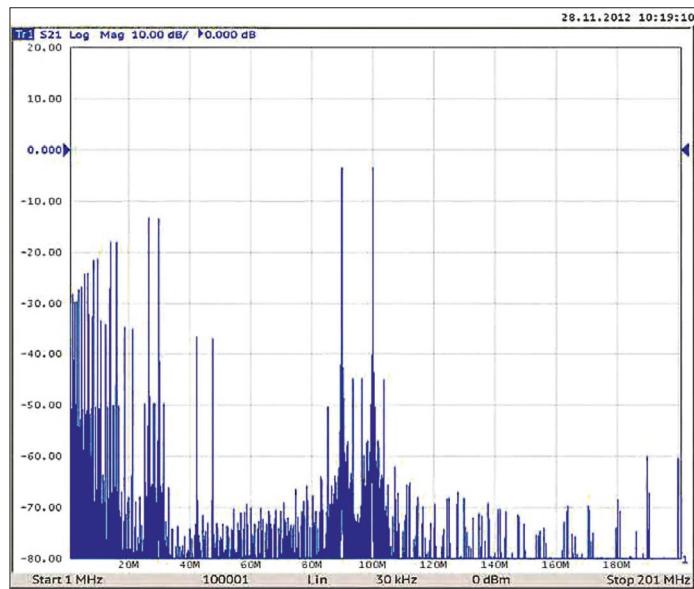


Spektrumanalyse mit einem VNA

Vektor-Netzwerkanalysatoren (VNAs) werden häufig in Forschungs-, Fertigungs- und Service-Umgebungen verwendet. Hierbei wird oft übersehen, dass sie sich auch für die Spektralanalyse bestimmter Signale verwenden lassen.



Diese Messinstrumente enthalten eine Signalquelle und einen Empfänger mit einem oder mehreren Frequenzwandlern. Der Einsatzfrequenzbereich erstreckt sich z.B. von 100 kHz bis 3,2 GHz oder von 100 kHz bis 8 GHz. In einigen Fällen kann ein VNA-Empfänger zum Zwecke der vereinfachten Spektrumanalyse verwendet werden, möglicherweise zur Erkennung von Selbsterregung, zur Bestimmung der Signalleistung und des Oberwellenpegels oder der Spektrumsabweichung im Vergleich zu einem erwarteten Referenzspektrum.

Warum VNA?

Der Hauptunterschied zwischen einem VNA-Empfänger und einem klassischen Spektrumanalysator-Empfänger besteht

darin, dass der VNA-Empfänger eine geringere Dämpfung seiner eigenen Störantworten oder Störsignale, insbesondere der Mischprodukte des ersten Mixers, aufweist. Um die Stabilität des Umwandlungsverhaltens des ersten Mixers zu erhöhen, muss man diesen optimal vom LO entkoppeln. Dazu wird der erste Mixer eines VNA-Empfängers normalerweise an einem Punkt betrieben, an dem der LO nahe der Sättigung ist. Als Ergebnis liegen die Oberwellen der LO-Frequenz auf höheren Pegeln, als sie normalerweise in einem Spektrumanalysator-Empfänger zu finden sind. Weiter ist die erste ZF des VNA-Empfängers normalerweise wesentlich niedriger als die Wobbelbandbreite; somit können diese Verzerrungsprodukte in den VNA-Frequenzbereich fallen.

Im Allgemeinen beträgt die Ausgangsfrequenz des Mixers:

$$f_{\text{out}} = S \times f_{\text{signal}} + G \times f_{\text{LO}}$$

S und G ... -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, ...

Wenn die Ausgangsfrequenz in die ZF-Bandbreite fällt, wird diese Komponente verstärkt und angezeigt. Beim Messen

der obere LO ist die angezeigte Frequenz:

$$f_{\text{disp}} = f_{\text{LO}} - \text{ZF}$$

Praktische Messungen

Für den VNA Planar 304/1 (3 GHz) gilt beispielsweise ZF = 10,7 MHz, für den VNA Planar 804/1 (8 GHz) hingegen ZF = 5,037 MHz. Die Aufmauergrafik zeigt den Planar-804/1-Bildschirm während der Analyse eines an Port 2 gesendeten Signals mit 100 MHz und bei einem Eingangspegel von -3 dBm bei einer Oberwellendämpfung von 80 dB über die Bandbreite von 1 bis 201 MHz. Die Ausgangsleistung des Port-1-Stimulus wird auf 0 dBm gesetzt, sodass S21 der in dBm gemessenen Leistung entspricht. Um störende Reflexionen an den Ausgängen zu vermeiden, wird Port 1 mit 50 Ohm terminiert. Während der Empfänger über den Anzeigefrequenzbereich gewobbelt wird, ist der LO angepasst und die Leistung wird in dBm gemessen mit Ergebnissen gemäß Tabelle 1. Die Messbandbreite ist viel breiter als die ZF-Bandbreite, weshalb jedes

Mischprodukt (grundsätzlich harmonisch) durch zwei Spektrallinien dargestellt wird: direkt und als Bild. Da normalerweise ein symmetrischer Mischer verwendet wird, ist der Pegel des angezeigten Signals bei den ungeraden LO-Oberwellen signifikant. Das angezeigte Signal der dritten Harmonischen kann relativ zum Grundsignal bis zu -10 dB betragen.

Die Sweep-Punkte

Die Anzahl der Sweep-Punkte bestimmt die Auflösung des Spektrums und ist abhängig vom ZF-Filter-Bereich, von Messbandbreite und zugelassener Messunsicherheit. Die ZF-Filter-Breite wird wie üblich auf Basis von -3 dB Abfall bestimmt. Der Frequenz-Offset des Eingangssignals (gemessen von der Mittelfrequenz des Filters um $\pm 0,3$ von der Filterbandbreite) entspricht einer Verstärkungsreduzierung um 1 dB. Wenn die Analysebandbreite beispielsweise 200 MHz beträgt und die ZF-Filter-Bandbreite 30 kHz und wenn die gewünschte Messunsicherheit durch die Filterfrequenz

f _{disp.} (MHz)	f _{LO} (MHz)	S	G	P (dBm)
100.000	105.037	-1	1	-3
89.926	94.963	1	1	-3
47.482	52.519	-1	2	-36
42.445	47.482	1	-2	-36
29.975	35.012	-1	3	-13
26.617	31.654	1	-3	-13
...				
200.00	205.037	-2	1	-60
189.926	194.963	2	-1	-60

Tabelle 1, s. Text

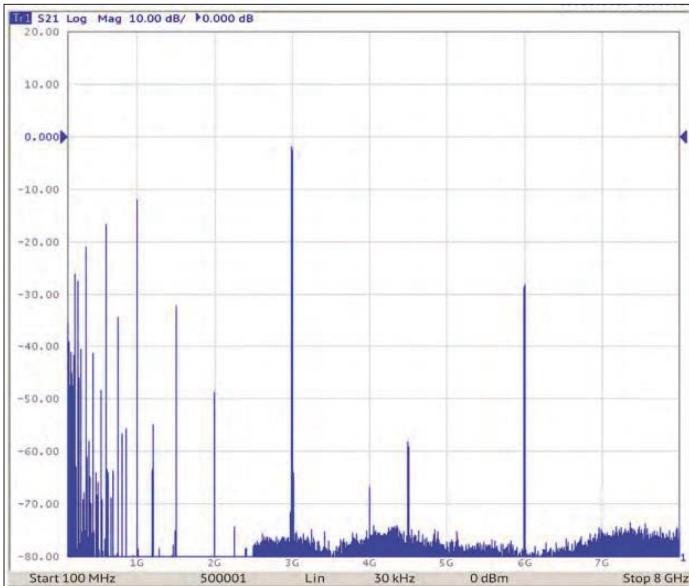


Bild 1: Ein 3-GHz-Signal und seine Oberwellen. Messbandbreite 7,9 GHz

maximal 1 dB beträgt, sollte die Anzahl der Sweep-Punkte auf $200/(0,6 \times 0,03) = 11111$ eingestellt werden. Die Aufmauergrafik beruht auf einer viel höheren Anzahl von Sweep-Punkten (10.000), um eine höhere Genauigkeit bei den LO-Oberwellen zu erreichen. Diese gewählten Parameter ergeben eine Sweep-Zeit von 12 s. Bild 1 zeigt das Spektrum eines Signals bei 3 GHz mit dem Pegel von -2 dBm und einer zweiten Harmonischen von -25 dB. In diesem Beispiel reicht die Auflösung der Anzeige und des Drucks nicht

aus, um das Direktsignal und das Bild der Produkte getrennt anzuzeigen.

Darstellung eines QPSK- und eines OFDM-Signals

Die Bilder 2 und 3 zeigen die Spektren eines 32-MHz-QPSK-Signals mit einer Trägerfrequenz von 1 GHz (984 bis 1016 MHz Bandbreite bei -6 dB), analysiert mit einem Planar 804/1 VNA. Der LO ist zwischen 979 und 989 MHz abgestimmt und das Differenzsignal $ZF = f_{\text{signal}} - f_{\text{LO}}$ gewissermaßen an der unteren

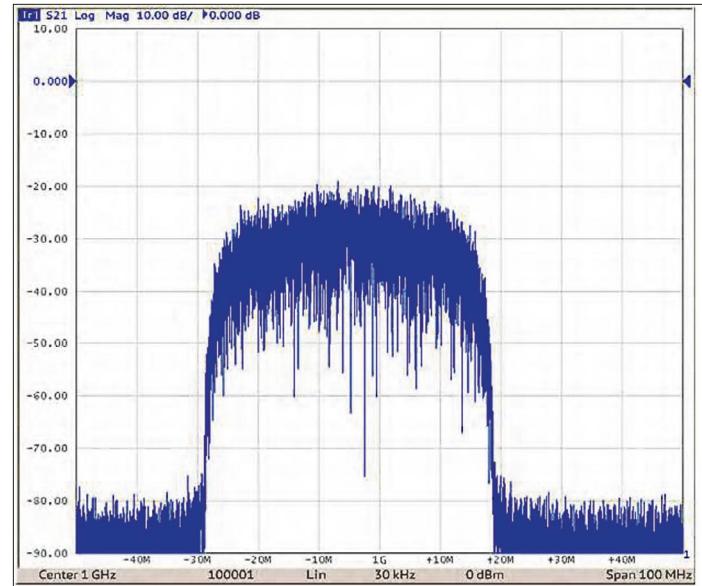


Bild 2: 32-MHz-QPSK-Signal. Messbandbreite 100 MHz

LO-Grenze empfangen. Die angezeigte Frequenzbandbreite beträgt 974 bis 984 MHz.

Während der weiteren LO-Abstimmung von 989 bis 1011 MHz wird das Signal sowohl an der unteren als auch an der oberen LO-Grenze empfangen, und die angezeigte Frequenzbandbreite beträgt 984 bis 1006 MHz. Bei weiterer LO-Abstimmung von 1011 bis 1021 MHz wird das Signal an der oberen LO-Grenze empfangen ($ZF = f_{\text{LO}} - f_{\text{signal}}$); die angezeigte Frequenzbandbreite beträgt 1006

bis 1016 MHz. Während des mittleren Abschnitts der Messung, wo sowohl die obere als auch die untere Mischfrequenz liegen und empfangen werden, wird das rauschartige Eingangssignal im Detektor inkohärent kombiniert, was zu einem angezeigten Pegel führt, ca. 3 dB höher als im Bereich von 974 bis 984 MHz gemessen. Bild 3 hebt diesen 3-dB-Schritt in der Mitte des gemessenen Signalspektrums hervor.

Die Bilder 4 und 5 zeigen die Spektren eines 7,6-MHz-OFDM-

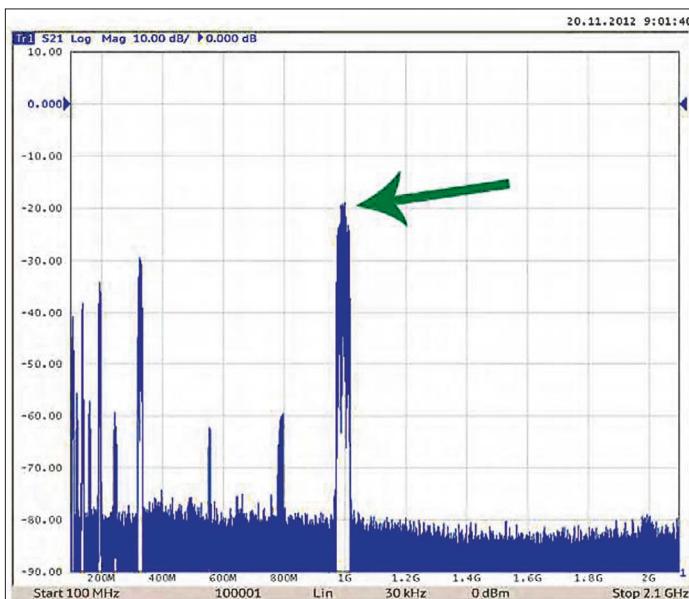


Bild 3: 32-MHz-QPSK-Signal. Messbandbreite 2 GHz

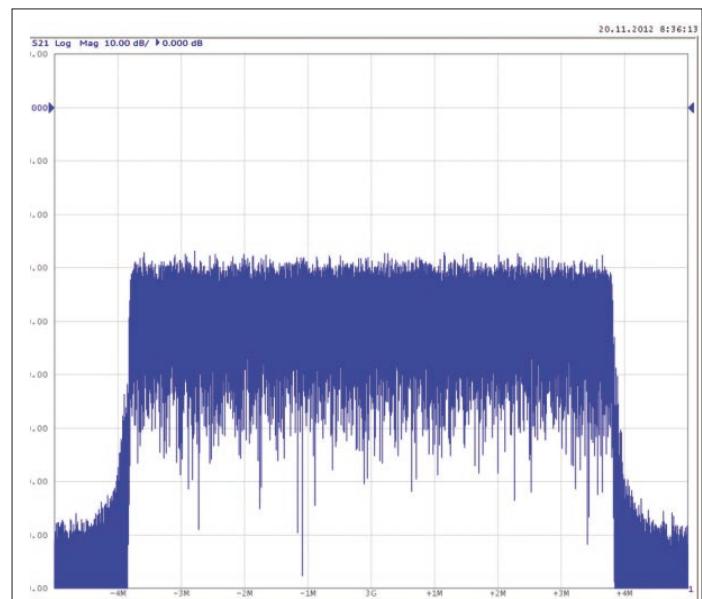


Bild 4: Ein 7,6-MHz-OFDM-Signal. Messbandbreite 10 MHz

Signals mit einer Trägerfrequenzen von 3 GHz (Bild 4) und 1 GHz (Bild 5), analysiert mit einem Planar 304/1 VNA. Die Bildfrequenz von 21,4 MHz ermöglicht die Anzeige von oberer und unterer Frequenzmischung getrennt.

Gut zu wissen

Das Problem der geringen Dämpfung der Mischprodukte sollte in Zusammenhang mit dem Vorteil der Verlängerung der Spektralanalyse-Bandbreite jenseits der Bandbreite des VNA selbst mittels des ersten Mischers, der bei der Frequenz der dritten LO-Harmonischen arbeitet, gesehen werden. Die angezeigten Signale sind leichter zu erkennen, wenn harmonische und schmalbandige Eingangssignale werden gemessen. Die Angabe des Signalempfangs bei der dritten Harmonischen bedeutet eine getrennte Anzeige von Direkt- und Bildmischfrequenzen 2/3 ZF im Gegensatz zu 2 ZF für den Signalempfang bei der ersten Harmonischen. Die Eingangssignalfrequenz ist gleich

$$f_{\text{signal}} = 3 f_{\text{disp up}} + 2 \text{ ZF}$$

für die obere LO-Grenze oder

$$f_{\text{signal}} = 3 f_{\text{disp low}} + 4 \text{ ZF}$$

für die untere LO-Grenze.

Es sollte beachtet werden, dass eine solche Bandbreitenerweiterung zu starker Welligkeit der Anzeige der Eingangssignalleistung führt. Beim Planar 804/1 VNA beispielsweise führt der Empfang eines 13-GHz-Signals zur Reduzierung der angezeigten Leistung um 27 dB im Vergleich zur angezeigten Leistung für das 8-GHz-Signal bei Verwendung der ersten LO-Harmonischen. Diese Reduzierung wird durch den Übergang zur dritten LO-Oberschwingung definiert, welche die Mischleistung bei höheren Frequenzen verschlech-

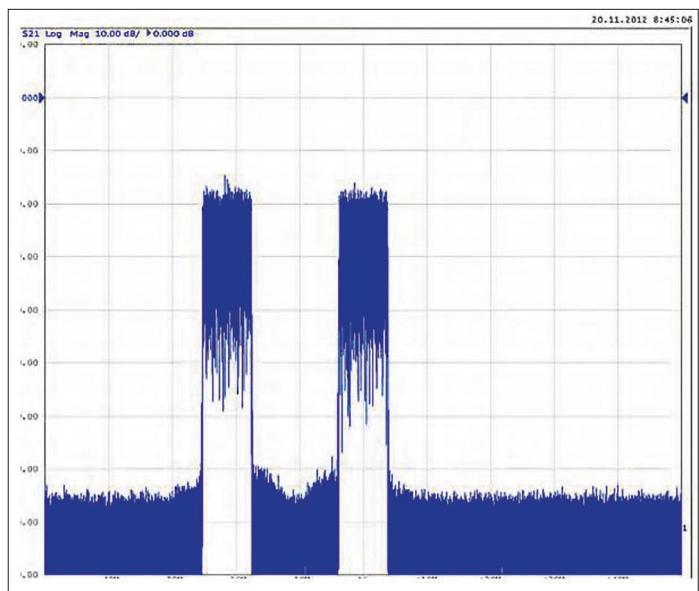


Bild 5: 7,6-MHz-OFDM-Signal. Messbandbreite 100 MHz

tert, einhergehend mit einer Reduzierung der Eingangsverstärkung und der Wandlungsverstärkung im Eingangskreis mit dem Richtkoppler.

Daraus können wir schließen, dass VNAs für die bewertende Spektrumanalyse bestimmter Signale durchaus verwendet werden können. ◀