderstand von 56Ω parallel. Obwohl in der Anode keine UKW-Drossel notwendig ist, erreicht man so, dass die PA selbst bei abgeschraubtem Ein- und Ausgang und auch bei „hochgezogenem“ Ruhestrom nicht wild schwingt!

Gitter 2 wird mit einem keramischen Kondensator $10 nF$ gegen die Kathode abgeblockt, um dem kleinen Spannungsabfall durch den Vorwiderstand am Gitter 2 von der Kathode her entgegenzuwirken. Im Ergebnis bleibt die Spannung am Gitter 2 auch bei Aussteuerung weitgehend konstant.

Der Koppelkondensator am Gitter 1, der nicht mehr als $390 pF$ betragen soll, hat noch eine besondere Aufgabe. Kommt es bei einem schlechten Röhrenfabrikat ausnahmsweise doch zu einem Überschlag im System, so muss man auch am Gitter 1 mit einem erheblichen positiven Spannungsimpuls rechnen. Wirkt dieser auf alle anderen Steuergitter, so kommt es in allen anderen Röhren zu einem sehr großen Anoden- und damit sehr großen Kathodenstromstoß. Die Folge wäre möglicherweise das Durchbrennen aller Kathodenwiderstände. Das sollen die kleinen und getrennten Gitter-1-Koppelkondensatoren verhindern.

Das Gitter 3 wird nicht mit der Kathode verbunden, sondern beidseitig an Masse gelegt. Besonders wichtig ist der unüberbrückte Kathodenwiderstand bei jeder Röhre. Dieser gleicht die von Röhre zu Röhre leicht abweichenden Ruhestrome und vor allem die Spitzenströme deutlich an. Insoweit können nicht ausgesuchte und nicht ausgemessene Röhren willkürlich verwendet werden. Diese Widerstände bewirken außerdem eine nicht zu unterschätzende breitbandige Gegenkopplung. Da jede Gegenkopplung die Linearität erhöht, sind diese Kathodenwiderstände an dem hohen Intermodulationsabstand wesentlich beteiligt. Die notwendige Steuerspannung und damit die Steuerleistung werden dadurch aber etwas größer.

Gestaltung des Ausgangs

Im Ausgang erhält jede Gegentaktseite eine eigene Anodendrossel. Diese Anodendrosseln müssen für die niedrigste Betriebsfrequenz einen ausreichend großen Blindwiderstand haben, jeweils fünf bis zehnmal größer als der Arbeitswiderstand R_a . Sie sollen aber andererseits von der Induktivität her nicht unnötig groß sein.

Der Grund ist sehr einfach. Ist die Windungszahl zu groß, können einzelne Teile der Spule in eine „offene Resonanz“ geraten. Dabei sind Serien- und Parallelresonanz möglich. Liegen Resonanzen zufällig innerhalb eines Betriebsbandes, dann kann die Spule infolge sehr hohen Stroms abbrennen. Kommerzielle Hochspannungs-PAs, die ja in aller Regel wegen der hohen Anodenspannungen hochinduktive Anodendrosseln brauchen, schalten oft zwischen den Frequenzbereichen ihre Anodendrosseln um. In diesem Fall ist das aber aufgrund der Niederohmigkeit der PA im Ausgang nicht erforderlich. Man kann mit einer richtigen Größe auf allen Bändern gut zurechtkommen. Die

erstellte Spule wird kurzgeschlossen. Dann nähert man sich ihr mit einem Griddipper wie bei einem Parallelschwingkreis. Liegt der erste Dip von unten oberhalb von 30 MHz, so ist alles in Ordnung. Andernfalls muss etwas abgewickelt werden.

Diese grundlegenden Betrachtungen gelten für alle Spulen, besonders in Leistungsbereichen.

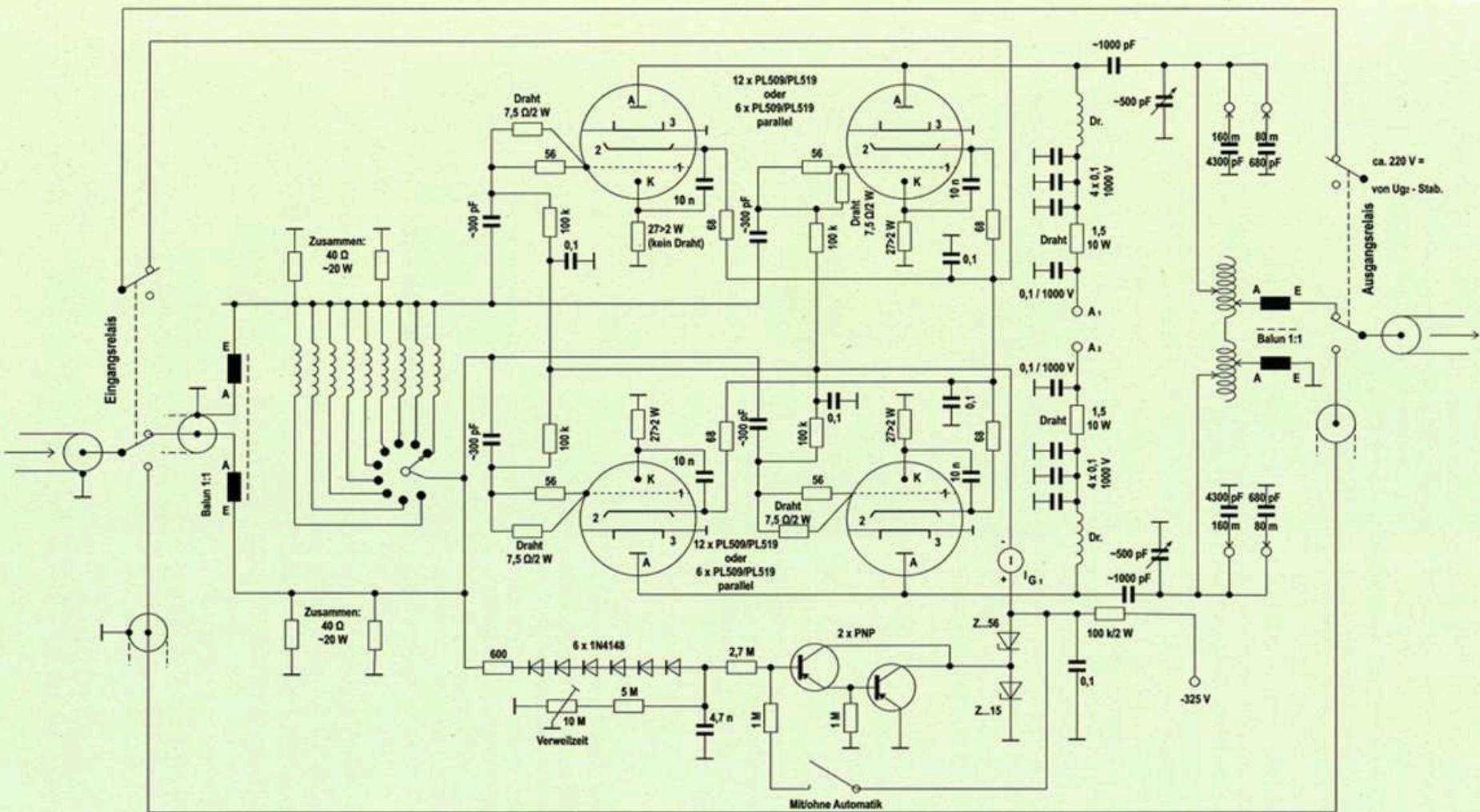
Der Außenwiderstand

Bei der Berechnung des optimalen Außenwiderstands und der optimalen jeweiligen Anodenkapazität gilt es, vorher Einiges zu bedenken.

Nach Angabe der Hersteller vertragen sowohl PL 509 als auch PL 519 einen maximalen Kathodenspitzenstrom von 1,4 A. Wegen des angestrebten großen Intermodulationsabstands und des damit verbundenen gitterstromlosen Betriebs ging der Verfasser von 800 mA aus. Das ergibt bei zwölf Röhren auf jeder Seite einen Spitzenstrom von 9,6 A. Zieht man davon den Gitter-2-Strom ab, so bleiben durch

die Anoden etwa 9 A Spitzenstrom. Das bedeutet gemäß der Formel Spitzenstrom/3,14 (hier wegen des Ruhestroms nur 3) einen mittleren Strom (pulsierenden Gleichstrom) von maximal 3 A auf jeder Seite, insgesamt also 6 A.

Daraus resultiert bei einer Anodenspannung von ca. 620 V unter Last ein maximaler Input von etwa 3,7 kW. Bei einem Wirkungsgrad von etwa 70 % kommt man so auf einen „Output“ von gut 2 kW. Für einen Einsatz im Ausland hat man so noch ein wenig Reserve. Um die in Deutschland erlaubten 750 W nicht zu überschreiten, geht man in der Ansteuerung entsprechend zurück, was den Intermodulationsabstand weiter erhöht.



A = Anfang
E = Ende

Bild 4: Die komplette Schaltung der Linearendstufe

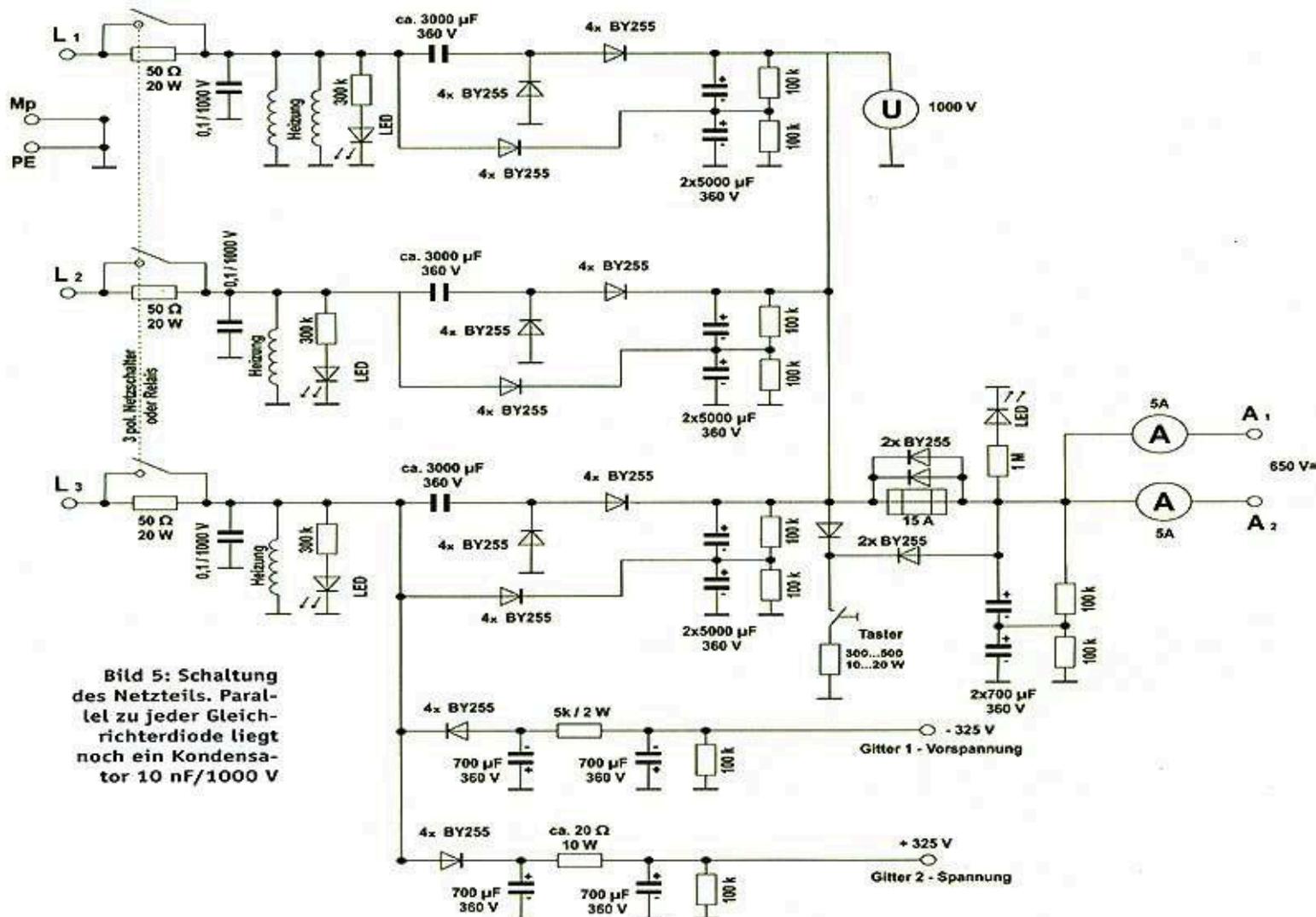


Bild 5: Schaltung des Netzteils. Parallel zu jeder Gleichrichterdiode liegt noch ein Kondensator 10 nF/1000 V

Um zunächst den Außenwiderstand R_a auf jeder Seite zu berechnen, teilt man die dort anstehende Spitzenspannung durch den entsprechenden Spitzenstrom:

$$R_a = (U_a - U_{a,rest}) / (3 \times I_A)$$

U_a ... Anodengleichspannung unter Last, hier 620 V

$U_{a,rest}$ = Anodenrestspannung, hier 150 V
 I_A ... pulsierender Anodengleichstrom (Effektivwert), hier 3 A

Im Ergebnis arbeitet also jede Seite auf einem Außenwiderstand von ca. 50 Ω . Der zwischen zwei Anoden liegende Widerstand hat somit einen Wert von etwa 200 Ω . Das kapazitiv angeschlossene resonante Auskoppelsystem transformiert die verstärkte Leistung an den 50- Ω -Ausgang.

Die Auskoppelkondensatoren kann man sich selbst herstellen. Sie bestehen aus einer einfachen, doppelseitig kaschierten Basisplatte.

Kondensator-Selbstbau

In der Mitte wird, sowohl hinten als auch genau gegenüberliegend vorn, die Kupferkaschierung mit einem Fräser von oben nach unten unterbrochen. Auf diese Weise erhält man zwei Auskoppelkondensatoren hoher Qualität.

An den Rändern wird die Kupferkaschierung mit einer Feile und danach mit Schmirgelpapier schräg entfernt. Das garantiert, dass es bei widrigen Umständen an den Kanten nicht zu Überschlägen kommt.

Schon vor Jahrzehnten hatte der Verfasser verschiedene, auch sehr teure, typische Senderkondensatoren in Relation getestet. Wegen der nicht nachweisbaren Eigeninduktivität schnitt ein solcher Basisplattenkondensator auf den höheren Bändern immer am besten ab.

Je nachdem, welches Basismaterial man verwendet, kann man von ca. 3 pF/cm² ausgehen. Etwa 1000 pF auf jeder PA-Seite sind anzustreben.

Spartrafo im Ausgang

Als Auskoppelsystem wird ein resonanter Spartransformator benutzt. Das System sieht auf den ersten Blick aus wie ein π -Filter, was es aber nicht ist. Es handelt sich hier um einen Parallelschwingkreis mit aufgeteilter Kapazität, in den von jeder Gegentaktseite eingespeist wird. Ausgekoppelt wird dadurch, dass man die Spule in der Mitte direkt bei einer günstigen Windungszahl abgreift.

Dieses System ist damit auf der Resonanzfrequenz ein Spartrafo, mit dem man die 50 Ω vom Ausgang oder einen anderen Wert zwischen 20 und ca. 200 Ω auf den optimalen R_s der PA transformiert, und der andererseits durch die Resonanz auch gleichzeitig für die notwendige Oberwellen-Unterdrückung sorgt sowie darüber hinaus auch noch Blindwerte kompensiert. Wirkungsgrad und Einfachheit sind durch kein anderes System zu übertreffen!

Die Anodenkapazität

Bei der Dimensionierung der Anodenkapazität muss man sich zunächst überlegen, mit welcher Betriebsgüte man arbeiten will. Da es bei dieser PA nicht um den höchstmöglichen Wirkungsgrad, sondern um die höchstmögliche Qualität der Aussendung geht, kann man sich einen Wert von 10 erlauben ($Q = 10$).

Der optimale Wert der Anodenkapazität auf jeder Seite lässt sich nach folgender Formel bestimmen:

$$C = I_A \times Q / [2 \times f (U_a - U_{a,rest})]$$

Die erforderlichen Größen kennen wir schon aus Teil 1. Ist, wie im vorliegenden Fall, der Außenwiderstand bekannt, so kann man auch nach der folgenden Formel verfahren:

$$C = Q / (6 \times f \times R_s)$$

Beide Formeln führen zu den Werten im Schaltbild.

Die Gesamtkapazitäten auf jeder Seite liegen zunächst elektrisch in Serie, und der resultierende Wert liegt dann der Spule parallel. Nach der Thomsonschen Schwingkreisformel lässt sich dann sehr einfach die Größe der Spule für je-

des Band bestimmen bzw. durch Erproben herausfinden.

Spulenerstellung

Die Spulen werden aus Kupferrohr mit mindestens 8 mm Durchmesser geformt. Nachdem in einer Reihe jeweils in jede Windung ein 4-mm-Loch gebohrt wurde, werden sie nebeneinander montiert, wie im Aufmacherbild von Teil 1 gut zu erkennen. Elektrisch werden sie durch einen „Reiter“ oben miteinander verbunden, also hintereinander geschaltet. Die jeweilige untere Windung wird durch ein entsprechend geformtes Blechstück sowohl mit dem jeweiligen Drehko als auch mit dem dahinterstehenden Koppelkondensator verlötet.

Bei den Drehkos ist es sinnvoll, alle vier Anschlussmöglichkeiten zu nutzen. Der Rotor sollte auf beiden Seiten mit einem Blechstreifen an Masse gelegt werden. Diese „Verblechung“ ist notwendig, um auf hohen Frequenzen weder unnötige Induktivitäten noch unnötige Verluste zuzulassen.

Diese Maßnahme ist auch im Eingang sinnvoll. Durch die Blechstreifen wird das Ansteuersignal nahezu ohne Leitungsinduktivität verteilt. Auf diese Weise werden auch die Röhren, die sich besonders weit von der Einspeise-

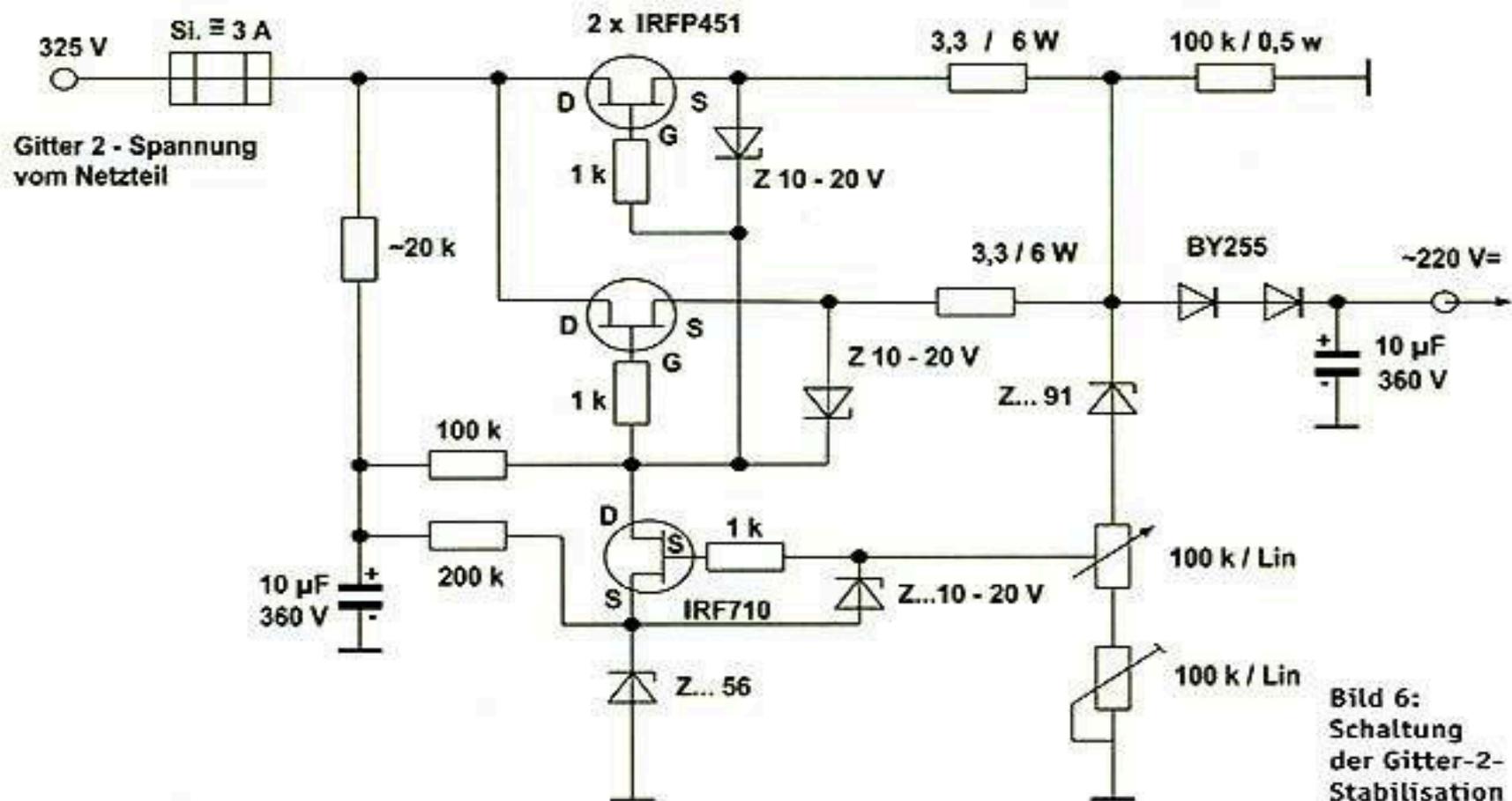


Bild 6:
 Schaltung
 der Gitter-2-
 Stabilisation

stelle befinden, mit gleicher Phase erreicht, was vor allem auf den höheren Frequenzen wichtig ist.

Wie man das Band wählt

Im Ausgang kann man durch einen „Reiter“ von oben nach unten die für jedes Band notwendige Windungszahl bestimmen. Auf 160 m und 80 m werden die notwendigen Festkapazitäten einfach mit Bananensteckern zugeschaltet. Gute Bananenstecker haben in den Telefonbuchsen einen Übergangswiderstand von höchstens 4 m Ω . Selbst bei sehr großen Strömen kommt es daher kaum zu schädlichen Erwärmungen. Büschelstecker sind hier optimal. So primitiv diese Steckmethode mit Bananensteckern auf den ersten Blick erscheint, so gut ist sie tatsächlich elektrisch!

Der Ausgangs-Balun

Wegen des symmetrischen Ausgangs ist auch hier ein Balun erforderlich. Zwei hochfrequenztaugliche, gegeneinander isolierte Drähte von ca. 2,5 mm² werden bifilar auf einen möglichst großen und guten Ringkern aufgebracht. Mit den langgehaltenen Drähten am Eingang dieses Baluns wird die günstige Windungszahl an der Spule abgegriffen.

Am Ausgang geht ein Draht an Masse, und der andere ist der Innenleiter des abgehenden Koaxkabels.

Sende/Empfang-Umschaltung

Ausgangs- und Eingangsrelais werden gleichzeitig geschaltet. Um zeitliche Unterschiede zu berücksichtigen, wird die Gitter-2-Spannung zuerst über einen schließenden Kontakt des Ausgangsrelais und danach über einen ebensolchen Kontakt auf dem Eingangsrelais auf alle Gitter 2 gegeben (UND-Schaltung). Das gewährleistet, dass die PA erst Leistung produziert, wenn beide Relais geschlossen sind.

Das Netzteil

Bleibt noch das Netzteil. Dazu muss gesagt werden, dass Funkamateure durch die fachliche Prüfung vor einer staatlichen Kommission (der Bundesnetzagentur) juristisch „Fachleute im technisch-physikalischen Sinne“ geworden sind. Das bedeutet, sie können als Fachleute die so genannten VDE- und VDI-Laborbestimmungen in Anspruch nehmen.

Der Verfasser betreibt von daher und auch aus anderen Gründen ein trafoloses Netzteil in Dreiphasenanordnung. Über einen unverwechselbaren Pärilexstecker und eine ebensolche Steckdose werden alle drei Außenleiter mitsamt dem an Erde liegenden Mittelpunktsteiter und dem Schutzleiter zur PA geführt. Mittelpunktsteiter und Schutzleiter werden fest mit Masse verbunden. Drei Anlasswiderstände von 50 Ω fangen den Einschaltstromstoß infolge der großen Kapazitäten auf. Sie werden nach dem Aufladen mit einem zweiten Netzschalter (oder Relais) überbrückt. Für hohe Spannungsstabilität und geringes Brummen sind in der Tat große Kapazitäten notwendig.

Nach **Bild 5** werden in einer dreiphasigen Spannungsverdopplung auf einen gemeinsamen Ladeelko-Block gut 650 V Leerlaufspannung erzeugt. Um das Netzteil bei einem Kurzschluss in der PA zu schützen, ist eine mittelträge Sicherung 15 A vorgesehen. Damit es nicht zu einem Flammenbogen an ihrem Halter kommt, wird sie zwischen

zwei große Elkopakete gelegt. Selbst wenn die PA schon vor längerer Zeit abgeschaltet worden wäre, würde die Restladung der auf der Netzteilseite liegenden Elkos durch den Ladestromstoß auf den leeren Elko jede neue Sicherung zerstören. Damit das nicht passiert, müssen alle Elkos vollständig entladen werden. Das ermöglicht der Taster, der beide Elkoseiten über zwei Netzdioden und einen Widerstand $300...500\ \Omega/10...20\ W$ mit Masse verbindet. Selbstverständlich darf dieser nur gedrückt werden, wenn die PA abgeschaltet ist.

Im normalen Betrieb sind an einem Voltmeter kaum Spannungsschwankungen beim Sprechen zu erkennen. Solche stabilen Verhältnisse gibt es bei einem Trafonetzteil nur bei extremer Überdimensionierung. Stabile Spannungsverhältnisse sind aber die Voraussetzung für hohe Intermodulationsabstände.

Damit man die symmetrische Arbeitsweise beobachten kann, ist auf jeder Seite ein Amperemeter mit 5 A Vollausschlag vorgesehen. Das Gitterstrominstrument hat nur 2 mA Vollausschlag. Hier kann man die geringste Übersteuerung erkennen, weil auch ein sehr kleiner Gitterstrom angezeigt wird.

Das Hochlaufen der Betriebsspannung beim Einschalten und später beim Betrieb kann man mit dem Voltmeter (Messbereich 1000 V) die Spannungsstabilität beobachten. Aus Sicherheitsgründen führt noch eine dritte Erdleitung mit Schutzleiterqualität nach Masse.

Spannungsstabilisierung

Die Gitter-2-Spannung wird mit einer Einweggleichrichtung gewonnen. Über

einen von vorn einstellbaren Längsregler erfolgt gemäß **Bild 6** die Stabilisierung. Durch die Feldeffekttransistoren und damit verbunden durch die hohe Verstärkung des Vorstufenverstärkers ist die Stabilität dieser ungefähr 220 V besonders hoch und die Brummspannung nahezu null. Das ist bei diesen Röhren mit ihrer besonders hohen Gitter-2-Steilheit von hoher Wichtigkeit. Im Ausgang des Längsreglers liegen zwei Netzdioden in Durchlassrichtung. Sie sollen eventuelle Spannungsimpulse aus der PA von der Stabilisierungsschaltung fernhalten.

Die negative Gitter-1-Vorspannung wird ebenfalls per Einweggleichrichtung gewonnen und dann durch eine Z-Diode für ca. 56 V stabilisiert. Zusammen mit der 15-V-Diode ergibt sich eine Gitter-1-Vorspannung, die für den normalen Betrieb zu hoch ist. Es fließt dann nur noch ein bewusst niedriger Ruhestrom von 200 bis 300 mA auf jeder Seite, sodass an den Röhren nur noch eine ganz geringe Anodenverlustleistung entsteht (Wärme).

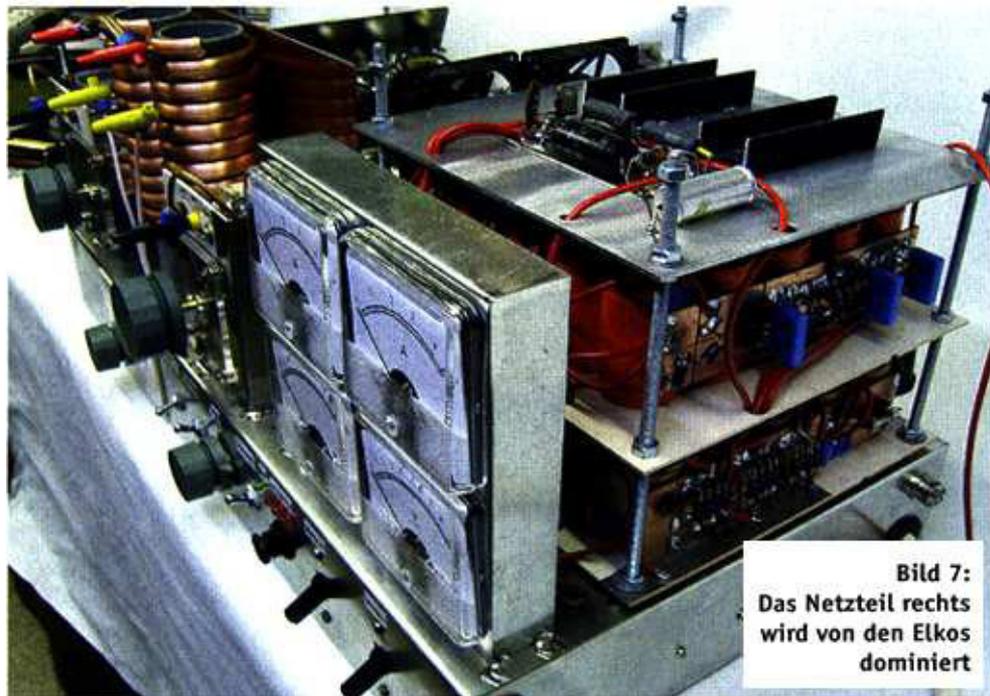


Bild 7:
Das Netzteil rechts
wird von den Elkos
dominiert



Bild 8:
Ansicht der PA
von hinten

Wird die PA und dann die schon vor Jahrzehnten vom Verfasser entwickelte Arbeitspunktautomatik über einen Entkoppelwiderstand von ca. 600 Ω mit angesteuert, so wird die 15-V-Z-Diode über den parallel geschalteten Schalttransistor kurzgeschlossen. Auf diese Weise fließt der über die Gitter-2-Spannung aus Linearitätsgründen bewusst hoch eingestellte Ruhestrom von ca. 1 A auf jeder Seite nur dann, wenn die PA angesteuert wird.

Dieser sehr hohe Ruhestrom linearisiert nicht nur die Arbeitskennlinie, sondern sorgt auch für geringe, aber bei Sprachansteuerung sehr häufig auftretende Amplituden im Quasi-A-Betrieb. Das heißt, die gesamte Ruhestromleistung wird nicht vollständig in Wärme umgesetzt, sondern ein Teil wird mit ausgekoppelt. Außerdem schaltet die Automatik in Sprechpausen oder beim Luftholen immer wieder auf den reduzierten Ruhestrom zurück. Insgesamt wird dadurch die Erwärmung der Röhren erheblich reduziert.

Bild 7 zeigt, dass das Netzteil infolge der Elkos recht voluminös ist.

Zu den Röhren

Blickt man von hinten auf die PA (**Bild 8**), sieht man die Röhren.

Der Verfasser hatte in seinem Lager noch einige PL 509 und PL 519 von verschiedenen Herstellern und eine Reihe von gebrauchten Röhren. Zunächst wurden alle Röhren messtechnisch daraufhin geprüft, ob die infrage kommenden Stückzahlen auch noch über die notwendigen Kathodenspitzenströme verfügen. Danach prüfte er, ob nicht einige dabei waren, die eventuell durch ein verzogenes System oder durch vagabundierende Fertigungsreste etc. zu Überschlägen neigen könnten. Dazu baute er sich aus einem alten Zeilentrafo und zwei entsprechenden Transistoren einen Hochspannungsgenerator mit etwa 7000 V bei etwa 30 kHz Sinus auf.

Die Röhren wurden anfänglich einfach mit allen Stiften in einen Metallschwamm gesteckt. Alle Elektroden wurden auf diese Art miteinander verbunden und stellten so Masse dar. In

ungeheiztem Zustand wurden dann die ca. 7000 V auf die jeweilige Anode gegeben. Bei keiner der 50 so behandelten Röhren kam es im System zu einem Überschlag! Der Verfasser stellte aber etwas Anderes fest. Bei einigen war zu Beginn im Halbdunkeln ein grünblauer Schimmer zu sehen. Also ein Zeichen für ein schlechtes Vakuum. Nach fünf bis zehn Sekunden verschwand dieser Schimmer aber erstaunlicherweise. Diese Hochspannungsbehandlung aktivierte offenbar die verbliebenen Getterreste und verbesserte damit das Vakuum.

Obwohl in der PA alles an Röhrenmaterial verwendet wurde, was da war (von gebrauchten bis hin zu Röhren von unterschiedlichen Herstellern), konnten außergewöhnlich gute Ergebnisse erzielt werden. Darüber hinaus ist bisher, nach ca. zwei Jahren intensivem Gebrauch, nicht eine Röhre ausgefallen.

Kühlung

Um die Röhren und die anderen Bauteile zu kühlen, wurden vier Axiallüfter

80 mm × 80 mm eingebaut. Sie passten mit ihren Maßen so zum einen in das Konzept, zum anderen reicht die Lüftung auch bei geringen Drehzahlen und damit niedrigem Geräuschpegel völlig aus.

Die Lüfter wurden so angeordnet, dass sie die angesaugte Luft über das Netzteil ziehen. Das ist wichtig, denn Elkos dürfen auch bei Dauerbetrieb nicht warm werden.

Vor den Lüftern wurden in einer Reihe mehrere große Löcher in das Chassis gestanzt. Auf diese Weise wird erreicht, dass ein gewisser Luftstrom auch die unter dem Chassis liegenden Bauteile kühlt.

Tabelle 1

Parameter	Wert
Output	750 W PEP (max. 2 kW)
Input	ca. 1,3 kW
Wirkungsgrad	ca. 70 % (Linearbetrieb, 80 m, 2,5 kW out)
Frequenzbereich	160-15 m
Steuerleistung	max. 100 W
Betriebsspannung	3 × 230 V AC
Anodenspannung	650 V
Gitter-2-Spannung	ca. 220 V
Anodenstrom	2,2 A
Ruhestrom	2 × 1 A
Absenkung der unerwünschten Aussendungen im anderen Seitenband	50 dB im praktischen Betrieb
IM - D3	besser als -46 dB, auf PEP bezogen (80 m, 750 W out)
IM - D3	besser als -40 dB, auf zwei Töne bezogen (80 m, 750 W out)
Eingangs-SWR	160-17 m unter 2, 15 m 2,5
Durchgangsverstärkung	14 dB (80 m, 750 W out)
Oberwellen-Unterdrückung	min. 55 dB (80 m, 750 W out)
Gewicht einschließlich Netzteil	17 kg