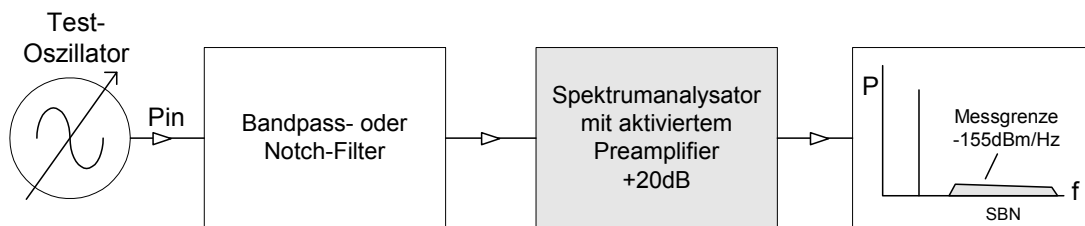


## Messung von Oszillator-Phasenrauschen bis $-170\text{dBc}/\text{Hz}$

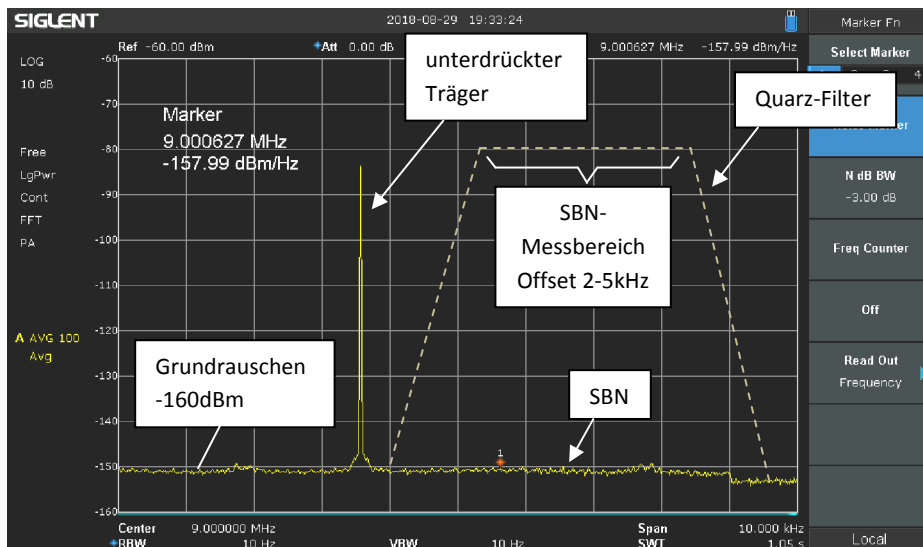
Mit Hilfe eines Spektrumanalysators, läßt sich das Phasenrauschen eines Oszillators direkt messen. Damit der Analysator bei dieser Messung nicht übersteuert wird, muss der Pegel des Oszillator-signals durch einen Bandpass- oder eine Bandsperre (Notch Filter) stark unterdrückt werden, so dass die Rauschseitenbänder des Oszillators im Durchlaßbereich des Filters anschließend fehlerfrei gemessen werden können. Für eine solche Messung, muß der Analysator grundsätzlich auf seine höchste Empfindlichkeit eingestellt werden. Dazu verfügen moderne Analysatoren über einen internen, zuschaltbaren HF-Vorverstärker (Preamplifier) und erreichen damit Empfindlichkeiten von bis zu  $-160\text{dBm}/\text{Hz}$ .

So lassen sich Seitenbandrauschwerte (SBN) von bis zu ca.  $-155\text{dBm}/\text{Hz}$  ermitteln, wobei der Pegel des gemessene Seitenbandrauschens immer um etwa  $10\text{dB}$  größer sein sollte, als das erzeugte Grundrauschen des Analysators, damit der Messfehler gering bleibt (1).



**Bild 1: Messaufbau für SBN-Messung an Oszillatoren**

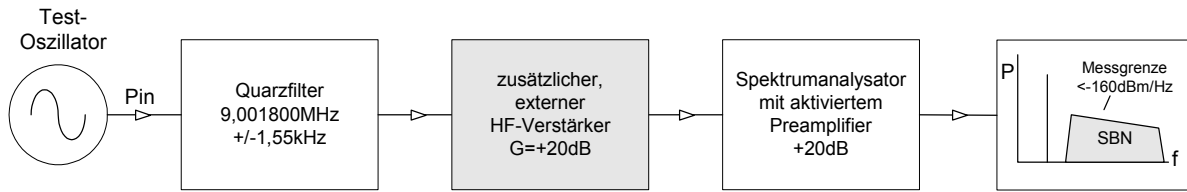
**Bild 1** zeigt den typischen Messaufbau für SBN-Messung an Oszillatoren und **Bild 2** die Messgrenze des verwendeten Analysators, mit aktiviertem  $20\text{dB}$ -Vorverstärker. Zur Unterdrückung des Oszillator-signals, wurde ein steiles  $9.001800\text{ MHz}$ -Quarz-Bandfilter (KVG), Bandbreite  $3,1\text{ kHz}$ , Selektion  $>80\text{ dB}$  eingesetzt. Trotz eingeschaltetem Vorverstärker, ist das SBN des zu testenden Oszillators (**Bild 4**) im Abstand (Offset) von  $2$  bis  $5\text{ kHz}$  offensichtlich kleiner als  $-160\text{dBm}/\text{Hz}$ , so dass es im Grundrauschen des Analysators verschwindet und nicht mehr zu ermitteln ist.



**Bild 2: Messgrenze des Analysators**

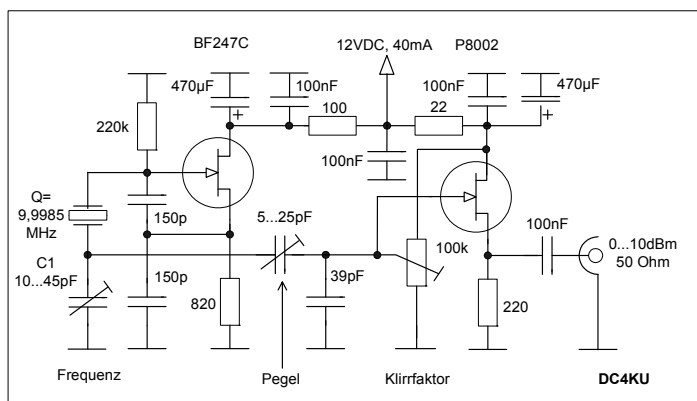
Um das SBN noch sichtbar zu machen, besteht nur noch die Möglichkeit, den Pegel des Oszillators zu vergrößern, die Dämpfung (Att.) zu verkleinern oder die Empfindlichkeit des Analysators nochmals zu erhöhen, indem ein weiterer HF-Vorverstärker vorgeschaltet wird. Bei Vergrößerung des Pegels (Pin) steigt der Seitenband-Rauschpegel zwar an, aber bei  $\text{Pin} = +10\text{dBm}$  oder mehr, kann das verwendete Bandpass-Filter in Begrenzung geraten und beschädigt werden. Deswegen verwende ich zur

Steigerung der Empfindlichkeit des Analysators einen weiteren HF-Vorverstärker (LNA), der zwischen Filter und Analysator geschaltet wird (**Bild 3**).

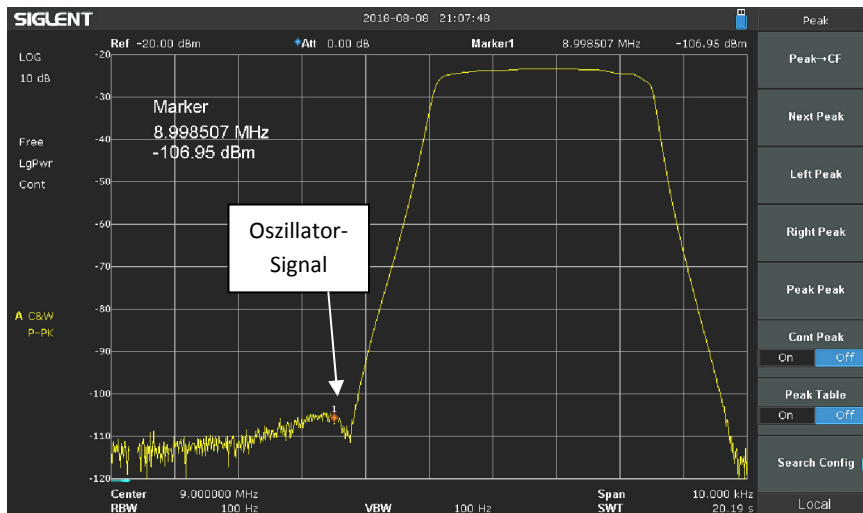


**Bild 3: Messaufbau für Oszillator SBN-Messungen von bis -170dBm/Hz**

Als zusätzlichen HF-Vorverstärker verwende ich einen breitbandigen 20dB-Verstärker RFA-403 (ELV). Der zu prüfende, rauscharme Test-Oszillator (**Bild 4**) arbeitet auf 8,9985MHz, im Sperrbereich des Quarz-Filters.



**Bild 4. Rauscharmer Test-Oszillator, f=8.9985MHz (SSB-Seitenbandquarz)**

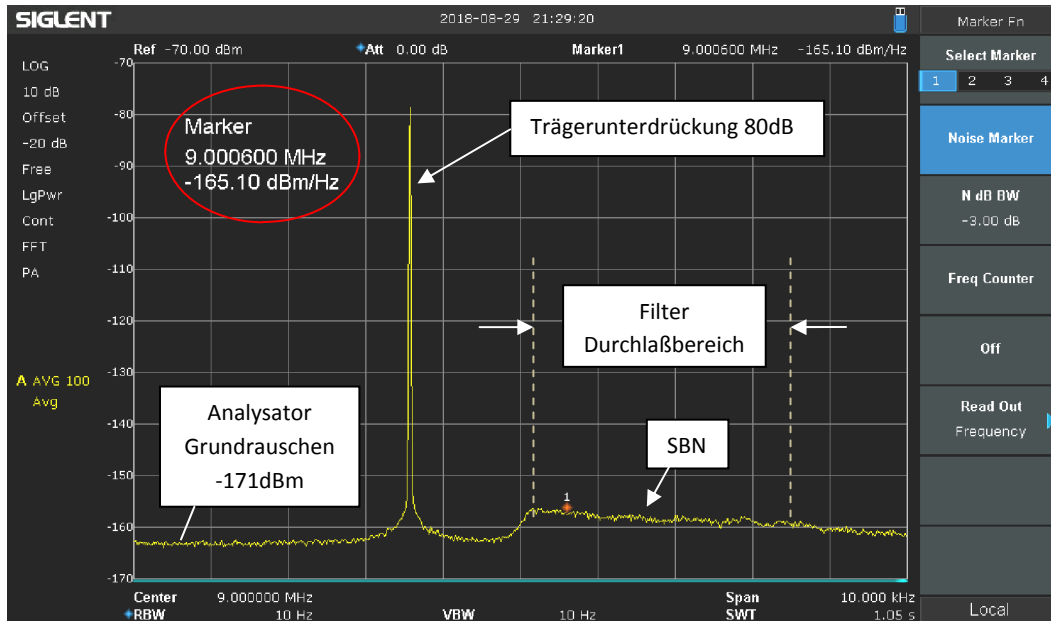


**Bild 5: Übertragungsfunktion 8-Pol Quarzfilter XF-9 S44, Mittenfrequenz 9.0018MHz, Bandbreite +/-1,55kHz**

Messablauf:

- Test-Oszillator über C1 auf f= 8.9985MHz abgleichen
- Quarzfilter zwischen Oszillator und Analysator schalten, das Signal wird anschließend um 80dB unterdrückt
- Pin auf +3,5dBm einstellen, damit die Filterdämpfung im Durchlaßbereich ausgeglichen wird
- externer, zusätzlicher 20dB HF-Verstärker (LNA) zwischen Filterausgang und Analysator schalten
- Einstellungen am Analysator: Frequenz 9MHz, Span 10kHz, Reference Level -70dBm, Attenuation 0dB, Auflösung 10Hz, Preamplifier On, Noise Marker ON, Reference Level Offset -20dB

Anschließend wird das Seitenbandrauschen des Oszillators, als Rauscherhebung im Durchlaßbereich des Quarzfilters, sichtbar. Das SBN liegt nur knapp 10dB über dem Grundrauschen des Analysators, welches bei  $< -170\text{dBm/Hz}$  liegt, die Messgrenze des Aufbaus ist somit erreicht.



**Bild 6: SBN des Test-Oszillators in 2kHz Abstand vom Träger: SBN = -165dBm/Hz**

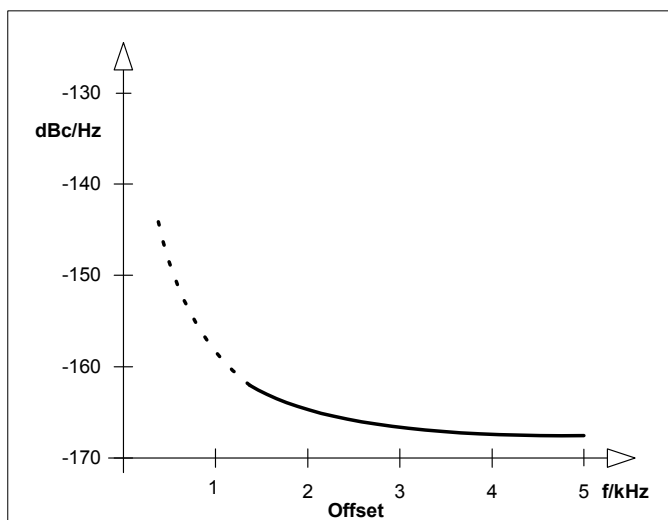
In einem Trägerabstand von 2kHz (s. Marker) ergibt sich ein Seitenbandrauschen von

**SBN = -165dBm/Hz**

**dBm/Hz oder dBc/Hz?**

Das Seitenbandrauschen von Oszillatoren wird meist in "dBc/Hz" in einem definierten Abstand zum Träger angegeben, damit der Messwert auch mit anderen Oszillatoren vergleichbar ist. Ein Messwert von **-165dBm/Hz** entspricht ebenfalls dem Wert von **-165dBc/Hz**, wenn der Pegel im Durchlaßbereich des Filters genau **0dBm** beträgt.

Ermittelt man anschließend das Seitenbandrauschen in Abständen von 2...5kHz zum Träger, entsteht folgende SBN-Kurve



**Bild 7: Ermittelte Seitenbandrauschkurve des Test-Oszillators**

Die Messgrenze des Aufbaus liegt bei  $-171\text{dBm/Hz}$ , wobei die Rauschzahl des verwendeten Vorverstärkers (hier  $NF = 4,5\text{dB}$ ) für die Grenzempfindlichkeit mit verantwortlich ist. Geringeres Rauschen des Vorverstärkers, würde den Messbereich nochmals vergrößern.

Werner Schnorrenberg  
DC4KU  
30.08.2018, Rev. 30.02.2020

### Literatur:

- (1) Messung des Seitenbandrauschens von Empfängern und Oszillatoren  
W.Schnorrenberg, DC4KU  
FA 10,11/2018

Verwendete Teile:



20dB Breitband HF-Verstärker (ELV), Quarzfilter XF-9S44 (KVG) und 9MHz Test-Generator