

Messung kleiner Signale über dem Rauschen eines Analysators

Mit einem Spektrumanalysator lassen sich auch sehr kleine Signale messen, die sich in der Nähe seines Grundrauschens befinden, wie z.B. bei der Empfindlichkeitsmessung (MDS) eines Empfängers. Hierbei wird das eingespeiste CW-Signal soweit verkleinert, bis der SSB-Überlagerungston am Lautsprecher des Empfängers mit nur noch mit 3dB über dem Rauschen erfassbar ist.

Damit ein so kleines Signal am Bildschirm des Spektrumanalysators noch erkennbar ist, wurde die Skalierung der Amplitude auf 1dB/Div eingestellt und zur Glättung des Rauschens eine Video-Bandbreite von 1Hz gewählt (**Bild 1**). Der Pegel des +3dB-Signals beträgt im Beispiel -87,4dBm und liegt gemäß $(S+N)/N=2$ genau 3dB über dem Rauschen des Analysators.

Rauschen und Sinussignale sind jedoch völlig unterschiedliche Signale und es stellt sich Frage, ob der der angezeigte Pegel von -87,4dBm tatsächlich dem Pegel des eingespeisten CW-Signals entspricht.

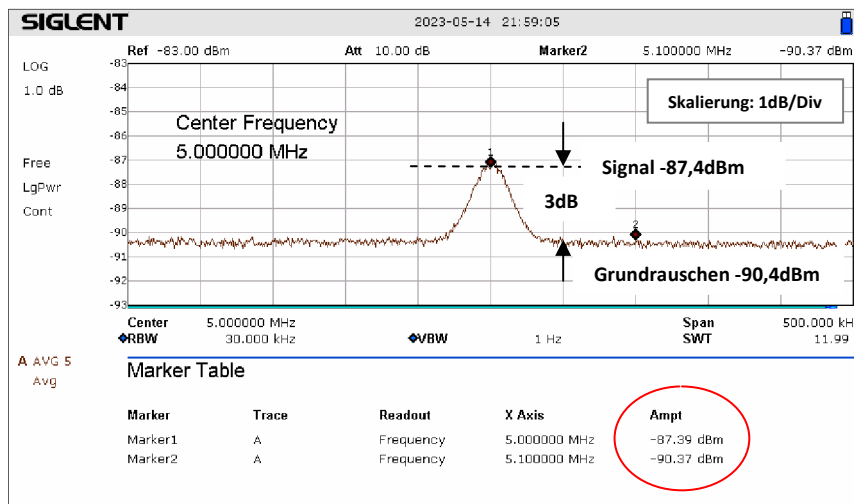


Bild 1: CW-Signal mit 3dB über dem Rauschen

In Wirklichkeit beträgt der Pegel des CW-Signals -90,4dBm und entspricht damit exakt dem Pegel des Grundrauschens. Trotzdem zeigt der Analysator einen Pegel -87,4dBm an, also einen Fehler von $87,4\text{dBm} - (-90,4\text{dBm}) = 3\text{dB}$. Der Messfehler des Analysators entsteht dadurch, dass sich die gleich großen Signale des Grundrauschens und des CW-Signals addieren und der Pegel des CW-Signals gemäß $(S+N)/N=2$ am Analysator um 3dB zu hoch angezeigt wird.

Welcher Messfehler entsteht bei einem Signalabstand von 5dB?

Ein CW-Signal mit 5dB über dem Rauschen zeigt **Bild 2**. Der Rauschpegel (L_r) beträgt auch hier -90,4dBm ohne angelegtes Signal. Mit CW-Signal steigt die Anzeige auf $L_{\text{tot}} =$ auf -85,4dBm (+5dB).

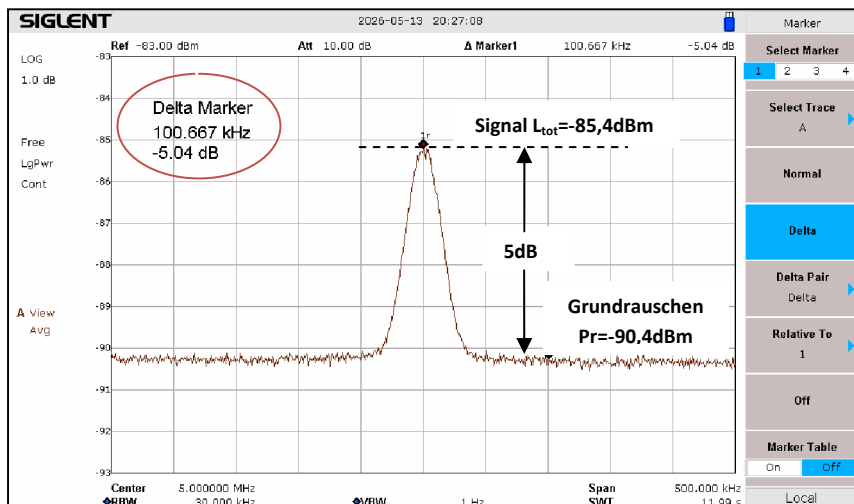


Bild 2: CW-Signal mit 5dB über dem Rauschen

Um die Leistung des CW-Signals in dBm herauszufinden, berechnen wir zunächst die Leistung des Grundrauschens (P_r) und des CW-Signals (P_{tot}) in mW.

$$P_r = 10^{-90.4/10} \text{ mW} = 9.12 \times 10^{-10} \text{ mW}$$

$$P_{tot} = 10^{-85.4/10} \text{ mW} = 28.84 \times 10^{-10} \text{ mW}$$

Die Leistung (P) des CW-Signals erhält man durch Substruktion beider Leistungswerte

$$P = P_{tot} - P_r$$

$$P = (28.84 \times 10^{-10} \text{ mW}) - (9.12 \times 10^{-10} \text{ mW}) = 19.72 \times 10^{-10} \text{ mW}$$

entsprechend einer Leistung in dBm von

$$L_{P/1mW} = 10 \log 19.72 \times 10^{-10} \text{ mW} = -87.0 \text{ dBm}$$

Der Pegel des CW-Signals liegt demnach um $L_{tot} - L_p = -85.4 \text{ dBm} - (-87.0 \text{ dBm}) = 1.6 \text{ dB}$ unterhalb des Messwertes. Ergebnis: Selbst bei einem Signalabstand von 5dB zum Rauschen entsteht immer noch ein relativ großer Messfehler.

Erst bei Vergrößerung des CW-Signals auf 10dB über Rauschen, verkleinert sich der Fehler auf 0,23dB, so dass bei Signalen von $\geq 10 \text{ dB}$ das Messergebnis meist nicht mehr korrigiert wird.

Bild 3 zeigt die entsprechende Korrekturkurve für Messwerte (S+N)/N von 1 bis 10dB über dem Rauschen.

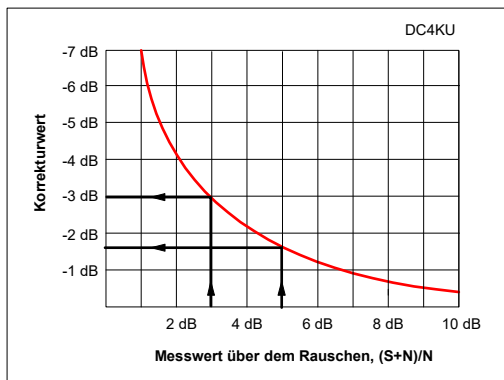


Bild 3: Korrekturkurve kleiner Signale über Rauschen

Messung des Rauschens

Das Grundrauschen des Analysators in **Bild 4**, gemessen über einen Marker bei $f_c = 5 \text{ MHz}$ und einer Auflösungsbandbreite RSB von 30kHz, beträgt $P = -90,35 \text{ dBm}$. Stimmt dieser Messwert?

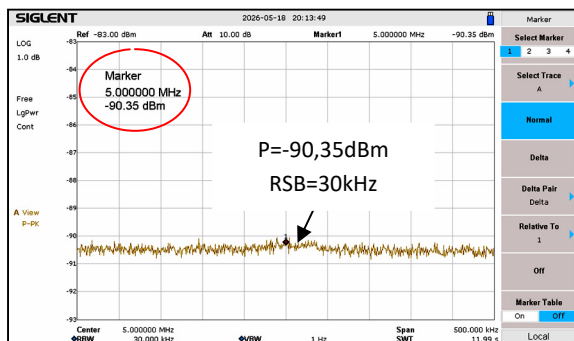


Bild 4: Rauschpegel in dBm: $P = -90,35 \text{ dBm}$

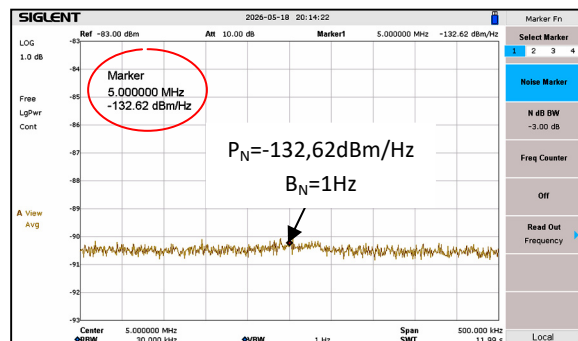


Bild 5: Rauschpegel in dBm/Hz: $P_N = -132,62 \text{ dBm/Hz}$

Nein, denn zur Ermittlung des Rauschpegels benötigt man als Bezug die „Rauschbandbreite“ (B_N) des verwendeten Auflösungsfilters (BWR), die im Regelfall aber nicht bekannt ist. Zur Lösung des Problems, verfügen die meisten Analysatoren über eine sog. „dBm/Hz“-Anzeige. Hierbei wird der

gemessene Pegel über eine (theoretische) Bandbreite von 1Hz ermittelt und angezeigt. Im Beispiel **(Bild 9)** ergibt sich darüber ein Rauschpegel von

$$P_{N(1\text{ Hz})} = -132,61\text{dBm/Hz}$$

und dieser Messwert ist korrekt.

Berechnet man diesen Pegel wieder zurück auf eine Auflösungsbandbreite von 30kHz, erhält man einen Rauschpegel von

$$P_{N(30\text{ kHz})} = -132,62\text{dBm/Hz} + 10\log 30000\text{Hz} = \mathbf{-87,85\text{dBm}}$$

und der Fehler beträgt

$$P_{N(30\text{ kHz})} - P = -90,35\text{dBm} - (-87,85\text{dBm}) = \mathbf{-2,5\text{dB}}$$

Ergebnis: Bei Messung des Rauschens über den „dBm-Marker“ **(Bild 4)**, wird der Rauschpegel um 2,5dB zu niedrig angezeigt. Rauschen darf nur über die Rauschbandbreite des verwendeten Auflösungsfilters ermittelt werden. Bei der „dBm/Hz“ Einstellung **(Bild 5)** verwendet der Analysator automatisch die intern abgespeicherten Rauschbandbreiten aller Auflösungsfilter und die Ergebnisse sind anschließend korrekt.

Falls der Analysator über keine dBm/Hz-Anzeige verfügt, muss die Rauschbandbreite des verwendeten Auflösungsfilters berechnet werden, ansonsten beträgt der Messfehler bis zu 2,5dB.

Werner Schnorrenberg
DC4KU
18. Mai 2026