

Optimierung des Konzeptes und Einrichtung der Serienfertigung (3)

Der HF-/VHF-Transceiver PT-8000



Klaus Lohmann, DK7XL

Der dritte und letzte Teil des Beitrag geht speziell auf die Baugruppen des Senders und die der unterschiedlichen PAs ein.

VHF-Betrieb

Im PT-8000 ist der VHF-Bereich kein „Zusatz“, sondern konzeptionell und in der Schaltungsausführung integraler Bestandteil des Transceivers. Der schon beschriebene 1. Mischer sowie die Hybridverstärker halten ihre Spezifikationen zum Teil bis in den UHF-Bereich. So steht mit dem PT-8000 ein großsignalfester Transceiver (IP3 +39 dBm) auch für 2 m bzw. als Nachsetzer zur Verfügung. Senderseitig wird das VHF-Signal bis zur Senderendstufe identisch aufbereitet. Die FET-Treiberstufe liefert die Ausgangsleistung von 10 W im Klasse-A Betrieb von 1,8 MHz bis 148 MHz.

Pegelplan, AGC-Konzept und S-Meter

Wie bereits erläutert, kommt dem Pegelplan gerade für das Großsignalverhalten des Empfängers besondere Bedeutung zu. Deshalb wurde die Gesamtverstärkung vom Eingangsteil bis zur 2. ZF auf 0 dB begrenzt. Das heißt aber auch, dass die anschließende Verstärkung auf der 2. ZF mit mehr als 90 dB erfolgen muss. Damit ist zwangsläufig verbunden, dass der erste AGC-Eingriff nach dem 2. Mischer erfolgt. Drei

Verstärkerstufen mit einem Regelumfang von je 42 dB beschreiben den Regelumfang der beiden Empfänger. Der Regeleinsatz ist dabei so gewählt, dass erst ab ca. 1 μ V Signalpegel die AGC wirksam wird. Würde die S-Meter-Anzeige direkt aus der AGC-Spannung gewonnen, was sonst üblich ist, wäre die Anzeige entsprechend fragwürdig für kleine Signalpegel.

Der PT-8000 geht hier den aufwändigeren Weg: Für die S-Meter-Anzeige existiert ein eigener Signalzug, sodass bereits kleinste Pegel erfasst werden. Darüber hinaus wird die Anzeige per Software bei wechselnder Rx-Konfiguration konstant gehalten: Ob mit oder ohne Vorverstärker oder mit/ohne Preselektor (der abhängig vom Frequenzbereich immer eine Dämpfung aufweist) – die abgelesene Feldstärke entspricht der Eingangsspannung bzw. -leistung an der Antenne. Für die S-Meter-Anzeige kann die Dimension gewählt werden: S-Einheiten; dB μ V oder dBm. Die Auflösung und Genauigkeit des S-Meters von 0,5 dB ergibt so auch Sinn.

Der Sender

Die Signalaufbereitung des Senders erfolgt mit beträchtlichem Aufwand, den

der ISB-Betrieb erfordert. Die Eingangssignale (Mikrofon und Dateneingang 0 dBm Pegel) sind galvanisch getrennt und durch Haufe-Übertrager (Mu-Metall geschirmt, 600- Ω -Technik) mit den Signalquellen verbunden. Eine senderseitige DSP, die in Verbindung mit den Quarzfiltern für die Festlegung der scharf begrenzten Bandbreiten sorgt, stellt im NF-Bereich einen Equalizer mit drei Kanälen zur Verfügung. In SSB wird die Seitenbandlage wie beim Empfänger durch die LO2-Frequenzlage bestimmt (Summen- bzw. Differenzbildung mit 70,7 MHz). Der FM-Modulator weist eine Besonderheiten auf: Die referenzgenaue BFO-Frequenz wird durch zwei geteilt und anschließend phasenmoduliert. Nach der folgenden Frequenzverdopplung entsteht so eine echte Frequenzmodulation. Zwei separate 16-polige Filter für beide Seitenbänder entsprechen dem Aufwand, wie er bei den Empfängern betrieben wird. Ein drittes 16-poliges

Bild 10:
Ansicht der 600-W-PA-Baugruppe



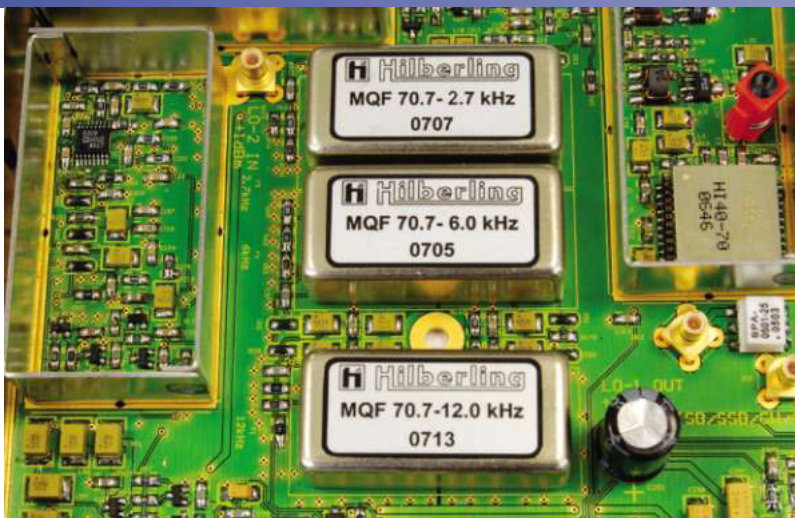


Bild 11: 70,7-MHz-Tx-Filter, die auch zur Verbesserung der spektralen Reinheit des Tx verwendet werden

Quarzfilter steht für die Signalaufbereitung mit dem HF-Kompressor (außer im ISB-Betrieb) zur Verfügung. Durch die unabhängige Aufbereitung der beiden Seitenbänder gestaltet sich AM besonders professionell; den Seitenbändern wird nur ein Träger beliebiger Amplitude zugesetzt. So ist auch Einseitenband-AM möglich (AME).

Nach Mischung auf 70,7 MHz gelangt das Signal über 6-polige Quarzfilter, die mit den Vorfiltern des Empfängers identisch sind und für wirksame Absenkung der Rauschseitenbänder (Weitabselektion) sorgen, über ALC-Verstärker zum Tx-Mischer. Wegen der guten Intermodulationseigenschaften sind auch hier

die +40-dBm-Mischer (IP3) aus dem Rx eingesetzt. Anschließend wird das Signal erneut durch einen Hybridverstärker (1,8 MHz–148 MHz) mit 24 dB verstärkt und steht nun mit +20 dBm (100 mW) extern für den Transverbetrieb und intern zur weiteren Verstärkung durch den Endstufentreiber (der die PA für VHF darstellt) zur Verfügung.

Leistungsendstufen 10/100/600 W

Der PT-8000 kann mit drei Tx-Endstufen [10] erworben werden:

- PT-8000C mit 10 W. Bei dieser Version stellt die in allen Versionen verwendete Treiberstufe (1,8 MHz bis 148 MHz) die PA dar, bei deren Auslegung auf linearen Betrieb Wert gelegt wurde. Die Anzahl der Funkamateure mit Freude am Bau von Endstufen hoher Leistung mit herausragender spektraler Reinheit steigt. Oftmals sind diesen Bemühungen durch die verfügbaren Steuersender Grenzen gesetzt. Der PT-8000C stellt mit seiner 10-W-PA, die im A-Betrieb läuft, SSB-Signale bei einer max. Ausgangsleistung von 2,5 W mit bis zu -51 dB Absenkung der IMD3-Produkte zur Verfügung.

- PT-8000A mit 100 W, die von vier 13,8-V-HF-MOSFET, jeweils getrennt im Arbeitspunkt justiert und je zwei parallel geschaltet, erzeugt werden. Die PA weist bei Nennleistung einen IMD3-Abstand von -36 dB auf. Bei 60 W werden besser als -40 dB erreicht. Die 13,8-V-Technik kann aber in dieser Hinsicht als ausgereizt gelten.

- PT-8000B mit 600 W (1,8 MHz–54 MHz). Seine Endstufe kann zu Recht als Weltneuheit gelten – erstmals kommen HF-MOSFET mit 100 V Drainspannung zum Einsatz. Zwei Transistoren vom Typ SD3933 reichen

aus, um diese Leistung bei einem Wirkungsgrad von bis zu 70 % zu erzeugen. Dabei ist der Abstand der IMD3-Produkte besser -36 dB.

Auch die A/B-Modelle können auf den linearen Betrieb mit ihrer identischen 10-W-Treiberstufe geschaltet werden. Zwei Aspekte sind besonders interessant an der 600-W-PA. Einmal gestaltet die 100-V-Technik die Ausgangstransformation besonders einfach, da die Impedanzen bei 86 V Drainspannung ca. 25 Ω (für einen Transistor: $R_a = U_D^2/P$) liegen und sich im Gegentaktbetrieb zu 50 Ω Ausgangsimpedanz addieren lassen. Das reduziert zusätzlich den ohnehin bei nur zwei Transistoren geringen Schaltungsaufwand. Zum anderen ist der Wärmehaushalt bei 600 W Ausgangsleistung eine Herausforderung, da selbst bei bis zu 70 % Wirkungsgrad der SD3933 ein paar hundert Watt abgeleitet werden müssen. Eine 5 mm dicke Kupferplatte in Verbindung mit einem Alu-Kühlkörper und ein Tangentiallüfter über die gesamte Breite des Kühlkörpers erledigen diese Aufgabe. Erleichternd kommt hinzu, dass die SD3933 mit hoher Verstärkung (ca. 26 dB) betrieben werden können. So entfällt die sonst übliche thermische Verlustleistung der Treiberstufe. Die PT-8000A/B unterscheiden sich kaum: Kühlkörper, Lüfter, Antennentuner und Diplexer sind identisch, d.h., für die 100-W-Version sind diese Baugruppen weit überdimensioniert.

Diplexer 1,8–52 MHz und Antennenkoppler

Die guten Intermodulationswerte der Leistungsendstufen – insbesondere der 600-W-PA – werden u.a. durch die Diplexer erreicht. Viele Funkamateure bedienen sich des Prinzips des Split-Filters zur Verhinderung der Abstrahlung von Oberwellen (meist dimensioniert für $f_g > 30$ MHz). Der PT-8000 verfügt über acht derartige Filter-Diplexer, sie sind Bestandteil der Oberwellenfilter und direkt nach den Ausgangsübertragern angeordnet und für den HF/VHF-Bereich (1,8 MHz–52 MHz) dimensioniert. Harmonische werden dadurch nicht mehr an den Tiefpassfiltern reflektiert, sondern mit einem 50- Ω -Absorber-Hochlastwiderstand von 30 W abgeleitet. Aus Sicht des Verfassers ist dies nachahmenswert für den Selbstbau von Transistor-PAs.

Um den Endstufen stets optimale Arbeitsbedingungen, d.h., Leistungsanpassung zu bieten, was dem Wirkungs-

Bild 12:
Alle Baugruppen sind mit abgeschirmten Leitungen und vergoldeten Steckern verbunden



grad und der spektralen Reinheit zu Gute kommt, weist auch der PT-8000A/B einen automatischen Antennenkoppler auf, der in beiden Versionen für 600 W dimensioniert ist. Ein L-Glied wird für hohe und niedrige Impedanzen geschaltet. Die Induktivitäten sind 8 Bit binär in 25-nH- und die Kapazitäten ebenfalls 8 Bit in 10-pF-Schritten abgestuft. Die Variationsbreite reicht, um koaxgespeiste, resonante Antennen über die gesamte Bandbreite der Amateurfunkbänder zu betreiben. Die Sende/Empfangsumschaltung geschieht in allen Versionen im Sender-Signalweg mit Pin-Dioden (QSK-Betrieb).

Netzteil HN-8000

Zu den drei PT-8000 Modellen werden zwei unterschiedliche Netzteile hergestellt: A- und C-Modell werden über ein Schaltnetzteil, das 13,8 V bei max. 40 A liefern kann, versorgt. Das B-Modell mit 600 W Ausgangsleistung enthält ein weiteres Schaltnetzteil, das bei 100 V bis zu 1,5 kW liefert. Beide Netzteile zeigen mit einem Instrument die Gleichstromeingangsleistung der PA an, sodass zusammen mit der Anzeige der HF-Ausgangsleistung leicht der jeweilige Wirkungsgrad der PA bestimmt werden kann.

Beide Netzteile entsprechen den internationalen Bestimmungen, sie sind für den Betrieb von 90 V bis 260 V ausgelegt und verfügen über eine entsprechende PFC Schaltung (Power Factor Correction). Für externe Stationskomponenten gibt es einen Ausgang 13,8 V/5 A an der Rückseite.

Schlussbetrachtung

Gemäß der eingangs erläuterten Zielsetzung dieses Beitrages soll auf eine ausführliche Schilderung der Eindrücke vom praktischen Betrieb des Gerätes verzichtet werden – auch um jedem Anschein eines „Testberichtes“ entgegen zu wirken. Auf diese ersten Testberichte darf man zu Recht gespannt sein. Der Verfasser ist allerdings davon überzeugt, dass mit dem PT-8000 insbesondere dem Amateurfunk ein Transceiver zur Verfügung steht, der nahezu kompromisslos für diesen Zweck optimiert ist und das für unsere Ansprüche mit der Kombination von Analog- und Digitaltechnik noch sinnvoll Machbare darstellt. Hans Hilberling wird öfter gefragt, wieso er sich so sehr auf die Analogtechnik abstützt. Neben ganz per-

sönlichen Präferenzen führt er immer wieder an, dass seiner Erfahrung nach passive Bauelemente in ihrem dynamischen Verhalten und Rauschen einem „gesampelten“ Signal aus einem A/D-Wandler (noch) vorzuziehen sind. Werden digitale Signalverarbeitungsstufen übersteuert, sind die folgenden Signalzüge in der Regel völlig unbrauchbar [11, 12]. Für den PT-8000 stellt sich die Alternative Analog- oder Digitaltechnik nicht. Die besten Möglichkeiten beider Technologien werden kombiniert genutzt.

Hans Hilberling, DK7LG, hat ein Sende-/Empfangsgerät nach den Regeln der Kunst der Hochfrequenztechnik geschaffen. Der Verfasser ist Hans Hilberling zu Dank verpflichtet, dass er ihm in den vergangenen Jahren bei der Ge-

burt und Vorbereitung der Serienproduktion des PT-8000 für den Weltmarkt „über die Schulter“ hat schauen können. Ohne die ungezählten (Nacht)Stunden, die mit der Diskussion des Konzeptes und der technischen Realisierung dieses industriell gefertigten Gerätes gemeinsam verbracht wurden, wäre dieser Bericht und die damit verbundenen Einblicke nicht möglich gewesen.

Die Öffentlichkeit daran teilhaben zu lassen ist aber nur möglich, weil Hans Hilberling sich zur Offenlegung der Technik und speziellem „Know-how“ entschieden hat – was angesichts des in jeder Hinsicht hohen Einsatzes nicht als Selbstverständlichkeit angesehen werden sollte.

CQDL



Neue Speisetechnik für Magnetic Loops

Mitte der 90er Jahre habe ich die erste Magnetic-Loop-Antenne auf 80/40/30 m getestet. Als Eigenbaukonstruktion ausgeführt, wurden mehrere Varianten ausprobiert. Als bestes Ergebnis konnten im Vergleich mit einem Dipol $-10...-12$ dB festgestellt werden.

Schon damals war mir aufgefallen, dass man die Einkoppelschleife nicht auf jedem Band optimieren kann. In der Zwischenzeit sind über die Einkoppelung viele Artikel erschienen, aber das Kernproblem des SWRs wurde nicht vollständig gelöst. Im Internet findet man zwar viele Baubeschreibungen zu Magnetic Loops, in Sachen Einkoppelung gehen die Meinungen jedoch auseinander.

Am 20. März habe ich mit György Plósz, HA6ZB, einem erfahrenen Rundfunk-Ingenieur die Problematik mit professioneller Messtechnik unter die Lupe genommen. Ziel war ein SWR-Minimum auf jedem abstimmbarem Band zu erreichen. Eingesetzt wurde ein Loop-Ring mit 1,2 m Außendurchmesser, bestehend aus 20-mm-Kupfer-Rohr.

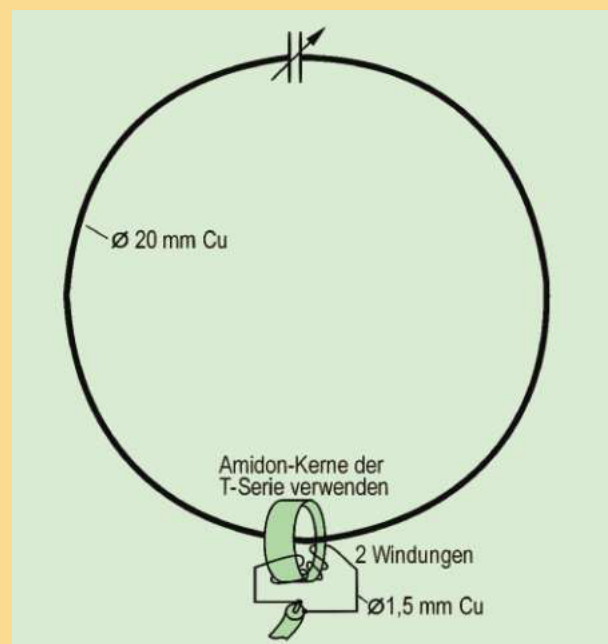
Für die Einkoppelung haben wir mehrere Ringkerne getestet. Die besten Ergebnisse wurden erreicht mit der T-Serie, konkret einem T200-2 mit

2 Windungen aus 1,5 mm Cu-Draht. Ringkerne der FT-Serie funktionierten zwar auch, aber zogen eine nicht so ausgeprägte Resonanz der Loop nach sich.

Mit verschiedenen Messmethoden sind wir immer zum gleichen SWR gekommen – 1 : 1,01 im Bereich von 3,5...10,1 MHz. Für diese Einkoppelungsmethode war deren Position absolut egal, der Ringkern konnte sich bei „6 Uhr“, „9 Uhr“ oder auch „3 Uhr“ befinden. Die erzielte Bandbreite ist jedoch bedingt durch die Speisetechnik noch schmaler geworden.

Wir werden mit dieser Speisetechnik noch weitere Versuche unternehmen.

László Rusvai, DL2JTE



Prinzip der Speisung