Auswahl des richtigen Spektrumanalysators

In welche Art von Spektrumanalysator sollte man investieren? In ein Gerät mit abstimmbarem Bandpassfilter, in einen FFT-Analysator oder in einen Analysator mit Echtzeitspektrum-Anzeige? Welcher Analysatortyp die Anforderungen einer bestimmten Anwendung am besten erfüllt, ist von zahlreichen Kriterien abhängig. Diese Anwendungsbeschreibung erläutert, wie die drei oben genannten Messmethoden zur Spektrumanalyse funktionieren, und vergleicht deren Messergebnisse mit möglichen Anwendungen.

Spektrumanalysator mit abstimmbarem Bandpassfilter

Diese Geräte wurden ursprünglich entwickelt, um die Spektralcharakteristik von Rundfunksendungen anzuzeigen. Spektrumanalysatoren mit abstimmbarem Bandbassfilter waren ziemlich große, sperrige, schwere und leistungshungrige Messgeräte, mit denen die Qualität des Senders beispielsweise in Bezug auf Oberwellen (Harmonische) und Störsignale ermittelt werden konnte. Schon früh hat die Kabelfernsehbranche diese Analysatoren eingesetzt, um ihre Kabelnetze zu warten.

Die Spektrumanalysatoren mit abstimmbarem Bandpassfilter haben den Markt fast 50 Jahre lang dominiert. Das Funktionsprinzip war einfach: Die Frequenzen wurden nacheinander gemessen und das Ergebnis in einem Diagramm auf der X- und Y-Achse grafisch dargestellt.

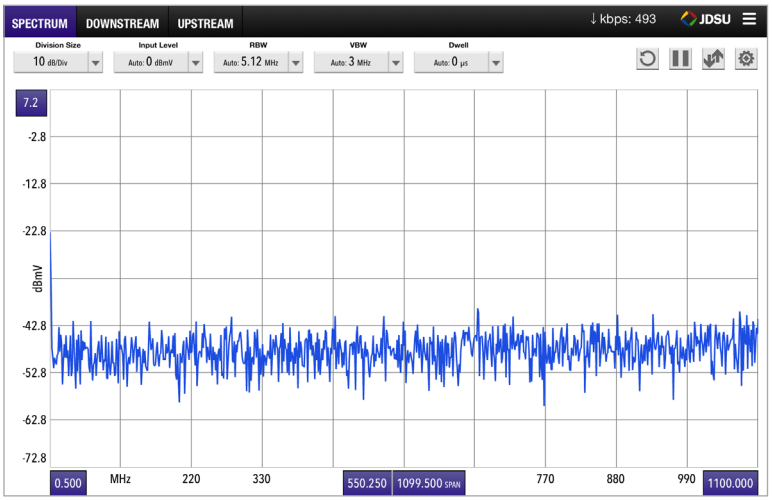

Abbildung 1: Anzeige eines Spektrumanalysators

In Abbildung 1 steht jeder Punkt auf der X-Achse für einen Zeitwert. Die aufeinander folgenden Zeitpunkte entsprechen den einzelnen Frequenzwerten. Um diese Kurve darstellen zu können, kamen bei den ersten Analysatoren spannungsgesteuerte Oszillatoren (voltage controlled oscillator, VCO) mit Sägezahngenerator zum Einsatz.

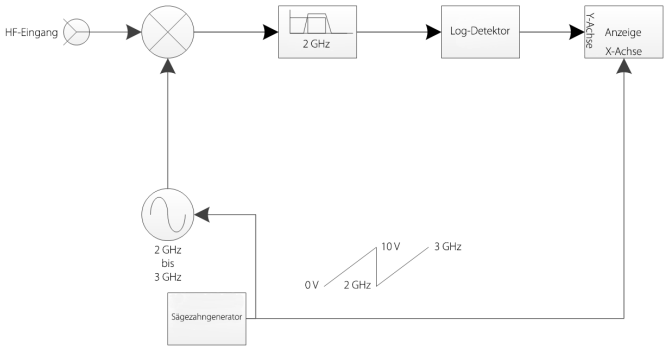

Abbildung 2: Blockschaltbild eines Spektrumanalysators mit abstimmbarem Bandpassfilter

In Abbildung 2 ist der VCO auf 2 GHz eingestellt, wenn der Sägezahngenerator null Volt ausgibt. Jedes DC-Signal wird auf 2 GHz aufwärts gewandelt. Das 2-GHz-Bandpassfilter (BPF) entfernt die Signale, die außerhalb seiner Bandbreite liegen, während der Log-Detektor eine zur Eingangsleistung proportionale Spannung generiert. Erzeugt der Sägezahngenerator 1 V, wird der VCO auf 2,1 GHz eingestellt und alle 100-MHz-Signale werden auf 2 GHz hochgesetzt. Das 2-GHz-BPF lässt nur das zum 100-MHz-Signal proportionale Signal zum logarithmischen Verstärker hindurch und erzeugt einen weiteren Punkt auf der Kurve. Dieser Prozess wiederholt sich so oft, bis der Sägezahngenerator 10 V erreicht und das 1-GHz-Signal aufwärts gewandelt wird, um in der Kurve seinen entsprechenden Punkt zu generieren.

Ursprünglich wurden die Ausgänge des Sägezahngenerators und des logarithmischen Verstärkers an die Treiberstufen der X- und Y-Achse der Kathodenstrahlröhre (CRT) angelegt, um eine Kurvenanzeige mit horizontalen und vertikalen Auslenkungen zu erzeugen. Eine Berechnung und Summierung der Toleranzfaktoren machen deutlich, dass der Sägezahngenerator schon sehr genau gesteuert werden musste: Eine Änderung von 1 mV würde im lokalen Oszillator (LO) eine Frequenzänderung von 1 MHz zur Folge haben. Das hat dazu geführt, dass man Phasenregelkreise (PLL) einsetzte, um die Frequenz zu steuern. Mit dem Aufkommen von Mikroprozessoren und Phasenregelkreisen wurde es dann möglich, den X-Achsen-Sägezahngenerator und die Ausgabefrequenz indirekt miteinander zu koppeln, so dass eine präzise Frequenzsteuerung gewährleistet war.

Vom Aufbau her misst der Spektrumanalysator die einzelnen Frequenzen aber immer noch nacheinander. Wenn ein Spektrumanalysator 801 Punkte auf der X-Achse abbildet, werden 801 einzelne Messungen zu einzelnen, aufeinanderfolgenden Zeitpunkten durchgeführt. Benötigt der Analysator 20 Millisekunden, um die gesamte Bandbreite abzutasten, nimmt jeder Frequenzpunkt 20 ms geteilt durch 800, d. h. 25 Mikrosekunden in Anspruch. Die Ergebnisse auf dem Bildschirm zeigen nur an, was bei dieser Frequenz während dieser 25 Mikrosekunden passiert ist.

Ein Spektrumanalysator mit abstimmbarem Bandpassfilter nutzt zahlreiche hilfreiche Funktionen, die für kontinuierliche Signalmessungen optimiert sind. Für jeden Punkt können die Auflösebandbreite (resolution bandwidth, RBW), die Videobandbreite (video bandwidth, VBW) sowie die Scan-Zeit/Verweilzeit (Dwell) eingestellt werden. Es ist möglich, die Messergebnisse zu mitteln und den Maximalwert der Frequenz zu halten.

Der Nachteil der Spektrumanalysatoren mit abstimmbarem Bandpassfilter besteht jedoch darin, dass eine erhebliche Menge an Daten verloren geht. Wenn die Messung bei 100 MHz erfolgt und ein Ereignis eintritt, dessen Spektralleistung ausschließlich bei 200 MHz liegt, dann wird dieses Ereignis nicht erkannt. Im Allgemeinen nutzt ein solcher Spektrumanalysator eine RBW von maximal 2 % des Gesamtbereichs. Das bedeutet, dass flüchtige Störsignale selbst bei einem optimal eingerichteten Analysator mit 98%iger Wahrscheinlichkeit nicht erkannt werden.

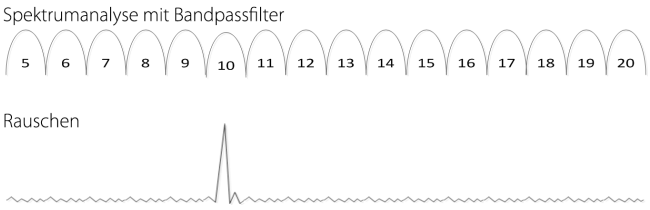

Abbildung 3: Spektrumanalysator mit abstimmbarem Bandpassfilter und Impulsrauschen

In Abbildung 3 beginnt der Analysator bei 5 MHz und setzt die Messung sequenziell bis 20 MHz fort. In diesem Fall tritt nur während der Messung bei 10 MHz ein Rauschereignis auf. Daher zeigt die Kurve auch nur dort einen erhöhten Rauschpegel an. Wenn dieses Ereignis selten auftritt, könnte der Anwender diesen einzelnen Punkt mit einem Signal verwechseln, das nur bei 10 MHz Energie hatte.

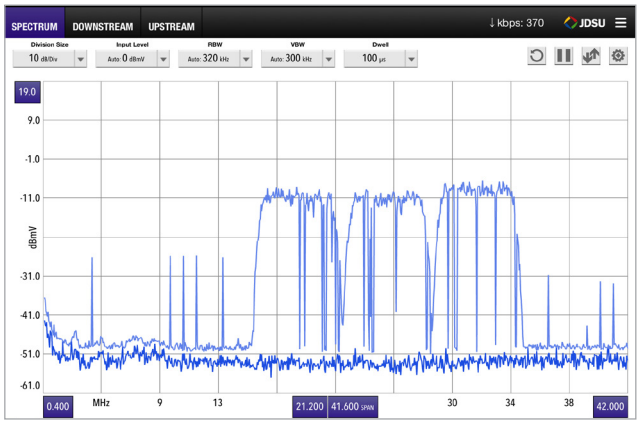

Abbildung 4: Spektrumanalysator mit abstimmbarem Bandpassfilter, Impulsrauschen und DOCSIS-Träger

Abbildung 4 zeigt eine Messung in Upstream-Richtung. Nach einer Minute zeigt die Maximalwert-Haltekurve bei 4, 10, 11, 12 und 13 MHz deutliche Signalspitzen (Peak). Hier ist es schwierig zu unterscheiden, ob diese Peaks zu einem weiteren, selten auftretenden Träger gehören oder ob es Rauschsignale sind. Tatsächlich handelt es sich um Impulsrauschen, das sich im 1-Sekunden-Intervall wiederholt.

FFT-Spektrumanalysatoren

Mit der schnellen Fourier-Transformation (fast Fourier transform, FFT) wird versucht, die Nachteile der Spektrumanalyse mit Bandpassfilterung zu überwinden. Anstatt eine zeitlich sequenzielle Messung vorzunehmen, wird ein Analog-Digital-Wandler (analog to digital convertor, ADC) an den Eingang angeschlossen und alle Spektraldaten werden simultan erfasst.

Abbildung 5: FFT-Analysator

Ein FFT-Analysator muss die Nyquist-Bedingungen erfüllen. Nyquist hat festgestellt, dass ein Signal mindestens mit der doppelten Bandbreitenrate (Nyquist-Rate) abgetastet werden muss, wenn man ein exaktes mathematisches Modell dieses Signals erhalten möchte. Ein 85-MHz-Signal müsste also mit mindestens 170 MHz abgetastet werden. Allerdings entstehen bei der Abtastung auch unerwünschte nichtlineare Verzerrungen, die als Alias-Effekt bezeichnet werden. Bei der Abtastung mit 170 MHz wird das 86-MHz-Signal mathematisch als 84 MHz interpretiert.

Daher wird ein Filter benötigt, um die Alias-Komponenten zu dämpfen. Für einen Dynamikbereich von 70 dB muss dieses Filter die Alias-Komponenten aus dem nutzbaren Bereich entfernen. Bisher hat jedoch noch niemand ein Filter herstellen können, das exakt 84,99999 MHz passieren lässt und 85,000001 MHz um 70 dB reduziert. Daher muss eine ausreichende Reserve vorhanden sein, um das Anti-Aliasing-Filter möglichst einfach zu halten. Bei einer Abtastung mit 200 MHz muss das Filter 85 MHz passieren lassen und 115 MHz (200 minus 85) sperren. Ein solches Filter ist ohne Weiteres realisierbar.

Bei einer Abtastung mit 200 MHz und einer Signalauflösung auf 70 dB wird eine Auflösung von 12 Bit benötigt. Die Bitrate beträgt 12 x 200 MHz bzw. 2,4 GHz. Bis vor wenigen Jahren bestand die einzige Möglichkeit, diese Daten zu erfassen und zu berechnen, darin, einen FIFO-Speicher einzubinden.

Wenn sich die Daten in einem FIFO-Speicher befinden, kann ein digitaler Signalprozessor (DSP) diese Daten in eine Spektralkurve umwandeln. Bei einer traditionellen Spektrum-RBW von 300 kHz müssen die Daten länger als 1/300 kHz bzw. 3,333 Mikrosekunden erfasst werden. Damit der FFT-Algorithmus angewendet werden kann, ist es erforderlich, dass die Anzahl der Abtastpunkte einer Zweierpotenz entsprechen. Wenn der ADC die Abtastung bei 200 MHz ausführt, muss eine Zweierpotenz von Werten erfasst werden. Jeder Abtastpunkt nimmt 5 Nanosekunden in Anspruch. Ein Werteblock aus 1024 Abtastpunkten dauert 5,12 Mikrosekunden. Damit wird die für die Abtastpunkte geltende Anforderung für eine RBW von 300 kHz erfüllt.

Ein weiterer Nachteil der FFT besteht darin, dass die Abtastpunkte am Anfang und am Ende 0 Energie aufweisen müssen. Ansonsten tritt ein „Verschmieren" des Signalspektrums (Smearing-Effekt) auf. Um das zu vermeiden, wird für gewöhnlich eine Fensterfunktion auf die Daten angewendet. Häufig werden die Smearing-Effekte mit einem Hann-Fenster unterbunden.

Diese Berechnungen und Abtastungen belegen eine erhebliche Rechenleistung. Bis vor Kurzem konnten Messgeräte mit DSPs keine Abtastrate von 200 MHz gewährleisten. In vielen Fällen hat es weitaus länger gedauert, die Daten zu verarbeiten, als sie zu erfassen. Daher würde der FFT-Spektrumanalysator 99 % der Zeit untätig sein. Wenn ein Ereignis auftrat, während der ADC die Daten erfasste, war das Ergebnis relevant. Trat das Ereignis jedoch außerhalb der Abtastzeit auf, wurde das Signal übersehen. Zumeist trat das Störereignis jedoch außerhalb der Abtastzeit auf.

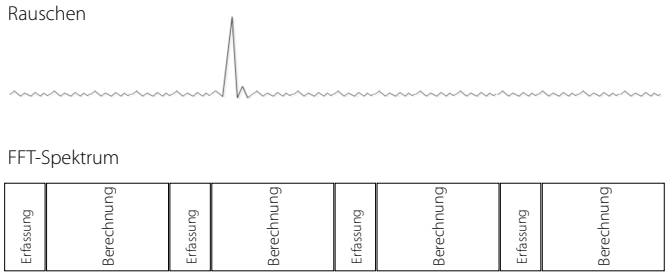

Abbildung 6: Beispiel eines FFT-Spektrums

Das Rauschen in Abbildung 6 ist mit dem Rauschen in Abbildung 3 identisch. Beim FFT-Spektrum tritt das Ereignis auf, während der DSP die zuvor erfassten Signale verarbeitet. Daher werden im Bildschirm auch keinerlei Rauschereignisse angezeigt.

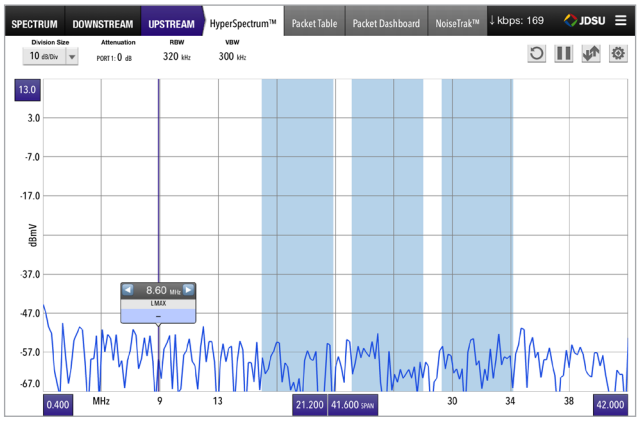

Abbildung 7: FFT mit Impulsrauschen und DOCSIS-Träger

Abbildung 7 zeigt eine FFT-Spektrummessung im Upstream. Obwohl sich die Anzeige 10 Mal pro Sekunde aktualisiert, werden nach mehreren Minuten nur gelegentlich DOCSIS-Bursts und überhaupt kein Impulsrauschen angezeigt.

Echtzeit-Spektrumanalyse (Real Time Spectrum Analysis, RTSA)

Sonar-Anwendungen nutzen die RTSA bereits seit Jahren. Sonare werden im Tonfrequenzbereich von 10 kHz betrieben, während Kabelfernsehen im MHz-Bereich übertragen wird. Daher hat es einige Jahre gedauert, bis man die Echtzeit-Spektrumanalyse auch bei diesen Frequenzen nutzen konnte. Die RTSA nutzt das gleiche Konzept wie der FFT-Analysator, mit der Ausnahme, dass die Berechnungszeit kürzer ist und die Erfassung und Berechnung simultan ausgeführt werden.

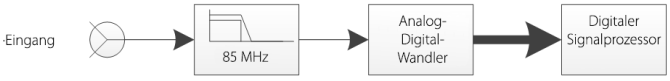

Abbildung 8: Echtzeit-Spektrumanalyse (RTSA)

In diesem Fall wird kein FIFO-Speicher benötigt. Der DSP wird als Hardware ausgeführt, da die Rechengeschwindigkeit von größter Bedeutung ist. Ein integrierter Schaltkreis in Form eines Field Programmable Gate Array (FPGA) gewährleistet die Hann-Fenster- und FFT-Funktionen. Anstatt eines Spektrogramms werden die Daten in einer Spektrum-Standardkurve angezeigt.

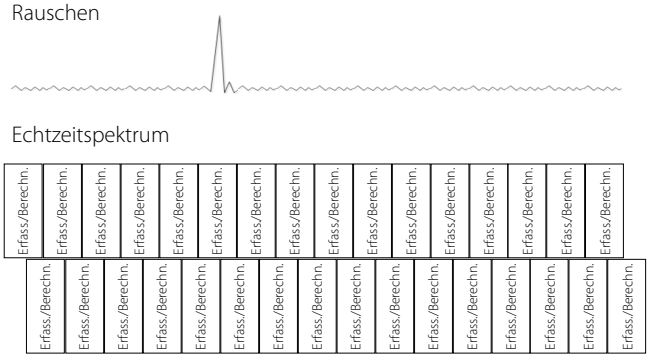

Abbildung 9: HyperSpectrum-Echtzeitanalyse

Abbildung 9 zeigt zwei im Hintergrund laufende FFT-Systeme. Sie überlappen sich zu 50 %. Jedes FFT-System führt 200.000 Abtastungen pro Sekunde aus. Im Rahmen der weiteren Verarbeitung wird für die jeweils letzte Sekunde eine Maximalwerthaltung berechnet. Die resultierende Kurve wird als LIVE-MAX-Kurve bezeichnet. So ist gewährleistet, dass während einer Erfassungsperiode kein Impulssignal übersehen wird.

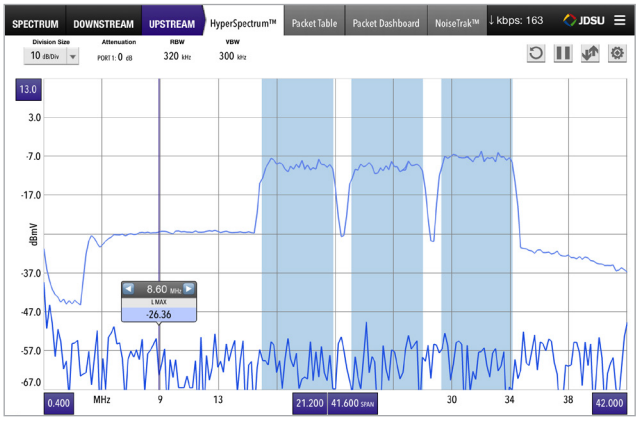

Abbildung 10: HyperSpectrum-Anzeige des VSE-1100 mit Live- und Max-Kurve mit DOCSIS-Träger und Impulsrauschen

Abbildung 10 zeigt die erste Live-Max-Kurve eines Spektrumanalysators VSE-1100 von JDSU im HyperSpectrum-Modus. Das Messgerät erfasst alle DOCSIS-Kanäle eindeutig und Impulsrauschen in weniger als 1 Sekunde.

Aussagekraft einer HyperSpectrum-Echtzeitanzeige

Bei der Suche nach Störeinstrahlungen (Ingress) und Rauschen zeigt eine HyperSpectrum-Echtzeitanzeige das gesamte Upstream-Spektrum an. Kein Rauschsignal wird mehr übersehen, ganz gleich, wo es im Kabelnetz auftritt. Je tiefer die Fehlersuche im Kabelnetz erfolgt, desto weniger Modemverkehr ist vorhanden. An einem Node wird der gleiche Verkehr angezeigt, der auch an der Kopfstelle zu sehen wäre. Selbst wenn 100 Modems an dem Node aktiv sind, werden sie alle dargestellt. Wenn man 2 oder 3 Stufen tiefer in den Knoten vordringt, trifft man vielleicht auf ein oder zwei Modems, die nicht mehr aktiv sind und keinen Verkehr generieren. Mit der Packet Dashboard- und HyperSpectrum-Anzeige des VSE-1100 kann der Techniker die Spektralsignatur des Rauschens an einem einzigen Modem-Burst erkennen und diese Signatur durch das gesamte Kabelnetz verfolgen.

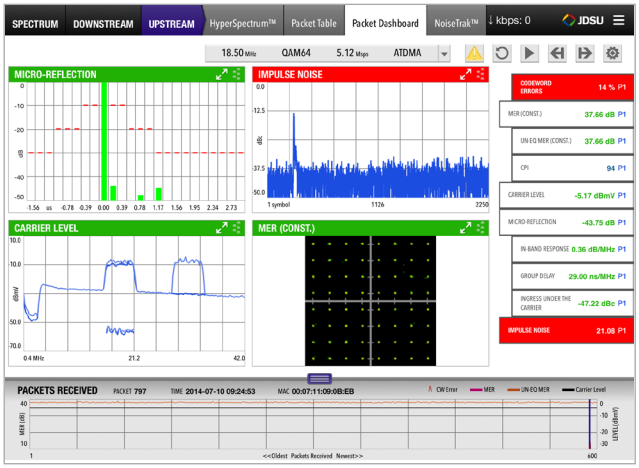

Abbildung 11: Packet Dashboard-Anzeige des VSE-1100 mit Impulsrauschen, das Wortfehler verursacht.

Abbildung 11 zeigt die Packet Dashboard-Anzeige mit einem Paket mit Codewortfehlern (code word errors, CWE). Es sind zwar nicht alle Pakete betroffen, aber etwa jedes 800. Paket enthält CWE. In der grafischen Trägerpegel-Anzeige (Carrier Level) links unten im Bildschirm ist die spektrale Signatur des Pakets beim Auftreten von CWE zu erkennen. Im HyperSpectrum-Bildschirm hat der Techniker dann die Möglichkeit, dieses Spektralmuster zu verfolgen, um die Quelle zu lokalisieren.

Abbildung 12: HyperSpectrum-Anzeige des VSE-1100 mit zwei Kanälen

Abbildung 12 verdeutlicht die Zweikanal-Funktion der Upstream-Analyse des VSE-1100. Durch Verwendung von Port 1 und 2 kann der Techniker deutlich erkennen, dass das Rauschen am Port 2 (violette Kurve) anliegt, während Port 1 (blaue Kurve) den Großteil des Modemverkehrs überträgt.

Aufgrund des sporadischen Charakters des Upstream-Rauschens ist es wichtig, dieses zu identifizieren und dann weiter zu prüfen. Wenn der Techniker den Rauschpfad in Sekundenschnelle anstatt in Minuten identifizieren kann, ist er eher in der Lage, das Rauschen bis zu seiner Quelle zurückzuverfolgen.

Fazit

Für die Fehlerdiagnose im Upstream ist der Techniker auf Fakten angewiesen. Mutmaßungen helfen nicht weiter. Die Analyse des Echtzeitspektrums, wie sie vom JDSU VSE-1100 gewährleistet wird, kann dazu beitragen, diese Fakten in kürzester Zeit zu ermitteln. Die HyperSpectrum-Anzeige erfasst jedes Rausch-Bit und zeigt es dem Techniker an, während andere Spektrumanalyse-Verfahren ein Rauschen lediglich andeuten können. In Verbindung mit der Upstream-Demodulation der Paketanzeige (Packet Dashboard) zur Identifikation von Rauschsignaturen hilft die HyperSpectrum-Anzeige dem Techniker, die Rauschsignale, die die Codewortfehler (CWE) verursachen, zu lokalisieren. Die Zweikanal-Funktion erlaubt ihm, das Rauschen bis zur Quelle zurückzuverfolgen, auch wenn kein oder nur wenig Modemverkehr vorhanden ist.

JDSU

Nordamerika	Gebührenfrei: 1 855 ASK-JDSU	(1 855 275-5378)
Lateinamerika	Tel.: +1 954 688 5660	Fax: +1 954 345 4668
Asien-Pazifik	Tel.: +1 800 223 7070	Fax: +65 6602 8301
EMEA	Tel.: +49 7121 86 2222	Fax: +49 7121 86 1222

www.jdsu.de

© 2014 JDS Uniphase Corporation. Die in diesem Dokument enthaltenen Produktspezifikationen und Produktbeschreibungen können ohne vorherige Ankündigung geändert werden.
30176133 000 0814 SPECTRUMANALYZER.AN.MAA.NSE.DE August 2014