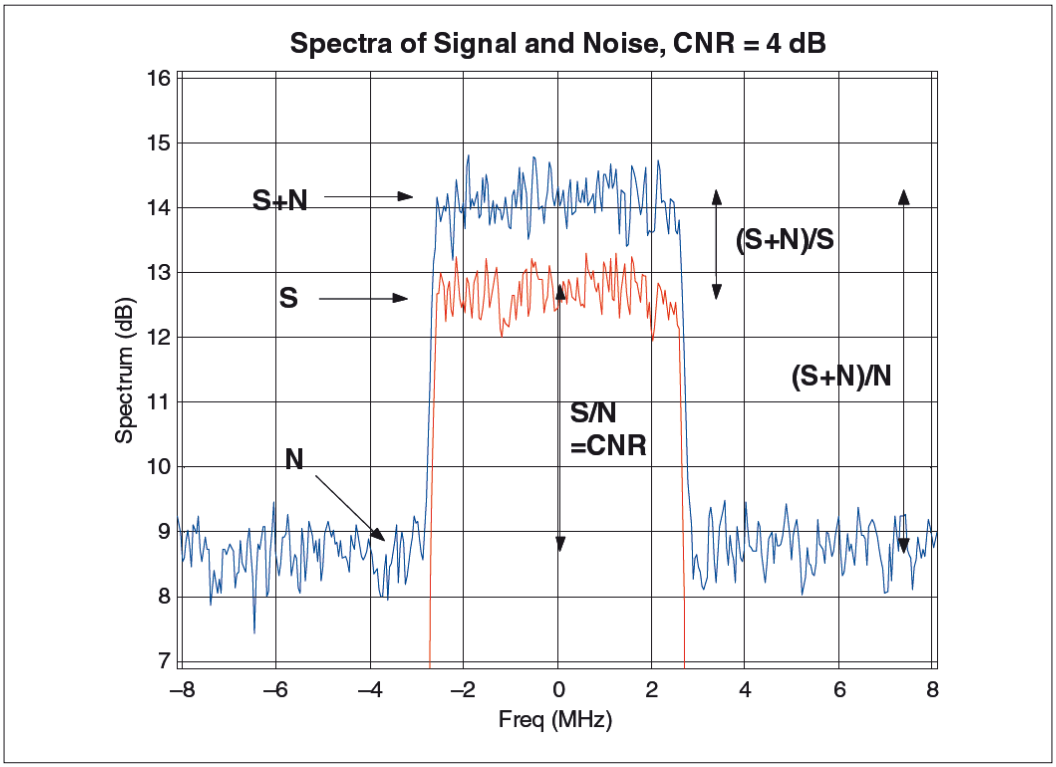
Rausch- und Fehlerangaben in modernen Übertragungssystemen



In modernen Übertragungssystemen wie DOCSIS, für schnelleren Datentransport im Kabel oder Internet of Things mit einem Träger in einem belegten Mobilfunkkanal, erhalten Rauschabstände und Fehlerangaben möglicherweise eine höhere Bedeutung.

Quelle: White Paper "Digital Transmission: Carrier-to-Noise Ratio, Signal-to-Noise Ratio, and Modulation Error Ratio", 2006-2011 Broadcom Corporation and Cisco Systems, Inc., CMTS-WP101-R January 2012 freie Teilübersetzung von FS

Hier werden diese Parameter darum etwas näher vorgestellt.

Die Tabelle nennt die in der modernen digitalen Übertragungstechnik wichtigen Rausch- und Fehlerangaben. Im Folgenden werden einige davon noch etwas näher erläutert.

Das CNR bei digitaler Modulation

Die DOCSIS Radio Frequency Interface Specification schreibt als Minimum 35 dB CNR für einen Downstream mit digital modulierten Signalen vor. Zum Vergleich: Für einen analogen TV-Kanal fordert man meist ein CNR von 46 dB oder höher, sodass bei DOCSIS keine Probleme zu erwarten sind. Das für DOCSIS verlangte minimale Upstream-CNR für digital modulierte Signale ist sogar nur 25 dB. Das C in CNR steht für die mittlere Leistung des digital modulierten Signals, oft spricht man hier von der digitalen Kanalleistung (digital channel power). Es wird in der voll genutzten Bandbreite des Signals gemessen, wie beispielsweise 6 MHz für ein nordamerikanisches DOCSIS-Downstream-Signal.

Wie das SNR lässt sich das CNR nicht direkt messen, da man ein Signal nicht vom Rauschen isolieren kann. Moderne Messgeräte können das isolierte Signal aber intern errechnen und zur Anzeige bringen. Das Aufmacherbild zeigt Signal und Rauschen allein sowie Rauschen plus Signal und stammt von einem entsprechend leistungsfähigen Spectrum Analyzer.

E_S/N_0 und CNR eines digital modulierten Signals

E_S/N_0 ist der am meisten genutzte Parameter, um bei der digitalen Kommunikation den Rauschanteil am gesamten Signal zu repräsentieren. Dieser Parameter ist definiert als Verhältnis von mittlerer Energie E_S per QAM-Symbol zur spektralen Rauschleistungsdichte. N_0 deutet hier auf thermisches/weißes Rauschen hin. Das Verhältnis wird üblicherweise in dB ausgedrückt.

Die Energie per Symbol ist gleich zur mittleren Leistung (average power) über eine Sekunde, dividiert durch die Anzahl der Symbole in dieser Zeit.

Wie lassen sich E_S/N_0 und CNR unter einen Hut bringen? Wenn wir Zähler und Nenner mit der Symbol Rate RS multiplizieren, erhalten wir folgenden Ausdruck:

$$\frac{E_S}{N_0} = \frac{E_S R_S}{N_0 R_S}$$

$$= \frac{\text{Signal Power}}{\text{Noise Power in Symbol Rate Bandwidth}}$$

$$= CNR$$

Angenommen wird hier kein Synchrone Code-Division Multiple Access (S-CDMA)] Spreading.

Diese Gleichung sagt aus, warum bei der Messung des CNR für digital modulierte Signale typischerweise die Rauschbandbreite gleich der Symbol Rate angesetzt wird: Das führt dazu, dass CNR und E_S/N_0 gleich sind.

Das SNR eines demodulierten digitalen Signals: RxMER

Die Lösung besteht darin, eine neue Quantität zu definieren, um das SNR eines digitalen Basisbandsignals darzustellen: das Receive Modulation Error Ratio. Das RxMER ist definiert als das Verhältnis von average constellation symbol power zur average constellation error power, s. auch Tabelle, ausgedrückt in dB. Wie wir noch sehen werden, betrifft das RxMER die demodulierten komplexen Basisband-Konstellationssymbole und misst deren Qualität. Damit zeigt es mehr den Status, den die Kommunikationsstrecke im Endeffekt aufweist, weil es ja diese demodulierten Symbole sind, die

Abkürzung	Name	Definition	Einheit
CNR (oder C/N)	Carrier-to-Noise Ratio	Verhältnis von Träger- oder Signalleistung zur Leistung des weißen/thermischen Rauschens in einer spezifizierten Bandbreite; Träger/Signal kann nicht direkt gemessen werden, da sich Träger/Signal nicht vom Rauschen isolieren lassen, man ermittelt also C+N und N und rechnet um	dB
C/N_0	Carrier-to-Noise-Density Ratio	Vergleichsbasis ist hier die spektrale Leistungsdichte des weißen/thermischen Rauschens.	dB Hz
CNIR (oder C/(N+I))	Carrier-to-Noiseplus-Interference Ratio	Vergleichsbasis ist hier die gesamte Rauschleistung einschließlich weißem Rauschens und Interferenzen in einer spezifizierten Bandbreite.	dB
E_S/N_0	Energy-Persymbol-to-Noisedensity Ratio	bei digitaler Modulation das Verhältnis der mittleren Energie eines QAM-Symbols zur spektralen Leistungsdichte des weißen Rauschens	dB
EVM	Error Vector Magnitude	Verhältnis von echtem Effektivwert (RMS Constellation Error Magnitude) zum Spitzenwert (Peak Constellation Symbol Magnitude)	%
MER	Modulation Error Ratio	Verhältnis von mittlerer Signalleistung zur mittleren Leistung des Fehlersignals	dB
RxMER	Receive Modulation Error Ratio	gemessen in einem digitalen Empfänger nach der Demodulation mit oder ohne adaptiver Angleichung (Equalization)	dB
SNR (oder S/N)	Signal-to-Noise Ratio	(a) Allgemeine Angabe (b) Im Speziellen Verhältnis von Signalleistung zu Rauschleistung, hervorgerufen im Basisband vor der Modulation oder nach der Demodulation	dB
TxMER	Transmit Modulation Error Ratio	wird vom Sender produziert, reales Messergebnis mithilfe eines als ideal anzunehmenden Messempfängers	dB

Tabelle: Für die aktuelle Übertragungstechnik wichtige Rausch- und Fehlerangaben

fortlaufend richtige oder falsche Bits (bit errors) am Empfängerausgang nach Bearbeitung durch die Forward Error Correction (FEC) produzieren.

Mehr zum Modulation Error Ratio

Das Modulation Error Ratio (MER) wird bei digitalen komplexen Basisbandsignalen oft mit dem SNR gleichgesetzt oder verwechselt. Wie nutzt man das MER, um ein Datensignal zu charakterisieren? Der Modulation Error ist die Vektordifferenz zwischen dem idealen Ziel-Symbol-Vektor und dem übertragenen Symbol-Vektor (Bild 1). Es geht hier um eine direkte Messung der Modulationsqualität (Bild 2). Das Modulation Error Ratio wird normalerweise in dB ausgedrückt:

MER in dB = 10 log (average symbol power/average error power)

Bild 3 illustriert das grafisch. Je höher das MER, umso besser.

Das MER gewährleistet einen gewissen Einblick in die Art der vorliegenden Beeinträchtigung.

Eine mathematisch noch präzisere Definition des MER (in dB) lautet:

$$MER = 10\log_{10}\left[\frac{\sum_{j=1}^{N}\left(I_j^2+Q_j^2\right)}{\sum_{j=1}^{N}\left(\delta I_j^2+\delta Q_j^2\right)}\right]$$

I und Q sind die realen (in-phase) und imaginären (quadrature) Teile jedes gesampelten idealen Ziel-Symbol-Vektor, $_d$I und $_d$Q sind die entsprechenden Teile jedes Modulation Error Vectors. Diese Definition setzt voraus, dass ein Sample zugrundeliegt, das lang genug ist, sodass alle Konstellationssymbole in gleichem Maße auftreten.

Man kann sagen, das MER zeigt an, wie unscharf ("fuzzy") die Symbolpunkte einer bestimmten Konstellation sind.

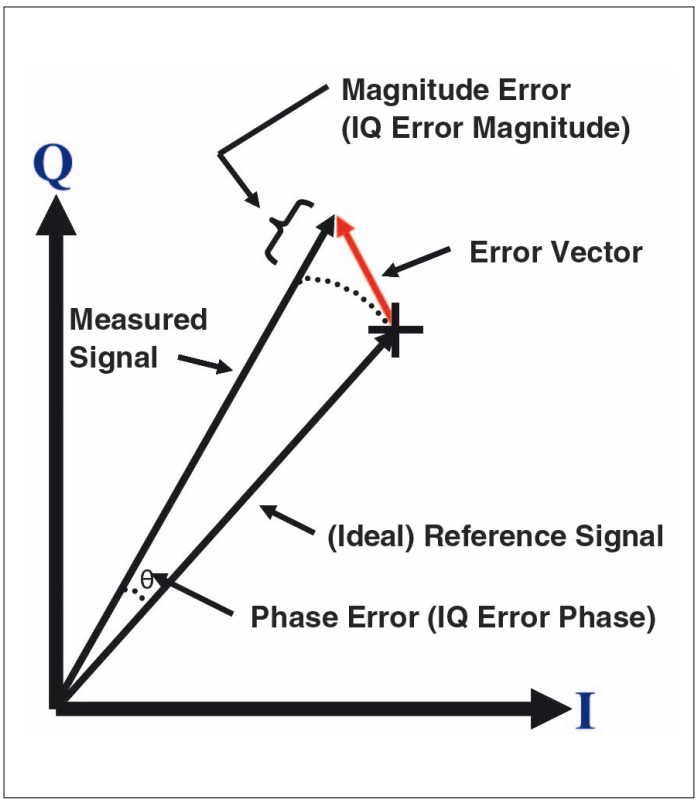


Bild 1: Error Vector als Differenz zwischen gemessenem Signal und dem Referenz- oder Ziel-Signal (Quelle: Hewlett-Packard)

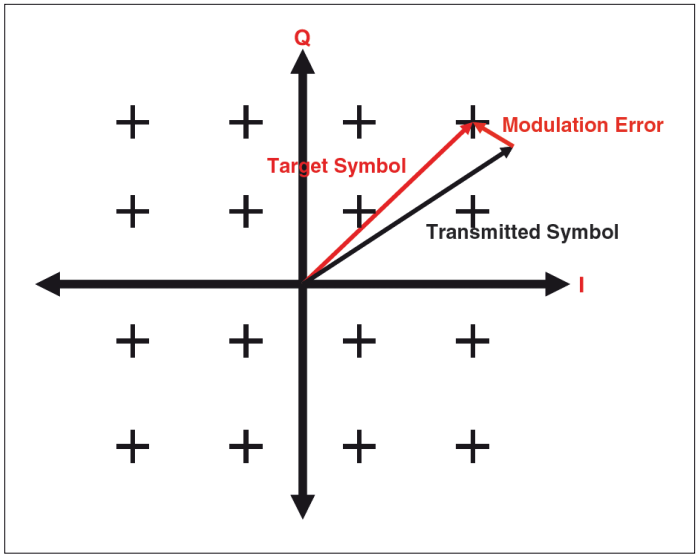


Bild 2: Der Modulation Error informiert über die Modulationsqualität (Quelle: Hewlett-Packard)

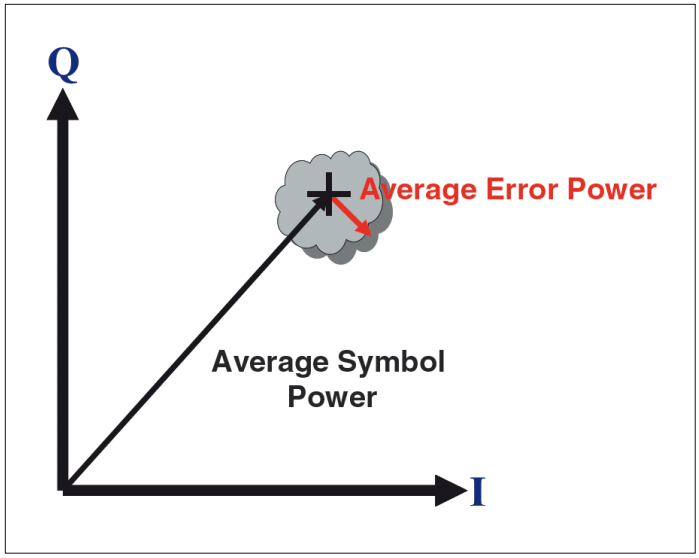


Bild 3: Modulation Error Ratio als Verhältnis von Average Symbol Power zu Average Error Power (Quelle: Hewlett-Packard)

Das Transmit MER

Auch das Transmit MER (TxMER) ist von Interesse. Das TxMER wird gemäß Tabelle definiert. Bei einem realen Test ist der Empfänger jedoch nicht ideal und muss daher seinen eigenen Teil zur Verschlechterung des MER beitragen. Dieser Beitrag ist gering (wenige dB) und präzise messbar. Daher ist eine entsprechende Korrektur des TxMER-Messergebnisses möglich. ◄

Fachbücher für die Praxis

Praxiseinstieg in die vektorielle Netzwerkanalyse

Joachim Müller,
21 x 28 cm, 142 Seiten, zahlr. Abb. und Tabellen
ISBN 978-3-88976-159-0,
beam-Verlag 2011, 32,- €
Art.-Nr.: 118100

In den letzten Jahren ist es der Industrie gelungen, hochwertige vektorielle Netzwerkanalysatoren vom schwergewichtigen Gehäuse bis auf Handheldgröße zu verkleinern. Doch dem nicht genug: Durch ausgefeilte Software wurden einfache Bedienkonzepte bei steigender Funktionalität erreicht.

Auch für den Funkamateur wird neuerdings die Welt der Netzwerkanalyse durch Selbstbauprojekte, deren Umfang und Funktionalität den Profigeräten sehr nahe kommen, erschlossen. Damit sind die Voraussetzungen für die Anwendung der vektoriellen Netzwerkanalyse im Feldeinsatz aus Sicht der verfügbaren Gerätetechnik geschaffen.Fehlte noch die geräteneutrale Anleitung zum erfolgreichen Einstieg in die tägliche Praxis.

Das in Hard- und Software vom Entwickler mit viel Engagement optimal durchkonstruierte Gerät büßt alle seinen hervorragenden Eigenschaften ein, wenn sich beim Messaufbau grundlegende Fehlerquellen einschleichen.

Dieses Buch beschäftigt sich mit den Grundlagen des Messaufbaus, unabhängig vom eingesetzten Gerät, um den Praxiseinstieg zu meistern.

Unser gesamtes Buchprogramm finden Sie unter www.beam-verlag.de
oder bestellen Sie über info@beam-verlag.de