

Siglent SDG6022X Arbitrary Signal Generator



Der Arbiträr Waveform-Generator SDG6000X ist ein Funktionsgenerator, der im Frequenzbereich bis 200MHz (optional 350MHz, 500MHz) beliebig geformte Ausgangssignale erzeugen kann, wie z.B. Sinus, Rechteck, Puls, Rauschen und modulierte Signale. Der Vorteil eines Waveform-Generators liegt besonders darin, dass er viele einzelne, spezifische Geräte in sich vereint. Der Siglent SDG6000X verfügt über zwei eigenständige, programmierbare Generatoren, mit einer Auflösung von jeweils 16Bit und 2,4Ga/s Abtastrate.

Die Frage die sich mir stellte war, ob ein solcher Generator auch die Qualität eines "RF-Generators" erreichen kann und somit für genaue Messungen an Sendern und Empfängern verwendet werden kann. Deswegen habe ich die wichtigsten HF-Eigenschaften des SDG6022X getestet, wie Seitenbandrauschen, Oberwellenunterdrückung und IMD3-Festigkeit.

Seitenbandrauschen

Das Seitenbandrauschen (SBN) des SDG6022X wird mit Hilfe eines Spektrumanalysators ermittelt. Damit das SBN in geringem Abstand zum Träger überhaupt erfasst werden kann, ohne den Analysator dabei zu übersteuern, muß das Trägersignal mit Hilfe eines schmalbandigen, steilen Notchfilters unterdrückt werden. Im Beispiel verwende ich ein Quarz-Notchfilter mit 80dB Pegelunterdrückung bei 8,996400MHz. Das Sinus-Signal des SDG6022X wird mit 0dBm Leistung auf die Mitte des Notchfilters abgeglichen und der Analysator gleichzeitig auf seine höchste Empfindlichkeit eingestellt: Att. 0dB, Preamplifier ON, Ref. Level -50 dBm (**Bild 1**). Im Kurvenverlauf des Spektrum Analysators erkennt man jetzt das vom Generator erzeugte Seitenbandrauschen im Trägerabstand von >1kHz. Die resultierende SBN-Kurve liegt 20dB über dem Grundrauschen des Analysators und kann dadurch fehlerfrei gemessen werden. Verschiebt man den Träger noch bis zum rechten Rand des Filtersockels (um ca. +1kHz), wird das SBN schon ab 1kHz Abstand erkennbar.

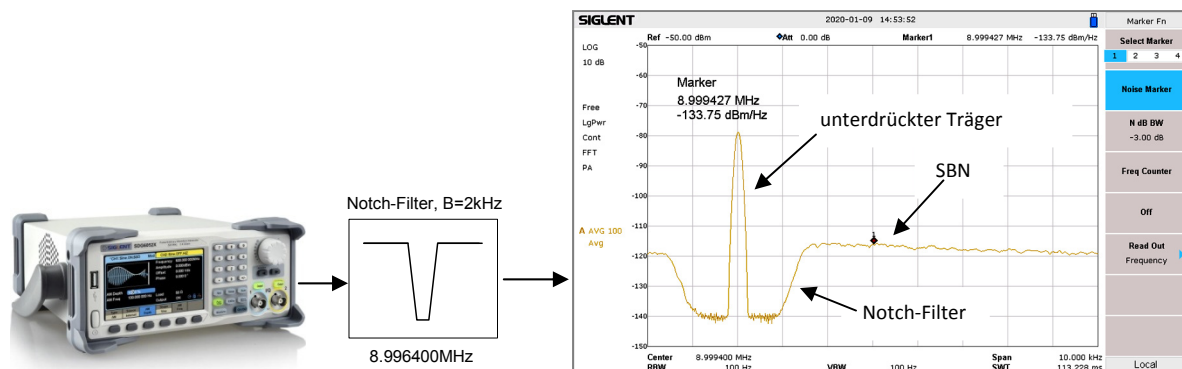


Bild 1: SBN in 3kHz Abstand vom Träger: -133,75dBm/Hz

Abstand zum Träger	SBN
1kHz	-130dBm/Hz
3kHz	-134dBm/Hz
10kHz	-138dBm/Hz
100kHz	-140dBm/Hz
1MHz	-142dBm/Hz

Tabelle 1: SBN in Abhängigkeit vom Trägerabstand

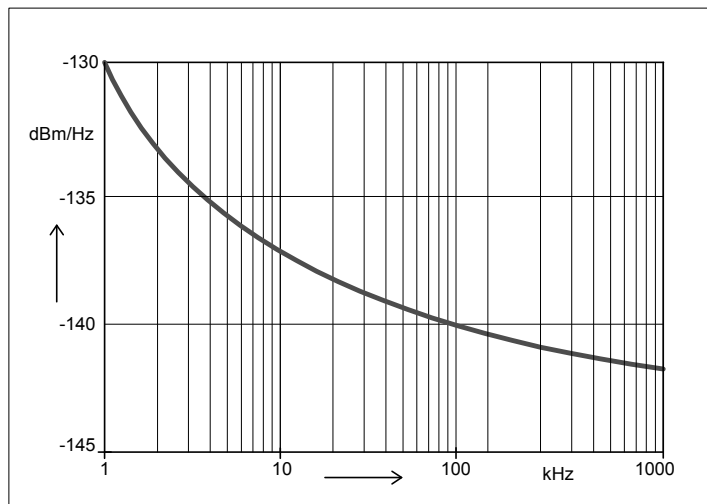


Bild 2: Seitenbandrauschkurve des SDG6022X

Ergebnis:

Das SBN des SDG6022X entspricht dem eines guten RF-Generators, wie z.B. dem Marconi 2019.

Oberwellenunterdrückung

Ein HF-Generator sollte möglichst wenig Oberwellen und sonstige, unerwünschte Signale (Spurious Signals) erzeugen. Zur Messung der erzeugten Ober- und Nebenwellen, speise ich ein 10MHz Sinus-signal des SDG6022X mit 0dBm Leistung in den Spektrumanalysator (**Bild 3**). Als Ergebnis sind die Oberwellen (1. und 2. Harmonische) um >70dB unterdrückt und Nebenwellen sind im Spektrum bis 100MHz nicht erkennbar.

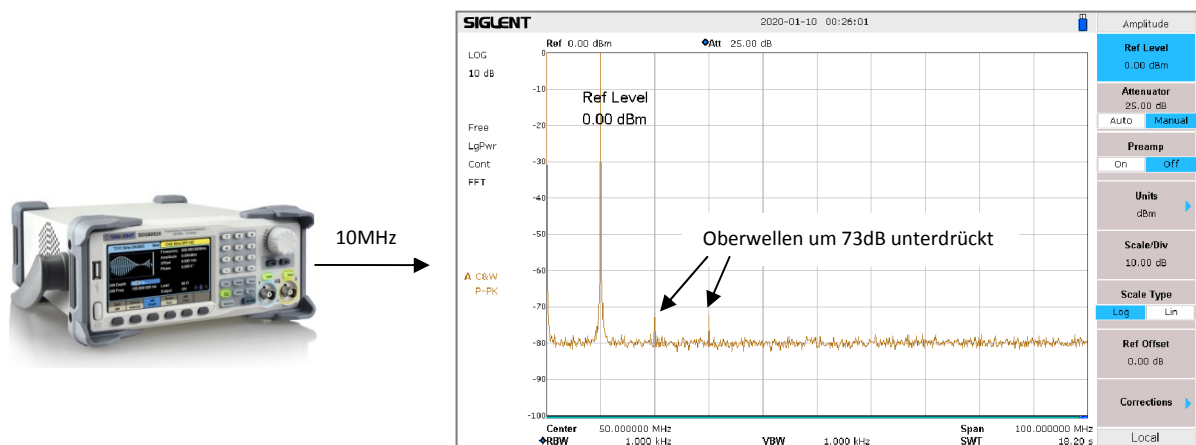


Bild 3: Oberwellenunterdrückung >70dBc

Ergebnis: Der SDG6022X erzeugt ein fast oberwellen- und nebenwellenfreies Spektrum.

2-Ton Generator

Der SDG6022X verfügt über eine "Wave-Combine" Funktion, mit der die Ausgänge beider Generatoren rechnerisch, intern miteinander verknüpft und zu einem gemeinsamen Ausgang geleitet werden. Auf diese Art, läßt sich sehr einfach ein **2-Ton Generator** für **IMD3-Messungen** realisieren, wobei sich natürlich die Frage stellt, wie hoch die resultierende IMD3-Festigkeit dieser Anordnung ist. Mit zwei HF-Signalen bei 7,050MHz und 7,0501MHz (Delta f=100Hz) und 2 x 0dBm Leistung (Pe), entstehen IMD3-Produkte im Abstand von 76dBc zu den Nutzprodukten (**Bild 4**). Aus diesem Abstand ergibt sich eine IMD3-Festigkeit (IP3) des 2-Ton Generators von

$$IP3 = \Delta IMD3/2 + P_e = 76dBc/2 + 0dBm = +38dBm$$

Bei der Ermittlung von IMD3-Abständen mit einem Spektrumanalysator muß man etwas vorsichtig sein, denn hier passieren leicht Messfehler. Wird die Dämpfung im Eingang des Analysators zu klein gewählt, erzeugt der Analysator selbst Intermodulation, die unter Umständen größer ist, als die des zu prüfenden 2-Ton-Generators und das Messergebnis wird falsch. Um das zu verhindern, muß die Dämpfung im Eingang des Analysators manuell so weit vergrößert werden, bis der gemessene IMD3-Abstand seinen Wert nicht mehr vergrößert. Im Beispiel musste ich eine Dämpfung von 35dB vorschalten, um ein korrektes Messergebnis zu erhalten! Wählt man "Attenuator-Auto", dann schaltet der Analysator automatisch nur 20dB Dämpfung vor und würde falsche Ergebnisse liefern.

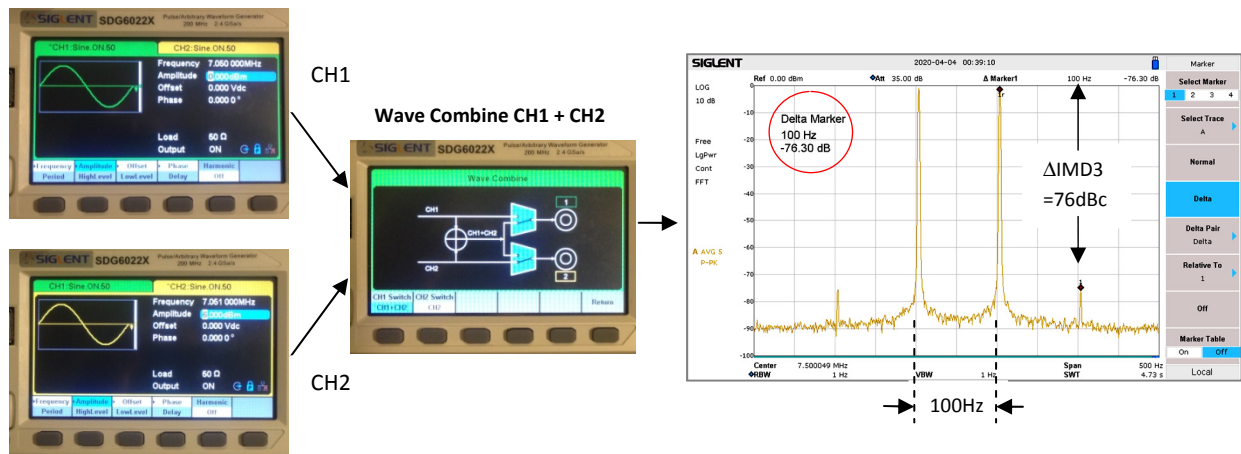


Bild 4: IMD3-Messung über die "Wave-Combine" Funktion, f1=7,050MHz, f2=7,0501MHz, Pe=2x0dBm

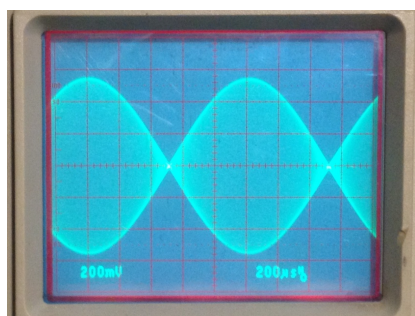


Bild 5: HF 2-Ton Signal im Zeitbereich mit einem scharfem X in den Schnittpunkten

Die gleiche Messung, aber unter Verwendung einer "Wheatstone-Brücke" (1) zwischen Generator 1 und 2 (CH1 und CH2), zeigt **Bild 6**. Die Brücke führt die Signale zusammen und sorgt gleichzeitig für eine starke Entkopplung (> 50dB) zwischen den Generatoren. Bei dieser Messung steigt der IMD3-Abstand auf über 90dBc an, die IMD3-Produkte verschwinden im Rauschen.

Daraus berechnet sich ein IP3 von

$$IP3 = \Delta IMD3/2 + P_e = >90dB/2 + 0dBm = > +45dBm$$

Das Messbeispiel zeigt die Wirkung einer Wheatstone-Brücke. Mit Hilfe der Brücke, läßt sich der IMD3-Abstand des Zweitongenerators nochmals um >15dB verbessern.

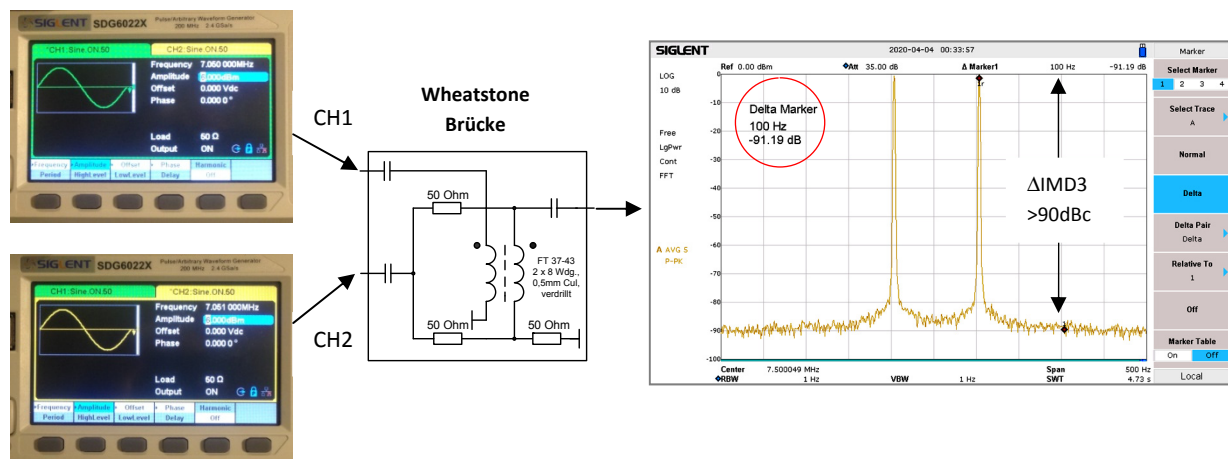


Bild 6: IMD3-Messung mit Wheatstone-Brücke

Ergebnis:

Mit dem 2-Ton-Generator des SDG6022X lassen sich IMD3-Messungen an HF-Verstärkern, Endstufen und großsignalfesten Empfängern einfach und schnell durchführen. Die interne, mathematische Verknüpfung (Wave-Combine) beider HF-Generatoren, funktioniert einwandfrei.

Rauschgenerator

Der SDG6022X verfügt zusätzlich über einen kalibrierten Rauschgenerator (weißes Rauschen), mit wählbarer Rauschbandbreite von 0 bis 200MHz. Externe TP-Filter, zur Begrenzung der Bandbreite, sind nicht mehr erforderlich. Die produzierte Rauschleistung wird dabei nicht in dBm eingegeben, stattdessen die Rauschspannung in mV_{rms} an 50 Ohm. Wird z.B. eine Rauschspannung von 224mV eingestellt, entspricht das einer Rauschleistung von $P = u^2/R = 224mV^2/50\Omega = 1mW = 0dBm$. Um die Wirkung des Rauschens mit unterschiedlichen Bandbreiten besser zu verstehen, messen wir das Rauschen mit einem Spektrumanalysator. **Bild 7** zeigt ein Rauschsignal von 0dBm Leistung über unterschiedliche Bandbreiten, 0-50MHz (gelbe Kurve), 0-100MHz (violett) und 0-200MHz (blau). Im Kurvenverlauf ist deutlich zu erkennen, dass bei Verdopplung der Rauschbandbreiten (50MHz -> 100MHz -> 200MHz) die mittlere Rauschleistung um jeweils um 3dB kleiner wird, entsprechend $10\log 2 = 3dB$, obwohl die angelegte Rauschspannung bei allen Kurven konstant 224mV (1mW, 0dBm) ist!

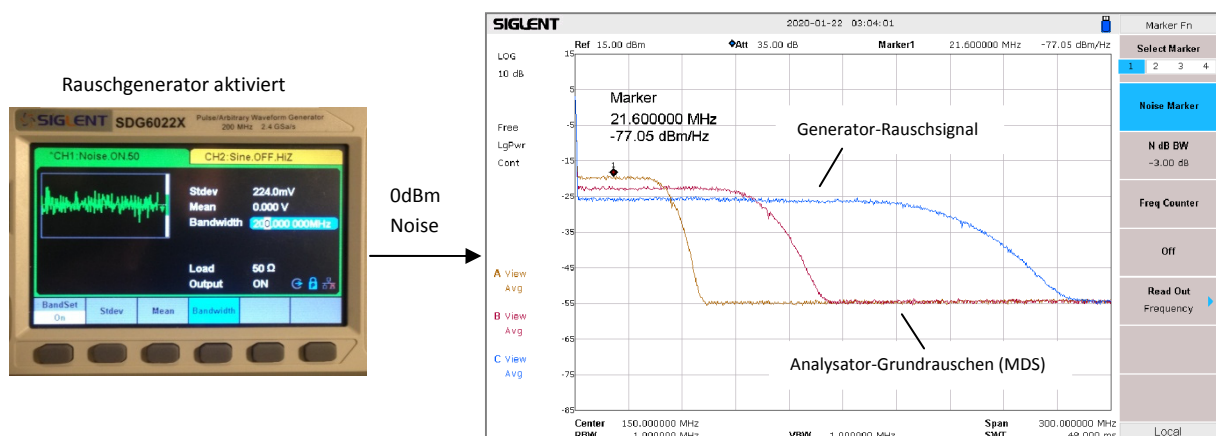


Bild 7: Rauschsignal mit 0dBm Leistung, bezogen auf 0-50MHz, 100MHz und 200MHz

Bei der gelben Rauschkurve (0-50MHz), ermittelt der Marker des Analysators eine Rauschleistung von -77dBm/Hz. Wie passen -77dBm/Hz und 224mV zusammen?

Bezogen auf eine Rauschbandbreite von 50MHz, muß das Messergebnis des Analysators um Faktor $10\log 50000000\text{Hz}/1\text{Hz}$ korrigiert werden

$$P_{\text{Noise}} = -77\text{dBm/Hz} + 10\log 50\text{MHz} = -77\text{dBm/Hz} + 77\text{dB} = 0\text{dBm} = 224\text{mV an } 50\text{ Ohm}$$

Der Messwert des Analysators von -77dBm/Hz stimmt demnach exakt mit der angelegten Rauschspannung von $224\text{mV}_{\text{rms}}$ an 50 Ohm (1mW) überein. Die Pegelberechnung der beiden anderen Kurven erfolgt ebenso.

Ergebnis:

Der eingebaute, programmierbare Rauschgenerator erweitert die Anwendungsmöglichkeit des SDG6022X nochmals erheblich. Besonders die frei wählbare Rauschbandbreite von $0\text{--}200\text{MHz}$ und die hohe Rauschspannung von bis zu $600\text{mV}_{\text{rms}}$ sind für Messungen an Empfängern und Verstärkern von großem Nutzen.

Übertragungsmessung mit Rauschen

Mit Hilfe des Rauschgenerators läßt sich z.B. die Übertragung von HP-Filtern, TP-Filtern oder Bandpässen messen. Dazu wird der Vierpol zwischen Rauschgenerator und SA geschaltet und die Übertragungskurve läßt sich anschließend im Spektrum direkt ablesen. Der Vorteil dieser einfachen Messung ist, dass kein Tracking-Generator benötigt wird und anstelle eines Analysators z.B. auch ein breitbandiger SDR-Empfänger verwendet werden kann.

Bild 8 zeigt als Beispiel die Übertragungskurve eines schmalbandigen 9.002MHz Quarz-Filters, die erreichbare Messdynamik beträgt fast 70dB !

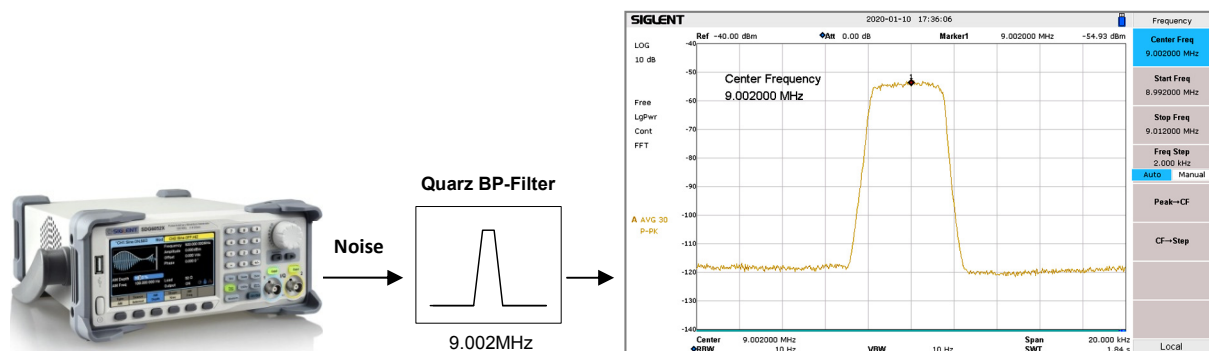


Bild 8: Ermittlung der Übertragungskurve eines Quarzfilters mit Rauschgenerator

Linearitätsmessung mit Rauschen

Über eine NPR (Noise Power Ratio) Messung läßt sich das Großsignalverhalten von analogen- und digitalen Empfängern ermitteln. Anstelle eines 2-Ton Signals, wird der Empfänger mit weißem Rauschen angesteuert. Ab einem gewissen Rauschpegel wird der Empfänger übersteuert und erzeugt Intermodulation, in Form von additivem Rauschen. Damit der Rauschanstieg messbar bzw. sichtbar wird, schaltet man zwischen Rauschgenerator und Empfänger ein schmalbandiges und steiles Kerbfilter (Sperrtiefe $>100\text{dB}$), welches das Rauschen auf seiner Sperrfrequenz (hier $2,4\text{MHz}$) völlig unterdrückt, so dass im nicht übersteuerten Zustand im Sockel des Filters, nur noch das Grundrauschen des Empfängers (MDS) messbar ist (**2**). Sobald der Empfänger aber Verzerrungen (IM, Oberwellen, etc.) produziert, werden diese durch einen geringen Rauschanstieg im Sockel des Notchfilters erkennbar.

Als Beispiel soll das NPR des verwendeten Spektrumanalysators ermittelt werden, den Messaufbau zeigt **Bild 9**. Hierzu wird ein Rauschband von 0 bis 5MHz erzeugt und dessen Leistung soweit erhöht, bis sich das Rauschen im Boden des Notchfilters um 3dB anhebt und somit die Aussteuergrenze des Analysators anzeigt. Bei $P_{\text{TOT}} = -24,5\text{dBm}$ erzeugt der Analysator Intermodulationsprodukte, die 3dB oberhalb seines Grundrauschens liegen und nach $(S+N)/N=2$ dem zuvor ermittelten

Grundrauschpegel von -118dBm/1kHz entsprechen. Die Differenz zwischen eigespeister Rauschleistung (P_{TOT}) und der Grenzepfindlichkeit (MDS) des Analysators, entspricht seinem NPR.

$$NPR_{\text{Analysator}} = P_{TOT} - MDS = -61,5 \text{ dBm/1kHz} - (-108\text{dBm/1kHz}) = 46,5\text{dBc}$$

mit:

$$P_{TOT} = -24,5\text{dBm/5MHz} = -61,5\text{dBm/1kHz} \text{ (Pegel bezogen auf Rauschbandbreiten!)}$$

$$MDS_{\text{Analysator}} = -108\text{dBm/1kHz} \text{ Auflösungsbandbreite (RBW)}$$

Das NPR des Spektrum Analysators ist erwartungsgemäß nicht sehr hoch, weil Analysatoren mehr auf Empfindlichkeit als auf Großsignalfestigkeit ausgelegt sind. Im Gegensatz dazu, erreicht ein guter KW-Empfänger bei Verarbeitung der gleichen Rauschbandbreite einen NPR von über 70dBc.

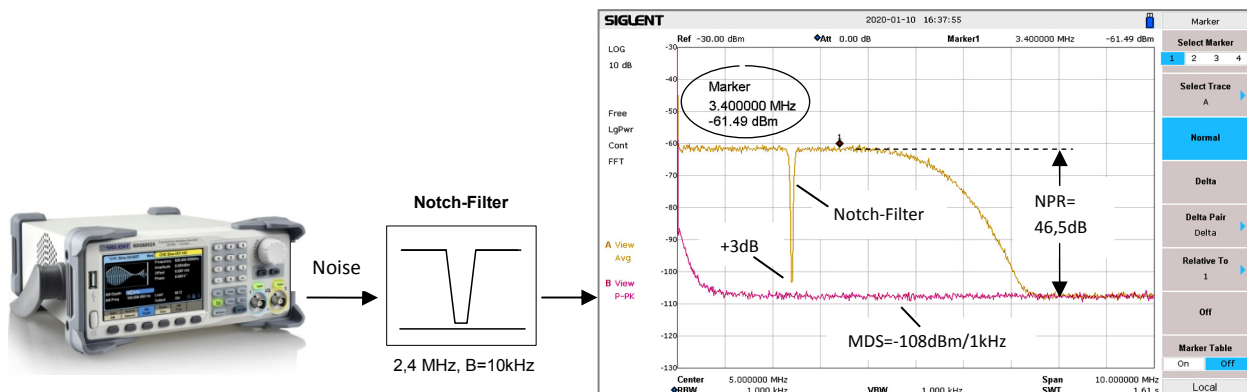


Bild 9: NPR-Ermittlung des Spektrumanalysators, Rauschband von 0 bis 5MHz, RBW = 1kHz

Ergebnis:

Der Rauschgenerator im SDG6022X eignet sich sehr gut für Übertragungs- und Linearitätsmessungen an analogen und digitalen Empfängern, Verstärkern und Baugruppen. Besonders vorteilhaft ist seine einstellbare Rauschbandbreite, so dass keine externen TP-Filter mehr benötigt werden.

Pegeleinstellung

Der Ausgangspegel beider Sinussignale lässt sich im KW-Bereich von +24dBm (250mW!) bis -56dBm in 1dB-Stufen einstellen. Das reicht für viele Messungen an HF-Verstärkern oder Endstufen aus, aber für Empfindlichkeitsmessung an Empfängern, ist die wählbare Dämpfung nicht groß genug. Deswegen schalte ich hinter den Ausgang ein zusätzliches, stellbares 70dB-Dämpfungsglied (eBay, 115,-€), so dass das Ausgangssignal anschließend von +24dBm bis -126 dBm (insgesamt über 152dB) einstellbar ist (**Bild 10 und 11**).

Die Pegelgenauigkeit von +24dBm bis -126dBm beträgt +/- 0,5dB, gemessen mit einem kalibrierten HF-Leistungsmesser.



Bild 10: SDG6022X mit einem zusätzlichen, stellbaren Dämpfungsglied 0-70dB

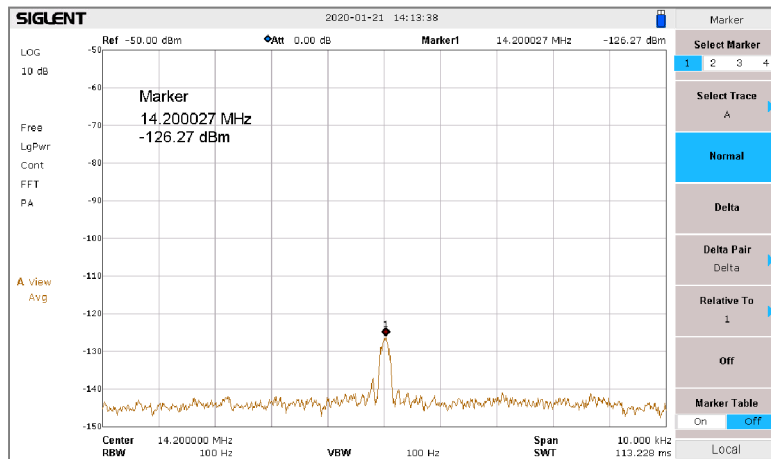


Bild 11: Erzeugung eines -126dBm-Signals mit gewählter 126dB Dämpfung, $f=14,2\text{MHz}$

Werner Schnorrenberg

DC4KU

22.01.2020

Rev. 23.03.2020, 28.03.2020, 4.4.2020

Literatur

(1) Intermodulationsfestigkeit von HF 2-Ton-Generators

FA 5/20

<https://dc4ku.darc.de/IM3-Festigkeit-eines-HF-2-Tongenerators.pdf>

(2) Noise Power Ratio (NPR)

FA 12/17, FA01/18

<https://dc4ku.darc.de/Noise-Power-Ratio.pdf>