

Messung der Rauschzahl eines HF-Verstärkers

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

Den typischen Messaufbau zur Ermittlung der Rauschzahl eines HF-Verstärkers zeigt Bild 1, bestehend aus einem HF-Signalgenerator, dem zu prüfenden HF-Verstärker 1...100MHz, G=20dB und einem Spektrumanalysator mit eingeschaltetem Preamplifier.

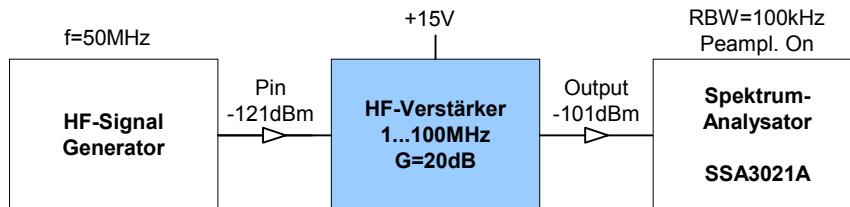


Bild 1: Messung der Rauschzahl eines breitbandigen HF-Verstärkers

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

Settings Analyzer:

Preamplifier On, Attenuation 0dB, $f_e=50\text{MHz}$, Span 7MHz, BSB 100kHz, VBW 10kHz, Average 100

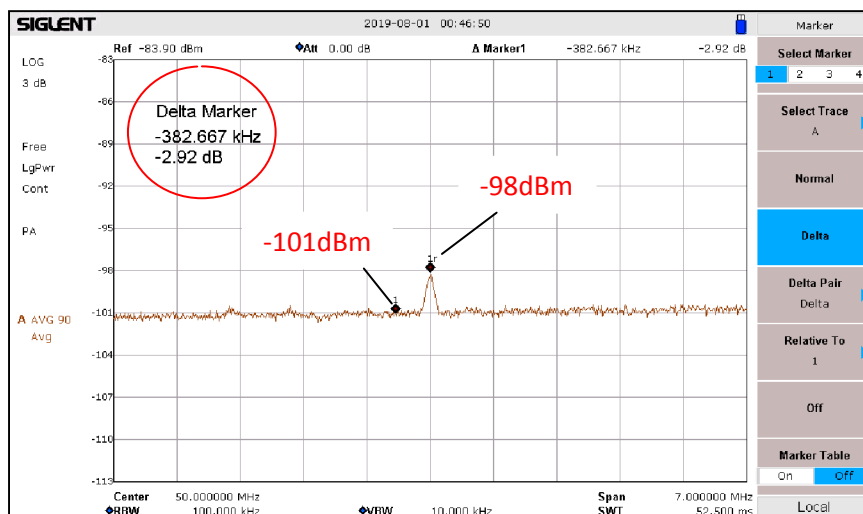


Bild 2: Messung des Verstärker-Rauschpegels

Bezogen auf 1Hz-Rauschbandbreite, ergibt sich ein Rauschpegel von

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

Mit einem Rauschgrenzwert von $-174\text{dBm}/\text{Hz}$, 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 "Noise-Markers"

Noch einfacher, lässt sich der Rauschpegel des HF-Verstärkers über die "Noise-Marker Funktion" 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 über den Marker das Grundrauschen (die Empfindlichkeit) des Analysators, mit eingeschaltetem Preamplifier. Bei 50MHz ergibt sich eine Empfindlichkeit von -164dBm/Hz (**Bild 3**).

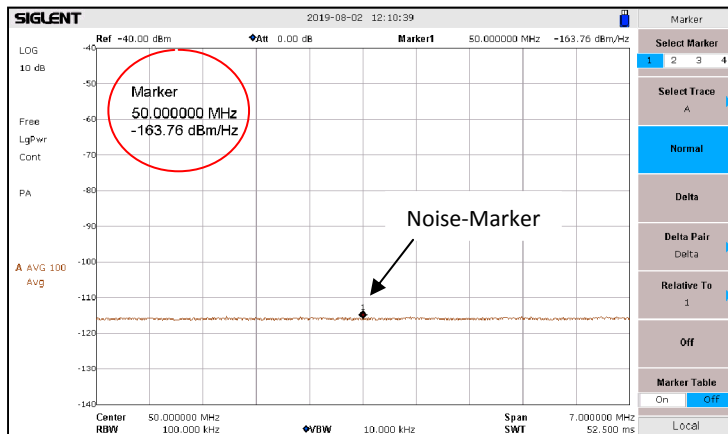


Bild 3: Messung des Grundrauschens (Empfindlichkeit) des Analysators: -164dBm/Hz

Anschließend wird der HF-Verstärker mit 50 Ohm im Eingang abgeschlossen und sein Ausgang mit dem Analysator verbunden (**Bild 4**). Der Rauschpegel steigt dadurch von -164dBm/Hz auf -150,5dBm /Hz an (**Bild 5**).

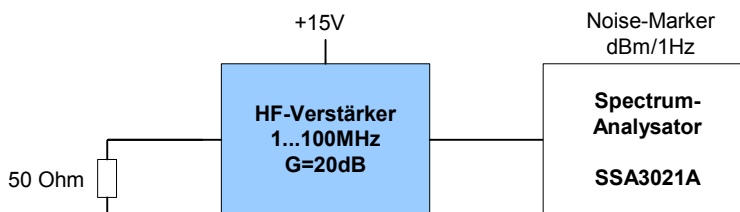


Bild 4: Messaufbau

Daraus berechnet sich das Rauschmaß des HF-Verstärkers zu $P_{\text{Noise@1Hz}} = -150,5\text{dBm} - 20\text{dB} = -170,5\text{dBm/Hz}$ und seine Rauschzahl zu

NF = -170,5dBm/Hz - (-174dBm/Hz) = 3,5dB

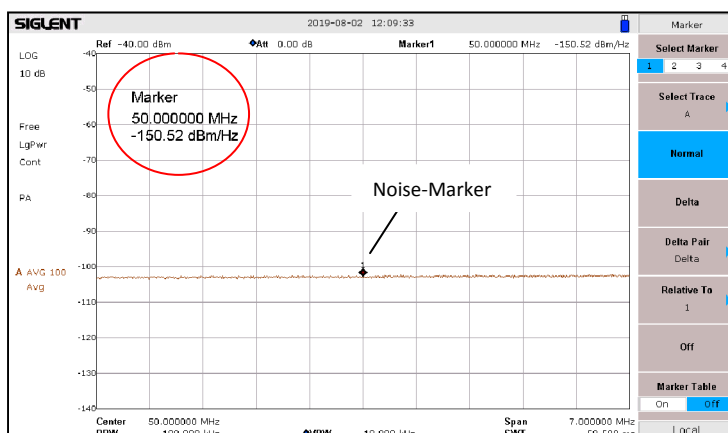
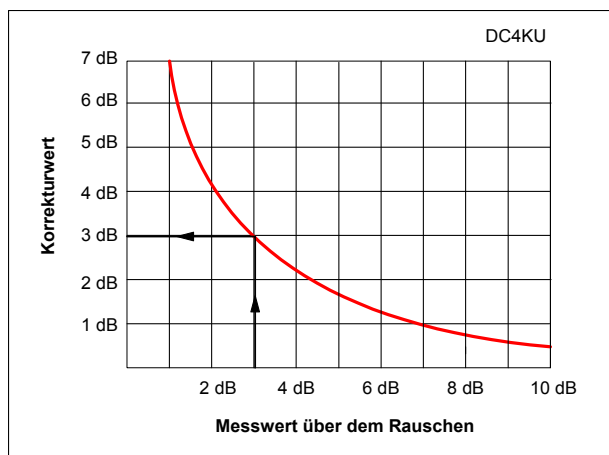


Bild 5: Messung des Rauschpegels des HF-Vorverstärkers: -150,5dBm/Hz**Korrektur**

Bei solchen Messung muß darauf geachtet werden, dass das Grundrauschen des verwendeten 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, muß der Messwert eventuell korrigiert werden, weil der Pegelabstand zwischen Analysator-Rauschen und Verstärker-Rauschen dann zu gering wird und durch einfache Addition der Rauschwerte ein Messfehler entsteht. Ein typisches Beispiel für einen solchen Fehler zeigt **Bild 1**. 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: $f=1\text{-}100\text{MHz}$, $\text{Gain}=20\text{dB}$