

SPEZIAL

Verkabelung und RZ-Ausstattung

Kategorie 8 in der Diskussion

Messtechnik bis 2.000 MHz

USVs zwischen Redundanz und Effizienz

Mit Marktübersicht

Kupferverkabelung und -Steckersysteme



Überwachung des Differenzstroms

Sichere Elektrizität im Rechenzentrum

Messung nach dem Encircled-Flux-Konzept

LWL-Fasern unter der Lupe

Brand

der

Sonderdruck für TDE

Encircled Flux als Multimode-Dämpfungsmessung

Zuverlässige Fasermessung

Der Bedarf nach höherer Bandbreite steigt kontinuierlich: IP-basierende Dienste wie Sprache, Video und Daten verlangen zunehmend nach 40 und 100 Gigabit Ethernet oder Infiniband. Diese lassen sich aber nur mit einem immer enger werdenden optischen Dämpfungsbudget der Faser realisieren. Daher sind hochpräzise Messungen und Reproduzierbarkeit von Ergebnissen heute wichtiger denn je.

Wollen Unternehmen Messunsicherheiten erfolgreich minimieren, müssen sie auf die strikte Einhaltung der Einkoppelbedingungen achten. Im Fall von Multimode-Fasern ist die Encircled-Flux-Metrik von Bedeutung: Sie liefert zuverlässige und reproduzierbare Ergebnisse bei Multimode-Dämpfungsmessungen und senkt die Messunsicherheit entscheidend.

Höhere Bandbreiten, schnelleres Internet – die Anforderungen an die Übertragungsgeschwindigkeiten in Glasfasernetzen steigen konstant. Zugleich werden die Dämpfungsbudgets immer geringer. Dabei sind präzise und reproduzierbare Messungen der Dämpfung in Multimode-Fasern anspruchsvoller und wichtiger denn je: Im Gegensatz zu Singlemode-Fasern, bei denen sich Licht nur in einer Mode ausbreitet, haben Multimodefasern einen wesentlich größeren Kern und ermöglichen die Lichtübertragung auf unterschiedlichen Wegen (Moden).

Die Messung verlässlicher und reproduzierbarer Einfügedämpfungen (IL = Insertion Loss) gestaltet sich in der Praxis jedoch schwierig: Um Encircled-Flux-Compliance herzustellen, benötigen Techniker zunächst qualitativ hochwertige Komponenten wie Kupplungen und Stecker. Durch einen falschen Messaufbau oder unterschiedliches Equipment kann es zu stark abweichenden IL-Werten kommen. Zu unterschiedlichen Messwerten kommt es etwa dann, wenn zwei Techniker das gleiche Referenztestkabel mit Steckverbindern in Referenzqualität und unter Verwendung von Mandrels nutzen, mit VCSEL (Vertical Cavity Surface Emitting Laser), Laser oder LED jedoch

unterschiedliche Lichtquellen oder unterschiedliche Lichtenergie in die Stecker Einkoppeln.

Doch auch wenn die Lichtquelle dieselbe ist, können typische Ungenauigkeiten im Bereich von bis zu $\pm 0,09$ dB auftreten. In allen Fällen entstehen Verluste. So überfüllen oberflächenemittierende LED-Lichtquellen die Multimode-Faser beziehungsweise ihren Kern, indem sie die Lichtenergie gleichmäßig über die ganze Fläche des Kerns verteilt übertragen. Diese „Overfilled Launch Condition“ genannte Vollenregung erzeugt tendenziell zu pessimistische Messergebnisse.

Kantenstrahler wie Laser hingegen übertragen die Lichtenergie nur in einen geringen Bereich des Kerns und unterfüllen ihn (Underfilled Launch Condition), wodurch es zu optimistischeren Messergebnissen kommen kann.

Das Ziel muss daher sein, vergleichbare, reproduzierbare und damit verlässliche Messwerte zu erhalten und die Messunsicherheiten zu minimieren. An dieser Stelle setzt Encircled Flux an: Die Einkoppelbedingung ist durch sorgfältig definierte Anregungsbedingungen definiert und senkt dadurch die Messunsicherheit auf etwa zehn Prozent.

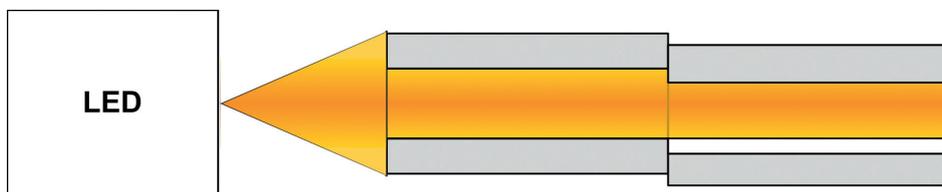
Encircled Flux

Ursprünglich diente die Encircled-Flux-Metrik zur Simulation von Übertragungsbreiten. Dabei machten sich die Techniker die entstehende Modendispersion bei wenig begrenzter Bandbreite zu Nutze. Die Entstehung und Entwicklung

Radius μm	EF lower bound	Target	EF upper bound
10	0,278 5	0,335 0	0,391 5
15	0,598 0	0,655 0	0,711 9
20	0,910 5	0,919 3	0,929 5
22	0,969 0	0,975 1	0,981 2

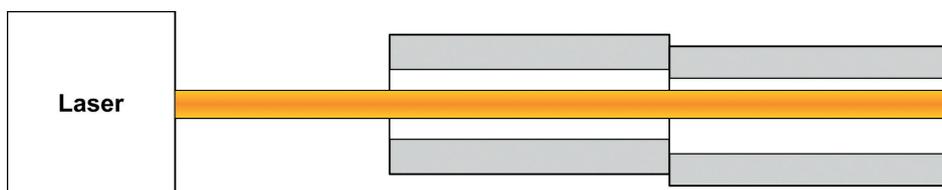
Der IEC-Standard 61280-4-1 (Ed. 2.0, 16.04.2009) definiert die Teilbereiche für die Energieverteilung des Lichts im Kern.

Quelle: IEC 61280-4-1, Ed. 2.0, 16.04.2009



Mode Fill Condition einer LED-Lichtquelle.

Quelle: Tde



Mode Fill Condition einer Laser-Lichtquelle.

Quelle: Tde



Mandrel Wrap beseitigt die Moden höherer Ordnung bei Multimode-Dämpfungsmessungen unter Verwendung einer LED-Lichtquelle.

Quelle: Tde

der Encircled-Flux-Metrik steht in engem Zusammenhang mit Oberflächenemittern: VCSELs kommen dank ihrer hohen Datenrate seit 1999 als optische Sender für die High-Speed-Übertragung zum Einsatz, da sie sich gut für die analoge Breitband-Signalübertragung eignen.

VCSEL-Lichtquellen arbeiten mit einer Wellenlänge von 850 nm, koppeln dabei aber das Licht anders ein als LEDs mit gleicher Wellenlänge: VCSELs emittieren einen schmalen Lichtstrahl, der in der Mitte des Glasfaserkerns am hellsten ist, nach außen hin schnell abdunkelt und den Kern nahe der Grenzschicht zum Mantel nicht mehr beleuchtet. Die Wellenlänge von 850 nm hat die IEEE auch für die Übertragung von VCSELs auf Multimode-Fasern für Gigabit Ethernet vorgegeben.

Mit der Entwicklung von 10 Gigabit Ethernet kam es auch zur Festlegung der Encircled-Flux-Metrik. Sie definiert Encircled Flux als Einkoppelbedingung für eine ideale VCSEL-Lichtquelle, die ihre Lichtleistung stärker auf die Mitte des Faserkerns konzentriert als Laser oder LEDs. Seit Juli 2009 definiert der IEC-Standard 61280-4-1 die Teilbereiche für die Energieverteilung des Lichts im Kern. Entscheidend für Encircled Flux ist die Einkoppelbedingung, unter der Licht bei einer Dämpfungsmessung in einen Stecker gelangt: Nur wenn der größte Teil des Lichts in einem genau definierten Teilbereich des Faserkerns übertragen wird, sprechen Fachleute von Encircled Flux (EF). Da die Einkoppelbedingungen für unterschiedliche Lichtquellen va-

riieren, sind VCSEL- und LED-Dioden sowie Laser an die EF-Bedingung anzupassen. Grundlage vieler Standards – wie IEE802.3, ANSI/TIA und ISO/IEC – bilden LED-Lichtquellen.

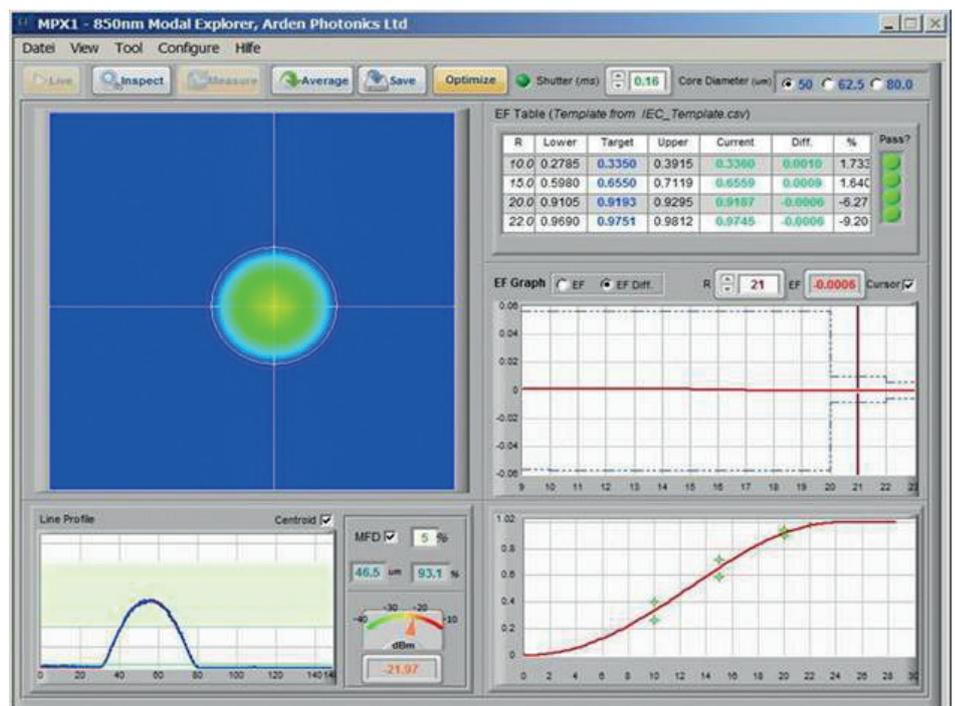
Diese überfüllen jedoch den Glasfaserkern, wodurch sie mehr Moden aufweisen, die sich nahe der Grenzschicht zwischen Kern und Mantel befinden. Diese Moden höherer Ordnung sind anfälliger für die Dämpfung durch das Biegen der Glasfaser und gehen auch an Verbindungsstellen zuerst verloren. Bei Multimode-Dämpfungsmessungen mit einer LED-Lichtquelle kommen Mandrels zum Einsatz, um zuverlässige und reproduzierbare Ergebnisse gewährleisten zu können. Das mit der Lichtquelle verbundene Anschlusskabel ist dabei so um den zylindrischen Wickeldorn (Mandrel) gewickelt, dass der Einfallswinkel an der Biegung kleiner ist als der Grenzwinkel der Totalreflexion, was die Moden höherer Ordnung beseitigt, bevor das Testsignal in die zu prüfende Strecke einkoppelt. Dadurch verringert sich die gemessene Dämpfung.

Kommen Laser-Lichtquellen zum Einsatz, ist laut IEEE802.3aq und FOTP-203-Standard zusätzlich ein Fiber Shaker

zu verwenden, der die „Speckle“ genannten helleren Sprengel durch Änderung der differentialen Weglänge der unterschiedlichen Moden in der Faser anpasst. Dazu schüttelt der Shaker die Faser während des Messvorgangs kontinuierlich, um die „Speckles“ auszumitteln.

Die EF-Einkoppelbedingung verbessert die Reproduzierbarkeit der Messergebnisse signifikant und senkt deren Abweichung auf einer gesamten Verbindungsstrecke auf unter zehn Prozent. Um jedoch vergleichbare Messergebnisse gewährleisten zu können, müssen Netzwerktechniker die Einkoppelbedingung (Mode Condition) Encircled Flux regelmäßig überwachen. Dies ist auch dann nötig, wenn Hersteller von Dämpfungsmessgeräten die Einhaltung von EF garantieren, da selbst bei baugleichen Messgeräten der gleichen Serienreihe und desselben Baujahrs Unterschiede auftreten können.

Bei der IL-Messung von LWL-Steckern (S2) oder Kabeln verbinden Netzwerktechniker einen Test-Jumper mit einer Lichtquelle. Am Ende des Test-Jumpers ist ein Stecker angebracht (S1) und mittels Kupplung mit dem Prüfling verbunden. Das Licht wird von der Lichtquelle



Messung von Tde – mit dem Modal Explorer MPX1 von Arden Photonics: Im Scan befindet sich nur das Nahfeld des Kerns. Oben rechts ist der nach IEC 61280-4-1 definierte Teilbereich des Faserkerns erkennbar, links oben das Nahfeld des Kerns.

Quelle: Tde

über S1 in Stecker S2 eingekoppelt und so über das daran angeschlossene Kabel am anderen Ende aufgefangen und gemessen. Die Lichtübertragung in der Glasfaser erfolgt dabei nur im Faserkern, nicht in der gesamten Faser. Mit diesem Testaufbau lassen sich die Verlustleistung respektive der Energieverlust messen, die beim Einkoppeln der Lichtenergie von S1 in S2 entstehen.

IL-Messung in der Praxis

Da sich Encircled Flux abhängig von der verwendeten Faser oder weiteren Zwischenadaptierungen signifikant verändern kann, ist ihre Compliance zwingend am Ende des Test-Jumpers zu kontrollieren. Als eine der weltweit wenigen Firmen überprüft Tde laufend das gesamte Multimode-Messequipment einschließlich aller Test-Jumper und garantiert so IEC-Konformität und Reproduzierbarkeit seiner Testergebnisse.

Fazit: Vorteile von Encircled Flux

Encircled Flux hat auf vielen Ebenen Vorteile aus. Mit den sorgfältig definierten Anregungsbedingungen lassen sich Ungenauigkeiten bei Dämpfungsmessungen nachweislich auf rund zehn Prozent reduzieren. Auch eine gute Leistung in High-Speed-Netzen bei Verwendung von 850-nm-VCSELs in 10-Gigabit-Ethernet-Systemen lässt sich nur unter Einhaltung von Encircled Flux gewährleisten. Das gilt auch für neue Techniken wie Prizm Light Turn, bei denen opto-elektronische

Ältere Normen für Multimode-Anregungsbedingungen

Coupled Power Ratio (CPR)

Bis 2006 lag Coupled Power Ratio als Norm DIN EN 50346 für die Anregungsbedingung (Launch Condition) zu Grunde. Sie ist definiert als Differenz der Lichtleistung, eingekoppelt in eine Multimode- und eine Singlemode-Faser. Dabei haben Fasern mit Overfilled Mode Conditions höhere dB-Differenzen als Fasern mit Underfilled Mode Conditions. Zur Ermittlung des CPR-Werts einer Lichtquelle ist ein Messverfahren festgelegt und die Lichtquellen in fünf unterschiedliche Kategorien eingeteilt, wobei Kategorie 1 eine „Overfilled Launch Condition“ und Kategorie 5 die „Very Underfilled Launch Condition“ klassifiziert. Für die Wellenlänge von 850 nm und den Faserdurchmesser von 50 μ – bei der eine besondere Singlemode-Faser mit 5 μ Kerndurchmesser nötig ist – betragen die CPR-Kategorien:

Category 1 (overfilled)	20 – 24 dB
Category 2	16 – 19,9 dB
Category 3	11 – 15,9 dB
Category 4	6 – 10,9 dB
Category 5 (very under filled)	0 – 5,9 dB

Modal Power Distribution (MPD)

Mit der DIN ISO/IEC 14763-3 nutzten Techniker die Modal Power Distribution (MPD) seit 2006 als Parameter für die Modenleistungsverteilung. Sie gilt für LED-Lichtquellen und basiert auf der Tatsache, dass die verschiedenen Moden höherer und niedriger Ordnung sich auch in der Faser unterschiedlich verhalten. Bei einer nicht biegeoptimierten 50 μ -OM2-Faser wären fünf Windungen um einen Wickeldorn (Mandrel) mit 22 mm Durchmesser nötig, um Modal Power Distribution herzustellen. Sie garantiert eine Overfilled Launch Condition und spiegelt damit die Worst-Case-Szenarien in einer Anwendung wider.

Sowohl CPR als auch MPD führen zu großen Abweichungen. Im Fall der Modal Power Distribution beträgt diese bis zu 40 Prozent.

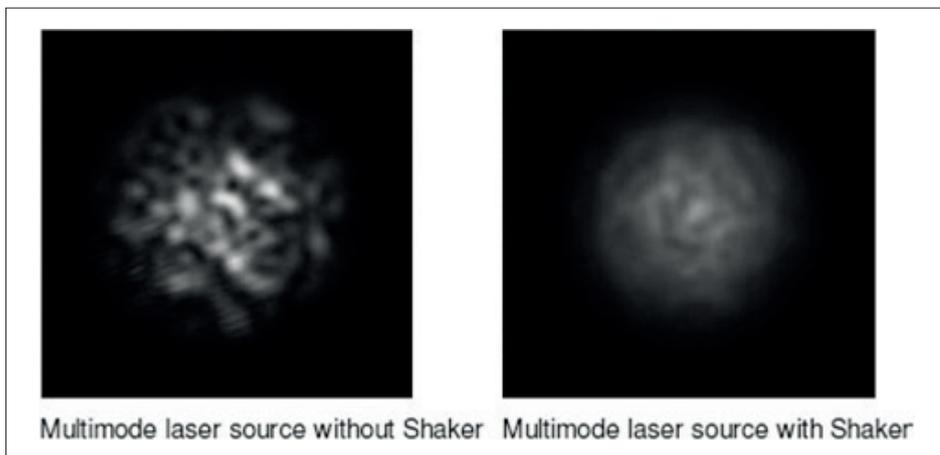
Module direkt auf den Leiterplatten montiert und über Prismenstecker platzsparend angeschlossen sind, oder Lensed MT, die ohne EF-Compliance keine zuverlässige Messergebnisse liefern.

Nicht zuletzt gewährleistet Encircled Flux auch die bessere Vergleichbarkeit von unterschiedlichem Messequipment. Doch auch wenn viele Messgeräte-Hersteller mittlerweile EF-Compliance für ihre Mess-

geräte garantieren, so gilt die Einhaltung nur für den Messgeräte-Ausgang. Ist ein Adapterkabel zwischen Messgeräte-Ausgang und Prüfling geschaltet, können sich die am zu messenden Stecker anliegenden Einkoppelbedingungen wieder völlig ändern. Gründe dafür können Fasertypen unterschiedlicher OM-Kategorien sein, deren Kombination, die Verbindungsanzahl oder sogar unterschiedliche Faserhersteller und Kabellängen. Daher ist Encircled Flux kein statischer Parameter – vielmehr verändert sich die Anregungsbedingung dynamisch im Lauf einer Kabelstrecke.

Um verlässliche und vergleichbare Messergebnisse erzielen zu können, müssen Hersteller und Netzwerkingenieure daher die Einkoppelbedingungen direkt vor dem zu messenden Stecker prüfen. Und genau an dieser Stelle muss das Encircled-Flux-Konzept erfolgreich umgesetzt sein.

Anastasija Krutow und
Wilfried Schneider/jos



Ein Fiber Shaker schüttelt bei Dämpfungsmessungen mit Laser-Lichtquellen die Faser kontinuierlich und mittelt dadurch die Speckles aus.

Quelle: Arden Photonics

Dipl.-Phys. Anastasija Krutow ist Production QM Supervisor bei Tde, Wilfried Schneider ist technischer Leiter/CTO bei Tde, www.tde.de.