

58. Weinheimer UKW-Tagung 2013

Erfahrungen mit dem stand-alone SDR Reuter RDR50/54 und Vergleich seiner spektrumbasierten Signalverarbeitung mit klassischen und FFT-Konzepten

Autor: Dipl.-Ing. Ralph Menn

Als im Jahre 2009 der RDR54 von Reuter Elektronik vorgestellt wurde, erregte der Empfänger bei mir sofortiges Interesse, da er der erste völlig autark arbeitende Software-Defined-Receiver (SDR) für den Consumermarkt war. Zudem war er als „Meßempfänger“ höchster Güte angepriesen und zu 100% Made in Germany, was ich persönlich nie als Nachteil empfinde, erlaubt es doch schnelle Kommunikation mit dem Hersteller im Servicefall.

Der etwas später entwickelte RDR50 mit Touchscreen-Oberfläche und nur noch einem (!) Bedientaste war dann das Gerät der Wahl, zumal nur wenig von den erstaunlichen technischen Daten des RDR54 dem Rotstift zum Opfer gefallen war.

Schauen wir uns also an, wie sich die Geräte im alltäglichen Betrieb schlagen, welche Stärken und Schwächen das Konzept dieser Geräte ausmacht und wie das SDR-Prinzip genau umgesetzt wurde.

1.) Grundlegender Aufbau

Beim RDR 50/54 handelt es sich um einen Meß- und Kommunikationsempfänger für den Frequenzbereich 1 kHz - 30 MHz, 50 - 54 MHz, UKW und das 2m-Band. Im Gegensatz zu üblichen "Digitalempfängern" auf SDR-Basis ist der RDR ein eigenständiges, PC-unabhängiges Gerät mit vollständig integrierter digitaler Signalverarbeitung.

Die RDR-Empfänger arbeiten aber nicht wirklich direkt als SDR, d. h. die Signalverarbeitung erfolgt nicht mit einem Prozessor, der Verarbeitungsroutinen als sequentielles Programm abarbeitet, so wie im PC oder einem DSP in der 3. ZF bei analogen RX üblich. Die Signalverarbeitung erfolgt hier in dedizierter Hardware und zum großen Teil parallel. "Software defined" bezieht sich beim RDR nur darauf, daß die Hardware verändert werden kann, weil sie als frei programmierbares Gate-Array (FPGA) ausgeführt ist. Und natürlich auf die

Bedienoberfläche des Gerätes, z.B. die Touchscreen-Steuerung, die wie in jedem modernen Gerät durch einen Mikrocontroller mit entsprechender Software realisiert wird.

Somit ist der RDR54/50 eben kein SDR wie z. B. der "Perseus" oder gar mehr oder weniger einfache Vorsatzgeräte für die PC-Soundkarte, denn die Umsetzung des Empfangssignals in digitale Daten erfolgt hier „direkt an der Antenne“. Es werden immer mindestens zwei 16-Bit ADC-Chips zur Umsetzung verwendet, woraus ein 17-Bit breiter Datenstrom resultiert, der alle Frequenzen bis ca. 150 MHz enthält. Die untere Grenze des Frequenzbereichs liegt bei ca. 1 kHz, nur bedingt durch den notwendigen Eingangs-Koppelkondensator. Die Signalverarbeitung erfasst aber immer Frequenzen ab 0 Hz.

Somit ist die gesamte weitere Signalverarbeitung völlig digital, was eine erstaunliche Flexibilität erlaubt, wie die Daten interpretiert und dargestellt werden können.

Die mechanische Konstruktion der RDR Empfänger ist vergleichbar mit der eines Industrie-PCs, bei dem ein Motherboard oder Backplane verschiedene Funktionseinschübe aufnimmt. Auf diese Art ist beim RDR54 völlige Flexibilität der Positionierung der Baugruppen möglich: also kann z.B. die Drehgeberplatine für einen Linkshänder von der rechten auf die linke Seite umgesetzt werden. Welches Modul in welchem Steckplatz sitzt, ist nicht relevant, da das Bus-System dies erkennt und ausgleicht.

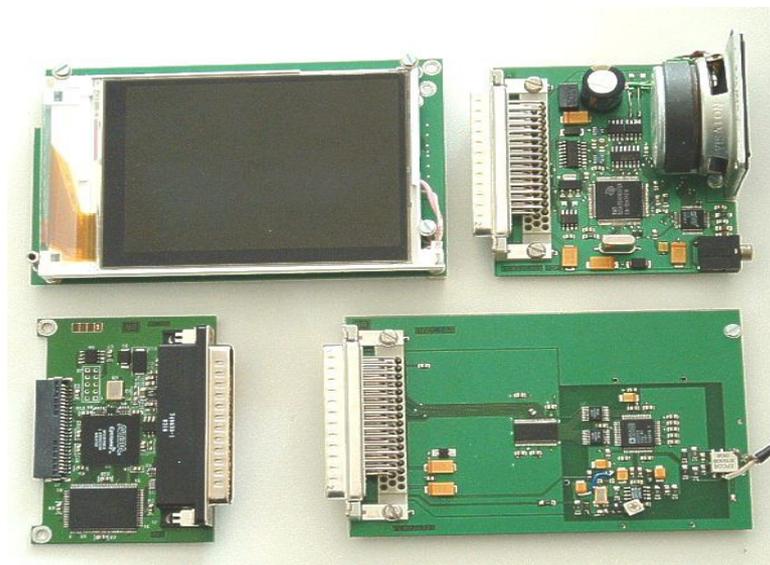


Abb. 1: Baugruppe Display, Audio-Ausgabe, Graphikkarte und ADC [3]



Abb. 2: Geöffnetes RDR54 Gerät mit Motherboard und Funktionseinschüben

2.) Funktionsprinzip

Die eigentliche Gerätefunktion und die gesamte Bedienung wird durch die Software der Signalverarbeitungskarte realisiert. Außerdem verarbeitet sie die Daten vom ADC-Modul in 17-Bit Auflösung und stellt diese aufbereitet dem Graphik- und Audiomodul zur Verfügung. Zur Ausführung dieser Funktionen ist auf der Karte ein hochintegrierter FPGA von ATMEL (Cyclone III SX) vorhanden, der als SOC oder „System on a chip“ konfiguriert ist. Dabei werden alle benötigten Baugruppen softwaremäßig nachgebildet, sogenannte NIOS „Softcores“ für die steuernde CPU und IPs oder „Intellectual Properties“ für die Signalverarbeitung.

Folgende Baugruppen werden im FPGA der RDR-Signalverarbeitungskarte konfiguriert:

- 32 Bit CPU mit Programm- und Datenspeicher sowie Datenschnittstellen
- Digital-Down-Converter zum Ausschnitt des Empfangsbereichs aus den ADC-Daten
- Zeit-Frequenz-Umsetzer zur Erzeugung der Spektrogramme
- Datenerfassungsbaugruppe für den Videokanal zur Auswahl der anzuzeigenden Spektrallinien und der Berechnung der logarithmischen Magnitude (dB-Skalierung)
- Datenerfassungsbaugruppe für die Audiokanäle zur Auswahl der hörbar zu machenden Spektrallinie und Pegelskalierung (Verstärkungseinstellung bzw. Automatikregelung)
- Quad-Datarate-Speicherschnittstelle zur Ansteuerung eines QDR-SRAM mit zwei 36-Bit Datenbussen
- Serielle Highspeed-LVDS-Schnittstellen zur Datenübermittlung an Graphikkarte u. Audiomodul

Die Digitalisierung der Empfangssignale erfolgt ohne vorherige Frequenzumsetzung direkt auf der Hochfrequenzebene mit einer Bandbreite von ca. 150 MHz. Daraus wird ein Band von ca. 164 kHz Breite „herausgeschnitten“ und mit wählbarer Auflösung vom Zeit- in den Frequenzbereich transformiert. Jede weitere Signalverarbeitung erfolgt im Frequenzbereich, außer bei FM, da dort die Spektralverarbeitung noch nicht schnell genug möglich ist. Im 2m-Band können zumindest noch die Betriebsarten SSB und CW wie üblich dargestellt werden. Die Empfangssignale werden als Spektrum mit hoher Auflösung und Genauigkeit in einem Amplituden-Frequenz-Diagramm dargestellt.

Es sind Auflösungen bis herab zu 2,5 Hz pro Diagrammspalte wählbar (entspricht etwa dem Parameter „Residual Bandwidth“ oder RBW herkömmlicher Spektrumanalysatoren). Dabei wird ein Dynamikbereich von ca. 150 dB zwischen dem Grundrauschen des Gerätes und der maximal verarbeitbaren Eingangsspannung erreicht, dazu später mehr. Das Spektrum kann auch zeitabhängig als sogenanntes „Wasserfalldiagramm“ mit wählbarer Laufgeschwindigkeit dargestellt werden.

2.1.) Frequenzbasierte Signalverarbeitung

Aus Anwendersicht dominiert am RDR Empfänger das große und gut auflösende Display, dessen Anzeige uns direkt veranschaulicht, auf welche Weise die frequenzbasierte Darstellung der Signale realisiert ist. Zur Erinnerung: wir befinden uns immer in der Frequenzebene!

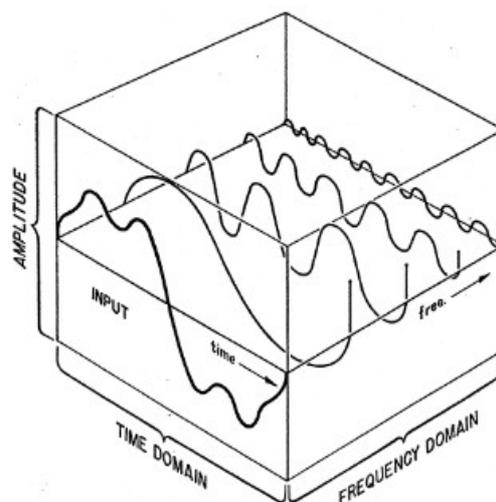


Abb. 3: Zeit und Frequenzdiagramm eines Signals

Zentrales Anzeigeobjekt des Displays ist die Darstellung des Spektrums („Spektrogramm“ oder Diagrammabbild des Spektrums) der Empfangssignale in einer wählbaren Frequenzbreite. Der RDR54/50 setzt zu jeder Zeit ein 163,84 kHz breites Band komplett vom Zeit- in den Frequenzbereich um und erzeugt somit direkt das Spektrum. Die minimale Breite ist durch die minimal mögliche Breite der Spektrallinien (= höchstmögliche Auflösung) von 2,5 Hz beim RDR54 bzw. 5 Hz beim RDR50 gegeben.

Ähnlich wie in der Optik werden beim RDR die Spektrallinien "Bins" genannt. Mit 2,5 Hz Auflösung werden maximal 64k (=65535) Bins erzeugt, mit 5 Hz die Hälfte. Es sind auch andere Auflösungen einstellbar, wobei immer eine Verdopplung der Binbreite und eine Halbierung der Binanzahl erfolgt. Die Generierung eines kompletten Satzes (eines Spektrums) erfolgt immer mit 4-fach Oversampling, also viermal so schnell wie der Kehrwert der Binbreite. Beispiel: 20 Hz Binbreite /-abstand (Auflösung für Filterung und Demodulation) erzeugt alle 12,5 ms ein komplettes Spektrum mit 8192 Bins.

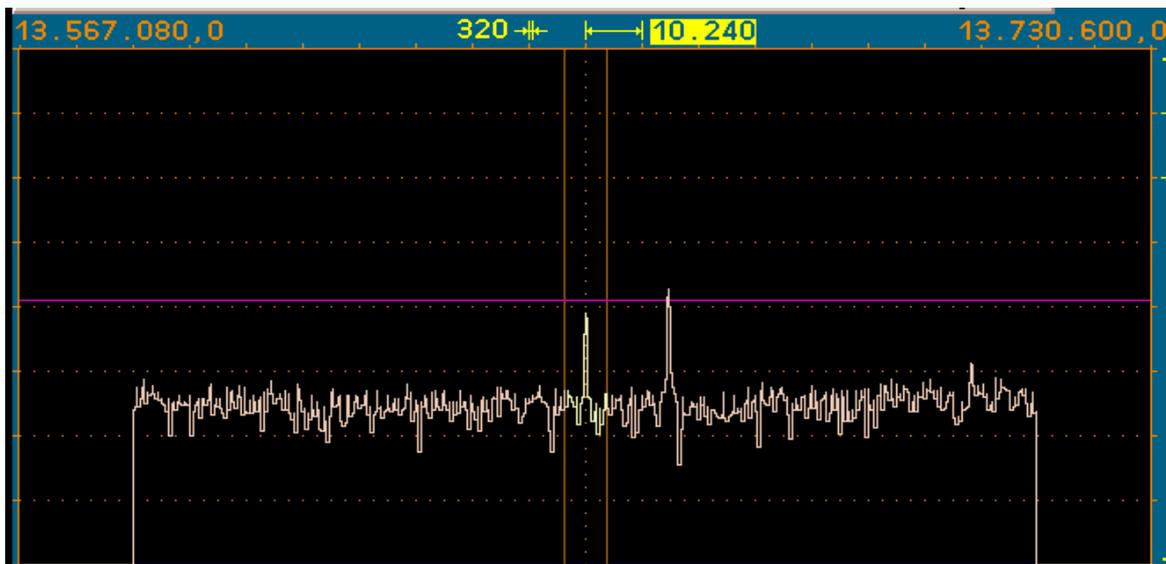


Abb. 4: Darstellung des Frequenzspektrums um die Mittenfrequenz mit Anzeigenbandbreite 10.240 Hz (32 Bins zu je 320 Hz/ Bin ergeben 10240 Hz)

Innerhalb einer Spektrallinie beträgt die Dämpfung beliebiger Frequenzen weniger als 0,2 dB. Die Linienbreite für -0,2 dB Signalabfall entspricht exakt dem Abstand der Linien. Es kann also trotz Frequenzdiskretion kein Signal „unsichtbar“ bleiben. Liegt ein Signal genau zwischen zwei Linien, so wird es in beiden Linien gleich groß und mit maximal 0,2 dB Dämpfung dargestellt.

Außerhalb einer Spektrallinie steigt die Dämpfung schnell an und erreicht 130 dB bis zur drittnächsten Linie. Diese Dämpfung bleibt über alle Linien erhalten, es gibt keine

Nebenresonanzen („Leakage“) oder ähnliche Artefakte wie bei der Fouriertransformation. Außerdem tritt bei der FFT abhängig von der Wahl der Fensterfunktion ein scheinbarer Signalverlust von bis zu -36% oder -3,92 dB auf (bei Rechteckfunktion, bei „Hanning“ immerhin noch bis zu -15% oder -1,42 dB [1]).

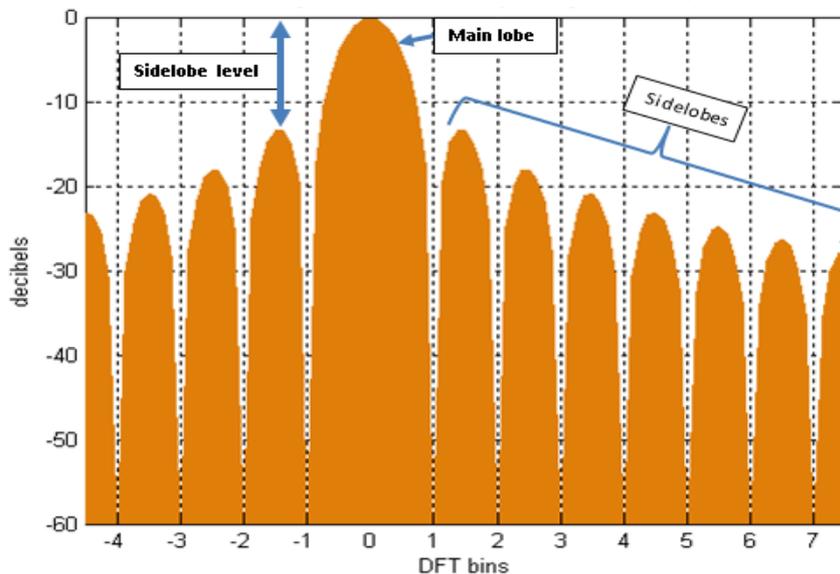


Abb. 5: Darstellung Leakage-Effekts bei der FFT (Quelle: Wikipedia)

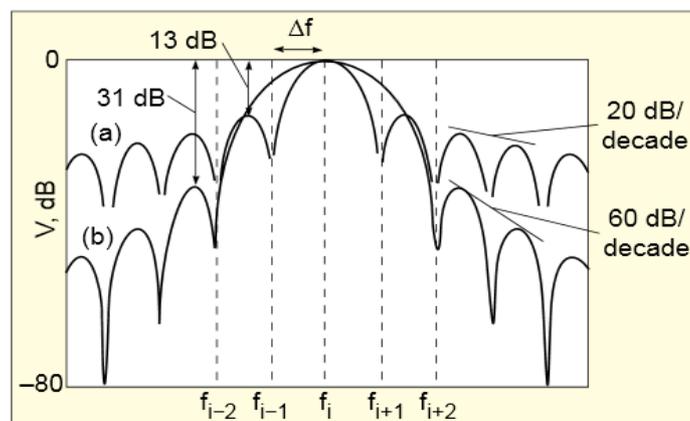


Abb. 6: Schematische Darstellung des „signal loss“ in Abhängigkeit der Fensterfunktion [2]

Im Gegensatz hierzu kommt das Signal der Bins in der Frequenzebene ohne diese Probleme aus. Man beachte, daß wir uns hier in einer Skalierung 2,5 Hz/Bin befinden (RDR50: 5 Hz/Bin), also kann auch bis zum 2m-Band ein Signal, das nur 7,5 Hz vom Träger entfernt ist, mit deutlich über 120 dB Unterdrückung ausgefiltert werden!

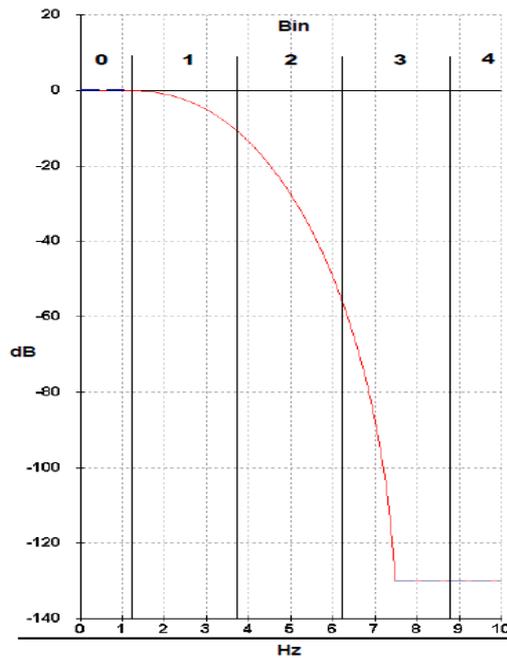


Abb. 7: Darstellung eines Bins [3]

Aus dieser Darstellung wird unmittelbar ersichtlich, daß die möglichen Filterkurven dem theoretischen Ideal eines Shape-Faktors von 1:1.0 wohl näher kommen, als mit jeder anderen mir bekannten Technologie. Doch solche steile Filter haben auch ihre Tücken, worauf ich später nochmals zurückkommen werde.

Kurze Gegenüberstellung:

	FFT basierte Empfänger	Reuter RDR 54/50
Genauigkeit	bis zu -3,92dB Amplitudenfehler	maximal 0,2 dB
Shapefaktor	z.B. Perseus 1: 1,08	Besser als 1: 1,0142 (worst case) 130 dB Abfall bei 7,5 Hz off carrier
Leakage	kann auftreten	kann nicht auftreten
Darstellungsgeschwindigkeit	Abhängig von der Samplerate, Graphikkarte und CPU	Abhängig von der Breite der Bins: 1000 Bins bei 640 Spektren/s oder 65536 Bins/s mit 2,5 Hz Auflösung und 10 Spektren/s
Verwendung	FFT oft nur zur Darstellung des Signals (ICOM 9000, AOR SR2000 etc.)	Volle Signalbearbeitung in der Frequenzebene und erstmalig direkte Bearbeitung des hörbaren Signals

Üblicherweise ist der Shape-Faktor definiert als Frequenzabstand der -6 dB zu -60 dB Dämpfung. Bei einem 2,5 Hz Bin wären das ca. 5,4 Hz, bei einem 20 Hz Bin (Audio) ca. 43 Hz. Relativ zur Empfangsfrequenz ergibt sich dann bei 100 kHz: $100.005,4 / 100.000 = 1,000054$ (2,5 Hz Bin) bzw. $1,00043$ (20 Hz Bin). Auf 100 MHz ergibt sich der Wert mit nochmals drei Nullen mehr nach dem Komma.

Aber (!): der Shape-Faktor wird üblicherweise auf die Filtermittenfrequenz (ZF-Frequenz) bezogen! Die ist beim Bin aber Null! Also ergeben sich die Flanken 3 Hz (-6 dB) bis 8,4 Hz (-60 dB) und damit der Shapefaktor zu: $8,4 / 3 = 2,8$! Korrekterweise muss man für Audio (20 Hz Bins) die eingestellte Bandbreite (=Zahl der Bins) nehmen. Beispiel: bei 3 kHz Bandbreite geht das letzte Bin von 2980 Hz bis 3000 Hz, die Flanke damit von 3024 Hz (-6 dB) bis 3067 Hz (-60 dB) und der Shapefaktor ist somit $3067 / 3024 = 1,0142$.

3.) Reuter Empfänger in der Praxis

Stichwort: Intermodulation und nutzbare Grenzempfindlichkeit

Wie schlägt sich nun der Reuter Empfänger im alltäglichen Betrieb? Um es kurz zu machen: ganz hervorragend. Mein QTH befindet sich in direkter Nachbarschaft zum 600kW starken DLF-Sender Heusweiler (1422 kHz). Und auch Europe 1, der stärkste Sender auf deutschem Boden, liefert mit 2000 kW Sendeleistung bereits an der Drahtantenne eine Signal von S9+60 dB und darüber. Von keinem dieser Sender ist irgendein Mischprodukt festzustellen, das vom Empfänger kommt. Wenn eines meßbar ist, dann immer von der Antenne kommend (Mini-Whip z.B. mit S9+20 dB auf $1422 \text{ kHz} \times 2 = 2888 \text{ kHz}$), Der Hersteller gibt in [3] einen maximalen Signalpegel für den RDR54 mit 0 dBm an, mit Abschwächer auch +6 dBm. Glaubhaft.



Abb.8: Screenshot Europe 1, 183 kHz

Die Problematik „Intermodulation“ ist allerdings bei Digitalempfängern eine wesentlich andere als die bei herkömmlichen Analoggeräten und damit beispielsweise nicht durch die übliche Angabe des IM-Schnittpunktes (IP-Punkt) beschreibbar. Vielmehr spielt der IM-Abstand eine wesentliche Rolle, da er im Gegensatz zu Analoggeräten einerseits durch Pegeländerungen kaum beeinflusst wird, andererseits aber stark abhängig ist vom augenblicklich verarbeiteten Signalgemisch (Spektrum am Eingang des ADCs). Zur Erinnerung: wegen des sogenannten Dither-Effekts findet bei gleichzeitiger Digitalisierung vieler verschiedener Signale eine Linearisierung der IM verursachenden Nichtlinearitäten des ADCs statt.

Trotz einer extrem tief liegenden Rauschlinie von unter -150 dBm ist beim aktuellen RDR54 dennoch eine sehr gute IM-Festigkeit erzielt worden, wobei hier besonders die entstehenden Mischprodukte 3. Ordnung betrachtet werden sollen. Sie liegen meistens nah am Träger (gleicher Abstand wie die Differenz zweier intermodulierender Träger) und stören deshalb besonders.

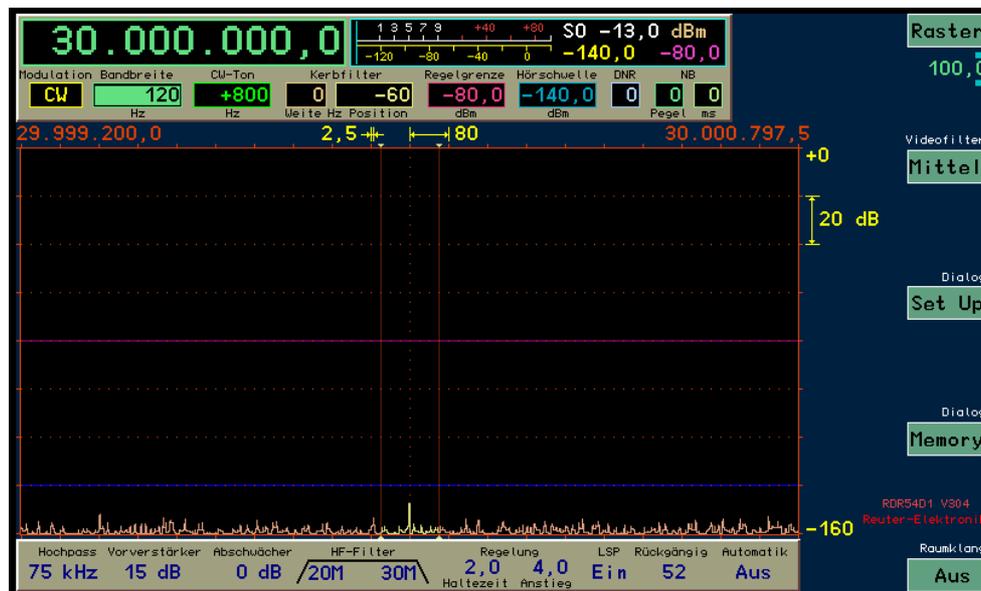


Abb. 9: Darstellung der Rauschlinie von unter -150 dBm beim RDR54

In Abb. 10 intermodulieren zwei starke Signale und die dadurch erzeugten Störsignale könnten kleine Empfangssignale verdecken. Dies wäre im gezeigten Beispiel der Fall, wenn auf 9.930 kHz (Mittellinie) empfangen würde. Das IM-Signal der beiden starken Signale (je -10 dBm) erreicht -94 dBm. Der IM-Abstand beträgt somit 84 dB. Mit zwei Signalen von je -10 dBm (also in Summe -4 dBm) wären die meisten Empfänger bereits total übersteuert. Der errechnete IM-Schnittpunkt (IP3) beträgt hier +32 dBm.

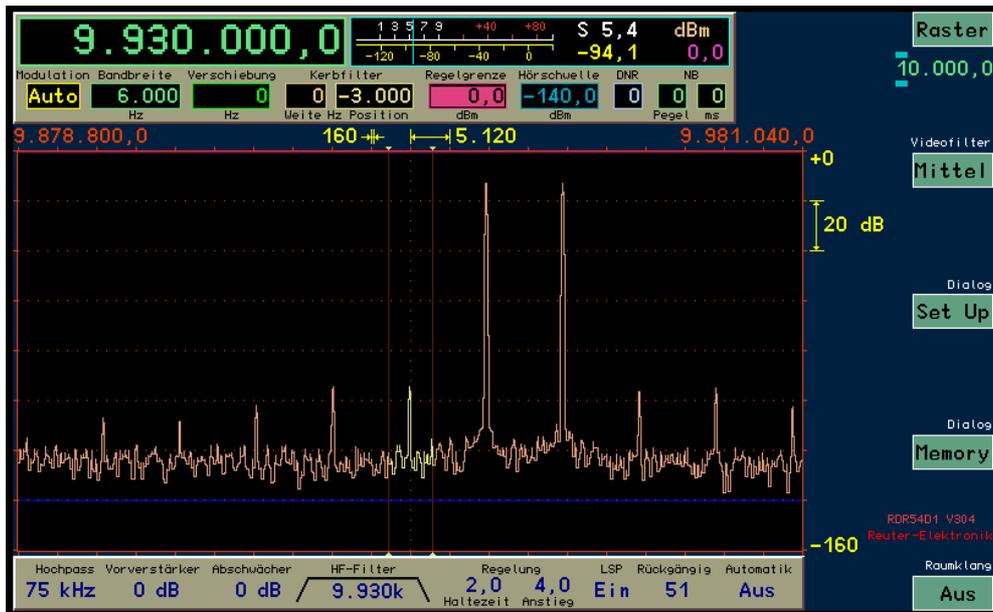


Abb. 10: Messung des IM-Abstands zweier Träger von -10 dBm, Ergebnis: 84 dB

Aber auch kleinste Pegel schält der RDR50 sicher aus dem Rauschen, wie der Empfang des 17,2 kHz SAQ Signals am Grimeton-Tag beeindruckend belegte. Hier war das Empfängerrauschen eindeutig tiefer als das Antennenrauschen und erlaubte, diverse Antennentypen für dieses kritische Signal zu vergleichen. Letztlich erlaubte sowohl die Mini-Whip nach PA0RDT, als auch die T2FD-Antenne, das Signal schwach, aber deutlich lesbar aufzunehmen.

Ein einfacher Test mit dem rauscharmen Meßsender HP 8640B belegt in der Tat den gut tiefen Rauschgrund. Hierzu wird auf Wasserfalldiagramm geschaltet und das Eingangssignal so lange erhöht, bis es im Display gerade sichtbar wird. Ergebnis: knapp -140 dBm oder 0,025 μV beim RDR50. Dies soll keine exakte Rauschgrundmessung sein, hierfür muß ein externer Rauschgenerator bemüht werden, sondern soll nur demonstrieren, daß die vom Hersteller angegebene Empfindlichkeit von 0,5 μV sehr konservativ angegeben ist. Der DX-Empfang von grenzwertig schwachen Stationen auf UKW und im 2m-Band belegen dies ebenfalls.

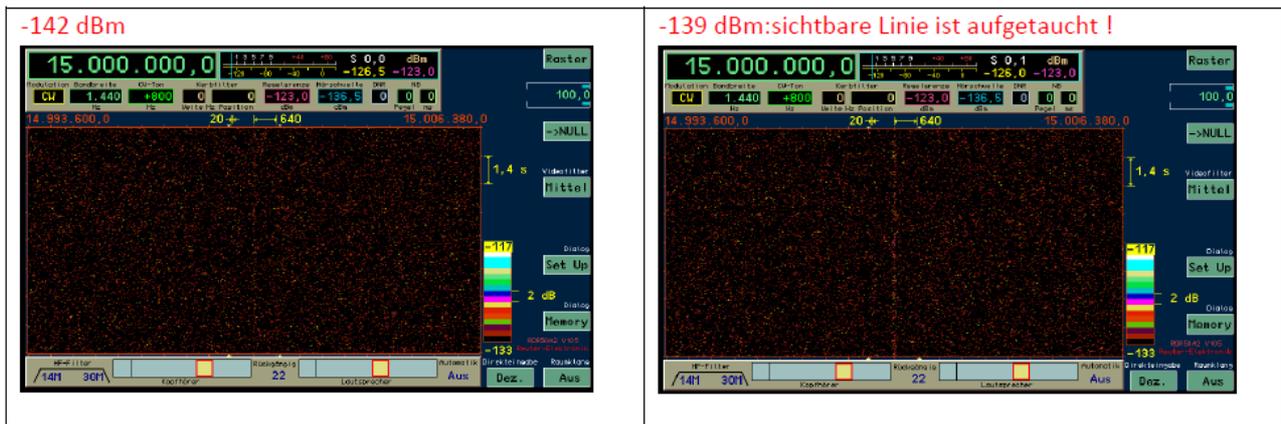


Abb. 11: Messung der Grenzeempfindlichkeit des RDR50 [4]

Seit der Überarbeitung des Eingangverstärkermoduls RAD18A durch Einsatz besserer HF-Transistoren und vierfacher ADCs wird im RDR54 ein um nochmals 10 dB besserer Störabstand erzielt. Dann also in etwa -150dBm Grenzeempfindlichkeit, auch immer in Abhängigkeit von der Fensterbreite zu sehen. Ein entsprechendes Modul für den RDR50 ist in Vorbereitung, lag allerdings bei der Erstellung dieses Dokuments noch nicht vor. Damit ist dann endgültig das Antennenrauschen die den Empfang bestimmende Größe, besonders auf UKW und 2m.

4.) Was gibt es nur hier und sonst bei keinem anderen SDR-Empfänger?

Die Liste ist recht lang, wie wäre es hiermit:

4.1.) EUSB-Modus

Mit der Auslieferung der Software Version 301 wird ein Tool mitgeliefert, das ich so noch bei keinem mir bekannten Empfänger gefunden habe: die Möglichkeit der direkten Umsetzung einer elektromagnetischen Welle vom Antenneneingang in ein hörbares niederfrequentes Signal ab 0 Hz. Hier handelt es sich nicht um eine Demodulation im eigentlichen Sinne, es wird vielmehr ein Bereich direkt von der Antenne in Niederfrequenz umgewandelt. Wozu braucht man das? Der Entwickler scheint an die ULF/ELF Freunde gedacht zu haben, es ist nun ohne weiteres Equipment möglich z.B. Signale aus unserer Magnetosphäre zu hören, seien es

Whistlers, Sferics, Saucers oder Chorus Töne.

4.2.) FM-Wide: Goniometer und Spektrumdarstellung in Echtzeit

HiFi-Tuner Enthusiasten können sich bestimmt noch an die Geräte des Saul Marantz und Richard Sequerra erinnern. Beide, der Marantz 10B und der Sequerra Model 1 FM Tuner, hatten völlige Alleinstellungsmerkmale, was die Darstellung der UKW-Signale anging. Der 10B hatte als erster UKW-Tuner eine Scoperöhre zur Anzeige der Audiokanäle in X-Y Darstellung. Als Weiterentwicklung wurde von Richard Sequerra die wohl wirklich einmalige Schaltung des Marantz 10B in Transistortechnik umgesetzt und die Anzeigefunktionalität der Scoperöhre um die eines Frequenz-Spektrumanalyzers erweitert.

Hier im RDR54 nun erstmalig beide Features in volldigitaler Technik.



Abb. 12: Day Sequerra Reference Panalyzer und RDR54 im Goniogramm-Modus

Zusätzlich hat der RDR54/50 noch die Möglichkeit, das MPX-Signal wie folgt anzuzeigen:



Abb. 13: Darstellung des Stereosignals beim RDR54/50, gut zu sehen der 19 kHz Stereopilot-Träger, das MPX-Signal und die RDS-Datengruppe im Bereich um 57 kHz

Weitere Darstellungsoptionen sind Oszillograph und Histogramm. Für die Hardcore-UKW-DXer kann ein zusätzlicher Dialog eingeblendet werden, auf dem die gerade ausgelesenen RDS-Daten zu sehen sind:



Abb. 14: RDS-Informationsdialog

4.3.) AM-E, Hüllkurvendetektor mit exzellentem Klang

Ein von Besitzern und Testern oft geäußerter Kritikpunkt beim frühen RDR54 war der sterile Klang bei AM, ein Resultat des Synchrondetektors in Verbindung mit der frequenzdiskreten

Verarbeitung. Die „Null“, also der Träger, ist ja nicht darstellbar. Der Hersteller hat hier reagiert und einen AM-Demodulatormodus programmiert, der das AM-Signal nach seiner Hüllkurve abtastet, also genau so, wie es die alten Röhrenempfänger getan haben. Das Resultat ist eine Wohltat für die Ohren der Mittelwellenhörer, die jetzt die Boliden vom Schlege eines Hammarlund HQ-180, Collins R390A oder Hallicrafters SX-28 nicht mehr anzuwerfen brauchen. Der Klang, besonders im Ortssenderbetrieb, ist ein Gedicht. Eine Sendung wie „Jazz-Facts“ auf dem Deutschlandfunk kann von mir parallel auf MW und UKW gehört werden und oft genug entscheide ich mich für die Wiedergabe per AM, genau so, wie es bei Miles Davis und John Coltrane damals war.

Ein kleiner Nachteil ist mit dem AM-E Modus verbunden und zwar die Festlegung auf eine feste Audiobandbreite von 5, 7, 10 oder 14 kHz. Da die Berechnung des Signals sehr komplex ist, können hier keine freien Bandgrenzen ausgewählt werden, das Filter ist ja eine Hardware aus Speichern und Multiplizierern, die auf einem dazu konfigurierten Teil des FPGAs läuft. Vielleicht macht ein neuer FPGA-Typ in Zukunft eine flexiblere Einstellung möglich?

Die gleiche Einschränkung gilt übrigens auch für die Filter bei den FM-Modi, betrifft also UKW und den 2m-Bereich. Auch hier sind die Filterbandbreiten fest vorgegeben, aber sehr praxisgerecht, wie positive Rückmeldungen aus USA zeigen. Ein RDR50 Besitzer aus San Diego kann damit 2m-QSOs aus Japan und Hawaii besser aufnehmen, als mit seinem TenTec 340 und ICOM 2500/8500.

Ein recht trickreiches Problem lag im Auftreten eines starken 5 kHz Het-Tons bei AM-E in Situationen, bei denen die beiden Trägerlinien nur 5 kHz voneinander entfernt liegen. Hier kann die weich abfallenden Kennlinie des Hüllkurvendetektors nicht die benötigte Selektion anbieten, der Einsatz des Sync-Modus könnte, aber der Einsatz ist aus klanglicher Sicht eben nicht optimal. Das gleiche Problem trat auf MW bei 9kHz-Trägern auf, ist aber wegen der höheren Audiofrequenz nicht so lästig.

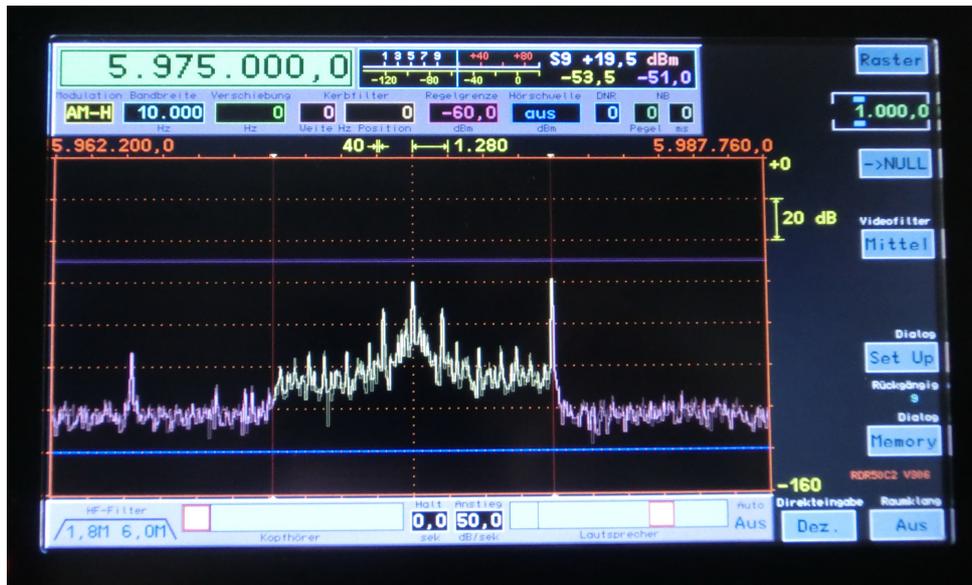


Abb. 15: Die Wiedergabe von Radio Japan wird auf 5975 kHz von Radio Vatikan auf 5980 kHz durch einen markanten 5 kHz Het gestört (5:30 UTC)

Um Abhilfe zu schaffen, wurde vom Hersteller das AM-E Filter für 5 und 10 kHz derart neu berechnet, daß sich eine Bandbreite von ca. 4,6 kHz (8,4 kHz) ergibt und damit der 5 kHz (9 kHz) Träger sicher (mit +60 dB) unterdrückt wird. Ein kleiner Kunstgriff, der zeigt, daß auch in der digitalen Empfängerwelt ab und an ein wenig getrickst werden muß.

4.4.) „Audiophile“ UKW-Bandbreiten und extrem UKW-DXing

Die Entwicklung der Reuter-Empfänger wurde nicht nur von mir, sondern auch von meinem Mentor Reinhard Wieschhoff-van Rijn mit großem Interesse verfolgt. Er war der Kopf hinter der Entwicklung des Referenztoners Klein & Hummel FM 2002 und Restek-Wieschhoff FM 3003 und damit einer der besten Tunerentwickler der 70er und 80er Jahre. Viele Jahre seines Schaffens resultierten in der Entwicklung einer ZF-Quarzfilterplatine, deren Filterflanken nicht nur eine hochlineare Audiowiedergabe ermöglichten, sondern auch eine Selektion von knapp 100 kHz ZF-Bandbreite bei gerade noch als „warm“ zu bezeichnendem Klirr.

Als Ergebnis der ersten Hörwochen mit dem RDR54 teilte ich Herrn Reuter meine Vorschläge für neu zu berechnenden UKW-Filter mit, die den doch recht harten UKW-Klang deutlich aufweichen, gleichzeitig aber zu einer besseren spektralen Verteilung der Klirrkomponenten führen sollten. Nach einigen Iterationen war eine Filterabstufung gefunden, die nun wirklich

jeden Benutzer zufrieden stellen sollte:

280 HQ („high quality“, klanglich vergleichbar mit dem Sequerra FM Model 1 oder dem FM 3003 Referenz tuner der AUDIO), etwas schmaler ist das 280 S-Filter („S“ steht für „steil“ in der Filterflanke). Diese beiden Filter empfehlen sich für den Ortssenderempfang, bei großen Signalpegeln wird jede, aber wirklich jede HighEnd Audio-Kette an ihre Grenzen geführt.

120 HQ und 120 S: zwei Filter für Sender mit leichten Problemen durch Nachbarstationen, noch exzellente Durchhörbarkeit. Entspricht wegen des Formfaktors (~ 1.2) dem hervorragenden dreifachen Quarzfilter im FM 2002-X und FM 3003, läßt also mehr Signal passieren bei identischer Selektion.

80 HQ und 80S: Filter für den DX-Empfang, z.B. an einer großen Drehantenne. Noch gut klirrarm, aber bereits deutlich eingeschränkte Stereobreite. Kann zwei Stationen, die nur 100 kHz auseinander liegen, problemlos trennen.

50 HQ, und 50S: zwei Filter, die in analoger Technik nicht mehr zu realisieren sind. Anwendung für extrem DX oder bei „Senderzoo“ auf dem UKW-Band und in 100 kHz Trennschärfesituationen. Am QTH Saarbrücken z.B. fünfmal auf dem Band vorkommend. Der Empfang kann mit keinem Empfänger mehr verglichen werden, den ich kenne (inkl. FunCube Dongle, Perseus mit Konverter etc.). Auch die unter UKW-DXern so beliebten HiFi-Tuner mit 57kHz Filtern (die übrigens 13 dB Einfügedämpfung haben!), sind hier chancenlos.

Im Vergleich zu meinem empfindlichsten UKW-Tuner, dem Wieschhoff modifizierten Revox B-261X, zeigt sich, *wie* gut der RDR54/50 empfängt. Keines der schmalen Filter bedeutet ja eine Pegelreduktion, also stehen mir die extreme Empfindlichkeit von deutlich unter $0,5 \mu\text{V}$ und die in analoger Technik nicht mehr realisierbaren Filterbandbreiten gleichzeitig zur Verfügung. An meiner 18-Element Antenne kann der Reuter-Empfänger Sender aus Holland und Belgien empfangen, die der Revox noch nicht einmal mehr erahnen läßt und das obwohl der Revox B-261X die beste von mir jemals gemessene Empfindlichkeit von $0,55 \mu\text{V}$ hat. Üblich sind auch bei absoluten HiFi-Spizentunern nur $0,8 \mu\text{V}$ (für 26 dB Signal-/ Rauschabstand, mono).

4.5.) Sender in Polarkoordinatentechnik

Den RDR50 gibt es auch als Transceiver, für den RDR54 wird ein entsprechendes Einschubmodul angeboten. Damit erweitert sich der Funktionsumfang vom reinen

Meßempfänger zum Amateurfunksender mit 5W PEP. Das Sendesignal wird über die Generierung und Modulation aller Signale grundsätzlich auf der Ebene der Phasen- und der Magnituden-Information (Polar-Koordinaten) erzeugt. Deshalb sind alle erforderlichen Signale für den Leistungsverstärker nach dem Hüllkurvenprinzip von Anfang an vorhanden, es ist also kein D/A-Umsetzer notwendig. Die Signale besitzen eine hohe Genauigkeit und ermöglichen dadurch sehr gute Eigenschaften von Modulation und Signalqualität des hochfrequenten Sendesignals.

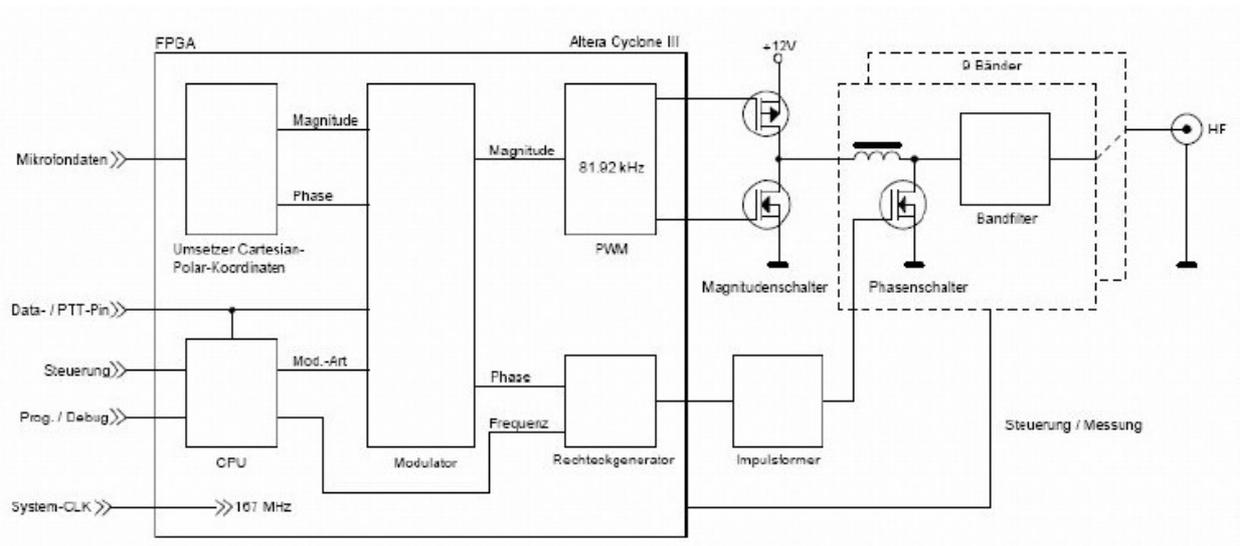


Abb. 16: Blockschaltbild Sendemodul [3]

Die hochgenaue und jitterfreie Einstellbarkeit beider Flanken des Steuerimpulses der Phasenschalter ist für die CW-Qualität des erzeugten Signals essentiell. Die realisierten 10 ps entsprechen bei 40 ns Signalperiode in etwa einer Auflösung von 12 Bit. Die Qualität des Ausgangssignals ähnelt deshalb auch der von DDS-Generatoren entsprechender DAC-Auflösung, d. h. Nebenwellen- und Rauschspektrum sehen ähnlich aus.

Ein weiterer großer Vorteil der "Polar-Methode", der hohe mögliche Wirkungsgrad (aktive Elemente nur im Schaltbetrieb), kommt beim RPA5C voll zum Tragen. Immerhin benötigt das sehr kompakte Modul keine weitere Kühlung und erwärmt sich im eingebauten Zustand nur langsam und selbst bei CW-Dauerstrich nur moderat.

Zur Steuerung des Senders ist eine erweiterte Bedienoberfläche notwendig. Sie enthält die Einstell- und Anzeigefunktionen für den Sendebetrieb. Dies sind die Konfiguration des Mikrofoneingangs und der zeitlichen Abläufe der Sende-Empfangs-Umschaltung, sowie die

Anzeige senderrelevanter Parameter wie Leistung, SWV, Modulations-Aussteuerung oder Temperatur der Endstufe. Weiterhin sind eine genaue Analyse des Mikrofonsignals sowie des Sendesignals und der Abgleich des Senders auf beste Signalqualität möglich.

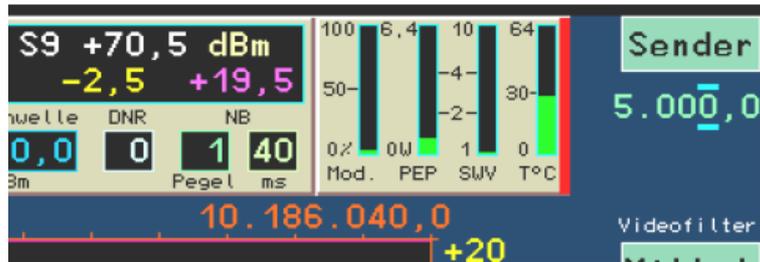


Abb. 17: Bedienoberfläche Sender

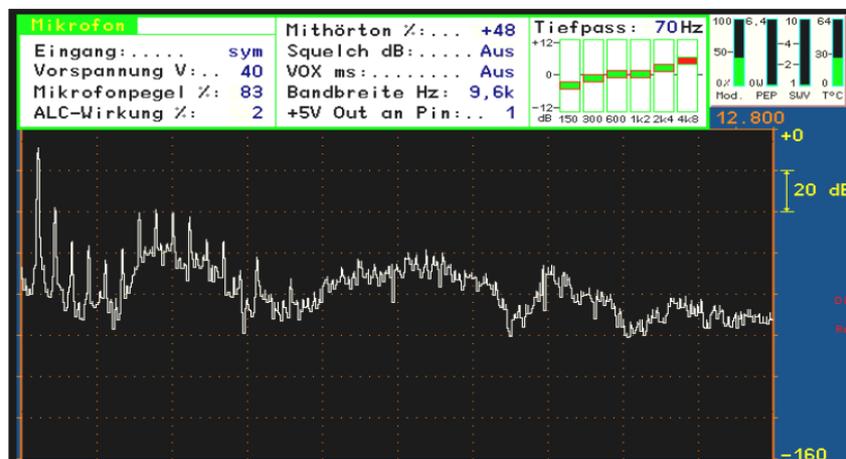


Abb. 18: Betrieb als Audio-Analyzer für den Mikrofoneingang

Das Sendemodul erlaubt den Betrieb des RDR-Transceivers auch als Audio-Spektrum-Analyzer. Quasi als „Abfallprodukt“ der Sendersteuerung kann eine beliebige Audioquelle über den Mikrofoneingang analysiert werden. Hierzu wird er als AUX-IN geschaltet und zeigt dann das Spektrum des Signals mit bis zu 100 dB Störabstand.

5.) Was ist sonst noch außergewöhnlich?

- Display kann beim RDR 50 per Fingertip seitwärts gescrollt werden (vgl. I-Pad)
- Display ist über einen großen Bereich dimmbar, sehr angenehm nachts

- Touchscreen ist sehr präzise zu bedienen und erlaubt einen weiten Blickwinkel
- Hauptabstimmknopf wahlweise mit oder ohne magnetische Rastung
- SYNC und DSB Modus bei AM
- AGC-Konstanten flexibel einstellbar
- Minimale CW-Bandbreite von 5 Hz (10 Hz bei RDR50)
- Quasi "rauschfreie" CW-Demodulation durch sehr schnelle AM-Squelchfunktion
- Perfekte Portabilität dank geringen Gewichts und kompakter Abmessungen
- ZFIQ, BaIQ-Modus: direkte Ausgabe der ZF oder des Basisbandes für DRM
- 0,5 Hz Abstimmsschritte im FM-Modus
- Stufenlos einstellbare Stereobreite (200% bis 0%=mono)
- Sender in Polarkoordinatentechnik
- Einspielen neuer Firmware über beiliegende PC-Software jederzeit möglich
- Einfache Ausgabe von Screenshots per USB-Schnittstelle
- Kein Anstieg der Rauschlinie wg. Schaltnetzteil!

6.) Der RDR50C im Portabelbetrieb

Der RDR50 eignet sich in idealer Weise für den Portabelbetrieb, sei es im Urlaub oder auf einem Field-Day. Um die Eignung selbst zu testen, nahm ich meinen RDR50C mit in den Urlaub nach Südfrankreich in eine der ruhigsten Empfangslagen, die ich kenne. Eine bisher ungewohnt tiefe Rauschlinie machte schnell klar, daß ich hier selbst die schwächsten Signale „über Grund“ empfangen können sollte. Als Antennen hatte ich einen 15m Langdraht mit RF-Systems „Balun“ (eigentlich besser „Trafo“), sowie eine Mini-Whip nach PAORDT mitgebracht. Letztere wurde wie auch der RDR50C aus einem Blei-Gel Akku (12V, 7Ah) betrieben.

Bei der Erstellung von Screenshots wurde schnell ersichtlich, wie sehr der Empfang eines SDRs durch die galvanische Verbindung zu einem Laptop/PC leidet. Der hervorragend tiefe Rauschflur des Antennensignals auf den höheren Bändern wurde erheblich angehoben, sobald ich meinen Laptop zum Erstellen der Screenshots mit dem RDR über ein USB-Kabel verbunden hatte!

Der Rauschflur des Signals der Langdrahtantenne sprang von -129 dBm auf nur noch -101dBm, der des Signals von der Mini-Whip auf -110/115 dBm. So waren schwache Signale aus Übersee überhaupt nicht mehr aufzunehmen!

Eine mögliche Abhilfe besteht in Verwendung eines abgeschirmten USB-Kabels und der

gleichzeitigen Verwendung eines RK1 Ferrittrings gewickelt als „Strombalun“ (nach Joe Reiser, W1JR). Dieses Material ist auch bekannt durch den OM Wippermann (DL4ZAO), Bezugsquelle Würth (74270097) oder beim DARC als „RK1-Material“. Alternativ könnte man auch einen Ring aus „43er“ Material verwenden, der aber nicht die gleiche gute Wirkung erzielt.



Abb. 19: Set-Up für Portabelbetrieb, RDR50C, Mini-Whip und SONY 2001D als Spotter

7.) Wo ist Verbesserungspotential?

Aus meiner Sicht sind die Rauschunterdrückungsalgorithmen noch zu verbessern. Hier ist am stärksten zu sehen, was mit einer FGPA gerechnet werden kann und was nicht. Ein Perseus hat ja einen Multiprozessor im GHz-Bereich im Rücken, eine vergleichbare Rechenleistung steht hier nicht zur Verfügung. Eine schnellere FPGA ermöglicht hier in Zukunft sicherlich eine Verbesserung. Gleiches gilt für die Festbandbreiten im Modus AM-E und FM-N. Hier wünscht man sich eine etwas flexiblere Auswahl.

Wer den RDR50 im Freien benutzen will, wird feststellen, daß die maximale Helligkeit des Displays bei Sonnenlicht nicht ausreichend ist. Ich habe mir mit einer zusätzlichen Abschattung

durch ein Stück Pappe geholfen, dessen Form der Sonnenblende meines Navigationssystems nachempfunden wurde.

Wünschenswert wäre eine genauere Eichung des Hauptoszillators z.B. über einen Anschluß an einem Atom-Frequenznormal oder GPS-Empfänger. Die Eichung ist bereits realisiert, muß aber bisher recht ungenau über eine akustische Schwebung eingestellt werden.

Auch könnte man sich die Touchscreen-Steuerung des RDR50 mit der Elektronik des RDR54 vorstellen. Sicherlich eine optimale Kombination.

8.) Fazit:

Im RDR50 trifft professionelle HF-Technik auf ein ausgeklügeltes Mensch-Maschine-Interface. Dank Touchscreen-Bedienung sowie durchdachter Bedienlogik macht der alltägliche Betrieb mit dem Gerät extremen Spaß. Die Empfangsleistungen sind mindestens auf Niveau eines TenTec 340, Telefunken 1800 oder ICOM 9000, allerdings zu einem weit geringeren Preis! Hie und da werden Geräte dieser Gattung auch nach Anschaffung eines Reuter-Empfängers verkauft. Betrachtet man UKW alleine, gibt es kein Gerät mehr, das mit dem RDR mithalten kann.

Die Bedienlogik der Geräte folgt dem Minimalismus der Bauhausidee. Wer einmal das „touch & adjust“ beim RDR50 oder „press & adjust“ beim RDR54 verinnerlicht hat, kann Hersteller von Geräten nicht mehr verstehen, die ihre Anwender mit 150 und mehr Knöpfen verwirren. Beide Geräte kann man extrem schnell bedienen.

Meßgerät oder einfach nur „Radio“? Das muß jeder für sich selbst entscheiden. Ich schätze jedenfalls nicht nur im Labor oder Shack die kompakten Abmessungen des Gerätes, auch auf der Urlaubsreise kann man für den RDR noch ein wenig Platz im Kofferraum finden. Er braucht ja nicht mehr als ein Stück Draht und eine Spannungsversorgung, z.B. einen kleinen 12V Blei-Gel Akku. Habe ich schon erwähnt, daß der RDR50 bis unter 10V perfekt arbeitet?

Beim Anschaffungspreis muß bedacht werden, daß man hier semi-professionelle HF-Meßtechnik ersteht, die niemals gewartet oder abgeglichen werden muß. Die Kalibrierung meines Tektronix Spektrum-Analyzers 2715 hat alleine € 700 gekostet! Wenn man jetzt noch die Anschaffung eines Audio-Analyzers, Oszillographs und der Referenzempfänger mit einrechnet ...

Wichtigstes Argument war für mich aber die Gewissheit, daß ich im Betrieb des Gerätes keinen Kompromiß zwischen Rauschgrund und maximaler Empfangsleistung eingehen muß. Schon das Anschließen des USB-Kabels an einen Laptop zum Zweck der DRM-Dekodierung, Einspielen von neuer Firmware oder dem Download von Screenshots läßt den Rauschflur immens ansteigen. Auch doppelt geschirmte USB-Kabel bringen hier keine Besserung, weil sich die „digital noise“ einfach über die Masseführung ausbreiten und ins Gerät einstrahlen kann. Einzig eine gute Verdrosselung brachte hier Abhilfe. Man bedenke, daß ein Besitzer eines Perseus, RadioCom oder FunCube Dongles dies so nicht beeinflussen kann!

Mit dem Gerät, das Nils Schiffhauer 2011 getestet hat, haben diese Empfänger fast nur noch den Namen gemeinsam, es sind einfach zu viele Verbesserungen auf der Hardware-Seite und in der Bedienlogik eingeflossen. Gerade der Touchscreen erlaubt ein zeitgerechtes, modernes Arbeiten mit unserem so traditionellen Hobby. Oder kennen Sie ein anderes Hobby, das wir 90 Jahre nach seinem Erscheinen noch in so moderner Form ausüben können?

Ich bedanke mich für Ihre Aufmerksamkeit und Ihr Interesse.

9.) Literatur, Quellen:

[1] Harris, Fredric j. (Jan 1978). "[On the use of Windows for Harmonic Analysis with the Discrete Fourier Transform](#)". *Proceedings of the IEEE* **66** (1): 51–83. doi:[10.1109/PROC.1978.10837](#).

[2] <http://www.sandv.com/downloads/0301wick.pdf>

[3] Operators Manual zum RDR54/50, Hersteller

[4] Testbericht zum RDR50, Autor: Thomas Brunner