

Deutsche Spitzentechnologie: KW/VHF-Transceiver PT-8000 – analog und digital im Einklang

KLAUS LOHMANN – DK7XL

Schon seit längerem ist bekannt, dass die Firma Hilberling GmbH aus Rendsburg einen Amateurfunktransceiver, PT-8000, entwickelt – angekündigt als Weltneuheit. Die Erwartungen sind dementsprechend hoch. Der Autor verfolgte die Entwicklung von Beginn an mit großem Interesse und konnte mit dem Konstrukteur ausführlich darüber diskutieren. Seit Mai 2006 steht ihm ein Prototyp des PT-8000A zur Verfügung.

Dieser Beitrag soll keinen umfassenden Testbericht darstellen, sondern von der in der Amateurfunktechnik bislang einmaligen Konzeption und technischen Realisierung sowie von ersten Eindrücken im praktischen Betrieb mit einem Prototyp berichten.

Amateurfunk in noch vertretbarem wirtschaftlichen Rahmen. Entscheidenden Einfluss hatte auch das Ziel, vollwertigen ISB-Betrieb (Independent Sideband – unabhängige Modulation der beiden Seitenbänder eines DSB-Signals) realisieren zu können. So lassen sich gleichzeitig Spra-



Bild 1: Ein Prototyp des PT-8000A bei DK7XL, vgl. auch Titelbild. Das Gerät wird es für kommerzielle Anwendungen auch in anderem Design geben. Fotos: DK7XL

Das Entwicklungsziel bestand in einem ausschließlich auf die Belange des Amateurfunks optimierten Transceivers. Die intimen Kenntnisse schöpft der Konstrukteur, Hans Hilberling, DK7LG, einerseits aus langjähriger Amateurfunkpraxis, s. [1]. Andererseits hat er viele Jahre als Entwicklungsingenieur für Nachrichtentechnik an der Konstruktion von Sende-Empfängern für Luft- und Seefahrzeuge gearbeitet. Dazu kommen die z.T. in Deutschland einmaligen (mess)technischen Möglichkeiten seines professionellen HF-Entwicklungslabors.

Leitlinie für die Entwicklung war die Realisierung von Spitzentechnologie für den

che und auf dem anderen Seitenband z.B. Bildinformationen übertragen. Das erfordert aber meist Bandbreiten über 2,7 kHz, sodass ein ISB-Betrieb erst oberhalb 28,500 MHz infrage kommt. Weiteres entscheidendes Merkmal des Transceivers PT-8000 sind zwei absolut gleichwertige und unabhängige Empfänger für die Amateurfunkbänder von 1,8 bis 144 MHz.

Das Gerät wird in drei Varianten als PT-8000A, B und C ausgeliefert, die sich lediglich in der Sendeleistung auf den Kurzwellenbändern einschließlich 50 MHz unterscheiden. Modell A verfügt über eine 13,8-V-MOSFET-PA mit 100 W. Das B-

Modell darf wegen der Leistungsstufe als Weltneuheit gelten: Lediglich zwei 100-V-MOSFETs sorgen für bis zu 600 W Ausgangsleistung. Das C-Modell erzeugt mit der Klasse-A-MOSFET-Treiberstufe der A/B-Modelle 10 W Sendeleistung.

■ Äußerer Eindruck

Nüchternheit und mechanische Solidität des Aluminiumgehäuses unter Verzicht auf optische Effekthascherei deuten in Richtung professioneller Sende-Empfänger für zivile und militärische Einsatzgebiete. Klar in Funktionsgruppen gegliederte und sämtlich mit Druckfunktion belegte Drehknöpfe beherrschen die Frontansicht. Das zentrale TFT-Display, rechts von großen „Softkeys“ flankiert, rundet diesen Eindruck ab.

Das Innere des ohne Netzteil etwa 25 kg auf die Waage bringenden Geräts bestätigt den Eindruck professioneller Nachrichtentechnik. Zahlreiche Baugruppen sind auf mit DIN-Stiftleisten versehenen Karten angeordnet (Bild 2). Sie beherbergen in geschirmten Kammern untergebrachte Module. Die in 50-Ω-Technik ausgeführten HF-Baugruppen sind über vergoldete, professionelle Koaxial-Steckverbindungen in SMB-Norm per Koaxialkabel verbunden. Die Leiterplatten auf der Unterseite des Gerätes enthalten zahlreiche Leuchtdioden, die Betriebszustände signalisieren, der Spannungsüberwachung dienen und den Datenaustausch mit dem Hauptprozessor anzeigen. Kabelbäume wurden durch wenige Flachbandkabel ersetzt, die die Hauptbaugruppen verbinden und zwar zumeist über das „Motherboard“, das die sechs vertikalen Leiterplatten trägt.

Die Dokumentation enthält auch umfassende Schaltungsunterlagen. Die Fa. Hilberling hat sich erfreulicherweise weitgehend zur Offenlegung ihres Know-how am PT-8000 entschieden. Die Bedienungsanleitung umfasst gegenwärtig 65 Seiten. Der PT-8000 kann auch als Plattform für komplexe Erweiterungen, z.B. mit Transverttern, dienen.

Zum PT-8000A wird ein 13,8-V/30-A-Schaltnetzteil in Industriequalität geliefert, das vollständig gekapselt, mit Vergussmasse versiegelt ist und ohne Lüfter auskommt. Das Netzteil für den PT-8000B wird mit einem zusätzlichen 100-V/12-A-Modul ausgerüstet sein. Das Netzteil für den PT-8000C liefert 13,8 V/10 A. Alle arbeiten weltweit mit Netzspannungen zwischen 100 und 270 V.

Zum Lieferumfang gehört weiter das speziell entwickelte und im Design dem PT-8000 angepasste dynamische 600-Ω-Mikrofon T9, das HF-geschirmt, körperchallisoliert und für Nahbesprechung optimiert ist.

■ Empfänger

In der Nachrichtentechnik setzen sich immer mehr Niedrig-ZF oder gar Null-ZF-Konzepte durch. Ihr wesentlicher Nachteil besteht darin, dass die Spiegelfrequenzen mit analogen Schaltungstechniken nur schwer beherrschbar sind. Die Quadraturmodulation/-demodulation in Verbindung mit der digitalen Signalverarbeitung verschafft hier grundsätzliche Vorteile und hat so diesem (alten) Konzept wieder Aktualität verschafft.

Die Digitalisierung des Signals erfolgt „immer näher an der Antenne“; die klassischen analogen Eingangsteile (Frontends) der Empfänger schrumpfen. Solche Send- und Empfangssysteme werden weitgehend durch flexible Software definiert. Diese heute in der kommerziellen Nachrichtentechnik unverzichtbare Technik kennen wir im Amateurfunk als „Software Defined Radio“.

Der PT-8000 geht den „klassischen“ Weg, wie aus dem Ausschnitt des Empfänger-Übersichtsschaltplans, Bild 4, zu ersehen ist. Zusammen mit neuen Bauteilen bieten bewährte Analog-Konzepte noch erhebliches Potenzial zur Leistungssteigerung. Der PT-8000 verfügt beispielsweise unabhängig von den beiden identischen Empfängern über ein getrenntes Antenneneingangsteil.

Mischerkonzept

Der PT-8000 arbeitet als Doppelsuperhet. Das Empfangssignal wird über einen schaltbaren Vorverstärker und ebenfalls schaltbaren Preselektor auf den 1. Mischer geführt, der auf die 1. ZF von 70,7 MHz umsetzt. Darauf folgen unmittelbar eine Verstärkung, anschließend eine erste in der Bandbreite wählbare steiflankige Selektion mit achtpoligen Quarzfiltern (Roofing-Filter) sowie anschließend die Mischung auf die 2. ZF von 10,7 MHz.

Bei der klassischen Filterung nach dem Mischer würden sich die Mischverluste zu den Filterverlusten addieren. Vorteilhaft dagegen ist der Wegfall Intermodulation provozierender aktiver Bauelemente im Umfeld des Mixers. Im PT-8000 wird dagegen hinter dem Mischer großsignalfest verstärkt; neue Technologien (Hybridverstärker, siehe Kasten) erlauben dies.

Die hohe spektrale Reinheit bei der Verstärkung und die geringe Rauschzahl bis 200 MHz ergeben so insgesamt bessere Signal-Rausch-Abstände und den ausgezeichneten IP3 des Empfängers (+39 dBm bei 20 kHz Abstand der Prüfsignale). Als Mischer wird ein dreifach balancierter Mischer mit FETs eingesetzt, dessen Mischverluste von etwa 8 bis 10 dB die unmittelbar folgende Verstärkung ausgleicht. Vorteil sind die hohe Rückflussdämpfung

des Verstärkers bzw. Rückwirkungsfreiheit der Quarzfilter auf den Mischer. Die Intermodulationsprodukte von Signalen außerhalb des Durchlassbereichs dieser Roofing-Filter können also am Mischer wegen des Verstärkers und des Dimplexers nicht mehr erscheinen.

Im PT-8000 spielen die Hybridverstärker eine herausragende Rolle. In den Empfängern werden sie fünfmal eingesetzt, einer mit 24 dB Verstärkung (HV24-200) befindet sich auch im Sender. Den Empfangsbereich unter 1,8 MHz bedient ein galvanisch gekoppelter, balancierter, passiver Ringmischer; ein Vorverstärker ist nicht notwendig. Das ermöglicht echten VLF-Betrieb bis hinunter zu 9 kHz. Der IP3-Wert dieser Anordnung erreicht immerhin +30 dBm.

Preselektor

Das Auffallendste am Eingangsteil stellen die beiden Amidon-T-200 Ringkerne (Carbonyl-Eisenkern mit 51 mm Durchmesser,

Bild 5) als Hauptinduktivitäten der Preselektoren für den Bereich 1,8 bis 30 MHz der beiden Empfänger dar, weil die Intermodulationseigenschaften der verwendeten Materialien mit der Kernmasse korrelieren. Der LC-Kreis arbeitet als Serienkreis hoher Güte. Die Induktivitäten sind in fünf, die Kapazitäten in acht Segmenten binär abgestuft; die Umschaltung erfolgt teils mit Reed-Relais.

Beim ersten Abgleich werden die beiden Preselektoren mit Hilfe einer internen Rauschquelle in bis zu 2-kHz-Schritten (z.B. auf 160 m) durch den gesamten Betriebsbereich gefahren und die Abstimmwerte für die Betriebsfrequenzen in einer Tabelle abgelegt. Die Abstimmprozedur lässt sich jederzeit wiederholen, wofür es aber so bald keinen Grund geben sollte.

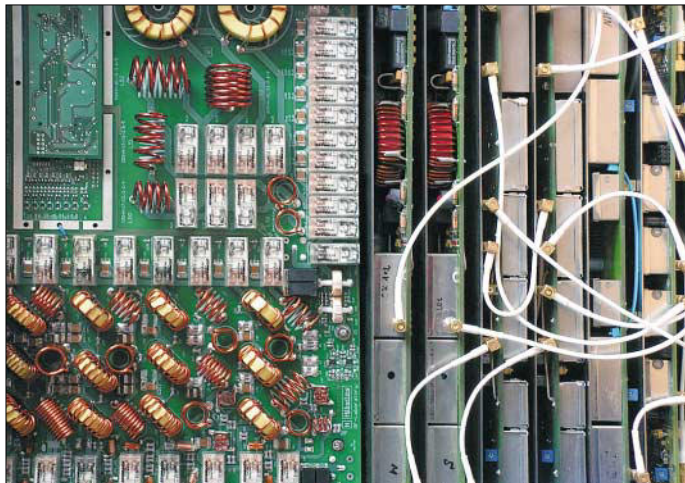
Zur Versteilerung der Flanken des LC-Kreises erfolgt der Anschluss des Preselektors durch Transformation der Ein- und Ausgänge niederohmig bei etwa 3 Ω! Auf 160 m erreicht die 6-dB-Bandbreite

Technische Daten					
Empfänger					
Empfangsprinzip	zwei völlig unabhängige Doppelsuperhets				
Frequenzbereiche (je)	9 kHz...52 MHz, 142...172 MHz				
1. Zwischenfrequenz	70,70 MHz				
2. Zwischenfrequenz	10,698 MHz (Main), 10,702 MHz (Sub)				
6-dB-Bandbreiten 1. ZF	6 kHz, 12 kHz				
6-dB-Bandbreiten 2. ZF	0,6 kHz; 1,8 kHz; 2,0 kHz; 2,4 kHz; 2,7 kHz; 3,1 kHz; 6 kHz (50 kHz)				
6-dB-Bandbreiten Quarzf. + DSP	50 Hz...6 kHz in 31 Stufen				
Empfindlichkeit für 10 dB (S+N)/N	AM	FM	SSB	ISB	CW
9 kHz...1,8 MHz	6 kHz	12 kHz	2,4 kHz	3,1 kHz	600 Hz
1,8 kHz...54 MHz	33 µV	28 µV	22 µV	26 µV	22 µV
142 MHz...148 MHz	2 µV	0,4 µV	0,2 µV	0,5 µV	0,2 µV
142 MHz...148 MHz	1,5 µV	0,2 µV	0,18 µV	0,4 µV	0,18 µV
IP3 (Afu-Bänder, 20 kHz Signalabstand)	typ. +39 dBm (1,8...52 MHz), typ. +35 dBm (144 ... 148 MHz)				
Spiegelfrequenzdämpfung	>70 dB				
Nebenempfangsdämpfung	>70 dB				
DSP-Funktionen	schaltbare Filterbandbreiten, Mehrton-Notchfilter, Rauschreduzierung				
NF-Ausgangsleistung	4,8 W (je 2,4 W für Main und Sub)				
Sender					
Frequenzbereiche	in Deutschland zulässige Amateurbander (40 m bis 7,2 MHz)				
Betriebsarten	AM, AME, FM, SSB, CW, ISB (unabhängige Aufbereitung beider Seitenbänder)				
Ausgangsleistung (U _B = 13,8 V)	AM, AME, ISB, FM	CW, SSB			
PT-8000A (1,8...54 MHz)	2,5...25 W	0,25...100 W			
PT-8000B (1,8...54 MHz)	15...125 W	1,5...600 W			
PT-8000A/B (Klasse A)	0,25...2,5 W	0,25...10 W			
PT-8000A/B (142...148 MHz)	0,25...2,5 W	0,25...10 W			
PT-8000C	0,25...2,5 W	0,25...10 W			
IM3 typ. (gegen Spitzenleistung)	-45 dB (PT-8000C, PT-8000A/B in Klasse A) -36 dB (PT-8000A/B außer Klasse A)				
Trägerunterdrückung	>70 dB (SSB, ISB)				
Seitenbandunterdrückung	>70 dB (SSB, ISB; bei 1 kHz)				
FM-Frequenzhub	±3 kHz				
FM-Relaisablage	-2...+2 MHz				
Maße (B × H × T)	425 mm (543 mit Griffen) × 175 mm × 465 mm				
Masse	25 kg				
Zubehör					
Tischmikrofon T9	600 Ω, dynamisch, optimiert für Nahbesprechung, körperschallisoliert, HF-geschirmt				
Netzteil	100...270 V ~, PT-8000A: 13,8 V/30 A =, PT-8000B: 13,8 V/10 A =, 100 V/12 A, PT-8000C: 13,8 V/10 A				

Quelle: Fa. Hilberling GmbH; technische Änderungen vorbehalten

des Kreises etwa 10 kHz, auf 40 m 60 kHz und auf 10 m noch um die 600 kHz. So lassen sich die Selektionseigenschaften mehrkreisiger Systeme ohne Gleichlaufprobleme erreichen, sodass man bei der Wahl der Bauteile kompromisslos auf Großsignalfestigkeit setzen kann. Der Preselektor ist überbrückbar.

Vor den Quarzfiltern der 1. ZF beider Empfänger wurden Ausgänge geschaffen, an denen breitbandige Messungen ohne Regelspannungseinflüsse und mit hohen Signalpegeln erfolgen können. Für 9 kHz bis 1,8 MHz sowie 142 bis 148 MHz dienen Bandpassfilter zur Vorselektion.



Vorverstärker für jede Antenne

Der PT-8000 besitzt vor den Empfängern ein Antenneneingangsteil (Bild 6) mit je einer 10-dB-Hybridverstärkerstufe für die Antennenanschlüsse (zweimal 1,8 bis 54 MHz, einmal 144 MHz), damit sich zwei Antennen für 1,8 MHz bis 54 MHz und eine 144-MHz-Antenne beliebig den beiden Empfängern zuordnen lassen.

Die beiden Empfänger an einer Antenne haben den Nachteil von 3 dB Empfindlichkeitsverlust. Diesen gleicht der erwähnte breitbandige Hybridverstärker unmittelbar nach der Antenne aus (über 1,8-MHz-Hochpass sowie 54-MHz-Tiefpass). Ungewöhnlicherweise ist der Preselektor erst hinter dem (zuschaltbaren) Vorverstärker angeordnet. Möchte man die beiden gleichwertigen Empfänger konsequent nutzen, machen diese Anordnung und der hohe Aufwand Sinn, denn die Nutzung beider Empfänger muss bei uneingeschränkter Empfindlichkeit und völliger Unabhängigkeit hinsichtlich der Betriebsfrequenzen sowie der Antennenwahl möglich sein.

Frequenzaufbereitung

Die Leistungsfähigkeit des Empfangssystems wird wesentlich durch die spektrale Reinheit des variablen 1. Oszillators bestimmt, der im Bereich 70,7 MHz bis

122,7 MHz arbeitet (LO1 bzw. VCO – Voltage Controlled Oscillator). Es gilt, Rauschseitenbänder, Phasen- wie Amplitudenanteile zu minimieren.

Das Gerät verfügt dazu über einen 20-MHz-Referenzoszillator (TCXO) mit einer Frequenzstabilität von 0,1 ppm (10^{-7}) zwischen 0 und 60 °C. Ein diesem TCXO nachgeschaltetes 600 Hz breites Quarzfilter senkt die Rauschseitenbänder bei 2 kHz Abstand auf -158 dBc.

Ungewöhnlich ist, dass die LO1-Frequenz den Takt für den 400-MHz-DDS-Baustein bereitstellt. Der DDS produziert ein 20-MHz-Signal, das durch einen schnellen

VCO bewirkt. Das Ergebnis besteht in gegenüber gängigen Konfigurationen deutlich abgesenkten Rauschseitenbändern des LO1-Signals.

Beim PT-8000 bildet der 144-MHz-Bereich einen integralen Bestandteil. 1. Mischer und Hybridverstärker halten ihre Spezifikationen z.T. bis in den UHF-Bereich. Der Empfänger ist mit einem IP3 von +35 dBm auch für 144 MHz großsignalfest.

Quarzfilter und DSP vereint

Die Selektion auf der 1. ZF von 70,7 MHz (Roofing-Filter) bietet 6 bzw. 12 kHz Bandbreite, realisiert jeweils durch zwei achtpolige Abzweigfilter (engl. *Ladder-Filter*) mit einem Formfaktor von 1,8. Auf der 2. ZF von 10,7 MHz stehen bei jedem der beiden Empfänger sieben (!) in Filterbänken organisierte, diskret aufgebaute 16-polige Quarz-Abzweigfilter mit Bandbreiten von 600 Hz bis 6 kHz zur Verfügung. Main- und Sub-Empfänger haben um 4 kHz verschobene 2. Zwischenfrequenzen, um ISB-Betrieb möglich zu machen. Das SSB-Filter mit der Bandbreite von 2,7 kHz

Bild 2: Rechts die mit Koaxialkabeln verbundenen HF-Module auf vertikal angeordneten Leiterplatten (Abdeckbleche der sechs Schächte entfernt); links Diplexer, Tiefpassfilter und automatischer Antennenkoppler

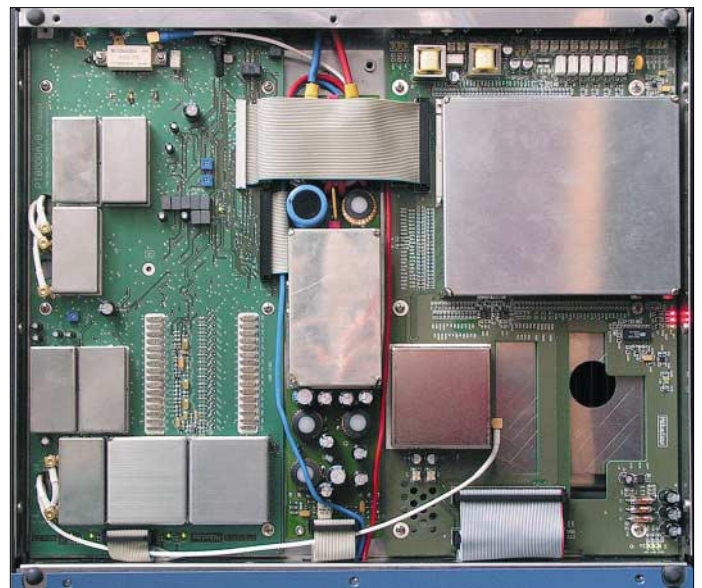


Bild 3: Die Bodenleiterplatte, u.a. mit 13,8-V-Eingangsfiler, Audio-/Daten-Eingang, Sender-ZF, Hauptprozessor und TCXO. Die Realisierung des Prinzips „Flachkabel statt Kabelbäume“ ist hier recht gut zu erkennen.

Phasendetektor (als PLD – Programmable Logic Device) mit der 20-MHz-Referenzfrequenz des TCXO verglichen wird, wonach sich der VCO des LO1 über die gewonnene Regelspannung vom PLD nachsteuern lässt. So kann man das geringe Seitenbandrauschen des DDS für den VCO des LO1 nutzen.

Die DDS reduziert den Aufwand an digitalen Baugruppen deutlich; programmierbare Vorteileil entfallen. Unerwünschte Spektrallinien des DDS kommen nicht zum Tragen, da sie das Loop-Filter in der sehr schnellen PLL-Regelschleife ausblenden kann. Zusätzlich wird der VCO grob vorabgestimmt, was einen vergleichsweise geringeren „Durchgriff“ der PLL auf den

weist einen 6-dB/60-dB-Formfaktor von 1,3 auf. Diese Anordnung ist auch wegen des diskreten Aufbaus intermodulationsarm. Dazu steht ein manuell durchstimmbares Notchfilter auf 10,7 MHz mit einer Kerbtiefe zwischen -70 dB und -40 dB bei 100 Hz Bandbreite zur Verfügung.

Zur Demodulation von DRM wird die Audiobandbreite der DSP mit maximal 12 kHz genutzt. Ein 50 kHz breites Keramikfilter überbrückt dabei die Quarzfilterbänke auf der 2. ZF, sodass sich die Selektion auf das achtpolige, 12 kHz breite Filter bei 70,70 MHz beschränkt.

Nach der Demodulation (FM als Quarz-Diskriminator; SSB-Produkt-detektor mit FET-Schaltern; AM-Quadratordemodula-

tor) wirkt die DSP. Zunächst schafft sie weitere Abstufungen zu den sieben Quarzfilter-Bandbreiten – bis hinunter zu 50 Hz und hinauf bis 12,5 kHz. Die Zuordnung der passenden Quarzfilter erfolgt automatisch. Die DSP blendet die Quarzfilterflanken und die gerade dort markanten Phasenverschiebungen bzw. Gruppenlaufzeiten aus. Im Übrigen wurde hier eine sehr bedienerfreundliche Auswahl der Bandbreiten realisiert, die die Filtermitte durch das Passband-Tuning gehörphysiologisch korrekt korrigiert.

Die Quarzfilter arbeiten in jeder Seitenbandlage identisch, die BFO-Frequenz bleibt konstant. Die Seitenbandumschaltung erfolgt durch Wechsel der LO2-Frequenz zwischen 60,0 und 81,4 MHz.

Weiter bietet die DSP ein automatisches Notch-Filter, das in sinnvollen Grenzen auch mit Mehrfachtönen fertig wird, sowie eine Störgeräuschunterdrückung, der der Hersteller nahezu unverfälschte Sprachwiedergabe durch die Anwendung neuartiger Bearbeitungsalgorithmen zuschreibt.

■ **Sender**

Der hohe Aufwand der Sender-Signalaufbereitung ist dem ISB-Betrieb geschuldet. Die Eingangssignale (Mikrofon- und Dateneingang mit 0 dBm) sind galvanisch getrennt und durch Haufe-Übertrager (Mu-Metall geschirmt, 600-Ω-Technik) geführt. Ein umschaltbares analoges Filter bietet unterschiedliche Frequenzgänge für

den Sprachkanal, die DSP zusätzlich einen Equalizer. Für scharf begrenzte Bandbreiten sorgen die DSP und separate 16-polige Filter für beide Seitenbänder (Bild 7). Ein drittes gleichartiges Filter steht für den HF-Kompressor (außer im ISB-Betrieb) zur Verfügung. Für die Seitenbandlage ist wiederum die umschaltbare LO2-Frequenz verantwortlich.

Die unabhängige Aufbereitung beider Seitenbänder erlaubt eine besonders elegante AM-Erzeugung: Den Seitenbändern ist nur noch ein Träger beliebiger Amplitude zuzusetzen. Das macht auch AM-Einseitenband möglich (AME).

Die Umsetzung auf die Arbeitsfrequenz erfolgt nach der Mischung auf 70,7 MHz. Das Signal gelangt über Quarzfilter und ALC-Verstärker zum Sender-Ringmischer. Ein Hybridverstärker hebt das Signal breitbandig (1,8 bis 148 MHz) um 24 dB auf +20 dBm (100 mW) für Transverterbetrieb bzw. die Ansteuerung des Endstufentreibers (gleichzeitig die 144-MHz-Endstufe) an.

Leistungsendstufen 10/100/600 W

Die 100 W Sendeleistung des **PT-8000A** entstammen vier 12-V-MOSFETs, jeweils getrennt im Arbeitspunkt justiert und zu je zwei parallelgeschaltet. Der IMD3-Abstand erreicht bei der Nennleistung immerhin 36 dB, bei 60 W sogar mehr als 40 dB. Die 12-V-Technik kann man in dieser Hinsicht als ausgereizt ansehen.

Die 600-W-Endstufe des **PT-8000B** darf als Weltneuheit gelten: Erstmals kommen MOSFETs SD3933 [1] in 100-V-Technik zum Einsatz. Zwei Stück erzeugen diese 600 W bei einer Verstärkung von 23 dB, was eine zusätzliche Treiberstufe entbehrlich macht, einen Wirkungsgrad von bis zu 70 % ermöglicht und einen IMD3-Abstand von mindestens 36 dB aufweist. Eine 5 mm dicke Kupferplatte, ein Aluminium-Kühlkörper sowie ein Tangentiallüfter über die gesamte Breite des Kühlkörpers bewältigen die Wärmeabfuhr.

Die 100-W- und die 600-W-Version unterscheiden sich sonst kaum: Kühlkörper, Lüfter, Antennentuner und Diplexer sind also für die 100-W-Version weit überdimensioniert.

Bei der Auslegung der 10-W-Endstufe des **PT-8000C** wurde auf ultralineaeren Betrieb Wert gelegt. Sie läuft im A-Betrieb über den gesamten Frequenzbereich bis 144 MHz und liefert SSB-Signale mit mehr als 50 dB Absenkung der IM-Produkte. Die A/B-Modelle nutzen diese 10-W-Stufe als Treiber, den man auch solo nutzen kann, sodass dessen herausragende Signalqualität in allen Versionen zur Verfügung steht.

Diplexer von 1,8 bis 52 MHz und automatischer Antennenkoppler

Die guten Intermodulationswerte der Leistungsendstufen sind u.a. acht Diplexern (Split-Filtern) zur Verhinderung der Ab-

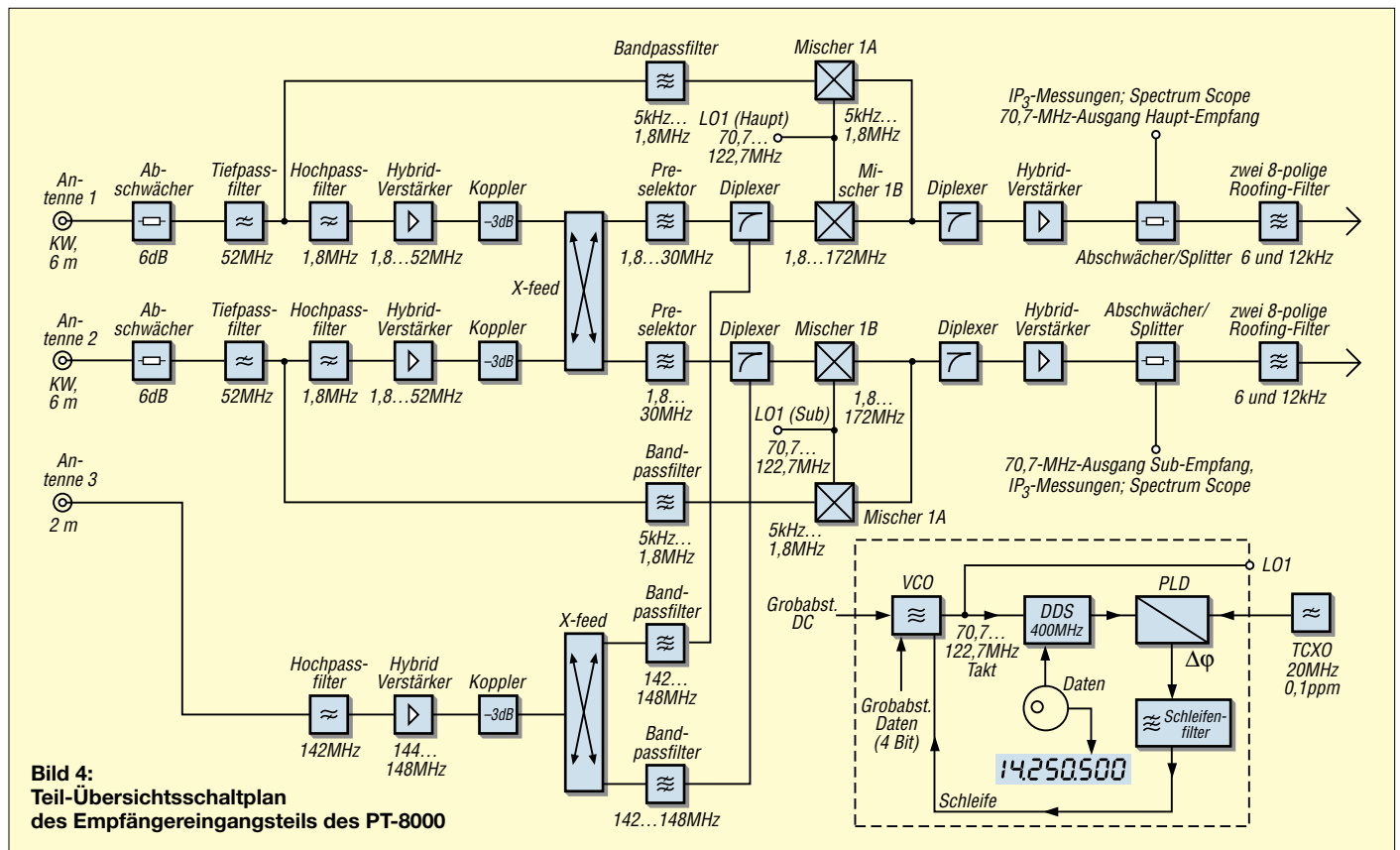


Bild 4: Teil-Übersichtsschaltplan des Empfängereingangsteils des PT-8000

strahlung von Oberwellen zu verdanken. Harmonische werden nicht mehr an den Tiefpassfiltern reflektiert, sondern von einem induktionsfreien 50- Ω /30-W-Hochlastwiderstand aufgenommen, wodurch sie keine Intermodulation der Endstufe provozieren können.

PT-8000A und B verfügen über einen für 600 W dimensionierten automatischen Antennenkoppler. Sein LC-Glied lässt sich zwischen Auf- und Abwärtstransformation umschalten. Die Induktivitäten werden in 25-nH-, die Kapazitäten in 10-pF-Schritten jeweils 8-Bit-binär geschaltet.

■ Praktischer Betrieb

Einen Platz für das recht schwere und große Gerät zu finden, mag manchmal schon etwas schwierig sein. Bei mir haben sich danach die ausklappbaren Stützen (Bild 1) als optimal erwiesen. So ist die Zuordnung der Softkeys zu den Menüpositionen nahezu perfekt. Das sehr helle TFT-Display kommt mit allen Beleuchtungssituationen zurecht.

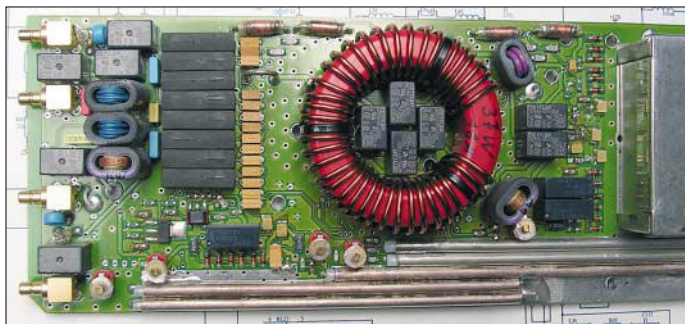


Bild 5: Der Preselektor mit dem respektablen T-200-Kern als Hauptinduktivität. Die Abstimmung des L-C-Kreises erfolgt über Relais.

Wenn der PT-8000 auch auf Analogtechnik setzt, hauchen ihm doch erst fünf Prozessoren Leben ein (Haupt-, Empfänger-, Display-, Tuner-Prozessor, DSP). Die Software wird über eine etwas antiquiert wirkende RS232-Schnittstelle geladen. Meinen Prototyp habe ich damit mehrfach auf den aktuellsten Entwicklungsstand gebracht.

Der Hersteller rühmt die Bedienung des PT-8000 als selbsterklärend. Die „Softkeys“ mit ihren Menüs sind für Funkamateure in den meisten Konstellationen tatsächlich selbsterklärend und erlauben sehr schnell den Einstieg in die umfangreichen Softwarefunktionen. Die Gliederung der Frontplatte und die Aktivierung der Funktionen durch Druck auf den jeweiligen Drehsteller fördern die schnelle Erlernbarkeit der Bedienung. Wie im professionellen Gerätebau üblich, gibt es an der Unterseite des PT-8000 ausziehbare Bedienkarten – bei tiefer gehenden Veränderungen von Parametern eine sehr wertvolle Hilfe.

Frequenzabstimmung

Die solide Mechanik macht das Übers-Band-Drehen zu einer Freude. Der Hauptempfänger ist mit dem schweren Haupt-

abstimmknopf, der Sub-Empfänger mit einem kleineren Abstimmknopf erreichbar. Jedem Empfänger stehen jeweils zwei VFOs zur Verfügung. Beide Empfänger können ihre Betriebsparameter untereinander tauschen; ein Tastendruck holt den jeweiligen auf die Bedienoberfläche. Der andere arbeitet derweil im Hintergrund mit den zuletzt eingestellten Parametern weiter und kann mit seinem Lautstärkesteller hörbar gemacht werden.

Zusätzlich sind die Bandwahltasten mit zwei Frequenzen inklusive zugehöriger Parameter wie Filter, Sendart usw. belegt. Die Empfänger können an verschiedenen oder auch an derselben Antenne, und gar nicht selbstverständlich, auf unterschiedlichen Frequenzbereichen betrieben werden. Beispielsweise ist es aufschlussreich, die Signalstärken zweier Antennen unmittelbar zu vergleichen (horizontaler Dipol gegen Groundplane, Magnetic Loop usw.).

Die zulässigen Eingangspiegel zu überschreiten, muss man nicht befürchten, weil

stellung nicht in Echtzeit, dafür aber mit größerer Bandbreite.

S-Meter

Für das quasianaloge S-Meter steht im Display eine 90 mm lange Linearskala mit einer Auflösung von 0,5 dB zur Verfügung. Durch die Trennung von Regelspannungsgewinnung und S-Meter-Anzeige ist die Linearität des S-Meters ohne Tadel, und es zeigt vor allem auch unter S 4 (wo die AGC noch wenig oder nicht eingreift) zuverlässig an. Wünschenswert wäre allerdings noch die Auswahl verschiedener Skalen (dB μ V, dBm und direkt in μ V). Die Genauigkeit der Anzeige verlangt dies eigentlich. Der Hersteller hat für die Serienfertigung eine entsprechende Softwareänderung angekündigt. Unterschiedliche S-Meter-Anzeigen bei der Nutzung von Vorverstärker bzw. Abschwächer gehören beim PT-8000 endlich der Vergangenheit an; eine in der Software abgelegte Tabelle korrigiert die Anzeige entsprechend.

Bei der Rauschsperrung bietet der PT-8000 eine wertvolle Einstellhilfe: Eine kleine Marke an der S-Meter-Skala zeigt, wo die Schaltschwelle des Squelch momentan liegt.

Nicht alle Transceiver verfügen über dieses nützliche Feature: Eine elektronische Stimmgabel kann empfangs- und sende-

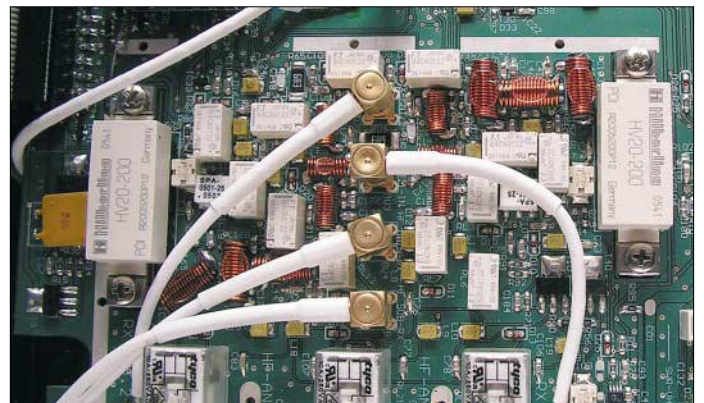


Bild 6: Das Antennen-eingangsteil – zwei der drei dort verwandten Hybridverstärker sind gut erkennbar.

dem mehrere Schutzschaltungen entgegenwirken (der Sub-Empfänger bleibt im Sendebetrieb offen – selbstverständlich an einer anderen als der Sendeanterie!).

Um sich rasch zu orientieren, lassen sich die Schrittweiten der VFOs leicht zwischen 1 Hz und 1 MHz verändern. Eine Linearskala mit 1 MHz Breite (beim Serienmodell wohl auch Amateurband-Breite) dient der zusätzlichen Übersicht. Eine Kennzeichnung der Subbänder oder primäre/sekundäre Zuweisung ist sicher auch machbar.

Der zweite Empfänger lässt sich auch im Panorama-Modus (± 5 kHz bis ± 10 MHz) betreiben; die Ergebnisse erscheinen dann an Stelle der Linearskala. Da die DSP in der NF-Ebene arbeitet, erfolgt diese Dar-

seitig einen 440-Hz-Ton einblenden, womit bei SSB-Betrieb die Frequenzgleichheit zweier oder mehrerer Stationen leicht geprüft werden kann.

Transverterbetrieb

Der PT-8000 stellt eine für den UHF/SHF/EHF-Bereich ausbaufähige Plattform dar. Bis zu drei Transverter mit 28, 50 und 144 MHz „Zwischenfrequenz“ lassen sich anschließen (zwei Eingänge KW/50 MHz einer 144 MHz). Die Endarbeitsfrequenzen mit Transverter erscheinen dann exakt auf dem Display. Dazu liegen alle Parameter zur Frequenzumsetzung inklusive der Ablage von Transverter-Bandquarzen in einer Speichertabelle. Allerdings muss man für Frequenzen von 1 GHz bis 9,9 GHz auf die



Bild 7: Zwei der drei 16-poligen Quarzfilter des Senders. Das Filter des HF-Prozessors befindet sich auf der Rückseite.

1-Hz-Stelle und bei 10 GHz bis 99 GHz auch auf die 10-Hz-Stelle verzichten. Alle internen Frequenzen sind vom 20-MHz-TCXO abgeleitet, sodass Abweichungen hier unter 0,1 ppm bleiben. Für höhere Ansprüche lässt sich eine externe 10-MHz-Zeitbasis anschließen. Andererseits wurde die interne Zeitbasis auch als 10-MHz-Referenzsignal nach außen geführt.

Höreindruck

Wichtig ist für jedes Transceiver-Empfangsteil der subjektive Höreindruck. Der ist beim PT-8000 überzeugend. Sicher hat der große 10-W-Lautsprecher an der Frontplatte (!) dabei einen erheblichen Einfluss. Für den SSB-Betrieb ist die Regelung des

Empfängers Teil der Visitenkarte. Hier kommt es darauf an, gehörphysiologisch korrekt gewisse Lautstärkeunterschiede zwischen extrem leisen und starken Signalen zuzulassen. Dass die Regelungs-Zugriffszeit weit unter 1 ms liegt, ist selbstverständlich – ebenso wie die von 100 ms bis 3 s wählbaren Abklingzeiten. Dem guten Klang dienlich ist sicher auch die Kombination von Quarzfiltern und DSP. Im Bereich der Filterflanken (besonders auffällig bei den niedrigen Frequenzen) können Schmutzeffekte an den Analog-Filterflanken sonst negative Audio-Effekte auslösen.

Ich habe noch keine Software-basierte Rauschunterdrückung der Qualität des PT-8000 erlebt. Den Software Defined Radios (SDR) wird zu Recht das Potenzial unübertroffener Audioqualität zugeschrieben, da sie nicht von physikalischen Filtern oder Regelverzerrungen in Analogverstärkern getrübt werden kann. Es gibt SD-Radios, die diesen Erwartungen gerecht werden, z.B. das Konzept des SDR-1000. Im subjektiven Höreindruck schneidet der PT-8000 jedoch mindestens gleich gut ab.

Großsignalfestigkeit/Empfindlichkeit

Der viel versprechende IP3 von +39 dBm des PT-8000 ist zunächst einfach der IP3 des Mischers. Mit Vorverstärker ist der Gesamt-IP3 vom Eingangs-IP3 des Hybridverstärkers, +30 dBm, abhängig. Die Verwendung einer möglichst wenig selektiven Antenne bei hohen Feldstärken im Bereich um 7 MHz (ich habe einen 2 x 20 m langen Dipol als 40 m lange T-Antenne mit Eindrahtspeiseleitung ohne Anpassung genutzt) bestätigt, dass diese Messwerte ausreichend und von praktischer Relevanz sind. Das Konzept, auf Kurzwellen nur über einen steiflankigen Hochpass (1,8 MHz; zehnpoliges Tschebyscheff-Filter, das starke MW-Rundfunksender eliminiert) und einen 54-MHz-Tiefpass vor den Hybridverstärkern an die Antennen zu gehen, hat seine Berechtigung.

Ähnlich verhält es sich mit der geringen Rauschzahl der Hybridverstärker. Auf den unteren Bändern fällt dies nicht so sehr ins Gewicht. Über 14 MHz ist es jedoch beeindruckend, wie der Signal-Rausch-Abstand bei eingeschaltetem Vorverstärker zunimmt. Das ist nicht verwunderlich, denn rechnet man die Verluste der Beschaltung und des Tief- und Hochpassfilters ein, ist man mit einer Rauschzahl bei 30 MHz von ungefähr 3 dB (!) „an der Antenne“.

■ Schlussbetrachtung

Die ersten Seriengeräte werden nach der Ham Radio 2006 ihre Besitzer finden. Mit

den ersten Serienmodellen können tiefer gehende Praxistests noch deutlicher zeigen, was in dem Konzept steckt. Dies gilt vor allem für die praktische Relevanz der ausgezeichneten IP3-Werte auf 144 MHz. Nach wenigen Wochen Erfahrung mit verschiedenen Baustadien der Vorserie des PT-8000A bin ich davon überzeugt, dass damit dem Funkamateurland ein Transceiver an die Hand gegeben wird, der nahezu kompromisslos für den Amateurfunk optimiert ist und das für unsere Einsatzzwecke mit der Kombination von Analog- und Digitaltechnik noch sinnvoll Machbare darstellt.

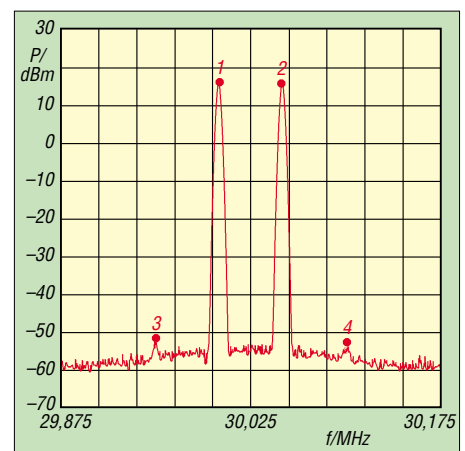


Bild 8: IP3-Messung am HV20-200 auf 30 MHz: +50,46 dBm (TOI)

Die gleichwertigen Empfänger lassen zwar hinsichtlich ihrer HF-technischen Eigenschaften wohl keine Wünsche mehr offen. Doch wachsen die Bäume auch hier nicht in den Himmel. Der Sub-Empfänger wird zwar im Sendebetrieb offen gelassen, doch selbstverständlich sind Einschränkungen bei gleichzeitigem Sendebetrieb nicht zu vermeiden.

Bei der Konzeption des Senders wurde in Richtung hoher spektraler Reinheit optimiert. Der modulare Aufbau des Transceivers bietet darüber hinaus hinreichend Möglichkeiten zur Anpassung an zukünftige Entwicklungen.

Der PT-8000 ist ein Gerät für den OM, der Freude an HF-technischen Detaillösungen und Spitzentechnologie hat. Er ist zudem auf Grund seiner ausgezeichneten Vorbereitung für mehrfachen Transverter-Betrieb eine sehr solide Plattform, die Erweiterungsmöglichkeiten für alle im Amateurfunk genutzten elektromagnetischen Bereiche bietet. In diesem Sinn hat der PT-8000 bereits als Vorserienmodell, das noch „Ecken und Kanten“ aufweist, schnell mein Herz erobert.

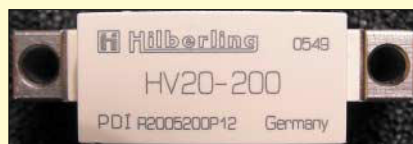
Literatur

- [1] www.hilberling.de
- [2] Datenblätter unter www.st.com

Hybridverstärker HV20-200

Der Verstärker besteht aus einer zweistufigen balancierten Verstärkerschaltung – seine Halbleiterelemente und passiven Bauteile sind fast vollständig auf ein Keramiksubstrat aufgetragen. Er arbeitet als Klasse-A-Verstärker mit 350 mA bei 12 V. Um die über 4 W Verlustleistung abzuführen, ist das Keramiksubstrat zur Wärmeableitung direkt auf einem Metallklotz befestigt. Die Verstärkerstufen mit Hybridverstärker arbeiten in den Empfängern des PT-8000 durch äußere Beschaltung mit Gesamtverstärkungen von 10 dB.

Das Messprotokoll (Bild 8) zeigt auf 30 MHz die IM3-Produkte und den errechneten Ausgangs-IP3 (TOI) von +50,46 dBm.



Frequenzbereich:	1,8 MHz...200 MHz
Rauschzahl (typ.):	1,8 dB @ 200 MHz
Verstärkung:	20 dB
Ausgangs-IP3*:	+50 dBm
Eingangs-IP3	
(v = 20 dB):	+30 dBm
Ein-/Ausgangs-impedanz:	50 Ω

* Ausgangs-IP3 – Verstärkung = Eingangs-IP3