

Messung des Seitenbandrauschens von Empfängern und Oszillatoren

Empfindlichkeit (MDS), Seitenbandrauschen (SBN) und Großsignalfestigkeit (RMDR) zählen nach wie vor zu den wichtigsten Eigenschaften eines Empfängers. Digitale Empfänger sind inzwischen sehr großsignalfest geworden, ein IP_3 läßt sich hier nicht mehr bestimmen und erst bei hoher Aussteuerung arbeitet ein A/D-Wandler mit seinem größten verzerrungsfreien Dynamikumfang, genau umgekehrt wie bei analogen Superhet-Empfängern. Eine 1dB-Kompression und einen "Blocking Dynamic Range" gibt es ebenfalls nicht mehr, stattdessen gerät ein ADC bei Übersteuerung abrupt in Begrenzung. Die Unterschiede zwischen analogen- und digitalen Receivern sind erheblich. Nur das Seitenbandrauschen (SBN) eines Überlagerungsozillators bzw. eines A/D-Wandlers tritt bei analogen- und digitalen Empfängern gleich störend in Erscheinung. Starkes Seitenbandrauschen kann ein kleines Signal in Nachbarschaft eines starken Signals „zudecken“ und den Empfänger im Nutzkanal unempfindlich machen. Beim Mischvorgang moduliert sich das Seitenbandrauschen auf das empfangene Signal auf (reziprokes Mischen) und kann damit zur Blockierung des Empfängers führen. Kleine Signale in der Nähe starker Signale können dann trotz ausreichender Selektion und Empfindlichkeit vom Phasenrauschen des Oszillators bzw. des ADC's zugerauscht werden (**Bild 1**). Ein Empfänger verliert dadurch an Empfindlichkeit und seine Dynamik wird reduziert. Bei direkt abtastenden SDR-Receivern entsteht das Seitenbandrauschen durch das Time-Jittern der ADC-Clock, bei analogen Empfängern durch ein Frequenz-Jittern der Überlagerungsozillatoren. Der durch reziprokes Mischen resultierende Dynamikbereich bezeichnet man als **RMDR (Reciprocal Mixing Dynamic Range)** und ist ein wichtiger Kennwert eines Empfängers (2). Je größer der RMDR umso besser der Empfänger. Moderne, hochwertige Empfänger erreichen in 1kHz Trägerabstand ein RMDR von >110dB bei einem SBN von <140dBc/Hz.

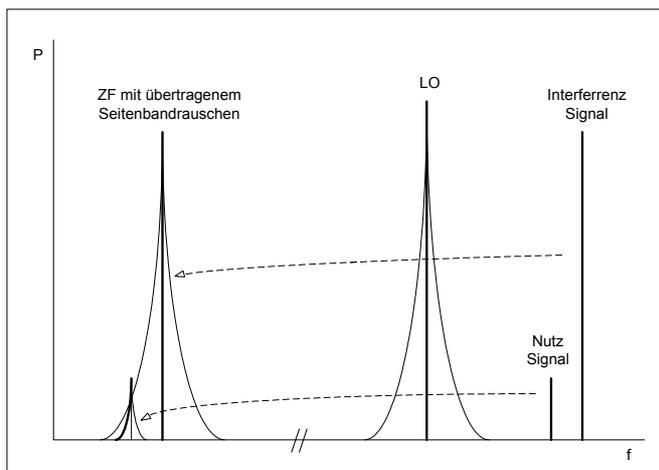


Bild 1: Dynamikverlust durch reziprokes Mischen

Es lohnt sich also, das SBN seines eigenen Empfängers zu kennen. Nachfolgend soll gezeigt werden, wie man das SBN von Empfängern und Oszillatoren mit relativ einfachen Mitteln messen kann. Als Test-Empfänger verwende ich den direktabtastenden SDR ColibriNANO, 122.88MBPS@14Bit (1).

1.) Messung Seitenbandrauschen (SBN) und RMDR eines Empfängers

Den Messaufbau zur Ermittlung von Empfindlichkeit, Seitenbandrauschen und RMDR zeigt **Bild 2**. Zunächst muß die Empfindlichkeit (MDS) des Empfängers ermittelt werden. Dazu legt man ein Oszillatorsignal von 0dBm bei z.B. 9MHz über ein stellbares Dämpfungsglied an den Eingang des Receivers (Betriebsart CW, 500Hz) und stellt den Überlagerungston auf ca. 1kHz ein. Anschließend wird die Dämpfung soweit erhöht, bis der Pegel am Lautsprecherausgang (Ueff) oder am S-Meter nur noch um $(S+N)/N = 3\text{dB}$ gegenüber dem Grundrauschpegel ansteigt. In diesem Moment entspricht der Pegel des eingespeisten HF-Signals dem Grundrauschpegel bzw. der Empfindlichkeit des Empfängers. Beträgt die eingestellte Dämpfung jetzt z.B. 123dB, dann beträgt die Empfindlichkeit des

Empfängers

MDS = -123dBm@500Hz bei $f_e=9\text{MHz}$

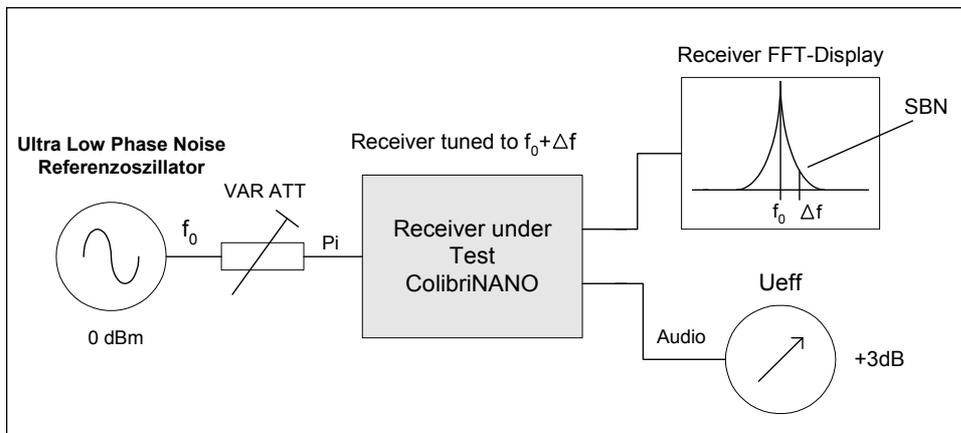


Bild 2: Testaufbau zur Ermittlung von MDS, SBN und RMDR eines Empfänger

Die Messung des **Empfänger-Seitenbandrauschen** verläuft ebenfalls nach der "3dB-Methode", nur das der Empfänger jetzt nicht auf die Oszillatorfrequenz (f_0) abgestimmt wird, sondern auf Abstände von $\Delta f = 500\text{Hz}, 1\text{kHz}, 2\text{kHz}, 3\text{kHz}$ bis 20kHz zu f_0 . Bei diesen Frequenzabständen (Offset) wird der Signalpegel (P_i) des Referenzoszillators - ausgehend von $P_i = -30\text{dBm}$ - jeweils so weit erhöht, bis sich am S-Meter oder Lautsprecherausgang wiederum eine Vergrößerung des Grundrauschpegels $(S+N)/N$ von 3dB ergibt. Die erforderlichen Pegel und der eingestellte Offset werden notiert (Tabelle 1).

Einstellungen am Empfänger: $f = f_0 + \Delta f$, $B=500\text{Hz}$, CW, NR, NB, ANF off, Preamp. off, Sampling Rate 96kHz , AGC off

Offset kHz	Pi dBm	RMDR dB	SBN dBc/Hz
0,5	-23	100	-127
1	-19	104	-131
2	-15	108	-135
3	-14	109	-136
5	-13	110	-137
6	-12	111	-138
7	ADC Clip		

Tabelle 1: Ermitteltes Seitenbandrauschen und RMDR des SDR-ColibriNANO

Ab einen Eingangssignal (P_i) von -12dBm gerät der verwendete SDR in die Sättigung (Clipping), so dass die Messgrenze des Seitenbandrauschens schon bei einem Offset von ca. 6kHz liegt. Lässt sich der zu testende Receiver weiter aussteuern, ohne dabei in Begrenzung zu gehen, kann das das Seitenbandrauschen natürlich auch in größeren Abständen zum Träger ermittelt werden.

Als Beispiel zeigt **Bild 3** die SBN-Messung des Empfängers in einem Offset von 6kHz . Bei einem Eingangspegel von $P_i = -12\text{dBm}$ zeigt das S-Meter einen Anstieg des Grundrauschens von 3dB an. Das Grundrauschen ist von zuvor -123dBm (ohne Signal) auf $-120,1\text{dBm}$ angestiegen.

Daraus berechnet sich bei einem Offset von 6kHz ein SBN von

$$\text{SBN} = \text{MDS} - P_i - 10 \log B = -123\text{dBm/Hz} - (-12\text{dBm}) - 10 \log 500 = -138\text{dBc/Hz}$$

und ein RMDR von

$$\text{RMDR} = P_i - \text{MDS} = -12\text{dBm} - (-123\text{dBm}) = 111\text{dB}$$

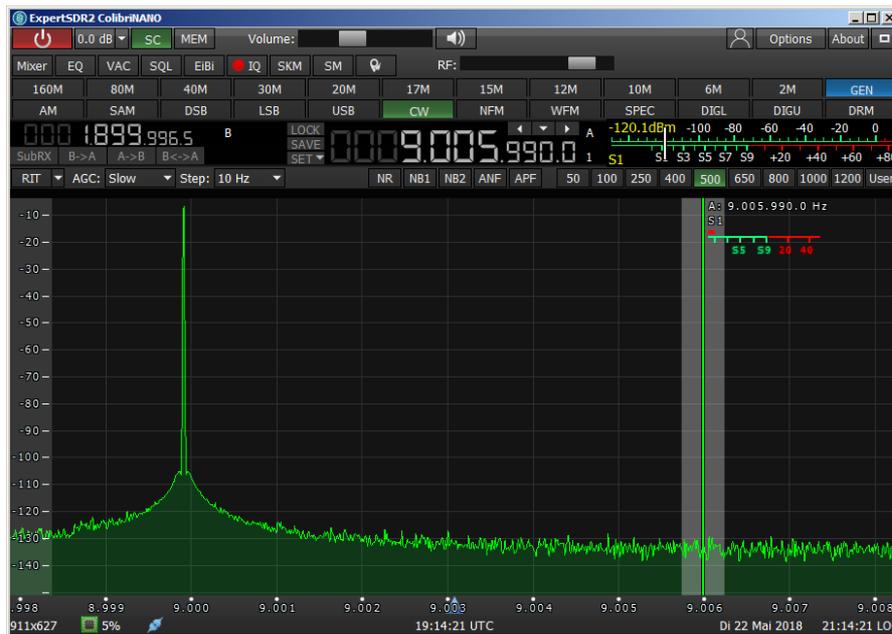


Bild 3: SBN-Messung in einem Offset von 6kHz, $f_0=9\text{MHz}$

Messergebnis:

Der durch reziprokes Mischen bestimmte Dynamikumfang RMDR des ColibriNANO von über 100dB ist größer, als der zuvor ermittelte maximale IM3-Abstand von 94dB (1). Das Seitenbandrauschen des SDR-Receiver reduziert seinen maximalen Dynamikumfang demnach nicht.

Messen wir das "Phasenrauschen" oder "Seitenbandrauschen" des Empfängers?

Wir messen das Seitenbandrauschen (SNB). Das Seitenbandrauschen eines Oszillators besteht aus mehreren Komponenten z.B. aus Phasen- und Amplitudenrauschen, wobei das Phasenrauschen im Regelfall den größten Anteil hat. Bei der hier beschriebenen direkten Meßmethode, bei dem der Receiver selbst als Messgerät dient, ermittelt man immer das kumulative Seitenbandrauschen des Empfängers, weshalb ich lieber die Bezeichnung Seitenbandrauschen als Phasenrauschen verwende.

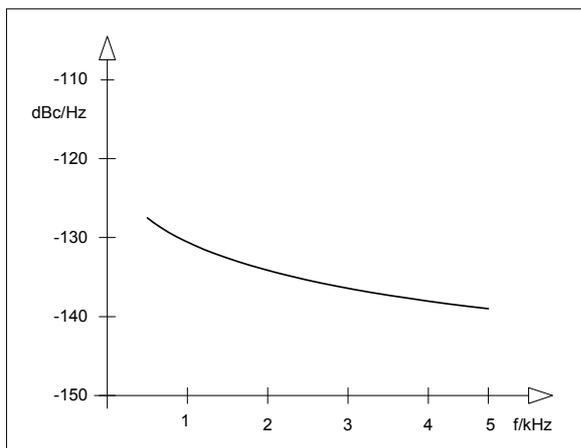


Bild 4: Seitenbandrauschkurve des ColibriNANO

Anders sieht es aus, wenn der Empfänger durch ein benachbartes, stark verrauschtes Signal belastet wird. Hierbei entsteht durch reziprokes Mischen wiederum ein störendes Rauschband, welches die Empfindlichkeit im Empfangskanal verringern kann. Hiergegen kann auch ein rauschfreier Empfänger nichts machen. Reziprokes Mischen funktioniert eben in beide Richtungen! Deswegen ist es für einen ungestörten Funkbetrieb grundsätzlich wichtig, dass auch alle Sendesignale mit sehr geringem Seitenbandrauschen ausgestrahlt werden!

1.1) Anforderungen an den Referenzoszillator

Zur Messung des SBN eines Empfängers benötigt man ein sehr rauscharmes Referenzsignal. Das SBN des verwendeten Testoszillators muß auf jeden Fall 10dB kleiner sein, als das SBN des zu messenden Empfängers, ansonsten misst man das Seitenbandrauschen der Signalquelle und nicht das des Empfängers. Optimal geeignet für solche Messungen sind sog. "ultrarauscharme OCXO's", wie z.B. der 10MHz-OCXO O40.806306-LF von KVG (**Bild 5**), der mir für Testzwecke von KVG zur Verfügung gestellt wurde. Dieser Referenz-Oszillator liefert bei 10MHz ein extrem rauscharmes HF-Signal, mit gleichzeitig hoher Frequenzgenauigkeit. Sein Phasenrauschen beträgt lediglich -168dBc/Hz in 1kHz Abstand zum Träger.

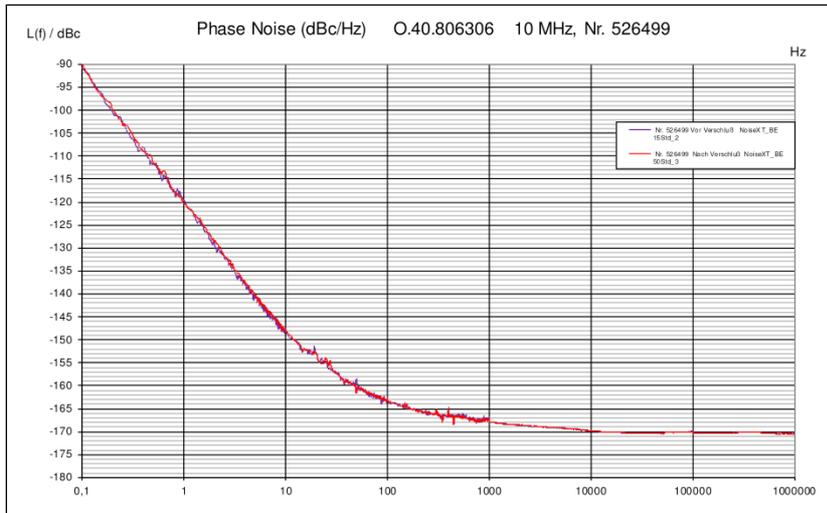


Bild 5: Phasenrauschkurve des KVG 10MHz OCXO

KVG OCXO in ein Gehäuse eingebaut

Nicht jeder OM hat einen solchen "Ultra Low Phase Noise-Generator" in seiner Bastelkiste, doch mit einem Trick kann man sich helfen und aus einem selbst gebauten Quarzoszillator oder einem HF-Generator einen sehr rauscharmen Oszillator machen, der anschließend auch für SBN-Messungen geeignet ist. Dazu benötigt man ein steilflankiges Bandpaß- oder Kerbfilter (Notchfilter).

1.2) Rauschverbesserung des Referenzoszillators durch Bandpaßfilter

Zwischen Referenzoszillator und Empfänger wird ein schmalbandiges und steiles Bandpaßfilter geschaltet und der Oszillator auf die Mittenfrequenz des Filters abgeglichen (**Bild 6**). Außerhalb des Filter-Durchlassbereichs unterdrücken die Flanken des Filters jetzt die Rauschseitenbänder des verwendeten Oszillators. Die SBN-Messung des Empfängers erfolgt anschließend im Sperrbereich des Filters, entweder oberhalb oder unterhalb des Durchlaßbereiches.

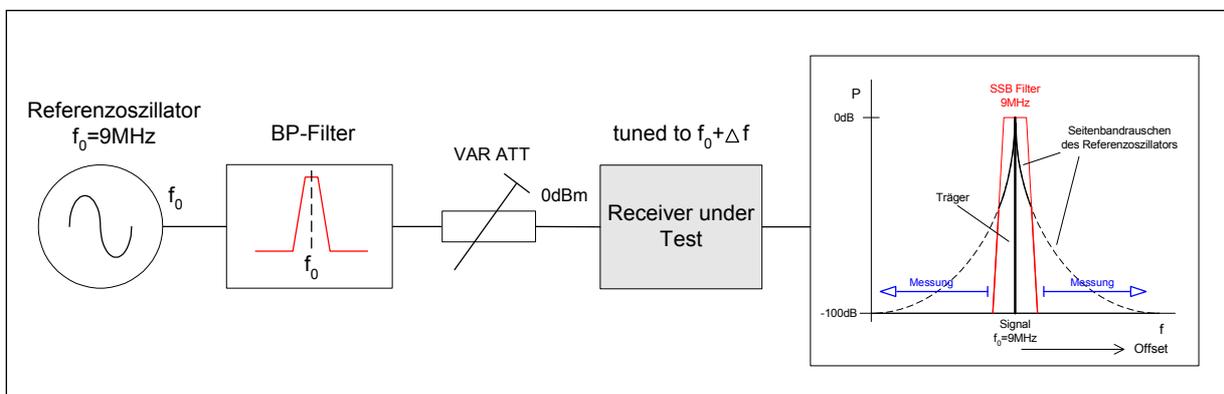


Bild 6: SBN-Reduzierung des Referenzoszillators mit Hilfe eines Bandpaßfilters

Als rauschbegrenzendes Bandpaßfilter verwende ich ein 9 MHz-Quarzfilter (FA) und als Referenz-Oszillator einen Quarzoszillator nach **Bild 15** oder das Signal eines HF-Signalgenerators (Marconi 2019). **Bild 7** zeigt die Übertragungskurve des SSB-Filters und **Bild 8** den Schaltplan des Filters. Die Sperrdämpfung beträgt >100dB und die Durchgangsdämpfung nur 2,5dB. Aufgrund der geringen Bandbreite von 2,4kHz und der steilen Filterflanken, ist eine SBN-Messung bereits im Abstand von $f_0=9\text{MHz} \pm 2\text{...}3\text{kHz}$ möglich.

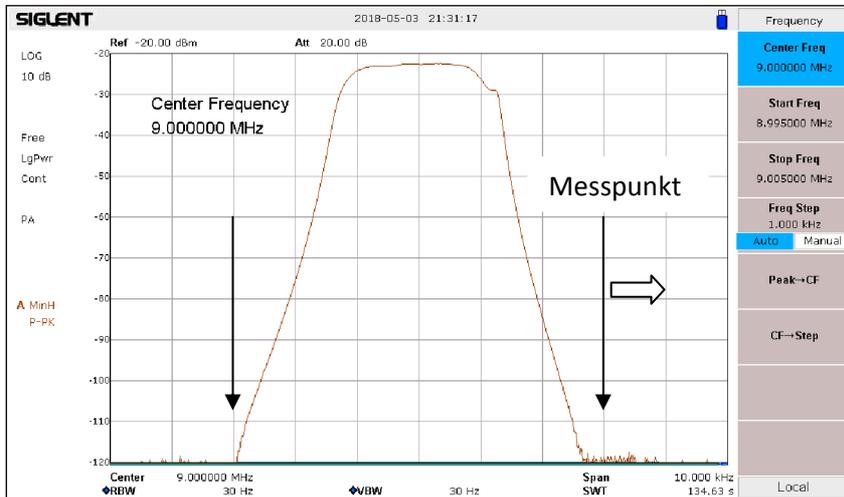


Bild 7: Übertragungskurve des 9MHz-SSB-Quarzfilters (links) und Aufbau des Filters in ein Gehäuse (rechts)

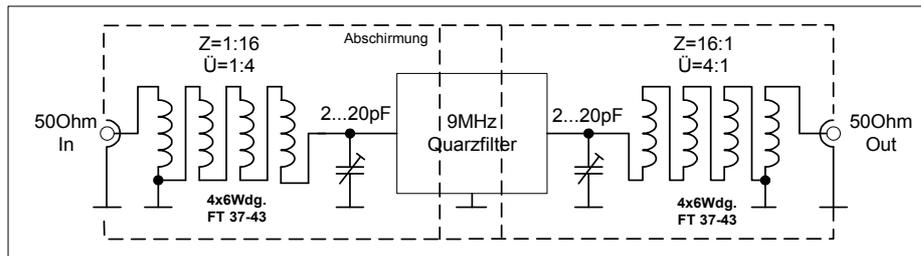


Bild 8: Schaltplan SSB-Quarzfilter

1.3) Rauschverbesserung des Referenzoszillators durch ein Notchfilter

Bei Verwendung eines Kerbfilters (Notch Filter) wird der Empfänger auf die Sperrfrequenz eines Notchfilters (f_0) abgeglichen und die Frequenz des Referenzoszillators im Abstand von 2...3kHz zur Mittenfrequenz des Notchfilters, in den beginnenden Durchlaßbereich des Filters (**Bild 9**) eingestellt. Sämtliche Signale im Sockel des Kerbfilters werden jetzt massiv unterdrückt und somit auch das störende SBN des Referenzoszillators. Alles, was jetzt im Sockel des Notchfilters noch messbar ist, ist das Seitenbandrauschen des zu testenden Receivers.

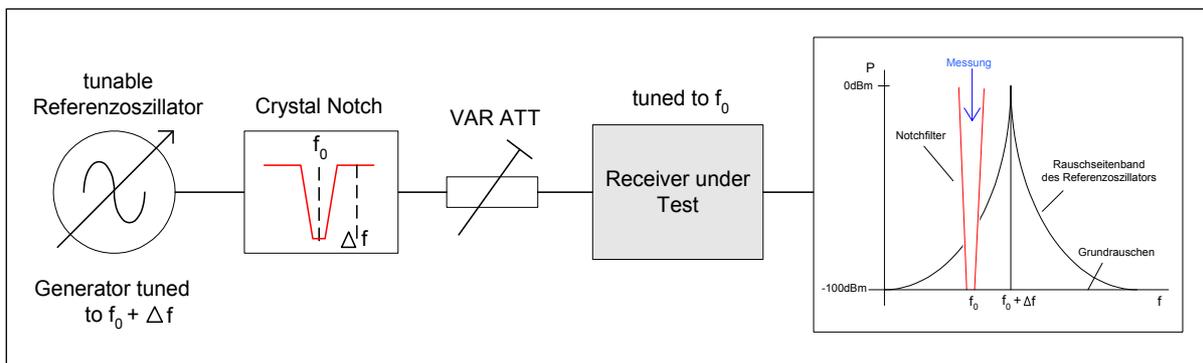


Bild 9: Rauschreduzierung des Referenzoszillators mit Hilfe eines Notchfilters

Im Beispiel verwende ich ein Notchfilter mit fünf 9MHz-Quarzen (FA), nach einem Bauvorschlag von W7ZOI (2) und OE3HKL (3) (**Bild 11**). Die Sperrdämpfung beträgt fast 100dB und die Durchgangsdämpfung nur 2,5dB. Die Mittenfrequenz (f_0) des Notchfilters liegt bei 8,9964MHz und die Bandbreite im Sockel beträgt nur ca. 1kHz. Aufgrund der steilen Filterflanken, sind Empfänger SBN-Messungen schon in einem Trägerabstand von 2 kHz möglich (**Bild10**).

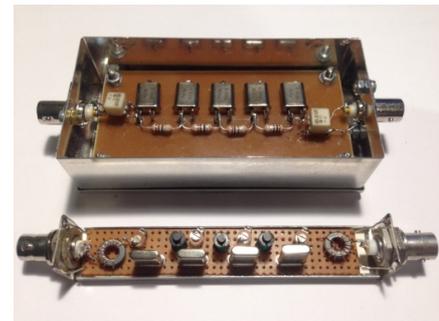
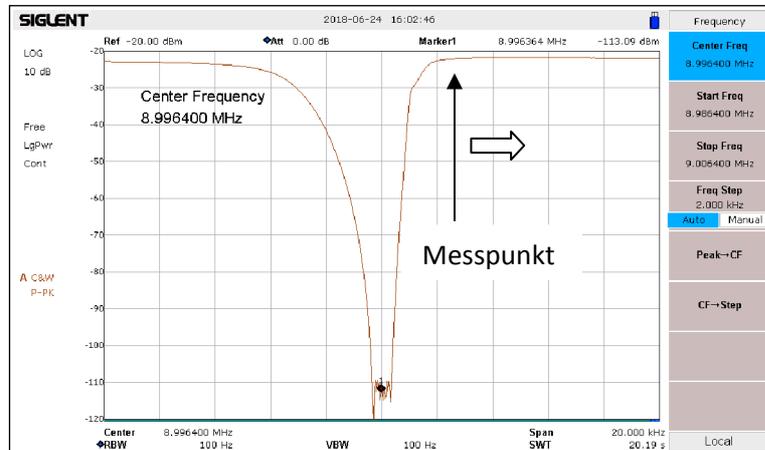


Bild 10: Übertragungskurve (links) und Aufbau des 9MHz-Notchfilters mit 4 und 5 Quarzen (rechts)

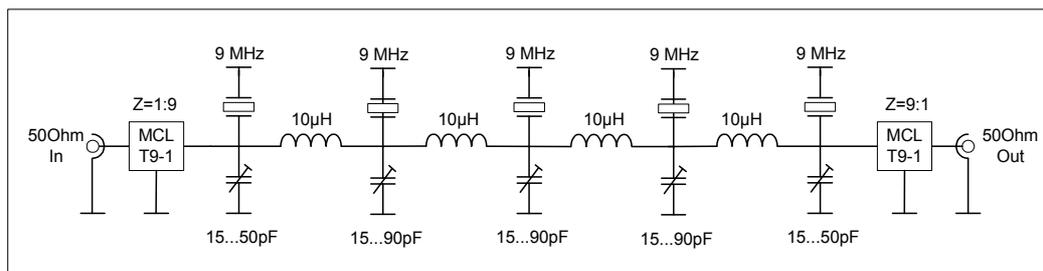


Bild 11: Schaltplan des 9MHz-Quarz-Notchfilters, Notchfrequenz 8,996400MHz

Hinweis: Wer einen selbst gebauten Oszillator oder Messsender für SBN-Messungen an einem Receiver einsetzen will und sich nicht sicher ist, wie gut das SBN des verwendeten Testoszillators ist, sollte auf jeden Fall mit Filtern arbeiten. Der einzige Nachteil dieser Meßmethode ist, dass man das SBN des Empfängers erst ab einem Trägerabstand von 2...3kHz messen kann. Steile Filterflanken sind deswegen zweckmäßig. Wer ohne rauschbegrenzende Filter arbeiten will, benötigt einen von Haus aus ultraschallarmen Testoszillator, wie der 10MHz OCXO von KVG. Hiermit läßt sich das SBN eines Empfängers bis zu einem Trägerabstand von 500Hz (CW) messen.

Zusammenfassung

- relativ einfacher Messaufbau
- SBN-Messung über das reziproke Mischen des Empfängers, Empfänger agiert als Messgerät
- steile Filter verbessern das Rauschverhalten des Referenzoszillators
- Nahe beim Träger kann nicht gemessen werden. In Betriebsart CW erst im Abstand von ca. 2kHz.
- die Durchgangsdämpfung des verwendeten Filters muß bei der SBN-Berechnung beachtet werden
- zur SBN-Messung wird ein relativ starkes CW-Signal in den Empfänger eingespeist. Vorsicht vor Kompression und Blocking des Empfängers.

2.) 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 12** und mit einem Notchfilter **Bild 18**. Die Filter haben jetzt nicht die Aufgabe der Rauschunterdrückung, sondern der Unterdrückung des zu testenden Oszillatorsignals.

2.1) Oszillator 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 $P_i=0\text{dBm}$ anliegt.

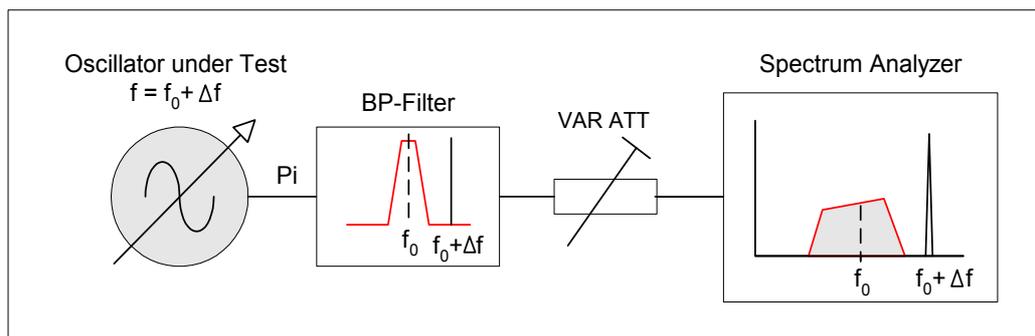


Bild 12: Messung des Seitenbandrauschens eines Oszillators mit Hilfe eines BP-Filters

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 100dB ab (**s. Bild 7**), so dass der Referenzpegel des Analysators auf -60dBm verkleinert werden kann, ohne dass der Analysator hierbei übersteuert wird. Zusätzlich wird der im Analysator eingebaute $+20\text{dB}$ HF-Preampplifier eingeschaltet. Falls der Analysator über keinen zuschaltbaren HF-Vorverstärker verfügt, muß ein externer HF-Verstärker vorgeschaltet werden. Das Ergebnis der Messung zeigt **Bild 13**. 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 $-129,43\text{dBm/Hz}$ in 2kHz Abstand zum Träger.

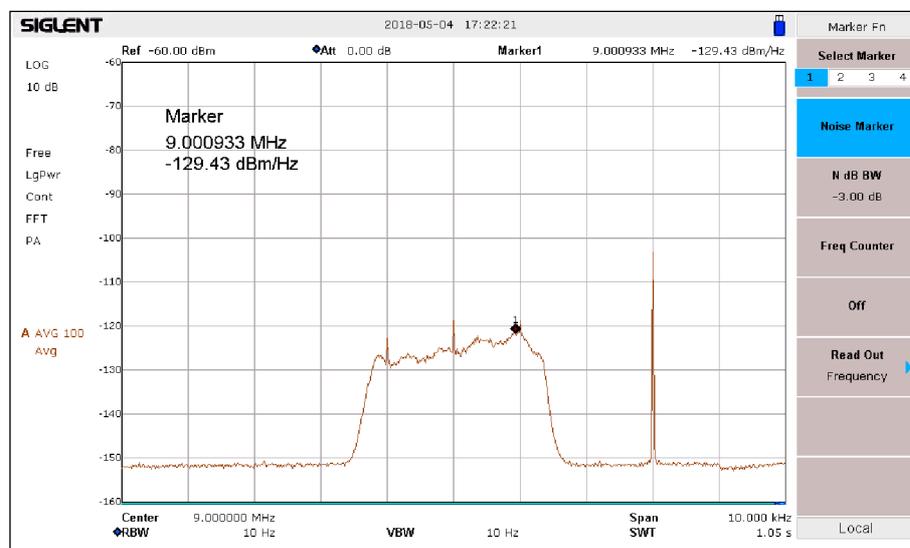


Bild 13: Seitenbandrauschen des Marconi Signal Generators in 2 bis 4kHz Abstand zum Träger, Span10kHz

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.

Bild 14 zeigt die gleiche Messung, 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.

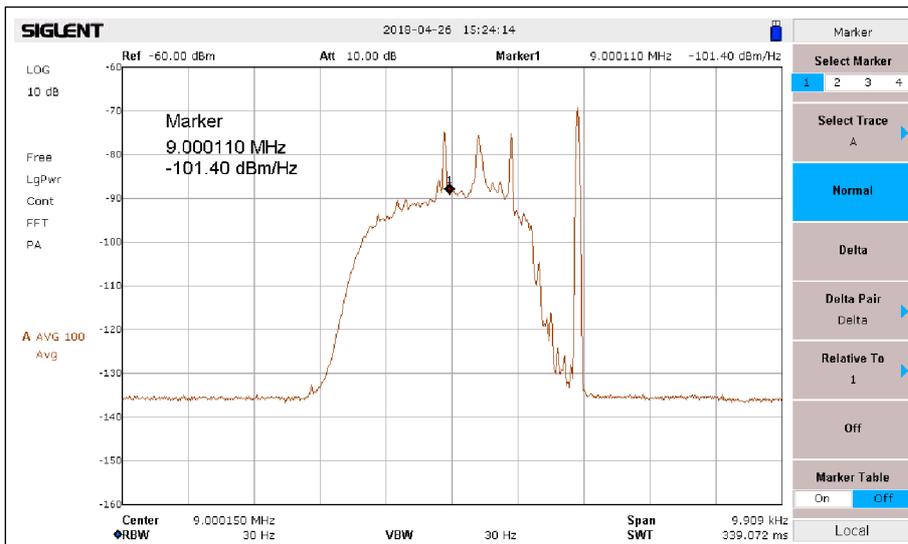


Bild 14: Seitenbandrauschen eines HP8656B Signal Generators in 1 bis 3kHz Abstand zum Träger

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 Quarzoszillators (**Bild 15**) (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.

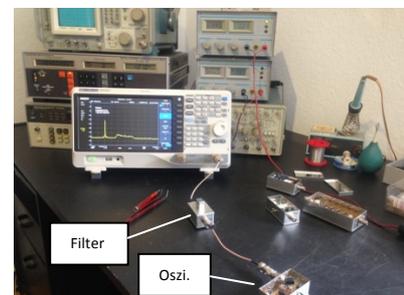
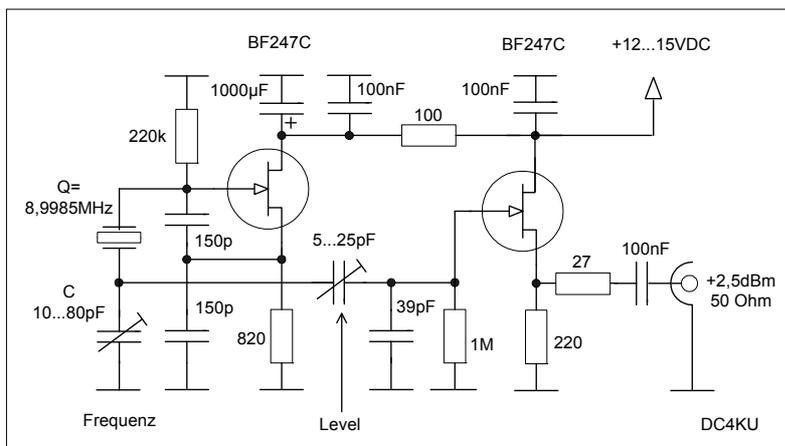


Bild 15: Rauscharmer Quarzoszillator, f=8.9970MHz

Sein gemessenes Seitenbandrauschen beträgt $-157,1\text{dBm/Hz}$ in 3kHz Abstand zum Träger und liegt nur noch 5dB über dem Grundrauschen des Analysators von -162dBm/Hz , der Messgrenze des Analysators (**Bild 16**). 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 17** zeigt eine Korrekturkurve für kleine Signale, die an das Grundrauschen des Analysators heran reichen. Das tatsächliche SBN des Quarzoszillators beträgt demnach

$$\text{SBN} = -157,1\text{dBm/Hz} - 1,6\text{dB} = -158,7\text{dBm/Hz}$$

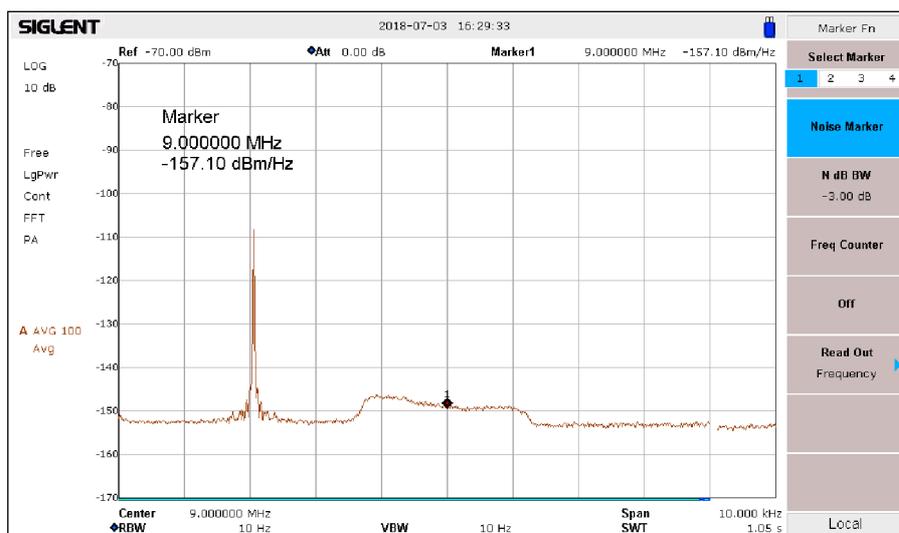


Bild 16: SBN des Quarzoszillators in Bild 15

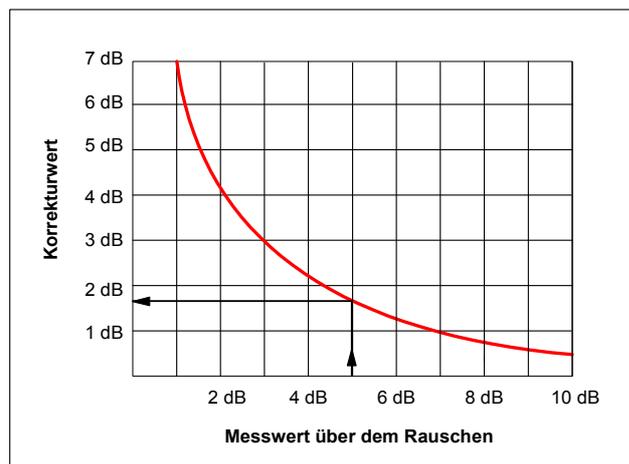


Bild 17: Korrekturkurve bei der Messung kleiner Signale bis 10dB über Rauschen

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 $<-170\text{dBm/Hz}$ möglich sind. Hierbei bestimmt die Rauschzahl des zweiten Verstärkers die Grenzempfindlichkeit des Analysators.
- Der Messbereich läßt sich ebenfalls vergrößern, indem der Ausgangspegel P_i des zu testenden Oszillators erhöht wird. Bei der durchgeführten Messung beträgt der Pegel $+2,5\text{dBm}$, damit die Durchgangsdämpfung des Filters von $2,5\text{dB}$ 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!

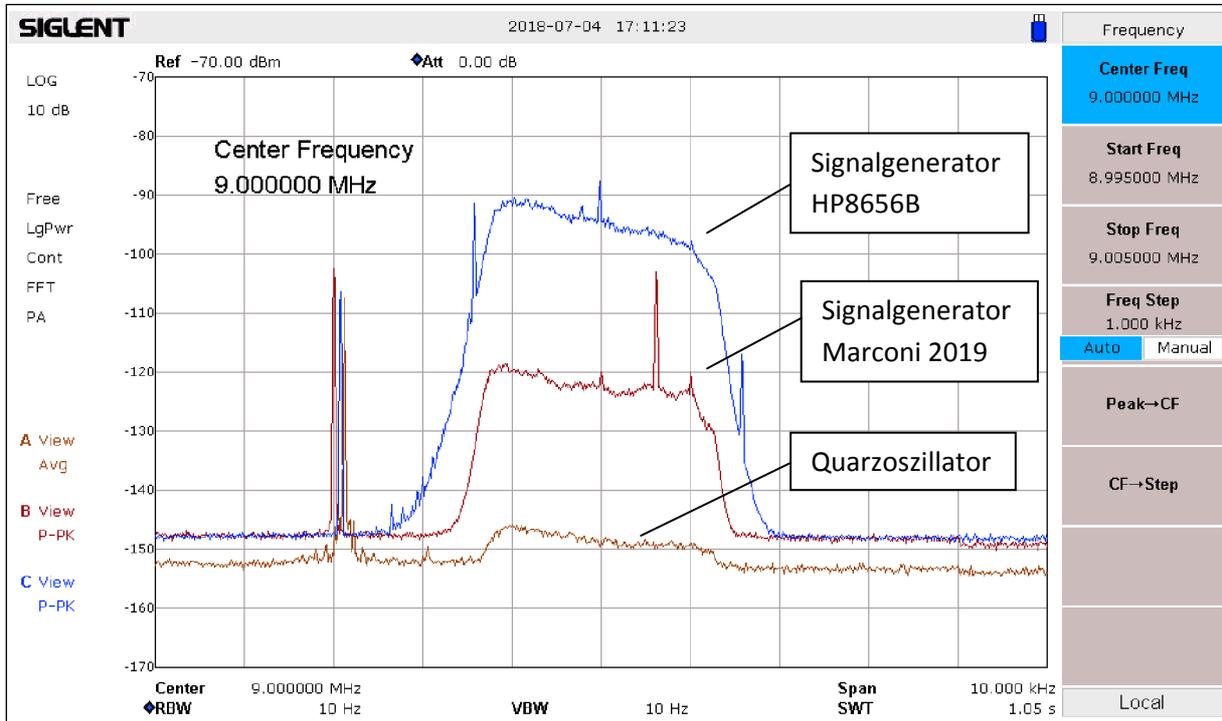


Bild 18: Seitenbandrauschen verschiedener Signalquellen

2.2) Oszillator SBN-Messung mit Hilfe eines Notchfilters

Die SBN-Messung mit Hilfe eines Notchfilters verläuft ähnlich wie zuvor, den Messaufbau zeigt **Bild 19**. Das Signal des zu testenden Oszillators wird hierbei auf die Mittenfrequenz des Notchfilters abgeglichen und dadurch um ca. 100dB gedämpft. Anschließend wird die Empfindlichkeit des Analysators soweit erhöht (Ref. Level auf -60dBm, Att. 0dB, Preampl. ON), bis das Seitenbandrauschen 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. Zur Messung verwende ich die rechte Seite meines Notchfilters (**s. Bild 10**), weil die Filterflanke auf dieser Seite sehr steil ist, die Durchgangsdämpfung nur 2,5dB beträgt und der Verlauf der Dämpfung im Durchlaßbereich geradlinig verläuft.

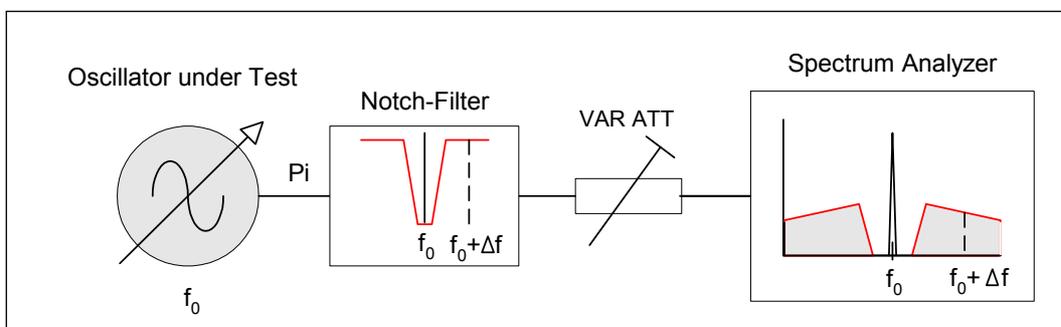


Bild 19: SBN-Messung eines Oszillators mit Hilfe eines Notchfilter

In **Bild 20** messe ich nochmals das SBN des Marconi Signalgenerators, jetzt mit Hilfe des Notchfilters. Der SBN in 2kHz Abstand beträgt $-129,81\text{dBm/Hz}$ und das Ergebnis ist identisch mit der vorherigen Messung über ein Bandpassfilter.

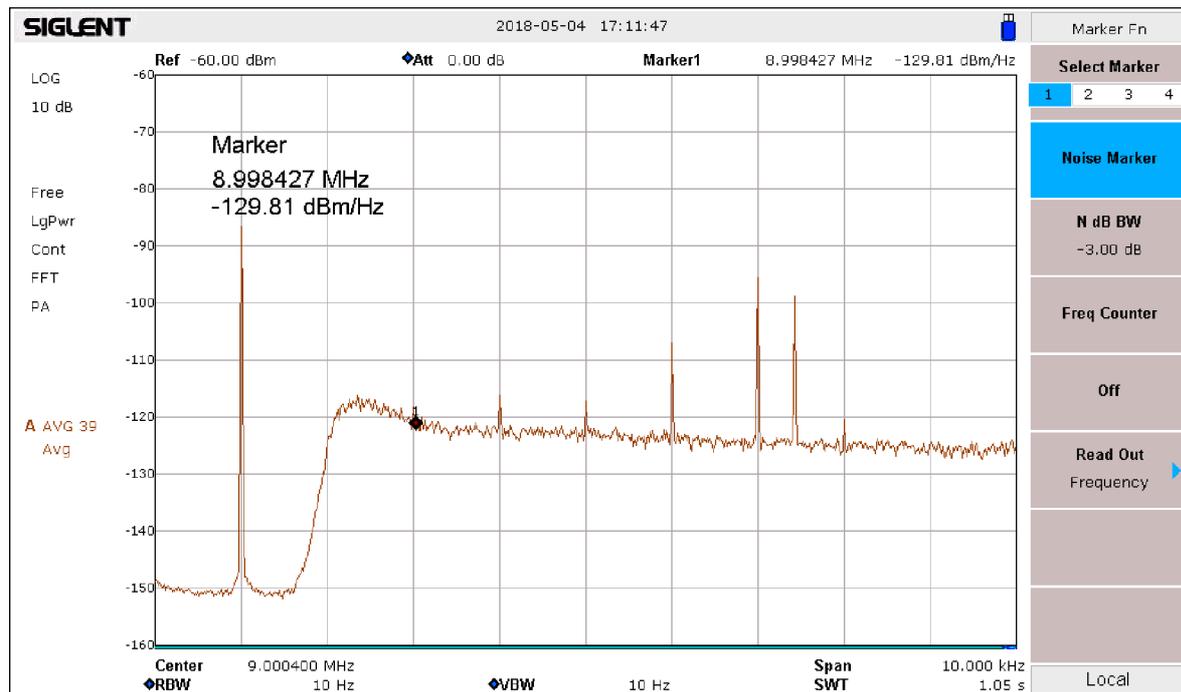


Bild 20: Seitenbandrauschen des Marconi 2019 Signal Generators gemessen mit einem Notchfilter

Der Vorteil einer SBN-Messung mit Hilfe des Notchfilters ist im Bildschirm sofort erkennbar, der Pegelverlauf des Rauschens kann jetzt, abgänglich vom gewähltem Frequenzhub, über einen größeren Frequenzbereich dargestellt werden. Bei Bedarf, kann der Frequenzhub beliebig vergrößert werden. Erst mit Hilfe des Notchfilters wird erkennbar, dass auch der Marconi Generator in einigen kHz Abstand einige Störsignale (Spurious) 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?

Ein Spektrumanalysator misst nur Absolutwerte in dBm und nicht relativ in dBc ($\text{dBc} = \text{dB off carrier}$). 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. Beträgt der Messwert des Analysators z.B. $-129,81\text{dBm/Hz}$ wie in **Bild 20**, dann entspricht dieser Wert auch einem Relativwert bezogen auf Trägermaximum von $-129,81\text{dBc/Hz}$. Diese Berechnung stimmt aber nur, wenn das Signal am Eingang des Analysators zuvor auf 0dBm 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

- Das Oszillator Einseitenband-Rauschen wird direkt über einen Analysator als Empfänger gemessen.
- Bandpass- und/oder Notchfilter zur Unterdrückung des Signals erforderlich, Dämpfung >90dB.
- Empfindlichkeit und Dynamik des Analysators geben die Messgrenze vor.
- 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 der Berechnung des SBN beachtet werden.
- Ein HF-Vorverstärker (Gain20...40dB) ist zur Empfindlichkeitssteigerung des Analysators erforderlich

Werner Schnorrenberg
DC4KU
06.08.2018

Literatur:

- (1) W.Schnorrenberg, DC4KU
ColibriNANO-direktabtastender Empfänger für 10kHz bis 55MHz
FUNKAMATEUR 03/2018
- (2) Bernd Petermann DJ1TO, Adam Farson VA7OJ, AB4OJ
SDR der gehobenen Mittelklasse: ICOM IC-7610
Funkamateure 06/2018
- (3) Wes Hayward, W7ZOI
Oscillator Noise Evaluation with a Crystal Notch Filter
QEX-July/August 2008
- (4) Kurt Hoffelner, OE3HKL
NPR-Q-Notch
www.oe3hkl.com
- (5) Adam Farson, VA7OJ/AB4OJ
HF Receiver Testing
<http://www.ab4oj.com/test/docs/rcvrtest.pdf>
- (6) Bernd Petermann, DJ1TO
ATD-200A - das Schweizer Wunder: voll digital mit Messgerätequalität
Funkamateure 01/2010
- (7) W. Schnorrenberg, DC4KU
HF-Zweitongenerator für Intermodulationsmessungen
Funkamateure 08/2016 ... 12/2016
- (8) Michael Martin, DJ7VY
Rauscharmer Oszillator für Empfängereingangsteil mit großem Dynamikbereich
CQ-DL 12/78

Verwendete Geräte:

SDR-Receiver ColibriNANO



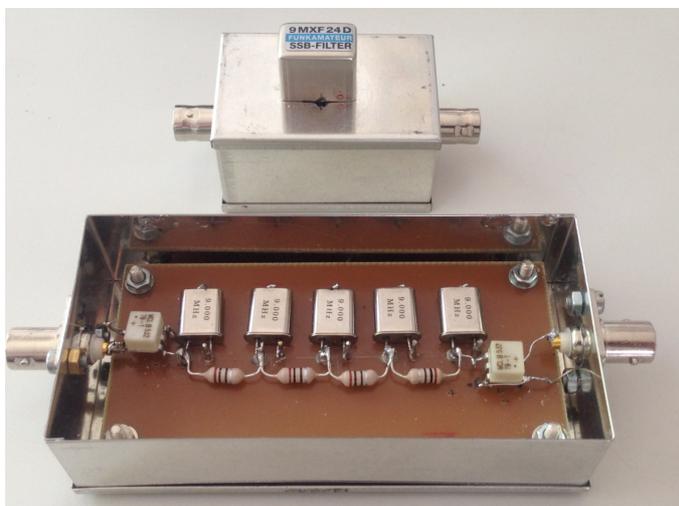
Marconi 2019 Signal Generator



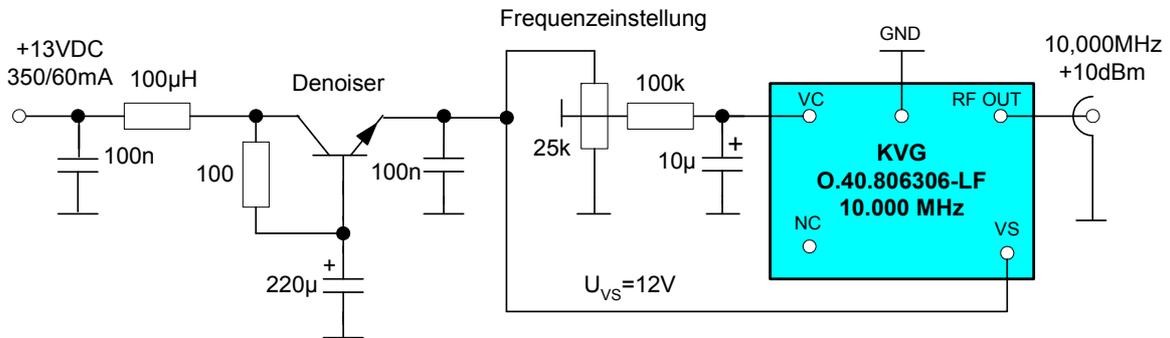
HP8656B Signal Generator



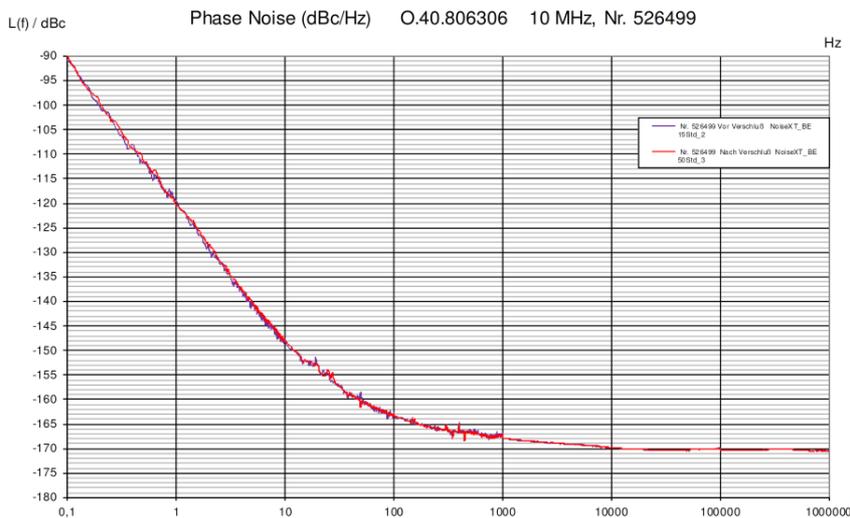
Bandpass- und Notchfilter für SBN-Messungen



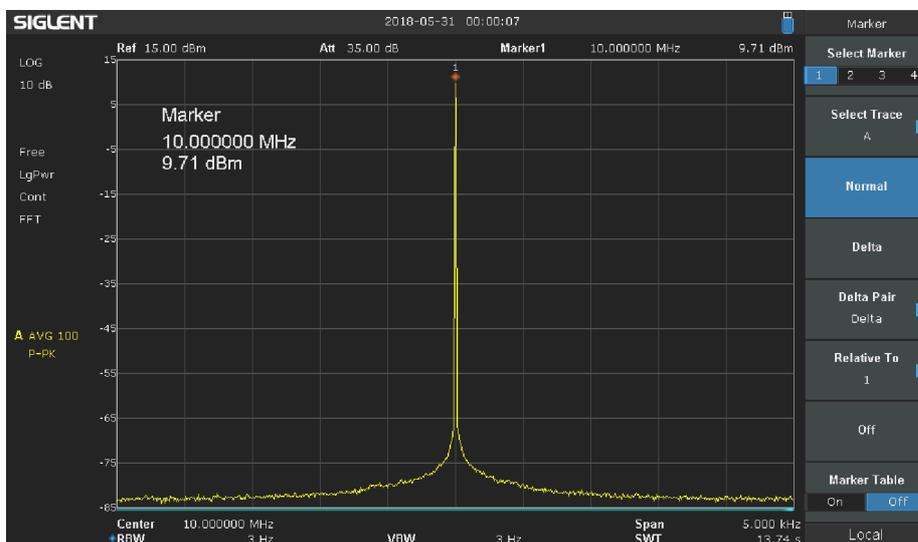
KVG, Low Phase Noise OCXO 10MHz



KVG 10 MHz OCXO mit externer Stromversorgung und Frequenzeinstellung



Seitenbandrauschkurve (links) und Einbau in Gehäuse mit Stromversorgung (rechts)



Spektrum des KVG 10MHz Low Phase Noise OCXO