

Softwaredefinierter Transceiver für den Amateurfunk: FLEX-5000A

KLAUS LOHMANN – DK7XL

Seit Herbst 2007 sind die ersten FLEX-5000-Transceiver aus dem Haus FlexRadio Systems auch in Deutschland erhältlich. Nach über vier Jahren Erfahrung mit dem SDR-1000, einem Vertreter der 1. SDR-Generation, wurde mit Spannung auf den vollständigen Neuentwurf der Hardware gewartet, die die in der Hardware des SDR-1000 gemachten Zugeständnisse an Industriestandards vermeiden sollte.

Dieser Beitrag beschreibt die Technik des FLEX-5000 sowie die Fortentwicklung der frei zugänglichen Software PowerSDR*.

Über softwaredefiniertes Radio (SDR) wird in Publikationen für den Amateurfunk in Deutschland erfreulicherweise immer öfter geschrieben, sodass hier eine umfangreichere Einführung in das Thema unterbleiben kann [1]... [3]. Für SDR-Projekte im Amateurfunk haben sich zwei konzeptionelle Ansätze herausgebildet, aus deren Wettbewerb der Amateurfunk profitieren wird!

Zum einen ist hier der „klassische Ansatz“ der Direktüberlagerung zu nennen. Es handelt sich dabei um analoge Mischer – auch wenn sie nach dem zeitgemäßen Prinzip der Quadraturabtastung arbeiten. Die Zwischenfrequenz (ZF) liegt meist bei 0 Hz bzw. mit bei niedrigen Frequenzen oberhalb des Audiobandes. Beim SDR wird gern von ZF 0 Hz abgewichen, um störende Spektren wie z. B. Brummschleifen in den ersten 100 Hz des Basisbandes mit genügendem Abstand von der NF-Nutzbandbreite fernzuhalten. Zudem entstehen die Spiegelfrequenzen dann ebenfalls außerhalb dieses Bereichs. Dem Thema Spiegelfrequenzen wird beim Vergleich der Kon-

zepte noch weiter unten mehr Aufmerksamkeit zu schenken sein.

Nach der Direktüberlagerung entsteht ein NF-Frequenzband (Basisband), das analog (!) verstärkt und erst anschließend einer A/D-Umsetzung unterzogen und dann als digitales Quadratursignal im PC weiter verarbeitet wird. FlexRadio Systems verfolgt dieses Konzept im SDR-1000 sowie in der FLEX-5000-Serie.

Das zweite Konzept geht den Weg der Digitalisierung „bereits an der Antenne“ [4]. Für Amateurfunktechnik (noch) bezahlbare A/D-Umsetzer (z. B. LT2208 bzw. der Nachfolger LT2209) erlauben die Abtastung mit mehr als 130 MS/s (Mio. Abtastungen pro Sekunde). Dies gestattet gemäß dem Nyquist-Theorem die praktische Nutzung ungefähr bis zur Hälfte der Abtastfrequenz – hier also mit mehr als 60 MHz (von Sonderfällen, z. B. dem sog. *Undersampling*, abgesehen, mit der die obere nutzbare Frequenz um ein Mehrfaches gesteigert werden kann). Der gesamte Frequenzbereich von z. B. 0 bis 65 MHz liegt nach der A/D-Umsetzung als Datenstrom vor.

Er kann durch die so genannte digitale Direktumsetzung (*Digital Down Conversion*, DDC) reduziert werden, was aus mehreren Gründen sinnvoll ist. Dabei wird für einen Frequenzabschnitt aus dem gesamten Frequenzband die Abtastrate reduziert, sodass der entstehende Datenstrom verringert wird und nur noch einen Teilausschnitt des gesamten Frequenzbandes abbildet.

Mit der Datenreduktion geht obendrein ein erheblicher Prozessgewinn im Dynamikbereich einher. Trotz der sehr guten erzielbaren Dynamik dieser Systeme ist zur Vermeidung einer Übersteuerung des A/D-Umsetzers im praktischen Gebrauch ein mehrstufiger Abschwächer bis 30 dB sinnvoll. Dieser verschiebt den Dynamikbereich gleichsam dorthin, wo es in der jeweiligen Empfangssituation sinnvoll ist. Analoge Systeme wie beim FLEX-5000 haben noch einen deutlichen Vorteil bei den maximal zulässigen Eingangspegeln: Der Quadratur-Abtastdemodulator (QSD) ist diesbezüglich noch lange nicht am Ende seiner (auch schaltungstechnischen) Möglichkeiten.

Hardware des FLEX-5000 – ein vollständiger Neuentwurf

Obwohl das Grundkonzept, d. h. Quadratur-Abtastdemodulator bzw. -Exiter (QSD/QSE) des SDR-1000, beibehalten wurde, sind die Unterschiede zum Ursprungsmodell doch grundsätzlicher Natur. Einen Überblick verschaffen die Blockschaltbilder Bild 1 und 2 des FLEX-5000A, der im Gegensatz zu den C- und D-Modellen für den Betrieb einen PC oder ein Notebook benötigt. Der Transceiver besteht aus zwei Hauptplatinen, der HTRX- und der HPA100-Baugruppe sowie dem Antenneneingangsteil, genannt RFIO (Bilder 3 und 5).

Die HTRX-Platine beinhaltet die gesamte Signalaufbereitung für Senden und Empfang sowie die A/D-Umsetzung auf das Basisband bzw. die D/A-Umsetzung für den Sendezweig. Auf dieser Hauptplatine sind ebenfalls die Schnittstellen I²C zum internen Datenaustausch und zur Kommunikation über den FlexWire*-Anschluss sowie die Firewire-Schnittstelle (IEEE 1394) zum Anschluss an den PC untergebracht. Beide Hauptplatinen sind durch eine massive Trägerplatte aus Aluminium (7 mm stark) getrennt. Sie ist mit Lüftungsschlitzen versehen. Der gesamte Aufbau wird durch einen sehr leisen Lüfter mit 130 mm Durchmesser von unten nach oben belüftet. Der Wärmekontakt der Trägerplatte zu allen Seitenwänden sorgt für zusätzliche Wärmeableitung. Ein SDR wird in seiner Leistungsfähigkeit weitgehend durch die Software bestimmt. Allerdings setzt dies auch bei der Hardware eine entsprechende „Bandbreite“ an Fähig-

* PowerSDR und FlexWire sind eingetragene Warenzeichen von FlexRadio Systems, USA.

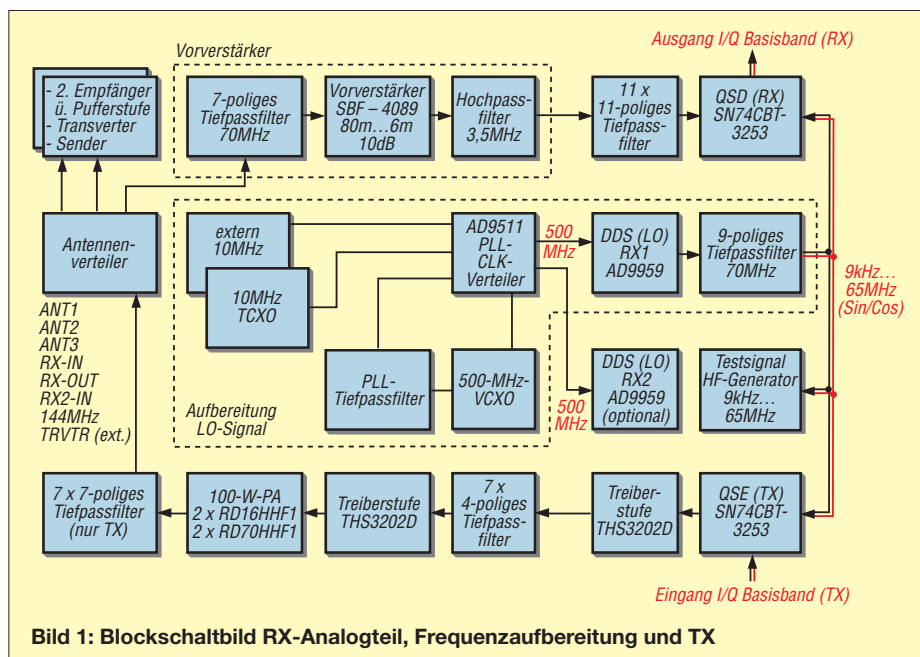
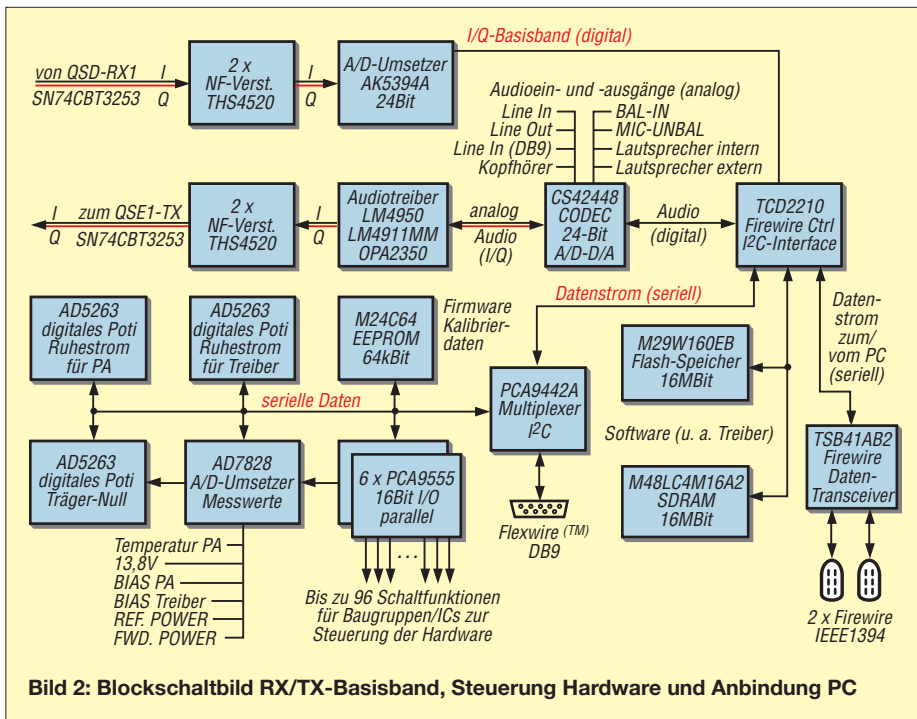


Bild 1: Blockschaltbild RX-Analogteil, Frequenzaufbereitung und TX



keiten voraus. Der FLEX-5000 ist deshalb auf Zuwachs ausgelegt. So übersteigen derzeit seine durch die Hardware möglichen Leistungen den Stand der Software Power SDR (siehe unten).

Antennenverteiler und HF-Eingangsteil

Das Eingangsteil des FLEX-5000 ist völlig neu gestaltet worden (Bild 1) und verdeutlicht die Absicht, mit diesem SDR eine Plattform für den Zugang zum gesamten für den Amateurfunk nutzbaren elektromagnetischen Spektrum zu schaffen bzw. eine Vielzahl an Antennen und Peripherie anzubinden. Neben drei Antennen, separaten Empfangsantennen für beide Empfänger, internem Ausbau für Transverterbetrieb und (externen) Transverteranschlüssen ist auch die Öffnung des Antenneneingangs der Empfänger bzw. Trennung des RX vom S/E-Umschaltrelais vorgesehen, sodass hier leicht Zusatzgeräte wie zusätzliche Filter oder Vorverstärker, aber auch Zusatzgeräte zur Unterdrückung von lokalen Störungen usw. eingeschleift werden können.

Ein in den Leistungsdaten völlig identischer zweiter Empfänger ist optional nachrüstbar – im 2. Quartal 2008 soll er zur Verfügung stehen. Dies gilt auch für einen 2-m- bzw. 70-cm-Transverter, der oberhalb des (optionalen) Antennenkopplers (ATU) noch Platz findet. Von der Antennenverteilung geht es zum Vorverstärker, der nur von 3,5 bis 54 MHz eingesetzt werden kann, über ein integriertes 70-MHz-Tiefpassfilter verfügt und so beschaltet ist, dass er einen 3,5 MHz Hochpass darstellt. Die Höhe des atmosphärischen Rauschens auf den tieferen Frequenzen und die ausreichende Emp-

findlichkeit des Empfängers in diesem Bereich rechtfertigen in den meisten Fällen nicht den zusätzlichen Filteraufwand (Hochpassfilter zur Unterdrückung der Signale von den Rundfunkbänder) bzw. den Einsatz eines Vorverstärkers. Wo dennoch mehr erwünscht ist, lassen sich entsprechend zugeschnittene Filter und Verstärker in den Empfangszweig einschleifen.

Unmittelbar vor dem Quadrurmischer wird mit elf jeweils 11-poligen Tiefpassfiltern, die das gesamte HF-Spektrum abdecken, erheblicher Aufwand getrieben. Wie die praktischen Erfahrungen mit dem SDR-1000 zeigten, erfordert die geringe Mischdämpfung (lediglich 10 dB) bezogen auf Signale, die im Bereich der 2. Harmonischen des Oszillators (LO) liegen, besondere Vorkehrungen. Verschiebungen der Einschaltpunkte dieser Filter sind über die Software (Firmware) möglich.

Der Quadrurmischer wird von einem 8fach-Schalter gebildet (SN74CBT3253),

der in Abwandlung des Tayloe-Detektors als balancierter Mischer zum Einsatz kommt. Der Ausgang stellt bereits das zweifache Basisband (I- und Q-Signal) mit einer Bandbreite von etwa 200 kHz dar. Aus den beiden Signalen lassen sich nun nach Digitalisierung die Nutzsignale aller Modulationen gewinnen.

Frequenzkonzept

Aus einem hochstabilen 10-MHz-TCXO und einem 500-MHz-VCXO werden mit einer PLL-Schaltung und dem AD9511 zwei 500-MHz-Taktsignale für die DDS-Bausteine des RX1/TX und RX2 gewonnen. Das Ergebnis ist gegenüber dem SDR-1000 höhere Frequenzstabilität, niedrigeres Phasenrauschen und die deutlich verbesserte Nebenwellenfreiheit der gewonnenen LO-Signale für die QSD/QSE. Dazu trägt aber auch der streng symmetrische Aufbau und die konsequente Schirmung der Baugruppen bei. Jeweils zwei LO-Signale, die mit hoher Genauigkeit 90° phasenverschoben sind (sin/cos-Signale), steuern die Quadrurmischer an, sodass die Schalter über die vier Quadranten „rotieren“ und so mit dem Eingangsspektrum ein „Interferenzbild“ erzeugen – das bis zu zirka 200 kHz breite Basisband.

SDR einschließlich 6-m-Band mit 100 W Sendeleistung

Der Sendeweg folgt der gleichen Systematik: Das NF-Frequenzspektrum wird mit dem LO durch den QSE auf die HF-Ebene gemischt. Die Bandbreitenbegrenzung findet ausschließlich auf der digitalen Ebene statt. Der Sendezweig weist keine Besonderheiten auf. Tiefpassfilter vor und nach der Endstufe sorgen für ausreichende spektrale Reinheit. In Treiber und Endstufe werden HF-MOSFETs verwendet, die auch noch auf dem 6-m-Band 100 W Ausgangsleistung ermöglichen. Der IMD 3. Ordnung bei Nennleistung konnte bezogen auf den Einzelton (!) mit besser als -35 dB gemessen werden.

Bild 3: Die Ansicht der Trägerplatte von unten zeigt das HTRX-Board. Hermetisch abgeschirmt sind Frequenzbearbeitung, 11-poliger Tiefpass, RX-Mischer mit 24-Bit-A/D-Umsetzer sowie Firewire-Interface.



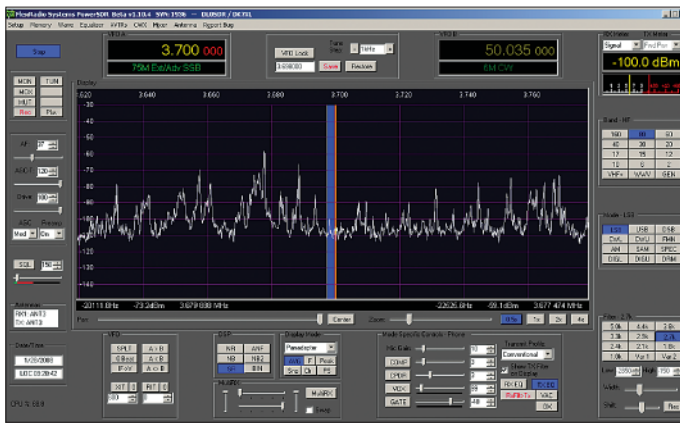


Bild 4: Bedienoberfläche (Konsole), die farblich individuell gestaltet werden kann. Sie wird bald abgelöst werden durch eine frei gestaltbare Oberfläche, die sich für spezielle Funktionen optimieren lässt: Contest, Messanwendung, digitale Betriebsarten usw.

■ A/D-Umsetzung für die Signalverarbeitung im PC

Für die A/D-Umsetzung des Basisbandes fand bisher eine Soundkarte im PC bzw. eine externe Soundbox Verwendung. Die Leistungsfähigkeit des SDR hängt entscheidend von dieser Baugruppe ab – sie muss den HF-technischen Eigenschaften des Eingangsteils entsprechen.

SDR-Nutzer haben sicher den Wunsch nach physischer Integration des A/D-Umsetzers in das SDR mit der Folge, nur noch *eine* Kabelverbindung zum PC herstellen zu müssen. Der FLEX-5000 integriert den A/D-Umsetzer zur Digitalisierung des I- und Q-Signals. Als A/D-Umsetzer wurde der Baustein von Asahi Kasai, der AK5394A, ein 24-Bit-Umsetzer mit mehr als 120 dB Dynamikbereich, ausgewählt. Die maximale Abtastrate beträgt 192 kHz – da beide Kanäle (I und Q) digitalisiert werden, lässt sich eine maximale Bandbreite von 192 kHz in Echtzeit darstellen.

Bild 4 zeigt die Bedienoberfläche von PowerSDR, genannt *Konsole*, mit 160 kHz breitem Bandausschnitt. Die Spektrumanzeige bzw. der Panorama-Adapter genügen hinsichtlich Präzision in Frequenz und Amplitude durchaus professionellen Ansprüchen. Die Auflösungsbandbreite reicht dabei hinunter bis zu etwa 10 Hz. Die Auflösung in der Amplitude beträgt 0,1 dB. Ermittelt werden die Feldstärke bzw. die Eingangsleistung an der Antenne – und zwar als Summenleistung im Empfangskanal.

Entsprechend der gewählten Bandbreite verändert sich deshalb auch die Anzeige des S-Meters bzw. der Basislinie der Spektrumanzeige. Die (fragwürdige) Veränderung der angezeigten Signalstärke mit Einfügung von Abschwächern oder Zuschalten von Vorverstärkern gehört bei diesem Messprinzip endlich der Vergangenheit an.

■ D/A- und A/D-Umsetzung für Audioein- und -ausgänge

Freilich liegt das Hauptaugenmerk bei einem SDR auf der für die Leistungsfähigkeit des RX alles entscheidenden Analog-Digitalwandlung des Basisbandes. Die weiteren für einen Transceiver noch notwendigen Umsetzerprozesse sind vergleichsweise weniger anspruchsvoll. Da ist zuerst einmal die Umsetzung der digitalen Sendesignale für den analogen Sendetrakt zu nennen. Weiterhin sind alle Audioein- und -ausgänge des Transceivers bereitzustellen. Der FLEX-5000 verfügt über eine reichliche Ausstattung: balancierter und unbalancierter Eingang (Line-In, Mic), Line-Out über Firewire und RCA-Buchse, Kopfhörer, Lautsprecherausgang intern sowie extern usw.

Die Vielzahl dieser Signale wird durch einen ebenfalls 24-Bit-A/D- und -D/A-Umsetzer-Codex (Coder/Decoder) CS42448 bereitgestellt. Mit diesem Chip allein ließe sich ein Voll-Duplex-SDR aufbauen – im FLEX-5000A wird er lediglich für die eben beschriebenen Aufgaben eingesetzt.

■ Interner Datenaustausch mit I²C-Protokoll und Anbindung an PC

Der Datenaustausch und die Steuerung der gesamten Hardware innerhalb des FLEX-5000 erfolgt über das I²C-Protokoll. Die Taktfrequenz beträgt 400 kHz. Beim I²C-Bus handelt es sich um die Datenverbindung der verschiedenen Baugruppen bzw. Digitalbausteine innerhalb des FLEX-5000 sowie um die Anbindung von Peripherie nach außen mit dem so genannten Flex Wire-Port. Letzterer bildet die Schnittstelle zu Peripheriegeräten – z. B. zur vollständigen Steuerung von PAs.

Vor etwa 20 Jahren hat Philips den I²C-Bus entwickelt, um einfachen Datenaustausch zwischen Komponenten innerhalb eines Gerätes – also über kurze Distanzen – zu ermöglichen. Der Name I²C steht für Inter-IC – also IIC oder I²C. Die ursprüngliche Datenübertragungsrate war mit 100 kBit/s festgelegt. Heute werden auch 400 kBit/s oder gar 3,4 MBit/s realisiert. Im FLEX-5000 wird der I²C-Bus verwandt, weil

- nur zwei Leitungen notwendig sind (Datenleitung, genannt SDA, und Taktleitung, SCL),
- keine festgelegte Übertragungsgeschwindigkeit eingehalten werden muss, wie z. B. bei RS232,
- eine einfache Master-Slave-Beziehung zwischen allen Komponenten besteht und
- jede Komponente, die am Bus angeschlossen ist, per Software-Adresse eindeutig ansprechbar ist.

Im FLEX-5000 sind dies u. a. folgende Komponenten (Bild 2):

- ein 7-Kanal-A/D-Umsetzer, der die analogen Messwerte wie Temperatur, PA-Strom, Treiber-Strom, Vorwärts- und reflektierte Leistung sowie Versorgungsspannung digitalisiert;
- digitale Potenziometer z. B. zur Einstellung der Ruhestrome der vier HF-MOS-FETs in der PA und der Trägerunterdrückung;
- sechs PCA9555, das sind parallele 16-Bit-I/O-Port-I²C-Bausteine, die bis zu 96 (!) Funktionen im FLEX-5000 schalten können. Dazu gehören z. B. die PTT-Ausgänge, die CW-Taste, die Steuerung des A/D-Umsetzers hinter dem QSD, die Steuerung der DDS-Funktion, die Auswahl sämtlicher RX/TX-Filter usw.

Über die Betriebssoftware PowerSDR lässt sich auf diese Weise nahezu jede Peripherie ansteuern. Es wird deutlich, dass schon die Steuerung der Hardware des FLEX-5000 einen Generationswechsel in der SDR-Technologie von FlexRadio Systems darstellt. Eines der markantesten technischen Merkmale ist der bisher nur in Teilen be-

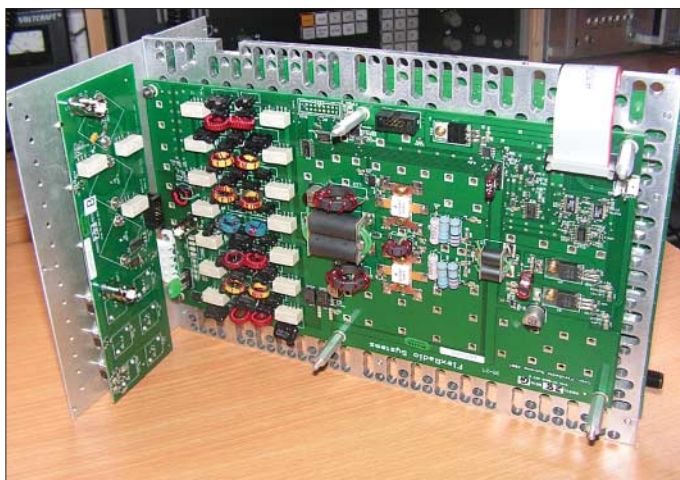


Bild 5: Die Ansicht der Trägerplatte von oben zeigt das HPA100- sowie das RFIO-Board, das an der Rückwand montiert ist. Zu sehen ist die 100-W-PA mit Treiber und den sieben Tiefpassfiltern. Über der PA können noch Antennenkoppler für 160 m bis 6 m und Transverter montiert werden.

beschriebene Zugriff der Software auf die analogen und digitalen (Hardware-)Komponenten als Voraussetzung für die hohe Flexibilität der Hardware im Zuge der Entwicklung weiterer softwaredefinierter Fähigkeiten des Systems.

Die Einflussnahme der Software auf die Hardware des FLEX-5000 ist (nahezu) vollständig – mit einer kleinen Ausnahme: Der Abgleich der SWV-Brücke erfolgt noch mit einem Trimmer (Anzeige des Messwertes natürlich auf dem Bildschirm...). Ansonsten aber gibt es im gesamten Aufbau keine Potenziometer bzw. mechanisch justierbare Bauteile. Auch die Ruheströme der vier HF-MOSFETs der PA werden über Software eingestellt – für etliche OMs sicher mit der beunruhigenden Vorstellung verbunden, dass die PA auf Grund eines Softwarefehlers „durchgeht“. Man kann dies durchaus mit der Einführung der *fly by wire*-Technik in der Luftfahrt vergleichen – auch hier gab es anfangs starke Ablehnung, bis das notwendige Vertrauen aufgebaut war.

Der SDR-1000 kommuniziert mit dem PC über die Parallelschnittstelle, die jedoch bei neuen Rechnern zunehmend fehlt und bei Laptops so gut wie nicht mehr vorhanden ist. Abhilfe schafft ein Parallel-USB-Adapter von FlexRadio Systems. Der FLEX-5000 nutzt die FireWire-Schnittstelle, um schnell und breitbandig Daten an bzw. vom PC zu senden. Die Datenübertragungsrate ist mit 400 MBit/s so hoch, dass auch künftigen Leistungserfordernissen durch den Ausbau der Software entsprochen wird. Das Interface zwischen FLEX-5000 und PC besteht aus dem TCD2210 (FireWire Controller und I²C-Interface) sowie dem Daten-Transceiver TSB41AB2.

■ Integrierte Hardware und Software zu Testzwecken

Zu dem eben beschriebenen Konzept der vollständigen Kontrolle über die Hardware gehört auch, dass „Testgeräte“ integriert sind. Schon aus dem SDR-1000 ist die Realisierung eines (Software-)Testgenerators, der im Basisband arbeitet, bekannt. Auch im FLEX-5000 liefert er Rauschsignale sowie NF-Signale mit verschiedenen Charakteristiken, einschließlich der Möglichkeit zu wobbeln. Ein Zweitongenerator ist ebenfalls vorhanden, sodass IMD-Messungen am Sendetrakt durchgeführt werden können.

Beim FLEX-5000 kommt neben dem (Hardware-)Impulsgenerator noch ein „echter“ HF-Generator hinzu – siehe Bild 1. Ein Signal des 4fach-DDS-Bausteins wird dazu zweckentfremdet. So sind definierte Pegel für die Eigenkalibrierung des Panoramaadapters bzw. der Spektrumanzeige ebenso möglich wie die notwendigen Prüfsignale

FLEX-5000A-Spezifikationen nach Herstellerangaben (Auszug)

Allgemein

RX-Frequenzbereich: 10 kHz...65 MHz, 160...6 m
(Die Spezifikationen gelten nur für die Amateurbänder.)
TX-Frequenzbereich: 160...6 m (nur Amateurbänder)
Frequenzstabilität: $\pm 0,5$ ppm bei 0 °C bis +50 °C
Temperaturbereich im Betrieb: -10 °C bis +50 °C
Betriebsarten: A1A (CW), A3E (AM), J3E (LSB, USB), F3E (FM), F1B (RTTY), F1D (Packet-Radio), F2D (Packet-Radio)
Abstimmsschritte: 1 Hz Minimum
Antennenimpedanz: 50 Ω , unsymmetrisch
6...1000 Ω , unsymmetrisch mit optionalem Antennenkoppler für 160...10 m Amateurbänder
16...150 Ω , unsymmetrisch mit optionalem Antennenkoppler für 6-m-Amateurband
Stromaufnahme: RX 1,5 A (typ.); TX (100 W) 25 A (max.)
Spannungsversorgung: 13,8 V ± 10 %, Gleichspannung
Abmessungen: 235 \times 221 \times 315 mm³ (B \times H \times T)
Masse: 5,9 kg

Sender

Ausgangsleistung: 1...100 W PEP CW und SSB (2...25 W AM Träger)
Betriebsarten: A1A (CWU, CWL), J3E (USB, LSB), A3E (AM), F3E (FM), Digital
Oberwellenabsenkung: besser -55 dB (160...10 m Amateurbänder) bzw. besser -65 dB (6-m-Amateurband)
SSB Trägerunterdrückung: besser 55 dB
SSB Seitenbandunterdrückung: besser 55 dB
Frequenzgang Audio (SSB): 10 Hz bis 20 kHz, Software EQ
IMD 3. Ordnung: besser -33 dB bezogen auf Ausgangsleistung (PEP) @ 14,2 MHz 100 W PEP
Mikrofonimpedanz: 600 Ω (200 Ω bis 10 k Ω)
Balanced Line In-Impedanz: 600 Ω (200 Ω bis 10 k Ω)

Empfänger

Konzept: Direktüberlagerung
Zwischenfrequenz: über Software wählbar von DC (0 Hz) bis 20 kHz
MDS: auf 14 MHz mit Vorverstärker OFF/ON: 1,3/0,3 μ V bzw.
MDS: -123 dBm/-133 dBm bei 500 Hz Bandbreite
IP3: +30 dBm auf 14 MHz mit Vorverstärker OFF bei 2 kHz oder weniger Abstand der Messsignale
Trennschärfe (-6/-60 dB): CW 500 Hz -6/-60 dB; 500/640, SSB 2,4 kHz -6/-60 dB; 2,39/2,54 AM 6,6 kHz -6/-60 dB; 6,60/6,74
Spiegelfrequenzunterdrückung: 70 dB oder besser (160...6 m Amateurbänder)

Alle Angaben unter dem Vorbehalt technischer Änderungen

zur Optimierung der Spiegelfrequenzunterdrückung, zur Bestimmung der Durchgangsdämpfung verschiedener Filter in TX und RX sowie zur Bestimmung bzw. Überwachung der Empfindlichkeit.

Zu der nahezu vollständigen Kontrolle der Hardware durch die Software gehören umfangreiche Menüs. Sämtliche Ein- und Ausgänge können automatisch überprüft werden, siehe Bild 6.

■ Ausstattung des FLEX-5000 mit Speicher

PowerSDR ist die Arbeitssoftware für den FLEX-5000. Individuelle Einstellungen, aber auch Kalibrierdaten, werden vom jeweils angeschlossenen Gerät in PowerSDR übernommen und in eine Datenbank geschrieben (*Access-Datei*). Die jeweiligen Kalibrierdaten, Hardware-Informationen usw. werden im FLEX-5000 in einem EEPROM gespeichert. Die Betriebssoftware für die FireWire-Schnittstelle und den A/D-Umsetzer AK5394A sind in einem SDRAM- bzw. Flash-Speicher abgelegt.

■ Open Source-Software PowerSDR

Wenn die Leistungsfähigkeit eines SDR, seine Funktionen, die Bedienbarkeit, kurz – wenn der Transceiver beschrieben werden soll, ist dies in erster Linie die Beschreibung bzw. Beurteilung der Eigenschaften der Software. So „schmerzlich“ das auch

für Hardware-Enthusiasten (ich zähle mich dazu) sein kann – aber das SDR als Hardware ist eine Blackbox, die auch unter dem Stationstisch oder auf dem Dachboden stehen kann.

PowerSDR ist in den vergangenen Jahren mit dem SDR-1000 gewachsen und stellt auch für den FLEX-5000 die Basis für den Betrieb dar. PowerSDR hat mit seinen Anfängen auf der Plattform VisualBasic bis heute einen Umfang, eine Komplexität und eine Funktionsvielfalt erhalten, die fast schon unüberschaubar zu werden droht. Dies gilt nicht allein für die Vielzahl der Funktionen und deren Anpassungsmöglichkeiten, sondern vor allem für die Interdependenz der einstellbaren Parameter und Eigenschaften. Deshalb wird es Ziel der weiteren Entwicklung sein, vermehrt Reduzierungen bzw. Vereinfachungen in der Bedieneroberfläche vorzunehmen, die sich durch Anwahl des *Expert-Modus* wieder aufheben lassen. In nicht allzu weiter Ferne wird eine völlig neue Architektur von PowerSDR zur Verfügung stehen, die frei konfigurierbare Oberflächen zulässt.

PowerSDR hat heute einen Leistungsstand erreicht, der zur Folge hat, dass der Neuentwurf einer vergleichbaren Software einen aus wirtschaftlicher Sicht für Amateurfunktechnik nur schwer zu amortisierenden Kapitalaufwand bedeuten würde. Die weltweiten Beiträge und Anregungen von Nutzern der Software sowie von hoch quali-

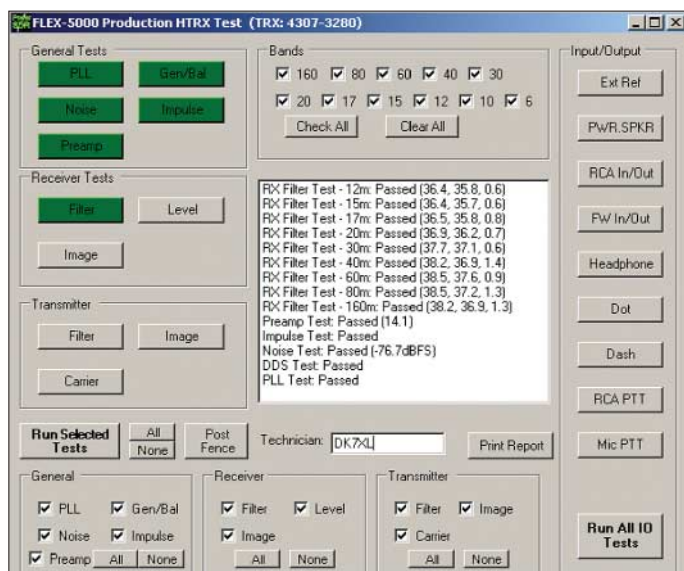


Bild 6: Eines der ethischen Test- und Kalibrieremenüs. Vorrangig für die Fertigung gedacht, geben sie dem Nutzer vollständige Kontrolle über alle Funktionen des SDR.

Bild 7: 10-Band-Equalizer, der auf drei Bänder reduziert werden kann, für TX und RX

Fotos und Screenshots: DK7XL
Grafiken: FlexRadio Systems/DK7XL

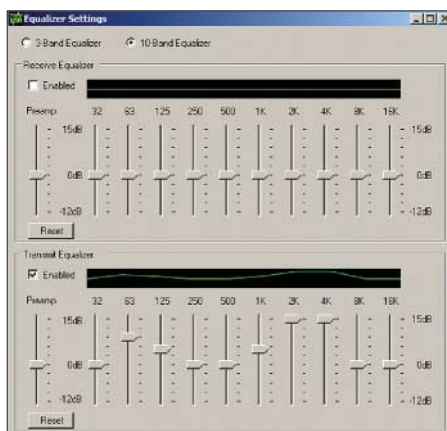
fizierten SDR-Enthusiasten gelten ebenfalls als Kapitaleinsätze! Nach meiner Einschätzung wird es deshalb auch in Zukunft bei dem Konzept *Open Source* bzw. der Lizenzierung unter GPL bleiben.

■ PowerSDR – auf der Schwelle zum Duplex-Betrieb

Mit der Entwicklung der zweiten Generation an SDR-Hardware, dem FLEX-5000, wird eine weitere Schwelle überschritten. Der FLEX-5000 kann mit seiner neuen Hardware bisherige Beschränkungen überwinden, da nun Duplex-Signalverarbeitung möglich wird. Ein zentraler Punkt bei der Ausreizung der Möglichkeiten des SDR-1000 lag im Bereich der zeitgleichen Verarbeitung von Audio-Signalen: Auch hier war der Umstieg von 2- auf 4-Kanal-Soundsysteme ein entscheidender Sprung. Nur so wurde z.B. ohne eine zweite Soundkarte der VOX-Betrieb möglich.

Die Umstellung der Software PowerSDR auf Duplex-Betrieb wird nicht allein betriebliche Vorteile nach sich ziehen, Letztere spielen für viele Nutzer eine eher untergeordnete Rolle. Der Duplex-Betrieb wird vor allem in der Signalaufbereitung neue Wege eröffnen können. Die vollständige Kontrolle des eigenen Sendesignals mit dem zweiten Empfänger ist dafür ein Beispiel. Weitere Softwareentwicklungen zielen auf die *adaptive Vorverzerrung* des Sendesignals. Dabei wird Letzteres analysiert, um zu Verzerrungen gegenphasige Korrektursignale bilden und aufmodulieren zu können. Das ermöglicht eine bisher unerreichte spektrale Reinheit des Sendesignals. Diesen Ansatz verfolgt auch Hans Zahnd mit seinem ADT-200A [8].

Eine weitere Anwendung ist das bekannte Prinzip des QRM/QRN-Eliminators, der Störungen aus dem Nahfeld mit einer Hilfsantenne aufnimmt und sie gegenphasig in den Empfangszweig einspeist. Mit dem 2. RX steht ein entsprechender Sensor zur Verfügung. Sogar auf Störungen aus dem Fernfeld (QRM, Splatter) ist dieses Wir-



kungsprinzip anwendbar. Das ist Zukunftsmusik – aber ein SDR ist ein Transceiver, der nie in der Gegenwart verharret, sondern sich ständig wandeln kann.

■ Abwärtskompatibel zum SDR-1000

Dies gilt auch im Hinblick auf den SDR-1000, der mit Erscheinen des FLEX-5000 keineswegs von der weiteren Entwicklung abgehängt ist: Seine Hardware ist noch lange nicht ausgereizt. Von vielen weiteren Entwicklungen der Software PowerSDR bei Konzentration auf die Hardware des FLEX-5000 hat und wird der SDR-1000 ebenfalls profitieren können. So verfügt der SDR-1000 heute ebenfalls über

- 10-Band-Equalizer (Bild 7),
- neue PA-Kalibrierung,
- neue Algorithmen zu Spiegelfrequenzunterdrückung und Pegelkalibrierung sowie über die
- Reduzierung der CPU-Auslastung um nahezu 50 %.

■ Optimierung Spiegelfrequenzunterdrückung

Wie eingangs erwähnt erlangt gerade beim Vergleich der Konzepte direkte Digitalisierung an der Antenne und traditioneller analoger Mischer bzw. QSD das Kriterium Spiegelfrequenzunterdrückung große Bedeutung. Hier wird PowerSDR für drastische Verbes-

serung sorgen. Gegenwärtig ist beim FLEX-5000 die Spiegelfrequenzunterdrückung *pro Band* auf einer Frequenz kalibriert. Dies ist notwendig, weil bei der analogen Verarbeitung der I- und Q-Signale vor dem A/D-Umsetzer unvermeidbar Abweichungen von der idealtypischen 90°-Phasendifferenz sowie der absoluten Amplitudengleichheit beider Kanäle auftreten. Diese werden durch Kalibrierung ausgeglichen. Um über das gesamte Basisband optimale Werte zu erhalten, sind zwei Wege denkbar:

1. *Mapping* (Kartografieren) – so könnte man die empirische Ermittlung der optimalen Korrekturwerte für Phase und Betrag der beiden I- und Q-Kanäle bezeichnen. In einem festgelegten Frequenzraster wird die Spiegelfrequenzunterdrückung optimiert. Die jeweiligen Wertepaare werden in einer Tabelle abgelegt, die jeweils entsprechend der Frequenz abgerufen wird. Auf geradezu geniale Weise ist dieses Prinzip bereits erfolgreich für die *SoftRock*-Geräte demonstriert worden. Hier geht man sogar soweit, dass die Software selbstlernend vorgeht und vorhandene Signale innerhalb des Frequenzbandes analysiert und zur Erstellung der Korrekturtabelle nutzt.
2. Beim einem zweiten Weg wird ein Algorithmus ermittelt, der die entsprechenden Korrekturwerte hinreichend genau ermittelt und frequenzrichtig zur Verfügung stellt.

Die Verbesserung der Spiegelfrequenzunterdrückung wird eine Lücke in der Leistung der SDR dieser Bauart im Vergleich zu den Eingangs unter (2) erwähntem Konzept der direkten Digitalisierung schließen und dann für alle Bänder und über die gesamte Breite des Basisbandes Spiegelfrequenzunterdrückungen von besser 80 dB ermöglichen.

Literatur

- [1] Meyer, M., HB9BGV: SDR-1000. FUNKAMATEUR 53 (2004) H. 5, S. 454 – 457; H. 6, S. 560–561
- [2] Lohmann, K., DK7XL: Digitale Zukunftstechnik fürs Shack? CQ-DL 77 (2006) H. 2, S. 112
- [3] Youngblood, G., AC5OG: A Software Defined Radio for the Masses. QEX 22 (2002) H. 4, S. 13–21; H. 5, S. 10–18; H. 6, S. 27–36; QEX 23 (2003) H. 1, S. 20–31; Download: www.flex-radio.com/articles_files/SDRFMP1.pdf
- [4] Seidenberg, C.: SDR der nächsten Generation: der Perseus von Nico Palermo. FUNKAMATEUR 56 (2007) H. 12, S. 1286–1289
- [5] Informationen zum FLEX-5000, zahlreiche Nutzerhinweise, Handbücher und Anleitungen: www.flex-radio.com
- [6] Scholz, B., DJ9CS: Einstieg in Software Defined Radio. <http://dj9cs.raisdorf.net>
- [7] Informationsaustausch zu den aktuellen SDR-Projekten: www.DL0SDR.de, www.sdrforum.de
- [8] Zahnd, H., HB9CBU: Transceiver ADAT-200A. www.adat.ch
- [9] Projekt HPSDR: <http://hpsdr.org>
- [10] Covington, Ph., N8VB: Projekt QuickSilver. www.philcovington.com/QuickSilver/