

Die Leistungsendstufe HPA-8000B von Hilberling

Klaus Lohmann, DK7XL

Das Konzept der HPA-8000B wurde in Teil 1 auf Blockschaltbildebene vorgestellt. Auf die Besonderheiten der Schaltung im Ausgang durch die Integration von Tiefpassfilter (LPF) und Antennenkoppler (ATU) wurde eingegangen. U.a. sind die Software-konfigurierten LPF und die frequenzabhängige Arbeitspunkteinstellungen sowohl vom Treiber als auch der beiden Leistungs-LDMOS verantwortlich für die gute Signalqualität dieser PA.

Trotz großer Anstrengungen sind aber der Linearität von Leistungsendstufen, insbesondere wenn sie über einen weiten Frequenzbereich arbeiten sollen, enge physikalische Grenzen gesetzt. Der extensiven Auslotung dieser Grenzen stehen auch das Kriterium der Wirtschaftlichkeit bzw. der Aufwandswirksamkeit entgegen. Aber es gibt eine Lösung für dieses Dilemma: Nur scheinbar mühelos kann die Technik des Software Defined Radio (SDR) physikalische Fesseln sprengen und nahezu idealtypische SSB-Signale hinsichtlich Träger- und Seitenbandunterdrückung sowie des Intermodulationsabstandes (IMA) produzieren – letzteres auch unter Einbeziehung externer Leistungsendstufen. Die Entwicklungsleistung, die hinter dieser Software steckt, verdient Respekt und Anerkennung.

Ausgang für Adaptive Vorverzerrung

Seit geraumer Zeit wird durch Software Defined Radio (SDR) die Technik der adaptiven Vorverzerrung (Adaptive Predistortion – APD) im Amateurfunk genutzt [9]. In der kommerziellen Technik ist diese Methode schon lange eingeführt. In Verbindung mit der hohen Verstärkung der HPA-8000B lag es für die Entwickler daher nahe, einen HF-Ausgang (RF-Sampler) als Rückkanal für APD vorzusehen. Besonderes Augenmerk ist bei diesem HF-Ausgang auf die Isolation zu legen – schließlich soll nur das um 60 dB abgeschwächte Abbild des Ausgangssignals der PA vom SDR-Trans-

ceiver mit dem APD-Algorithmus ausgewertet werden. Durch die sorgfältigen Schirmung der Baugruppe ist dies überzeugend gelungen. Der –60-dB-Ausgang der HPA-8000B hat einen geringen Frequenzgang (ca. 0,1 dB) von 1,8 MHz bis 70 MHz und soll – noch wichtiger – einen geringen Phasenfehler, d.h. einen realen Ausgangswiderstand von 50 Ω , nahezu ohne komplexe Anteile aufweisen. Der Sampler ist als kapazitiver, fast leistungsloser Spannungsteiler mit zwei Kapazitäten und zwei Widerständen ausgeführt – siehe Bild 8. Aus den Teilverhältnissen von C1/C2 und R1/R2 ergibt sich ein Gesamtteilverhältnis (Spannung) von gerundet 1:1000. Dies resultiert in einer Dämpfung der Leistung von –60 dB. Eine Messung mit dem VNA „von hinten in den Ausgang hinein“ (in diesem Fall Streuparameter S11) ergab eine Reflexionsdämpfung von ca. –22 dB bei 1,9 MHz und ab 7 MHz von mehr als –33 dB (Bild 9). Diese sehr wirksame und schaltungstechnisch verblüffend einfache Lösung eines keineswegs trivialen Problems wird sicher bald weitere Verbreitung finden.

Selbstverständlich kann auch jeder andere taugliche externe Sampler nach der Endstufe verwendet werden – dies kann z.B. der Fall sein, wenn mehrere PA alternativ mit Predistortion betrieben werden sollten. Für diese Sampler gibt es Selbstbauvorschläge, aber auch kommerzielle Lösungen [10]. Der RF-Sampler in der HPA-8000B eignet sich natürlich auch für den Anschluss

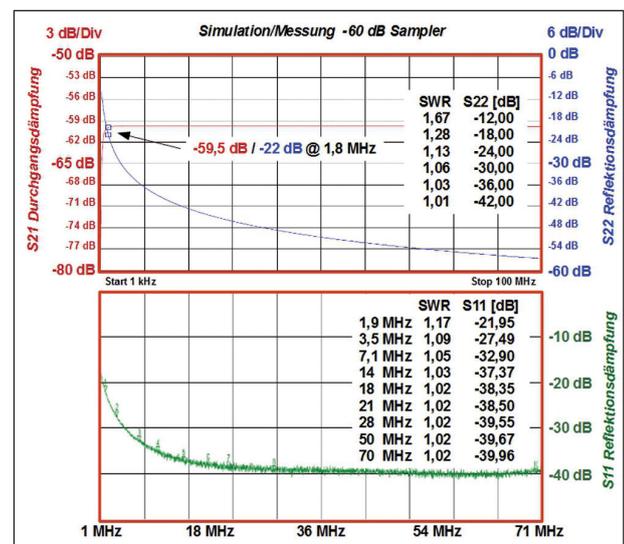
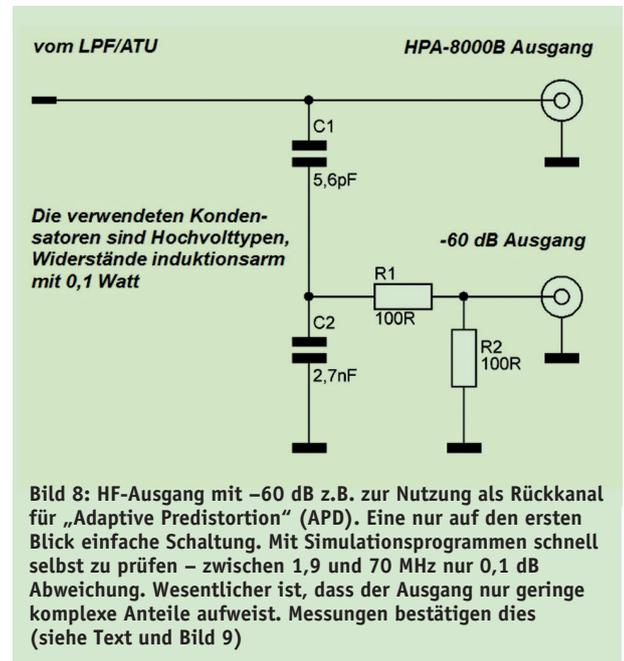


Bild 9: Da ohne Eingriffe in das Gerät der Frequenzgang des –60-dB-Ausgangs nicht zu vermessen ist, ein Blick auf die Simulation der Schaltung mit RFSim99 [15]. Der Frequenzgang verläuft praktisch konstant von –60 dB über den Bereich 1,8 MHz bis 100 MHz. Die Reflexionsdämpfung steigt in der Simulation sehr schnell über 30 dB (SWR 1,06). Der RF-Sampler wurde mit dem VNA von SDR-Kits [16] vermessen (S22 in der Simulation ist bei dieser Messung S11, der Ausgang ist jetzt Tor 1)

eines Stationsmonitors zur Überwachung des Ausgangssignals. Die Prüfung der HPA-8000B für ihre Eignung als PA für SDR-Systeme mit APD erfolgte unter Nutzung des Systems „HERMES“, das

von der weltweit agierenden Gruppe HPSDR realisiert wurde. Die APD-Software stammt mit ihren wesentlichen Teilen von Dr. Warren Pratt, NRØZ, der das Softwaremodul APD in der Software OpenHPSDRPowerSDR mRX PS „Pure Signal“ genannt hat. Zusätzlich zum DSP-Softwaremodul in PowerSDR von Warren (WDSP) wurden u.a. umfangreiche Arbeiten zur FPGA-Programmierung von Phil Harman, VK6PH, geleistet. Die Oberfläche (GUI) in OpenHPSDRPowerSDR wird von Doug G. Wigley, W5WC, weiterentwickelt. Das Programm wird demnächst in einer überarbeiteten Version vorliegen (Pure Signal 2.0 [11]). **Bild 13** und **Bild 14** zeigen die Leistungsfähigkeit der Software bzw. der Methode APD in Verbindung mit der HPA-8000B. Noch ein praktischer Hinweis: Die Verwendung von hochwertigem, am besten doppelt geschirmten Koaxkabel für die Rückführung vom APD-Ausgang zum SDR-Transceiver ermöglicht optimale Ergebnisse.

Geräuschentwicklung und Dauerbetrieb

Das erste Produktionslos der HPA-8000B wies noch ein Lüfterkonzept auf, das mit seiner Geräuschkulisse auch in der ersten Lüfterstufe nicht zufriedenstellen

konnte. Mittlerweile ist das Lüftergeräusch auf einen akzeptablen Pegel abgesenkt worden. Die Lüfter für Endstufe und Netzteil arbeiten in vier Stufen – besonders angenehm ist, dass im Empfangsbetrieb ggf. nach Herunterkühlen der PA auf 38 °C kein Lüfter aktiv ist. Die vier Stufen schalten sich bei folgenden Temperaturen ein bzw. aus: Stufe I 40/38 °C; Stufe II 48/43 °C; Stufe III 53/48 °C und Stufe IV 60/55 °C. Im normalen SSB-Betrieb wird Stufe I nicht für eine höhere Stufe verlassen. Erst bei längeren Durchgängen, höheren Umgebungstemperaturen oder im flotten CW-Betrieb bzw. bei digitalen Betriebsarten kommen die nächsten Lüfterstufen ins Spiel. Nach 5:50 Minuten Dauerstrich 750 W auf 80 m ist die Stufe IV erreicht. Es dauert nach Umschaltung in den Empfangsbetrieb 2:10 Minuten, bis 38 °C PA-Temperatur wieder erreicht sind. Die kurze Zeitdauer zeigt, dass die thermische Trägheit der Endstufe klein ist – oder anders ausgedrückt, dass die thermische Regelung der HPA-8000B schnell greift.

Stufe I und II bleiben im Geräuschpegel noch im Rahmen. Die HPA-8000B ist keine „Flüsterendstufe“, aber die Geräuschkulisse ist weder störend noch in der Frequenzlage unangenehm. Aber: Dies ist der subjektive Eindruck des

Verfassers. Um einen späteren Vergleich mit anderen Endstufen zu ermöglichen, wurde der Schalldruck für jede Stufe mit Hilfe eines Messgerätes (Klasse 2 gem. IEC61672-1) ermittelt. Dabei werden die akustischen Messbedingungen konstant gehalten (Aufstellungsort PA, Ort des Messgerätes und Abstand). Wer selbst Geräuschkulissen verschiedener Geräte ohne hohen Anspruch an absolute Genauigkeit, aber durchaus tauglich für vergleichende Bewertung ermitteln möchte, kann sich hierfür einer Applikation z.B. für das iPhone bedienen [12].

Die HPA-8000B ist „dauerstrichfest“ – nach etwa 7 Minuten Dauerträger bleibt die PA-Temperatur bei den zuvor geschilderten Mess- und Betriebsbedingungen mit ca. 62 °C konstant. Nochmals zur Erinnerung: da die LDMOS mit ihrem Substratträger direkt auf die Kupferplatte gelötet sind, entspricht diese Temperatur nahezu der Gehäuse-temperatur bzw. des Substratträgers. Hier wären gem. Datenblatt noch 150 °C zu tolerieren. „Dauerstrichfest“ heißt in diesem Zusammenhang nicht 100 % Duty Cycle nach ICAS [14], sondern ununterbrochene Dauerleistung („Key Down“). Die Netzteile sind natürlich als Schaltnetzteile ausgelegt und werden ebenfalls bei Bedarf gekühlt.

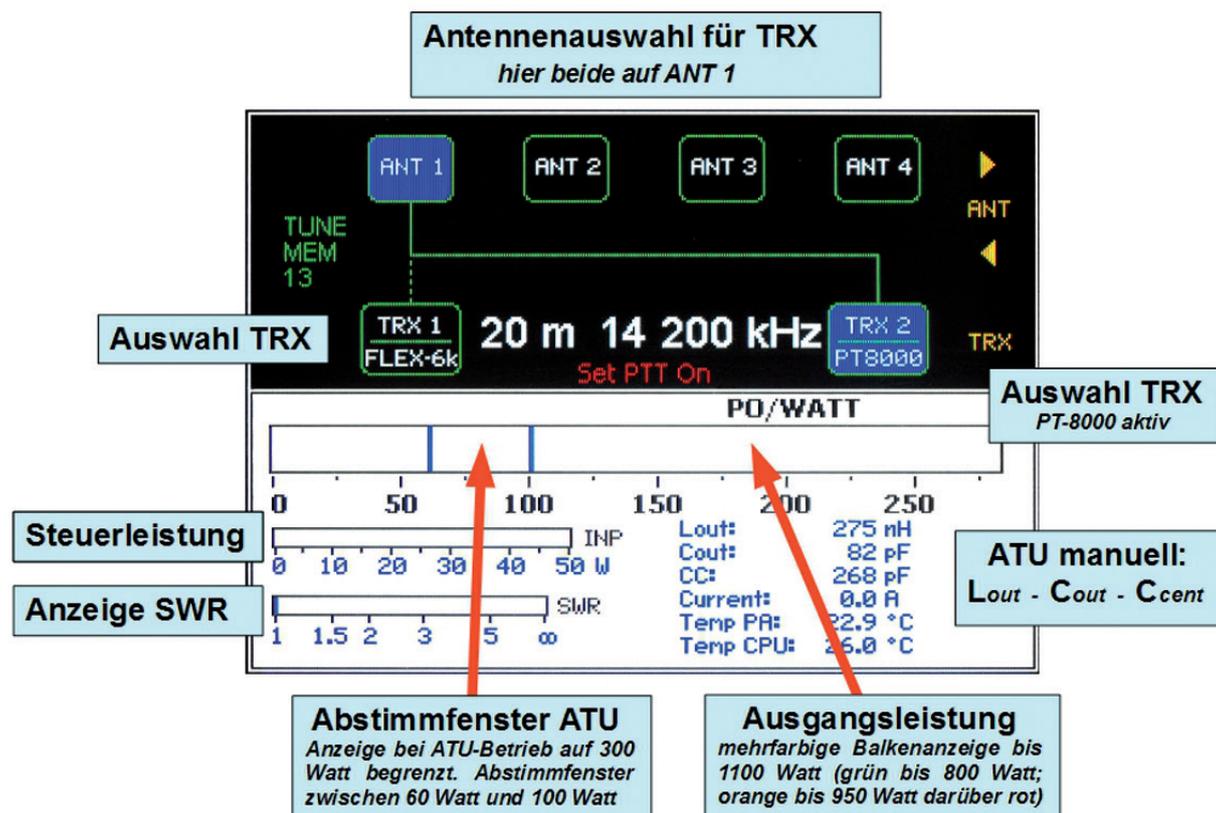


Bild 10: Das TFT-Display der PA beim Verfasser. FLEX-6000 und PT-8000A sind als Transceiver voreingestellt. Auch Geräte ohne CAT-Steuerung können genutzt werden – der PA-interne Frequenzzähler sichert die PA weitgehend vor Fehlbedienung ab

Exkurs: IMA bei Kaskadierung von Endstufen

Schaltet man Verstärkerstufen hintereinander (Kaskadierung), hat dies Konsequenzen für den daraus resultierenden Gesamt-IMA3 nach der letzten Stufe. Es lohnt daher, sich allgemein mit dem Problem zu befassen. Der mathematische Zusammenhang ist vor etlichen Jahren von Hans, DL2MDO, in idealisierter Form dargestellt worden. Sein Manuskript „Intermodulation in Sender und Empfänger“ ist im Forum www.dl0sdr.de veröffentlicht worden [13]. Die umfangreiche Untersuchung soll an dieser Stelle mit zwei Grafiken (Bild 11 und 12) und wenigen Faustregeln zusammengefasst werden. Reihenschaltung bzw. Kaskadierung von Verstärkern findet man innerhalb von mehrstufigen Verstärkern oder in der klassischen Form bei einem Transceiver (Exciter) und einer Leistungsendstufe (PA).

Werden Endstufen (gleich welcher Leistung) hintereinander geschaltet, kann der IMA nach der letzten Stufe niemals besser sein als der IMA der „schlechtesten“ Verstärkerstufe. Das ist plausibel – eine Kette ist nur so stark wie ihr schwächstes Glied. Für die praktische Arbeit des Entwicklers und für das Gesamtverständnis des Nutzers sind diese Faustregeln hilfreich, die an Hand von Transceiver und PA erläutert werden:

1. Besitzen Transceiver und PA den gleichen IMA, so ist der resultierende IMA3 um 6 dB schlechter
 2. Hat der Transceiver einen um 6 dB besseren IMA3 als die PA, so ist der resultierende IMA3 3,5 dB schlechter
 3. Hat der Transceiver einen um 10 dB besseren IMA3 als die PA, so ist der resultierende IMA3 2,5 dB schlechter
 4. Hat der Transceiver einen um 20 dB besseren IMA3 als die PA, so ist der resultierende IMA3 immer noch etwa 1 dB schlechter als der der PA alleine.
- Die beiden Grafiken auf der Basis von [13] stellen den Zusammenhang übersichtlich dar, sodass man unterschiedliche Kaskadierungen hinsichtlich des Gesamt-IMA3 prüfen kann. Aus den Faustregeln und den Grafiken lässt sich schnell ableiten, wie wichtig ein sauberer Transceiver ist, um den mühsam erzielten Erfolg einer linear arbeitenden PA nicht zu gefährden.

Wie in [13] ausgeführt, stellen die Rechnungen und die daraus abgeleiteten Faustregeln jedoch den ungünstigsten Fall dar, in dem sich die IM-Produkte von Transceiver und PA kohärent, d.h. phasenrichtig überlagern, was im realen Einzelfall aber nicht immer erfüllt sein wird.

In Einzelfällen können sich deutliche Abweichungen ergeben. Dies wurde in zahlreichen Versuchen der Validierung der Theorie sowohl von Hans, DL2MDO, als auch dem Verfasser deutlich. Offensichtlich machen sich hier komplexe Anteile bei der Anpassung von Transceiver und PA-Eingang bemerkbar, die zu Phasenverschiebungen führen, die nur schwer zu quantifizieren sind. Sie können im Einzelfall sogar zur Verbesserung des Gesamt-IMA der Kaskade aus Transceiver und PA führen! Da man sich auf diesen Fall aber nicht verlassen sollte, ist es ratsam, die oben gegebenen Faustregeln für den „worst case“ nicht aus dem Auge zu verlieren.

Zur Vermeidung negativer Effekte aus der Anpassung Transceiver/PA ist es oft ratsam, mit der 50-W-Verstärkungsstufe zu arbeiten wenn, wie im Fall des PT-8000A, die 200-W-Endstufe bei Reduzierung der Ausgangsleistung auf 20 W ein hoher IMA vorliegt. Die 10 dB Eingangsabschwächung der HPA-8000B hilft zusätzlich, komplexe Signalanteile entsprechend abzuschwächen. Wo immer ein Kleinleistungsausgang an Transceivern zur Verfügung steht (sie haben in der Regel einen hohen bis idealtypischen IMA), sollte man die hohe Verstärkung der HPA-8000B nutzen. Aber – hier ist noch genügend Raum für weitere Untersuchungen.

Die 13,8 V HF-MOSFET-Endstufen für 100 W, die gegenwärtig in den aktuellen KW-Transceivern genutzt werden, haben ihre physikalischen Grenzen hinsichtlich des IMA3. Mehr als 35 dBc (und das ist schon optimistisch) sind kaum zu erzielen. Fazit: Mit vertretbarem Aufwand sind der Absenkung der IM-Produkte physikalische Grenzen gesetzt. Dies hat dazu geführt, dass nach neuen Wegen zur substantiellen Verbesserung der Linearität vor allem kaskadierter Endstufen gesucht wurde.

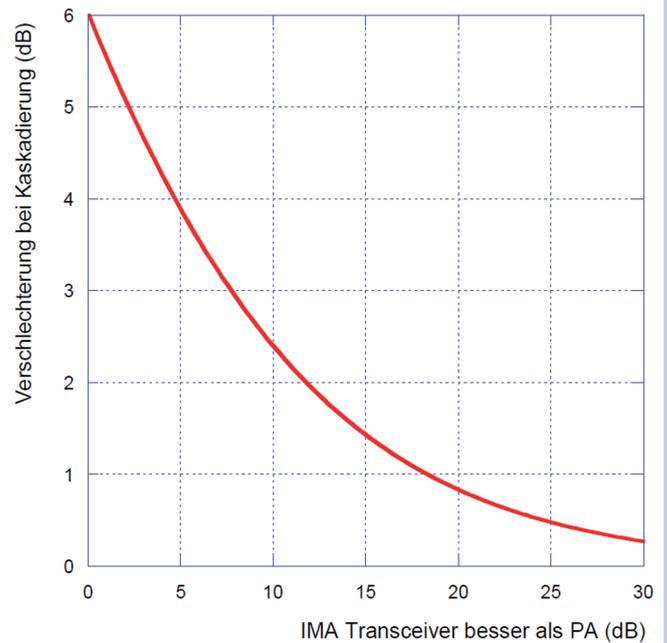


Bild 11: Bei Kaskadierung von Transceiver und PA verschlechtert sich der Gesamt-IMA gegenüber dem IMA der PA. Im Allgemeinen ist der IMA des Senders besser als der der PA. Das Bild zeigt den Einfluss des IMA des Transceivers. Erst wenn dieser um mehr als 20 dB besser ist als der der PA, ist die Verschlechterung vernachlässigbar (nach [13])

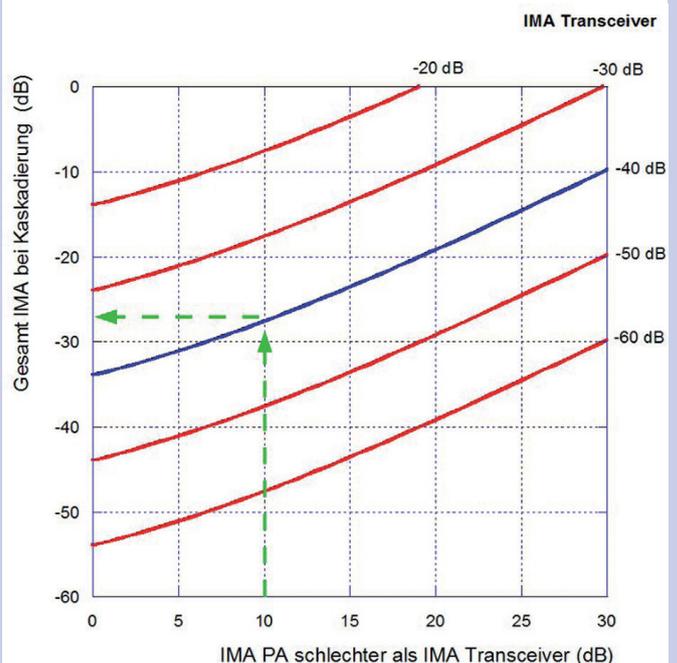


Bild 12: Das Bild gibt den Gesamt-IMA wiederum in Abhängigkeit von dem Wert in dB, um den der Transceiver-IMA besser ist als derjenige der verwendeten PA. Zur Abschätzung des Gesamt-IMA wählt man aus der Kurvenschar den IMA des Transceivers (Trx) und ermittelt je nach IMA der PA den resultierenden IMA3. Beispiel -40 dB Trx (blaue Kurve) und -30 dB der PA – also 10 dB schlechter als IMA Trx und liest als Gesamt-IMA etwa -28 dB auf der Y-Achse ab (nach [13])

Instrumentierung der Endstufe

Die HPA-8000B weist ein zum PT-8000A identisches TFT-Display auf (Bild 10), das, leicht nach hinten geneigt, unter allen Lichtverhältnissen gute Ablesbarkeit garantiert. Der Bildschirm kann in der Helligkeit abgestuft werden. Zahlreiche Betriebsparameter der Endstufe werden auf dem TFT-Display zur Anzeige gebracht –

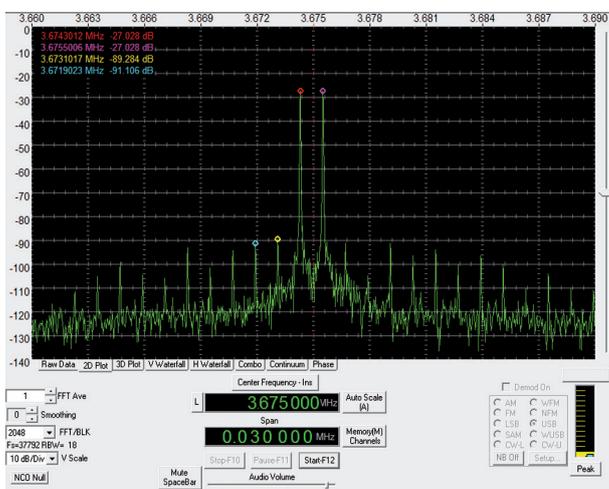


Bild 13: Exemplarische Messung des Intermodulationsstandes mit APD unter Verwendung von PowerSDR_mRX_PS_v3.3.9.0 und dem System HERMES [9]. Bei einer Leistung von 1 kW PEP konnte der IMA 3. Ordnung mit -62 dBc an der Dummy Load gemessen werden. Im praktischen Betrieb sind um die -55 dBc die Regel. Weitere Untersuchungen bei Verwendung unterschiedlicher „Sampler“ bzw. Auskoppelschaltungen folgen und sollten in einem separaten Beitrag zu APD dargestellt werden. Dort könnte dann bereits auch auf die modifizierte Software PureSignal 2.0 eingegangen werden

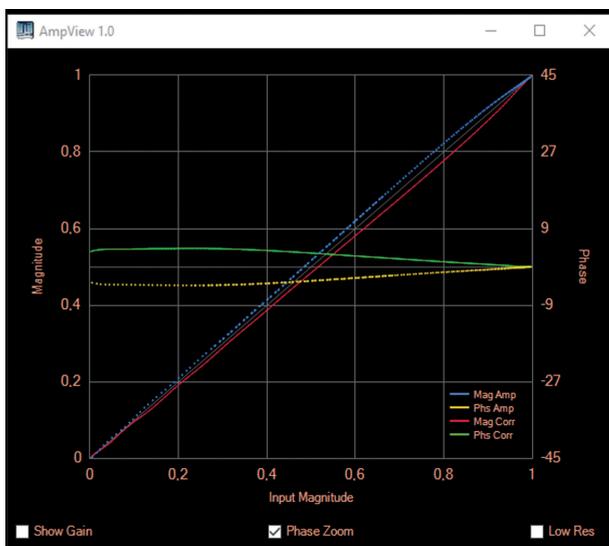


Bild 14: Das Softwaremodul „Pure Signal“ bietet eindrucksvolle Einblicke in die Korrekturen des Sendesignals in Phase und Verstärkung. Die Abweichungen vom idealtypischen linearen Verlauf verändern mit umgekehrten Vorzeichen das Eingangssignal. Dieser Vorgang läuft dynamisch ab. Das Thema ADP verdient es, in einem gesonderten Beitrag ausführlicher behandelt zu werden. Deshalb wird hier auf die Interpretation der Darstellung mit Einblicken in die Eigenschaften der PA (erkennbare Memory-Effekte, Arbeitspunkteinstellungen etc.) nicht weiter eingegangen

auf analoge Instrumente und Bedienorgane wurde gänzlich verzichtet. PA- sowie CPU-Temperatur und Stromaufnahme der beiden Endstufen-LDMOS werden numerisch angezeigt. Die Anzeige der Steuerleistung und des SWR sind mit Balkenanzeige realisiert. Im Display dominiert die Anzeige der Ausgangsleistung – ebenfalls als Balkenanzeige. Die Prüfung der Genauigkeit hat ergeben, dass auch Zweitensignale (PEP) hinreichend korrekt gemessen werden. Dies gilt auch für die Anzeige des SWRs. Besonders wertvoll ist die Anzeige der Betriebsfrequenz der Endstufe – mit Bandangabe und Frequenz in 1 kHz Auflösung. Wird ein Transceiver mit CAT-Steuerung verwendet, folgt die Anzeige synchron dem Tx-VFO. Dieser Zustand wird durch die Taste REMOTE mit LED signalisiert. Ohne CAT-Steuerung wird die Frequenz beim ersten Sendevorgang gemessen – die Anzeige bleibt dann auch während des Empfangsbetriebs stehen. Hier wäre ein Farbwechsel der Anzeige wünschenswert als Hinweis darauf, dass es sich um eine zurückliegende Frequenzbestimmung handelt.

Betriebserfahrungen HPA-8000B

Durch die Konfiguration der Steuersoftware der HPA-8000B auf unterschiedliche Protokolle für „CAT“ ist die Bedienung der Endstufe sehr komfortabel (Bild 15). Einem Bandwechsel des Transceivers folgt die PA ebenso wie der Wechsel des Tx-VFO bzw. bei SDR-Systemen den zahlreichen „Rx“ bzw. Slices/Panadapters, je nach Auswahl der Quelle für das Frequenzwort das zur PA gesendet werden soll. Zwei Steuersender können mit der PA verbunden werden – beide werden unabhängig voneinander hinsichtlich Steuerleistung und CAT-Protokoll konfiguriert.

Bis zu vier Antennen können angeschlossen werden – die Zuordnung der jeweiligen Steuersender zu den Antennen wird auf dem Display angezeigt, sodass man immer über die Konfiguration der Station informiert ist. Die vier Antennen können dabei jedem Transceiver und jedem Band individuell zugeordnet werden – bei häufigem Bandwechsel z.B. im Contestbetrieb ein wichtiger Faktor.

Noch ein Wort zum Contestbetrieb unter den Bedingungen „Single Operator 2 Radios (SO2R)“: Zwei Transceiver werden gleichzeitig an verschiedenen Antennen betrieben. Jeweils ein Sender kann die Endstufe benutzen. Diese Bedingungen werden aber empfangsseitig bei der

HPA-8000B nicht erfüllt – der nicht genutzte Transceiver ist mit keiner der zur Verfügung stehenden Antennen verbunden. Die sehr aufwändigen Schirmungsmaßnahmen bei den HF-Ein- und Ausgängen erkennt man an der Verteilerbox für die Transceivereingänge und den Antennenanschlüssen. Eingeschlossen in diese spezielle Schirmung ist auch der APD-Ausgang. Kein HF-Signal aus der PA wird im Empfangsfall durch die Box geschleift, sodass mögliche Störspektren aus den Schaltnetzteilen in den Transceivern nicht hörbar sind.

Mit den seitlich angebrachten Softkeys hat man die Steuersoftware schnell erkundet. Die Menüführung ist intuitiv – selten wird man hierfür auf das Handbuch zurückgreifen müssen.

Fehlbedienungen der PA oder des Steuersenders sowie Probleme mit den Antennen bzw. bei deren Auswahl werden durch zahlreiche Fehlermeldungen zur Anzeige gebracht. Überschreiten Ausgangsleistungen für mehr als 500 ms 1050 W, erscheint dies ebenso als Warnmeldung wie Leistungsspitzen von mehr als 100 ms jenseits von 1300 W.

Ist die Ausgangsleistung größer als 1500 W, wird die Endstufe sofort abgeschaltet. Auch ein Überschreiten des maximalen Drain-Stroms von 42 A (ca. 2100 W Gleichstrom Eingangsleistung) für mehr als 1000 ms führt zur Abschaltung. Als ultimative Absicherung sind in den Netzteilen noch elektronische Überstromsicherungen vorhanden. Sie werden nach Auslösung durch Aus- und Wiedereinschalten der PA zurückgesetzt. Gegen Fehlbedienung ist die Endstufe ausreichend geschützt. Der wohl gefährlichste Fall ist die Ansteuerung der PA auf dem falschen Band – hier könnte es zum „Abrauchen“ der Filter kommen.

Die HPA-8000B unterbricht innerhalb weniger Millisekunden den Sendevorgang (Wegschalten BIAS, Umschaltung auf BYPASS und Anpassung Filtereinstellung), wenn die Frequenzmessung ergibt, dass die Filtereinstellungen nicht passend sind. Bei einem erneuten Sendeversuch sind die Filtereinstellungen bereits korrigiert.

Automatischer und Manueller Betrieb der ATU

Für den korrekten und optimalen Einsatz der ATU-Funktion im automatischen und manuellen Betrieb ist das sorgfältige Studium des Handbuchs Voraussetzung. An dieser Stelle soll nur auf grundsätzliche Eigenschaften der ATU hingewiesen werden. Der Tuner sollte

in der Regel vollautomatisch betrieben werden, kann aber auch manuell eingesetzt werden. Die mittlere Kapazität (Ccent) sollte bei einem SWR von 2,5 bis 3 zusätzlich im manuellen Betrieb durch zwei Softkeys variiert werden.

Die ATU-Funktion des Filters ist in der Lage, Fehlanpassungen mit SWR bis zu 3,0 ausgleichen. Bei höherem SWR greift die Schutzschaltung und unterbindet den Sendebetrieb. An Hand eines externen LC-Kopplers und eines Vektoriellen Netzwerkanalysators (VNA) konnte auf 160, 80, 40 und 20 m exemplarisch bestätigt werden, dass kapazitive wie induktive Blindanteile bis zu einem SWR von 3,0 mit der internen ATU kompensiert werden. Bei der ATU-Abstimmung ist darauf zu achten, dass die Abstimmleistung innerhalb eines in der Leistungsanzeige markierten Fensters bleibt. Sollte im Zuge des Abstimmvorgangs die Ausgangsleistung aus dem Fenster nach unten weglaufen, lohnt oft ein zweiter Abstimmversuch mit höherer Steuerleistung, um ein besseres Abstimmergebnis zu erhalten. Der manuelle Betrieb empfiehlt sich als „Feinabstimmung“ erst nach einer automatischen Anpassung. Besonders schön ist die Anzeige der absoluten Werte von L_{out} [nH], C_{out} [pF] und C_c [pF] im Display, wenn die Betriebsart „Manuell“ gewählt wurde. Verschiedene Fehlermeldungen unterstützen die Bedienung des Tuners.

Softwareupdate

Das Laden einer neuen Betriebssoftware stellt kein Problem dar. Ein PC oder Notebook mit Windows-Betriebssystem ist notwendig. In der Endstufe ist ein RS-232 zu USB-Adapter integriert, der vom PC als COM-Port erkannt wird. Die jeweilige COM-Port-Nummer ist durch die Windows-Systemsteuerung zu ermitteln und im Updateprogramm einzugeben – der Aktualisierung der Software steht jetzt nichts im Wege. Die HPA-8000B-Firmware berücksichtigt die in DL zugewiesenen Amateurfunkbänder. Da am 21. Dezember 2016 für DL das 60-m-Band freigegeben worden ist, wird im Hinblick auf Leistungserhöhungen oder des Einsatzes in anderen EU-Ländern die Firmware des HPA-8000B sicherlich angepasst werden. Die freie Konfigurierbarkeit der Ausgangsfilter/ATU hat hier natürlich Vorteile. Insgesamt ist der durch den Hersteller geleistete Support vorbildlich. Über Software-Updates wird unmittelbar benachrichtigt. Erfahrungen mit der Software im Rahmen der umfangreichen Er-

probung durch den Verfasser flossen zügig in die Weiterentwicklung der Software ein.

Testbedingungen

Die Erprobung bzw. der Praxistest der HPA-8000B erfolgten mit einem PT-8000A in beiden Leistungsstufen (10 W und 200 W), der FLEX-6000-Baureihe (6700/6300) mit 10 mW (XVTR-Ausgang) bzw. 100-W-Endstufe und dem HPSDR-System HERMES (reduziert auf 100 mW). Als Dummy Load wurde u.a. ein 1250-W-Abschlusswiderstand der Fa. Spinner (bis 1 GHz) verwandt. Leistungsmessungen erfolgten mit Geräten der Fa. BIRD (Model 43 und Model 4391) sowie dem Pegelmessgerät PWRM1. Die Spektrumanalysen wurden mit den Geräten ADVANTEST R3261A und dem SDR RF-Space IQ ausgeführt (Software SpectraVue [18]). Streuparameter Messungen (S22/S11) erfolgten mit dem DG8SAQ VNA 3E [16] [19]. Als 2-Ton-Generatoren (wenn nicht über SDR-Software wie PowerSDR oder SpectrumLab unter Nutzung der DAX-Schnittstelle) wurden zwei Wandelt & Goltermann PMG 13 sowie der FA-IQ-DDS eingesetzt.

Schlussbewertung

Diese Leistungsendstufe aus dem Hause Hilberling hält grundsätzlich, was das Firmenprospekt verspricht. Die Linearität der PA ist über alle Bänder beurteilt sehr gut. Ihr Einsatzgebiet reicht weit über die auch optisch gelungene Kombination mit dem HF/VHF-Transceiver PT-8000A hinaus. Die universelle CAT-Steuerung, die bei Bedarf hohe Verstärkung mit drei Steuerleistungsbereichen, der integrierte RF-Sampler nicht nur für den Betrieb mit „Predistortion“ in Verbindung mit SDR-Technik sowie das neuartige, Software gesteuerte Senderausgangsfilter als Kombination von LPF und ATU qualifizieren diese Endstufe zum „Allrounder“ für den Amateurfunkbetrieb.

Diese Endstufe ist „standfest“ – insbesondere im fordernden Contestbetrieb bzw. bei hoher Durchschnittsleistung über einen längeren Zeitraum. Aber auch im Alltagsbetrieb bietet sie dem Funkamateurliebhaber etliche Optionen.

Ist die HPA-8000B also ihr Geld wert? Bei der individuellen Beantwortung dieser Frage könnte berücksichtigt werden, dass auf einen in dieser Leistungsklasse nicht billigen externen Tuner mit dieser Endstufe verzichtet werden kann. Koaxgespeiste resonante Antennen sollten an den Bandenden ebenso sicher

angepasst werden können wie Breitbandantennen vom Typ T2FD oder LogPeriodic. Die klare Bejahung der Frage aus Sicht des Verfassers enthält, wie nicht anders zu erwarten, auch subjektive Elemente. Wer Freude an der Ingenieurskunst aus DL und Respekt vor solider Wertarbeit hat, wird diese PA mit hoher Befriedigung sein Eigen nennen wollen. Soll heißen: über den reinen sehr flexiblen und komfortablen Nutzen hinaus macht die HPA-8000B im täglichen Betrieb schlicht Spaß. Ähnlich wie beim PT-8000A ist nur schade, dass man nicht ständig hineinschauen kann ... 

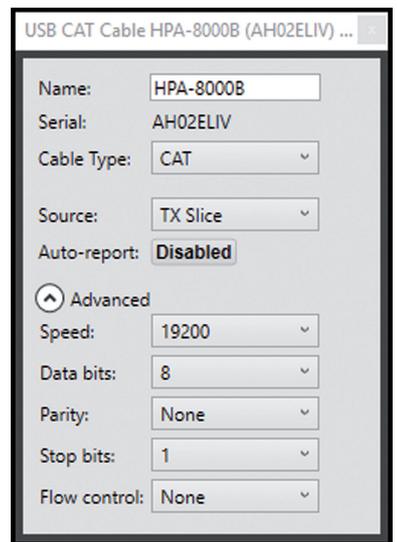


Bild 15 zeigt die Konfiguration der CAT-Steuerung im SmartSDR [17]. Die Geräte der FLEX-6000 Baureihe werden über einen USB-RS232 Adapter (FTDI) mit einem USB-Kabel direkt mit der COM-Schnittstelle der HPA-8000B verbunden. Die Schnittstelle ist derzeit vorprogrammiert für Elecraft, FlexRadio Systems, Kenwood, Reuter, Icom, Kenwood, TenTec und Yaesu. Die Steuerung der PA erfolgt damit komfortabel hinsichtlich Frequenz und Band

Literatur und Bezugsquellen

- [9] Siehe <http://openhpsdr.org/index.php>. Die Website bietet eine Fülle von Informationen zu HPSDR. Auch die Software OpenHPSDRPower SDR ist hier kostenfrei zu beziehen.
- [10] Helmut Oeller, DC6NY, hat einen Selbstbaukoppler entwickelt: www.hamsdr.com/data/GlobalFileUploads/9636__RF%20Sampler%20for%20Pre.pdf. Ein kommerzieller RF-Sampler ist z.B. hier zu finden: <http://preciserf.com/shop>
- [11] Siehe die Aufzeichnung der „Teamspeak“-Sitzungen ab November 2016: <http://hamsdr.com/dnld.aspx>
- [12] Siehe im entsprechenden Verzeichnis unter „dB Volume“ o.ä. Software
- [13] H. Hartfuß, „Intermodulation in Sender und Empfänger“, in www.dl0sdr.de, bzw. über dk7xl@darco.de oder dl2mdq@t-online.de erhältlich
- [14] Siehe Adam Farson, VA70J/AB40J, auf seiner Website: www.ab40j.com/quadra/icas.html
- [15] <http://elektronikbasteln.pl7.de/rfsim99-filter-berechnung.html>
- [16] Siehe <http://darcoverlag.de>
- [17] www.flexradio.com/downloads/usb-cable-interface-guide-pdf
- [18] Die Bilder 5 und 11 sind Screenshots von der Software „SpectraVue“-siehe: www.rfspace.com/RFSPACE/SpectraVue.html
- [19] Siehe Gerfried Palme: Messen mit dem Vektor-Netzwerkanalysator VNWA2/VNWA3“ 4. Auflage 2014