

NPR und Rauschbandbreite

Zur Ermittlung der Großsignalfestigkeit eines Empfängers, verwendet man in der Regel einen HF-Zweitongenerator. Bei analogen Empfängern wachsen die IMD3-Produkte bei Signalvergrößerung dreimal so schnell an wie die Nutzprodukte und treffen sich theoretisch in einem Schnittpunkt, der als IP3 (Intercept Point 3rd Order) bezeichnet wird. Wird ein IP3 von z.B. +30dBm erreicht, ist das ein guter Wert und der Anwender weiß, dass er einen ziemlich großsignalfesten Empfänger besitzt. Bei digitalen, direktabtastenden Empfängern, verlaufen die IMD3-Verzerrung bei Signalvergrößerung nach keiner bestimmten Regel oder Gesetzmäßigkeit. Die ersten Verzerrungsprodukte sind schon relativ früh messbar und sollten bei guten SDRs stets unterhalb des Eigenrauschens (Residual Noise) der Empfangsantenne liegen und somit nicht erkennbar sein. Erst bei maximaler Austeuerung des ADC's, erreicht der Empfänger seinen größten IM-freien Dynamikbereich, von vielleicht 100dB. Dieser Punkt wird auch als "Sweet-Spot" bezeichnet. Bei weiterer Signalvergrößerung gerät der ADC dann sehr schnell in Begrenzung (Clipping, Saturation). **Bild 1** zeigt den prinzipiellen Signalverlauf der entstehenden IMD3-Produkte von analogen- und direktabtastenden, digitalen Empfängern. Hier ist deutlich zu erkennen, dass bei digitalen Empfängern kein "IP3" mehr existiert und die Großsignalfestigkeit eines SDRs sich darüber nicht mehr spezifizieren lässt.

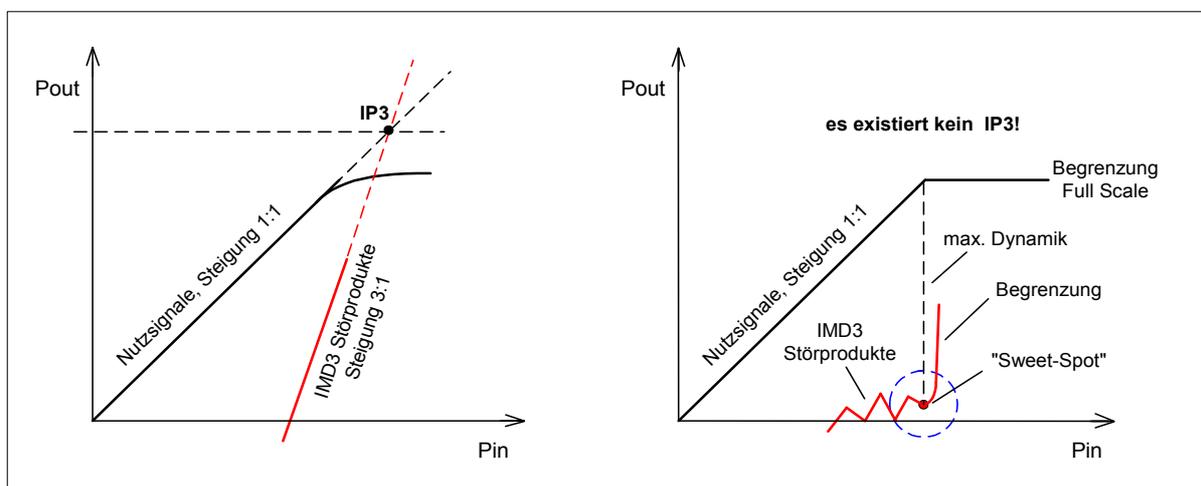


Bild 1: Prinzipieller IMD3-Verlauf eines analogen Empfängers (links) und digitalen Empfängers (rechts)

Ein besser geeignetes Verfahren liefert die Messung des Rauschleistungsverhältnisses (NPR, Noise Power Ratio) bei dem der Empfänger anstelle eines Zweitonsignals mit weißem Rauschen definierter Bandbreite angesteuert wird. Das Rauschsignal wird soweit vergrößert, bis der ADC kurz vor seiner Begrenzung steht und Intermodulationsprodukte in Form von additivem Rauschen erzeugt. Damit der geringe Rauschanstieg im Spektrum erkennbar ist, schaltet man zwischen Rauschgenerator und Empfänger ein schmalbandiges Notchfilter (im Beispiel bei 2,4MHz), welches das Rauschen auf seiner Sperrfrequenz soweit unterdrückt, dass an dieser Stelle nur noch das Grundrauschen (MDS) des Empfängers messbar ist. Überschreitet der Empfänger (ADC) seine maximale Aussteuerung, erzeugt er Intermodulations-Produkte, die als zusätzliches Rauschen von 1...2dB im Sockel des Kerbfilters bemerkbar machen. Die maximale Aussteuerung des Empfängers (dBFS) ist dann erreicht und die Differenz von eingespeister Rauschleistung (P_{TOT}) zur Empfindlichkeit des Empfängers (MDS) entspricht dem NPR. Der NPR berechnet sich demnach zu

$$NPR = P_{TOT} - BWR - MDS$$

mit

P_{TOT} = Rauschleistung (bezogen auf eine definierte Rauschbandbreite)

BWR (Bandwidth Ratio) = $10 \log B_{RF}/B_{IF}$

B_{RF} = Rauschbandbreite des Generators (z.B. von 0-30MHz)

B_{IF} = Filterbandbreite (Rauschbandbreite) des Empfängers (z.B. 500Hz)

MDS = Empfindlichkeit des Empfängers (z.B. -122dBm/500Hz)

NPR-Messplatz

Ein NPR-Messplatz besteht im Prinzip aus einem einstellbaren HF-Rauschgenerator und einem Sperrfilter (Notchfilter). Als Rauschquelle verwende ich einen Arbitrary Waveform Generator (SDG6022X), der Signale aller Form erzeugen kann, wie auch weißes Rauschen von 0... 200MHz, mit einer Leistung von -47...+8dBm (**Bild 2 und 3**). Der Vorteil eines Funktionsgenerators ist, dass man die gewünschte Rauschbandbreite und Rauschleistung beliebig einstellen kann und deswegen auf zusätzliche, externe Filter im Aufbau verzichten kann. Dem Rauschgenerator folgt im Beispiel ein 2.4MHz-Notchfilter (Siemens, eBay), bestehend aus acht LC-Kreisen, mit einer Bandbreite im Sockel von ca. 10kHz und einer Sperrtiefe von >100dB (**Bild 4**). Den praktischen Aufbau solcher Filter beschreibt OE3HKL auf seiner Homepage (**2**).

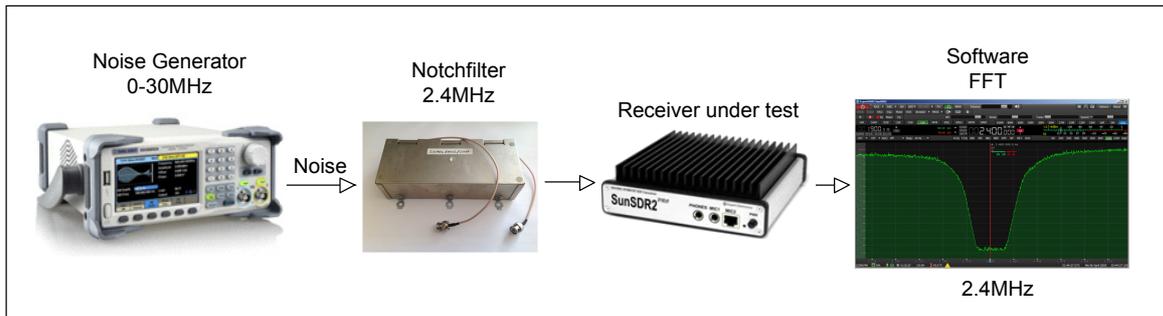


Bild 2: NPR-Messplatz

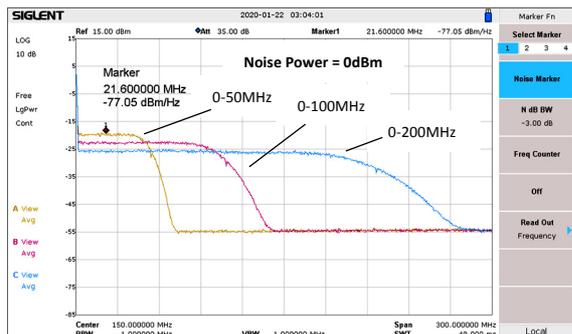


Bild 3: Rauschsignale des SDG6022X

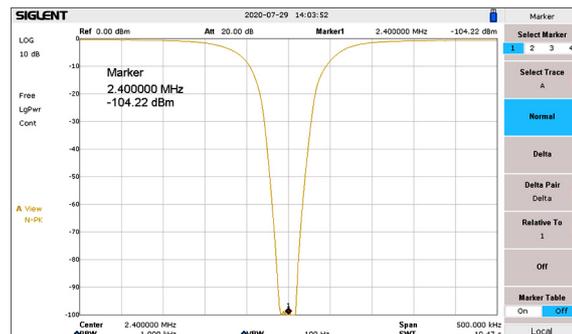


Bild 4: 2.4MHz-Notchfilter, Übertragungskurve

Grundsätzlich sollte man beachten, dass sich Rauschsignale völlig anders verhalten als CW-Signale. **Bild 3** zeigt drei Rauschkurven, mit Bandbreiten von 0-50MHz, 0-100MHz und 0-200MHz, gemessen mit einem Spektrumanalysator. Obwohl die Leistung aller Signale 0dBm (224mVrms an 50Ohm) beträgt, verkleinert sich deren mittlere Leistung bei Verdopplung ihrer Bandbreite (50->100MHz, 100->200MHz) um jeweils 3dB. Die über den Marker gemessene Leistung der gelben Rauschkurve beträgt -77dBm/Hz. Bezogen auf eine erzeugte Rauschbandbreite von 0-50MHz, beträgt die Rauschleistung $P_N = -77\text{dBm} + 10\lg(50\text{MHz}/1\text{Hz}) = 0\text{dBm}$. Ebenso berechnet sich die Rauschleistungen der beiden anderen Kurven, mit einem gleichen Ergebnis von $P_N = 0\text{dBm}$. Aus diesem Grund darf Rauschen, im Gegensatz zu CW-Signalen, niemals ohne die dazugehörige Bandbreite benannt werden (dBm/Hz).

NPR-Messung an breitbandigen Empfängern

Breitbandige, direktabtastende SDRs, wie z.B. der ColibriNANO oder KiwiSDR, haben keine Preselektoren (Front-End Filter) im HF-Eingang, sondern lediglich ein hochfrequentes antialiasing LP-Filter, dessen Grenzfrequenz (fg) bei \leq der Hälfte der ADC-Abtastfrequenz (fs) liegt. Der ColibriNANO besitzt eine ADC-Abtastfrequenz von $f_s=122.88\text{MHz}$ und ein Antialiasing TP-Filter von $f_g=55\text{MHz}$, so dass alle Signale von 0-55MHz ungefiltert vom HF-Eingang bis zum ADC gelangen. Zur Ermittlung seines NPRs, muss deswegen mit einer Rauschbandbreite von mindestens 0-55MHz gearbeitet werden (**Bild 4**). Das Ergebnis der NPR-Messung zeigt sich im Spektrum des ColibriNANO. Bei einem

Rauschmaß von $P_{TOT} = -23\text{dBm}/55\text{MHz}$ bzw. $-73\text{dBm}/500\text{Hz}$, erreicht der ColibriNANO einen maximalen NPR von 49dB (**Bild 5**).

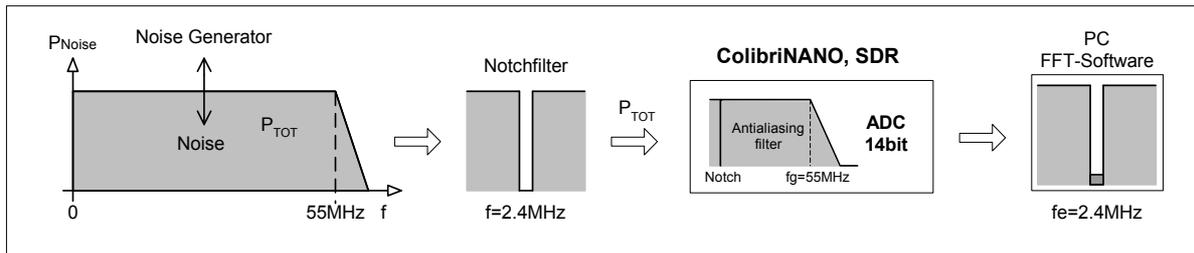


Bild 4: NPR-Messung am ColibriNANO, Rauschbandbreite 0-55MHz, Antialiasingfilter fg=55MHz

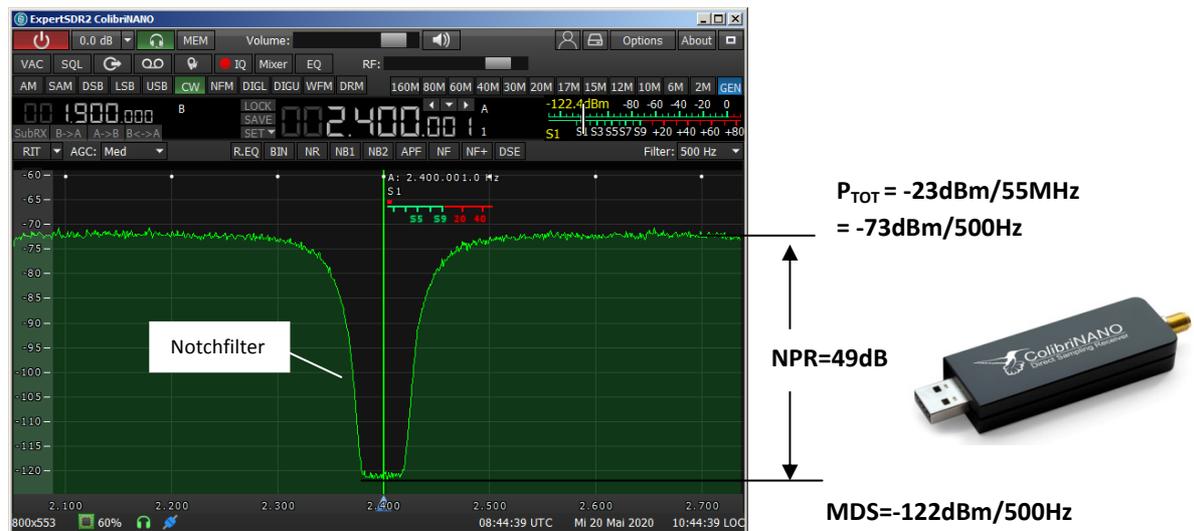


Bild 5: ColibriNANO mit $B_{RF} = 55\text{MHz}$, NPR = 49dB

Settings ColibriNANO: Filter 500Hz (CW), MDS -122dBm/500Hz, Attenuation 0dB, Preamplifier off, $f_s = 122.88\text{MHz}$, Antialiasingfilter $f_g = 55\text{MHz}$

Berechnung: $\text{NPR} = P_{TOT} - \text{BWR} - \text{MDS} = -23\text{dBm} - 10\lg(55\text{MHz}/500\text{Hz}) - (-122\text{dBm}) = 49\text{dB}$

Was passiert, wenn ich die Rauschbandbreite verkleinere?

Bei Rauschreduzierung um Faktor 10, also von 0-55MHz auf 0-5.5MHz, müsste sich das NPR

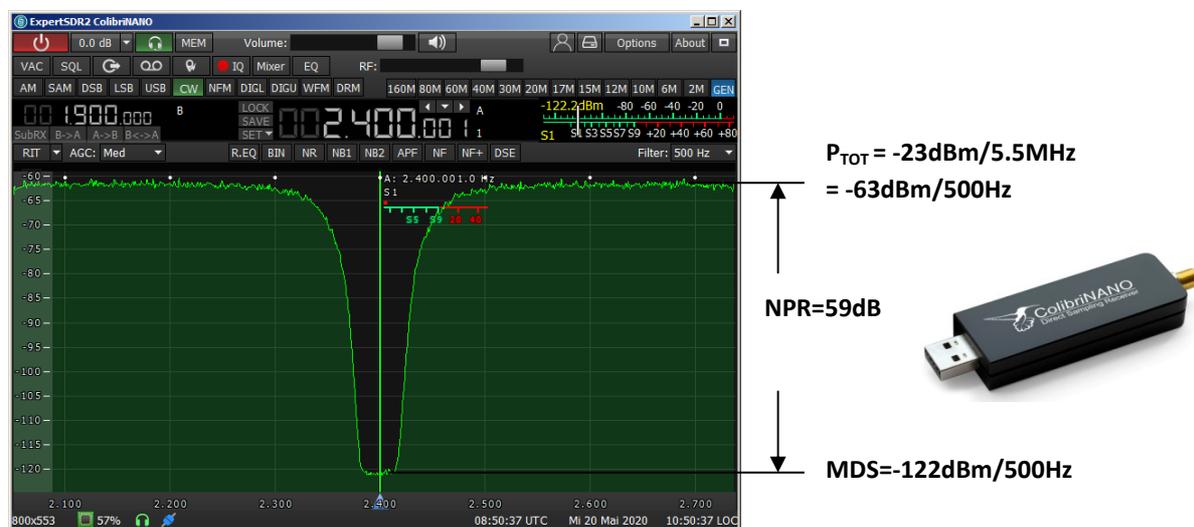


Bild 6: ColibriNANO mit $B_{RF} = 5.5\text{MHz}$, NPR = 59dB

theoretisch um den Betrag $10\log 55/5.5 = 10\text{dB}$ vergrößern (verbessern), obwohl die Rauschleistung in beiden Fällen $P_{\text{TOT}} = -23\text{dBm}$ beträgt.

Berechnung: $\text{NPR} = P_{\text{TOT}} - \text{BWR} - \text{MDS} = -23\text{dBm} - 10\log 5.5\text{MHz}/500\text{Hz} - (-122\text{dBm}) = 59\text{dB}$

Das Messergebnis in **Bild 6** zeigt, das sich das NPR tatsächlich von 49dB auf 59dB anwächst, Theorie und Praxis stimmen also überein.

Welcher NPR des ColibriNANO ist denn nutzbar, 49dB oder 59dB?

Im Prinzip stimmen beide Werte. Aber ein NPR von 59dB ist unrealistisch, weil der Empfänger eine Bandbreite von 0-55MHz besitzt und nicht bei 5,5MHz aufhört zu empfangen! Der korrekte NPR des ColibriNANO beträgt deswegen: **NPR=49dB, gemessen über eine Rauschbandbreite von 0-55MHz.**

Den Zusammenhang von Rauschbandbreite und NPR, zeigt die Kurve in **Bild 7** und **Tabelle 1**. Bei Verdopplung der Rauschbandbreite, verkleinert sich das NPR um jeweils 3dB ($10\log 2$), wie umgekehrt. Die Rauschleistung beträgt in allen Messpunkten ($P_{\text{TOT}} = -23\text{dBm}$).

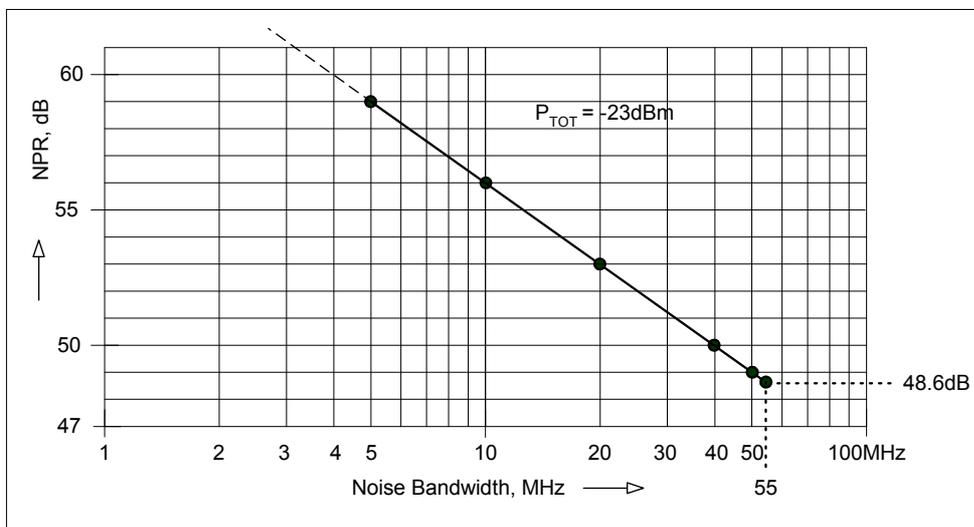


Bild 7: NPR des ColibriNANO in Abhängigkeit der eingespeisten Rauschbandbreite

Rauschbandbreite	NPR
0-5MHz	59dB
0-10MHz	56dB
0-20MHz	53dB
0-40MHz	50dB
0-50MHz	49dB
0-55MHz	48.6dB

Tabelle 1: NPR des ColibriNANO mit verschiedenen Rauschbandbreiten

NPR-Messung an Empfängern mit Preselektoren (Front-End Filter)

Hochwertige SDR-Receiver, wie z.B. der IC-7300 oder Perseus, besitzen Front-End Filter im HF-Eingang, die den Empfänger vor starken Signalen außerhalb der eingestellten Empfangsfrequenz schützen sollen. Im Messbeispiel verwende ich den IC-7300, der über eine ganze Serie von Preselektoren (10 Stück) im HF-Eingang verfügt. Wird der Empfänger auf z.B. 2.4MHz abgestimmt, schaltet er automatisch ein Bandpaßfilter (BPF) von 2-3 MHz vor seinen Eingang, so dass nur noch ein Spektrum von 1MHz Bandbreite zum ADC weiter geleitet wird. Die eingestellte Bandbreite des Rauschgenerators ist jetzt unkritisch, sie kann z.B. 0-5MHz oder 0-30MHz betragen, weil allein das Front-End Filter die Bandbreite vorgibt. Wichtig ist nur, dass die verwendete Rauschbandbreite die Bandbreite des Bandpaßfilters komplett abgedeckt, hier von 2-3MHz (**Bild 8**).

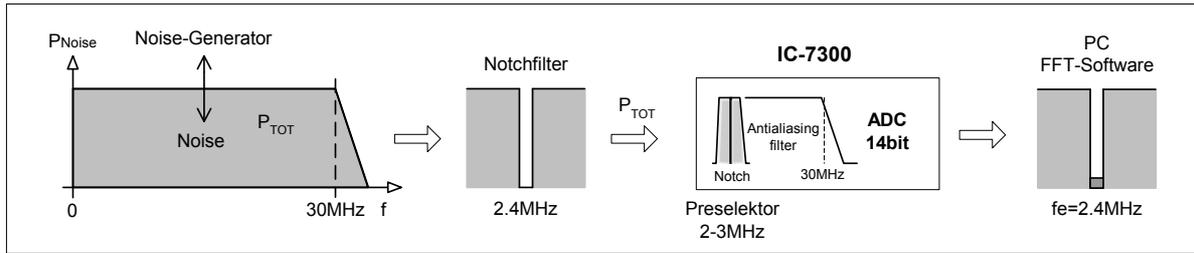


Bild 8: NPR-Messung am IC-7300, Rauschgenerator 0-30MHz, Preselector 2-3MHz

Mit einer Rauschleistung von $P_{TOT} = -8\text{dBm}/30\text{MHz} = -56\text{dBm}/500\text{Hz}$, entsteht ein maximales NPR von 76dB (**Bild 9**).

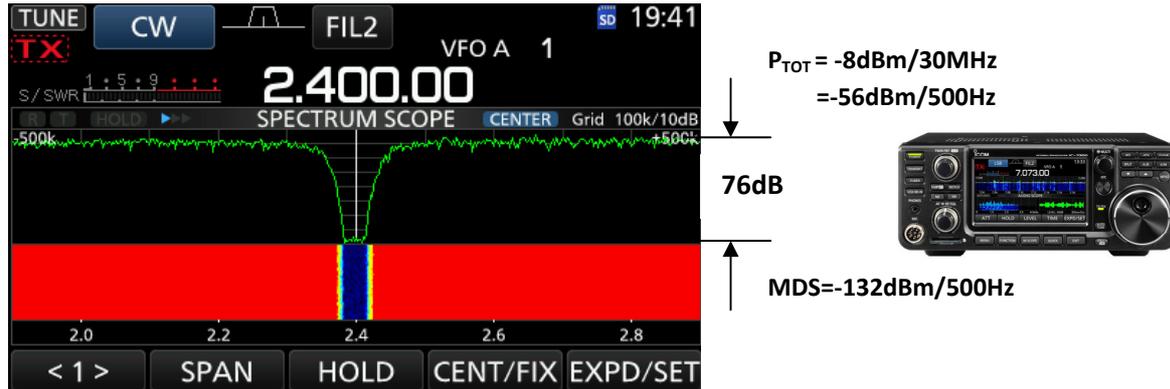


Bild 9: NPR = 76dB

Settings IC-7300: 500Hz (CW), MDS -132dBm/500Hz, Attenuation 0dB, Preamplifier off, IP+ off

Berechnung: $\text{NPR} = P_{TOT} - \text{BWR} - \text{MDS} = -8\text{dBm} - 10\lg(30\text{MHz}/500\text{Hz}) - (-132\text{dBm}) = 76\text{dB}$

Bei NPR-Messungen an Empfängern mit Preselektoren im HF-Eingang, bestimmen allein die Front-End Filter, welche Rauschbandbreite der Empfänger (ADC oder 1. Mischer) verarbeiten muss. Im Beispiel ist es nur ein schmales Rauschband von 2-3MHz, woraus sich dann ein relativ guter NPR von 76dB ergibt. Führt man die gleiche Messung mit einem Notchfilter bei $f_e=14.2\text{MHz}$ (20m) durch, schaltet der IC-7300 ein Bandpaßfilter von 10-15MHz vor seinen Eingang und das resultierende NPR wird sich um den Betrag $10\lg(5\text{MHz}/2\text{MHz})=4\text{dB}$ auf 72dB verkleinern.

Zusammenfassung

Bei NPR-Messungen an Empfängern, sollte die verwendete Rauschbandbreite an die Bandbreite des Empfängers angepasst werden. Ein breitbandiger Empfänger mit einem Empfangsbereich von 0 bis 30MHz ohne Preselektoren im HF-Eingang, sollte grundsätzlich auch mit einer Rauschbandbreite von 0 bis 30MHz beaufschlagt werden. Das eingespeiste Rauschen wird dann noch durch sein Antialiasing-filter bei z.B. 30MHz begrenzt. Wird das NPR mit zu geringer Rauschbandbreite gemessen, kann daraus ein zu „guter“ NPR resultieren, der nicht mehr relevant ist.

Verfügt der Empfänger über Preselektoren im HF-Eingang, bestimmen allein diese, mit welcher Rauschbandbreite der Empfänger belastet wird. Die eingestellte Bandbreite des Rauschgenerators muß dann lediglich die Bandbreite des jeweils verwendeten Preselektors (Bandpaßfilter) abdecken. Hierbei gilt: Je kleiner die Bandbreite des Preselektors ist, umso besser wird das NPR (die Großsignalfestigkeit) des Empfängers, wie umgekehrt.

Werner Schnorrenberg
DC4KU
18.07.2020

Literatur:

- (1) Noise Power Ratio, Walt Kester
<https://www.analog.com/media/en/training-seminars/tutorials/MT-005.pdf>
- (2) OE2HKL, NPR Messplatz (Rauschgenerator)
<http://www.oe3hkl.com/hf-measurements/npr-messplatz-rauschgenerator.html>
- (3) SDG6022X-Test, DC4KU, Werner Schnorrenberg
https://dc4ku.darc.de/SDG6022X-Test_DC4KU.pdf