

# Eine einfache 10-W-QRP-Endstufe für Kurzwelle

**Dr.-Ing. W. DOBERENZ – Y21SN**

Auf den Kurzwellenbändern trifft man immer häufiger auf Stationen, die auch in SSB mit geringer Sendeleistung arbeiten. Auch bei vielen Contesten hat sich eine gesonderte QRP-Teilnehmerklasse durchgesetzt.

Dabei dürfen vereinbarungsgemäß nur solche Stationen das Prädikat „QRP“ für sich in Anspruch nehmen, deren Sendereingangsleistung (Input) kleiner als 10 W ist. Für die Eigenbaupraxis stellt dieser Grenzwert eine besondere Herausforderung dar, muß man doch neben einer guten Antenne auch über eine Endstufe mit hohem Wirkungsgrad verfügen, um einen möglichst großen Prozentsatz der Eingangsleistung in HF-Ausgangsleistung umzusetzen.

## Schaltungsprinzip

Eine transistorisierte Breitband-Endstufe im Gegentakt-AB-Betrieb stellt einen optimalen Kompromiß zwischen materiellem Aufwand und Wirkungsgrad dar (Bild 1). Der 1:1-Leitungsübertrager (Balun) am Ausgang ist vom Wirkungsprinzip her vergleichbar mit einem konventionellen Gegentakttrafo, der primär- und sekundärseitig die gleiche Windungszahl hat (Bild 2). Der 1:1-Balun hat aber den Vorteil, daß er bei gleichen Kernabmessungen breitbandiger und wesentlich verlustärmer aufzubauen ist. Allerdings wird zum Bewickeln eine Leitung mit vorgegebenen Wellenwiderstand  $Z_0$  benötigt. Bei einem üblichen Abschlußwiderstand  $R_A = 50 \Omega$  genügen hierfür aber zwei verdrehte CuL-Drähte. Eine kleine Näherungsrechnung soll nun zeigen, daß ein 1:1-Balun in Verbindung mit einer Betriebsspannung zwischen 12 und 14 V auf die vorgegebene Eingangsleistung von etwa 10 W führt. Damit wird gleichzeitig auch den Anforderungen des Portable-Einsatzes (Versorgung aus der Kfz-Batterie) Rechnung getragen.

## Nährungsrechnung am idealen Gegentakt-B-Verstärker

Obwohl die Endstufe bei SSB im AB-Betrieb arbeitet, können in guter Näherung die Bedingungen des B-Betriebes zugrundegelegt werden. Der Einfachheit halber werden auch ideale Transistoren ( $U_{CE\text{SATHF}} = 0$ ) und ein verlustreicher Überträger vorausgesetzt. Der Kollektor jedes Transistors „sieht“ als wirksame Last ein Viertel der Größe von  $R_A$ :

$$R_L = R_A/4 = 12,5 \Omega$$

(Wie Bild 2 zeigt, liegt zwischen der Eingangsklemme 1 bzw. 2 und Masse jeweils die halbe Ausgangsspannung  $U_A$ . Die Widerstandstransformation erfolgt immer quadratisch zum Spannungsverhältnis!) Im folgenden beziehen wir uns auf Vollaussteuerung und eine Betriebsspannung  $U_B = 14\text{ V}$ : Jeder Transistor muß dann (im Halwellenbetrieb) einen Spitzenstrom von

$$I_{CM} = U_B / R_L = 1,12 \text{ A}$$

„verkräften“.

Das entspricht einem mittleren Gleichstromanteil von

$$I_{CAV} = I_{CM} \pi = 0,36 \text{ A.}$$

Der von der Spannungsversorgung entnommene Strom für beide Transistoren ist demnach

$$I_0 = 2 \cdot I_{CAV} = 0,72 \text{ A.}$$

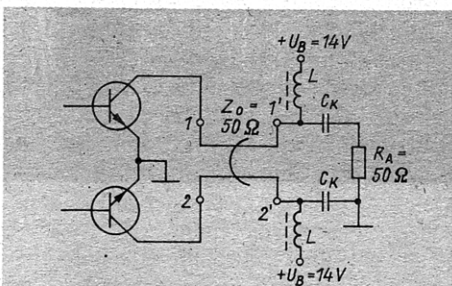
Die Eingangsleistung ergibt sich daraus zu

$$P_{in} = U_B \cdot I_0 \approx 10 \text{ W.}$$

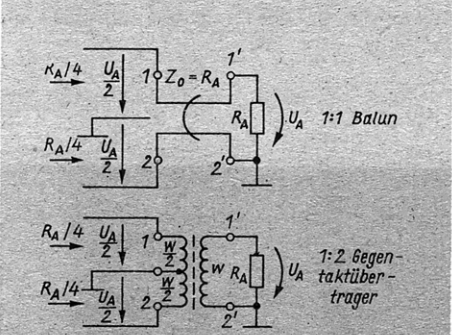
Wie aus der Literatur [1] bekannt, erreicht der ideale B-Verstärker bei Vollaussteuerung den maximalen Wirkungsgrad

$$\eta_{\max} = P_{\text{out}}/P_{\text{in}} = 0,78$$

In der Praxis wird dieser Wert aber bei



**Bild 1: Übersichtsschaltplan der 10-W-QRP-Endstufe**



**Bild 2: Vergleich von Spannungs- und Widerstandstransformation bei einem 1:1-Balun und einem 1:2-Gegentakttransformator**

weitem nicht erreicht. Bedingt durch zusätzliche Verluste in den Transistoren ( $U_{CE\text{SAT}}$ ) oder z. B. im Übertrager, liegt  $\eta_{\text{max}}$  etwa zwischen 0,3 und 0,6. Bei einer 10-W-QRP-Endstufe ist deshalb mit einer Ausgangsleistung von etwa 3 bis 6 W zu rechnen (Eintonaussteuerung).

## Anforderungen an die Transistorgrenzdaten

Endstufentransistoren werden meist in der Nähe ihrer zulässigen Grenzwerte ( $P_V$ ,  $U_{CE0}$ ,  $I_{CM}$ ,  $I_{CAV}$ ) betrieben. Eine Überschreitung dieser Werte ist die häufigste Ursache für Mißerfolge beim Nachbau und außerdem eine kostspielige Angelegenheit. Andererseits ist eine total überdimensionierte Endstufe auch keine zufriedenstellende Lösung: Je „dicker“ der Transistor, desto geringer ist im allgemeinen seine Leistungsverstärkung. Im Vergleich zu einem Typ mit geringerer zulässiger Verlustleistung benötigt er also erheblich mehr Ansteuerleistung. Die für die QRP-Endstufe erforderlichen optimalen Grenzwerte sind:

– **Verlustleistung**  $P_V \approx 5 \text{ W}$ . Da sich  $P_V$  aus der Differenz von  $P_{in}$  zu  $P_{out}$  ergibt, hätte in einer idealen Gegentakt-B-Endstufe jeder Transistor nur ein reichliches Watt in Wärme umzusetzen. Dies gilt allerdings nur bei Vollaussteuerung. Bei 0,6- bis 0,7facher Vollaussteuerung mit einem Eintonsignal steigt die Verlustleistung auf den etwa 1,5fachen Wert [1]. Weiterhin muß man die im nichtidealen Transistor entstehenden zusätzlichen Verluste sowie den Einfluß erhöhter Umgebungstemperatur (Sommer-Portablebetrieb) und begrenzter Kühlflächen berücksichtigen.

— Kollektor/Emitter-Spannung

$U_{\text{CEO}} \approx 18 \text{ V}$ . Der Einsatz von Niedervolt-Typen empfiehlt sich aufgrund ihres besseren Wirkungsgrades.

**Kollektorspitzenstrom**  $I_{CM} \geq 1,5 \text{ A}$ . Dieser ist reichlicher zu wählen, da die HF-Stromverstärkung in der Nähe von  $I_{CM}$  bereits merklich absinkt.

– Mittlerer Kollektorstrom  $I_{CAV} > 0,5 \text{ A}$ .

– **Transitfrequenz**  $f_T > 100$  MHz. Falls auf die hochfrequenten KW-Bänder verzichtet wird, genügen auch Typen mit geringerer  $f_T$ .

Nach [1] erfüllen die VHF-Typen KT 920 A bzw. KT 925 A diese Forderungen am besten. Mit geringen Abstrichen bezüglich maximal möglichen Wirkungsgrades ist auch der bekannte KT 904 A einsetzbar. Gut eignet sich auch der unter Amateuren verbreitete B 3-12 (CTC-B-Serie).

Prinzipiell ist auch der Einsatz leistungsstärkerer Typen möglich, wobei allerdings die negativen Auswirkungen auf Wirkungsgrad, Treiberleistung und Anschaffungskosten zu beachten sind. Angesichts des eigenen, recht stattlichen „Transistorfriedhofs“, möchte der Autor folgende Erfahrungen an Newcomer weitervermitteln:



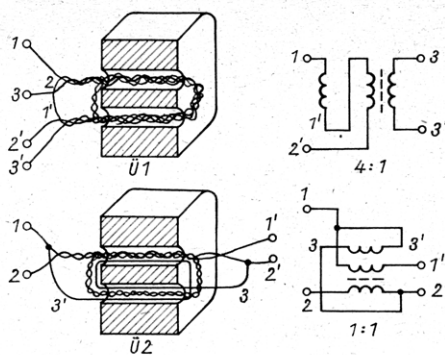


reicht, was einem Output von ungefähr 4,5 W entspricht ( $\eta_{\max} = 45\%$ ). Die Stromaufnahme der Endstufe muß bei 0,7...0,8 A für Eintontvollaussteuerung liegen. Höhere Werte deuten in jedem Fall auf Übersteuerung und damit auf Verzerrungen hin. Da dann gleichzeitig auch die Verlustleistung in jedem Transistor drastisch ansteigt, ist auch im späteren praktischen Einsatz stets die Stromaufnahme der Endstufe zu kontrollieren (spezielles 1-A-Meßinstrument an der Frontplatte). Nach längerem Betrieb darf sich der Kollektorruehstrom von VT3 und VT4 nicht wesentlich erhöhen (auf max. 80 mA). Beide Transistoren müssen sich gleichmäßig erwärmen, andernfalls ist eine Symmetriekontrolle erforderlich.

## Schlußbemerkungen

Die 10-W-QRP-Endstufe habe ich nur für 3,5 MHz und 14 MHz eingesetzt. Für die anderen Bänder liegen noch keine Erfahrungen vor. Zur Oberwellenunterdrückung dienen zweigliedrige unversteilte Tiefpässe, die über GBR-Relais umschaltbar sind. Die Induktivitäten mußten als Luftspulen realisiert werden, da sich die ursprünglich verwendeten Ferritkerne stark erwärmten.

Nach Anschluß eines exakt bemessenen Doppeldipols konnte auf ein spezielles Antennenanpaßgerät verzichtet werden. Bewährt hat sich der nachträgliche Einbau eines kleinen Leistungs- und Stehwellenmeßgeräts. In Verbindung mit der Kontrolle der Stromaufnahme der Endstufe



**Bild 4: Wickelschema der Übertrager**

**T1: 4 Wdg. trifilar ( $3 \times 0,3\text{-mm-CuL}$ ) über den Innensteg (das Ende von Wicklung 1 wird mit dem Anfang von Wicklung 2 verbunden)**

**T2: 5,5 Wdg. ( $2 \times 0,5\text{-mm-CuL}$ ) bifilar und 5,5 Wdg. ( $1 \times 0,5\text{-mm-CuL}$ ) einfach über den Innensteg. Zuerst wird die Bifilarwicklung aufgebracht, danach vom entgegengesetzten Ende die Einfachwicklung 3 im gleichen Sinn. Verbunden werden der Anfang von Wicklung 3 mit dem Ende von Wicklung 2 und des Endes von 3 mit dem Anfang von 1.**

hat man damit stets einen Überblick über die ordnungsgemäße Funktion des Senders. Sehr zu empfehlen ist auch das Einlöten eines Schutzwiderstandes von etwa  $1,8\text{ k}\Omega$  parallel zur Antennenbuchse zwecks Ableitung elektrostatischer Aufladungen der Antenne.

Vor einer gedankenlosen Erhöhung der Betriebsspannung zwecks Vergrößerung des Outputs muß dringend abgeraten werden. Neben einer drastischen Verschlechterung des Wirkungsgrades besteht die Gefahr, daß durch Überschrei-

tung der Grenzwerte die Endstufentransistoren zerstört werden. So wird z. B. beim KT904 der zulässige Kollektorspitzenstrom bereits bei  $U_B = 16\text{ V}$  erreicht. Falls leistungsstärkere Typen mit höherer zulässiger Kollektorspannung  $U_{\text{CEO}}$  eingesetzt werden, z. B. KT907, so ist bei  $U_B = 24\text{ V}$  und  $I_0 = 1,5\text{ A}$  mit einer Ausgangsleistung von 12 bis 14 W zu rechnen. Der Ruhestrom von VT2 ist dann jedoch auf 150 mA zu vergrößern und die Ansteuerspannung von VT1 auf 200 bis 250 mV zu erhöhen. Vom Verfasser wurden auch BLY 15 A (bis 14 MHz) und KU 612 (bis 7 MHz) mit Erfolg getestet, allerdings sind bei 14-V-QRP-Betrieb mit diesen Typen keine optischen Ergebnisse mehr zu erwarten.

Die im praktischen SSB-Bereich mit der 10-W-QRP-Endstufe erzielten Ergebnisse übertrafen alle Erwartungen. Die Mehrzahl der auf 3,5 MHz erhaltenen Rapporte lag zwischen S8 und S9, auf 14 MHz zwischen S6 und S7. Insbesondere auf 14 MHz liegen weitere Reserven in einer Verbesserung der Antennenanlage. Aufgrund der relativ niedrigen Stromaufnahme ist auch ein mehrstündiger Betrieb mit Monozellen möglich. Auch in unmittelbarer Nähe einer Fernsehantennenanlage wurde keinerlei TVI festgestellt.

## Literatur

- [1] Lechner, D., Finck, P.: Kurzwellensender, Militärverlag der DDR, Berlin 1979
- [2] Seifert, H.: Ein SSB/CW-Allband-Portable-Transceiver nach dem Direktmischprinzip, Teil 3, FUNKAMATEUR 28 (1979), H. 12, S. 606 bis 609

mal 5 Minuten abgeschlossen ist. Bei der handelsüblichen Konzentration werden 100 ml Säure mit etwa 150 ml Wasser verdünnt.

## Vorsicht!

Bei Arbeiten mit Säure Gummihandschuhe tragen, Raum belüften. Nach dem Entfernen des Lacks von der Leiterplatte mit Aceton oder Nitroverdünnung sind die Löcher zu bohren und nach der Bestückung ist die Leiterplattenseite mit Flußmittel oder lötfähigem Abdecklack zu bestreichen. Auf jeden Fall ist nach dem Ätzen die Leiterplatte zu säubern und mit einem Abdecklack vor Korrosion zu schützen.

Nach dem Trocknen werden die Löcher gebohrt. Als Leiterplatten-Material wird vorzugsweise Cevaust verwendet. Das hat den Vorteil, daß die Leiterzüge durch das Material scheinen und damit der Blick auf die Bestückungsseite identisch mit der Transparentvorlage ist. Dadurch kommt der Vorteil des Transparentpapiers besonders zum Tragen. Vor der Bestückung werden alle Anschlußstellen der Leiterplatte, ggf. auch Einstellregler, mit Tuschefüller oder Spezial-Faserschreiber (zur Beschriftung von Platten u.ä.) beschriftet. Dadurch erspart man sich Fehlbeschlagnungen sowie das Hinzuziehen des Stromlaufplanes bzw. der Leiterplatten-Zeichnung.

J. Wunderwald

# Tips zur rationellen Herstellung von Leiterplatten

Bei einfachen Schaltungen ist man oft geneigt, von einer Leiterplatte abzusehen und die Schaltung auf Lötösenleisten ö.ä. aufzubauen. Nach der folgenden Arbeitsweise ist es möglich, den zeitlichen Aufwand für eine Leiterplatte soweit zu verringern, daß sie jeder anderen Verdrahtungsvariante vorzuziehen ist. Vom Entwurf bis zur fertig bestückten Leiterplatte kommt man bei einfachen Schaltungen mit ein bis zwei Stunden aus. Der Leiterplatten-Entwurf wird grundsätzlich auf Transparentpapier gezeichnet. Auf eine Seite zeichnet man mit Bleistift die Leiterzüge. Dadurch kann man Korrekturen vornehmen, ohne die Linien der anderen Seite mit wegzuradiieren. Ist die Einhaltung des 2,5-mm-Rasters erwünscht (was bei Leiterplatten für den Amateurbedarf m. E. nicht erforderlich ist) sowie bei Verwendung von IS, Tastenschaltern u.ä., wird bei der Zeichnung der Bauelemente-Seite Millimeterpapier untergelegt.

Nach Fertigstellung des Entwurfs zeichnet man die Bauelemente-Seite mit Tuschefüller, die Leiterseite mit Faserstift nach. Werden alle Bauelemente-Werte mit

eingetragen, braucht bei der Bestückung der Schaltplan nicht zu Hilfe genommen werden.

Bei der Herstellung von Leiterplatten nach vorhandenen Zeichnungen wird Leiterplatten- und Bestückungsseite von der Vorlage ebenfalls auf Transparentpapier übertragen, diesmal gleich mit Tusche oder Faserstift. Nach Übereinanderlegen der zugeschnittenen Leiterplatten und des Transparentpapiers (mit Klebeband fixieren) werden die Bohrungen gekörnt, anschließend die Leiterzüge mit Nitrolack gezeichnet. Der Lack ist nach 10 Minuten getrocknet und die Leiterplatte kann geätzt werden. Das Ätzen mit Eisen-III-Chlorid ist zu langwierig, außerdem muß das Bad bewegt werden. Auch Ammoniumsulfat aus dem Amateur-Ätzsatz von Neuruppin ist unbefriedigend; der Autor hatte eine Packung, bei der es nach Stunden trotz Erwärmung zu keiner Ätzung kam!

Daher verwendete der Autor ausschließlich Salpetersäure, die teilweise in Drogerien erhältlich ist. Die Konzentration ist so zu wählen, daß der Ätzprozeß nach maxi-