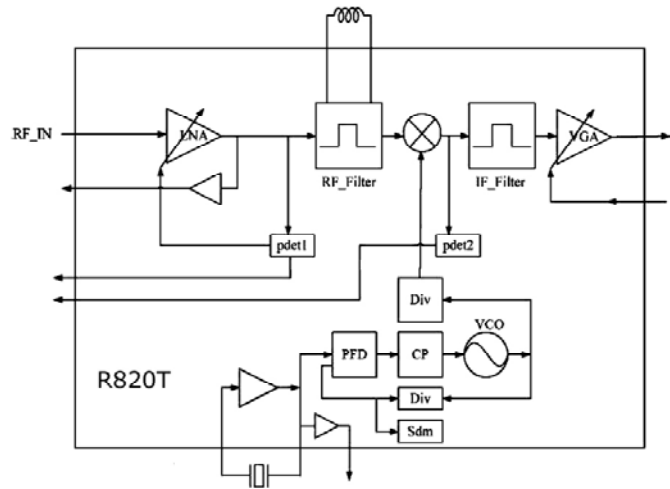


Empfindlichkeit und Rauschmaß eines DVB-T-Sticks

Messung kritischer Spezifikationen eines Salcar® Stick DVB-T RTL 2832U&R820T

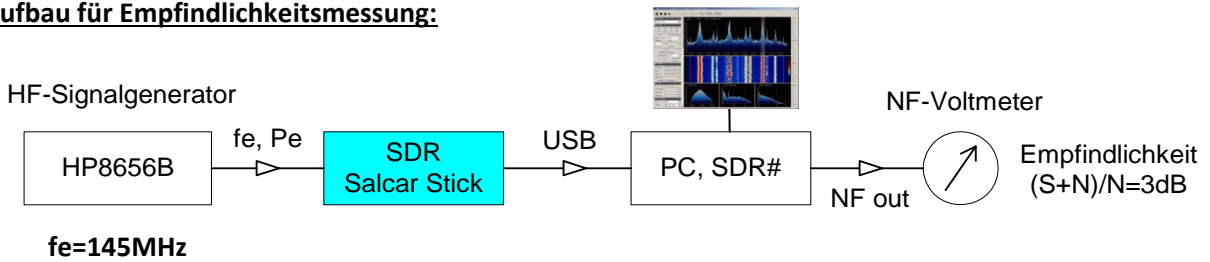


SDR Salcar Stick, oder ähnlich



Blockschaltbild des R820T Tuners

Aufbau für Empfindlichkeitsmessung:



$f_e=145\text{MHz}$

Einstellungen der SDR# Software:

Radio CW, Bandwidth 500Hz, FFT-Display Resolution 262144, FFT-Sample Rate 2.4MSPS, AGC off, RF Gain 49,7dB

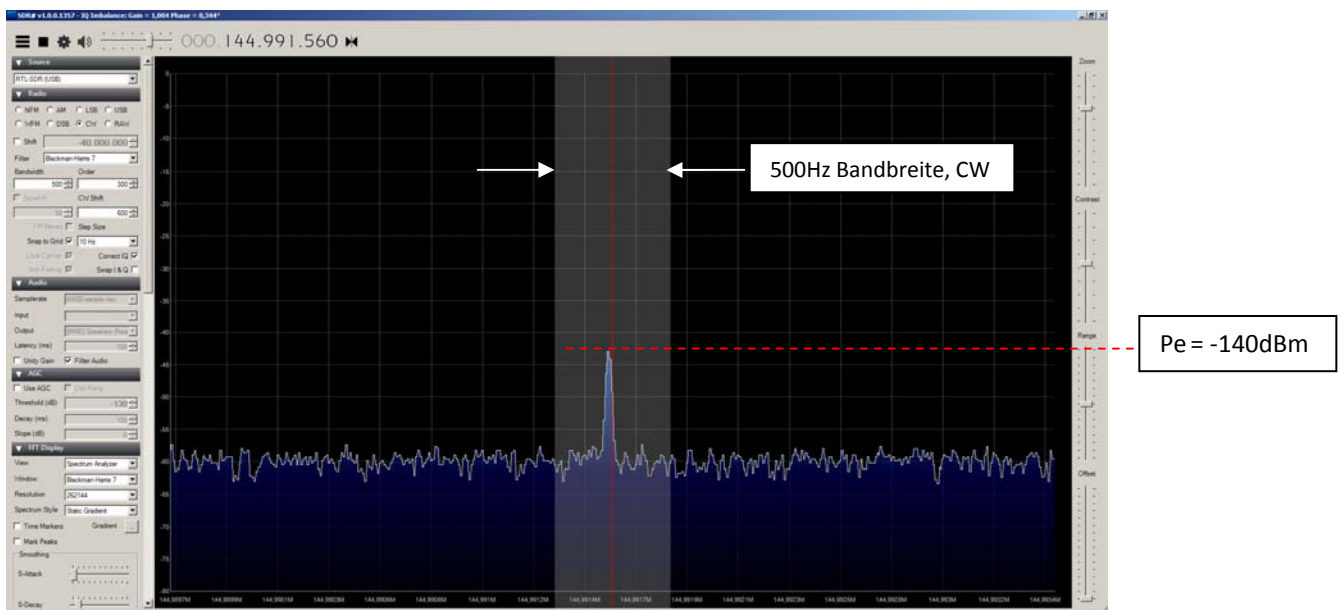


Bild 1: Signalpegel $P_e=-140\text{dBm}$ für ein akustisches von $(S+N)/N=3\text{dB}$, Frequenz 145MHz

1.) Messung der Empfindlichkeit

Zunächst stellt man den NF-Ausgangspegel (Rauschpegel, Ueff) ohne Signal am NF-Voltmeter auf einen Wert von relativ 0dB ein. Mit angeschlossenem Signal (fe) vermindert man anschließend den HF-Pegel soweit, bis die NF-Ausgangsspannung (Rauschen + 1kHz Überlagerungston) am Voltmeter nur noch um 3dB - also um den Faktor 1,414 ($20\log U_2/U_1 = 3\text{dB}$) - über dem Rauschpegel liegt. Die Empfindlichkeit (S) des SDR-Receiver entspricht dann dem eingestellten HF-Pegel (Pe). Es gilt $S=N$ (Signal = Noise).

Messergebnis:

Ein 145MHz Signal mit einem Pegel von -140dBm erzeugt am NF-Voltmeter einen Spannungsanstieg von $(S+N)/N=3\text{dB}$, $S=N$

- **Empfindlichkeit (S) = -140dBm** (bezogen auf Empfänger-Bandbreite (B) von 500Hz)

Nach der Gleichung

$$P_R(W) = K \cdot t_0 \cdot B \quad \text{mit} \quad P_R = \text{Rauschleistung}$$

$K = \text{Bolzmannkonstante}$
 $t_0 = \text{Temperatur}$
 $B = \text{Bandbreite}$

ist die Rauschleistung bei konstanter Temperatur (t_0) direkt abhängig von der Messbandbreite B. Deshalb ist eine Angabe der Empfindlichkeit ohne Benennung der Messbandbreite (genauer: Rauschbandbreite) unzulässig.

Mit Normierung der Bandbreite (B) auf 1Hz und einem Rauschgrenzwert von -174dBm/Hz und ergibt sich ein Rauschmaß (NF) des RTL-SDR-Sticks von

- **Rauschmaß (NF) = Empfindlichkeit - Rauschgrenze - $10\log B = (-140+174-27)\text{dB} = 7\text{dB}$**

- **Rauschzahl (F) = 5**

2.) Empfindlichkeit von FFT-Analysator und SSB-Empfänger

Bei der Messung der Empfänger-Empfindlichkeit muß man zwischen der "optischen" Darstellung des Meßsignals im HF-Bereich (FFT-Analyse) und der "akustischen" Messung des SNR am NF-Ausgang des Empfängers unterscheiden.

Die Empfindlichkeit des Empfängers ist abhängig von der gewählten Bandbreite. Bei 145MHz und 500Hz Bandbreite ergibt sich eine Empfindlichkeit von -140dBm, gemessen nach der "3dB-Methode" $(S+N)/N=3\text{dB}$ am NF-Ausgang des Empfängers.

Die Empfindlichkeit und Darstellung des FFT-Analysators ist jedoch abhängig von der eingestellten Abtastrate (Sample Rate) und digitalen Auflösung (Resolution). Für die FFT-Analyse wurde eine Abtastrate von 2,4MSPS gewählt, was einer dargestellten Bandbreite von 2,4MHz entspricht. Mit einer Resolution von $262'144$ beträgt die spektrale Auflösung $2400000\text{Hz}/262144=9,16\text{Hz}$ (Bin Width der FFT). Die spektrale Auflösung ist also $500/9,16$ mal größer als in der NF, entsprechend 17,4dB. Ein Signal von $S=N$ erscheint also in der Spektralanalyse mit 17,4dB über dem Rauschpegel (Bild 2). Anders ausgedrückt, die Empfindlichkeit des Analysators ist um 17,4dB höher, als die des Empfängers. Der Grund für diese Differenz liegt einfach darin, dass der SSB-Empfänger mit einer Bandbreite von 500Hz arbeitet, der FFT-Analysator aber nur mit einer Auflösung von 9,16Hz.

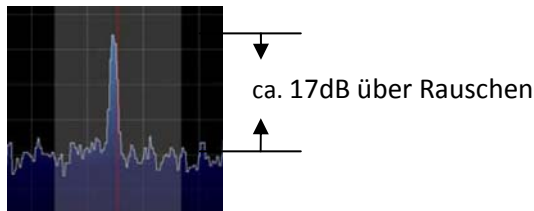


Bild 2: Der Analysator zeigt das -140dBm Signal mit ca. 17dB über dem Grundrauschen

Daraus ergibt sich rechnerisch eine Empfindlichkeit (S) des Analysators von

$$S (\text{Analysator}) = -140\text{dBm} - 17,4\text{dBm} = -157,4\text{dBm} \text{ (bezogen auf } 9,16\text{Hz Bandbreite)}$$

Das Rauschmaß (Noise Figure) des FFT-Analysators beträgt nach wie vor

$$NF = \text{Empfindlichkeit} - \text{Rauschgrenze} - 10\log B = (-157,4 + 174 - 9,6)\text{dB} = 7\text{dB}$$

Demnach läßt sich die Empfindlichkeit des Receivers auch direkt aus dem Spektrum des FFT-Analysators ermitteln. Bei einem SNR von 17,2dB ($B=500\text{Hz}$) entspricht die Signalleistung der Rauschleistung, $S=N$. Die Messung ist jedoch schwierig und oft fehlerhaft. Das Signal muß hoch gezoomt und die Spitze (der richtige Bin) über einen längeren Zeitraum mit geringer sweep-time gesucht werden. Zur besseren Spitzenerkennung sollte das FFT-Fenster abgeschaltet werden und der Empfänger darf während der Messung nicht driften. Eine Korrektur der verwendeten Messbandbreite muß grundsätzlich erfolgen.

Hinweis: Die sicherste und einfachste Messung der Empfindlichkeit erfolgt mit der klassischen "3dB-Methode" im NF-Bereich, wie unter 1.) beschrieben.

3.) Analyse des NF-Signals

Mit Hilfe der FFT-Analyse Software "audioTester" läßt sich das NF-Signal am Ausgang des PC's sehr viel genauer analysieren, als mit der Software SDR#. Dazu verbindet man an der PC-Soundkarte die Anschlüsse *NF-out* mit *NF-in* über ein kurzes Audio-Kabel und startet die Software audioTester und SDR#. AudioTester und SDR# können beide am PC gestartet werden und laufen problemlos gleichzeitig.

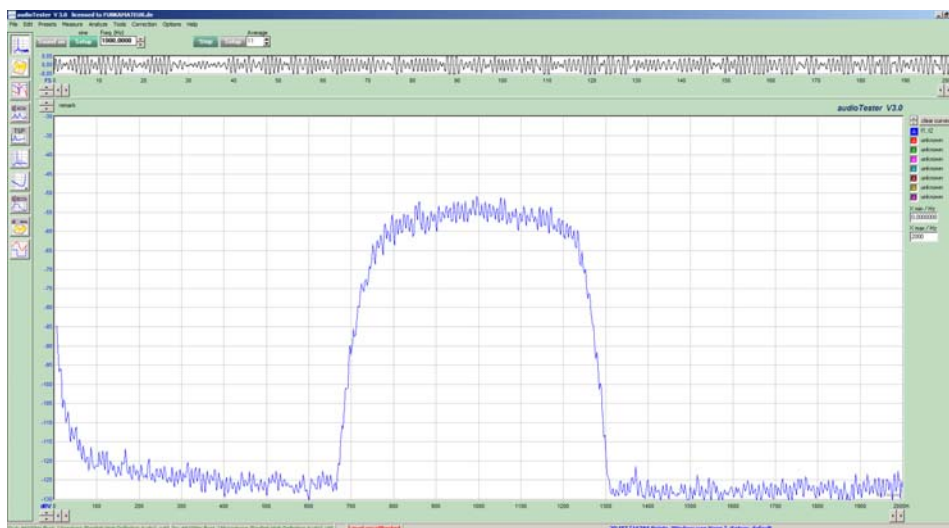


Bild 3: Filterformkurve des 500 CW-Filters, Frequenzbereich 0-2kHz, Filter Order 2000

Als ein Beispiel zeigt **Bild 3** die FFT-Analyse des NF-Ausgangssignals mit gewähltem 500Hz CW-Filter. Deutlich ist die aus dem Grundrauschen hervortretende Filterformkurve mit ihren steilen Flanken und hoher Selektion zu erkennen. Der dargestellte Frequenzbereich beträgt 0...2kHz und die Dynamik beträgt 100dB.

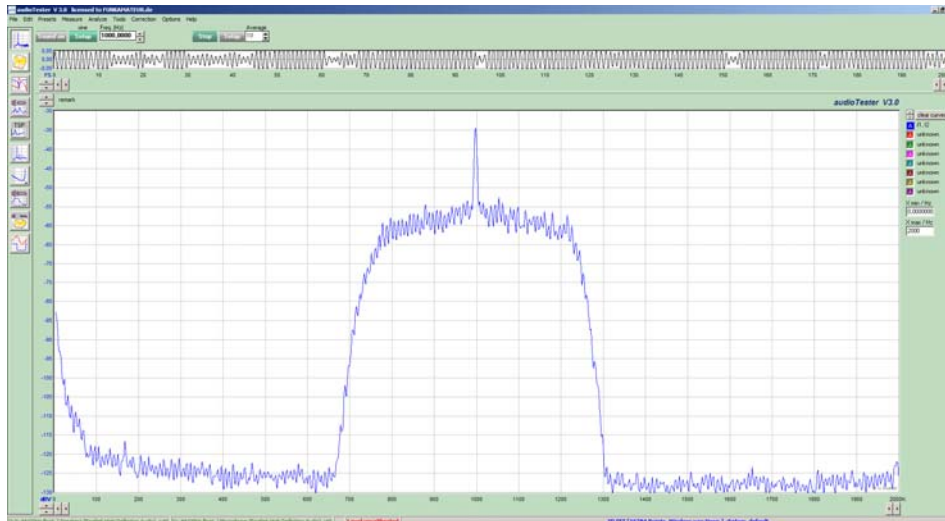


Bild 4: Spektralanalyse des NF-Ausgangssignals mit 1kHz Überlagerungston, Filter Order 2000

Bei Empfang und Abgleich eines -140dBm Signals, entsteht ein NF-Spektrum nach **Bild 4**. Der Überlagerungston wurde auf 1kHz (CW Shift 1000) eingestellt und liegt damit in der Mitte des 500Hz-Filters. Die spektrale Auflösung (Bin Width) der niederfrequenten FFT-Analyse beträgt 5,38Hz. Aus diesem Grund erscheint das -140dBm Signal auch mit ca. 20dB über dem Grundrauschen. Das gleiche Signal erzeugt am Lautsprecherausgang des Empfängers nur ein SNR von 3dB und ist kaum hörbar.

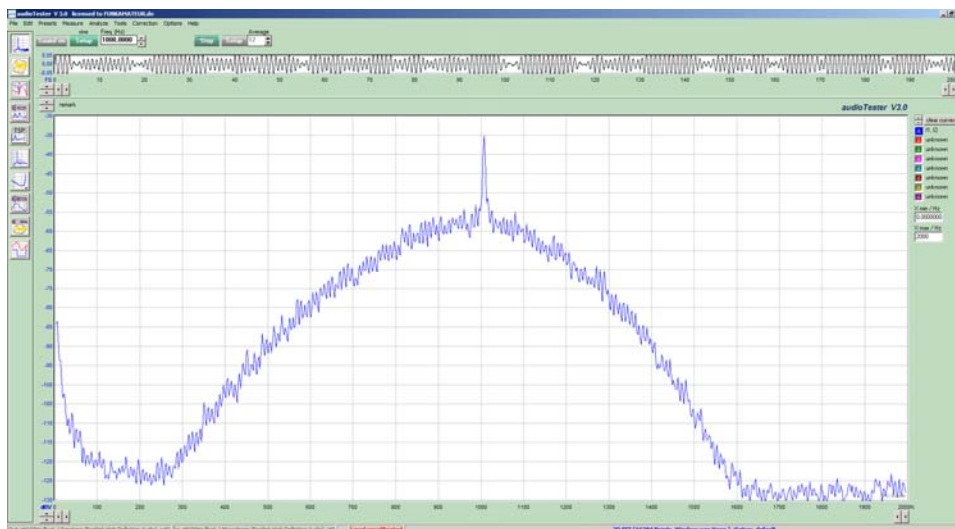


Bild 6: Gleiches Signal wie in Bild 5, aber mit gewählter Filter Order von nur 300

Durch Änderung der Filter-Order (unter SDR# -> Filter Bandwidth -> Filter Order), kann die Flankensteilheit des Filters fast beliebig eingestellt werden (**Bild 5**) und Form unter "audioTester" kontrolliert werden.

Die **komplette Signalanalyse im HF- und NF-Bereich** zeigt **Bild 6**, von einer Bildschirm-Kopie meines PC's. Beide Programme, SDR# (links) und audioTester (rechts), werden gleichzeitig und parallel ausgeführt.

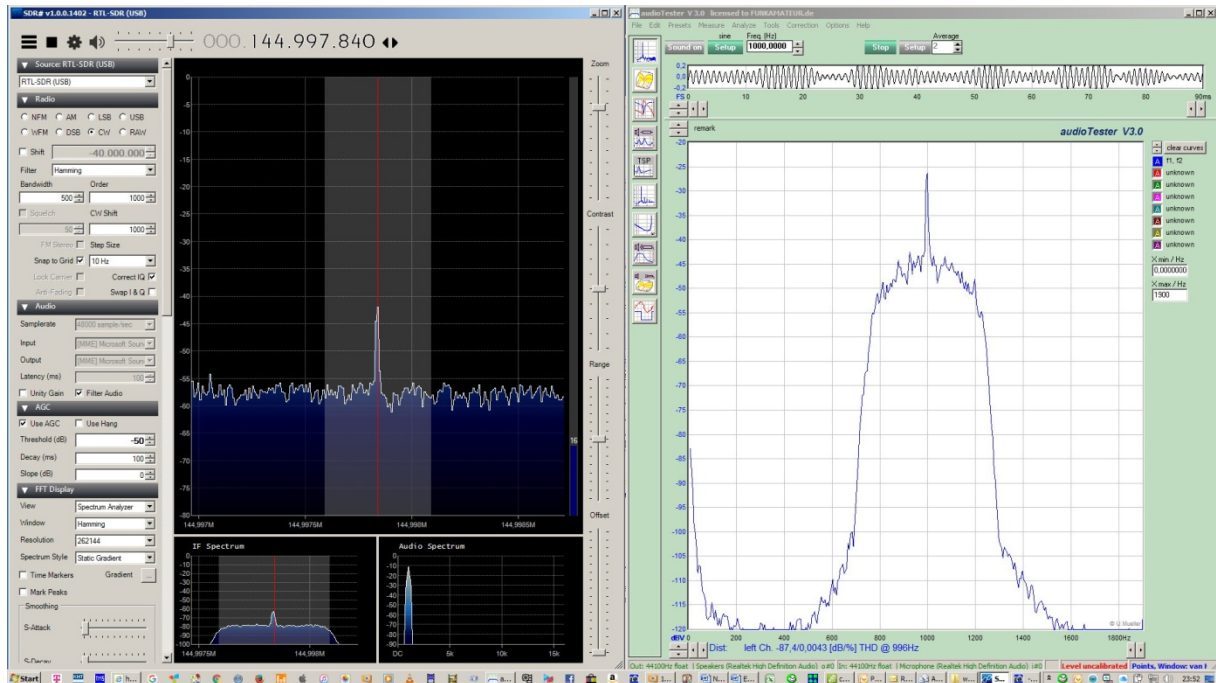


Bild 6: Spektrum im HF-Bereich von 144,997-144,999MHz (links) und demoduliertes Signal im NF-Bereich von 0-2kHz (rechts)

Literatur

- Ein Empfänger von 24 bis 1766 MHz für 10 Franken? Walter Schellenberg, HB9AJG
http://uska.ch/uploads/media/HBradio_13-04.pdf (Seite 31-35)
- Empfindlichkeit und Rauschmaß des SDR-Receiver DX Patrol
http://www.dc4ku.darc.de/Empfindlichkeit_und_Rauschmass_des_RTL-SDR-Receiver_DX-Patrol.pdf
- Großsignalfestigkeit (IP3) eines SDR-Receiver
http://www.dc4ku.darc.de/Grosssignalfestigkeit_eines_SDR-Receiver.pdf
- Applikationen eines SDR-Receiver
<http://www.dc4ku.darc.de/Applikationen%20eines%20SDR-Receiver.pdf>

Werner Schnorrenberg
DC4KU
22.10.2015