

Messung der Rauschzahl eines HF-Verstärkers

1.) Ermittlung der Rauschzahl (NF, Noise Figure) mit Hilfe eines CW-Signals

Bild 1 zeigt den typischen Messaufbau zur Ermittlung der Rauschzahl eines HF-Verstärkers, bestehend aus einem HF-Signalgenerator, einem HF-Verstärker 1...100MHz mit 20dB Verstärkung und einem empfindlichen Spektrumanalysator.

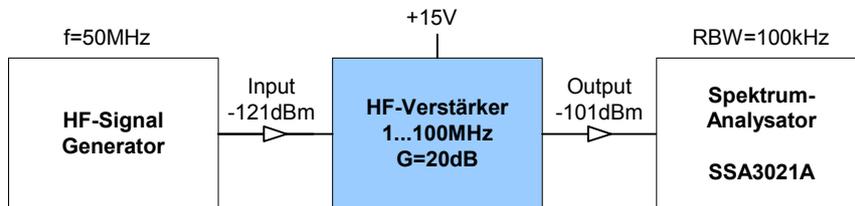


Bild 1: Messung der Rauschzahl eines breitbandigen HF-Verstärkers

Das Signal des HF-Generators wird z.B. auf 50MHz eingestellt und so lange verkleinert, bis es am Ausgang des Analysator mit nur noch mit 3dB über dem Rauschen (N) erkennbar ist (**Bild 2**), im Beispiele erfolgte das bei einem Pegel von -121dBm/100 kHz RSB (Auflösungsbandbreite). Entsprechend der Gleichung $P = (S+N)/N$ entspricht der Pegel des Generators dann dem Rauschpegel (P_N) des Verstärkers.

Settings Analyzer:

Preamplifier ON, Attenuation 0dB, fe=50MHz, Span 7MHz, BSB 100kHz, VBW 10kHz, Average 100

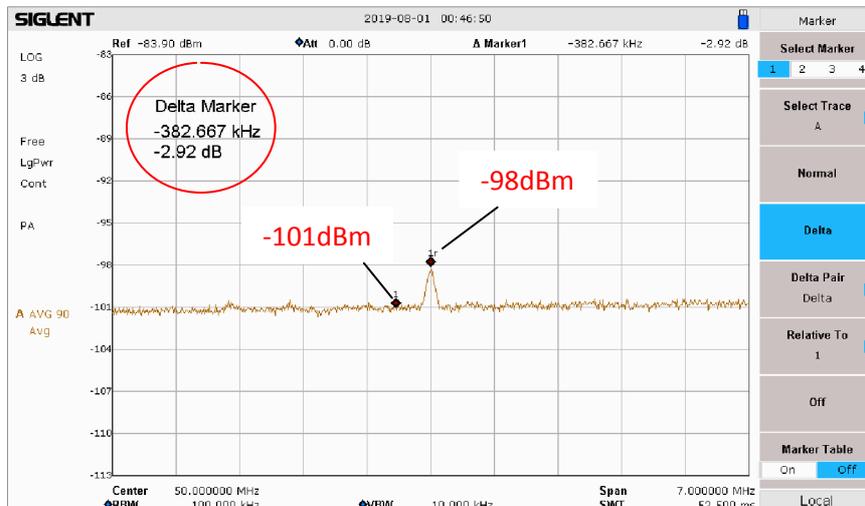


Bild 2: Messung des Verstärker-Rauschpegels: -101dBm/100kHz Bandbreite

Ergebnis: Rauschpegel = -101dB/100kHz - Gain = -121dBm/100kHz -20dB = -121dBm/100kHz

Bezogen auf 1Hz-Bandbreite: $-121\text{dBm}/100\text{kHz} - 10\log(100\text{kHz}/1\text{Hz}) = (-121-50)\text{dBm}/\text{Hz} = -171\text{dBm}/\text{Hz}$

Mit einem Rauschgrenzwert von -174dBm/Hz, ergibt sich daraus eine Rauschzahl (NF, Noise Figure) des Verstärkers von

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

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

2.) Ermittlung der Rauschzahl mit Hilfe des Analysator Noise-Marker

Noch einfacher, lässt sich der Rauschpegel des HF-Verstärkers über die Funktion "Noise-Marker" des Analysators ermitteln. Diese Messung ist außerdem etwas genauer, weil hierbei die tatsächliche Rauschbandbreite des Auflösungsfilters, bezogen auf 1Hz-Rauschbandbreite, verwendet wird. Zunächst misst man das Grundrauschen des Analysators. Bei $f = 50\text{MHz}$ ergibt sich ein Rauschpegel von -164dBm/Hz (**Bild 3**).



Bild 3: Messung des Analysator-Grundrauschens: -164dBm/Hz

Anschließend wird der HF-Verstärker mit 50 Ohm am Eingang abgeschlossen und sein Ausgang mit dem Analysator verbunden (**Bild 4**). Der Rauschpegel steigt dann von -164 dBm/Hz auf $-150,5\text{dBm/Hz}$

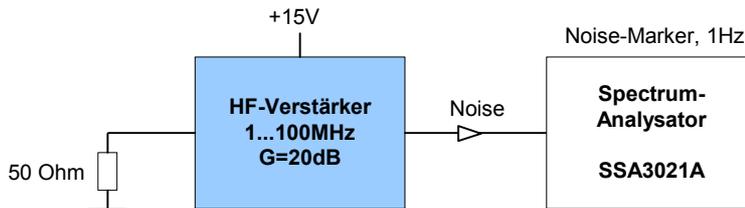


Bild 4: Messaufbau

an (**Bild 5**). Daraus berechnet sich das Rauschmaß des HF-Verstärkers zu $-150,5\text{dBm} - \text{Gain} = -150,5 - 20\text{dB} = -170,5\text{dBm/Hz}$ und eine Rauschzahl von

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



Bild 5: Messung des Rauschens mit vorgeschaltetem Verstärker: $-150,5\text{dBm/Hz}$

Korrektur

Bei einer solchen Messung muß 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 HF-Verstärker mit nur geringer Verstärkung arbeitet ($\text{Gain} < 10\text{dB}$), muß der Messwert korrigiert werden, weil der Pegelabstand zwischen Analysator-Rauschen und Verstärker-Rauschen ansonsten zu gering wird und durch Addition der Rauschwerte ein Messfehler entsteht.

Ein typisches Beispiel für einen solchen Fehler 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: $-98\text{dBm} - 3\text{dB} = -101\text{dBm}$.

Das Diagramm in **Bild 6** zeigt die **Korrekturkurve** für Messwerte über dem Rauschen. Erst ab einer Verstärkung von 10dB wird der Messfehler minimal und eine Korrektur ist nicht mehr erforderlich.

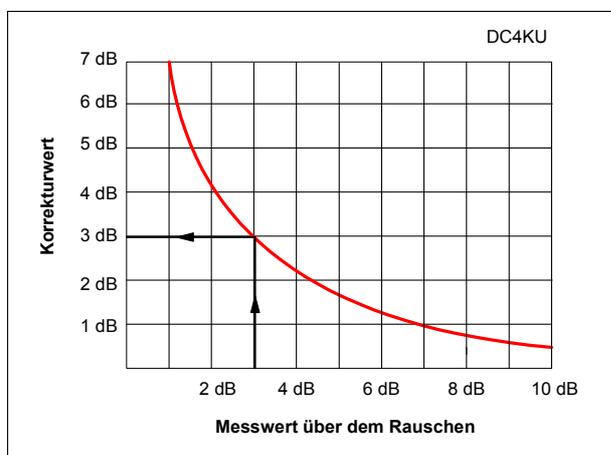


Bild 6: Korrekturkurve bei der Messung kleiner Signale über Rauschen

Werner Schnorrenberg

DC4KU

02.08.2019, Rev. 30.01.2020



Verwendeter HF-Verstärker, $f=1-100\text{MHz}$, $\text{Gain}=20\text{dB}$