

Messung des Rauschmaßes (F_{dB}) eines HF-Verstärkers



Testobjekt: HF-Breitband-Verstärker, $f=1-100\text{MHz}$, $G=20\text{dB}$

Ermittlung des Rauschmaßes (F_{dB}) mit Hilfe eines HF-Signals (CW-Signal)

Den typischen Messaufbau zur Ermittlung der Empfindlichkeit (MDS = Minimum Discernable Signal, kleinstes detektierbares Signal) eines HF-Verstärkers zeigt **Bild 1**, bestehend aus einem HF-Generator dem zu prüfenden HF-Verstärker $1...100\text{MHz}$, $G=20\text{dB}$ und einem Spektrumanalysator mit eingeschaltetem Preamplifier.

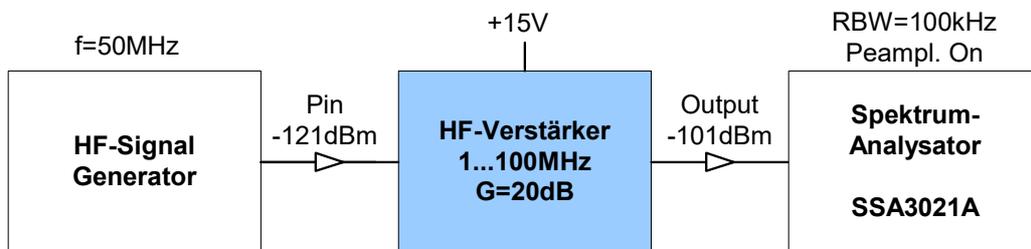


Bild 1: Messung der Rauschzahl eines breitbandigen HF-Verstärkers

Das Signal des HF-Generators wird z.B. auf $f=50\text{MHz}$ eingestellt und so lange verkleinert, bis es im Display des Analysator mit nur noch mit $+3\text{dB}$ über dem Rauschen erkennbar ist (**Bild 2**). Im Beispiel erfolgte das bei Eingangspegel von **Pin = $-121\text{dBm}/100\text{ kHz}$** . Entsprechend der Gleichung $P=(S+N)/N$ entspricht der Pegel des Generators (Pin) dann dem Rauschpegel (P_{Noise}) des Verstärkers.

Empfindlichkeit (MDS) = $-121\text{dBm}/\text{Hz}$, bezogen auf eine Bandbreite von 100kHz

Settings am Analyzer:

Preamplifier ON, Attenuation 0dB , $f_c=50\text{MHz}$, Span 7MHz , RBW 100kHz , VBW 10kHz , Average 100

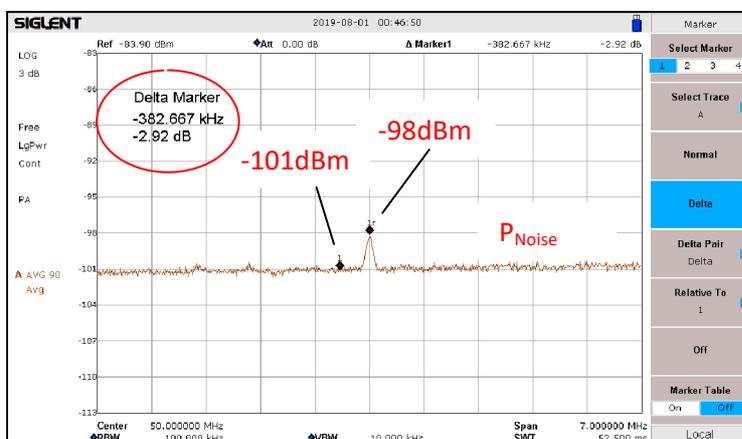


Bild 2: CW-Signal mit $+3\text{dB}$ über Rauschen

Berechnung des Rauschmaßes (F_{dB}):

Bezogen auf 1Hz-Bandbreite ergibt sich ein Rauschpegel von

$$P_{\text{Noise}} = -121\text{dBm}/100\text{kHz} - 10\lg(100\text{kHz}/1\text{Hz}) = (-121-50)\text{dBm}/\text{Hz} = -171\text{dBm}/\text{Hz}.$$

Subtrahiert man davon den Rauschgrenzwert von $-174\text{dBm}/\text{Hz}$, beträgt das resultierende Rauschmaß (F_{dB} , Noise Figure) des Verstärkers

$$F_{dB} = -171\text{dBm}/\text{Hz} - (-174\text{dBm}/\text{Hz}) = 3\text{dB}$$

entsprechend einer Rauschzahl (F , Noise Factor) von

$$F = 3^{3/10} = 2.$$

Bedeutet, dass sich der S/N-Abstand am Ausgang des Verstärkers zum S/N-Abstand am Eingang des Verstärkers um 3dB verschlechtert.

Die Berechnung des Rauschmaßes ist allerdings nicht ganz korrekt, wie später noch gezeigt wird.

Ermittlung des Rauschmaßes (F_{dB}) mit Hilfe des "Noise-Markers" im Analysator

Sehr viel einfacher und fehlerfrei lässt sich das Rauschmaß eines HF-Verstärkers über die "Noise-Marker"-Funktion des Analysators ermitteln, weil hierbei die „effektive Rauschbandbreite“ des Auflösungsfilters, bezogen auf 1Hz-Rauschbandbreite, verwendet wird. Zunächst misst man über den „Noise-Marker“ das Grundrauschen des Analysators (mit +20dB Preamp. ON) bei abgeschlossenem Eingang. Bei 50MHz ergibt sich eine Empfindlichkeit von $-164\text{dBm}/\text{Hz}$ (Bild 3 und 4).

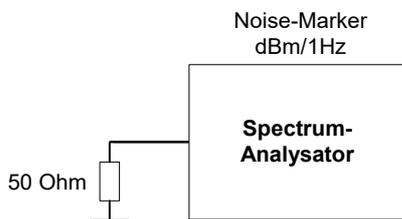


Bild 3: Messung Grundrauschen des Analysators in dBm/1Hz

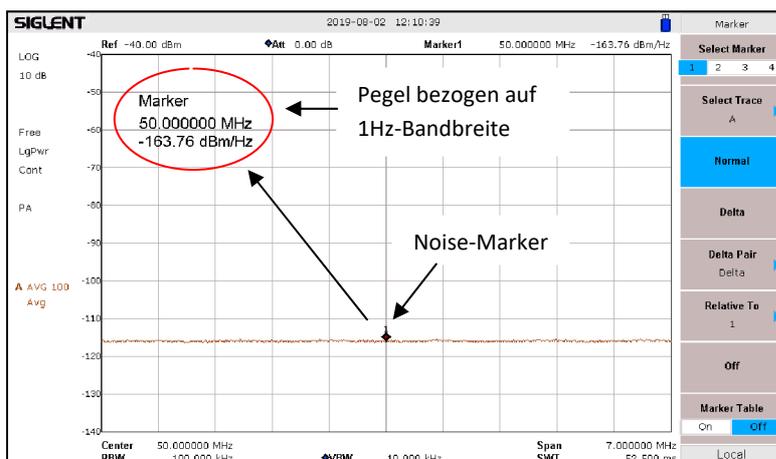


Bild 4: Messung des Grundrauschens (Empfindlichkeit) des Analysators: $-164\text{dBm}/\text{Hz}$

Anschließend wird der HF-Verstärker mit 50 Ohm im Eingang abgeschlossen und sein Ausgang mit dem Analysator verbunden (Bild 5). Der Rauschpegel steigt dadurch von zuvor $-164\text{dBm}/\text{Hz}$ auf $-150,5\text{dBm}/\text{Hz}$ an (Bild 6).

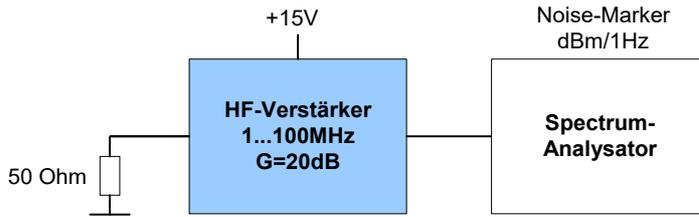


Bild 5: Rauschmessung des HF-Verstärkers

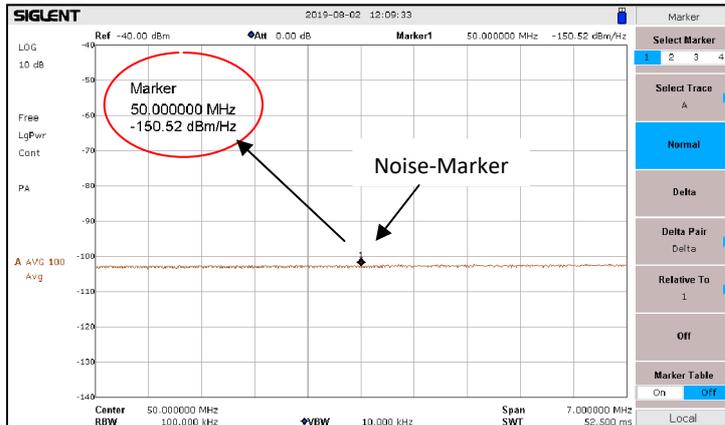


Bild 6: Rauschpegel des HF-Vorverstärkers: -150,5dBm/Hz

Daraus berechnet sich das Rauschmaß des HF-Verstärkers zu

$$P_{\text{Noise@1Hz}} = -150,5\text{dBm} - 20\text{dB (Gain)} = -170,5\text{dBm/Hz}$$

entsprechend einem Rauschmaß von

$$F_{\text{dB}} = -170,5\text{dBm/Hz} - (-174\text{dBm/Hz}) = 3,5\text{dB}$$

und einem Rauschfaktor von

$$F = 3^{3.5/10} = 2,24$$

Welcher Messwert stimmt denn jetzt, 3dB oder 3,5dB?

Das korrekte Rauschmaß des Empfängers beträgt 3,5dB. Das ermittelte Rauschmaß über ein CW-Signal ist falsch, weil das Ergebnis auf die Auflösungsbandbreite des Analysators (-3dB oder -6dB) bezogen wurde und nicht auf dessen „Rauschbandbreite“. Die Rauschbandbreite des 100kHz-Filters entspricht nicht der Auflösungsbandbreite von 100kHz, sondern der Bandbreite eines idealen Reckteckfilters äquivalenter Fläche (**Bild 7**).

Bei Aktivierung des „Noise-Markers“ wird das Rauschsignal automatisch auf B=1Hz bezogen und der Pegel gleichzeitig auf die Rauschbandbreite des verwendeten Auflösungsfilters bezogen. Hierzu sind die Rauschbandbreiten aller Auflösungsfilter (1Hz bis 1MHz) im Analysator abgespeichert und werden automatisch zur Berechnung herangezogen. Ergebnis: Fehlerfreie Rauschzahlmessung.

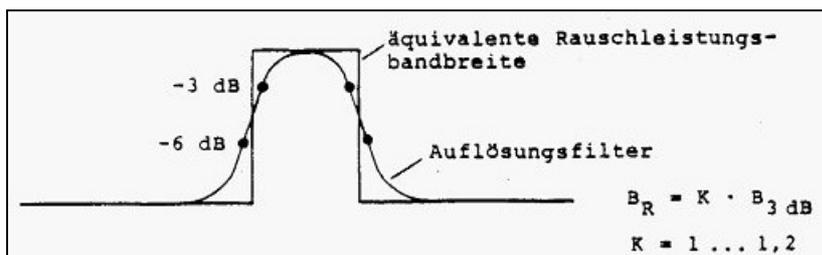


Bild 7: Äquivalente Rauschbandbreite

Korrektur

Grundsätzlich muss bei solchen Messung darauf geachtet werden, dass das Grundrauschen des Analysators sehr viel kleiner ist, als das Rauschen des HF-Verstärkers plus seiner Verstärkung. Im Messbeispiel ist der Unterschied ausreichend groß, die Differenz beträgt $(-150,5\text{dBm/Hz} - (-164\text{dBm/Hz})) = 13,5\text{dB}$. Falls der zu messende HF-Verstärker mit nur geringer Verstärkung arbeitet und die Differenz kleiner als 10dB wird, muss ein weiterer Preamplifier vor den Analysator geschaltet werden oder der Messwert korrigiert werden, weil der Pegelabstand zwischen Analysator-Rauschen und Verstärker-Rauschen dann zu gering wird und dadurch ein Messfehler entstehen kann.

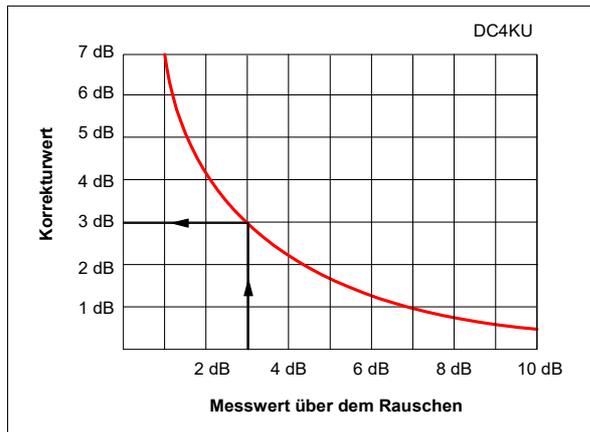


Bild 7: Korrekturkurve bei der Messung kleiner Signale über Rauschen

Ein typisches Beispiel eines solchen Fehlers zeigt **Bild 2**. Die mit dem Analysator gemessene Größe des CW-Signals beträgt -98dBm . Tatsächlich beträgt der Pegel des Signals aber nur -101dBm , weil sich das Signal mit dem gleich großen Rauschpegel des Analysators addiert und dadurch um 3dB zu groß angezeigt wird, $(S+N)/N = 3\text{dB}$. Demnach muss zur korrekten Pegelermittlung 3dB vom Ergebnis abgezogen werden: $-98\text{dBm} - 3\text{dB} = -101\text{dBm}$.

Die Kurve in **Bild 7** zeigt die Korrektur für Messwerte über dem Rauschen. Erst ab einer Verstärkung von 10dB wird der Messfehler minimal und eine Korrektur ist nicht mehr erforderlich.

Werner Schnorrenberg
DC4KU
02.08.2019
Rev. 30.01.2020, 3.2024