

Rauschgenerator kalibrieren

Rauschgenerator-Module (**Bild 1**) arbeiten fast alle nach dem gleichen Prinzip. Das Rauschen einer Zehnerdiode wird über drei MMIC-Amplifier um 60dB verstärkt (**Bild 2**) und erscheint am Ausgang als Rauschband über einen Frequenzbereich von z.B. 0,1 bis 2000MHz. Aufgrund der hohen Verstärkung, erreicht das Rauschen eine Leistung von bis zu -30dBm/ MHz (**Bild 3**). Bei einer konstanten, geraden Rauschlinie bis 2 GHz, liefert der Rauschgenerator eine kumulative Leistung von $P_{\text{Noise}} = -30\text{dBm/MHz} + 10\lg 2000\text{MHz} = +3\text{dBm}$! Deshalb sollte man einen Rauschgenerator niemals direkt mit einem Spektrum Analysator oder Empfänger verbinden, weil diese dann massiv übersteuert werden. Hier hilft zum Schutz nur ein Dämpfungsglied von zumindest 20dB.

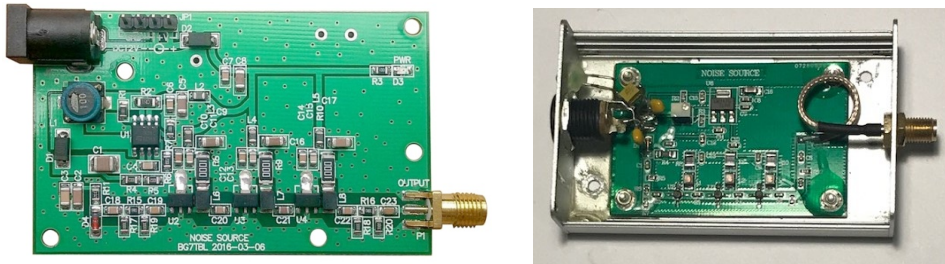


Bild 1: Rauschgenerator-Module auf Platine (FUNKAMATEUR) oder im Alu-Gehäuse, 0.1-2000MHz

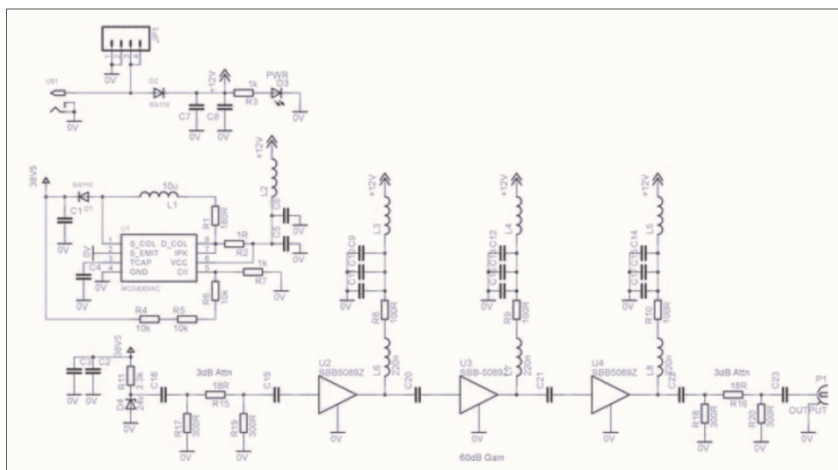


Bild 2. Schaltplan eines Rauschgenerator-Moduls

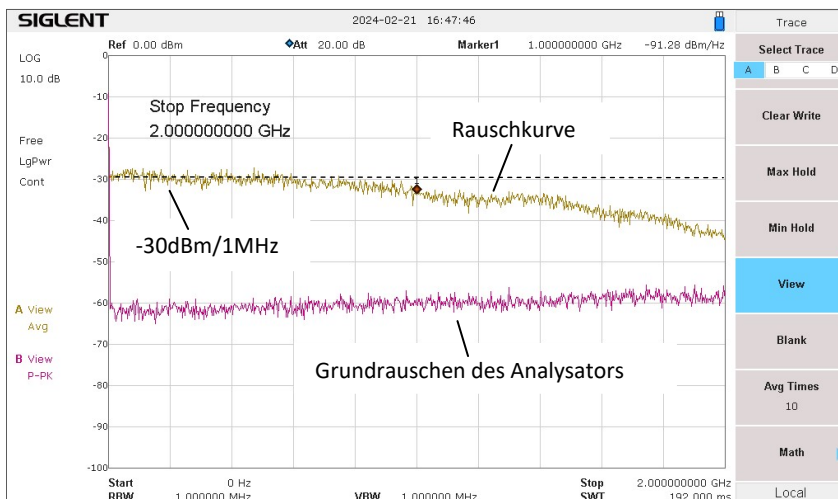


Bild 3: Typisches Spektrum eines Rausch-Moduls von 0 bis 2 GHz

In der Praxis werden Rauschgeneratoren hauptsächlich für Übertragungsmessungen an Vierpolen eingesetzt, z.B. an Tief-, Hoch- oder Bandpassfiltern (1). Bei Verwendung eines Spektrum Analysators als Empfangsgerät, erspart man sich damit den Tracking-Generator. Als ein Beispiel zeigt **Bild 4** die Übertragungskurve und Bandbreite (20MHz) eines 356MHz-Bandpassfilters, über eine Dynamik von 55dB. Diese Dynamik ist zwar nicht so gut wie die eines Tracking-Generators (100dB), reicht aber für viele Messungen völlig aus.

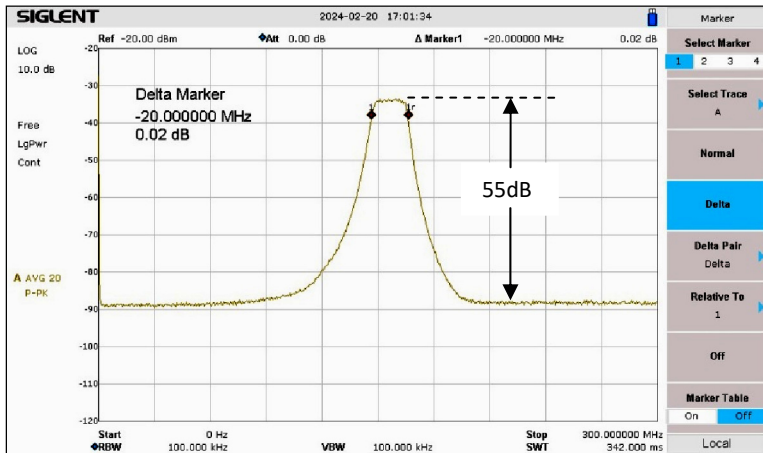


Bild 4: Übertragungskurve eines 156MHz-BP-Filter mit Rauschen

Messung von Rauschsignalen mit einem Spektrum Analysator

Im Gegensatz zu CW-Signalen, müssen Rauschsignale stets in Bezug auf die Rauschbandbreite des verwendeten Auflösungsfilters ermittelt werden, in „dBm/Hz“. Hierzu verfügen manche Analysatoren über eine sog. „Noise-Marker“- Funktion, mit der die Rauschleistung direkt in dBm/Hz (dBm pro 1Hz Bandbreite) korrekt angezeigt wird. Die Analyse erfolgt hierbei über die „Rauschbandbreite“ des verwendeten Auflösungsfilters, die von den -3dB-Bandbreite des Auflösungsfilters abweichen kann. Wird dies bei der Messung von Rauschpegeln nicht beachtet, entsteht ein Messfehler von ca. 2,5dB.

Beispiel:

Die Leistung der Rauschkurve (**Bild 5, links**) beträgt bei 500MHz mit dem CW-Marker gemessen -30,11dBm/1MHz. Bezogen auf eine Bandbreite von 1Hz ergibt sich eine Rauschleistung von

$$P_{\text{Noise}} = -30\text{dBm}/1\text{MHz} - 10\lg 1000000 = -90\text{dBm}/\text{Hz}$$

was aber leider nicht korrekt ist.

Erst wenn man den „Noise-Marker“ aktiviert (**Bild 5, rechts**), wird die korrekte Rauschleistung von

$$P_{\text{Noise}} = -87,61\text{dBm}/\text{Hz} \text{ angezeigt. Die Differenz beträgt: } -87,61\text{dBm}/\text{Hz} - (-90\text{dBm}/\text{Hz}) = 2,39\text{dB}.$$

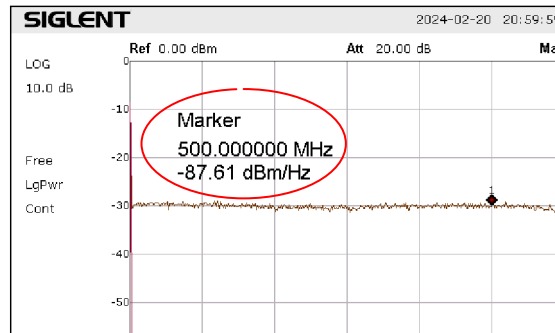
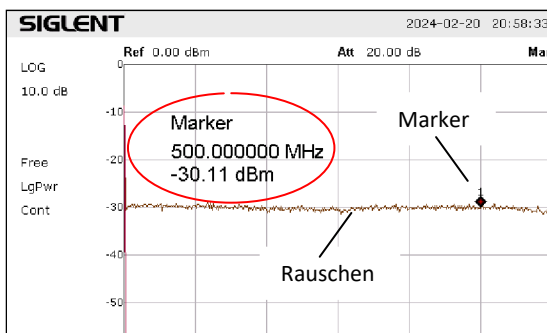


Bild 5: Rauschen mit CW-Marker gemessen (falsch) Rauschen mit Noise-Marker gemessen (richtig)

Tipp: Verfügt der Spektrum Analysator über keinen Noise-Marker, muss dem Rauschpegel ein Korrekturwert von ca. 2,4dB hinzugerechnet werden. So geht’s auch!

Kalibrierung eines Rauschgenerators

Die Leistung einer Rauschquelle wird in **ENR (Excess Noise Ratio)** angegeben. ENR gibt das Verhältnis in dB an, um welches die Rauschquelle mehr rauscht, als das thermische Rauschen eines Widerstands bei Raumtemperatur (300 Grad Kelvin) von -174dBm/Hz . Aus der ermitteltem Rauschleistung in **Bild 5** von $P_{\text{Noise}} = 87,6\text{dBm/Hz}$ berechnet sich das ENR des Rauschgenerators zu

$$\text{ENR} = -87,6\text{dBm/Hz} - (-174\text{dBm/Hz}) = 86,4\text{dB}.$$

Bedeutet, die Rauschleistung des verwendeten Rauschgenerators liegt um 86,4dB über dem physikalischen Grundrauschen von -174dBm/Hz .

Erst mit Kenntnis des ENR, ist der Rauschgenerator kalibriert. Verändert sich die Rauschleistung über der Frequenz, was leider der Regelfall ist, notiert man sich die zugehörigen ENR-Werte für spätere Berechnungen in einer Tabelle.

ENR	Frequenz
86,4dB	0,1 bis 600MHz
83,2dB	1000 MHz
81,0dB	1400 MHz
.....

Rauschzahl und Empfindlichkeit eines Empfängers

Wichtige Parameter eines Empfängers, wie Rauschzahl und Empfindlichkeit, lassen sich nur mit einem Rauschgenerator fehlerfrei ermitteln. Als Testgerät verwende ich einen IC-7300, SSB, $B=2,4\text{kHz}$, $f_e=7,073\text{MHz}$ (**Bild 6**). Bevor der Rauschgenerator mit dem Eingang des Empfängers verbunden wird, muss dessen Pegel soweit verkleinert werden, dass sein Rauschen im Empfänger nicht mehr messbar/hörbar ist. Dazu schalte ich eine 80dB-Eichleitung zwischen Rauschgenerator und Empfänger. Anschließend verkleinere ich die Dämpfung - ausgehend von 80dB - in 1dB-Stufen soweit, bis sich die NF-Ausgangsspannung des Empfängers am RMS-Voltmeter um 3dB erhöht (z.B. von 100mV auf 141,4mV). Das eingespeiste Rauschen entspricht dann dem Grundrauschen des Empfängers. Im Beispiel erfolgte der 3dB-Anstieg bei einer Dämpfung von 71dB.

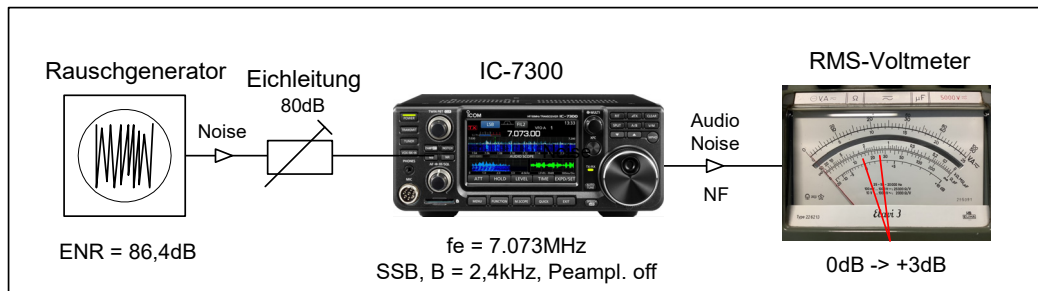


Bild 6: Messung der Rauschzahl (F) und Empfindlichkeit (MDS) mit einem Rauschgenerator

Daraus berechnet sich das Rauschmaß des IC-7300 im 40m-Band zu

$$\text{Rauschmaß (F}_{\text{dB}}) = \text{ENR} - \text{Dämpfung} = 86,4\text{dB} - 71\text{dB} = 15,4\text{dB}$$

entsprechend einer Rauschzahl (Noise Figure) von

$$\text{Rauschzahl (F)} = 10^{\text{Rauschmaß}/10} = 10^{15,4/10} = 28$$

Mit anderen Worten, der Signal/Rausch-Abstand (S/N) eines empfangenen Signals verschlechtert sich um 15,4dB bzw. um Faktor 28 zwischen Eingang und Ausgang des Empfängers.

Aus dem Rauschmaß (F_{dB}) und der Filterbandbreite (2,4kHz) berechnet sich die Empfindlichkeit zu

$$\text{Empfindlichkeit (MDS)} = \text{Rauschmaß} - 174\text{dBm/Hz} + 10\lg B = 15,4\text{dB} - 174\text{dBm/Hz} + 10\lg 2,4\text{kHz} = -124,8\text{dBm} \text{ entsprechend } 0,126\mu\text{V an } 50 \text{ Ohm}.$$



Bild 7: Rauschmessplatz, 0.1 bis 1000 MHz

Werner Schnorrenberg
DC4KU

Literatur:

- (1) HF-Messungen mit einem Rauschgenerator ok
FA 2-2019
- (2) Messung des Rauschmaßes mit einem Spektrumanalysator
FA 01-2021
- (3) Messung von Empfindlichkeit und Rauschmaß bei Empfängern
FA 10-2023