Messung der Empfindlichkeit eines Empfängers

Zur Ermittlung der Empfindlichkeit (E) und Rauschzahl (F, F_{dB}) eines Empfängers, verwendet man einen Rauschgenerator oder Signalgenerator. In beiden Fällen wird ein HF-Signal (Sinus oder Rauschen) erzeugt, welches den Signal/Rausch-Abstand am NF-Ausgang des Empfängers um +3dB anhebt und dessen Pegel gemäß (S+N)/N=2 der Empfindlichkeit des Empfängers entspricht. Beide Verfahren können jedoch unterschiedliche Ergebnisse liefern, wie nachfolgend gezeigt wird. Im Beispiel verwende ich als Empfänger den ICOM IC-7300 im 40m-Band, in der Betriebsart SSB, RSB=2,4kHz.

Rauschen

Um die Wirkungsweise des Rauschens bei unterschiedlichen Rauschbandbreiten zu erkennen, misst man das Rauschen am besten mit einem Spektrum-Analysator und schaut sich die Übertragungs-kurven an. **Bild 1** zeigt ein 0dBm (224mV_{eff}) Rauschsignal mit unterschiedlichen Rauschbandbreiten, von 0-50MHz (gelbe Kurve), 0-100MHz (violett) und 0-200MHz (blau). Im Kurverlauf ist deutlich zu erkennen, dass bei Verdopplung der Rauschbandbreiten (50MHz -> 100MHz -> 200MHz) die mittlere Rauschleistung um jeweils 3dB kleiner wird, entsprechend 10log2=3dB, obwohl die angelegte Rauschspannung bei allen Kurven konstant 224mV (1mW, 0dBm) ist. Der Pegel eines Rauschsignals verändert sich demnach mit seiner Bandbreite, was im krassen Gegensatz zu CW-Signalen steht.

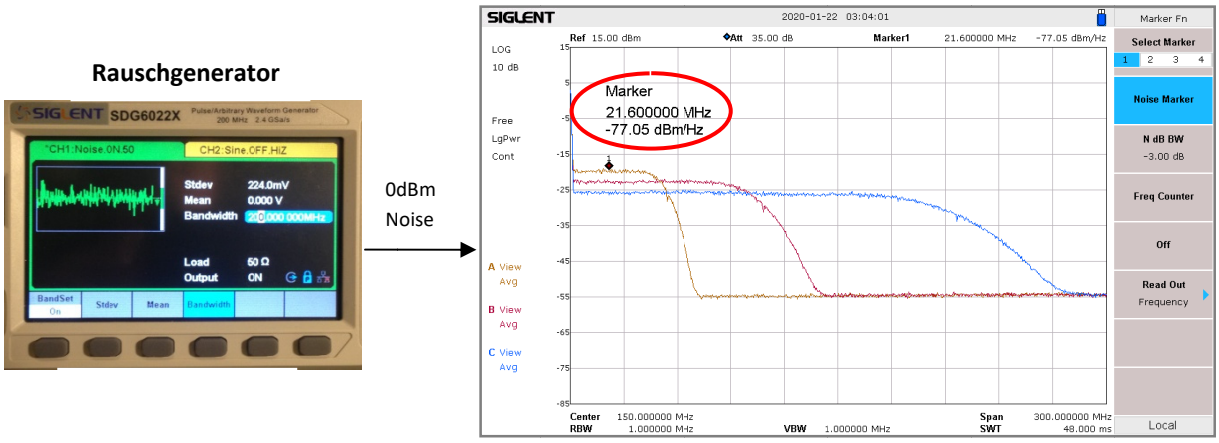


Bild 1: Rauschsignal mit 0dBm Leistung, bezogen auf Rauschbandbreiten von 0-50MHz (gelb), 0-100MHz (rot) und 0-200MHz (blau)

Zur einfachen und schnellen Messung von Rauschsignalen, besitzen viele Spektrum Analysatoren eine „Noise-Marker Funktion“, über die das Rauschsignal mit einer Bandbreite von 1Hz (dBm/Hz) anzeigt wird. Gleichzeitig verwendet der Analysator die Rauschbandbreite das des verwendeten Auflösungsfilters, wodurch sich die Genauigkeit des Messwertes verbessert.
In der Rauschkurve 0-50MHz (gelb) misst mein Analysator einen Rauschpegel von -77dBm/Hz. Wie passt -77dBm/Hz mit 0dBm/50MHz zusammen? Bezogen auf eine Rauschbandbreite von 50MHz, beträgt der kumulative Rauschpegel

P_{Noise} = -77dBm/Hz + 10log50MHz = -77dBm/Hz + 77dB = 0dBm = 224mV an 50 Ohm

Die Anzeige des Noise-Markers ist demnach korrekt, es gilt: P_{Noise} = -77dBm/Hz = 0dBm/50MHz.

Messung der Empfindlichkeit eines Empfängers mit einem Rauschsignal

Die Messung erfolgt in zwei Schritten. Den IC-7300 auf fe = 7,100MHz einstellen und die Betriebsart SSB, B =2,4kHz (LSB) wählen. Dann den Audio-Ausgang mit einem AC-Voltmeter verbinden und die Lautstärke am IC-7300 so einstellen, dass am Voltmeter eine relative Spannung von z.B. 0,5 Volt

anzeigt wird. Falls das Voltmeter über eine logarithmische Skalierung in dB verfügt, kann man das Signal auch auf relativ „0 dB“ einstellen. Die Benutzung eines analogen Zeigerinstruments bietet hierbei den Vorteil, dass das NF-Rauschsignal durch die Trägheit des Zeigers schon gemittelt wird (er steht fast still) und der Pegel des NF-Rauschsignals dadurch ziemlich genau erfasst werden kann. Anschließend den Pegel des Rauschgenerators auf $1mV_{eff}$ einstellen, die Rauschbandbreite auf 0 bis 10 MHz einstellen und dem Rauschgenerator mit dem Eingang des Empfängers verbinden. In dieser Einstellung liefert der Rauschgenerator eine kumulative Rauschleistung von

$P = U_{eff}^2/R = 1x10^{-3}\,Volt^2/50Ohm = 0{,}2uW = -47dBm/10MHz.$

Anschließend die Dämpfung der Eichleitung (1dB/10dB-Stufen) soweit vergrößern, bis der NF-Rauschpegel am Audio-Ausgang um +3dB ansteigt. Dies erfolgt bei einer eingespeisten Rauschleistung von

P_{Noise} = -47dBm/20MHz - 40dB Dämpfung = -84dBm/10MHz

Bezogen auf eine Bandbreite von 1Hz, ergibt sich somit eine Rauschleistung von

P_{Noise} = -88dBm/20MHz = -88dBm - 10lg200.000.000/Hz = -157dBm/Hz.

Das daraus resultierende **Rauschmaß (F_{dB})** des Empfängers, berechnet sich aus der Differenz zwischen Rauschleistung und Rauschgrenzwert von -174dBm/Hz

F_{dB} = -157dBm/Hz - (-174dBm/Hz) = <u>17dB</u>

entsprechend einer **Rauschzahl** von

$F = 10^{17/10}$ = <u>50</u>

Ausgehend von P_{Noise} = -157dBm/Hz, lässt sich die **Empfindlichkeit (E)** für alle Filterbandbreiten berechnen. Falls die „Rauschbandbreiten“ der Filter nicht bekannt ist, wählt man die im Datenblatt angegebenen Bandbreiten, im Beispiel 2,4kHz.

E = -157dBm/Hz + 10lg2400Hz = -157dBm/Hz – 33,8dB = <u>123.2dBm/Hz</u>

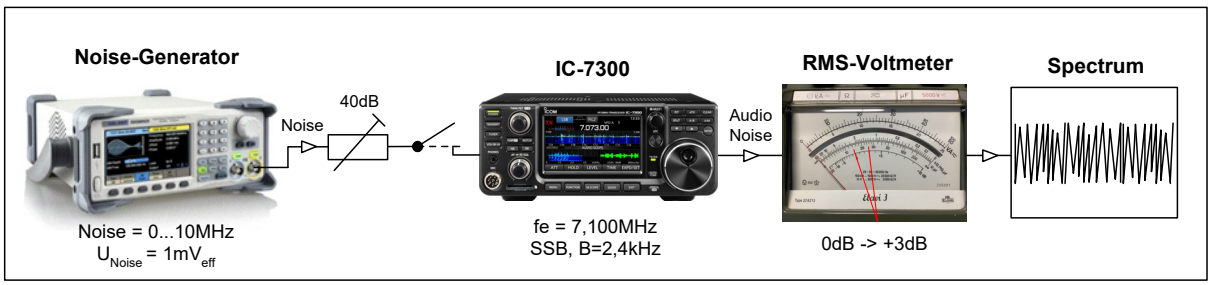


Bild 3: Messung der Empfänger-Empfindlichkeit über einen Rauschgenerator

Ergebnisse

- Da während der gesamten Messung ausschließlich mit „Rauschsignalen“ gearbeitet wird, wird automatisch auch die wirksame „Rauschbandbreite“ des Auflösungsfilters verwendet. Aufgrund dessen, sind die Messergebnisse von Rauschzahl (F) und Empfindlichkeit (E) sehr genau.
- Wird eine Rauschbandbreite von z.B. 0 bis 150 MHz gewählt, können Receiver bis ins 2m-Band gemessen werden, ohne dass irgendwelche Änderungen im Messaufbau oder spezielle Einstellungen erforderlich wären.
- Alle Pegeleinstellungen am RMS-Voltmeter sind relativ, ein Abgleich auf feste Spannungen gibt es nicht. Stattdessen wird nur ein relativer Spannungsunterschied von 1:1,414 (3dB) ermittelt.

b) Messung der Empfindlichkeit eines Empfängers mit einem CW-Signal (MDS)

Den IC-7300 auf fe=7,100MHz einstellen und die Betriebsart SSB, B=2,4kHz (LSB) wählen. Den Audio-Ausgang mit einem AC-Voltmeter verbinden und die NF-Lautstärke des Empfängers so einstellen, dass am AC-Voltmeter eine relative Spannung von z.B. 0,5 Volt anzeigt wird. Verfügt das Voltmeter über eine logarithmische dB-Skala, wird das Signal auf relativ „0 dB“ einstellt. Die Verwendung eines analogen Zeigerinstruments bietet hierbei den Vorteil, dass das Rauschsignal durch die Trägheit des Zeigers schon gemittelt wird (er steht fast still) und der Pegel des Rauschsignals dadurch ziemlich genau erfasst werden kann.
Dann den HF-Generator auf f_s = 7,101MHz, P_s = -100dBm einstellen und mit dem Eingang des IC-7300 verbinden, so dass am Lautsprecher ein Überlagerungston von ca. 1kHz entsteht. Anschließend den Pegel des Generators so einstellen, bis die NF-Ausgangspannung am Voltmeter von 0,5 Volt auf 1,0 Volt (20lgU2/U1=3dB) ansteigt oder auf der logarithmischen Skala des Voltmeters einen Anstieg von 3dB anzeigt. Der jetzt eingespeiste Pegel entspricht gemäß (S+N)/N=2 der Empfindlichkeit des Empfängers. Beim IC-7300 erfolgt dies bei einem Pegel von **P_E = -123dBm**.

Empfindlichkeit (E) = -124dBm/2,4kHz

Das Ergebnis einer Empfindlichkeitsmessung über die Einspeisung eines CW-Signals bezeichnet man auch als **Minimum Dectectable Signal (MDS).**

Nach Ermittlung der Empfindlichkeit, kann das **Rauschmaß** (**F_{dB}**) berechnet werden, welches sich aus der Differenz von Grenzempfindlichkeit (-174dBm/Hz) zur Empfindlichkeit des IC-7300 ergibt.

F_{dB} = -124dBm -10lg1/2400 – (-174dBm) = -124dBm – 33,8dB + 174dBm = 16,2dB

Mit anderen Worten, der Signal/Rausch-Abstand eines empfangenen Signals verschlechtert sich um 16,2dB zwischen Eingang und Ausgang des Empfängers.

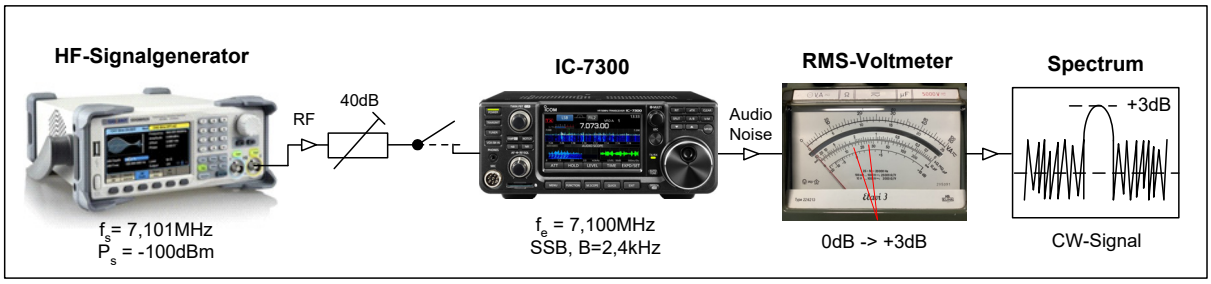


Bild 2: Messung der Empfänger-Empfindlichkeit mit einem CW-Signal

Gemäß der Gleichung

P_{Noise} (W) = K x T_0 x B

mit: P_R = Rauschleistung, K = Bolzmannkonstante, T_0 = Temperatur, B = Bandbreite

ist die Rauschleistung bei konstanter Temperatur (T_0) direkt abhängig von der Messbandbreite B. Deshalb ist die Angabe der Empfindlichkeit ohne Benennung der Messbandbreite (genauer gesagt der „Rauschbandbreite“) unzulässig.

Ergebnisse

- Die gemessene Empfindlich beträgt -124dBm, bezogen auf eine Auflösungsbandbreite von 2,4kHz. Zur genauen Ermittlung der Rauschleistung, müsste jedoch die effektiv wirksame Bandbreite des Auflösungsfilters ermittelt werden, was sehr aufwendig ist. Die Rauschbandbreite entspricht nicht der im Datenblatt angegebenen Bandbreite (-3dB oder -6dB Wert), sondern der Bandbreite eines idealen Reckteckfilters äquivalenter Fläche. Da die Größe der Rauschbandbreite im Regelfall nicht zur Verfügung steht, verwendet man in der Praxis einfach die im Datenblatt genannte Bandbreite

und riskiert dadurch (oft nicht wissentlich) einen kleinen Messfehler.
- Der Unterschied der in a) und b) ermittelten Empfindlichkeit beträgt 0,8dB.
- Die MDS-Messung ist einfach durchzuführen und entspricht inzwischen dem Standard.

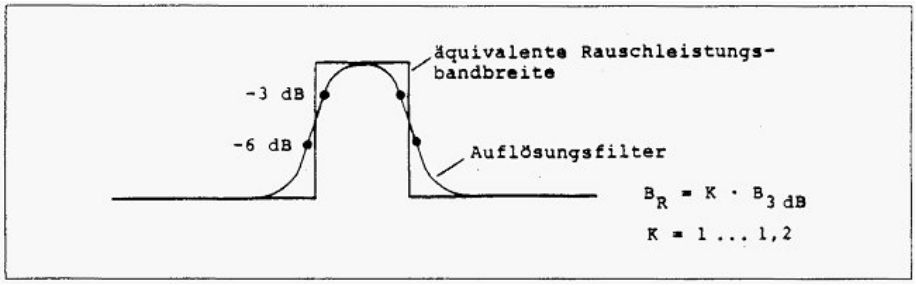


Bild 4: Äquivalente Rauschbandbreite

Werner Schnorrenberg
DC4KU
29.03.2023