

Linearer 20-W-Treiberverstärker für röhrenbestückte Endstufen (1)

JOSEF HISCH – DJ7AW

In SDR-Projekten erreichen Sendesignale bei einem Zweiton-Übergabepiegel von 0 dBm nicht selten hervorragende Intermodulationsabstände von bis zu -80 dBc. Diesen Wert nach Verstärkung bis auf eine Ausgangsleistung von 750 W (PEP) besser als -40 dBc zu halten, ist nicht nur beim Selbstbau eine echte Herausforderung. Eine besondere Rolle spielt dabei die Dimensionierung der Treiberstufe.

Bevor es an die Entwicklung eines Treiberverstärkers geht, ist zunächst die benötigte Leistung zu bestimmen. Wer einen Intermodulationsabstand von -40 dBc bei einer Endstufenleistung von 750 W erreichen möchte, wird eine Röhrendstufe mit einer modernen SSB-Röhre in die engere Wahl ziehen. Deren typische Verstärkung beträgt 16 dB. Das entspricht einer 40-fachen Leistungsverstärkung.

Wert von $s < 2$ aufweisen und die Verstärkung innerhalb dieses Bereichs um maximal 3 dB abweichen. Damit wären die wichtigsten Eckpunkte des Treiberverstärkers bereits definiert.

Als Lösung kommt hier nur ein mehrstufiger Breitbandverstärker in Klasse-A-Betrieb infrage. Die aktiven Bauelemente im Signalweg solcher Verstärker werden in der Mitte des Kennlinienfeldes betrieben



Bild 1: Musteraufbau des 20-W-Treiberverstärkers mit 2 x BLW76

Foto: DJ7AW

Man benötigt also einen Treiber mit rund 20 W Ausgangsleistung. Welche Linearitätswerte muss dieser Verstärker aufweisen, um das eingangs gesteckte Ziel zu erreichen? In kaskadierten Verstärkern verschlechtert sich der Intermodulationsabstand des Gesamtsystems mit jeder hinzukommenden Stufe. DL2EWN hat diesen Effekt im gleichen Zusammenhang bereits in [1] erläutert.

Wenn Treiber und Endstufe z.B. einen Intermodulationsabstand 3. Ordnung von je -30 dBc aufweisen, so hat das resultierende Signal einen IMA3 von nur -24 dBc. Die aus [2] entnommenen und auch in [1] verwendeten Daten in Tabelle 2 zeigen, dass der Treiber einen um mindestens 15 dB höheren Intermodulationsabstand als die Endstufe haben muss, um deren Werte für das Gesamtsystem einigermaßen zu erhalten. Wenn der Übergabepiegel der Sendeaufbereitung 0 dBm beträgt, muss der Treiber außerdem eine 20 000-fache Verstärkung (43 dB) aufweisen. Das SWV am Eingang soll im Bereich 1 MHz bis 30 MHz einen

(Bild 2). Der Stromflusswinkel beträgt 360°, der Wirkungsgrad liegt bei etwa 20 %. Für eine HF-Ausgangsleistung von 20 W beträgt die erforderliche Gleichstromleistung 100 W. Sie berechnet sich nach folgender Formel

$$P_V = \frac{P_{HF}}{\eta} = \frac{20 \text{ W}}{0,2} = 100 \text{ W}$$

In der vorgestellten Schaltung bedeutet das eine Verlustleistung von etwa 50 W

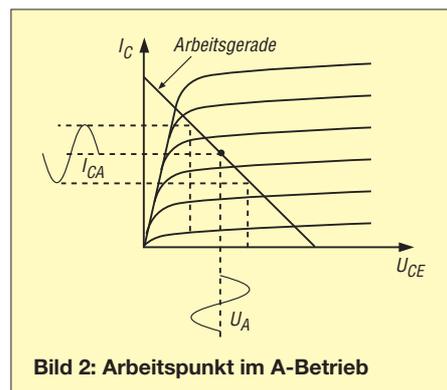


Bild 2: Arbeitspunkt im A-Betrieb

Tabelle 1: Technische Daten des 20-W-Linearverstärkers nach Bild 2

Frequenzbereich:	1...30 MHz
lineare Ausgangsleistung:	≤20 W PEP
Verstärkung:	46 dB
Frequenzgang:	0...-1,5 dB
Intermodulationsabstand:	s. Screenshot (Teil 2)
Oberwellenabstand:	1. OW ≥32 dB, 2. OW ≥30 dB, 3. OW ≥42 dB
Eingangsexreflexionsdämpfung:	≤20 dB (s ≤1,3)
Stromversorgung:	27 V/5 A und 15 V/1 A

Tabelle 2: Abhängigkeit des IMA-Wertes des Gesamtsystems Treiber- und Endstufe vom IMA der Treiberstufe

IMA-Differenz zwischen Treiber- und Endstufe [dB]	IMA-Verminderung des Gesamtsystems [dB]
0	6,0
5	3,9
10	2,4
15	1,4
20	0,8

pro Endstufentransistor. Ein geeigneter Transistortyp ist der BLW76 von Philips. Dem Gleichstrom-SOAR-Diagramm des Datenblatts zufolge sind bei einer zulässigen Kühlkörpertemperatur von 70 °C noch 2,3 A Kollektorstrom erlaubt (SOAR bedeutet *sicherer Arbeitsbereich*, engl.: *safe operating area*).

Die beste Linearität des Verstärkers wird allerdings bei 2,5 A je Transistor erreicht. Das ergibt eine Gesamtverlustleistung von 135 W, einschließlich Vorstufe kommt man auf 150 W. Da einerseits kein Dauerbetrieb gefordert, andererseits aber eine Zwangsbelüftung vorgesehen ist, kann das als akzeptabel angesehen werden.

Der Kühlkörper muss einen Wärmewiderstand von ≤0,7 K/W aufweisen. Seine Kühlfläche sollte absolut plan sein und frei von Oxidschichten. Als Wärmeleitpaste empfiehlt sich *Arctic Silver 5*. Diese Sorte ist bei [3] erhältlich und stellt einen wesentlich besseren thermischen Kontakt zum Kühlkörper her, als die herkömmliche Wärmeleitpaste.

■ Schaltungsbeschreibung

In Bild 3 ist die Schaltung des dreistufigen Verstärkers zu sehen. Der unmittelbar hinter dem Eingang befindliche Transistor BFQ34 ist ein kapazitätsarmer UHF-Breitbandverstärkertyp. Er ist über Emitter und Kollektor gegengekoppelt, ein minimales Eingangs-SWV lässt sich einstellen. Ich habe ihn mit dem Kühlstützen nach oben eingebaut, um eine aufwendige Kühlkörperbearbeitung zu umgehen. Der Kühlstützen muss mit zwei Kontermuttern versehen und mit Wärmeleitpaste aufgefüllt werden.

Um 1 W Ansteuerleistung für die Gegentaktendstufe möglichst linear zu erzeugen, ist für T5 ein Transistor mit ausreichend hoher zulässiger Verlustleistung notwendig. Der von mir an dieser Stelle eingesetzte BLV32F wurde ursprünglich als Klasse-A-Fernsehverstärker für den UHF-Bereich entwickelt. Er wird in der vorliegenden Anwendung an einer Hilfsspannung von 15 V und mit 900 mA Kollektorstrom betrieben. Es hat sich gezeigt, dass die notwendige Linearität bei nur 12 V Betriebsspannung noch nicht erreicht wird. Anstelle des BLV32F können auch die Ty-

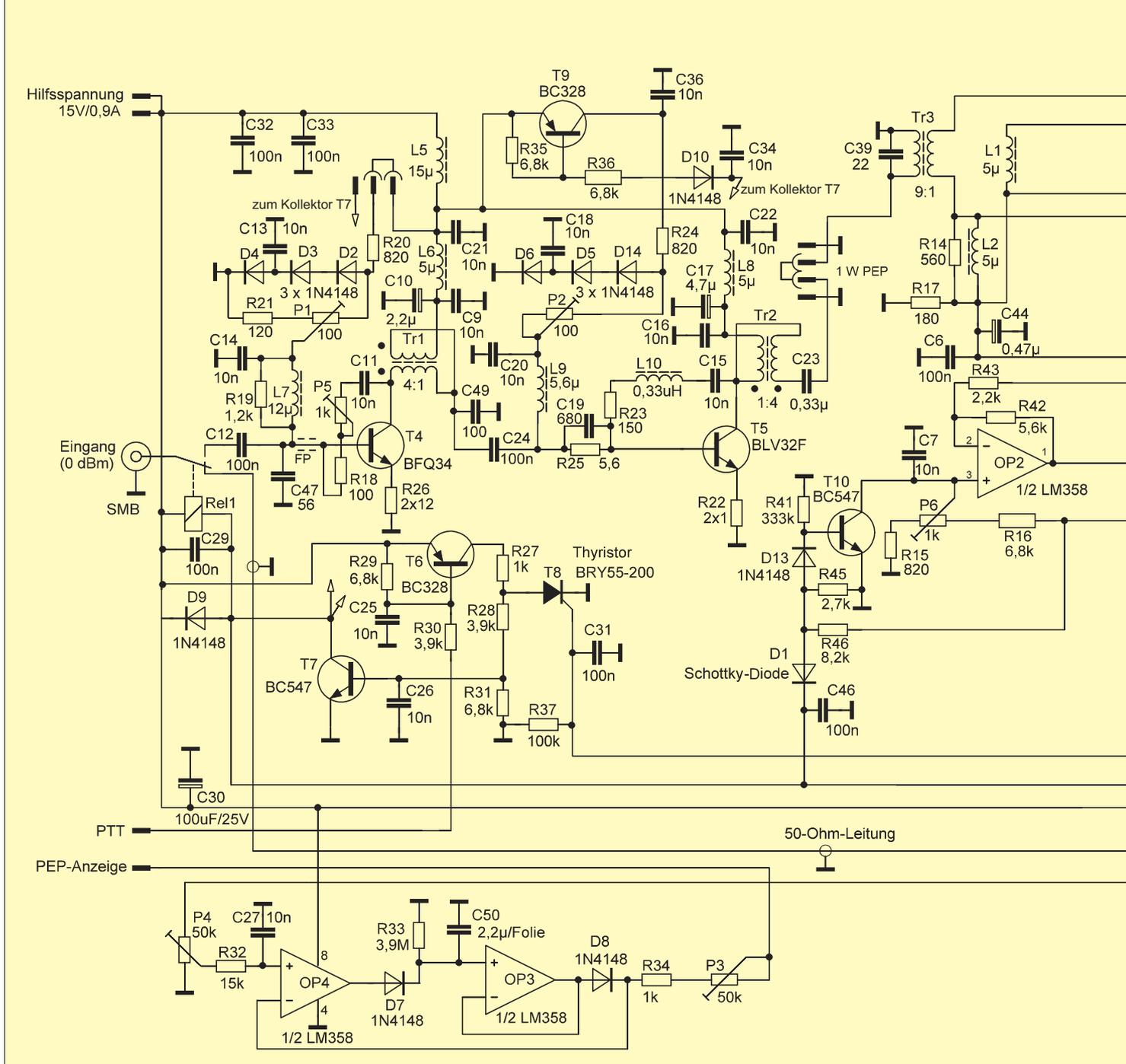
pen BLW32 oder BLW98 zum Einsatz gelangen. Sie sind als gleichwertig anzusehen, haben allerdings eine Kühlstutzenbefestigung (SOT-122). D4 und D6 sind thermisch mit T4 bzw. T5 gekoppelt, um deren Arbeitspunkt bei Temperaturänderungen zu stabilisieren.

Bei L1, L2, L5, L6 und L8 handelt es sich um Drosseln mit einem 6-Loch-Ferritkern, wie sie oft auch zur breitbandigen Entstörung elektronischer Schaltungen benutzt werden. Zwischen dem 1-W-Treiber und der Gegentaktendstufe wurde eine Steckbrückenanordnung zur Trennung vorgese-

hen. Damit können beide Stufen unabhängig getestet und betrieben werden.

Die Gegentaktendstufe wird mit einem 9:1-Übertrager angesteuert, da der Realteil der Basisimpedanz des BLW76 sehr niederohmig und darüber hinaus frequenzabhängig ist. Der Transistor BLW76 hat eine relativ hohe Stromverstärkung ($h_{FE} > 50$ bei $U_{CE} = 28$ V und $I_C = 8$ A). Auch hier ist wieder eine Strom- und Spannungsgegenkopplung über Emittor bzw. Kollektor notwendig, um gute Linearitätswerte bei gleichmäßiger Verstärkung über den Frequenzbereich von 1 MHz bis 30 MHz zu erreichen.

Bild 3:
Schaltplan der 27-V-Version des 20-W-Linearverstärkers, bestückt mit 2 × BLW76



Die Stromaufnahme der Gegentakt-A-Stufe des Treiberverstärkers beträgt 5 A bei einer Betriebsspannung von 27 V. Die in der Stromzuführung liegende Drossel L11 muss für diesen Dauerstrom ausgelegt sein. Beim Musteraufbau habe ich eine entsprechende Stabdrossel verwendet.

Die an dieser Stelle sonst übliche Arbeitspunktstabilisierung über eine temperaturgesteuerte Stromregelung mittels Dioden arbeitet im vorliegenden Fall nicht genau genug. So bewirkt schon der Rückgang des Ruhestromes um nur 500 mA eine deutliche Abnahme der Linearität.

Zur Stabilisierung des Arbeitspunkts der Gegentakt-A-Stufe musste ich deshalb eine vom Emitterstrom gesteuerte Bias-Stromversorgung mit einer Schleifenverstärkung $V > 1$ einsetzen. Erst damit ergab sich eine zufriedenstellende Lösung des Problems.

Der Operationsverstärker OP1 ist über den Emitterfolger BD135 gegengekoppelt und liefert den notwendigen Basisstrom. OP2 ist als Komparator geschaltet. Der Sollstrom wird mit P6 eingestellt. Die Steuergröße kommt aus T2 über R44 und R43 auf den invertierenden Eingang von OP2.

Diese Schnittstelle muss nach dem Aufbau sorgfältig mit einem Oszilloskop überprüft werden. Wenige Millivolt am Emitter von T3 sind im Spektrum des Ausgangssignals als Amplitudenmodulation zu erkennen. Der Ersatz eines „schnelleren“ Emitterfolgers mit hoher Stromverstärkung sollte vermieden werden.

T10 schaltet im Empfangsbetrieb den nichtinvertierenden Eingang von OP2 ab und damit auch die Basisstromversorgung. Beim Senden wird T10 über die Schottky-Diode D1 gesperrt.

Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind die Anschlüsse der Steuersignale im Schaltplan separat dargestellt. Auf der Platine werden sie über einen 10-poligen Steckverbinder geführt. Dieser ist in Bild 1 unten zu sehen.

■ Sende/Empfangs-Umschaltung

Wenn der PTT-Kontakt an Masse liegt, sind T6 und T7 leitend. Rel1 und Rel2 erhalten Spannung und ziehen an, T9 wird durchgesteuert und versorgt die zu T5 gehörenden Bias-Dioden mit Strom, gleichzeitig wird T10 gesperrt.

Sollte am Reset-Kontakt eine Fehlerspannung anliegen, so wird über Thyristor T8 der Stromweg R27/R28 unterbrochen und die Sendefunktion blockiert.

Die Fehlerspannung kann z.B. aus der rücklaufenden Spannung eines nachgeschalteten Richtkopplers gewonnen werden. Man kann auch einen Verknüpfungspunkt anlegen und Überstrom, Übertemperatur usw. melden.

Die PEP-Halteschaltung mit OP4 und OP3 wurde eingebaut, um Zweitonnmessungen zu vereinfachen [4]. 20 W ergeben 6,5 V an R34 bei voll aufgedrehtem Einstellwiderstand P4. Die beiden Messtöne sollten dann bei einem Viertel der Eintonleistung ebenfalls 6,5 V am Messinstrument ergeben. Das stimmt jedoch nur bei Tonabständen im NF-Bereich bis 3 kHz.

Im zweiten Teil des Beitrags wird es um Details hinsichtlich der Anfertigung der Breitbandübertrager und der Auswahl der HF-Leistungstransistoren gehen.

(wird fortgesetzt)
dj7aw@darç.de

Literatur und Bezugsquellen

- [1] Arnold, H., DL2EWN: Mehr Sendeleistung für den FA-SDR-Transceiver (1). FUNKAMATEUR 59 (2010) H. 12, S. 1300–1301
- [2] Philips Semiconductors: RF transmitting transistors and power amplifier fundamentals. Philips application notes, 23.3. 1998, SC19: Power amplifier design, S. 8. www.radio-kits.co.uk → G6ALU's Private Pages → Other PA Solutions → SC19
- [3] Conrad Electronic SE, Klaus-Conrad-Straße 1, 92240 Hirschau, Tel. (01 80) 53 12-111, Fax -110; www.conrad.de; Wärmeleitpaste Arctic Silver 5, Bestell-Nr. 150352
- [4] Hisch, J., DJ7AW: Leistung ist nicht gleich Leistung. CQDL 76 (2004) H. 10, S. 712–715

