

Vergleich: DX Patrol MK2 mit DX Patrol MK3



Bild 1: DX-Patrol MK3 (neu)

DX-Patrol MK2

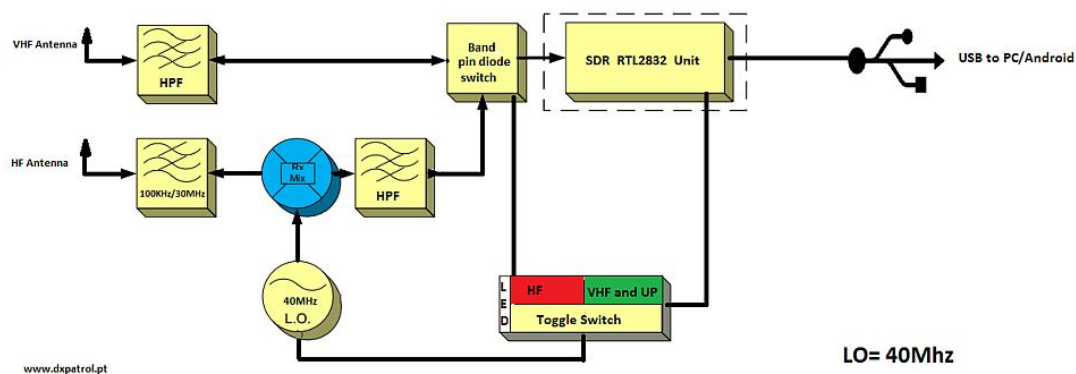
Verwendete Software: SDR# v1.0.0.1402-RTL-SDR (USB)

Grundeinstellungen SDR#:

Spectrum Analyzer: Sample Rate 2,4MSPS, FFT Display Resolution 262144, AGC off, Tuner AGC off

Receiver: Radio CW, Bandwidth 500Hz, Filter Audio on, Use AGC off, RF Gain 49,6dB oder 0dB (je nach Messung von Empfindlichkeit oder Großsignalfestigkeit)

DXPATROL - Very Wideband SDR Receiver Block Diagram



www.dxpathrol.pt

LO= 40MHz

Bild 2:

Blockschaltbild von DX Patrol , HF: 0,1-30MHz, VHF: 30-2000MHz

1.) Messung von Empfindlichkeit und Grundrauschen

Messaufbau

Als Maß der Empfindlichkeit ist das Grundrauschen des Empfängers definiert. Legt man ein HF-Signal an den Empfängereingang, dessen Pegel das Empfängerrauschen um 3dB anhebt, dann entspricht die Leistung des HF-Signals nach $(S+N)/N=2$ der des Grundrauschens (N) und es gilt $S=N$. Den Messaufbau zeigt **Bild 3**. Zunächst stellt man den NF-Ausgangspiegel (Rauschen, Ueff) ohne Signal am Voltmeter auf relativ 0 dB ein. Mit angeschlossenem Signal vergrößert man anschließend den Pegel am

Signalgenerator -ausgehend von -140dBm - soweit, bis die NF-Ausgangsspannung (Rauschen + 1kHz Überlagerungston) am Voltmeter um den Faktor 1,414 ($20\log U_2/U_1 = 3\text{dB}$) ansteigt. Die Empfindlichkeit (S) des SDR-Receiver entspricht dann dem HF-Pegel des Signalgenerators.

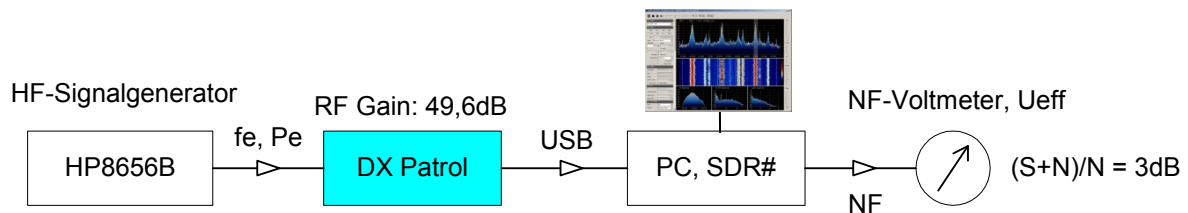


Bild 3: Messaufbau für Empfindlichkeitsmessung

Beispiel einer Empfindlichkeitsmessung bei 7MHz

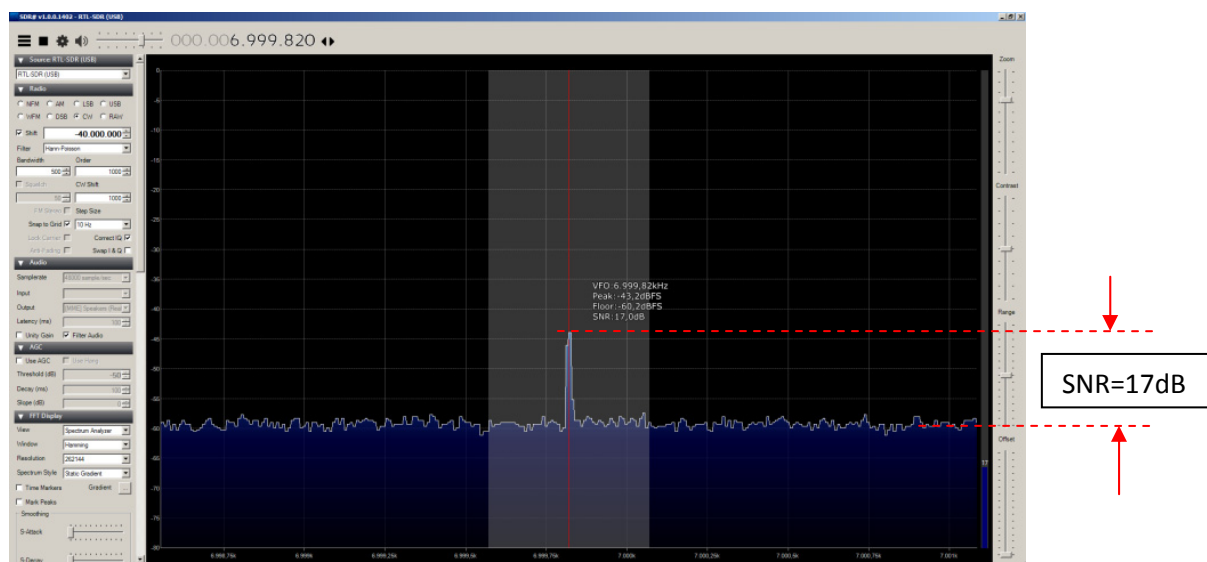


Bild 4: Ein 7MHz Trägersignal mit -122dBm auf dem Schirmbild des Spektrumanalysators

Ein 7MHz-Signal mit einer Leistung von -122dBm erzeugt am NF-Ausgang des PC's ein $(S+N)/N$ von 3dB. Die Empfindlichkeit bzw. das Grundrauschen des DX Patrol beträgt demnach -122dBm bei 7MHz. Dieses akustisch kaum hörbare Signal von -122dBm erzeugt am Schirmbild des Spektrumanalysators jedoch ein deutlich sichtbares Signal von ca. 17dB über Rauschen (Bild 4).

Der Unterschied zwischen dem optischen (Spektrumanalyse) und akustischen (NF-Ausgang des Empfängers) Signal/Rausch-Verhältnis (SNR), liegt an den unterschiedlichen Auflösungsbandbreiten beider Signalwege. Der Empfänger arbeitet mit 500Hz Bandbreite und liefert nach der "3dB-Meßmethode" im NF-Bereich eine nachweisbare Empfindlichkeit von -122dBm bei 7MHz. Die Empfindlichkeit des FFT-Analysators ist jedoch abhängig von Abtastrate (Sample Rate) und digitalen Auflösung (Resolution). Für die Spektraldarstellung wurde eine Abtastrate von 2,4MSPS gewählt, was einer dargestellten Bandbreite von 2,4MHz entspricht. Mit einer FFT-Resolution von 262144 beträgt die spektrale Auflösung $2400000\text{Hz}/262144 = 9,16\text{Hz}$. Die spektrale Auflösung ist demnach 500/9,16-mal größer als in der NF, entsprechend 17,4dB. Die Empfindlichkeit des FFT-Analysators ist demnach um 17,4dB höher, als die des Empfängers.

Meßergebnisse:**Empfindlichkeit (S) und Rauschmaß (NF) bei B=500Hz, RF Gain = 49,6dB**

DX Control MK2	7MHz	145MHz	435MHz
Empfindlichkeit S (dBm)	-122	-133	-133
Rauschmaß NF (dB)	25	14	14

DX Control MK3	7MHz	145MHz	435MHz
Empfindlichkeit S (dBm)	-122	-135	-135
Rauschmaß NF (dB)	25	12	12

2.) Messung von Intermodulation und Großsignalfestigkeit

Der nutzbare Dynamikbereich eines Empfängers, wird in Richtung kleiner Signale durch das Grundrauschen und in Richtung großer Signale durch Auftreten von Intermodulationsprodukten (nichtlineare Verzerrungen) begrenzt. In Empfängern treten hauptsächlich IM-Störungen 2.-, 3.- und 5.-Ordnung auf. Verantwortlich hierfür ist die endliche Linearität des Empfängereingangs. Den Messaufbau für IM-Messungen mit einem HF-Doppelton-Generator zeigt Bild 5. Verwendet werden zwei HF-Trägersignale bei $f_1 = 7,052\text{MHz}$ und $f_2 = 7,057\text{MHz}$, die abwechselnd mit den Pegeln $2 \times -20\text{dBm}$, $2 \times -14\text{dBm}$ und $2 \times -6\text{dBm}$ über einen RF-Power-Splitter in den HF-Eingang des SDR-Receiver eingespeist werden.

a) IM3-Messung mit RF Gain = 0

Wenn die RF-Gain auf 0dB eingestellt wird, erreichen beide Spektrallinien bei einem Pegel von -20dBm genau die oberste, horizontale Bildschirm-Rasterlinie (Bild 6). Diese Linie bezeichne ich als "Referenzpegel", ähnlich der eines Spektrumanalysators. Übersteigen die Spektrallinien den Referenzpegel, dann besteht die Gefahr, dass sie außerhalb der linearen Übertragung des Receivers liegen und Klirrfaktor und Intermodulation erzeugen.

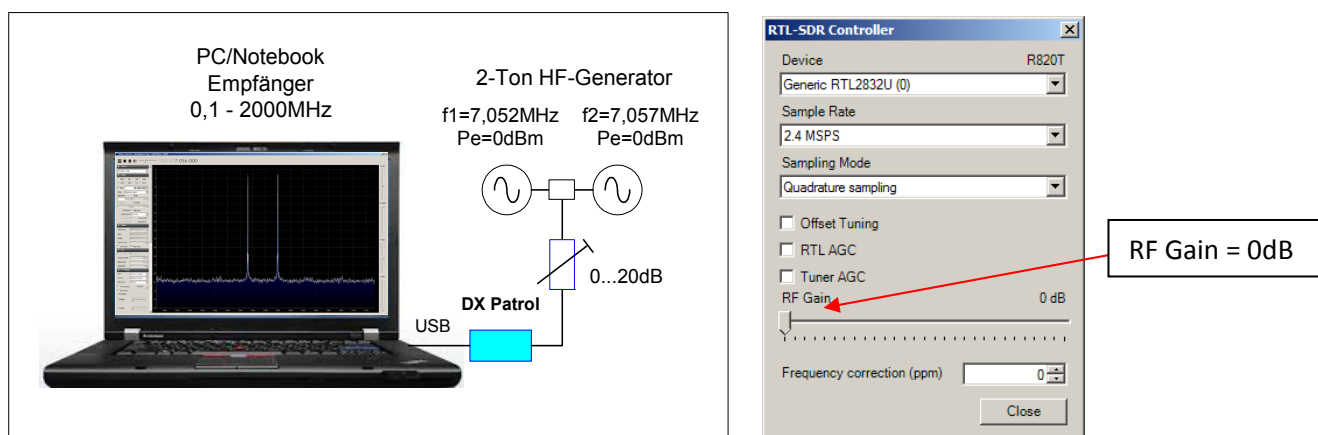
Messaufbau

Bild 5: Messaufbau für IM3-Messung

Bei zwei Signalen f_1 , f_2 (Bild 6) mit jeweils -20dBm Leistung sind keine Intermodulationsstörungen erkennbar. Der sichtbare, verzerrungsfreie Dynamikbereich beträgt ca. 65dB .

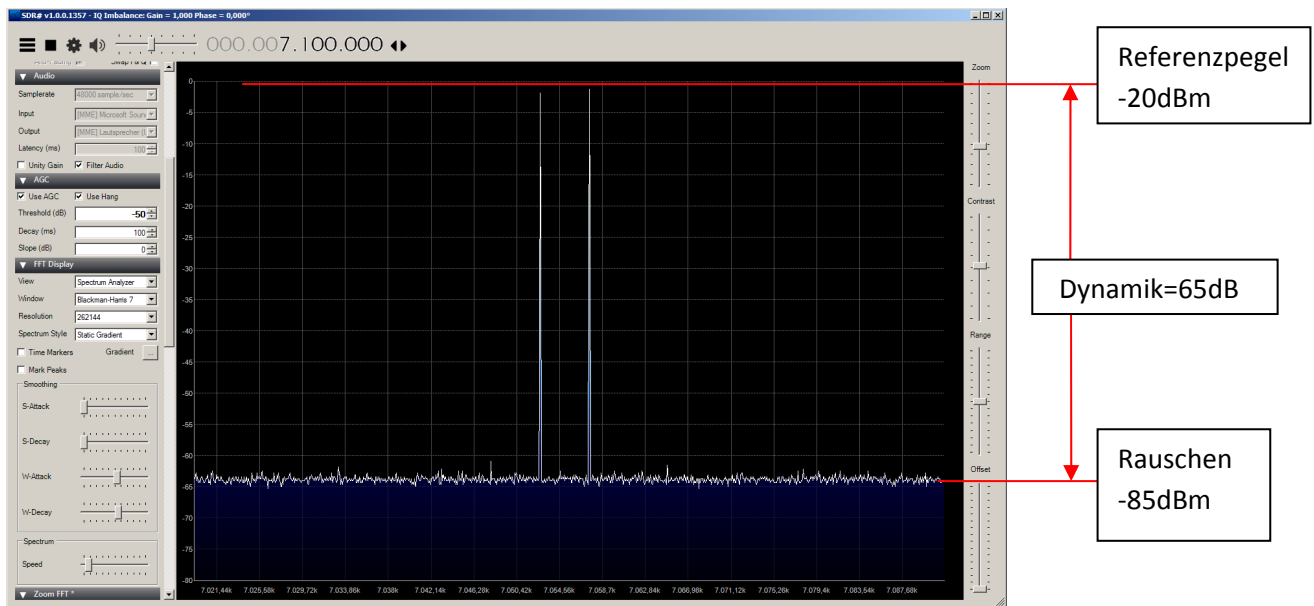


Bild 6: $P_e=2x-20dBm$, $f_1=7,052MHz$, $f_2=7,057MHz$, RF Gain=0, keine IM-Produkte erkennbar

Anschließend werden beide Signale so weit erhöht, bis Intermodulationsstörungen deutlich erkennbar sind, im Beispiel (Bild 7) haben beide Nutzsignale einen Pegel von -6dBm. Bei diesem Pegel sind Intermodulationsstörungen 3., 5. und 7. Ordnung zu erkennen. Die stärksten Störsignale erzeugt das Intermodulationsprodukt 3. Ordnung (IM_3 -Signal), mit einem Abstand zu den Nutzprodukten von $\Delta IM_3 = -6dBm - (-48dBm) = 42dB$.

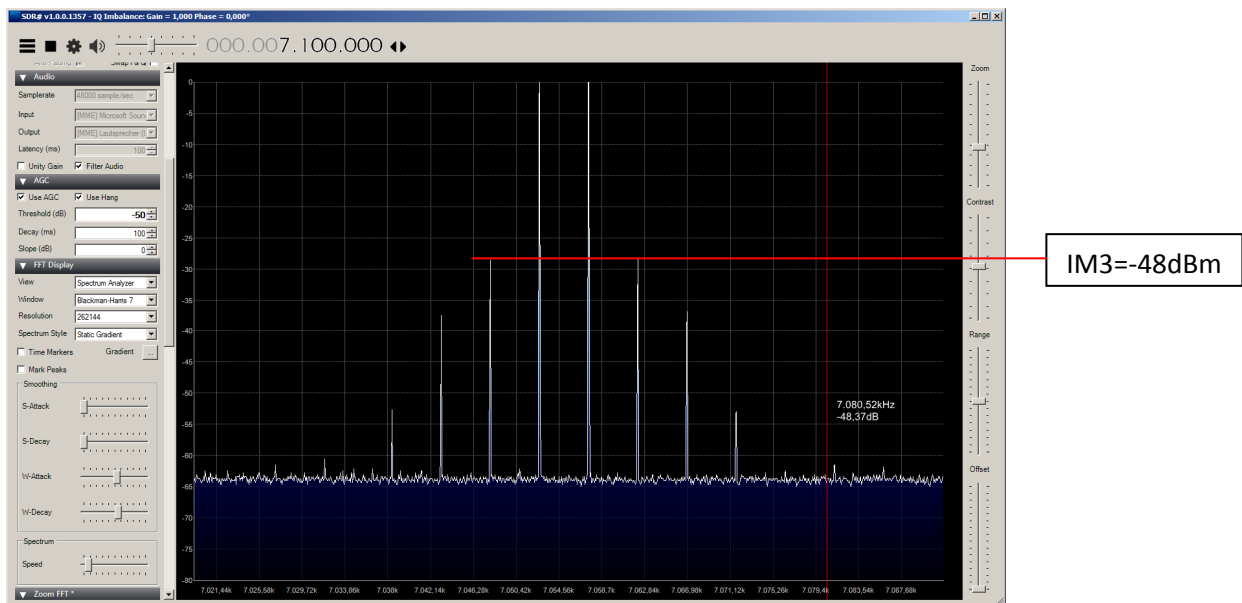


Bild 7: $P_e=2x-6dBm$, $f_1=7,052MHz$, $f_2=7,057MHz$, starke IM, Übersteuerung um 14dB

Aus den gewonnenen Messwerten in Bild 4, berechnet sich der Intercept-Point 3. Ordnung (IP_3) zu

$$IP_3 = \Delta IM_3 / 2 + P_e = 42dB / 2 - 6dBm = +15dBm$$

Lt. Definition ist die obere Grenze der Aussteuerung ($P_{e\ max}$) dann erreicht, wenn die Intermodulationsprodukte die Leistung des Grundrauschens (S) erreichen. Bei einem Grundrauschen von -85dBm ergibt sich nach Messung in Bild 6 eine maximale Dynamik von 65dB.

b) IM3-Messung mit RF Gain = 49,6dB

Bei Erhöhung der RF Gain von 0 auf +49,6dB, steigt die Empfindlichkeit des Referenzpegels von -20dBm auf -70dBm an. Der SDR-Receiver arbeitet jetzt mit hoher HF-Vorverstärkung und ein Doppeltontsignal von 2x-46dBm verursacht bereits starke Intermodulationsstörungen (Bild 9).

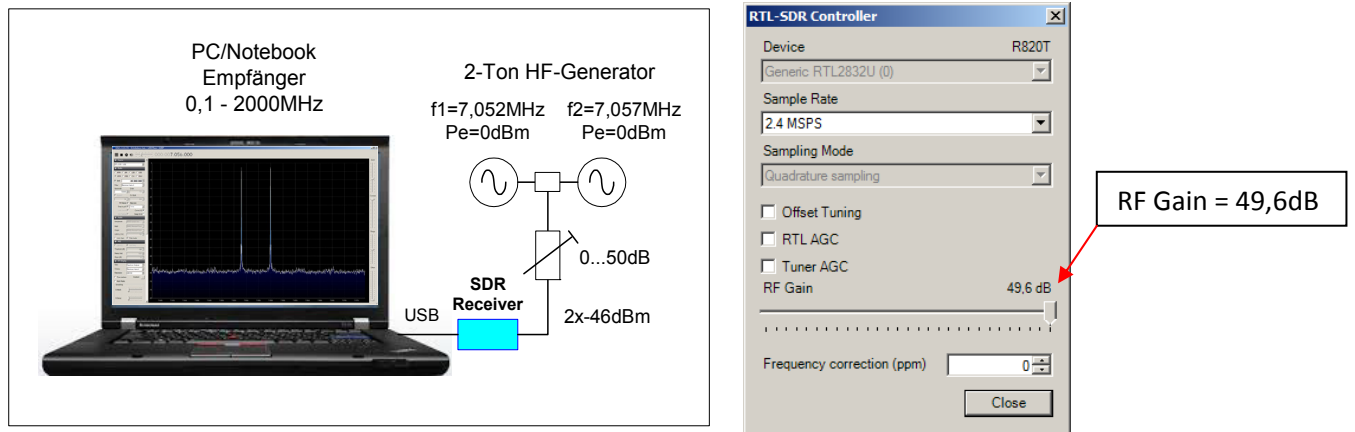


Bild 8: Messaufbau für IM3-Messung und Grundeinstellung des SDR-Controller, RF Gain = 49,6dB

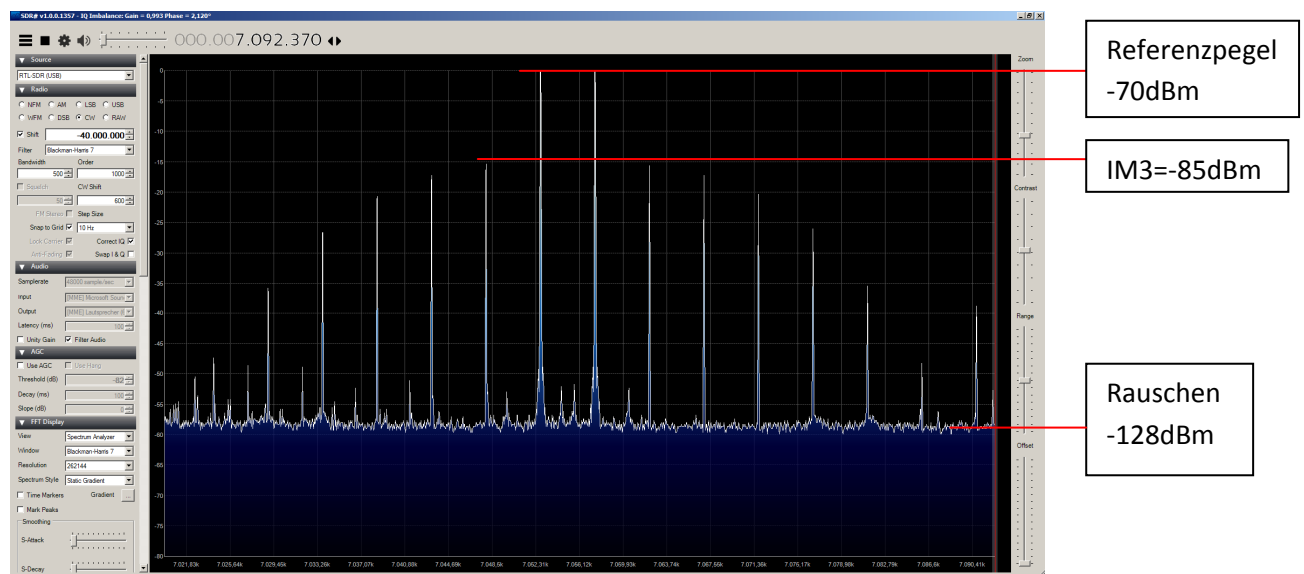


Bild 9: Pe=2x-46dBm, f1=7,052MHz, f2=7,057MHz, RF Gain=49,6dB, Übersteuerung 24dB!

Die stärkste Störung erzeugt das IM₃-Signal, mit einem Abstand zu den Nutzprodukten von nur noch

$$\Delta IM_3 = -49dBm - (-85dBm) = 36dB$$

Daraus berchnet sich der Intercept-Point 3. Ordnung (IP₃) des SDR-Receiver zu

$$IP_3 = \Delta IM_3 / 2 + P_e = 36dB / 2 - 46dBm = -28dBm$$

Zusammenfassung:**IP3 und Großsignalverhalten mit RF-Gain = 0 dB**f1=7,052MHz, f2= 7,057MHz, $\Delta f=5\text{kHz}$

DX Control MK2	IP3	max. Input
40m-Band	+15dBm	-18dBm

DX Control MK3	IP3	max. Input
40m-Band	+15dBm	-18dBm

IP3 und Großsignalverhalten mit RF-Gain = +49,6dBf1=7,052MHz, f2= 7,057MHz, $\Delta f=5\text{kHz}$

DX Control MK2	IP3	max. Input
40m-Band	-28dBm	-61dBm

DX Control MK3	IP3	max. Input
40m-Band	-28dBm	-61dBm

3.) Anmerkungen zu IP3 und A/D-Wandler

Der IP3 ist ein theoretischer Schnittpunkt, bei dem sich die Übertragungskennlinien der Nutz- und IM3-Störsignale kreuzen (Bild 1a). Mit Hilfe des P3 kann die Aussteuergrenze (P_{max}) eines Receivers für intermodulationsfreien Empfang berechnet werden und bei Kenntniss des Grundrauschens auf den maximalen Dynamikbereich geschlossen werden. Anders sieht die Situation bei A/D-Wandlern aus. Bei ADC's kann der ermittelte IP3 nicht mehr zur Berechnungen von Aussteuergrenze und Dynamik herangezogen werden und führt beim Vergleich mit analogen Konzepten zu falschen Ergebnissen. Die entstehenden IM-Produkte von A/D-Wandlern folgen nicht mehr den definierten Gesetzmäßigkeiten des quadratischen (IP2) oder kubischen (IP3) Anstiegs. Vielmehr spielt der Intermodulationsabstand eine wesentliche Rolle, da er im Gegensatz zu Analoggeräten durch Pegeländerungen kaum beeinflusst wird, aber stark abhängig ist vom augenblicklich zu verarbeiteten Signalgemisch.

Im Testaufbau werden zwei HF-Signale mit gleichem Pegel auf den Eingang des SDR gegeben. Ab einer bestimmten Pegelgröße und abhängig von der eingestellten Verstärkung des SDR, tauchen die ersten IM3-Produkte im Grundrauschen auf, ähnlich wie bei analogen Empfängern. Bei Signalerhöhung, steigen die IM3-Produkte jedoch nicht schneller an als die Nutzprodukte und verbleiben bei einer Steigung von ca. 1:1. Würde man an dieser Stelle den IP3 nach der bekannten Formel $IP = \Delta IM/2 + P_e$ berechnen, wäre das Ergebnis falsch. Manchmal sinken die IM3-Produkte sogar bei wachsenden Nutzsignalen. Die entstehende Messkurve erlaubt es demnach nicht, den IP3 daraus zu bestimmen, aber der IM3-freie Dynamikbereich kann daraus ermittelt werden.

Die flache Steigung der Kurve zeigt, dass die IM3-Produkte nicht von den analogen Komponenten (LNA) herrühren, sondern von der AGC selbst. Das Spektrum zeigt keine Intermodulationsprodukte aber Störsignale des ADC, die durch Quantisierungsfehler bei der Digitalisierung und den nachfolgenden Rechenoperationen auftreten. Mit Dithering können diese Fehler etwas gemindert werden, indem ein

zusätzliches, gleichmäßiges Rauschband - ähnlich dem eines analogen Verstärkers - die entstehenden Störprodukte abdeckt.

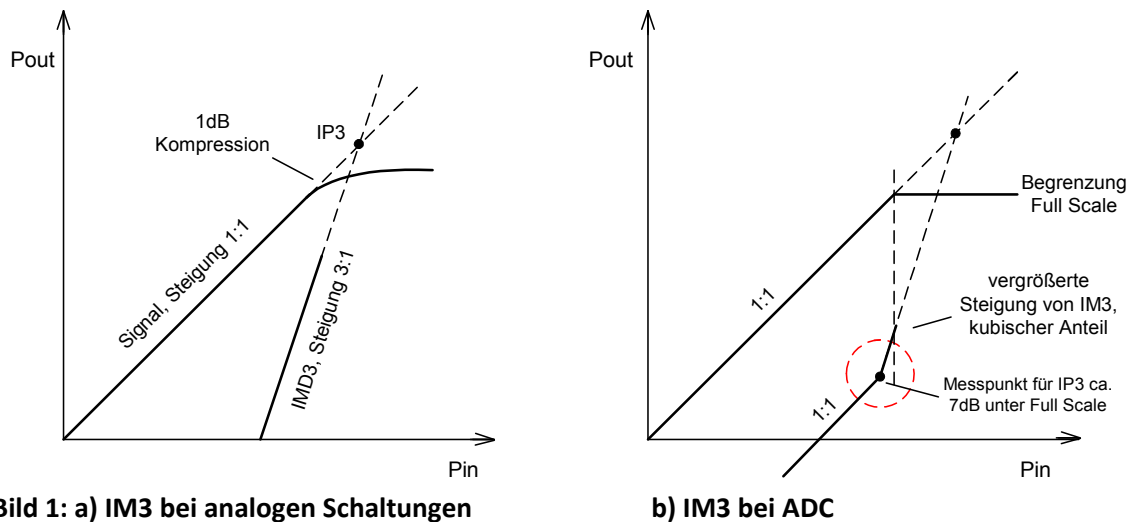


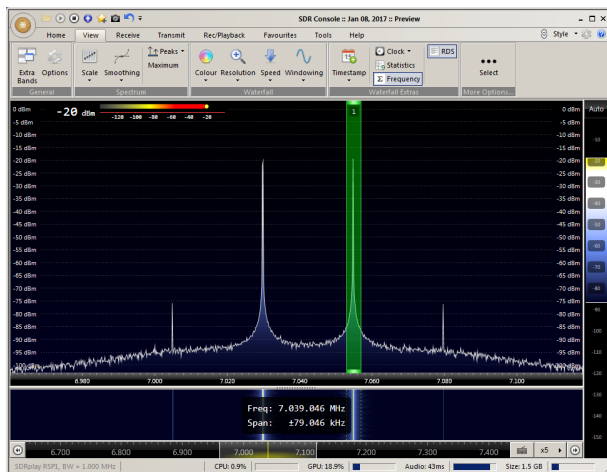
Bild 1: a) IM3 bei analogen Schaltungen

b) IM3 bei ADC

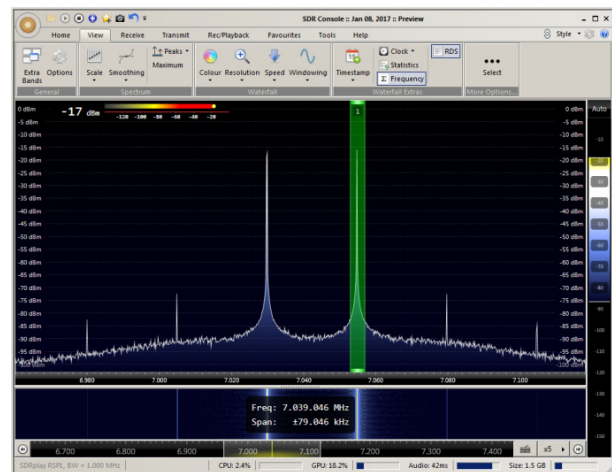
Der ADC ist ein nichtlineares Bauteil, dessen Linearität sich prinzipiell nicht über den IP3 bestimmen lässt, weil die IM-Produkte bei Signalvergrößerung nicht kubisch sondern linear ansteigen. Erst einige dB vor Saturation, bevor das Signal begrenzt (Saturation), wachsen die IP3-Produkte schneller an, als die Nutzsignale, mit einer Steigung von etwa 3:1. Ab dieser Stelle können auch analoge Baugruppen, wie ein vorgeschalteter LNA, für die vergrößerte Zunahme der IM mit verantwortlich sein. Den IP3 eines SDR berechnet man in der Regel bei ca. 7dB unterhalb der Sättigung des ADC (Bild 1b, ADC roter Kreis). Bei diesem relativ hohen Pegel ist der IM-Abstand noch groß, die analogen Teile werden stark gefordert und der berechnete IP3 erreicht seinen höchsten Wert.

IP3-Messung am SDRplay RDS1

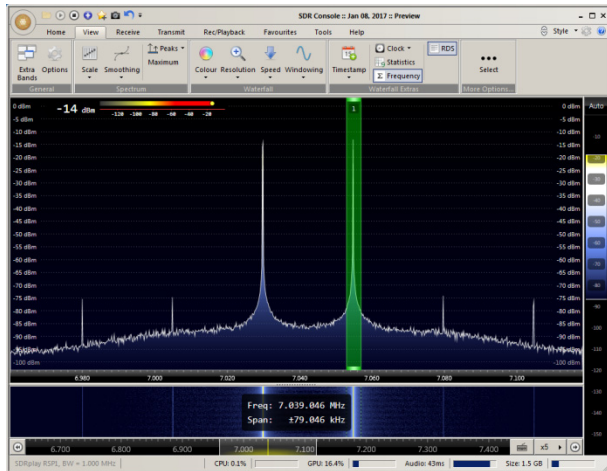
Nachfolgende Bilder zeigen die unterschiedlichen IP3-Werte am Beispiel des SDRplay, in Abhängigkeit der Größe der Eingangssignale. Bei f1=7,030 und f2=7,055MHz werden die Nutzsignale ausgehend von 2x-20dBm in 3dB Stufen bis auf 2x-9dBm erhöht. Grundeinstellung am SDRplay: Gain Reduction maximal, LNA: Off. Unter SDR-Console: Referenzpegel auf 0dBm (1mW)einstellen (oberste horizontale Rasterlinie).



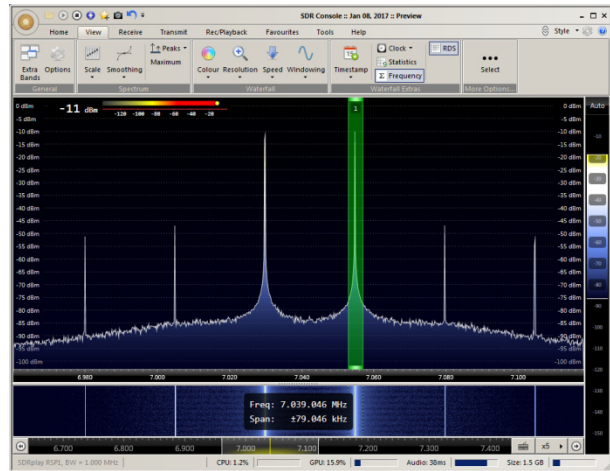
Pe=2x-20dBm, ΔIM3=56dB, IP3=8dBm



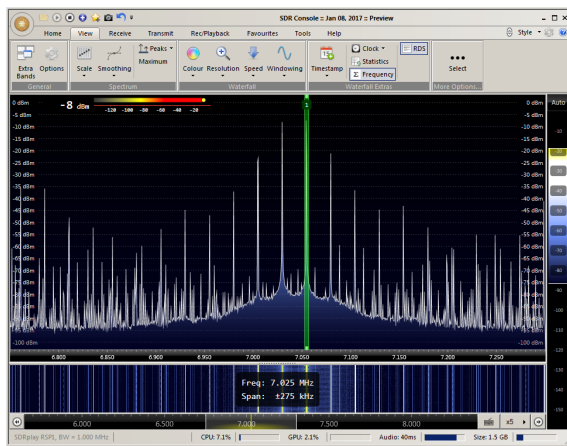
Pe=2x-17dBm, ΔIM3 =55dB, IP3 =11dBm



Pe=2x-14dBm, $\Delta IM3 = 62dB$, IP3 = 17dBm!



Pe=2x-11dBm, $\Delta IM3 = 36dB$, IP3 = 7dBm



Pe=2x-8dBm, $\Delta IM3 = 16dB$, IP3=0dBm (Begrenzung)

Bei Pe=2x-14dBm liegen die Nutzsignale nur einige dB unterhalb der Saturation und bei dieser Aussteuerung erreicht der SDRplay seinen maximalen IP3 von +17dBm. Bei Pe=2x-8dBm fährt der ADC bereits in Begrenzung und die Verzerrungsprodukte werden sehr groß.

Tabelle der Ergebnisse:

Pe	$\Delta IM3$	IP3
-20dBm	56dB	8dBm
-17dBm	55dB	11dBm
-14dBm	62dB	17dBm
-11dBm	36dB	7dBm
-8dBm	19dB	0dBm

bestes IP3 Ergebnis

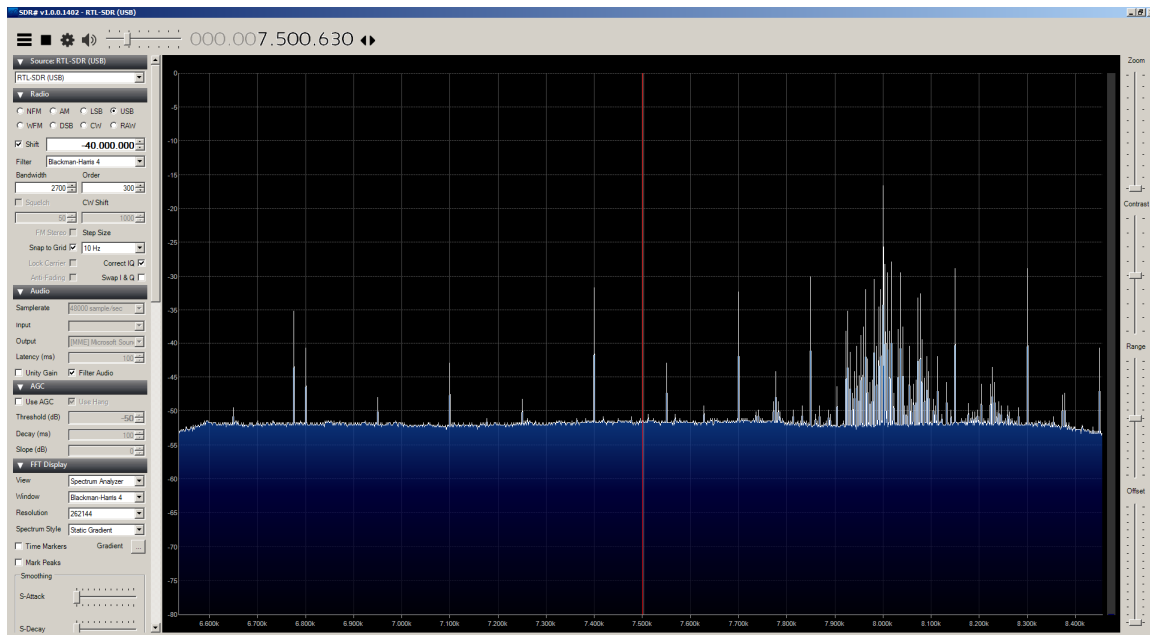
Trotz der beschriebenen Problematik, wird der IP3 von ADC's und SDR's in Datenblättern meist mit angegeben, obwohl er für weitere Berechnungen (Rückrechnungen auf Dynamik und Pemax) nicht nutzbar ist. Er gibt dem Anwender jedoch ein "Bauchgefühl" für die Großsignalfestigkeit seines Empfängers. Im Datenblatt des neuen SDRplay-RSP2 gibt der Hersteller z.B. einen IP3 von +15dBm an, bei minimal gewählter Verstärkung.

4.) Störungsfreier dynamischer Bereich (Spurious Response)

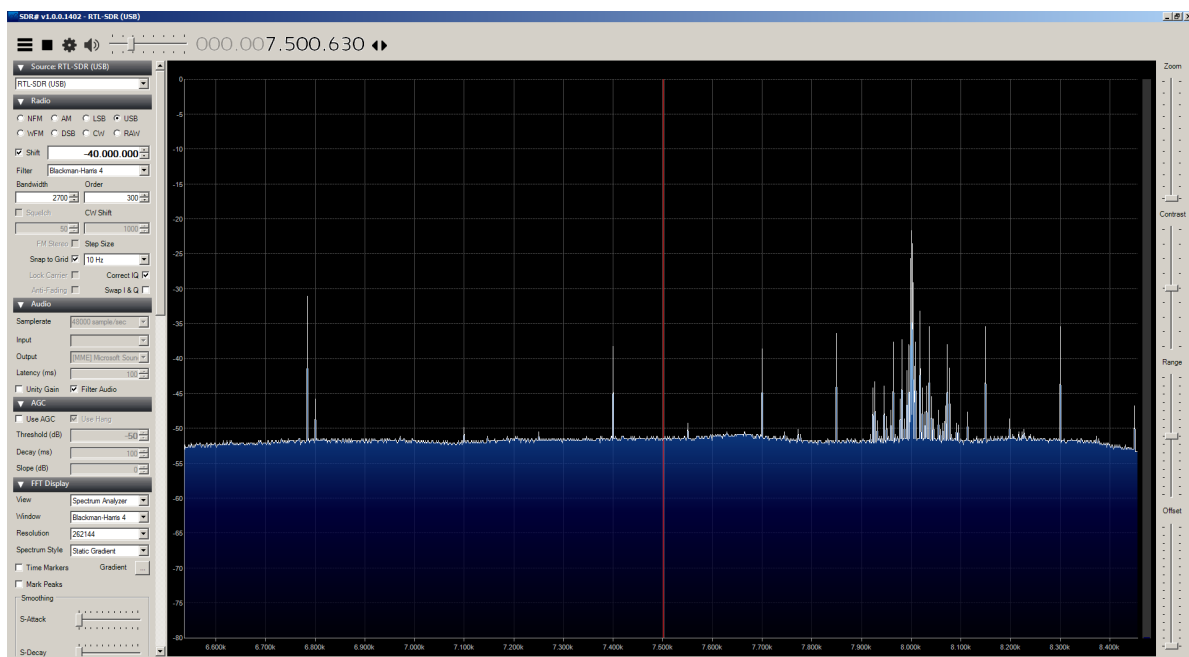
Die nachfolgenden Bilder sollen im Vergleich den störungsfreien Dynamikbereich der beiden Versionen DX Patrol-MK2 und MK3 in verschiedenen Frequenzbereichen (40m, 2m und 70cm) zeigen.

Einstellungen: HF-Eingang mit 50 Ohm abgeschlossen, Gain 49,7dB, AGC off, Resolution 262144, Sample Rate 2,4MSPS

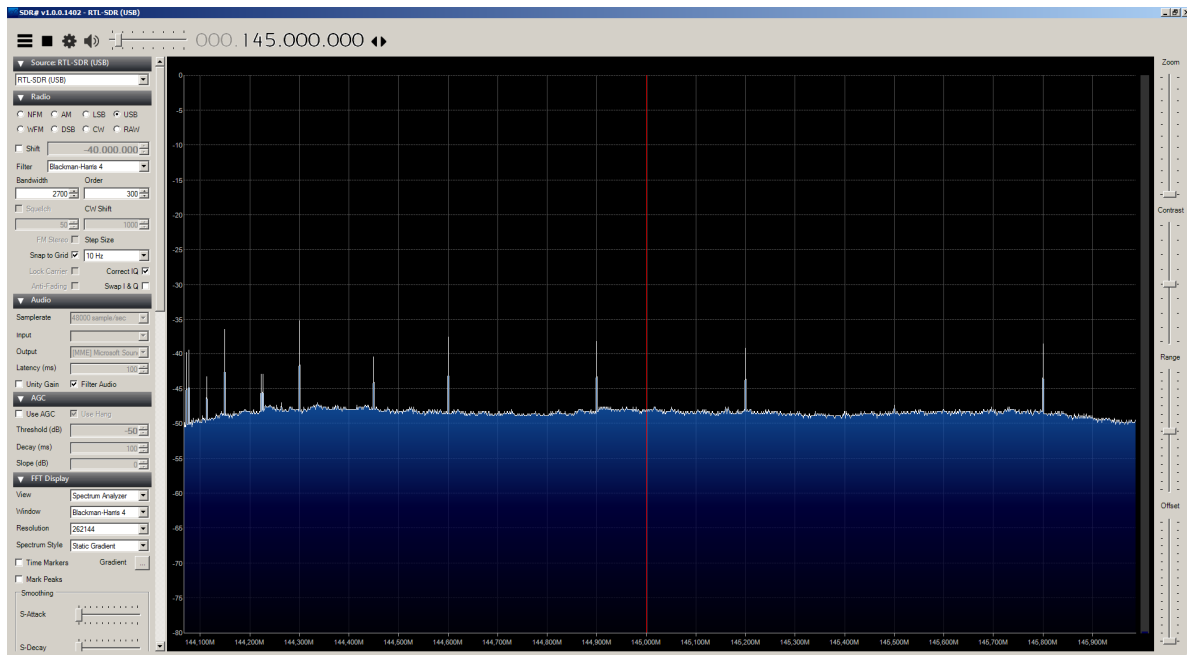
7,5MHz +/-1MHz, DX Patrol-MK2



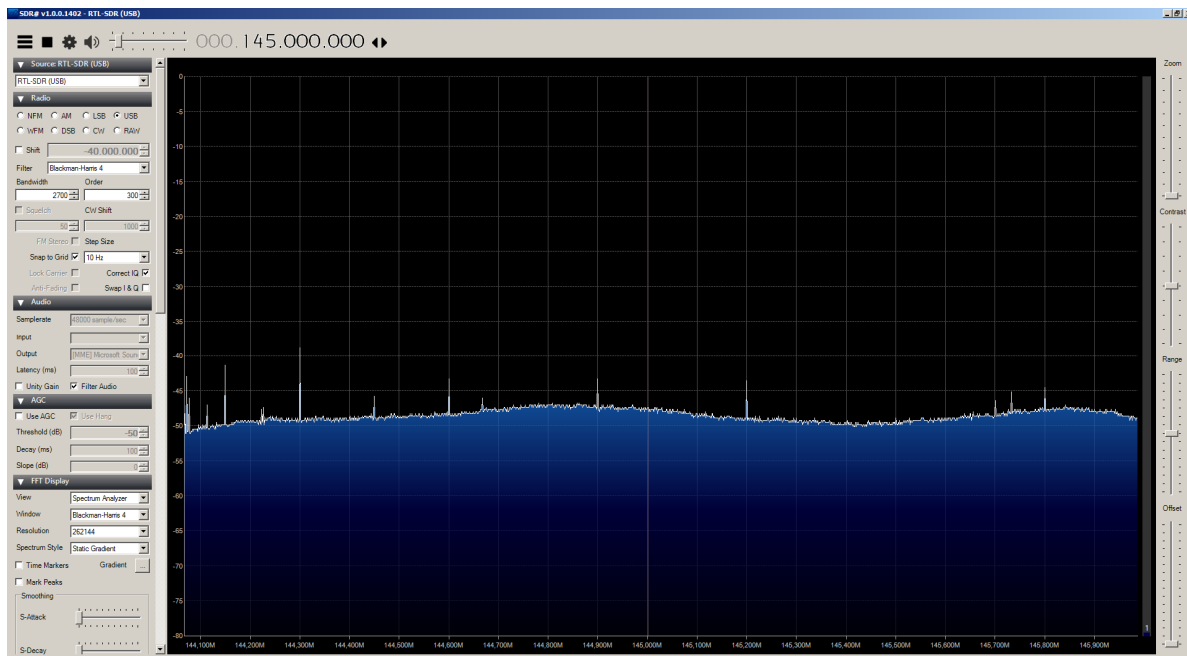
7,5MHz +/-1MHz, DX Patrol-MK3

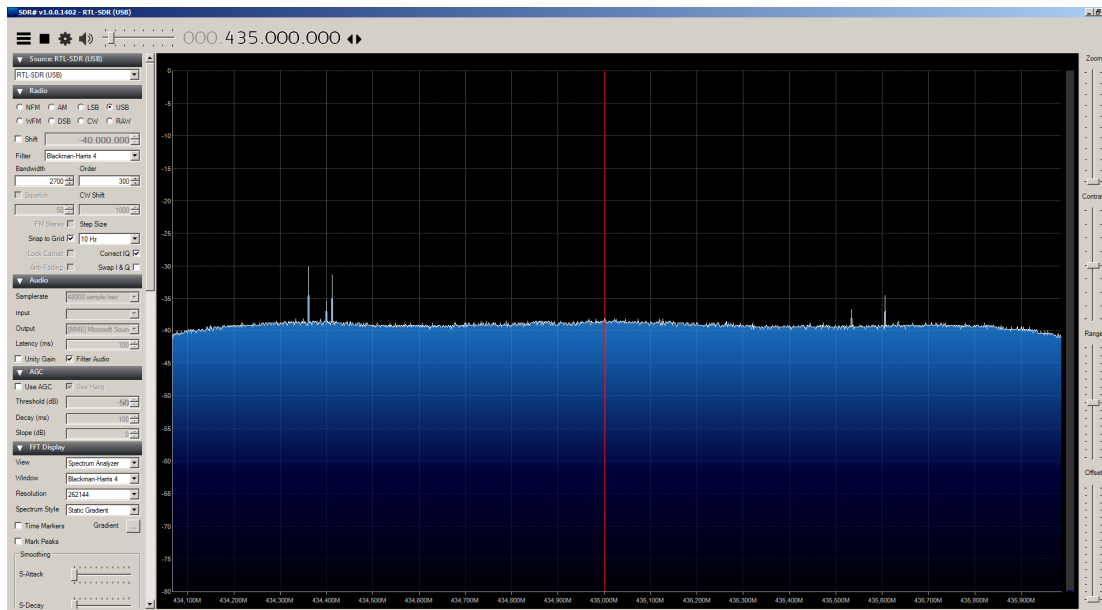
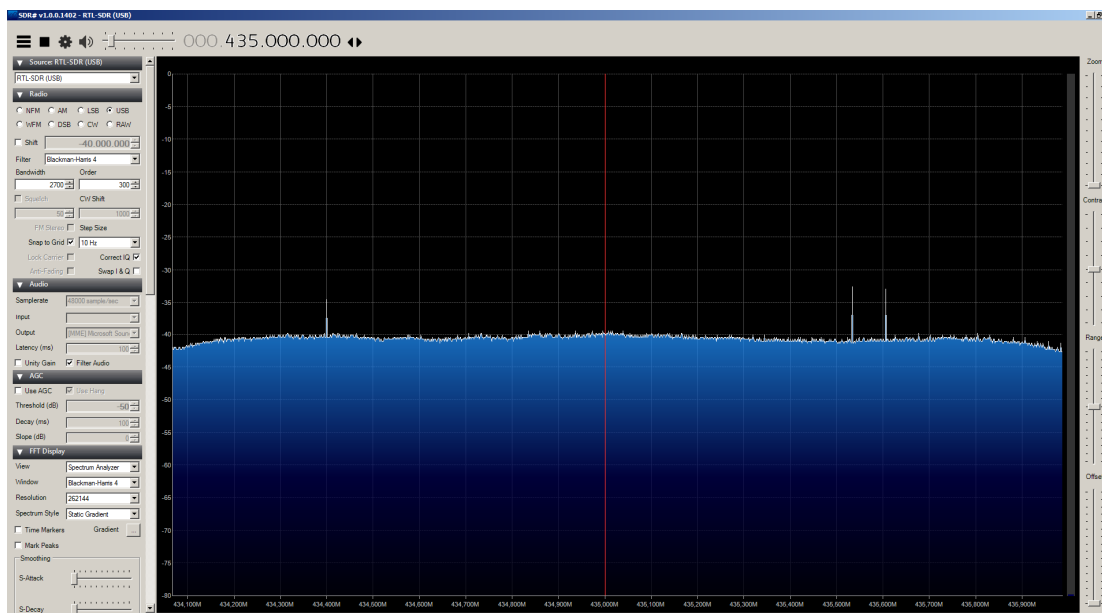


145MHz +/-1MHz, DX Patrol-MK2



145MHz +/-1MHz, DX Patrol-MK3



MK2 435MHz +/-1MHz, DX Patrol-MK2**435MHz +/-1MHz, DX Patrol-MK3****Ergebnis:**

Der DX-PATROL MK3 erzeugt etwas weniger Störsignal, mit geringeren Amplituden. Anscheinend wurde dies durch verbesserte TP-/HP-Filter erreicht.

Werner Schnorrenberg
DC4KU, dc4ku@darc.de
20.10.2015

Rev.: 11.02.2017