

HLV-280-Power by BEKO: 300 W auf 70 cm aus MOSFETs

Dr.-Ing. WERNER HEGEWALD – DL2RD

Weitverkehr auf 70 cm ist bei normalen Bedingungen nur über Troposcatter möglich, wofür neben entsprechenden Antennen eine Leistungsstufe unabdingbar ist. Da kommt die HLV-280 aus München gerade recht, haben doch MOSFET-PAs bekanntlich ein unerreicht günstiges Intermodulationsverhalten.

Gerade im VHF-Bereich und darüber kann der von einem Empfänger zu verkräftende Dynamikbereich Werte bis nahezu 120 dB annehmen. Während eine benachbarte Conteststation bei ungünstiger Antennenkonstellation 10 mV und mehr am Empfängereingang zu produzieren vermag, liegen leise CW-Signale bei einigen 10 nV.

wirkt. Mit 14 kg hat die PA fast noch Handgepäckqualität. Bei Portabel- und Contestaktivitäten, wo das Gerät des öfteren bewegt werden muß, lernt man die beiden praktischen Handgriffe zu schätzen.

Das Gehäusedesign kennen wir schon von anderen Power-Produkten von BEKO; ebenso unschwer ist die bewährte Zwei-



Bild 1: Understatement – Frontansicht der Leistungsstufe; rechts im Bild die vier Wippschalter, darüber die LEDs zur Anzeige der Betriebszustände und Schutzschaltungen

Auch Empfänger mit herausragender Großsignalfestigkeit, die diesen Feldstärkeunterschied innerhalb weniger zehn Kilohertz verkräften können, sind gegen Nebenausstrahlungen auf der Nutzfrequenz, die von der Leistungsstufe einer benachbarten Station herrühren, machtlos.

Es ist eine Frage des Ham-Spirit, derartige Nebenausstrahlungen der eigenen Sendetechnik so gering wie möglich zu halten. Bei vertretbarem technischen Aufwand schneiden oberhalb der Kurzwellen derzeit MOSFET-Endstufen noch vor Röhrendstufen am besten ab [1]. Wir haben uns BEKOs neue Nachbrenner einmal näher besehen und mehrere Monate lang, auch in Contesten, ausprobiert.

■ Mechanischer Aufbau

Ein Blick ins Innere des Gerätes offenbart modernes UHF-Schaltungsdesign und professionellen Aufbau, alles in einem zweckmäßigen Gehäuse integriert. Bild 1 läßt den recht kompakten Aufbau erkennen, wodurch dieser Kraftprotz letztlich bescheiden

kammerbauweise wiederzuerkennen. Die Aufteilung in UHF-Einheit und Steuerteil bietet den Vorteil, daß unerwünschte Rückwirkungen und gegenseitige Beeinflussungen a priori minimiert werden.

In der Kammer hinter der Frontplatte befinden sich Netzteil und Steuerelektronik. Der große 1200-VA-Ringkerntrafo ist unterhalb der Steuerplatine montiert und dadurch auf den ersten Blick kaum zu entdecken. Daneben befindet sich der 50-A-Brückengleichrichter mit nachfolgender Siebkette, bestehend aus sieben parallelgeschalteten Elkos zu je 22 mF. Die anliegende Oberspannung von 39 V gelangt auf einen Längsregler aus zehn parallelgeschalteten und stromkompensierten Leistungstransistoren, die vom bewährten 723er IC-Spannungsregler angesteuert werden.

Das Netzteil liefert eine stabilisierte Drainspannung von 28 V, und dies bei Spitzenströmen von bis zu 42 A. Sämtliche Anschlüsse befinden sich auf der Rückwand: zwei N-Norm-Buchsen für Transceiver und

Antenne, eine Cinchbuchse für die PTT-Leitung, die Netzsicherung sowie eine Kaltgerätebuchse mit integriertem Netzentstörfilter für 220 V.

Rechts außen ist ein großer Axiallüfter vibrationsgedämpft eingebaut. Sein Abdeckgitter schützt gegen unbeabsichtigtes Hineingreifen und ist aus Schirmungsgründen elektrisch leitend mit dem Gehäuse verbunden. Übrigens war der Lüfter im Probetrieb kaum wahrzunehmen und drehte erst bei längeren Durchgängen mit 300 W deutlich auf.

■ HF-Schaltungstechnik

Das gesamte UHF-Teil ist auf einer Platine untergebracht (Bild 3). Eingangsseitig gelangt die Steuerleistung zunächst auf einen 3-dB-Koppler, der die Aufteilung in zwei gleiche, aber phasenversetzte Anteile übernimmt. Über Koaxkabel-Baluns und Anpaßnetzwerke gelangen die Signale an die Gateelektroden der beiden, aus jeweils zwei Einzelchips bestehenden, MOSFET-Leistungstransistoren.

Auf je 160 W verstärkt, durchlaufen die Signale wieder Anpaßnetzwerke und werden über einen weiteren Kombiner summiert. Bemerkenswert ist der Lastwiderstand am 3-dB-Koppler. Er hat bei Ausfall eines Transistors je nach Fehlanpassung des noch intakten Transistors aufzunehmen. Das Ausgangssignal durchläuft bis zum Antennenrelais zunächst einen Tiefpaß und dann eine Semi-Rigid-Leitung, in welche die beiden Richtkoppler zur Messung der Vor- bzw. Rücklaufleistung integriert sind.

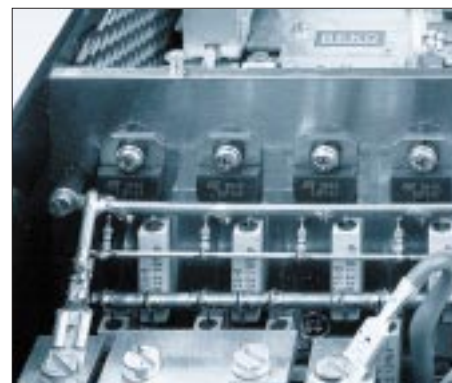


Bild 2: Teil der Gruppe von Längstransistoren zur Stromversorgung

Bild 6 zeigt die aus diesem durchdachten Aufbau resultierende Unterdrückung der Harmonischen. Die vorgeschriebene Grenze von -60 dB wird im Bereich bis 3 GHz deutlich unterschritten.

■ Schutzschaltungen

Wie aus der Bedienungsanleitung zu entnehmen ist, werden Stromaufnahme, Temperatur, Übersteuerung sowie ausgangssei-

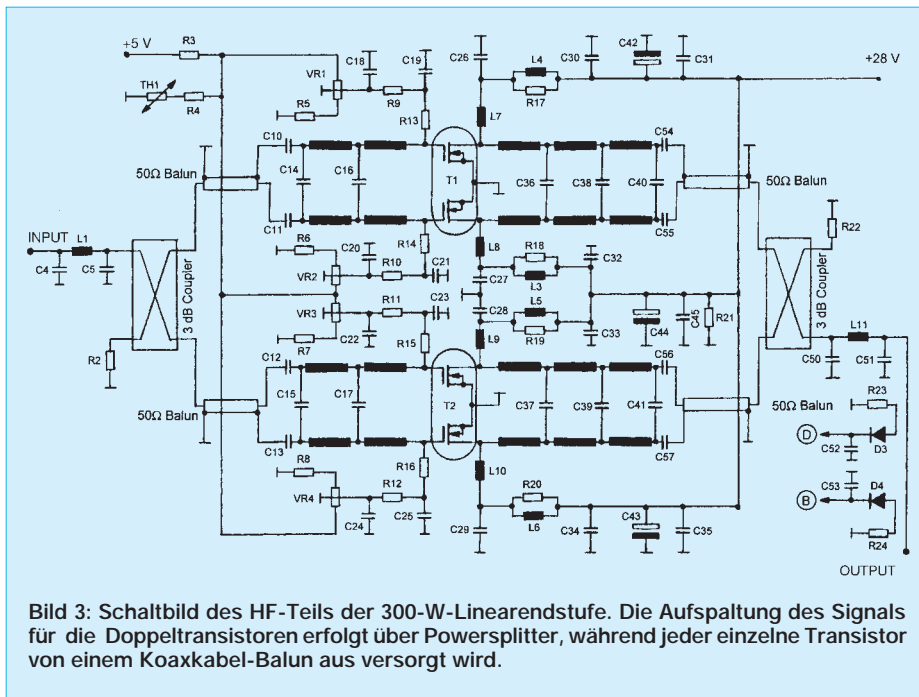


Bild 3: Schaltbild des HF-Teils der 300-W-Linearstufe. Die Aufspaltung des Signals für die Doppeltransistoren erfolgt über Powersplitter, während jeder einzelne Transistor von einem Koaxkabel-Balun aus versorgt wird.

tiges Stehwellenverhältnis ausgewertet und führen bei Sollwertüberschreitung zur Abschaltung der Endstufe. Die Zuverlässigkeit der Schutzschaltungen bekommt man bereits beim Einpegeln des Leistungsverstärkers zu spüren: Während das eingebaute und beleuchtete Zeigerinstrument nur die mittlere Ausgangsleistung ausweist, übernimmt eine in der rechten oberen Ecke des Instruments eingebaute



Bild 4: 3-dB-Powersplitter zum Aufteilen bzw. Zusammenfügen des UHF-Signals; rechts unten 50-Ω-Abschlusswiderstand



Bild 5: Über einen Balun (halbkreisförmige Koaxschleife) gelangt das Signal an die beiden Streifenleitungen, die jeweils an ein Gate des Zwillingstransistors führen.

LED *IMD* die verzögerungsfreie Anzeige der mehr als 250 W HF erreichenden Sprachspitzen. Gibt man zu viel Eingangsleistung vor, spricht bei laueren Silben oder bei einem eventuell angehängten Roger-Piep dann sehr schnell die Schutzschaltung an. Eine Messung zeigte, daß dies bei etwa 28 W Input erfolgt, wovon dann zwei LEDs – *Overdrive* und *Protection* – zeugen.

Selbst ein Abziehen des Antennenkabels bei maximaler Ausgangsleistung soll der Prüfling verkraften. Zu dieser Mutprobe haben wir uns dennoch nicht hinreißen lassen. Bei 100 W Output jedenfalls hörte man augenblicklich ein Klicken, und auf der Frontplatte leuchteten die LEDs *Antenna* und *Protection* auf.

Nach Wiederanschluß des Antennenkabels und Betätigen des Reset-Schalters erloschen die beiden LEDs, und beim anschließenden Auftasten – was übrigens nur über PTT-Kontakt und nicht über eine HF-VOX funktioniert – war die Leistung wieder da.

■ Ablaufsteuerung

Kommt ein externer Mastvorverstärker dicht an der Antenne zum Einsatz, was in diesem Frequenzbereich dringend zu empfehlen ist, so läßt sich derselbe über die PA ferngesteuert betreiben. Der *preamp*-Schalter an der Frontplatte setzt ihn in Betrieb, indem er eine Versorgungsspannung von 15 V auf das Koaxkabel legt. Die höhere Spannung von 15 statt 12 V wurde gewählt, damit die Koaxrelais im Vorverstärker stets sicher umschalten.

Einen Vorverstärker mit der eingebauten HF-VOX umzuschalten ist immer eine problematische Sache, weil die HF den

Schaltvorgang ja erst genau dann auslösen kann, wenn die Sende-/Empfangsrelais bereits umgeschaltet haben müßten. In dieser Leistungsklasse sollte man sich auf einen solchen Kompromiß besser gar nicht erst einlassen – und wer schon einmal notgedrungenermaßen bei Sturm und Regen den Mast umgelegt hat, um einen Vorverstärker zu reparieren, weiß, wovon hier die Rede ist...

Die Technologie der zeitlich gestaffelten Zu- und Abschaltung einzelner Komponenten ist alles andere als neu, BEKO jedoch hat sie von Hause aus in seine Leistungsverstärker integriert: Wird im Empfangsfall bei eingeschaltetem Vorverstärker die PTT-Taste gedrückt, erfolgt zunächst innerhalb von 500 µs die Abschaltung der 15 V Betriebsspannung.

50 ms später bekommt das Antennenrelais der Endstufe Spannung und schließlich zuletzt mit weiteren 50 ms Verzögerung das Relais am Endstufeneingang.

Aufgrund ihrer mechanischen Trägheit benötigen herkömmliche Koaxrelais etwa 25 ms für den Schaltvorgang; unter Berücksichtigung des Kontaktprellens sind besser 30 ms anzusetzen. Nach dieser Zeit sind die Relais im Mastvorverstärker auf Sendstellung (Durchgang) abgefallen, das Endstufenausgangsrelais hat im lastfreien Zustand auf Senden geschaltet und zuletzt wird die HF-Eingangsleistung für den Verstärker freigegeben.

Beim Wechsel vom Sende- in den Empfangsbetrieb passiert folgendes: Nach Lösen der PTT setzt im Transceiver sofort das Sendesignal aus. Das Endstufeneingangsrelais schaltet innerhalb 30 ms auf Emp-

Technische Daten (lt. Hersteller)

Allgemeines	
Größe (B × H × T):	280 × 160 × 410 mm ³
Masse:	17 kg
Betriebsspannung:	230 V ± 5 %, 50/60 Hz
Leistungsaufnahme:	800 VA bei Nennlast
HF-Anschlüsse:	N-Norm-Buchsen
CE-Konformität:	gemäß ETS 300684, EN 60215

HF-technische Parameter

Eingangsleistung:	25 W CW typisch, ≤ 28 W
Ausgangsleistung:	300 W CW typisch, ≤ 330 W
1-dB-Kompr.punkt:	280 W
Systemimpedanz:	50 Ω
Arbeitspunkt:	AB-linear
Ruhestrom:	2 A, nur bei Auftastung
Eingangsanpassung:	> 17 dB, bei Vollaussteuerung > 20 dB
Last-VSWR:	≤ 1:1,8

Nebenausendungen

Harmonische:	besser -60 dBc
Nebenwellen:	besser -60 dBc

Stand-by-Betrieb (Bypaß)

Durchgangsdämpfung:	≤ 0,23 dB
Rückflußdämpfung:	≥ 30 dB

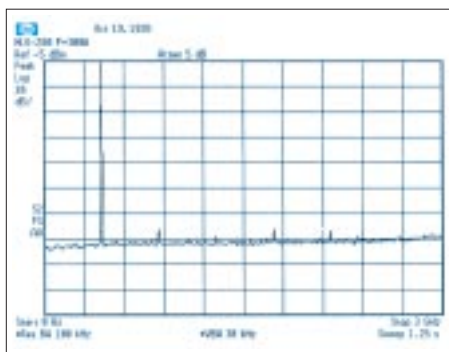


Bild 6: Oberwellenunterdrückung

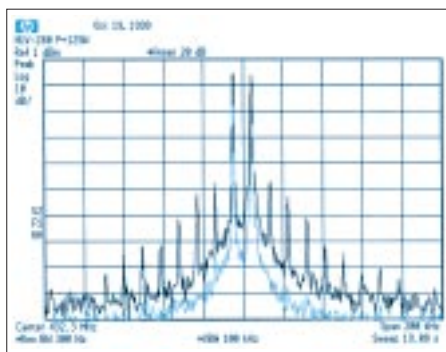


Bild 7: Betrieb entsprechend 125 W Output

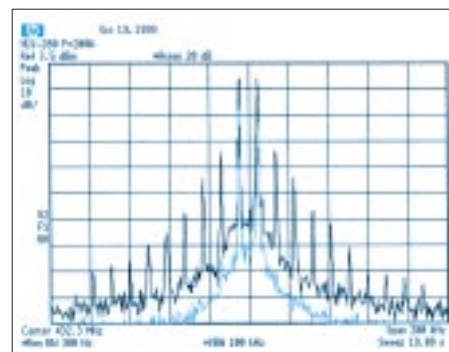


Bild 8: Aussteuerung bei 200 W Output

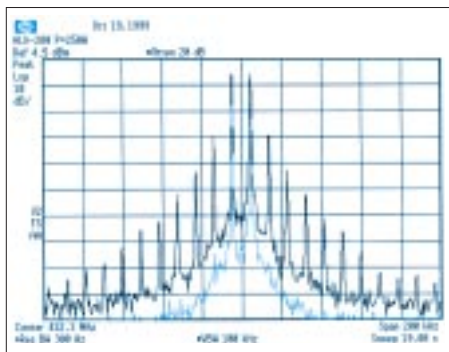


Bild 9: Spektrum bei 250 W Output, also knapp vor dem 1-dB-Kompressionspunkt

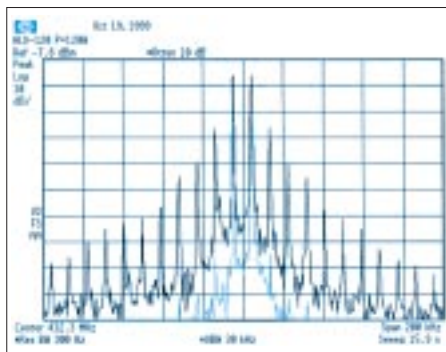


Bild 10: Ausgangsspektrum einer Bipolar-Transistor-PA bei 120 W HF zum Vergleich

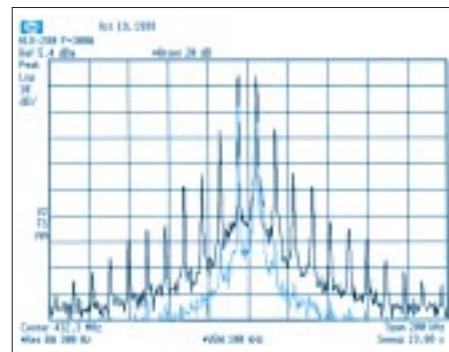


Bild 11: Aussteuerungsgrenze der HLV-280 bei 300 W HF

fang. Da der Verstärker keine Steuerleitung erhält, kann das Endstufenausgangsrelais in weiteren 30 ms wiederum lastfrei umschalten. Zuletzt bekommt der Vorverstärker seine Versorgungsspannung, und seine Relais gehen nach weiteren 30 ms in Empfangsbereitschaft.

Die Verzögerungszeiten sind laut Hersteller unter Praxisbedingungen in zahlreichen Contesten so optimiert, daß ein gesunder Kompromiß zwischen Warte- und Sicherheitszeit erzielt wird, was wir aus den bei uns gesammelten Erfahrungen heraus bestätigen können. Das sequentielle Schalten der Endstufenrelais ist übrigens deutlich hörbar.

Auch nach Betätigung des für Ortsverbindungen u.ä. benötigten *Stand-by*-Schalters ist die Vorverstärkersteuerung aktiv. Das macht Sinn, da ja auch die dann noch durchgereichten 25 W Ansteuerleistung genügen, um einen GaAsFET zu zerstören.

Die Stunde der Wahrheit

Kommen wir nun zu den Messungen der Intermodulationsverzerrungen und der Linearität. Insbesondere die Intermodulationsverzerrungen interessierten uns, da sie, wie eingangs erläutert, ein ganz wesentliches Qualitätsmerkmal bei Sendeverstärkern darstellen.

Zunächst galt es jedoch, ein entsprechend IM-armes Zweitonsignal zu erzeugen, wozu wir einen Wilkinson-Leistungskoppler mit zwei auf unterschiedliche Frequenzen eingestellten Transceivern ansteuerten.

Gemessen wurde ausschließlich nach dem EIA-Standard, dessen IM-Werte sich auf die maximal erreichbare PEP-Leistung beziehen [2]. Der besseren Anschaulichkeit halber haben wir den einzelnen Meßkurven jeweils das dazugehörige Eingangssignal hinzugefügt.

Aus Bild 7 ist – blau dargestellt – das IM-arme Steuersignal mit mehr als 70 dB IMD-Abstand zu erkennen (IMD = intermodulation distortion). Das Spektrum des Ausgangssignals – schwarze Kurve – zeigt bereits die typische Entstehung der Mischprodukte 3. bis 17. Ordnung. Dabei entspricht das Ausgangssummensignal einem PEP-Wert bei Eintonaussteuerung von 125 W.

Aus Bild 9 ist ersichtlich, daß die IMD-Produkte gegenüber Bild 8 um weitere 6 dB angestiegen sind. Unterhalb der -70 -dBc-Linie liegen jetzt nur noch die Produkte 13. und höherer Ordnung. Das Summensignal kommt etwa 250 W PEP Eintonaussteuerung gleich und nähert sich langsam dem 1-dB-Kompressionspunkt.

Demgegenüber zeigt Bild 10 die Meßwerte einer hochwertigen, wenn auch leistungsschwächeren BEKO-Endstufe mit bipolaren Transistoren, die ebenfalls knapp unterhalb des 1-dB-Kompressionspunkts betrieben wurde: Dort ist der bis zu 10 dB höhere Pegel bei Produkten höherer Ordnung nicht zu übersehen.

Die Meßwerte in Bild 11 entsprechen einem Summensignal von 300 W PEP Eintonaussteuerung und weisen bereits 1 dB Kompression auf. Das heißt, daß für 1 dB mehr Ausgangslei-

stung immerhin 2 dB Erhöhung der Eingangsleistung vonnöten ist. Eine noch weitere Aussteuerung ist nicht mehr sinnvoll.

Zusammenfassung

Wer eine 70-cm-Endstufe mit professioneller Technik sucht, die auch noch bedienungsfreundlich ist und ohne lästiges Vorheizen oder ständiges Nachstimmen ihren Dienst verrichtet, für den ist die HLV-280 von BEKO ideal.

Unter Berücksichtigung ihrer vorteilhaften Eigenschaften erscheint der Verkaufspreis von derzeit 3300 DM durchaus gerechtfertigt. Für noch mehr Leistungsbedarf bietet BEKO sogar noch eine 600-W-Version mit eingebauter Treiberstufe für Steuerleistungen ab 1 W an; daneben sind MOSFET-PAs für 2 m in den Abstufungen 300, 600 und 1200 W erhältlich. Ein Bezug ist direkt beim Hersteller [3] oder über den Fachhandel [4] möglich. Alle BEKO-Endstufen übertreffen die Spezifikationen nach ETS 300684 sowie EN 60215.

Literatur und Bezugsquellen

- [1] Schwarzbeck, G., DL1BU: 300-W-MOSFET-Linearendstufe für 144 MHz, Testbericht über HLV300 (BEKO). CQ DL 64 (1993) H. 1, S. 8-12
- [2] Korte, B., DG5KAZ: Intermodulationsverzerrungen von Transistor-Leistungsverstärkern. Beam 6 (1987) H. 6 und H. 7; s.a. <http://www.beko.cc>
- [3] BEKO Elektronik, Samerhofstraße 15c, 81247 München, Telefon (089) 88 91 91-77, Fax -88, www.beko.cc
- [4] UKW Berichte Telecommunications, P. O. Box 80, 91081 Baiersdorf, Tel. (091 33) 77 98-0, Fax -33, www.ukw-berichte.de