

Spizentechnologie „... wie aus einem Lehrbuch für HF-Technik“: Der HF/VHF-Transceiver PT-8000

Was passiert, wenn ein erfolgreicher HF-Ingenieur, Unternehmer und leidenschaftlicher Funkamateurl, der zeitlebens sein „Hobby“ zum Beruf erklärt hat, den Funkamateuren und sich einen Wunschtransceiver baut, werden bald etliche Besitzer des PT-8000 erfahren können. Im Rahmen dieses Berichts können nur wenige Eigenschaften dieses Gerätes der oberen Preisklasse angesprochen werden. Im Juni 2006 wurde der PT-8000 aus dem Hause Hilberling GmbH erstmals dem breiten Fachpublikum vorgestellt – anlässlich der HAMRADIO in Friedrichshafen und in einem Beitrag des FUNKAMATEUR. Wenn im April/Mai dieses Jahres die ersten Geräte ausgeliefert werden, ist seit diesem Debut fast ein Jahr vergangen – Zeit, die genutzt wurde, die Serienproduktion vorzubereiten und letzte Veränderungen vorzunehmen, die nochmals deutliche Leistungsverbesserungen zur Folge haben. Leitlinie für die Entwicklung des Transceivers war die Realisierung von Spizentechnologie für den Amateurfunk in noch vertretbarem wirtschaftlichen Rahmen.

Grundkonzeption des PT-8000

Aus der Amateurfunkpraxis gewonnene Erkenntnisse und bis dato unerfüllte Wünsche bei kommerziellen Amateurfunkgeräten haben die Grundkonzeption der PT-8000 Serie definiert:

1. *Vollwertigen ISB-Betrieb* (Independent Sideband – unabhängige Modulation der beiden Seitenbänder eines DSB-Signals). Der ISB-Betrieb eröffnet die Möglichkeit, gleichzeitig Sprache und auf dem anderen Seitenband z.B. Bildinformationen zu übertragen. Diese Betriebsart erfordert aber in der Regel Bandbreiten über 2,7kHz, so dass ein derartiger Einsatz des PT-8000 auf Grund der Vorschriften der Bundesnetz Agentur erst ab 28,500MHz in Frage kommt.
2. *Zwei gleichwertige RX*. Der PT-8000 ist ein Sender mit zwei absolut gleichwertigen und unabhängigen Empfängern für HF/VHF bzw. für die Amateurfunkbänder von 160m bis 2m.
3. *VHF-Betrieb* als Ergebnis des Leistungsspektrums der verwendeten HF-Bauteile und nicht über „Zusatzkomponenten“ – so sind die Leistungen des RX im VHF-Bereich mit den Leistungen auf Kurzwelle vergleichbar.
4. *Transverterbetrieb* - durch die herausragenden Leistungen bis in den VHF-Bereich Verwendung des PT-8000 als Plattform für den Transverterbetrieb.
5. *Hybridtechnik* - Nutzung von Digitaltechnik in Verbindung mit Analogtechnik.
6. *Hohe Sendeleistung* - Integration einer Hochleistungsendstufe (600W) modernster Technologie mit nur zwei Transistoren. Möglichkeit zur Umschaltung auf ultralineaeren Betrieb des TX bei reduzierter Leistung.

Die Empfängertechnik

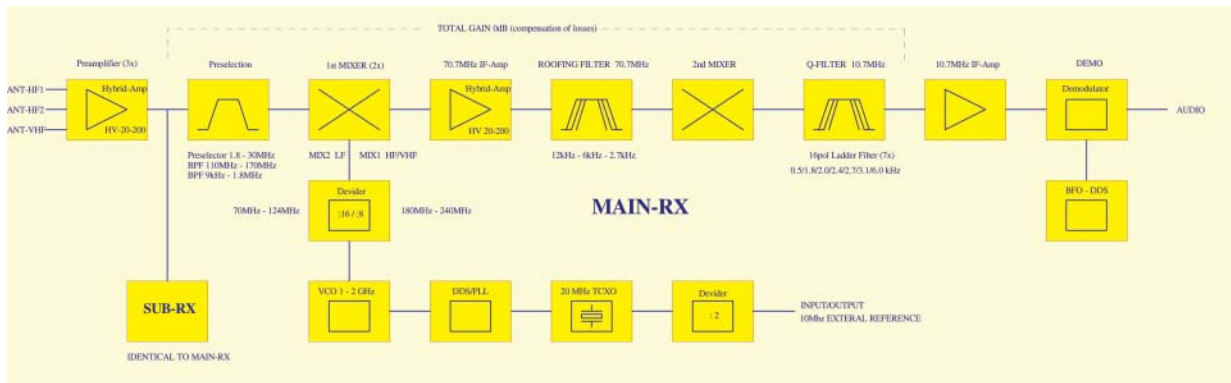
Empfänger (und Sender) sind als Doppelsuper (70,7MHz und 10,7MHz) ausgeführt, obwohl neue Entwicklungen bei Funknachrichtengeräten vermehrt auf „Zero-IF“ oder Low-IF Konzepte setzen (hervorgerufen durch Fortschritte in der digitalen Signalverarbeitung sowie durch den Trend zu Software Defined Radios). In Verbindung mit neuen Technologien bei den Bauteilen bieten aber über Jahrzehnte bewährte Konzepte aus der analogen Technik noch erhebliches Potential zur Leistungssteigerung.

Der PT-8000 verfügt über ein dreifaches (2x HF/6m und 1x VHF), separates Antenneneingangsteil - unabhängig von den beiden Empfängern. Das Empfangssignal wird über einen der drei Vorverstärker und einen der beiden Preselektoren auf den 1. Mischer geführt, der auf die 1.ZF von 70,7MHz umsetzt. Es folgt sofort eine Verstärkung und anschließend eine erste in der Bandbreite wählbare steiflankige Selektion mit 6-poligen Quarzfiltern („roofing-filter“) mit anschließender Mischung auf die 2.ZF von 10,7MHz.

Diese Anordnung ist in mehrfacher Hinsicht ungewöhnlich. Klassisch wäre die Filterung nach dem Mischer. Allerdings würden sich hier die Mischverluste mit den Verlusten in den Filtern addieren. Vorteilhaft für diesen Weg ist der Wegfall aktiver und damit Intermodulation provozierender Bauelemente im Umfeld des Mixers. Im PT-8000 wird dagegen hinter dem Mischer großsignalfest verstärkt – neue Verstärkertechnologien (sog. Hybridverstärker) erlauben dies. Die hohe spektrale Reinheit bei der Verstärkung und die geringe Rauschzahl von 1,8 dB bis in den Bereich 200MHz ergeben so insgesamt bessere Signal-Rauschabstände und den ausgezeichneten IP_3 der Empfänger. Ein weiterer Vorteil dieser Anordnung ist die hohe Rückwärtsentkopplung (typ. 55dB) hinsichtlich der nachfolgenden Stufen auf den Mischer.

Intermodulationsprodukte von Signalen außerhalb des Durchlassbereichs der „roofing-filter“ (mit Bandbreiten von 12 – 6 sowie 2,7kHz) können auch am 1. Mischer nicht mehr erscheinen. Diese Vorgehensweise trägt in der geringen Rauschzahl und der hohen Großsignalfestigkeit des Empfängers Früchte. Für den Empfangsbereich unter 1,8MHz ist ein Vorverstärker nicht notwendig. Echter VLF-Betrieb bis hinunter zu 9kHz ist so bei IP_3 -Wert mit +40dBm möglich.

Im Eingangsteil fallen sofort zwei große AMIDON T-200 Ringkerne mit 51mm Durchmesser auf, die man sonst Leistungsendstufen oder 1kW-Baluns zuordnen würde. Es sind die Hauptinduktivitäten der Vorkreise (Preselektor für den Bereich 1,8 – 30MHz) der beiden Empfänger, die über den HF-Bereich automatisch nachgestimmt werden. Für die Frequenzbereiche 9kHz bis



1,8MHz sowie VHF 110MHz – 170MHz dienen Bandpassfilter zur Vorselektion.

Bild 1: Stark vereinfachtes Blockschaltbild des RX. MAIN- und SUB-RX sind identisch!

Die Leistungsfähigkeit des Empfangssystems wird wesentlich durch die spektrale Reinheit des variablen 1. Oszillators bestimmt, der für HF von 70,7MHz bis 122,7MHz und für VHF von 180MHz bis 240MHz arbeitet. Rauschseitenbänder, Phasen- und Amplitudenmodulationsanteile gilt es zu minimieren. Deshalb wird im PT-8000 mit Mikrowellenoszillatoren von 1GHz bis 2GHz und der anschließenden Teilung durch 8 bzw. 16 (VHF/HF) gearbeitet. So verbessert sich das Phasenrauschen des Oszillators um 24dB bzw. 18dB. Zur absoluten und Langzeitstabilität wird ein Stratum3 20MHz-Referenzoszillator (TCXO) mit einer Frequenzstabilität von besser 0,1ppm zwischen 0 und 60°Celsius eingesetzt. Da der TCXO mit einer DDS gekoppelt ist, kann seine absolute Genauigkeit leicht korrigiert werden. Seine Rauschseitenbänder werden durch ein 300Hz schmales Quarzfilter zusätzlich begrenzt.

haben eine um 4kHz verschobene 2.ZF. Da die RX unabhängig voneinander nutzbar sind, ist so ISB-Betrieb möglich. Bei der typischen SSB-Bandbreite von 2,7kHz weist das Filter einen Formfaktor von 1,3 (6dB/60dB Bandbreite) auf. Diese Anordnung ist großsignalfest, um dem Aspekt der In-Band-Intermodulation gerecht zu werden. Ein manuell durchstimmbares Notch-Filter auf 10,7MHz steht ebenfalls zur Verfügung. Die Kerbtiefe beträgt ca. 50dB bei 100Hz Bandbreite; sie variiert durch eine abgleichbare Quarz-Brückenschaltung nicht über die Filterbandbreite.

Selektionsmittel in der 2.ZF: Quarzfilter und DSP

Zur Demodulation von DRM besitzt der PT-8000 einen 10kHz-Ausgang der nicht als „ZF“ vorliegt, sondern von der DSP in dieser (NF-) Bandbreite zur Verfügung gestellt wird. Ein 50kHz Keramikfilter überbrückt dabei die Quarzfilterbänke auf der 2.ZF – so dass die Selektion durch das 12kHz-Roofing-Filter bei 70,70MHz bestimmt wird.

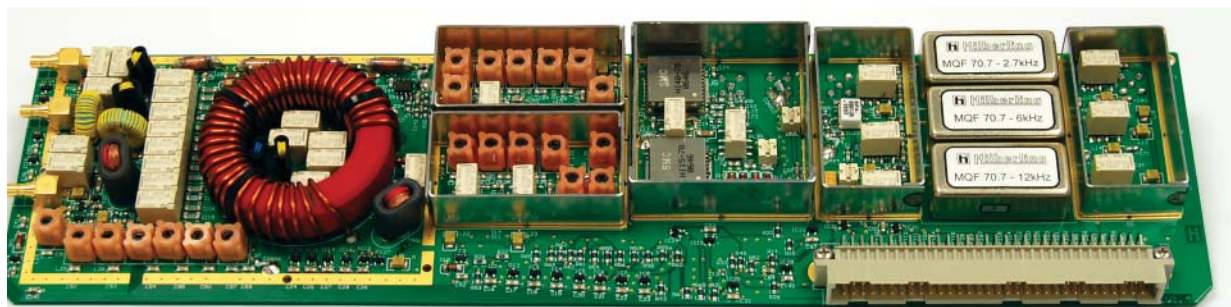
Quarzfilter kommen im PT-8000 reichlich zum Einsatz. Angesichts des Trends, durch DSP-Schaltungen bei niedriger letzter ZF die Kanalselektion zu bewerkstelligen, geht auch hier der PT-8000 den „klassischen Weg“ über Quarzfilter – allerdings in ausgeklügelter Kombination mit einer DSP, die im NF-Bereich, also nach den Demodulationsstufen arbeitet.

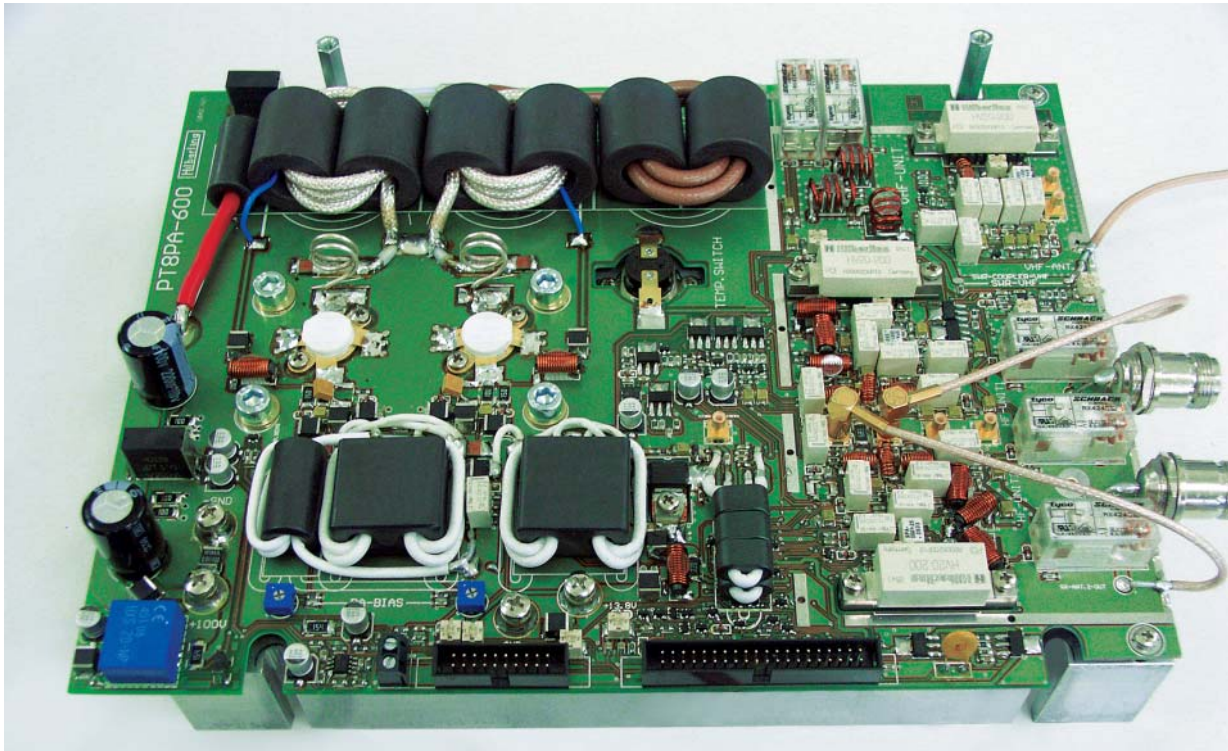
Die Sendertechnik - Leistungsendstufen mit bis zu 600 Watt

Für die je nach Betriebsarten optimalen Bandbreiten stehen auf der 2.ZF von 10,7MHz sieben diskret aufgebaute 16-polige Quarzfilter als Ladder-Filter zur Verfügung – insgesamt also 14 Quarzfilter in beiden Empfängern. Sie sind von 600Hz bis 6kHz abgestuft und in Filterbänken organisiert. MAIN- und SUB-Empfänger

Das Gerät wird in drei Leistungsstufen angeboten: 10, 100 und 600 Watt. Letztgenannte kann zu Recht als Weltneuheit gelten – erstmals kommen MOSFET in 100-Volt-Technik zum Einsatz. Zwei Transistoren vom

Bild 2: Frontend der RX des PT-8000: Die Hauben der Abschirmkammern sind entfernt. Gut zu erkennen (von links nach rechts) der T-200 des mitlaufenden Preselectors, die BPF, die beiden 1.Mischer (LF-HF/VHF) sowie die drei Roofing-Filter.





Typ SD3933 reichen aus, um diese Leistung bei einem Wirkungsgrad von bis zu 70% zu erzeugen. Dabei bleiben die IMD3-Produkte unter -36dB. Eine Herausforderung für die 600-Watt-Version war es, den Wärmehaushalt des Gerätes in den Griff zu bekommen. Selbst bei bis zu 70% Wirkungsgrad der SD3933 müssen ein paar hundert Watt abgeleitet werden. Eine 5mm dicke Kupferplatte in Verbindung mit einem Alu-Kühlkörper und ein Tangentiallüfter über die gesamte Breite des Kühlkörpers bewältigen diese Aufgabe. Der Wärmehaushalt ist bei voller Leistung für den SSB-Betrieb ausgelegt.

Diplexer-Oberwellenfilter von 1,8 - 52 MHz und automatischer Antennenkoppler

Die guten Intermodulationswerte der Leistungsendstufen - insbesondere der 600-Watt-PA – werden u.a. durch einen kleinen Kunstgriff möglich. Viele Funkamateure bedienen sich des Prinzips des Split-Filters zur Verhinderung der Abstrahlung von Oberwellen (meist dimensioniert für $f_g > 30\text{MHz}$). Der PT-8000 verfügt über acht derartige Filter – hier Diplexer genannt. Sie sind Bestandteil der Oberwellenfilter und direkt nach den Ausgangsübertragern angeordnet und für den HF/VHF Bereich (1,8 - 52MHz) dimensioniert. Harmonische werden dadurch nicht mehr an den Tiefpassfiltern reflektiert, sondern mit einem induktionsfreien 50-Ohm-Hochlastwiderstand von 30 Watt abgeschlossen und können so keine Intermodulation provozieren. Nach Kenntnis des Verfassers ist dies bisher einmalig bei (kommerziellen) Amateurfunkgeräten und nachahmenswert für den Selbstbau von Transistor-PAs.

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

Bild 3: 600Watt-PA mit zwei MOSFET in 100V-Technik

kungsgrad und der spektralen Reinheit zu Gute kommt, weist auch der PT-8000 A/B einen automatischen Antennenkoppler auf, der in beiden Versionen für 600 Watt dimensioniert ist. Ein L-Glied wird für hohe und niedrige Impedanzen geschaltet. Die Induktivitäten sind 8 Bit binär in 25nH – und die Kapazitäten ebenfalls 8 Bit in 10pF-Schritten abgestuft. Die Variationsbreite reicht, um koaxgespeiste, resonante Antennen über die gesamte Bandbreite der Amateurfunkbänder zu betreiben.

Schlussbemerkung

Betrachtet man das Gesamtkonzept und Detaillösungen am PT-8000 so wird deutlich, dass es dem Entwickler auch um die Freude an technisch Machbarem ging. Hans Hilberling, DK7LG, zielte auf einen Amateurfunktransceiver „... wie aus einem Lehrbuch der Hochfrequenztechnik.“ Das ist zweifellos gelungen.

Quellen

- [1] Klaus Lohmann, Deutsche Spitzentechnologie: KW/VHF-Transceiver PT-8000 – analog und digital im Einklang. FUNKAMATEUR Heft 7/2006
- [2] Datenblätter MOSFET SD3933 unter www.st.com
- [3] Weitere Informationen PT-8000 unter www.hilberling.de

Autor

Klaus Lohmann · DK7XL
eMail: Klaus_Lohmann@t-online.de