

Näher betrachtet

FLEX-3000 – SDR-Trx der Mittelklasse

Den Autor erreichen Sie unter:
Klaus Lohmann, DK7XL
Godeke-Michels-Weg 12
21762 Otterndorf
dk7xl@darf.de

Klaus Lohmann, DK7XL

Bereits 2009 hatte der „kleine Bruder“ des FLEX-5000A sein Debüt in Europa. Seitdem wurde der FLEX-3000 in seinem flachen, blauen Gehäuse nicht verändert – jedenfalls nicht in der Hardware: 100 W Ausgangsleistung von 160 m bis 6 m und Empfangsleistungen, die sich nicht zu verstecken brauchen.



Das Erfolgsrezept war einfach: Den FLEX-5000A auf das Notwendige abspecken und in ein flaches Gehäuse verpacken, das sich als Untersatz für einen Monitor oder ein Notebook anbietet – was ja nahe liegt bei einem Software Defined Radio (SDR).

Digitalisierung im Basisband

Ein SDR besteht im Wesentlichen aus Software, und es ist das Bestreben jedes SDR-Entwicklers, den analogen Teil der Hardware zu reduzieren. Da der PC bzw. das Notebook nur digitale Signale verarbeiten kann, stellt sich die Frage, wo nun die Hochfrequenz zu einem digitalen Datenstrom gewandelt werden sollte. Möglichst früh – also an der Antenne – oder nach der (Direkt-) Mischung auf ein Spektrum im Bereich bis 200 kHz, dem so genannten Basisband?

Beide Konzepte haben Vor- und Nachteile. Das Direktmischprinzip wurde bei einem kommerziellen SDR-Amateurfunktransceiver erstmals im SDR-1000 verwirklicht [1]. Der FLEX-3000 orientiert sich an der Schaltung des FLEX-5000A und setzt ebenfalls bei der Schaltungsanlegung auf das Quadratur

Sampling Detector Prinzip (QSD) bzw. beim Sender auf den Quadratur Sampling Exciter (QSE).

Acht FET-Schalter sind als balancierte Tayloe Mischer ausgelegt (74CBT3253). Sie besitzen eine gute Verträglichkeit gegenüber hohen Eingangssignalen, sodass die Großsignaleigenschaften (Intermodulationsfreier Dynamikbereich) im Wesentlichen nur von dem nachfolgenden Analog-Digitalumsetzer (ADC) bestimmt werden.

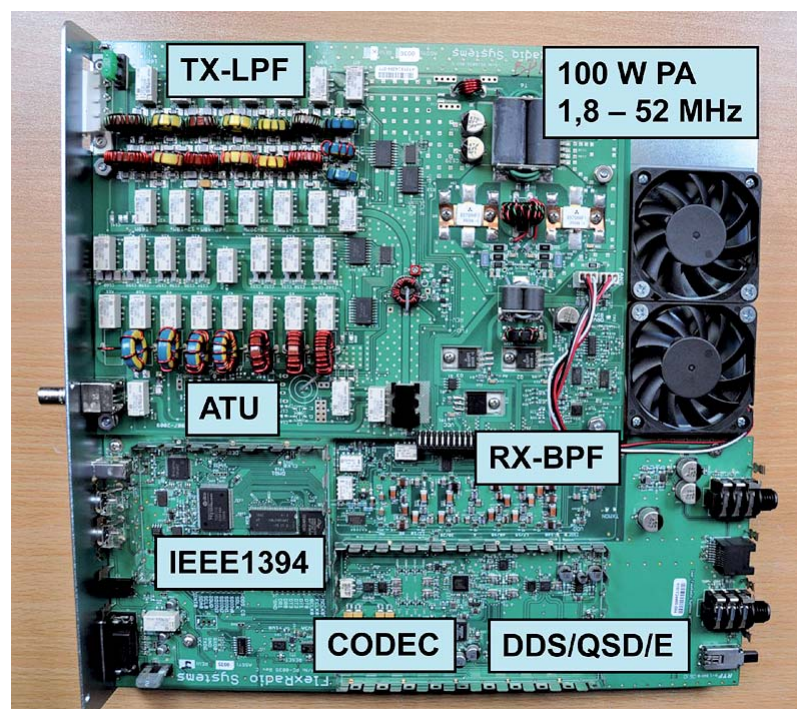
Die AD-Umsetzung findet bei den SDR von FlexRadio Systems nach der Direktüberlagerung auf den (NF)Frequenzbereich von 0 Hz bis zur Höhe der maximalen Abtastfrequenz statt. Beim FLEX-3000 sind dies 96 kHz. Das Basis-

band umfasst also weit mehr als den hörbaren Bereich, es ist ein HF-Spektrum, das in den NF-Bereich übergeht. Das Nyquist Theorem begrenzt den nutzbaren Frequenzbereich für die Digitalisierung auf die halbe Abtastfrequenz – wegen der Parallelverarbeitung von I- und Q-Kanal stehen aber doppelt so viele Datenpaare zur Verfügung, sodass die Bandbreite des Basisbandes maximal der Abtastrate entspricht.

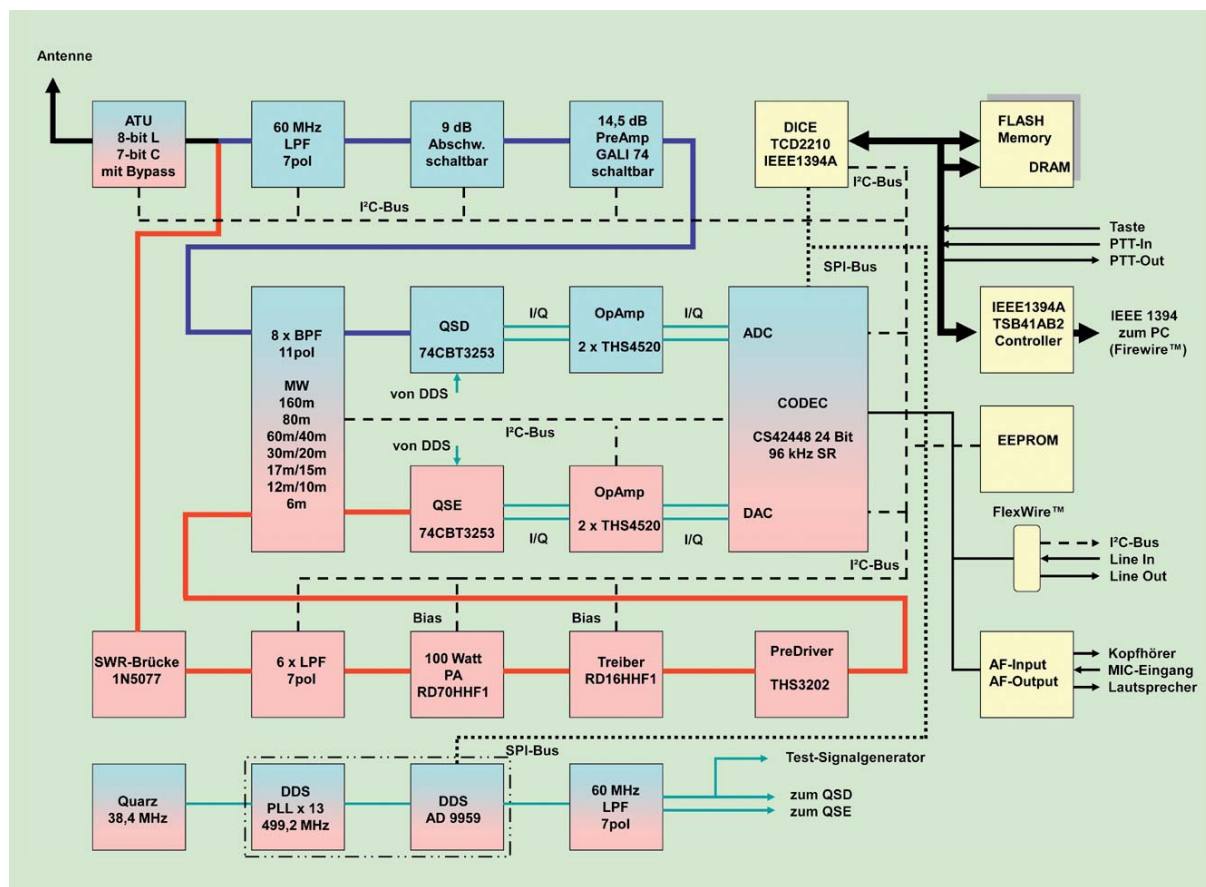
Der im FLEX-3000 verwendete AD-Umsetzer arbeitet voll duplex, es werden gleichzeitig Signale auf mehreren Kanälen in Empfangs- und Senderichtung verarbeitet und per FireWire mit dem PC ausgetauscht. Dies gestaltet die S/E-Umschaltung per Software einfacher und ist Voraussetzung zur Realisierung von Funktionen wie VOX.

Aufbau auf zwei Platinen

Die gesamte Hardware findet auf zwei Platinen mit den Abmessungen 31 cm × 13 cm (Transceiverplatine) und 24 cm × 18 cm (PA-Platine) Platz.



Der Blick ins Innere offeriert zwei Platinen, die ohne große Verkabelung auskommen. Die Abschirmbleche der Baugruppen auf der Trx-Platine wurden entfernt



Das Blockschaltbild des FLEX-3000 zeigt alle wichtigen Komponenten

Beide Platinen sind über eine 20-polige Steckverbindung miteinander verbunden. Im Transceiver ist außer der Versorgungsleitung für die beiden Lüfter keine Kabel verlegt.

Die Transceiverplatine trägt die Frequenzauflösung, das Rx-Eingangsteil, die AD- und DA-Umsetzung (CODEC) und die Schnittstelle zum PC (FireWire bzw. IEEE1394). Sie trägt ferner die komplette Signalaufbereitung für den Tx und übergibt die Steuerleistung mit ca. +20 dBm Pegel (100 mW) an die PA-Platine. Die zweite Platine besteht aus 100 W-PA mit Treiber, Tiefpassfiltern (LPF) und dem automatischen Antennenkoppler (ATU).

Selektion unverzichtbar

Der Aufbau des Gerätes ist an Hand des vereinfachten Blockschaltbildes rasch erläutert. Software definierte Transceiver verfügen bekanntlich über weniger Hardware. Allerdings gelten auch hier die Gesetze der Physik, sodass klassische Selektionsmittel unverzichtbar sind. Der Antennenkoppler stellt selbst ein Tiefpassfilter und ist deshalb auch bei Empfang eingeschleift, dies sorgt zudem für bessere Anpassung der Antenne an den Vorverstärker, der 14,5 dB verstärkt und überbrückt werden kann. Vor ihm kann bei Bedarf ein

9-dB-Abschwächer eingeschleift werden. Dies ergibt in der Kombination vier Gesamtverstärkungen im Eingangsteil: von +14,5/5,5/0 bis -9 dB, d.h., der Dynamikbereich kann um ca. 23 dB verschoben werden. Entweder zu Gunsten höherer Empfindlichkeit, wenn auf die Verarbeitung großer Signalamplituden verzichtet werden kann (z.B. auf den höheren Bändern) oder wenn die Summensignale an der Antenne sehr hoch sind und eine hohe Grenzempfindlichkeit nicht erforderlich bzw. unerwünscht ist (auf den unteren Bändern).

Nach dem Vorverstärker passiert das Signal eine Filterbank mit acht Bandpassfiltern, die elfpolig ausgeführt sind. Sie liegen unmittelbar vor dem Rx-Mischer (QSD) bzw. nach dem Tx-Mischer (QSE). Die Mischer werden damit impedanzrichtig abgeschlossen, was der spektralen Reinheit zu Gute kommt.

Frequenzaufbereitung

QSD und QSE (74CBT3253) werden mit der Empfangsfrequenz bzw. Modulationssignal und der Trägerfrequenz durch eine DDS (AD9959) versorgt. Sie basiert auf einem 38,4 MHz Oszillator, der über eine in der DDS integrierte PLL mit 13 vervielfacht wird, sodass

die Referenzfrequenz bei 499,2 MHz liegt. Die DDS liefert vier Signale, die zu einem Signalpaar mit exakt 90° Phasendifferenz kombiniert werden (auch sin- bzw. cos-Signale genannt). Diese zwei Signale mit 90° Phasendifferenz betätigen nun die Schalter im QSD/QSE alle 90° in den vier Quadranten einer 360° Periode – sodass I/Q-Signalpaare im Basisband entstehen. Anders betrachtet: Es entstehen zwei 90° aufeinander bezogene Spektren. Eines der vier DDS-Signale dient als interner Signalgenerator zu Abgleichzwecken. Über einen Abschwächer steht auf allen Bändern recht genau -36 dBm zur Verfügung.

Basisbandstufe und Digitalisierung

Das Basisband aus dem QSD wird mit einem THS4520 verstärkt und dem 24-Bit-AD-Wandler CS42448 zugeführt. Wie schon beschrieben, findet hier parallel die AD- bzw. DA-Umsetzung (Tx-Signal) statt (Codec). Dieser Chip weist einen Dynamikbereich von 105 dB für ADC und 108 dB für DAC auf – allerdings bezogen auf eine Bandbreite von 20 kHz. Der Dynamikbereich bzw. der Rauschflur ist eine Funktion der Bandbreite. Bei der Umrechnung von 20 kHz auf 500 Hz CW-Band-

breite (üblich bei der Angabe von MDS bzw. Grenzempfindlichkeit) entspricht dies dem Faktor 40, d.h., $10 \times \log(40) = 16$ dB Erhöhung des Dynamikbereichs und damit 124 dB @500 Hz.

Steuerung per FireWire

Die digitalen Daten des Rx- und Tx-Signalstroms werden mit einer FireWire-Schnittstelle vom/zum PC übermittelt. Über einen SPI-Bus ist ein FireWire-(IEEE1394A) Transceiver (DICE – TCD2210) an den Codec angebunden. Hier findet die Umwandlung in das IEEE1394A-Datenformat statt – auch der I²C-Datenbus wird hier generiert. Zudem (nicht dargestellt) sind 16 MBit Flash-Memory und 1 MBit DRAM angebunden. Über einen schnellen Datenbus (SPI-Bus) wird die DDS gesteuert. Ein FireWire-Controller (TSB41AB2) stellt

OUT nutzbar. Für die Tastung (PTT) einer zusätzlichen PA ist auf der Rückseite eine RCA-Buchse vorhanden, die mit dem Schließkontakt eines Relais verbunden ist. Über eine weitere RCA-Buchse kann ein externes PTT-Signal angelegt werden. Die Vielzahl der individuellen Einstellungen, die das Gerät konfigurieren bzw. die wesentlichen Abgleichdaten für Rx/Tx werden in einem EEPROM abgelegt, das über den I²C-Bus geschrieben/gelesen wird.

Signalaufbereitung Tx

Das Sendesignal aus dem OSE passiert die Filterbank (acht Bandpassfilter), die auch im Rx benutzt wird, sodass ein schon entsprechend spektral reines Signal über ein 104 MHz LPF an den Vortreiber gelangt. Mit einem Pegel von etwa 20 dBm verlässt das Tx-Signal die

Fast die gesamte Endstufenplatine ist auf einem flachen Kühlkörper montiert. Zwei Lüfter 60 mm × 60 mm sorgen für Kühlung auch bei Dauerstrichbetriebsarten. Die Drehzahl wird der Temperatur angepasst. Im Empfangsbetrieb läuft der Lüfter auf niedriger Drehzahl. Die Software erlaubt auch hier Anpassungen durch den Benutzer. Mit PowerSDR kann die Temperatur der PA ebenso überwacht werden wie die Betriebsspannung der PA von 13,8 V.

Antennenkoppler (ATU)

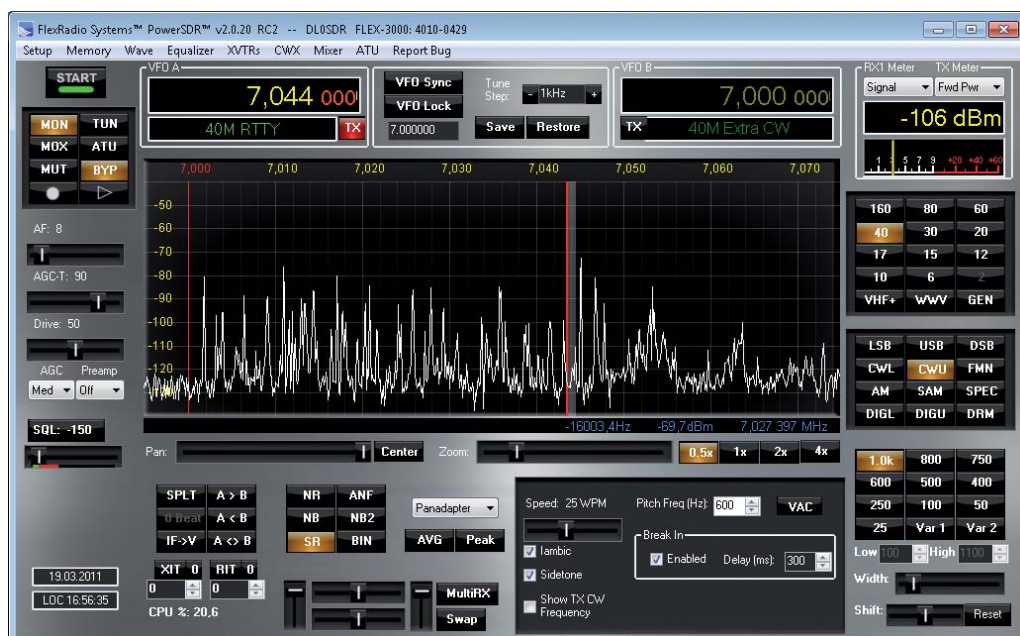
Ein automatischer Antennenkoppler zur besseren Anpassung des Tx an die Verhältnisse auf dem Koaxkabel ist bei Transceivern der 100-W-Klasse mittlerweile Standard. Der Koppler im FLEX-3000 ist mit seinem LC- bzw. CL-Glied als Tiefpass ausgeführt, sodass hoch- und abwärts transformiert werden kann (HiZ und LoZ). Das L ist achtfach gestuft; die Cs haben eine siebenfache Stufung. Das dazugehörige Softwaremodul der Betriebssoftware PowerSDR ist nicht Open Source, sondern wie eine Firmware anzusehen; die hier zur Anwendung kommenden Algorithmen sind derart ausgeklügelt, dass über einen großen Impedanzbereich angepasst werden kann: Auch mit SWR von 6,0 wird der Koppler fertig.

Während des Abstimmvorgangs kann man deutlich erkennen bzw. hören: Der Variationsbereich wird nicht mit hoher Geschwindigkeit „durchgeratet“ – vielmehr führen wenige Abstimmversuche für erstmals angeschlossene Antennen bereits zur richtigen Anpassung. Die Relais des ATU werden nicht unter Last geschaltet – deshalb läuft der Abstimmvorgang intermittierend ab.

Der praktische Betrieb

Ein SDR besteht im Prinzip aus drei wesentlichen Komponenten:

- Der Hardware, die das Antennensignal soweit aufbereitet, dass es digital gewandelt werden kann. Die zwei grundsätzlichen Wege sind bekannt – Digitalisierung an der Antenne oder nach Mischung im Basisband
- Der digitalen Signalverarbeitung (DSP) für Rx und Tx, sie ist der Kern des SDR – die Betriebssoftware. In PowerSDR2.0 stecken viele Jahre an Entwicklung. Erst die Software macht den SDR-Transceiver zum S/E-System – natürlich innerhalb der Grenzen der noch notwendigen



So sieht an einem Sonntagmorgen der CW-Betrieb im 40-m-Band auf der Panoramaanzeige von PowerSDR aus

zwei Ports zur Verfügung, von dem aber nur ein Port zur Anbindung des PC genutzt wird. Die interne Steuerung der Hardware erfolgt über den I²C-Standard. Alle Funktionen werden über den Bus geschaltet: Filter, ATU, Umschaltung von Vorverstärker/Ab schwächer usw.

Durch digitale Potenziometer werden Trägerunterdrückung und die Ruhestromeinstellung der vier PA-Transistoren vorgenommen. Die einzige verbliebene analoge Abstimmöglichkeit besteht in einem Trimmer für den Nullabgleich der SWR-Brücke. Zum Anschluss von Peripherie (Antennensteuerung, PA, Preselektor usw.) steht die FlexWire-Schnittstelle (mit I²C) über eine DB9-Buchse zur Verfügung. Hier sind LINE IN bzw. LINE

Transceiverplatine und wird symmetrisch an die PA-Platine übergeben.

Treiber und 100-W-PA

Auf der PA-Platine verrichten als Treiber ein Paar RD16HHF1 im Gegentaktbetrieb ihren Dienst. Die PA ist annähernd baugleich mit derjenigen im FLEX-5000A. In der Endstufe werden ebenfalls RFMOSFET vom Typ RD70HHF1 verwandt. Die Ruhestrome der vier MOSFET sind bei FLEX-5000/3000 digital – also per Software einzustellen. Der PA folgen sechs siebenpolige Tiefpässe, sodass die spektrale Reinheit des Signals den Anforderungen genügt. Alle Relais auf der Platine werden über den internen I²C-Bus gesteuert.

Hardware. Leider wird dies allzu oft vergessen – so leistet z.B. das DSP-Programm der Software einen entscheidenden Beitrag zur Leistung des Gesamtsystems.

- Dem Bedienprogramm, auch Human Interface bzw. General User Interface (GUI) genannt. Das Bedienprogramm (bei der Software PowerSDR von FlexRadio Systems wird von der „Konsole“ gesprochen) konfiguriert die Hard- und Software und stellt die Funktionalitäten zur Verfügung. Wenn beurteilt werden soll, ob ein SDR „dem Stand der Technik“ entspricht sind alle drei (!) Komponenten gefragt.

Erste Inbetriebnahme

Der FLEX-3000 benötigt wie der größere Bruder FLEX-5000A am PC-System einen FireWire- bzw. IEEE1394-Anschluss. FireWire ist nicht bei allen Notebooks/PCs zu finden. Die Schnittstellen lassen sich aber als PCI- oder PC-Expresskarte sowohl für Desktops, als auch für Notebooks nachrüsten. Bei der Auswahl gibt der Hersteller Hilfestellung.

Der erste Einsatz des Geräts gestaltet sich durch die Weiterentwicklung von PowerSDR einfach. Musste man früher Treiber, ggf. Firmware und Software getrennt installieren bzw. auf den neuesten Stand bringen, so ist es heute leichter – ein Installationsprogramm übernimmt diese Aufgaben. Der Installer wird auf CD mitgeliefert oder kann – in aktualisierter Form – von der Website des Herstellers herunter geladen werden. Nach dieser Installation geht alles sehr schnell: Je nach Betriebssystem (Windows XP, Vista, 7) wird der FLEX-3000 erkannt und integriert. Beim erstmaligen Aufruf von PowerSDR sind dann noch wenige Konfigurationsschritte zu vollziehen und schon ist das Software Defined Radio fertig zum Einsatz.

Neue Konsole PowerSDR 2.0

FlexRadio Systems treibt seit sieben Jahren die Entwicklung der SDR-Software [2] voran. Im April 2011 wurde PowerSDR 2.0 offizieller Standard (Official Release).

Die Konsole bekam ein neues Gewand, das in den Farbgebungen weitgehend frei konfigurierbar ist. Aber auch die „inneren Werte“ überzeugen durch automatische Spiegelfrequenzunterdrückung im gesamten Basisband (Wide Band Image Rejection – WBIR), sowie

die Überarbeitung der gesamten digitalen Tx-Signalaufbereitung unter Einschluss der vielen von einem Funkamateurlieferbaren Optimierungsmöglichkeiten (Leveler, Componder, Compressor etc.) sowie der ALC.

Besonderer Wert wurde auf die Verbesserung der CW-Eigenschaften gelegt. In dieser Hinsicht ist das Ziel erreicht. Die Software erlaubt in weiten Bereichen eine Anpassung der Zeichen (Verrundung, Gewichtung) und auch das Hören zwischen den Zeichen ist noch mit flotten Geschwindigkeiten möglich.

Ein Funkamateurlieferer, der bereits PowerSDR mit FLEX-5000 oder -1500 kennt, wird sich auch sofort am 3000er heimisch fühlen, da PowerSDR V2.0 für alle diese Transceiver einheitlich ist. Er muss nur wenige Besonderheiten kennen lernen. So reicht der sichtbare Bereich auf dem Panadapter bis max. 96 kHz. Wem die Bedienung ausschließlich über die Maus nicht behagt, kann mit externen Abstimmknöpfen (z.B. Griffin PowerMate) bzw. Bedientkonsolen aus der Videotechnik (ShuttlePro) arbeiten. Es lassen sich darüber die VFO-Abstimmung sowie zahlreiche Funktionen über mechanische Tasten betätigen.

Fazit

Der FLEX-3000 fällt durch seine ungewöhnliche Formgebung auf. Die Leistungen, die mit der gegenüber dem großen Bruder FLEX-5000A abgespeckten Hardware zu erreichen sind, können sich sehen lassen. Ein um 6 dB geringerer IMD DR3 bei 2 kHz Signalabstand lässt den FLEX-3000 gleichwohl in der „Sherwood-Liste“ [3] einen respektablen Platz einnehmen. Sein gutes Großsignalverhalten ist nicht zuletzt auf Grund der hohen Variabilität der Eingangsverstärkung geschuldet.

100 W Ausgangsleistung ermöglichen zuverlässigen Betrieb auf allen Bändern von 1,8 MHz bis 52 MHz. Multiband-Portabelantennen (z.B. nach dem Prinzip G5RV) mit Koaxspeisung können durch den außerordentlich leistungsfähigen Antennenkoppler (ATU) komfortabel betrieben werden.

Für den FLEX-3000 gibt es ein 180-seitiges Betriebshandbuch in Deutsch [4], das zu 80 % die Software PowerSDR beschreibt.

Dies ist sicher auch deshalb erwähnenswert, weil PowerSDR für eine Vielzahl von anderen SDR-Geräten genutzt werden kann.



Technische Daten

Allgemeines

Empfänger Frequenzbereich: 10 kHz–60 MHz (funktionsfähig – erfordert externe, kundenspezifische Filter unterhalb von 1,8 MHz um Spiegelfrequenzen/Images zu unterdrücken); 160 m–6 m (spezifiziert nur für die Amateurfunkbänder)

Sender Frequenzbereich: 160 m–6 m (Sendebetrieb nur auf den Amateurfunkbändern)

Betriebs-Temperaturbereich: –10 °C bis +50 °C (14 °F bis 122 °F)

Betriebsmodi: A1A (CW), A3E (AM), J3E (LSB, USB), F3E (FM), F1B (RTTY), F1D (PACKET), F2D (PACKET)

Frequenz Schrittweite: 1 Hz im Minimum

Antennenimpedanz: 50 Ω unsymmetrisch (mit ATU in Betrieb können Fehlanpassungen bis SWR 6,0 ausgeglichen werden)

Maximale Belastung des Tx-out Tasterausgangs (Key Line): 250 V_{AC}, 220 V_{DC}, 2 A (Schließer-Kontakt gegen Masse)

Stromaufnahme: Rx 1,5 A (typ); Tx (100 W): 25 A (max.)

Spannungsversorgung: DC 13,8 V ±10 %, durch 35 A Kabelsicherung oder Strombegrenzung abzusichern

Max. Länge Verbindungskabel: 3 m für FireWire-Kabel, keine Restriktionen bei DC-Kabel bei Einhaltung der Spannungstoleranz-Grenzen am Gerät unter Last

Abmessungen: 31,1 cm × 4,4 cm × 31,1 cm (B × H × T)

Gewicht (ca.): 5,4 kg

Empfänger

Schaltungstyp: Direktüberlagerung, niedrige Zwischenfrequenz (IF)

Zwischenfrequenz: In Software wählbar von DC bis 20 kHz

MDS: Bei 14 MHz und PreAmp mit Rx Gain Off = (0 dB) bzw. Pre1 (+6 dB): 1,3/0,3 µV; MDS: –123 dBm/–133 dBm bei 500 Hz Bandbreite

IP3: +20 dBm bei 14 MHz (bei Rx Gain = Off (0 dB) und 2 kHz oder weniger Signal-Abstand) (nach der sog. S5 IM3 Methode)

Trennschärfe (–6/–60 dB): CW: 500 Hz –6/–60 dB; 500/640 Hz

SSB: 2,4 kHz –6/–60 dB; 2,39/2,54 kHz

AM: 6,6 kHz –6/–60 dB; 6,60/6,74 kHz

Spiegelfrequenzunterdrückung: 70 dB oder besser (160 m–6 m Amateurfunkbänder)

Sender

Ausgangsleistung: 1–100 W PEP CW und SSB (25 W AM-Träger)

Sendarten: A1A (CWU, CWL), J3E (USB, LSB), A3E (AM), F3E (FM), Digital

Oberwellen-Unterdrückung: Besser als –55 dB (160 m–10 m Amateurfunkbänder); besser als –65 dB (6-m-Amateurfunkband)

SSB-Trägerunterdrückung: Mindestens 55 dB unterhalb der Spitzenleistung

Unterdrückung des unerwünschten Seitenbandes: Mindestens 55 dB unterhalb der Spitzenleistung

Audio-Frequenzgang (SSB): 90 Hz @ –3 dB flacher Verlauf bis zur Obergrenze der in PowerSDR einstellbaren Frequenz; 3-Band- oder 10-Band-Software-Equalizer

IMD 3. Ordnung: Besser als 33 dB unterhalb von PEP @14,2 MHz 100 W PEP

Mikrofon-Impedanz: 600 Ω (200 bis 10 kΩ)

(Herstellerangaben; Druckfehler und Irrtümer vorbehalten)

Literatur & Bezugsquellen

- [1] Klaus Lohmann, DK7XL: „Erste Erfahrungen mit dem SDR-1000“, CQ DL 7/04, S. 494; Klaus Lohmann, DK7XL: „Digitale Zukunftstechnik fürs Shack?“, CQ DL 2/06, S. 113
- [2] Siehe www.flexradio.com
- [3] Die sog. Sherwood-Liste stellt eine Rangliste von Empfängern bzw. Transceivern bezogen auf das Großsignalverhalten (IMD DR3 @ 2 kHz) dar: www.sherweng.com/table.html
- [4] Erhältlich bei flexradio-eu@t-online.de