

Analog-/HF-Meßtechnik



Dipl.-Ing. Werner Schnorrenberg

Rauschmessungen mit dem Spektrumanalysator

Beispiel: „Phasenrauschen“

Kein elektronisches Bauelement ist frei von stochastischem Rauschen (Random Noise). Jeder Oszillator endlicher Güte und Bandbreite erzeugt deshalb durch Rauschen Frequenzabweichungen, welche die Phasencharakteristik des Oszillators beeinflussen. Bei guten Oszillatoren sind diese Abweichungen sehr gering und verhalten sich zur Stör-FM (Jitter, Kurzzeitstabilität) etwa so, wie diese zur Drift. Der folgende Beitrag geht auf die Meßpraxis in diesem Teilgebiet der Rauschmessungen ein und gibt auch zahlreiche Hinweise zur Minimierung von Meßfehlern.

Im Frequenzbereich wird Phasenrauschen in Form von Rauschseitenbändern rechts und links vom Träger sichtbar (Bild 1).

Neben Phasenrauschen wirkt sich aber auch Amplitudenrauschen auf eine „Verbreiterung“ des beanspruchten Signalspektrums aus. Im Trägerabstand von bis zu einigen 100 kHz besteht das Seitenbandrauschen jedoch praktisch ausschließlich aus Phasenrauschen.

Geringes Phasenrauschen weisen Oszillatoren mit hoher Schwingkreisgüte (Q) auf, wie z. B. Quarzoszillatoren oder freischwingende LC-Oszillatoren.

Phasensynchronisierte Oszillatoren (Synthesizer) weisen den Vorteil hoher Frequenzgenauigkeit und -stabilität auf, zeigen jedoch häufig ein so hohes Phasenrauschen, daß sie als Überlagerungsozillatoren hochwertiger Empfänger völlig unbrauchbar sind.

Eine weitere Quelle starken Seitenbandrauschens kann durch Vervielfachung (n) von Oszillatorfrequenzen ($f_0 \cdot n$) entstehen. Hierbei ist zu beachten, daß das Phasenrauschen des mit n multiplizierten Oszillatorsignals um den Faktor $20 \lg n$ ansteigt!

Messung des Seitenbandrauschens

Neben Stabilität und spektraler Reinheit (Nebenwellen, Oberwellen) ist das Seitenbandrauschen als Qualitätskriterium von Oszillatoren in den letzten Jahren immer mehr in den Mittelpunkt der Aufmerksamkeit gerückt. Das Seitenbandrauschen (SBN = Sideband Noise) wurde zur Schlüsselinformation von Signalquellen und muß somit meßtechnisch erfaßt werden.

Die Rauschamplituden auf beiden Seiten des Trägers entstehen durch die Phasenmodulation des Trägers mit „Random-Noise“-Signalen. Deswegen wird SBN ebenso wie „Random Noise“ in Leistung/Bandbreite (dBm/Hz) gemessen, wobei die SBN-Werte nicht konstant über den Frequenzbereich verteilt sind, sondern vom Träger ausgehend mit ca. 9 dB/Oktave abfallen. Es muß also defi-

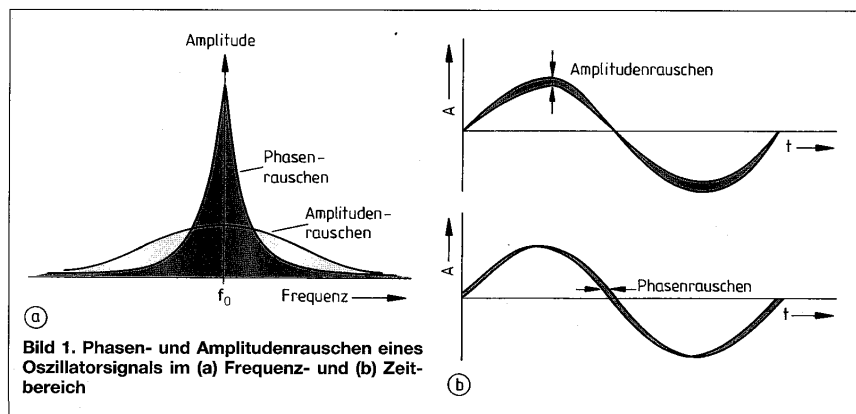
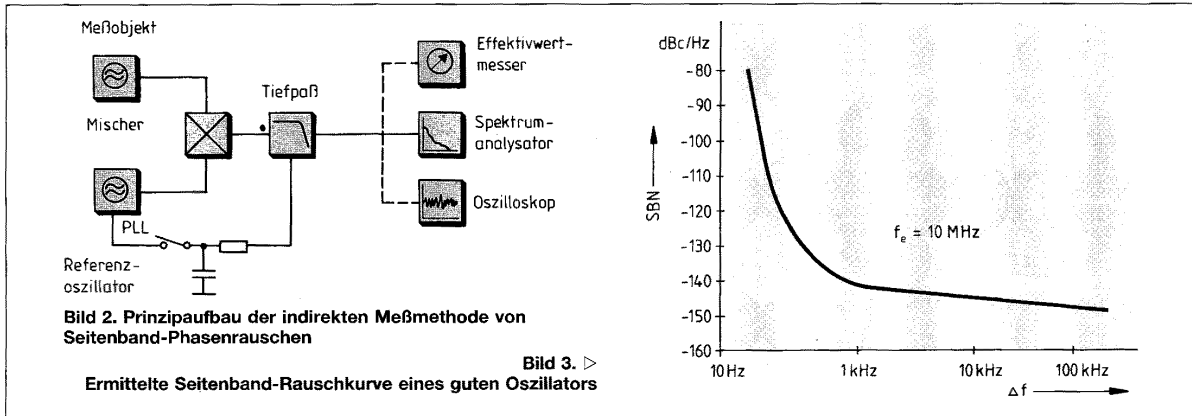


Bild 1. Phasen- und Amplitudenrauschen eines Oszillatorsignals im (a) Frequenz- und (b) Zeitbereich

Analog-/HF-Meßtechnik



iert werden, in welchem Abstand (Offset) vom Träger die Messung durchgeführt wird. Modulationsseitenbänder (wie AM, FM) werden – im Gegensatz zum Rauschen – relativ in bezug zum Trägerpegel in dBc gemessen.

Resultierend aus diesen Betrachtungen wird SBN – ähnlich wie das Signal/Rausch-Verhältnis (S/N) – in Einheiten von dBc/Hz, ausgehend vom Träger, in einem definierten Abstand zu diesem gemessen.

Die meisten Oszillatoren erzeugen Seitenbandrauschpegel von -70 bis -110 dBc/Hz in einem Trägerabstand von 10 kHz. Beste Oszillatoren, wie Referenzoszillatoren im Bereich von 10...100 MHz, erzeugen Seitenbandrauschpegel von < -160 dBc/Hz in 10 kHz Offset. Oszillatoren mit mäßiger Stabilität oder sehr hochfrequente Oszillatoren (20lg n!) können auch schlechte Werte von nur -40 dBc in 10 kHz Offset aufweisen.

Indirekte Methode

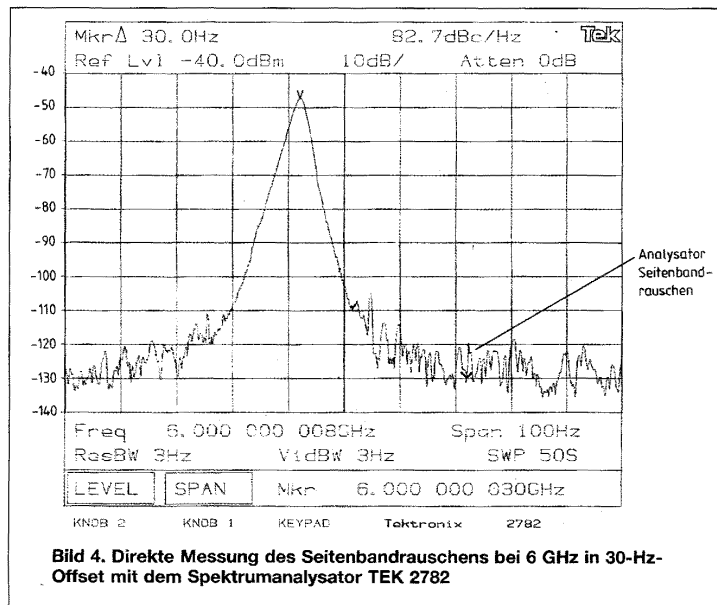
Sehr rauscharme Oszillatoren können nur indirekt gemessen werden. Das Prinzip der Messung beruht auf der Unterdrückung des Trägers, Ausfilterung des Seitenbandrauschens, Messung der effektiven Rauschspannung und Vergleich mit dem Trägerpegel (Bild 2).

Der Referenzoszillator und der zu testende Oszillator haben die gleiche Frequenz und werden in einem Balance-Modulator (Ringmischer) auf die Frequenz „Null“ gemischt. Das Mischprodukt steuert eine PLL-Schleife, die den Referenzoszillator phasenstarr an den zu untersuchenden Oszillator anbindet. Für die Phasenregelschleife ist eine große Zeitkonstante zu wählen, so daß nur sehr langsame Frequenzänderungen (Drift) ausgeregelt werden. Die schnellen Phasenänderungen (Phasenrauschen) können mit einem empfindlichen, rauscharmen und hochselektiven Spektrumanalysator für

niedrige Frequenzen untersucht werden (Bild 3). An Stelle des Spektrumanalysators kann auch ein Effektivspannungsmesser mit hohem Crest-Faktor oder ein Oszilloskop verwendet werden. Damit lassen sich allerdings nur quantitative Messungen durchführen, wie z. B. der Vergleich zweier Oszillatoren miteinander. Für korrekte Messungen muß in jedem Fall gewährleistet sein, daß die Rauschseitenbänder des Referenzoszillators und des Spektrumanalysators als Summe kleiner sind als das Rauschen des zu testenden Signals! Falls die Empfindlichkeit des Analysators nicht ausreicht, muß ein Vorverstärker eingesetzt werden.

Direkte Methode

Die direkte Methode der Messung des Seitenbandrauschens gestaltet sich sehr viel einfacher und unempfind-



Analog-/HF-Meßtechnik

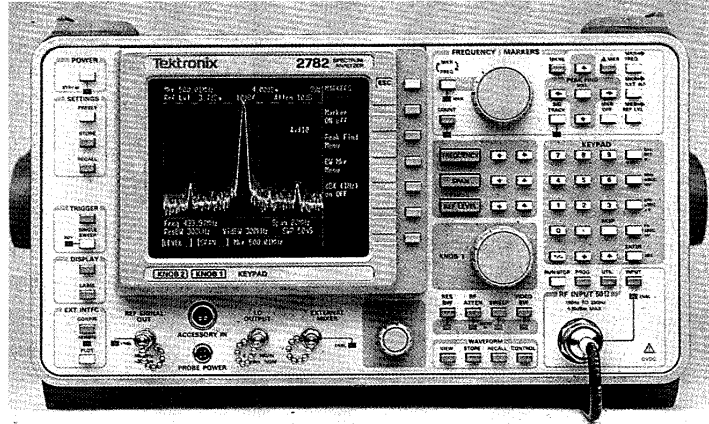
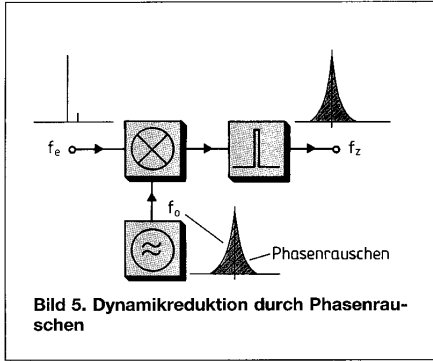


Bild 6. Spektrumanalysator TEK 2782 für den Frequenzbereich von 100 Hz bis 33 GHz (koaxial)

licher gegen Meßfehler als die indirekte. Der zu testende Oszillator wird direkt mit dem Eingang des Spektrumanalysators verbunden und das Seitenband-Phasenrauschen unmittelbar im definierten Abstand zum Träger in dBc/Hz gemessen (Bild 4).

Grundsätzlich muß der für SBN-Messungen geeignete Spektrumanalysator über einen hohen 1-dB-Kompressionspunkt (Großsignalfestigkeit) und über ein hohes Auflösungsvermögen (≤ 10 Hz) verbunden mit hoher Filterflankensteilheit verfügen, so daß sehr nahe an den Träger herangemessen werden kann. In Trägernähe hängt die Meßbereichs-Dynamik neben der Filterflankensteilheit wesentlich von der spektralen Reinheit des Lokaloszillators ab (Bild 5). Durch Mischung wird das Phasenrauschen des LOs auf die Meßsignale übertragen.

Kleine Signale (kohärente Seitenbänder) in der Nähe des Trägers können dabei, trotz ausreichender Filterselektion, vom Phasenrauschen des LOs zugedeckt werden und kommen nicht zur Anzeige. Das auf dem Bildschirm dargestellte Seitenbandrauschen entspricht dann dem des internen LOs und nicht dem des zu testenden Signals.

Einfache HF- und Mikrowellen-Analysatoren besitzen ein SBN von ca. -60 dBc/Hz in 10 kHz Abstand, gute Analysatoren -80 dBc/Hz und sehr gute Geräte kleiner -110 dBc/Hz.

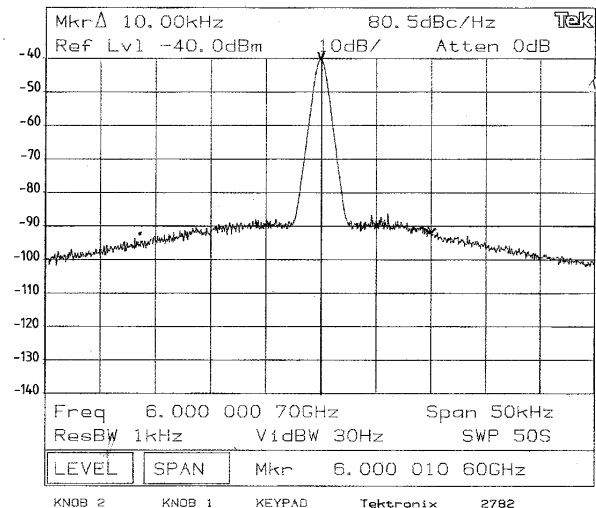
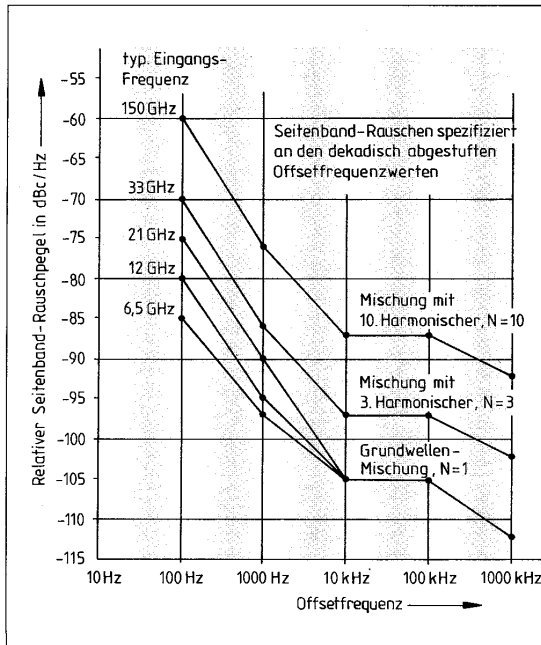


Bild 8. Phasenrausch-Messung bei 6 GHz und 10 kHz Offset

◀ Bild 7. Typisches Seitenbandrauschen des TEK 2782

Analog-/HF-Meßtechnik

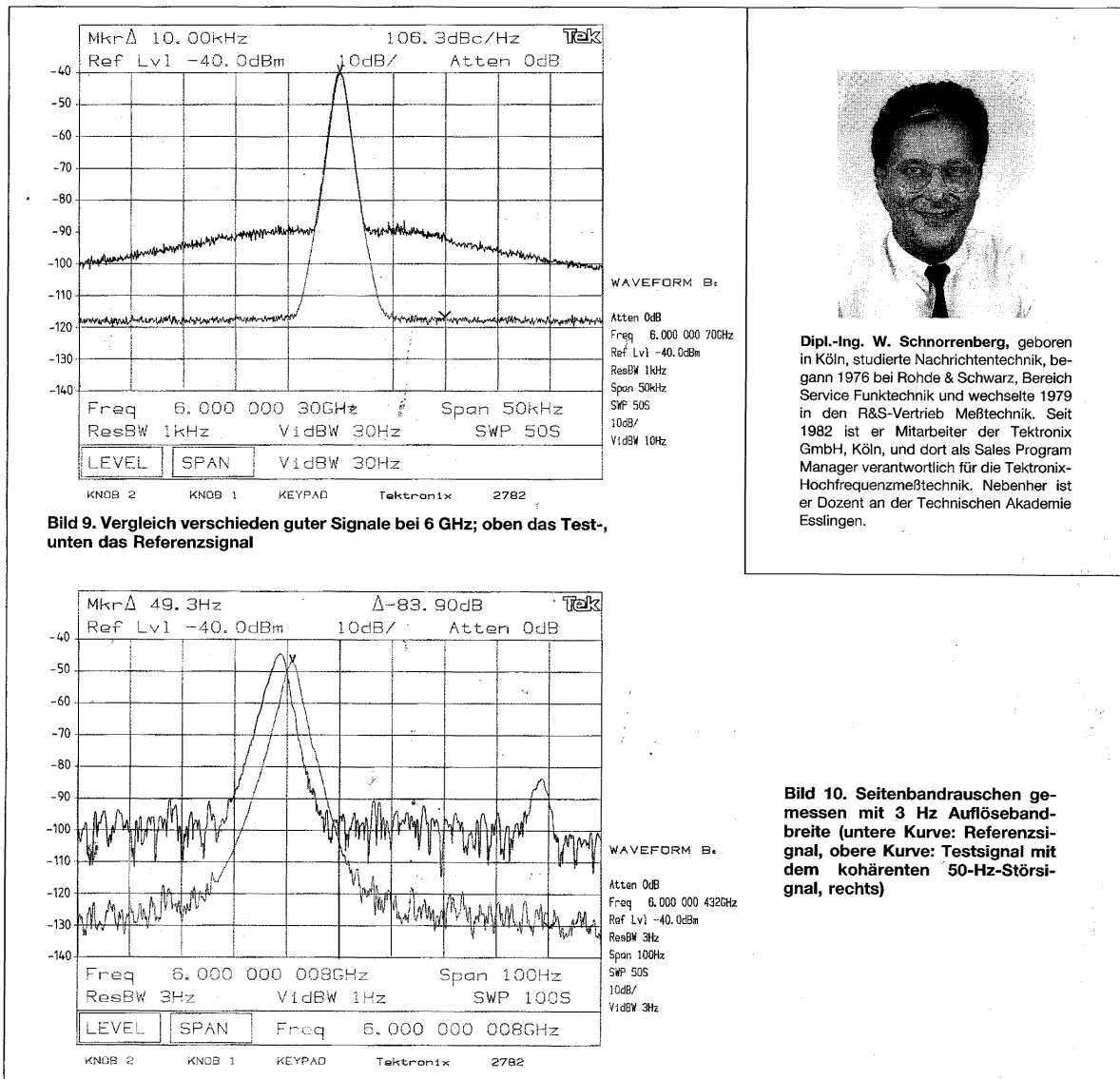
Dies dürfte der Meßgrenze des Analysators entsprechen, die bis 21 GHz mit -105 dBm spezifiziert ist.

Der Abstand zwischen internem und externem Rauschen ist groß genug, so daß das Meßergebnis gültig ist. Bei weiterer Auflösung der Signale bis herunter zu 3 Hz Auflösungsbandbreite und 100 Hz Hub im Bild 10, zeigt das Signal des Synthesizers außerdem ein kohärentes Störsignal bei 50 Hz Offset (Netzbrumm). Das Seitenbandrauschen des Vergleichsignals beträgt $82,7$ dBc/Hz in 30 Hz Abstand – was der Meßgrenze des Analysators entsprechen dürfte – das des Synthesizers liegt um ca. 25 dB darüber und ist schon ab einem 10-Hz-Offset meßbar!

Hinweis: Wenn das zu messende Oszillator-Seitenbandrauschen bis zu 10 dB an das des Analysators herankommt, muß der Meßwert entsprechend der Kurve, die im Kasten gezeigt ist, korrigiert werden.

Literatur

- [1] Engelson, M.: Sideband Noise Measurement. Tektronix-Appl.-Note 26 W-7047.
- [2] Engelson, M.: Random Noise Measurement. Tektronix-Appl.-Note 26 W-7045.
- [3] Schnorrenberg, W.: Spektralanalyse – Theorie und Praxis. Vogel Buchverlag, Würzburg.



Dipl.-Ing. W. Schnorrenberg, geboren in Köln, studierte Nachrichtentechnik, begann 1976 bei Rohde & Schwarz, Bereich Service Funktechnik und wechselte 1979 in den R&S-Vertrieb Meßtechnik. Seit 1982 ist er Mitarbeiter der Tektronix GmbH, Köln, und dort als Sales Program Manager verantwortlich für die Tektronix-Hochfrequenzmeßtechnik. Nebenher ist er Dozent an der Technischen Akademie Esslingen.

Analog-/HF-Meßtechnik

Im Mikrowellenbereich gestaltet sich die direkte Messung von SBN als besonders schwierig, da die Mischtechnik konventionell aufgebauter Mikrowellen-Analysatoren Oberwellen (n) des 1. LOs verwendet (bis zu $n=50$). Das Seitenbandrauschen des Analysators verschlechtert sich dabei um den Wert $20 \lg n$.

Mikrowellenanalysatoren neuester Entwicklung – wie der TEK 2782 (Bild 6) – umgehen dieses Problem, indem das Prinzip der Grundwellenmischung ($n=1$) bis 28 GHz angewendet wird. Der Analysator erreicht durch dieses neue Verfahren erstmalig Seitenbandrauschwerte von -105 dBc/Hz in 10 kHz Offset bei 21 GHz oder -97 dBc/Hz bei 33 GHz und -87 dBc/Hz bei 150 GHz (Bild 7). Die kleinste Auflösungsbandbreite von 3 Hz ist bis 28 GHz anwendbar.

Im Bild 8 werden die Rauschseitenbänder eines Synthesizer-Generators bei 6 GHz ausgemessen. Die Auflösungsbandbreite des Analysators beträgt 1 kHz, die Videobandbreite 30 Hz und die Sweep Time 50 s. In einem Offset von 10 kHz beträgt das Phasenrauschen des Signals $-80,5$ dBc/Hz.

Wie hoch ist das Seitenbandrauschen des Analysators selbst bei dieser Frequenz? Zur Beantwortung der Frage wurde in Bild 9 ein zweites, sehr sauberes 6-GHz-Signal angelegt (unt. Kurve). Das Seitenbandrauschen dieses Signals liegt um mehr als 25 dB tiefer, bei $-106,3$ dBc/Hz.

