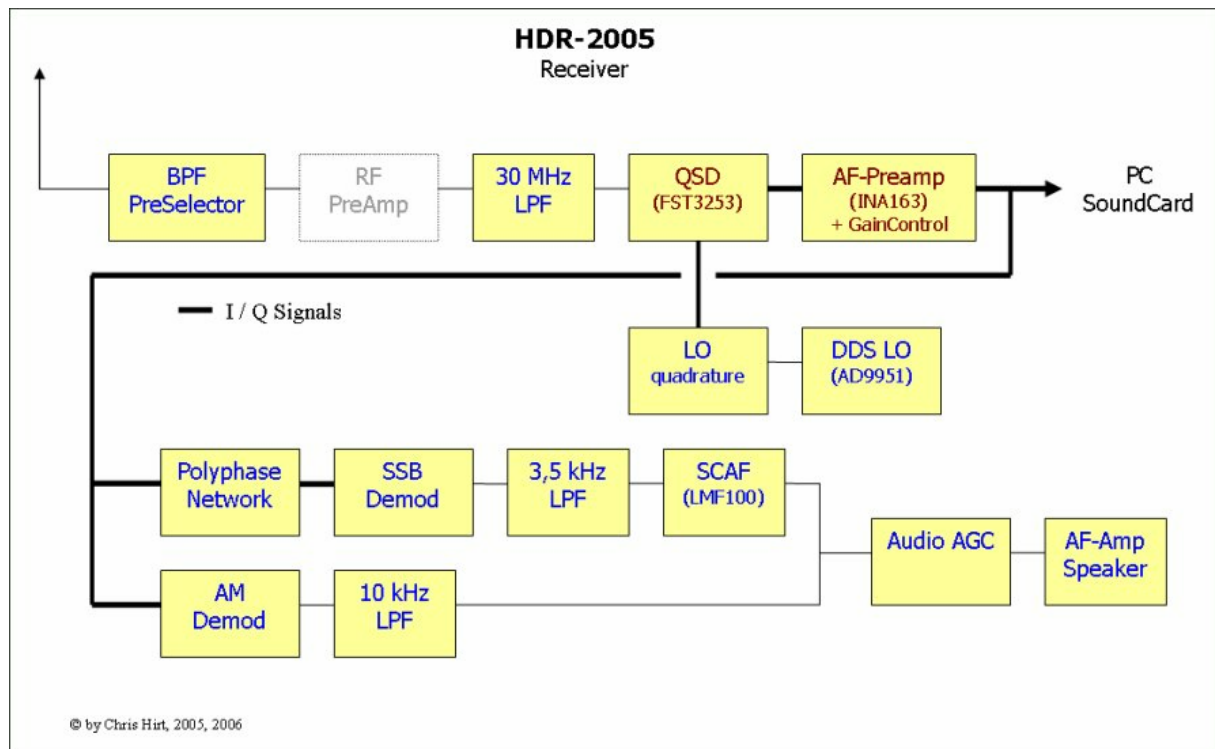


Anmerkungen zum „HDR-2005“ DC QSD Selbstbauempfänger

Version: 30.01.2007



Details zu diesem Empfänger sind auf meiner Web-Site <http://home.pages.at/chirt/EHW.htm> unter <http://home.pages.at/chirt/Projects/HDR2005/HDR2005.htm> zu finden.

Achtung:

Der als Webpages veröffentlichte HDR-2005 ist nur eine Momentaufnahme eines Prototypen der ständig verändert wird und kein nachbausicherer Bausatz. Versierten Empfängerbauern sollte es aber leicht sein diesen QSD Receiver nachzubauen.

Warum HDR-2005?

Wie mit dem Tayloe-Detector und dem QSD im SDR-1000 die **Software Defined Radio** Welle so richtig gestartet ist, wollte ich zwar das FrontEnd nach diesem Prinzip bauen, aber keinen PC mit rumschleppen. Außerdem machen mir Hardware Basteleien großen Spaß. Als Persiflage auf SDR habe ich den Empfänger **HDR**, also **Hardware Defined Radio** genannt. Diesen Ausdruck habe ich seit 2005 dann bei jeder Gelegenheit gebraucht. So zum Spaß... Inzwischen habe ich ihn auch schon bei anderen gefunden; bin neugierig wie er sich verbreitet ;-)

Grundsätzlicher Aufbau des HDR-2005 und Umfeld

Als **Antenne** benutze ich eine reine Empfangsantenne in Form einer 10,2 m langen Drahtantenne, die in ca. 5 m Höhe isoliert und beweglich zwischen 2 Bäumen aufgehängt ist (mehr Platz habe ich nicht). Einseitig ist die Antenne mit einem trifilar gewickelten Balun abgeschlossen. Dem 50 Ohm Koaxkabel folgt dann am Baumstamm ein zuschaltbarer Verstärker (mit 2N5109) mit getrennter Spannungszuführung und auch eine Erdung per Staberder. Per 50 Ohm Koaxkabel geht es dann ca. 10 m in meine Werkstatt.

Der HDR-2005 Prototyp beginnt mit einem **Preselektor** (der jedoch aufgrund von Bauteilemangel noch nicht für alle Bänder ganz fertig ist. Ich verwende gerne Styroflex-Kondensatoren und die sind immer schwieriger zu bekommen). Einen Preselektor halte ich für einen HDR unbedingt für notwendig (drauf komme ich später noch zurück).

Ursprünglich folgte darauf ein guter **Vorverstärker**, der sich aber als absolut nicht notwendig herausgestellt hat (die Empfindlichkeit des QSD ist bei weitem hoch genug) und mit dem man sich vorwiegend Nachteile einhandelt.

Nach einem **30 MHz LPF** (schließlich möchte in keine der höherfrequenten Schalt/Mischprodukte abstrahlen ;-)) liegt das Herzstück des Empfängers, der **DB QSD (Double balanced quadrature sample detector)**. Aufgebaut mit dem FST3253 und mit 2 INA163 als Verstärker versehen funktioniert dieser recht gut. Details dazu folgen später.

Für den SSB bzw. CW Zweig folgen dann ein **aktives Polyphase Network** und ein LPF welches auch als Aliasfilter für den **SCAF (Switched capacitor filter)** dient.

Der **AM Demodulator** ist recht einfach gehalten und hat nur experimentellen Charakter, wiewohl ein AM BC Empfang sehr gut möglich ist.

Als SSB/CW Filter fungiert - wie schon erwähnt - ein SCAF mit zwei LMF100 und 2 LT1799 zur Ansteuerung. Die in 6 Stufen getrennt einstellbare Frequenz beträgt etwa 250 Hz – 1500Hz (untere Flanke) und 1500 – 3000 Hz (obere Flanke).

Eine **Audio AGC** ist noch in der Entwicklungsphase. Dazu wurden bis dato drei verschiedene Ansätze verfolgt (mit OTA = Operational Transconductance Amplifier geregelt, mit FET als Spannungsteiler vor OPamp, mit FET im Rückkopplungszweig des OpAmps). Eine Regelungscharakteristik wie im alten SL621 AGC Generator wurde ausprobiert. Zufrieden mit all dem bin ich noch nicht...

Der **Audio Verstärker** ist ein herkömmlicher Audio IC ohne besondere Schaltungstechnik.

Sehr wichtig ist die QSD Ansteuerung durch einen **Quadratur LO**. Die gewünschte Frequenz wird derzeit durch eine **DDS mit dem AD9951** erzeugt (bis max. 120 MHz) und anschließend durch eine Schaltung mit 4-facher oder 2-facher Frequenz zur FST3253 Ansteuerung quadraturmässig aufbereitet. Anmerkungen dazu später.

Gesteuert wird die DDS über einen Atmel **ATmega8515 Controller**. Die Frequenzeingabe ist per 3x4 Tastenfeld, per schnellem Vor/Rücklauf und per Handrad (Encoder) einstellbar. Als Drehgeber fungiert ein Steppermotor aus einem uralten 51/4" Diskettenlaufwerk. Programmiert wird mit BASCOM AVR, also einer Art von Basic und mit ein wenig Assembler wenn notwendig.

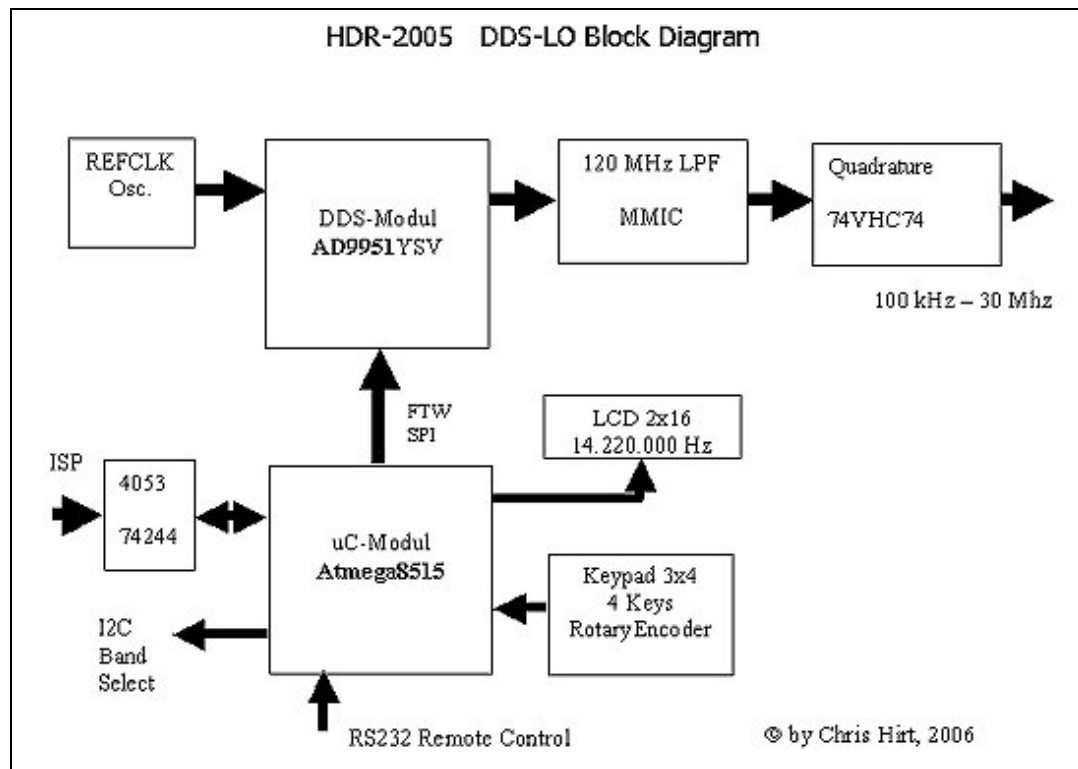
Das Netzgerät des HDR-2005 ist herkömmlich mit Ringkerntrafo (230V /15 V) aufgebaut. Es liefert +/- 12 V und +/- 5 V geregelt mit bis zu 1,5 A wenn erforderlich. Primärseitig liegt ein Netzspannungsfiler. Aus den beiden symmetrischen Spannungen +/-12V bzw. +/- 5V werden dann +3,3 V und +1,8 V für den DDS Baustein etc. abgeleitet. Damit wird natürlich viel verbraten, aber das ist bei einem Versuchsprojekt wie den HDR-2005 Prototypen m.E.n. kein Problem.

Weiters sind die INA163 per Switch (MAX312) für eine Verstärkung von 55, 40 und 20 dB schaltbar (ist auf obigen Schaltbild nicht eingezeichnet).

Der Abschwächer dient dazu, die Impedanzverhältnisse etwas zu stabilisieren. Sowohl für den QSD, als auch für die vorgelagerten Filter. Bei zukünftigen Projekten möchte ich ihn weglassen (setzt natürlich die Empfindlichkeit herab und rauscht), allerdings gilt es eine Lösung für stabile Impedanzverhältnisse zu finden! *Wer weiß eine Lösung?*

Die Bias Spannung hat Einfluss auf den FST3253. Die meisten Homebrewer verwenden einfach $V_{cc}/2$ und zwar unabhängig von der Art des AF Vorverstärkers (OPamp oder INA) und sym/unsym Spannungsversorgung. Dies ist meiner Ansicht nach nicht richtig. Die Performance (zumindest der Ron) des FST3253 ist abhängig vom DC Bias. Beim FST3253 sollte die Spannung unter 1,5 V liegen (ich verwende beim HDR-2005 derzeit 1,2 V). Hier wäre es noch notwendig messtechnisch das Optimum zu ermitteln.

LO Konzept



Für die korrekte Ansteuerung des FST3253 wird eine DDS (AD9951) eingesetzt. Dabei gibt es für den Homebrewer eine Reihe von Umständen zu beachten:

1. Der AD9951 ist ein 7x7mm „großer“ SMD Chip im TQFP Gehäuse mit 48(49) Anschlüssen...
2. Wird eine 4xf Quadratursignalaufbereitung benutzt, ist ein 120 MHz Output notwendig. Dies bedingt einen VHF-mässigen Aufbau vor allem beim LPF + Verstärker!
3. Damit die DDS optimal arbeitet, benötigt sie ein hochwertiges Referenzsignal mit mind. 400 MHz (bei abgeschaltetem Multiplier). Die Frage des Referenzoszillators ist somit keineswegs trivial.

4. Die Quadraturaufbereitung mit 74xxx74 und ein paar Logikgatter sieht ebenfalls nur trivial aus, ist es aber nicht. Unterschiedliche Signallaufzeiten führen unweigerlich zu Phasenfehlern die sich insbesondere bei höheren Frequenzen schwerwiegend auswirken.

Für den HDR-2005 Prototyp habe ich versuchsweise einen 100 MHz Oszillator und den 4x clock multiplier des AD9951 eingesetzt. Dies ist aber natürlich nicht empfehlenswert. An einer guten 400-500 MHz (der AD9951 kann „übertaktet“ werden) Lösung wird gearbeitet.

Der Clock-Multiplier verschlechtert die PhaseNoise Performance der DDS signifikant (siehe Datenblatt). Das RefOsc-Signal sollte ein DutyCycle von exakt 50% aufweisen und 3dB stark sein (eine kleine versteckte Fußnote im AD9951 data sheet weist nachdrücklich darauf hin).

Die prinzipbedingt notwendige Filterung mit einem 7pol. ellipt. LPF habe ich mit hochwertigen, aber handelsüblichen SMD Bauteilen aufgebaut. Als Post-DDS-Amp wurde ein ADA-4543 eingesetzt (der war gerade in der Bastelkiste verfügbar).

SSB/CW – Zweig

Per Polyphasenetzwerk wird das I/Q-Signal für einen bestimmten Frequenzbereich um je 45° verschoben. Damit wird die notwendige 90° Phasenverschiebung zwischen I und Q erzeugt und anschließend per OpAmp aufsummiert. Die exakte Phasenverschiebung ist für die Seitenbandunterdrückung entscheidend. Bei sorgfältiger Berechnung/Aufbau/Abgleich sollten mind. 40dB und können max. etwa 60 dB erreicht werden. Das im HDR-2005 verwendete aktive Phasenschiebernetzwerk war ursprünglich für einen anderen Zweck gedacht und ist für eine zu große Bandweite (10 kHz) ausgelegt. Die oft geäußerte Ansicht, dass nur per DSP ein brauchbares Ergebnis erzielt werden kann, ist messtechnisch sicher richtig, im Praxiseinsatz als Selbstbaugerät aber nicht zutreffend. Daher nicht abschrecken lassen einen derartigen Phasenschieber im Selbstbauempfänger einzusetzen.

Das für die Filterung eingesetzte SCAF (mit 2 LMF100) ist sehr praktisch, jedoch mit etwas Vorsicht zu genießen. Wurde doch in den vorherigen Zweigen stets auf große Rauschfreiheit Wert gelegt, wird das SCAF-Rauschen hier nun toleriert. Eine fixe Filterung wird dahingehend wohl ein besseres Ergebnis bringen.

AM – Zweig

Dieser ist im HDR-2005 nur experimentell ausgeführt. Theoretisch sollte die AM-Demodulation folgender Formel folgen $M = \sqrt{I^2 + Q^2}$ folgen. Dies wird aber bei der angewandten Schaltung nicht realisiert. Dennoch funktioniert sie erstaunlich gut.

Hinweise zum Nachbau

Trotz einem in Wahrheit erheblichen Schwierigkeitsgrad, insbesondere beim LO, kann dieses hochinteressante Empfängerkonzept jedem Homebrewer nur wärmstens empfohlen werden.

Obwohl der HDR-2005 noch sehr viel Optimierungsspielraum zulässt, zeigt er bereits eine Performance die jener von herkömmlichen Selbstbauempfängern zumindest gleichkommt oder wahrscheinlich übersteigt.

Ein Tip für den Nachbau: Beginnen sie mit dem QSD+INA, schließen sie einen geeigneten Quadrature-LO und eine Antenne an und demodulieren bzw. testen sie per Software. Aus diesem SDR bauen sie dann sukzessive einen HDR daraus.

Verbesserungsvorschläge und Fragen zur Diskussion

Front-End:

Den Preselector selbst mit den gleichen Anlogschaltern oder Multiplexern statt mit Relais schalten. Dies ist billiger als gute Relais oder HP PIN Dioden und vereinfacht die Ansteuerung per uC. Eine Performance-Verbesserung ist damit allerdings nicht zu erreichen. Auf einen RF-Amp wird komplett verzichtet.

QSD+Post-QSD Amp:

Sollte statt des betagten FST3253 ein modernerer Multiplexer eingesetzt werden? Der Durchgangswiderstand spielt beim hochohmigen Vorverstärker wohl kaum eine Rolle. Wichtig sind die Schaltzeiten und etwaige Ungleichheiten zwischen den Schaltern. Der INA163 funktioniert recht gut. Das geringe Rauschen ist bei hohen Verstärkungen hervorragend. Sollte das INA Konzept beibehalten werden oder auf OP-Amps gewechselt werden? Wie können die Impedanzverhältnisse am QSD Eingang stabilisiert werden? Welche Gleichspannungsbeaufschlagung ist optimal? Der Wert der Sample-Kondensatoren mit 68nF ergibt für einen HDR eine zu große BW. Vergrößern auf 120nF oder gar als Filter mit zusätzlicher Induktivität in Serie oder Pi-Filter ausführen? Dies würde wohl auch die RF-Reflexionen am INA-Eingang dämpfen. Wie soll bei einem HDR der notwendige IF-Offset realisiert werden? Beim HDR-2005 wurde kein Offset verwendet. Wird das RX-Rauschen dadurch auch in der Praxis hörbar verschlechtert (mir fehlt der Vergleich)?

I/Q-Ungleichgewicht:

Zwischen dem INA163 und dem Polyphase Network könnte ein automatischer Amplituden/Phasen-Ableich durchgeführt werden. Eine einfache Hardware dazu ist im EMRFD angeführt (*Reinhold* danke für Hinweis !)

Quadrature-LO:

Hochwertige 400-500 MHz Referenz für DDS einplanen. DDS Multiplier abschalten. Der AD9951 hat internen Komparator und ist damit für LO Quadrierung besser geeignet als AD9951 (ansonsten gleich). Bei LO-Quadrierung auf ungleiche Laufzeiten achten, die zu Phasenfehlern führen. Ein perfektes I/Q Signal zur QSD Ansteuerung ist für die RX Performance entscheidend! Hier sollte bei HDRs keinesfalls „gespart“ werden.

AGC:

Wird der Empfänger als General Coverage RX konzipiert, so muss ein gewaltiger Dynamikbereich bewältigt werden (vom im Rauschpegel liegenden Utility Signalen bis zum superstarken MW-Rundfunksender). Ein wirklich gutes AGC-Konzept, dass dem hervorragenden QSD-Konzept auch gerecht wird, habe ich leider noch nicht gefunden. Was sagen die Experten dazu?

Zum Abschluss noch ein paar grundsätzliche Worte:

1. Mein Empfängerbau oder andere Basteleien sind ausschließlich ein Hobby von mir. Verkaufen will ich dabei gar nichts!
2. Ich lasse mich zu nichts drängen und die Zeit für dieses eine meiner Hobbies ist recht knapp. Meine Familie geht dem Hobby eindeutig vor und einen Beruf habe ich auch noch.
3. Viele der bereits gebauten Geräte sind nicht meine Erfindung, sondern beruhen meist auf der Arbeit von mehreren exzellenten Experten (meist OMs), zusammengetragen auf allen Erdteilen. Allen diesen Leuten danke ich für ihre Publikationen und Diskussionsbeiträgen.
4. Meine Ausstattung an Messgeräten ist (noch) dürftig. Ich kann daher nicht mit unzweifelhaften Messergebnissen aufwarten.
5. Ich diskutiere gerne mit anderen „Homebrewern“ und bin mir auch nicht zu schade ständig etwas daraus zu lernen.
6. Auf verbale Attacken jeglicher Art oder Bezeugungen um wie viel besser doch jemand sei, reagiere ich nicht. Für ein Hobby ist es mir keinesfalls wert zu streiten.

Chris Hirt
Austria
Jan. 2007