

HLV-600 – MOSFET-Power auf 2 m made in Germany

CHRISTIAN REIMESCH – DL2KCK

Wer kennt sie nicht, die Enttäuschung über ein unvollständiges QSO mit einer seltenen oder weit entfernten Station. Und das nur, weil das eigene Signal bei der Gegenstation zu schwach war. Doch wie läßt sich die Reichweite der eigenen Station bei normalen Bedingungen erhöhen? Ist die Antenne bereits ausgereizt, schafft nur noch ein Leistungsverstärker Abhilfe. Anhand von Vergleichsmessungen mit einer Bipolar- und einer Röhren-PA wird nachfolgend die Eignung der HLV-600 diskutiert.

Die Suche nach aussagefähigen Informationen oder Testberichten gestaltet sich recht schwierig, da nur wenig, auf fundierten Messungen basierende Veröffentlichungen wie [1], [2] zu diesem Thema existieren, von einigen Bauanleitungen abgesehen. Diesen Zustand weiter zu verbessern ist Ziel der folgenden Abhandlung. Die Wahl des Testobjekts fiel auf die HLV-600 von BEKO, ein 600-W-Verstärker für das 2-m-Band in MOSFET-Technologie modernster Bauart. Ist er wirklich so gut wie Hersteller und Werbung versprechen?



Bild 1: Frontansicht der HLV-600 während des Belastungstests mit 400W Dauersenden.

Machen wir uns nichts vor, bei vielen von uns herrscht noch immer das Vorurteil, daß Transistorendstufen wahre „Dreckschleudern“ seien und Splatter über das ganze Band erzeugen.

■ Erster Eindruck

Die HLV-600 entspricht in bezug auf Gehäuse, Abmessungen und Bedienelemente dem 70-cm-Modell HLV-280, das bereits sehr ausführlich in [2] beschrieben wurde. Sie ist für den Frequenzbereich 144 bis 146 MHz mit einer Ausgangsleistung von 630 W in SSB bzw. 600 W in FM/CW spezifiziert. Im Gegensatz zur 70-cm-Endstufe HLV-280 werden die Doppel-MOSFETs vom Typ MRF-151G mit einer Drainspannung von 50 V betrieben.

Das Netzteil ist für eine Eingangsleistung von 1300 W dimensioniert und auf der Primärseite mit 6,3 A abgesichert.

Die Endstufe besteht praktisch aus zwei, mit Wilkinson-Combinern gekoppelten 300-W-HF-Blöcken, wie wir sie aus der HLV 300 kennen, und wird von aufwendigen Schutzschaltungen ähnlich der HLV-280 vor Beschädigung von innen und außen bewahrt. Im einzelnen sind dies: zu hohes Ausgangs SWR, Übersteuerung des Eingangs und Temperatur. Bei Überschreitung von einem oder mehreren Schwellwerten schaltet die Endstufe auf

fangsfall 15 V Gleichspannung, maximal mit 1 A belastbar, auf das Koaxialkabel.

■ Probanden und Kriterien

Es stellt sich zunächst die Frage, wie die Qualität eines solchen Verstärkers für Amateurfunkzwecke beurteilt werden kann. Worauf kommt es an, und wie kann man das meßtechnisch überprüfen? Ich hatte mich entschlossen, die HLV-600 direkt mit zwei weiteren, unterschiedlichen Verstärkerkonzepten zu vergleichen. Es handelt sich dabei um einen Bipolar-Transistorverstärker HLV-160, ebenfalls aus



Bild 2: Die Rückansicht der HLV-600 läßt N-Buchsen für Ein- und Ausgang sowie Cinch-Buchsen für PTT und ALC erkennen.

dem Hause BEKO, sowie um eine Röhrenendstufe NAIGAI XL144 aus Japan mit einer 4CX350-Keramik-Tetrode. Da die Ausgangsleistung der Vergleichsverstärker schlecht zur Beurteilung ihrer Qualität heranzuziehen ist, wird diese in Tabelle 1 nur vollständigheitshalber erwähnt. Mein Hauptinteresse galt in erster Linie den Intermodulationsprodukten, die im wesentlichen durch Nichtlinearitäten der Verstärkerkennlinie entstehen. Auf die genaue Ursache von Intermodulation soll allerdings in diesem Bericht nicht weiter eingegangen werden, da zu diesem Thema schon einige hervorragende Fachaufsätze existieren [1], [3].

Nun zur Messung: Das Sendesignal eines Allmode-Transceivers Kenwood TS-790E gelangt, zusammen mit einem leistungsverstärkten Signal eines Generators, auf einen Wilkinson-Combiner. Die meßtechnische Überprüfung dieser Anordnung er-



Bild 3: Meßaufbau mit TS-790; rechts im Hintergrund Spektrum-Analysator SNA-62 von W&G für die Messungen der Intermodulationsprodukte bzw. Nebenaussendungen [5].

verstärkungslosen Durchgang. Der 1-dB-Kompressionspunkt liegt bei 580 W und wird durch eine kleine, rote LED an der rechten Seite des bis 800 W skalierten Analoginstruments verzögerungsfrei angezeigt. Die HLV-600 besitzt, wie in dieser Klasse üblich, keine HF-VOX. Die Inbetriebnahme des Verstärkers funktioniert problemlos nach dem Plug-and-Play-Prinzip, es sind lediglich vier Kabel anzuschließen (PTT, Antenne, Transceiver und Stromversorgung).

Die Versorgung eines ggf. in Antennennähe anzubringenden Vorverstärkers erfolgt aus der Endstufe heraus mittels Fernspeisung über das Antennenkabel. Dabei gelangen, über einen internen Sequenzer zeitgerecht geschaltet, im Emp-

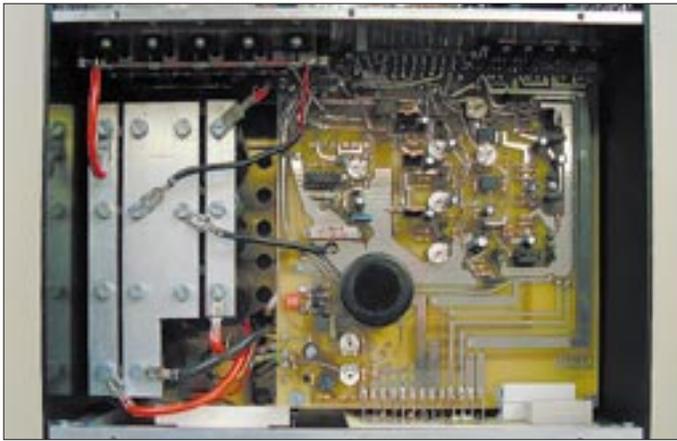


Bild 4: Innenansicht der HLV-600; links die Steuerplatine (Schutzschaltungen und Ablaufsteuerung) und Teile des Netzteils, rechts ist die Verstärkerplatine mit den beiden MOSFETs MRF-151G zu sehen.

gab ein Zweitonsignal mit einem Intermodulationsanstand IM3 von gut 60 dB, also ausreichend, um Verstärker zu messen, deren eigene IM um einige dB-Dekaden höher liegen.

■ Meßergebnisse

Zuerst kam die HLV-600 an die Reihe. Der Eingang der Endstufe wurde mit dem Ausgang des Kopplers verbunden. Die Endstufe wiederum sollte ihre Leistung an einen 500 W/30 dB-Leistungsabschwächer abgeben, welcher über ein 20 m langes Koaxialkabel (1 dB Dämpfung bei 144 MHz) angeschlossen war. Dem Leistungsabschwächer folgte ein weiteres 20-dB-Dämpfungsglied, dessen Abschluß der Spektrum-Analysator bildete.

Vor der Messung der Intermodulation interessierte zunächst die maximale Ausgangsleistung, d.h. vor dem Ansprechen der Schutzschaltung. Es ergaben sich 716 W bei nur 9,6 W Steuerleistung. Da diese Leistung weit oberhalb des 1-dB-Kompressionspunktes liegt, wurde für weitere Messungen die Nennleistung von 600 W herangezogen. Auf Bild 6 ist das Signal der HLV-600 bei einer Doppeltonaussteuerung mit

$$f_1 = 144,300 \text{ MHz}, f_2 = 144,305 \text{ MHz},$$

$$P_1 = P_2 = P_{\text{max}}/4 = 150 \text{ W}$$

entsprechend einer Vollaussteuerung mit 600 W Spitzenleistung zu sehen, was die IMD-LED prompt durch ein leichtes

Bild 5: Verstärker-einheit mit den beiden MRF-151G; links der Wilkinson-Eingangsteiler mit Teflon Koaxialkabel, rechts der Leistungskoppler mit Semi-Rigid-Kabel und der 100-Ω-Hochlastwiderstand.



Glimmen quittierte. Die IM3-Produkte haben einen Abstand von 27 dBc zur Maximalleistung. Die IM-Produkte 15. Ordnung IM15 liegen, etwa 40 kHz entfernt, gerade noch bei -77 dBc. Verzichtet man auf 1,5 dB an Ausgangsleistung, so verbessert sich, wie in Bild 7 ersichtlich, IM3 auf -34 dBc, und IM5 ist mit -50 dBc sowie IM7 mit mehr als -70 dBc deutlich abgefallen.

Zm Vergleich ist in Bild 8 das Intermodulationsspektrum der BEKO HLV-160 gezeigt. Die IM3-Produkte liegen bei -30 dBc, IM5 bei -50dBc; es fällt allerdings selbst bei dieser ausgezeichneten Bipolar-Endstufe auf, daß noch Intermodulationsprodukte 29. Ordnung zu sehen sind. Bild 9 zeigt die röhrenbestückte NAIGAI 144XL mit durchaus guten IM3-Werten von -32 dBc, jedoch sieht man deutlich,

daß IM5 und IM7 gegenüber IM3 nicht abfallen, sondern im Gegenteil sogar leicht um 1 dB ansteigen. Selbst IM39-Produkte sind noch nicht unter -80 dBc abgefallen.

Bild 10 weist die Nebenausstrahlungen der HLV-600 aus. Um den worst case zu simulieren, wurde die HLV-600 bis über 700 W angesteuert – das Ergebnis kann sich mit -66 dBc für die 1. Oberwelle mehr als se-

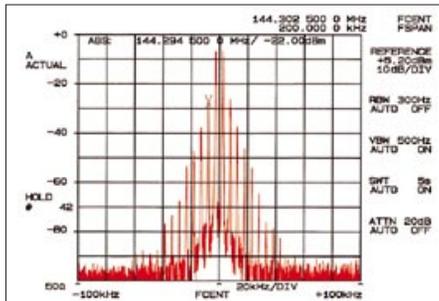


Bild 6: Ausgangsspektrum der HLV-600 bei Nennleistung, d.h., Speisung mit zweimal 150 W. IM3 beträgt -27 dBc. Die IM-Produkte höherer Ordnung fallen rasch ab.

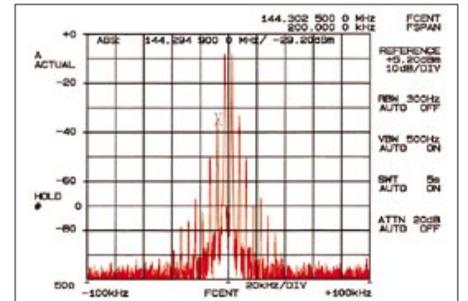


Bild 7: Ausgangsspektrum der HLV-600 bei 1,5 dB unter Nennleistung, d.h. Speisung mit zweimal 106 W. IM3 sinkt auf -34 dBc, und das Spektrum wirkt noch sauberer.

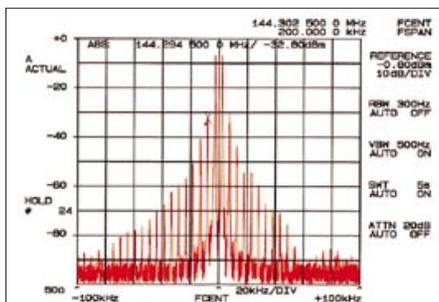


Bild 8: Ausgangsspektrum der Bipolar-PA HLV-160 bei Nennleistung, d.h., Speisung mit zweimal 40 W. IM3 beträgt -30 dBc, höhere IM-Produkte fallen nur langsam ab.

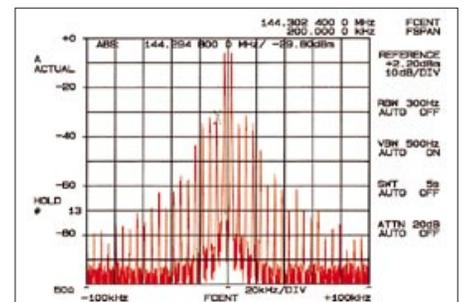


Bild 9: Ausgangsspektrum der Röhren-PA XL-144 bei Nennleistung, d.h., Speisung mit zweimal 64 W. IM3 beträgt -32 dBc; höhere IM-Produkte steigen im Pegel z.T. wieder an.

Tabelle 1: Kennwerte ¹ hier getesteter Endstufen			
PA	HLV-600	HLV-160	XL-144
P _{out}	716 W	160 W	256 W
P _{in} dabei	9,6 W	12 W	11 W
IM3	-27 dBc	-30 dBc	-32 dBc
IM5	-37 dBc	-41 dBc	-31 dBc
IM7	-46 dBc	-44 dBc	-34 dBc
IM15	-77 dBc	-67 dBc	-47 dBc
1. Oberwelle	-66 dBc	-63 dBc	-39 dBc
2. Oberwelle	< -80 dBc	-65 dBc	-47 dBc
Preis in DM	4100	1020	≤ 1000 ²

¹) Meßwerte bei Nennleistung
²) auf dem Gebrauchtgerätemarkt

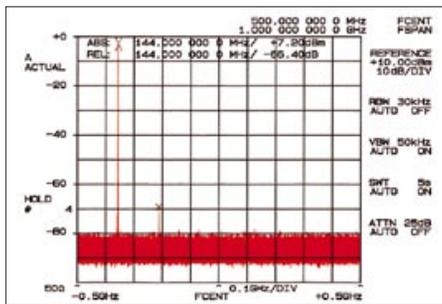


Bild 10: Ausgangsspektrum der HLV-600 bei Nennleistung über einen weiten Bereich; außer der ersten Oberwelle sind keine weiteren Nebenausstrahlungen erkennbar.

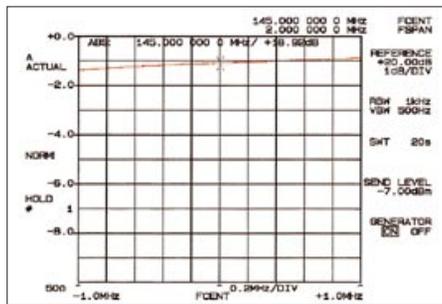


Bild 11: Frequenzgang der HLV-600 bei 200 W Ausgangs- und 2,5 W Eingangsleistung entsprechend $V_p = 19$ dB. Die 0,5 dB Welligkeit sind in der Praxis völlig vernachlässigbar.

hen lassen. Weitere Nebenausstrahlungen ließen sich meßtechnisch nicht feststellen. Bild 11 dokumentiert schließlich den Frequenzgang der HLV-600, bei einer Aussteuerung von 200 W von einem Netzwerkanalysator aufgezeichnet. Die Verstärkung der HLV-600 liegt bei 19 dB; die geringe Welligkeit von unter 0,5 dB im interessierenden Frequenzbereich ist in der Praxis durch leichte Änderung der Aussteuerung zu kompensieren.

Ein weiteres Kriterium für die Praxistauglichkeit einer Leistungsstufe ist ihre Dauerlastfestigkeit, wie sie im harten Contestbetrieb oder bei kontinuierlich wiederholtem CQ-Rufen in CW auftritt. Für diese Messung wurde ein über die Praxis noch hinausgehender Härtefall in Form von einstündigem Dauersenden provoziert. Das Leistungsdämpfungsglied bekam noch etwas Entlastung durch einen zusätzlich vorgeschalteten 20-m-Kabelring. Die Messung fand bei einer Umge-

bungstemperatur von 27°C und einer Ausgangsleistung von 400 W statt.

Nach der Stunde Dauersenden betrug die Ausgangsleistung immerhin noch 362 W. Dieser Meßwert schließt alle thermischen Veränderungen, z.B. Absinken der Steuerleistung und Widerstandsänderungen der Last sowie thermische Eigenschaften des Meßkopfes, mit ein. Die Abluft des Ventilationssystems hatte eine Temperatur von 49°C. Da die 40 m Ecoflex-Kabel immerhin 2 dB Leistung zu verkräften und folglich etwa 150 W in Wärme umzusetzen hatten, wurde diese 40 °C warm.

■ Zusammenfassung

Die HLV-600 der Endstufen-Schmiede BEKO in München [4] hat mich von Anfang an begeistert. Einfache und unkomplizierte Bedienung, kein lästiges Nachstimmen, absolut contesttauglich, technisch einfach Spitze. Ein Aushängeschild für Technik aus unseren Landen, noch dazu, wenn man bedenkt, daß der Großteil marktüblicher Amateurfunktechnik aus Fernost kommt. Das Produkt ist direkt beim Hersteller, bei UKW-Berichte oder über den einschlägigen Fachhandel zu beziehen.

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] Hegewald, W., DL2RD: HLV-280-Power by BEKO: 300 W auf 70 cm aus MOSFETs. FUNKAMATEUR 49 (2000) H. 1, S. 69–71
- [3] Korte, B., DG5KAZ: Intermodulationsverzerrungen von Transistor-Leistungsverstärkern. Beam 6 (1987) H. 6 und H. 7
- [4] BEKO Elektronik, Samerhofstraße 15 c, 81247 München, Telefon (089) 88 91 91-77, Fax -88, www.beko.cc, E-Mail: mail@beko.cc
- [5] Reimesch Kommunikationssysteme GmbH, Auf der Kaule 23, 51427 Bergisch Gladbach, Tel. (02204) 58 47 51; www.reimesch.de, E-Mail: creim@reimesch.de
- [6] Schwarzbeck, G., DL1BU: Testbericht und Meßdaten 2-m-Endstufe DRESSLER D200. CQ DL 49 (1978) H. 12, S. 534–536
- [7] Borschel, W., DK2DO: Moderner UHF-Röhrenleistungsverstärker mit G17b/t. FUNKAMATEUR 48 (1999) H. 1, S. 102–105

[1], [3] s.a. www.beko.cc, [2] www.funkamateu.de

MOSFET, Bipolar oder Röhre?

Ergänzend zum a priori auf Bekos HLV-600 ausgerichteten Testbericht noch einige Bemerkungen als Entscheidungshilfe. Außer dem Nebenwellenabstand und der Verzerrungsfreiheit, bei denen die MOSFET-Variante einsame Spitze ist, gibt es ja noch weitere Entscheidungskriterien, wie etwa Preis-/Leistungsverhältnis und beabsichtigter Einsatzfall (Standort, verfügbare Versorgungsspannung, bevorzugte Betriebsart etc.).

Hinsichtlich des Ausgangsspektrums ist die Bipolar-PA HLV-160 nicht gerade repräsentativ, gehört sie doch zur obersten Preisklasse. Weit verbreitete Billig-Transistor-PAs, werbewirksamen als „linear“ betitelt, schneiden da erheblich schlechter ab. Für FM sind diese noch problemlos einsetzbar, und auch CW-Betrieb ist möglich. Gegen evtl. Oberwellen hilft ggf. ein nachgeschaltetes Tiefpaßfilter; SSB-Betrieb wird jedoch zur Zumutung für die Funknachbarn und sollte zumindest in/naher großen Städten bzw. von guten UKW-Lagen aus tunlichst unterbleiben. Die gezeigten Plots stellen Intermodulationen von zwei Frequenzen dar; ein reales SSB-Signal besteht jedoch aus einer Vielzahl interagierender Frequenzen. Eine Nebenwelle mit beispielsweise -20 dBc erscheint bei einer 300-W-PA noch mit 3 W, ausreichend, um einige hundert Kilometer zu überbrücken!

Röhrenendstufen geben nur ein sauberes Ausgangsspektrum ab, wenn sie deutlich unter ihrer Nennleistung betrieben werden, vgl. a. [6]. Das gemessene Modell produziert bei 256 W ein Signal, mit dem man sich auf dem Band kaum noch sehen lassen kann. Dauerstrichbetrieb wie mit der HLV-600 wäre bei einer Röhrenendstufe undenkbar, zumal sich der Anodenkreis schon nach kurzer Zeit thermisch verstimmt. Aus demselben Grund verlagert man den Arbeitspunkt weit in Richtung B-Betrieb... Negativ ist ferner die endliche Lebensdauer der Röhren; es ist fraglich, wie lange es noch Ersatz gibt. Demgegenüber hält eine mit Bedacht betriebene MOSFET-PA praktisch ewig, wenn nicht gerade Wasser¹ (oder Bier...) hineinläuft.

Schließlich verdient die erreichbare Ausgangsleistung Beachtung, können doch an der Rauschgrenze oder im Pile-up bereits 3 dB mehr über „Sein oder Nichtsein“ entscheiden. 600 W zu beherrschen ist deutlich komplizierter als 160 bis 300 W, nicht zuletzt gibt es in dieser Klasse auf dem Amateurmarkt praktisch keine industriellen Produkte mit Bipolartransistoren oder Röhren. So verwundert es nicht, daß sich DL2KCK nebenstehend für das bayerische Fertigprodukt entschied... Eine ganze Reihe erfolgreicher Contestteams beweisen, daß unter Beteiligung vieler Gleichgesinnter selbst hoher finanzieller Aufwand durchsetz- und vertretbar ist. **DL2RD**

¹⁾ Laut Hersteller eignet sich die HLV-600 auch für abgesetzten Betrieb, z.B. am Antennenmast (dann am besten mit der Rückwand nach unten – so ergeben sich akzeptable Biegeradien für die mit Wassersäcken versehenen Kabel). Ein großer ovaler Plast-eimer, wie er als Behältnis für Dispersionsfarbe baumarktüblich ist, sollte sich als Abdeckung eignen. Da alle Einstellungen über mechanische Schalter erfolgen, ist nach Zufuhr der Betriebsspannung sofortige Betriebsbereitschaft gegeben.

Tabelle 2: Technische Daten
(lt. Hersteller)

Allgemeins	
Größe (B × H × T):	280 × 158 × 410 mm ³
Masse:	17 kg
Betriebsspannung:	230 V ± 5%, 50/60 Hz
Leistungsaufnahme:	1400 VA bei Nennlast
HF-Anschlüsse:	N-Norm-Buchsen
CE-Konformität:	gemäß ETS 300684, EN 60215
HF-technische Parameter	
Eingangsleistung:	9 W CW typisch, ≤ 10 W
Ausgangsleistung:	620 W CW typisch, ≤ 650 W
1-dB-Kompr.punkt:	580 W
Systemimpedanz:	50 Ω
Arbeitspunkt:	AB-linear
Ruhestrom:	2 A, nur bei Auftasten
Eingangsanpassung:	> 17 dB, bei Vollaussteuerung > 20 dB
Last-VSWR:	≤ 1:1,8
Nebenausstrahlungen	
Harmonische:	besser -60 dBc
Nebenwellen:	besser -70 dBc
Stand-by-Betrieb (Bypass)	
Durchgangsdämpfung:	≤ 0,15 dB
Rückflußdämpfung:	≥ 30 dB