

Ergänzung zum Beitrag in FA 05/20, S. 412 f. „Nutzung des Siglent SDG6022X als HF-Signalgenerator“

Ergänzend zum Beitrag folgen hier noch einige Bilder, Messergebnisse und Erläuterungen, die in der gedruckten Ausgabe leider keinen Platz mehr fanden.

■ Seitenbandrauschen

Das Sinus-Ausgangssignal des SDG6022X weist nur geringes Seitenbandrauschen auf (Bild E1). Dies entspricht in etwa dem eines guten HF-Signalgenerators, wie z. B. dem *Marconi 2019*.

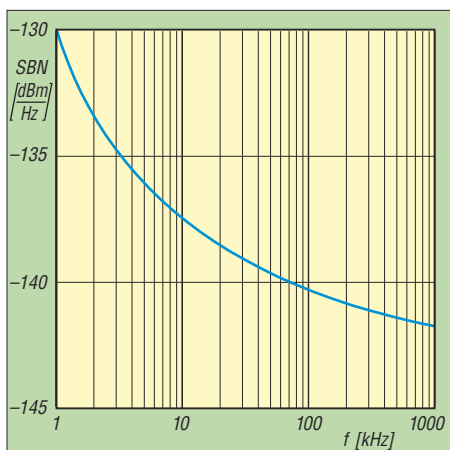


Bild E1: Gemessene Seitenbandrauschkurve des SDG6022X

■ Intermodulationsfestigkeit

Mit der *Wave-Combine*-Funktion verfügt der SDG6022X über eine Funktion, mit der die Ausgänge beider Generatoren rechnerisch intern miteinander verknüpft und zu einem gemeinsamen Ausgang (*CH1* oder *CH2*) geleitet werden. Das Oszillogramm des qualitativ hochwertigen HF-Zweitonsignals ist in Bild E3 zu sehen.

Wie im Beitrag beschrieben, liefert der SDG6022X schon von Haus aus einen guten IP3-Wert des Zweitonsignals. Dieser lässt sich unter Verwendung einer Wheatstone-Brücke nochmals verbessern, wie Bild E2 mit einem IMD3-Abstand von mehr als 90 dBc zeigt.

■ Rauschgenerator

Der SDG6022X verfügt über einen kalibrierten Rauschgenerator, der weißes Rauschen mit wählbarer Rauschbandbreite von 0 bis 200 MHz erzeugt. Externe Tiefpassfilter, zur Begrenzung der Bandbreiten, sind nicht mehr erforderlich. Im Beitrag ist das Spektrum des 0-dBm-Rauschsignals bei 50 MHz, 100 MHz und 200 MHz. In deren Verlauf ist direkt zu erkennen, dass bei der hier vorliegenden jeweiligen Verdoppelung der Bandbreite die mittlere Rauschleistung um jeweils 3 dB ($10 \cdot \lg 2$) geringer wird, obwohl die angelegte Rauschspannung immer 224 mV beträgt.

Bei der Rauschkurve mit 50 MHz Bandbreite ermittelt der Analysator eine Rauschleistung von -77 dBm/Hz. Wie passt diese Zahl zu den eingestellten 224 mV an 50 Ω für 1 mW bzw. 0 dBm? Bezogen auf eine Rauschbandbreite von 50 MHz, muss das Messergebnis des Analysators um den Faktor $10 \cdot \lg(50\,000\,000\text{ Hz}/1\text{ Hz})$ korrigiert werden:

$$\begin{aligned}
 P_{\text{Noise}@50\text{MHz}} &= -77\text{ dBm/Hz} \\
 &+ 10 \cdot \lg(50\text{ MHz}/1\text{ Hz}) \\
 &= -77\text{ dBm/Hz} + 77\text{ dB} \\
 &= 0\text{ dBm}.
 \end{aligned}$$

Der Messwert des Analysators von -77 dBm/Hz stimmt demnach exakt mit der

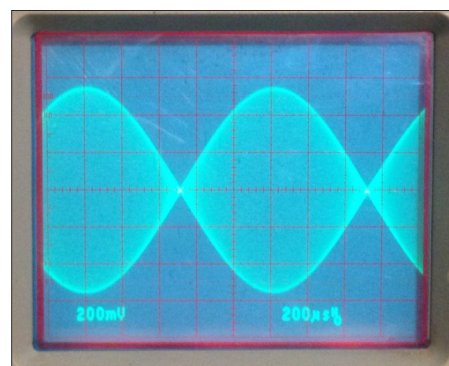


Bild E3: HF-Zweitonsignal im Zeitbereich mit stark ausgeprägten Schnittpunkten

angelegten Rauschspannung überein, bezogen auf 50 MHz Bandbreite.

■ Übertragungsmessung mit Rauschen

Mithilfe des Rauschgenerators lässt sich z. B. die Übertragung von Hoch-, Tief- und Bandpassfiltern messen. Dazu wird der Vierpol zwischen Rauschgenerator und Spektrumanalysator geschaltet. Die Übertragungskurve lässt sich anschließend 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 verwendbar ist. Als Beispiel zeigt Bild E4 die Übertragungskurve eines schmalbandigen 9,002-MHz-Quarzfilters. Die über Rauschen erreichbare Messdynamik beträgt fast 70 dB.

■ Linearitätsmessung mit Rauschen

Über eine NPR-Messung (*Noise-Power-Ratio*) lässt sich das Großsignalverhalten von analogen und digitalen Empfängern ermitteln. Anstelle eines Zweitonsignals legt man weißes Rauschen an den Empfängereingang. Ab einem gewissen Rauschpegel wird der Empfänger übersteuert und erzeugt IM-Produkte in Form von additivem Rauschen.

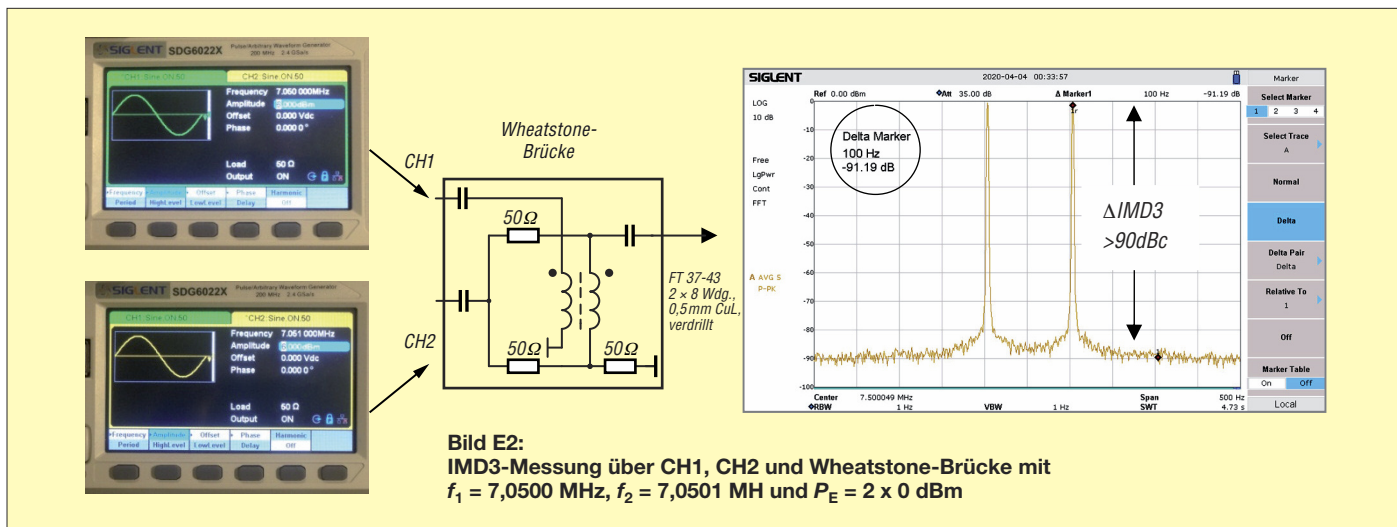
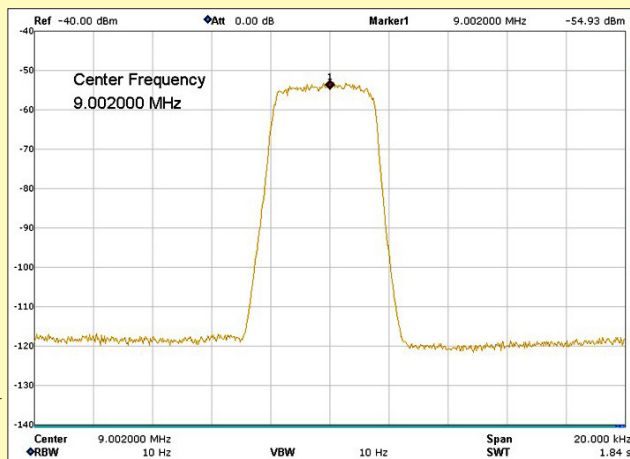


Bild E2: IMD3-Messung über CH1, CH2 und Wheatstone-Brücke mit $f_1 = 7,0500\text{ MHz}$, $f_2 = 7,0501\text{ MHz}$ und $P_E = 2 \times 0\text{ dBm}$

Bild E4:
Filterübertragungs-
messung mit
Rauschgenerator



steigt und somit die Aussteuergrenze des Analysators anzeigt. Dieser erzeugt dann Intermodulationsprodukte, die 3 dB oberhalb seines Grundrauschens liegen und nach $(S+N)/N=2$ seinem zuvor ermittelten Grundrauschpegel entsprechen. Die Differenz zwischen eingespeister Rauschleistung (P_{tot}) und der Grenzempfindlichkeit (MDS) des Analysators, entspricht dann seinem NPR.

$$\begin{aligned} \text{NPR}_{\text{Analysator}} &= P_{\text{tot}} - \text{MDS} \\ &= -61,5 \text{ dBm/1 kHz} \\ &\quad - (-108 \text{ dBm/1 kHz}) \\ &= 46,5 \text{ dBc} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{mit: } P_{\text{tot}} &= -24,5 \text{ dBm/5 MHz} \\ &= -61,5 \text{ dBm/1 kHz} \end{aligned}$$

(Pegel bezogen auf Rauschbandbreite)
 $\text{MDS}_{\text{Analysator}} = -108 \text{ dBm/1 kHz RBW}$
(RBW = Auflösungsbandbreite)

Das NPR des Spektrumanalysators 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-Wert von über 70 dBc.

■ Pegeleinstellung

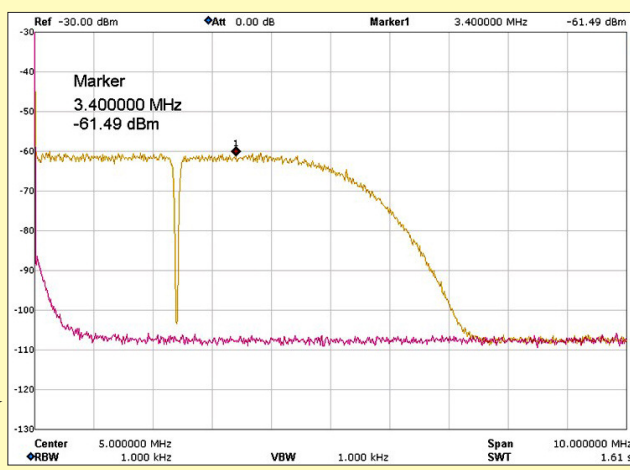
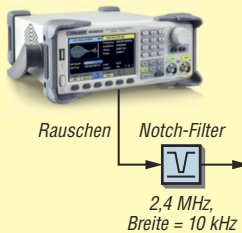
Die Ausgangspegel beider Sinussignale lässt sich im KW-Bereich von +24 dBm (250 mW) bis -56 dBm in 1-dB-Stufen einstellen. Das reicht für viele Messungen an HF-Verstärkern oder Endstufen schon aus, aber für Empfindlichkeitsmessung an Empfängern ist die wählbare Dämpfung nicht groß genug. Deswegen schalte ich hinter den Ausgang zusätzlich ein in 1-dB-Stufen einstellbares 70-dB-Dämpfungsglied, so dass das Ausgangssignal des SDG6022X anschließend von +24 dBm bis -126 dBm



Bild E7: SDG6022X mit einem zusätzlichen, einstellbaren Dämpfungsglied

(152 dB) einstellbar ist (Bilder E6 und E7). Die Genauigkeit im Bereich von +24 dBm bis -126 dBm beträgt $\pm 0,5 \text{ dB}$, gemessen mit einem kalibrierten HF-Leistungsmesser.

Bild E5:
NPR-Ermittlung des
Spektrumanalysators,
Rauschband
0... 5 MHz



Damit der Rauschanstieg mess- bzw. sichtbar wird, schaltet man zwischen Rauschgenerator und Empfänger ein schmalbandiges, steiles Kerbfilter (Sperrtiefe $\geq 100 \text{ dB}$), welches das Rauschen auf seiner Sperrfrequenz (hier z. B. 2,4 MHz) weitestgehend unterdrückt, sodass im Sockel des Filters im nicht übersteuerten Zustand nur noch das Grundrauschen des Empfängers (MDS) messbar ist. Sobald der Emp-

fänger Verzerrungen produziert, werden diese durch einen geringen Rauschanstieg im Sockel des Notch-Filters erkennbar. Als Beispiel soll hier das NPR des angeschlossenen Spektrumanalysators ermittelt werden, der Messaufbau ist in Bild E5 zu sehen. Dazu wird ein Rauschband von z. B. 0 bis 5 MHz erzeugt und dessen Pegel soweit erhöht, bis das Rauschen im Sockel des Notch-Filters um etwa 3 dB an-



Bild E6:
0-dBm-Signal mit
126 dB Dämpfung bei
 $f = 14,2 \text{ MHz}$

Fotos und Screenshots: DC4KU