Messung Seitenbandrauschen von Oszillatoren

Zur Messung des Seitenbandrauschen von Oszillatoren benötigt man einen Spektrumanalysator. Eine direkte SBN-Messung mit Hilfe eines Analysators ist leider nicht möglich, weil seine Empfindlichkeit und Dynamik hierzu nicht ausreichen. Mit Hilfe der zuvor beschriebenen Bandpass- und Notchfilter wird die Messung jedoch möglich. Den entsprechenden Messaufbau mit einem Bandpaßfilter zeigt **Bild 2** und mit einem Notchfilter **Bild 1**. Die Filter haben jetzt nicht die Aufgabe der Rauschunterdrückung, sondern der Unterdrückung des zu testenden Oszillatorsignals.

SBN-Messung mit Hilfe eines Bandpaßfilters

Als Beispiel messe ich das Seitenbandrauschen meines Signal Generators Marconi 2019. Dazu wird der Generator zunächst auf die Mittenfrequenz des 9MHz BP-Filters abgeglichen und seine Ausgangsleistung so eingestellt, dass am Eingang des Analysators ein Pegel von Pi=0dBm anliegt.

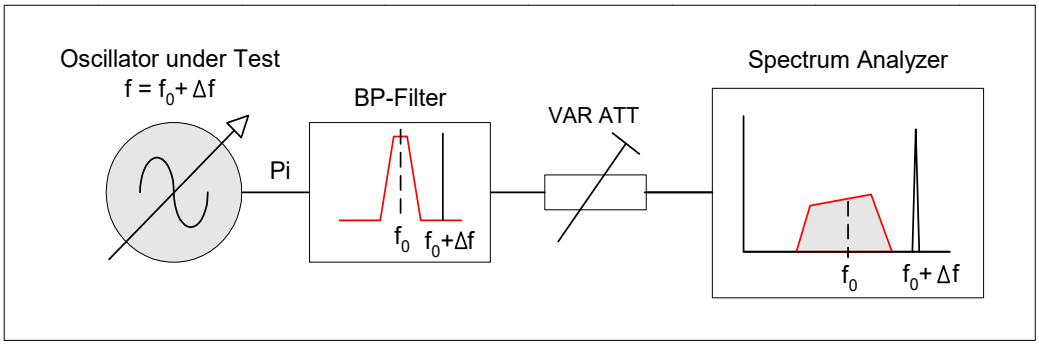


Bild 1: Messung des Seitenbandrauschens eines Oszillators mit Hilfe eines BP-Filters

Dann verschiebt man die Frequenz des Generators um 3kHz nach oben oder unten, also auf eine Stelle des Filter-Sperrbereichs, im Beispiel auf 9,003MHz. Bei dieser Frequenz dämpft die Filterflanke das Signal schon um fast 100dB ab, so dass der Referenzpegel des Analysators auf -60dBm verkleinert werden kann, ohne dass der Analysator hierbei übersteuert wird. Zusätzlich wird der im Analysator eingebaute +20dB HF-Preamplifier eingeschaltet und die Dämpfung auf 0dB eingestellt. Falls der Analysator über keinen zuschaltbaren HF-Vorverstärker verfügt, muss ein externer HF-Verstärker vorgeschaltet werden.
Das Ergebnis der Messung zeigt **Bild 2**. Das Seitenbandrauschen des Marconi HF-Generators wird jetzt im Durchlaßbereich des 2,4kHz breiten Bandpaßfilters deutlich sichtbar. Über die "Noise-Marker-Funktion" des Analysators, lässt sich das SBN direkt in dBm/Hz anzeigen, es beträgt -129,43dBm/Hz in 2kHz Abstand zum Träger.

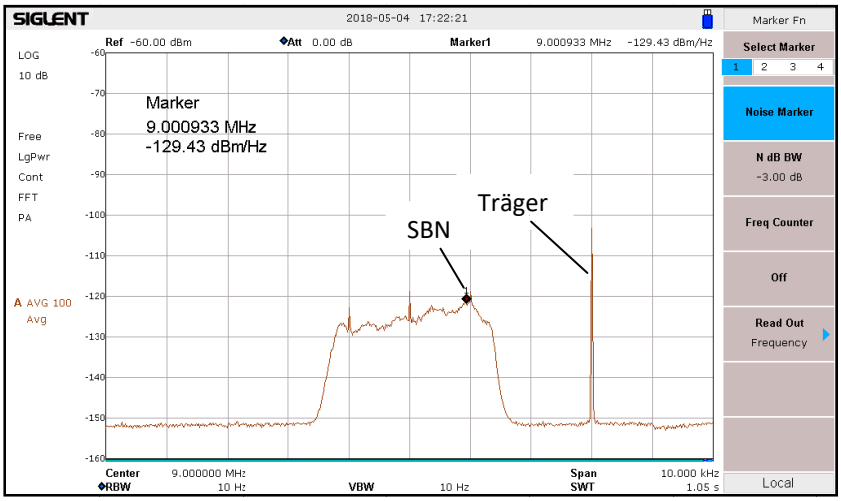


Bild 2: Seitenbandrauschen des Marconi Signal Generators in 2 bis 4kHz Abstand zum Träger, Span10kHz

Das stark unterdrückte Trägersignal auf 9,003MHz ist ebenfalls im Bildschirm sichtbar, spielt aber bei der Messung keine Rolle. Wichtig ist nur, dass es stets unterhalb des eingestellten Referenz-Pegels liegt, ansonsten würde der Analysator übersteuert werden. Anschließend lässt sich das Seitenbandrauschen auch in größeren Abständen zum Träger messen, indem der Offset (Δf) vergrößert wird.

Die gleiche Messung zeigt **Bild 3**, jetzt aber an meinem Signalgenerator HP8656B, mit satten -101,4dBm/Hz in 2kHz Abstand. Sein Rauschen liegt um fast 30dB höher, als das des Marconi 2019. Gleichzeitig erzeugt der Generator auch noch einige Störsignale nahe beim Träger.

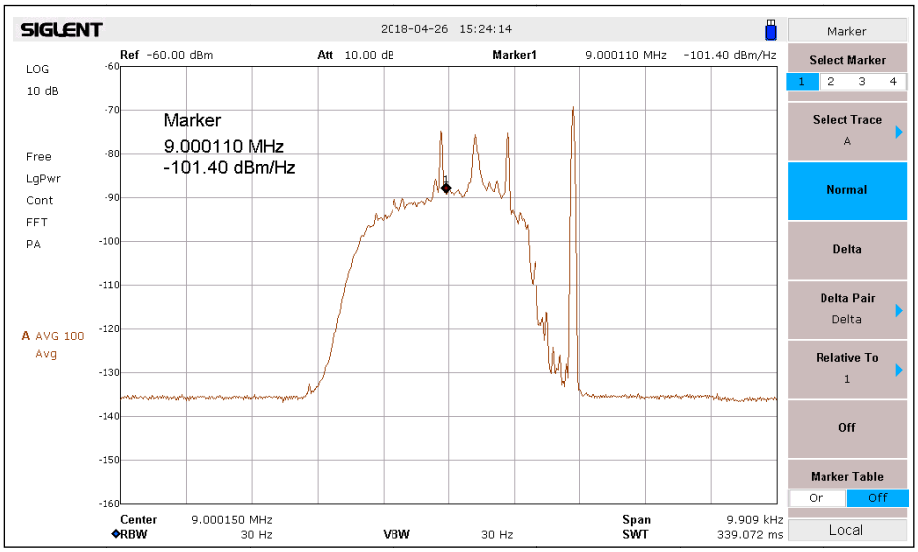
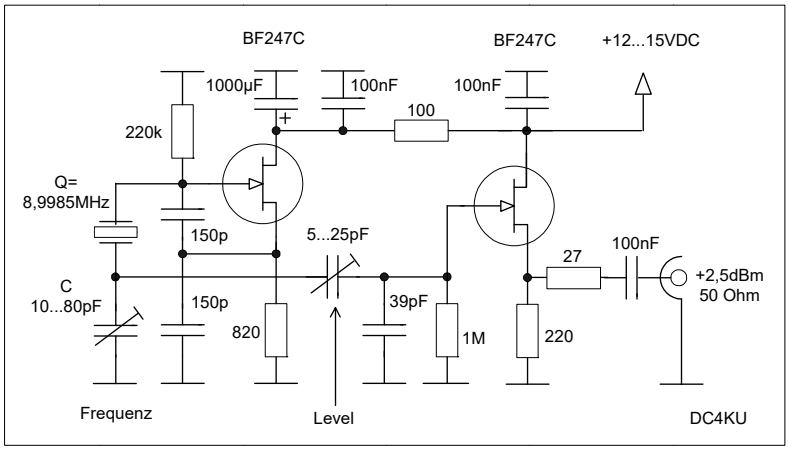


Bild 3: Seitenbandrauschen eines HP8656B Signal Generators in 1 bis 3kHz Abstand zum Träger

Die Messgrenze für SBN-Messungen an Oszillatoren, wird durch die Grenzempfindlichkeit des Analysators vorgegeben. Um das zu demonstrieren, messe ich das SBN eines selbst gebauten Colpitts Quarz-Oszillators **(Bild 4)** (7), der mit einem SSB-Seitenband-Quarz von 8,9985MHz arbeitet und über den Trimmer (C) auf 8,9970MHz gezogen wird und dadurch im Sperrbereich des 9MHz Bandpaßfilters arbeitet.



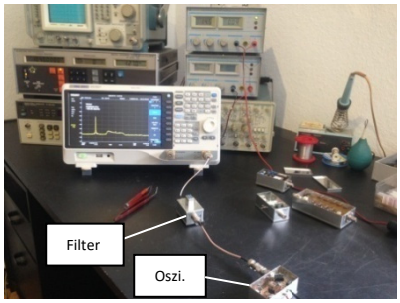


Bild 4: Rauscharmer Quarzoszillator, f=8.9970MHz

Sein gemessenes Seitenbandrauschen beträgt -157,1dBm/Hz in 3kHz Abstand zum Träger und liegt nur noch 5dB über dem Grundrauschen des Analysators von -162dBm/Hz, der Messgrenze des Analysators **(Bild 5)**. Obwohl das SSB-Rauschen (SSB=Single Sideband) kaum noch messbar ist, ist die

Messung nach wie vor gültig, nur muss der angezeigte Messwert jetzt korrigiert werden. Der Grund liegt in der Addition von Grundrauschpegel (N) und Signalpegel (S+N), dessen Pegel über dem tatsächlichen Signalpegel (S) liegt. Ein Signal, das 3dB gemessen über dem Rauschen liegt, hat tatsächlich die gleiche Amplitude wie das Rauschen und vom angezeigten Messwert müssen 3dB abgezogen werden. **Bild 6** zeigt eine Korrekturkurve für kleine Signale, die an das Grundrauschen des Analysators heran reichen. Das tatsächliche SBN des Quarzoszillators beträgt demnach

SBN = -157,1dBm/Hz - 1,6dB = -158,7dBm/Hz

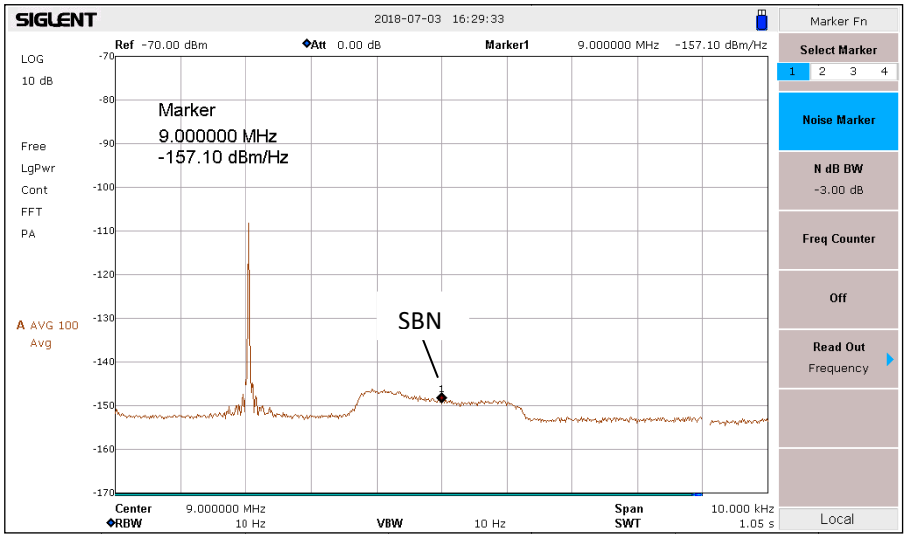


Bild 5: SBN des Quarzoszillators in Bild 15

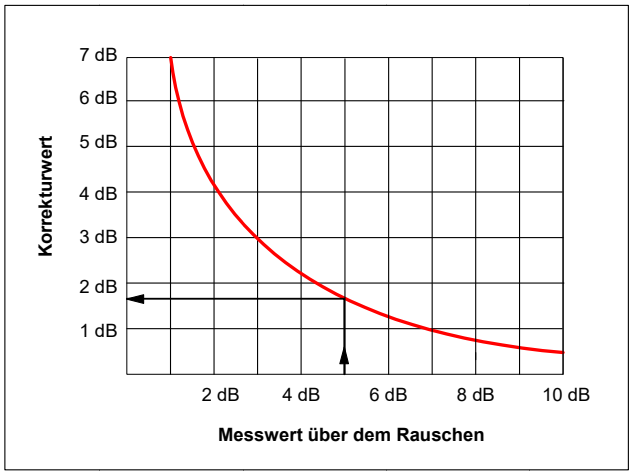


Bild 6: Korrekturkurve bei der Messung kleiner Signale bis 10dB über Rauschen

Anmerkung zu Empfindlichkeit und Oszillatorpegel:

- Die Empfindlichkeit des Analysators lässt sich erhöhen, indem ein weiterer, rauscharmer (20dB) HF-Verstärker vorgeschaltet wird, so dass anschließend SBN-Messungen bis <-170dBm/Hz möglich sind. Hierbei bestimmt die Rauschzahl des zweiten Verstärkers die Grenzempfindlichkeit des Analysators.
- Der Messbereich lässt sich ebenfalls vergrößern, indem der Ausgangspegel Pi des zu testenden Oszillators erhöht wird. Bei der durchgeführten Messung beträgt der Pegel +2,5dBm, damit die Durchgangsdämpfung des Filters von 2,5dB ausgeglichen wird und am Analysator genau 0dBm anliegen. Stattdessen könnte man den Pegel auch auf +10dBm (10mW) oder mehr erhöhen, hierbei sollte man aber vorsichtig sein, denn bei einer solchen Leistung kann man sein Quarzfilter zerstören, wie es mir passiert ist!

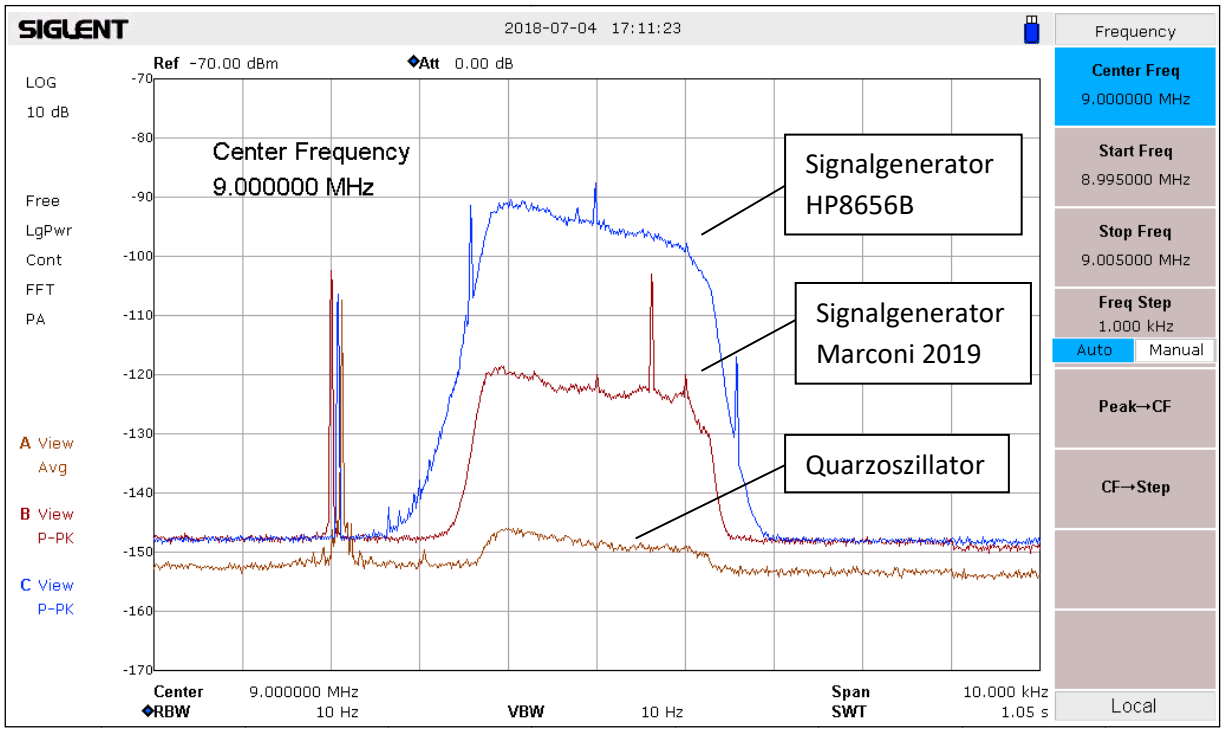


Bild 7: Seitenbandrauschen verschiedener Signalquellen

SBN-Messung mit Hilfe eines Notchfilters

Die SBN-Messung mit Hilfe eines Notchfilters verläuft ähnlich wie zuvor, den Messaufbau zeigt **Bild 8.** Das Signal des zu testenden Oszillators wird hierbei auf die Mittenfrequenz des Notchfilters abgeglichen und dadurch um ca. 100dB gedämpft. Anschließend lässt sich die Empfindlichkeit des Analysators soweit erhöhen (Ref. Level auf -60dBm, Att. 0dB, Preampl. ON), bis das Seitenband-rauschen des zu testenden Oszillators auf beiden Seiten des Notchfilters deutlich erkennbar wird. Das SBN lässt sich auf der rechten oder linken Seite des Notchfilters messen, da es auf beiden Seiten gleich verläuft.

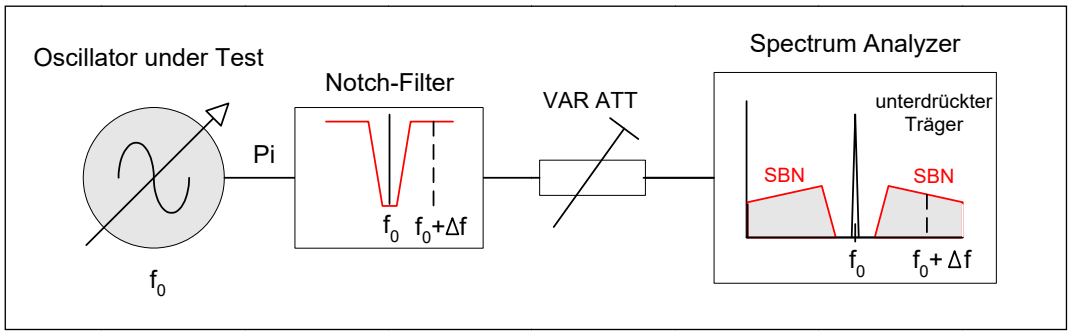


Bild 8: SBN-Messung eines Oszillators mit Hilfe eines Notch-Filter

In **Bild 9** messe ich nochmals das SBN des Marconi Signalgenerators, jetzt mit Hilfe des Notchfilters. Der SBN in 2kHz Abstand beträgt -129,81dBm/Hz und das Ergebnis ist identisch mit der vorherigen Messung über ein Bandpaßfilter.
Der Vorteil einer SBN-Messung mit Hilfe des Notchfilters ist im Bildschirm sofort erkennbar. Der Pegelverlauf des Rauschens kann jetzt, abgängig vom gewähltem Frequenzhub, über einen größeren Frequenzbereich dargestellt werden. Bei Bedarf, kann der Frequenzhub beliebig vergrößert werden.

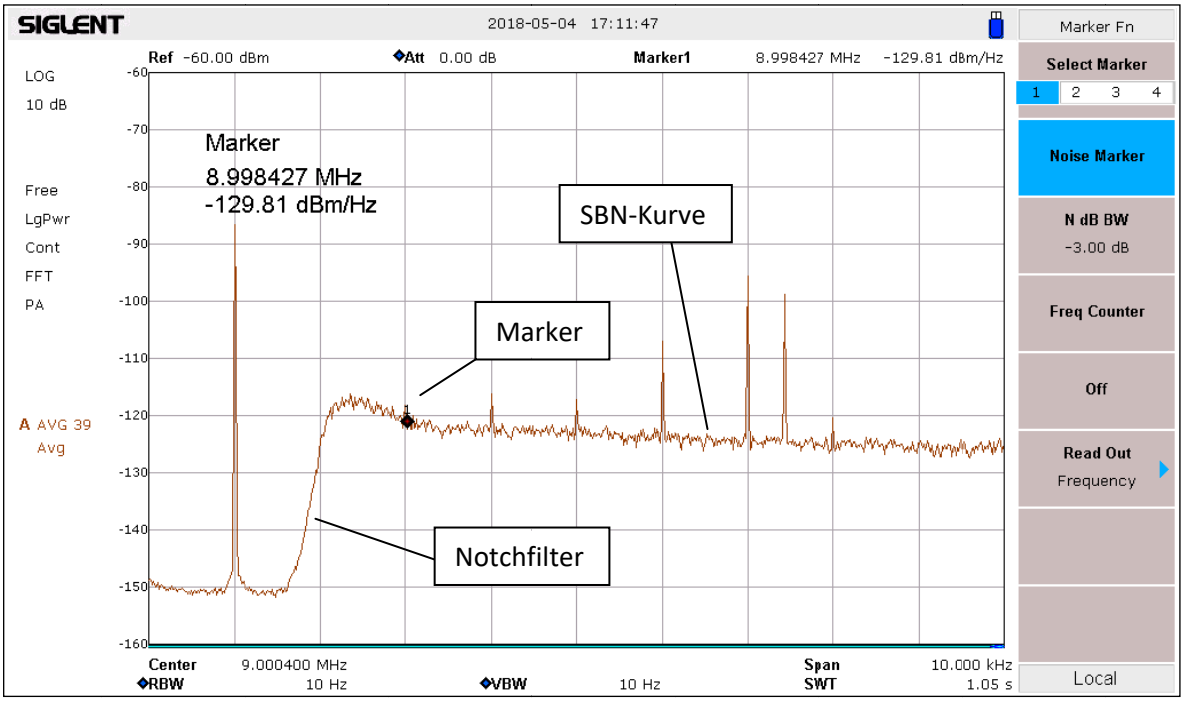


Bild 9: Seitenbandrauschen des Marconi 2019 Signal Generators gemessen mit einem Notchfilter

Erst mit Hilfe des Notchfilters wird erkennbar, dass auch der Marconi Generator in einigen kHz Abstand einige Störsignale (Spurious-Signals) erzeugt. Die Störsignale liegen jedoch 100dB unterhalb des Ausgangssignals (Nutzsignals) von 0dBm und damit noch innerhalb der Spezifikationen des Herstellers.

Meßergebnis in dBm/Hz oder dBc/Hz?

International wird Phasenrauschen und Seitenbandrauschen in dBc/Hz (c=carrier) angegeben, damit die Daten auch mit anderen Oszillatoren oder Sender vergleichbar sind. Ein Spektrumanalysator misst jedoch nur Absolutwerte in dBm und nicht relativ in dBc. Die Umrechnung von dBm/Hz in dBc/Hz ist jedoch einfach. Wenn der Eingangspegel am Analysator im Durchlaßbereich des Filters vor jeder Messung auf **0dBm** eingestellt wurde, dann entspricht der gemessene Absolutwert in dBm/Hz auch dem Relativwert in dBc/Hz (dBm = dBc) bezogen auf den Träger. Beträgt der Messwert des Analysators z.B. **-129,81dBm/Hz** wie in **Bild 9**, dann entspricht dieser Wert auch einem Relativwert von -**129,91dBc/Hz** bezogen auf Trägermaximum von 0dBm. Diese Berechnung stimmt aber nur, wenn das Signal am Eingang des Analysators zuvor auf 0dBm (+2,5dB Dämpfung im Durchlaßbereich) abgestimmt wurde!

Noise-Marker-Funktion

Ältere Spektrumanalysatoren verfügen meist über keine integrierte "Noise-Marker Funktion", bei der die Amplitude eines Rauschsignals bezogen auf 1Hz Bandbreite korrigiert angezeigt wird. Wird ein Rauschsignal über die Standard "dBm-Anzeige" des Analysators gemessen, muss der angezeigte Messwert meist korrigiert werden. Die gewählte Auflösungsbandbreite entspricht im Regelfall nicht der äquivalenten Rauschbandbreite. Weitere Fehler bei Rauschpegelmessungen können durch die Spitzenwertgleichrichtung des Detektors und durch die logarithmische Verstärkung entstehen. Zusammen kann der Messfehler bis 2,5dB betragen, die Angaben des Herstellers sind hier zu beachten.

Zusammenfassung

- Einseitenbandrauschen lässt sich mit Hilfe eines Spektrumanalysator messen
- Bandpaßfilter oder Notchfilter sind zur Unterdrückung des Trägers erforderlich, Dämpfung >90dB

- Empfindlichkeit und Dynamik des Analysators bestimmen die Messgrenze
- Nahe beim Träger kann nicht gemessen werden. Ein Offset von 2...3kHz ist erforderlich, abhängig von der Steilheit der Filterflanke.
- die Durchgangsdämpfung des Filters muss bei Berechnung des SBN beachtet werden.
- Ein HF-Vorverstärker (Gain20...40dB) ist zur Empfindlichkeitssteigerung des Analysators erforderlich

Werner Schnorrenberg
DC4KU
10/2018

Literatur:

(1) Wes Hayward, W7ZOI
Oscillator Noise Evaluation with a Crystal Notch Filter
QEX-July/August 2008

(2) Kurt Hoffelner, OE3HKL
NPR-Q-Notch
www.oe3hkl.com

(3) Transmitter Sideband-Noise, DC4KU
https://Transmitter-Sideband-Noise.pdf