

Article Reprinted with Permission from

**Spektral korrelieren,
by Peter Winterling,
2019/3, NET Zeitschrift für
Kommunikationsmanagement,
Ausgabe 3, 4 pgs, 2019,
Brigitte Kasper**



Kontakt +49 7121 86 2222

Sie finden das nächstgelegene
VIAMI-Vertriebsbüro auf
viavisolutions.com/contacts

© 2019 VIAMI Solutions Inc.
Die in diesem Dokument enthaltenen Produktspe-
zifikationen und Produktbeschreibungen können
ohne vorherige Ankündigung geändert werden.
spektralkorrelieren-arp-fop-nse-de
30187699 900 0419

viavisolutions.de

Spektral korrelieren

Optische Spektrumanalyse an kohärenten Übertragungssystemen von 100-Gigabit-Ethernet und höher

Peter Winterling

Lange Zeit gab es keine Lösung für eine Inband- und Inservice-Messung für das optische Signal-Rausch-Verhältnis (OSNR) an dualpolarisierten Signalen. Bis ein völlig neues Verfahren zur optischen Spektrumanalyse entwickelt wurde und auch schon in einem entsprechenden Messgerät bereitgestellt wird. Wie das funktioniert, erfahren Sie hier.

Der optische Spektrumanalysator ist das Basiswerkzeug bei Arbeiten an DWDM-Systemen (Dense Wave Division Multiplex). Gemessen werden mit ihm Kanalleistung, Wellenlänge und das optische Signal-Rausch-Verhältnis OSNR (Optical Signal to Noise Ratio). Das OSNR erlaubt einen Rückschluss auf die Übertragungsqualität und Bitfehlerfreiheit. Mit der Einführung von rekonfigurierbaren optischen Add/Drop-Multiplexern (ROADM) in optischen Netzen kann die dafür notwendige Ermittlung der Rauschleistung nur noch Inband, also an der gleichen Frequenz wie der Übertragungskanal mit der gleichen Messbandbreite erfolgen. Dies könnte durch Deaktivierung des Kanals erfolgen, was aber für Messungen an aktiv beschalteten Systemen nicht praktikabel ist. Mit einem auf der Polarisation-Nulling-Methode basierenden Messverfahren konnte diese Hürde allerdings vor einigen Jahren aus dem Weg geräumt werden. Das OSA-500RS von Viavi war damals das erste Messgerät im Markt, mit dem dies möglich war.

Mit der Einführung von 100-Gigabit-Ethernet-Übertragungssystemen wurde gleichzeitig ein dualpolarisiertes Modulationsverfahren (Dual Polarisation Quadratur Phase Shift Keying – DP-QPSK) eingeführt. Das so gemultiplizierte optische Signal ist auf dem optischen Pfad nicht mehr in seine beiden Übertragungskanäle trennbar. Und genau aus diesem Grund ist ein auf der Polarisation-Nulling-Methode basierendes Messverfahren ungeeignet, Inservice-Messungen zur Ermittlung des OSNR-Wertes durchzuführen.

Als technische Alternative bietet sich eine On-Off-Methode zur Ermittlung des OSNR-Wertes an. Dabei handelt es sich um ein zweistufiges Messprinzip, bei dem im ersten Schritt die Kanalleistung plus Rauschanteil gemessen



Bild 1: Der OSCA-710 mit UTM-Modul für Inband- und Inservice-OSNR-Messungen an dualpolarisierten Signalen für 100 Gbit/s und höher

sen wird. Im zweiten Schritt wird durch Deaktivierung des Übertragungskanals die Rauschleistung an der gleichen Wellenlänge und mit der gleichen Integrationsbandbreite ermittelt. Aus diesen beiden Ergebnissen wird anschließend der OSNR-Wert errechnet. Für die Inbetriebnahme eines DWDM-Systems oder dessen Erweiterung ist dies ein gangbarer Weg. Für eine Wartungsmessung an einem DWDM-System ist eine Deaktivierung der zu messenden Übertragungskanäle dagegen nicht praktikabel.

Lange Zeit gab es keine Lösung für eine Inband- und Inservice-Messung für OSNR an dualpolarisierten Signalen. Mit der Weiterentwicklung moderner Forward-Error-Correction-Verfahren (FEC) und dem damit verbundenen deutlich engeren Übergangsbereich von einer fehlerfreien Übertragung und dem Ausfall der Strecke kommt der Ermittlung des OSNR gleichzeitig immer höhere Bedeutung zu. Dies gilt besonders für höherstufige Modulationsverfahren, wie sie bei 200G und 400G eingesetzt werden. Um der Herausforderung zu begegnen, hat Viavi ein Messgerät mit einem völlig neuen Verfahren zur optischen Spektrumanalyse zur Serienreife gebracht (Bild 1). Mit ihm wird es mög-

Peter Winterling ist Senior Technology and Application Specialist Optical Transport bei der Viavi Solutions Deutschland GmbH in Eningen

lich, unabhängig von der optischen Modulation und Spektralform den OSNR-Wert zu ermitteln.

Die spektrale Korrelationsmethode SCoRM

Bei der Übertragung von 100 Gbit/s hat sich das DP-QPSK-Modulationsverfahren durchgesetzt, das mit einer Bandbreite von 50 GHz auskommt und so zur DWDM-Übertragung im ITU-Raster kompatibel ist. Für 200 Gbit/s wird mit 16QAM moduliert und gemäß Nyquist-Kriterien gefiltert. Auch dieses Signal passt in das 50-GHz-Raster.

Für die bei der Inbetriebnahme und Störungssuche notwendige Messung des optischen Signal-Rausch-Verhältnisses ist dies eine Herausforderung, da die bislang verwendeten Methoden zur Unterscheidung von Signal- und Rauschleistung nicht mehr funktionieren. Das Signal füllt die gesamte Bandbreite, so dass die spektrale Interpolationsmethode nach IEC 61280-2-9 zur Ermittlung des OSNR zu keinem Ergebnis führt. Da beide Polarisationszustände durch das Polarisationsmultiplexingverfahren genutzt werden, kann auch die Polarisations-Nulling-Methode nicht mehr angewendet werden. Verfahren im Zeitbereich benötigen zur Rückgewinnung des Datensignals einen Empfänger für die volle Übertragungsbandbreite, der die Signalverzerrung durch PMD (Polarization Mode Dispersion) und CD (Chromatic Dispersion) kompensiert und empfindlich genug ist, um an den Auskoppelpunkten der Verstärker eingesetzt zu werden.

Das neu vorgeschlagene Verfahren arbeitet demgegenüber im Frequenzbereich. Es beruht darauf, dass die optischen Leistungen im linken und im rechten Seitenband des übertragenen Signals korreliert sind, während die Rauschleistung diese Eigenschaft nicht aufweist. In einem Feldversuch konnte gezeigt werden, dass die Messung des Korrelationsfaktors an einer 100-Gbit/s-Strecke an einem Messpunkt (Tap) und das daraus berechnete OSNR sehr gut mit den erwarteten Werten übereinstimmt. Damit steht nun ein neues Verfahren zur Verfü-

Bild 2: Messung der spektralen Korrelation

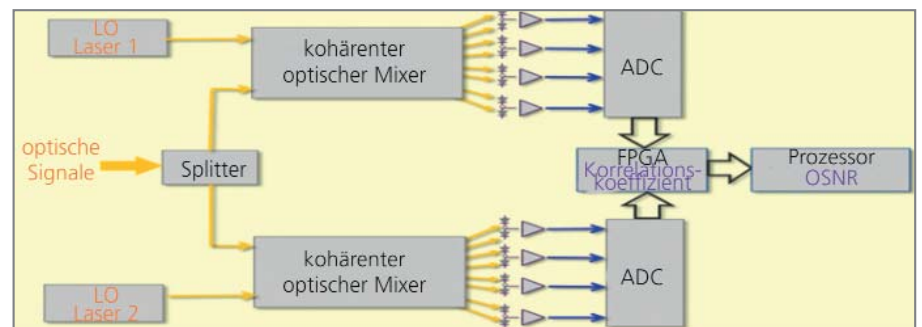
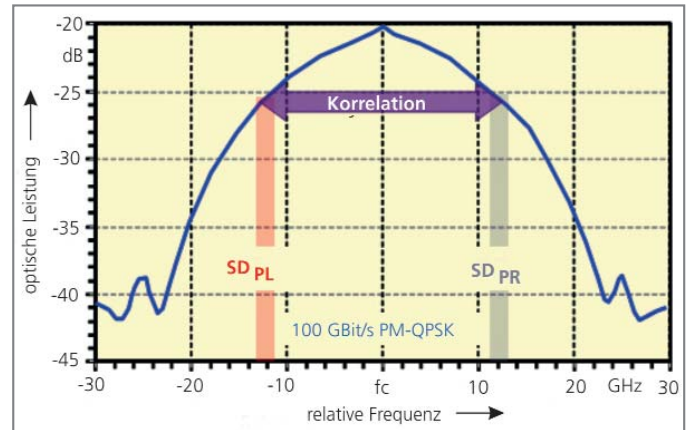


Bild 3: Blockschaltbild für Inservice- und Inband-OSNR-Messung an kohärenten Signalen

gung, mit dem das optische Signal-Rausch-Verhältnis im Betrieb ohne Beeinträchtigung der Datenübertragung gemessen werden kann.

Die Korrelationseigenschaften von getakteten Datensignalen

Während der Dauer eines Symbols besteht im Idealfall eine Korrelation zwischen zwei Punkten links und rechts des Abtastzeitpunktes von 100 %, die abhängig von der Impulsform bis zum Übergangszustand von einem Symbol zum nächsten auf 0 % abfällt, um dann bis zum nächsten Abtastzeitpunkt wieder auf 100 % anzusteigen. Die Korrelation ist daher periodisch über der Zeit mit einer Periode, die der Taktdauer des Datensignals entspricht (Bild 2). Demgegenüber ist die Korrelation von zwei Punkten eines Rauschsignals völlig unabhängig von der Zeit und hängt nur von ihrem Abstand und von der Bandbreite des Rauschens ab. Für ideal weißes Rauschen ist die Korrelation 0 für alle Werte $\tau > 0$. Die wiederkehrende Korrelation eines getakteten Signals wird beschrieben durch die zyklische Autokorrelationsfunktion

$$ZKF(\alpha, \tau) = \langle x(t - \tau/2) \cdot x(t + \tau/2) \cdot e^{j2\pi\alpha\tau} \rangle$$

Für ein digitales Signal hat die ZKF nur Werte ungleich Null, wenn α ein ganzzahliges Vielfaches der Taktfrequenz ist. Die Autokorrelationsfunktion ist der Sonderfall für $\alpha = 0$. Zum Übergang in den Frequenzbereich verwendet man die zeitabhängige Fouriertransformation über eine Zeit T, die sehr viel größer als die Taktperiode ist.

Der Optical Spectrum Correlation Analyser OSCA-710

Für die Messung im Frequenzbereich werden zwei kohärente Empfänger benötigt, die auf die beiden zu korrelierenden Frequenzen abgestimmt werden. Diese bestehen aus den zwei integrierten Mischern und den zugehörigen Lokal-Oszillator-Lasern. Bild 3 zeigt das Blockschaltbild des realisierten Doppelpempfängers. Jeder Empfänger liefert die Ergebnisse für X- und Y-Polarisation sowie für den I- und Q-Signalanteil. Diese werden für die OSNR-Messung nicht getrennt benötigt, sind aber für andere Anwendungen vorgesehen.

Alle acht Messkanäle werden mit 40-MHz-Bandbreite analog-digital gewandelt. Weder die Fotodioden noch die Elektronik müssen hier für höhere Geschwindigkeiten ausgelegt werden. Im anschließenden FPGA (Field Programmable Gate Array) werden verschiedene Effekte wie CD und PMD kompensiert. Danach werden die für die Berechnung der Korrelation benötigten Werte der Leistungsdichte und deren Quadrat bei der Frequenz des zugehörigen Lokaloszillators ermittelt. Schließlich wird die normalisierte Korrelationsfunktion für die Stelle f_c in der Mitte zwischen beiden Messfrequenzen berechnet (s. Bild 1). Bei der weiteren Verarbeitung im nachgelagerten Prozessor wird die Gesamtleistung des verrauschten Signals durch Integration über das Spektrum und schließlich das OSNR berechnet und ausgegeben.

Die höherstufigen Modulationsformate erfordern eine fehlerfreie Übertragung selbst bei sehr niedrigen OSNR-Werten. Dazu werden immer umfangreichere FEC-Verfahren entwickelt und eingesetzt. Das Messverfahren muss für alle üblichen Modulationsformate bei Übertragungssignalen 100 Gbit/s verlässliche Ergebnisse liefern. Für 200 Gbit/s wird heute eine 16QAM-, für 400 Gbit/s ein 64QAM-Modulation eingesetzt. Beide werden entsprechend gefiltert, um sendeseitig ein bandbreitenoptimiertes, nahezu rechteckig geformtes Signal zu erhalten (Nyquist-Shaping).

Systemeigenschaften

In einem Testaufbau wurden die mittels SCoRM-Methode erzielten Messergebnisse empirisch verifiziert (Bild 4). Unabhängig von der Bitrate und dem Modulationsformat lagen alle erzielten Werte innerhalb der Toleranz von ± 1 dB. Besonders bei einem Signal mit der Bitrate 200 Gbit/s und 16QAM konnte die Genauigkeit der Messung über den gesamten Bereich von OSNR = 9 – 25 dB nachgewiesen werden.

Messergebnisse

Bild 5 zeigt ein Messergebnis des

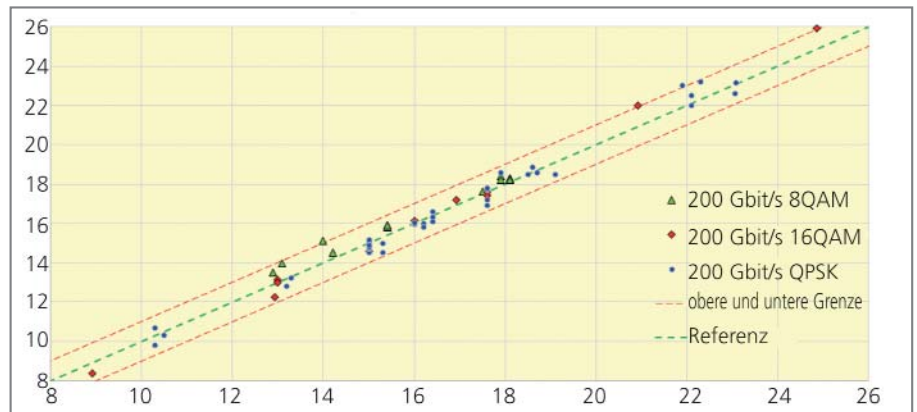
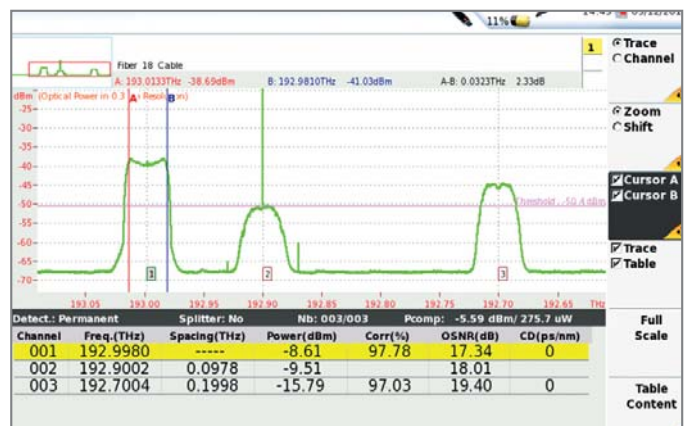


Bild 4: Experimentelle Ergebnisse bei verschiedenen Modulationsformaten

Bild 5: Messergebnis von dual- und single-polarisierten Signalen



OSCA-710, ermittelt an einem DWDM-System mit unterschiedlichen Übertragungsbiraten. Kanal 1 ist ein 200-Gbit/s-Signal mit 16QAM-Modulation und gemäß Nyquist-Forderung gefiltert. Der OSNR-Wert von 17,34 dB lässt den Schluss zu, dass dieses Signal aus einem anderen DWDM-Übertragungskanal mittels ROADM gemultiplext wurde und ein Rauschsockel aus voran gegangenen optischen Verstärkern (EDFA – Erbium Dopped Fiber Amplifier) unterlagert ist. Die unterschiedlich steilen Flanken des gefilterten Signals lassen dies in der grafischen Darstellung vermuten.

Kanal 2 zeigt ein 40-Gbit/s-Signal unipolarisiert und QPSK-moduliert mit einer Baudrate von 35 GHz. Kanal 3 ist ein 100-Gbit/s-Signal in DP-DQPSK-Modulation. Unipolarisierte Signale werden mit der Ermittlung der Stokes-Parameter gemessen. Dieses Verfahren ermittelt den OSNR an unipolarisierten Signalen einfacher und schneller als die prinzipiell geeignete SCoRM-Methode. Für dualpolarisierte Signale in Kanal 1 und 3 werden die OSNR-Werte mit der SCoRM-Methode ermit-

telt. Sie werden angezeigt durch die Ermittlung des Korrelationsfaktors (in %) in der Tabelle. Bei Übertragungssignalen mit sehr hohem OSNR ist der Korrelationsfaktor nahe 99 %. Messungen zeigten allerdings, dass dieser je nach Hersteller der optischen TX-Module variiert und damit auch in geringem Maße der OSNR-Wert. Um eine höhere Genauigkeit zu erzielen, kann der Korrelationsfaktor direkt an einem der typengleichen optischen Sender ermittelt werden. Dieser kann dann entsprechend als Einstellparameter an allen Signalen dieses Modulatortyps angepasst werden. Mögliche Ursachen für die minimal unterschiedlichen Korrelationsfaktoren sind in einer konzeptbedingten Phasenverschiebung der Modulationsebenen I und Q, einer Taktunsymmetrie und auch einem Rauschanteil des Signals zu finden.

Das Generalized OSNR (G-OSNR)

Das OSNR ist bei NRZ-modulierten Signalen (NRZ – Non-Return to Zero) in erster Linie eine Funktion der linea-

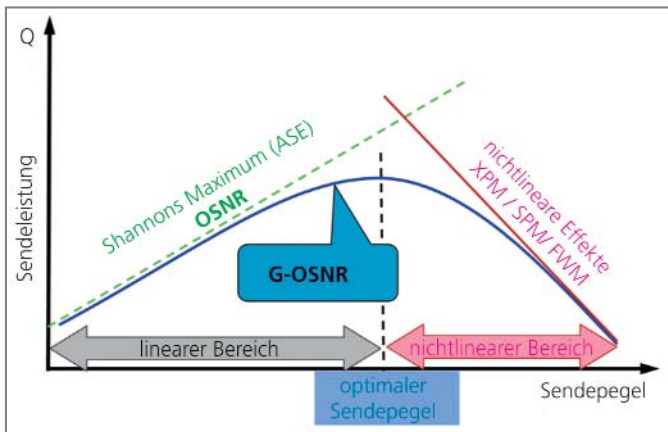


Bild 6: Das Generalized OSNR als Funktion von linearen und nichtlinearen Effekten

Intrachannel-SPM und -FWM sind im Gegensatz zu Interchannel-Effekten korreliert. Damit ist der OSCA-710 in der Lage, diese zu bestimmen und gleichzeitig den optimalen Sendepiegel eines Systems für die beste Übertragungsqualität zu finden.

Fazit

Das neuartige Messverfahren SCoRM ermöglicht die Verwendung von kohärenten Empfängern und damit eine Vielzahl neuartiger Messverfahren. Damit steht nun der weltweit erste optische Analysator für eine Inband- und Inservice-Messung von dualpolarisierten optischen Signalen für den Einsatz in der Betriebsmesstechnik serienreif zu Verfügung. Unabhängig vom Modulationsverfahren und von Bitraten ist dieses Verfahren für aktuelle und zukünftige optische Übertragungstechniken nutzbar. Gleichzeitig ist der Viavi Optical Spektrum Correlation Analyser OSCA-710 mehr als ein OSA: Übertragungssignale werden in Amplitude, Phasenlage und Polarisation analysiert. Damit eignet sich das Messgerät für den Feldeinsatz im Umfeld moderner Übertragungstechnik mit ROADMs. Daneben liefert es auch für herkömmliche Technik die richtigen Ergebnisse. (bk)

ren Effekte auf eine Übertragungsstrecke. Aufgrund des Kerr-Effektes entstehen nichtlineare Effekte durch das Vorhandensein benachbarter Kanäle (Interchannel) wie Kreuzphasenmodulation (XPM – Cross Phase Modulation), Selbstphasenmodulation (SPM – Self Phase Modulation) und Vierwellenlängenmischung (FWM – Four Wave Mixing).

Alle Übertragungssignale mit 100 Gbit/s und höher werden phasenmoduliert, deshalb sind diese Systeme empfindlicher gegenüber SPM und XPM. Um ein besseres OSNR zu erzielen, wird zudem die Sendeleistung bei höherstufigen Modulationsverfahren maximiert. Es zeigt sich allerdings, dass auch bei einem Kanal und entsprechend hoher Leistung nichtlineare

Effekte wie SPM und FWM auftreten (Intrachannel). Nachweisbar ist dieser Effekt nur über eine Bitfehlermessung. Es gibt bisher kein optisches Messverfahren für den Nachweis. Der Generalized-OSNR-Wert, der bisher nur in sehr langen optischen Verbindungen wie z.B. bei Seekabeln von Bedeutung ist, muss bei höherstufigen Modulationsverfahren auch bei Verbindungen mittlerer Länge betrachtet werden. Die Definition lautet:

$$G\text{-OSNR} = P_{ch} / (P_{ASE} + P_{NL})$$

wobei P_{ASE} die nichtkorrelierte Rauschleistung von optischen Verstärkern und P_{NL} die korrelierten nichtlinearen Effekte SPM und FWM (Intrachannel) sind.

In-Service OSNR-Messungen bei 100G+ Übertragungssystemen

Endlich kann an dual-polarisierten Signalen bei 100G, 200G und 400G das Optical Signal-to-Noise-Ratio (OSNR) auch In-Service gemessen werden.

Der OSCA-710 ermittelt das OSNR mit der völlig neuartigen spektralen Korrelationsmethode SCoRM™. Erst damit werden die Inbetriebnahme und Fehlersuche in optischen Netzen mit hohen Bitraten zuverlässig gelöst.



MTS-8000 mit OSCA-710

- Für Core- und Metro-DWDM-Netze mit und ohne ROADMs
- Modulationsformate PM-BPSK, PM-QPSK und PM-xQAM
- Hohe Toleranz gegenüber CD und PMD
- Hohe Auflösung zum Testen von Nyquist-geformten Signalen

Besuchen Sie uns unter viavisolutions.de