Die Monomodefaser ist doch nicht Monomode

Autor(en): **Perny, Beat / Zimmer, Christian / Gisin, Nicolas**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Comtec : Informations- und Telekommunikationstechnologie = information and telecommunication technology**

Band (Jahr): **75 (1997)**

Heft 5

PDF erstellt am: **29.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-876936

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

POLARISATIONSMODENDISPERSION BEWIRKT EINE FUNDAMENTALE BESCHRÄNKUNG DER ÜBERTRAGUNGSKAPAZITÄT EINER GLASFASER

DIE MONOMODEFASER IST DOCH NICHT MONOMODE

Die Vergangenheit hat gezeigt, dass sich die Bedürfnisse an die Übertragungsrate in fünf Jahren etwa vervierfachen. In Anbetracht der heute längst zum Standard gewordenen 2,5-Gbit/s-Systeme (STM-16) und der bereits vor der Produktion stehenden 10-Gbit/s-Systeme (STM-64) sind Systeme mit Datenraten über 10 Gbit/s in absehbarer Zeit zu erwarten. Beinahe selbstverständlich wird die optische Glasfaser für derartige Übertragungsraten als ein Übertragungsmedium mit unbeschränkter Kapazität betrachtet. Dass dem nicht immer so ist, haben verschiedene Netzwerkbetreiber bereits in der Praxis erfahren.

Beim Einsatz ungenügend spezifizierter Fasern können wegen der Polarisationsmodendispersion (PMD) bereits bei 2,5 Gbit/s Probleme auftreten, und bei analoger CATV-Übertragung können Bildstörungen entstehen. Die Qualität der schon installierten Kabel wird den Entscheid über mögliche Varianten der Netzaufrüstung auf Datenraten von 10 Gbit/s und darüber beeinflussen. Für den Einkauf heutiger Kabel muss daher der richtigen Glasfaser- und Kabelspezifikation höchste Bedeutung beigemessen werden, da einmal installierte Kabel für einen Netzwerkbetreiber eine Hypothek für die nächsten 20 Jahre sind.

BEAT PERNY, CHRISTIAN ZIMMER, NICOLAS GISIN, BERN

Von einem akademischen Forschungsgebiet zu einem realen Problem

Das optische Glasfasernetz ist eine wichtige Basis für die Breitbandübertragung im Netz der Telecom PTT. Bis vor einigen Jahren wurde der Einmodenlichtwellenleiter, welcher auch Monomodefaser (Single-Mode Fibre, SMF) genannt wird, als ein Übertragungsmedium mit beinahe unbeschränkter Kapazität betrachtet. Grenzen für die Übertragungskapazität wurden eher bei den Ausrüstungen als bei den Glasfasern gesehen. Die bei der Übertragung mit hoher Bitrate über grosse Distanzen auftretenden Beschränkungen infolge der Dämpfung der Glasfaser und deren chromatischer Dispersion konnten mit der Einführung des optischen Verstärkers bzw. verschiedener Techniken zur Kompensation der chromatischen Dispersion weitgehend beseitigt werden.

Zu Beginn der neunziger Jahre hat sich dieses Bild geändert, als vorwiegend in den USA erste Probleme mit analogen CATV-Systemen auftauchten. Mit zunehmender Anzahl der TV-Kanäle zeigten sich Bildstörungen, welche auf zu hohe Werte der PMD zurückgeführt wurden. Man erkannte ebenfalls, dass die PMD auch die Datenrate von digitalen Systemen beschränken kann.

Im Gegensatz zur chromatischen Dispersion kann der Einfluss der PMD auf die Übertragung nach heutiger Erkenntnis nicht durch Kompensationsverfahren eliminiert werden. Deshalb gilt sie als eine fundamentale Begrenzung. Der Vollständigkeit halber muss auch die Begrenzung der Übertragungskapazität durch nichtlineare Effekte in der Glasfaser erwähnt werden. Diese sind aber nicht Thema des vorliegenden Beitrags.

Die PMD hat sich in den letzten Jahren von einem akademischen Forschungsgebiet zu einem realen Problem für einige Faser- und Kabelhersteller entwickelt. Für die Netzwerkbetreiber sind die Probleme heute teilweise gelöst, indem Kabel mit tiefer PMD eingekauft werden. Hingegen sind die seit rund zehn Jahren bereits installierten Kabel eine Hypothek, mit der sie noch einige Jahre leben müssen, weil die hohen Investitionskosten nur einen langsamen Ersatz eventuell vorhandener schlechter Kabel möglich machen. Die Qualität der bereits installierten Kabel wird daher den Entscheid über mögliche Varianten der Netzaufrüstung auf Datenraten von 10 Gbit/s und darüber beeinflussen.

Aufgrund der heutigen Anforderungen an eine Glasfaser als Übertragungsstrecke ist es unumgänglich geworden, maximal zulässige Werte für die PMD in den Kabelspezifikationen aufzuführen. Die heute installierten Glasfaserkabel müssen auch in 20 Jahren noch den Systemanforderungen genügen. Die Vergangenheit hat gezeigt, dass sich die Bedürfnisse an die Übertragungsrate in fünf Jahren etwa vervierfachen, so dass Systeme mit Datenraten von 10 Gbit/s, später 40 Gbit/s, in absehbarer Zeit zu erwarten sind. Diese Tatsache ist bei der Spezifikation des maximal zulässigen Wertes der PMD der heute eingekauften Glasfaserkabel zu berücksichtigen.

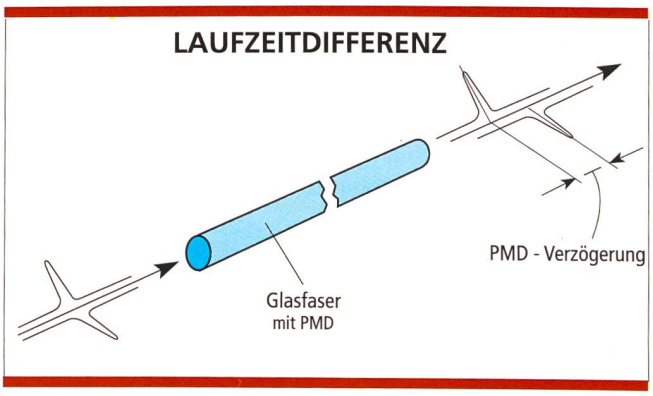


Bild 1. Laufzeitdifferenz zweier orthogonal polarisierter Wellen nach dem Durchgang durch ein doppelbrechendes Medium wie beispielsweise eine Glasfaser.

Was ist PMD?

Ursprung der PMD

Die Dispersion ist zusammen mit der Dämpfung einer der Schlüsselparameter zur Charakterisierung der Übertragungseigenschaft einer Glasfaser. Sie beschreibt, wie sich ein Lichtpuls beim Durchgang durch eine Faser verbreitert. Dabei ist die PMD nur eine von verschiedenen Dispersionsarten.

Analysiert man eine Standard-Monomodefaser genauer, so stellt man fest, dass sie eben doch nicht monomode ist. Jede elektromagnetische Welle, also auch das durch eine Faser geführte Lichtfeld, hat einen bestimmten Polarisationszustand, welcher im wesentlichen die Richtung des elektrischen und magnetischen Feldes beschreibt. Dabei sind immer zwei Polarisationszustände möglich, beispielsweise senkrecht und waagrecht (oder kombiniert). Die Schwingung in einer Richtung allein wird Polarisationsmodus genannt.

Als PMD bezeichnet man das Phänomen, bei welchem sich ein polarisierter Lichtpuls in zwei verschieden polarisierte Komponenten, Polarisationsmoden, aufspaltet, die sich gleichberechtigt, aber mit unterschiedlicher Geschwindigkeit durch die Faser bewegen.

Die unterschiedliche Fortpflanzungsgeschwindigkeit der beiden senkrecht zueinander stehenden Lichtpulse führt zu einer Laufzeitverzögerung, welche als PMD-Verzögerung (PMD Delay) bezeichnet wird (Bild 1). Ihre Grösse wird meistens in Pikosekunden (1 ps = 10^{-12} s) angegeben.

Sie beeinflusst die maximale Übertragungsrate bei digitalen Systemen. Wir werden später noch sehen, dass auch analoge Systeme (z. B. CATV) beeinflusst werden.

PMD ist eine fundamentale Eigenschaft eines optischen Mediums, welches Doppelbrechungseigenschaften aufweist. Es gibt Materialien, die sind von Natur aus doppelbrechend. Ein Beispiel dafür ist kristalliner Quarz. Der Brechungsindex variiert je nach Achsenrichtung. Als Folge dieser Eigenschaft wird ein in einer bestimmten Richtung durch ein derartiges Medium hindurchgehender Lichtpuls in zwei senkrecht zueinander stehende polarisierte Lichtwellen unterschiedlicher Fortpflanzungsgeschwindigkeit aufgespalten. (Die Wellen bleiben nur senkrecht zueinander, falls keine polarisationsabhängige Dämpfung oder Verstärkung vorhanden ist. In optischen Netzwerken kann dies jedoch der Fall sein, was aber zur Vereinfachung hier nicht betrachtet wird.)

In einer Glasfaser wird die Doppelbrechung durch lokale, zufällige und zur Achse asymmetrische Mechanismen, wie Spannungen, Biegungen und Verdrehungen, hervorgerufen, welche schliesslich die radiale Symmetrie des Brechungsindexprofils (Verlauf des optischen Brechungsindexes über den Querschnitt der Glasfaser) zerstören. Die Mechanismen variieren zusätzlich entlang der Faser, sind also lokal verschieden. Nach heutigen Erkenntnissen hat die Abweichung des Kerns von der Zirkularsymmetrie einen grossen, wenn nicht den grössten Einfluss auf die PMD. Die Nichtzirkularitäten und Spannungen im Kern führen zu polarisationsabhängigen Fortpflanzungsgeschwindigkeiten. In einer theoretisch perfekten Faser, das heisst absolut zirkularsymmetrisch und spannungsfrei, gibt es keine PMD.

In einer Faser kann Doppelbrechung auch durch Biegung induziert werden. Durch den photoelastischen Effekt können äussere mechanische und thermische Einflüsse den Spannungszustand der Faser verändern und orthogonale Achsen mit unterschiedlichen Brechungsindizes produzieren. (Gewisse heute verwendete Polarisationscontroller basieren auf diesem Prinzip.)

Die Doppelbrechung einer Faser wird durch die sogenannte Rotationslänge (Beat Length) charakterisiert. Es ist die Faserlänge, über welche die Polarisationsrichtung der sich fortpflanzenden Welle einmal um 360° rotiert. Für Telekommunikationsfasern sind dies einige Meter.

In der Praxis zeigen Glasfasern, wie sie in der Telekommunikation verwendet werden, eine sehr starke Kopplung unter den Polarisationsmoden. Die Vorgänge der Modenkopplung und -aufspaltung sind in Wirklichkeit sehr komplex und können hier nur vereinfacht angedeutet werden. Durch die zufällige Kopplung zweier Moden entsteht ein neuer Modus, der wieder mit einem anderen Modus koppelt; das Ganze setzt sich in einer Art Kettenreaktion entlang der Faser fort (ähnlich einem Diffusionsprozess). Die neu erzeugten Moden interferieren untereinander und erzeugen für jede Wellenlänge einen Modus, der sich schneller, und einen, der sich langsamer in der Faser ausbreitet. Die erzeugten Moden werden in diesem Fall Principal States of Polarization (PSOP)[1] genannt [1]. Die Laufzeitverzögerung wird zu einer differentiellen Grösse, in der

[1] Es wird hier absichtlich die zum Standard gewordene englische Terminologie Principal States of Polarization benutzt. Eine Übersetzung könnte zu Verwechslungen mit den Polarisationskomponenten einer polarisierten Welle in x- und y-Richtung führen, was damit nicht gemeint ist.

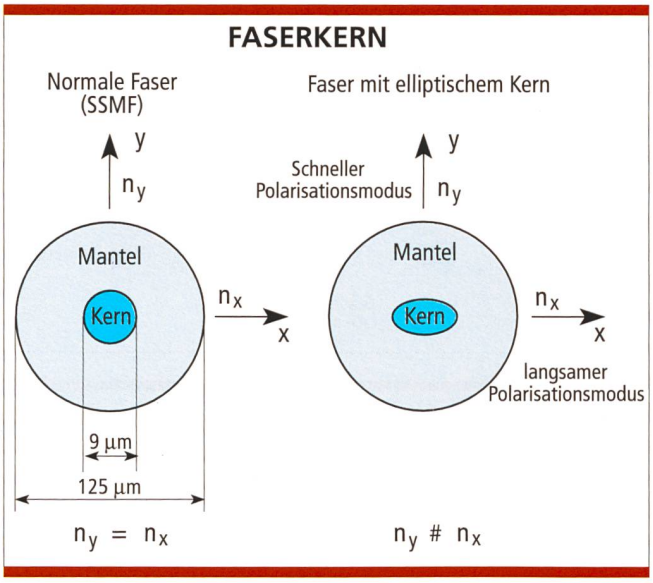


Bild 2. Ein nichtzirkularer Faserkern (rechts) führt zu unterschiedlichen Brechungsindexprofilen in x- und y-Richtung. Eine in x-Richtung polarisierte Welle breitet sich nicht gleich schnell aus wie eine in y-Richtung polarisierte Welle.

Fachliteratur Differential Group Delay (DGD) genannt. Die DGD fluktuiert und ist stark wellenlängenabhängig (Bild 3). Die Messung der DGD auf einer bestimmten Wellenlänge als Funktion der Zeit würde ähnliche Fluktuationen ergeben. Der Mittelwert der DGD wird PMD-Verzögerung (PMD Delay) genannt und wird in ps/km$^{1/2}$ ausgedrückt. Dies bedeutet, dass die PMD nicht linear mit der Faserlänge wächst, sondern «nur» mit der Wurzel der Länge.

Statistische Natur der PMD

Weil die Doppelbrechung und damit die DGD sehr empfindlich von mechanischen Spannungen, der Temperatur und der Wellenlänge abhängt, ändert sich der Wert der DGD mit der Zeit und mit den Umweltbedingungen. Das zeitliche Verhalten ist ein statistisches Phänomen und muss deshalb auch statistisch beschrieben werden. Die einzige Grösse, welche stabil bleibt, ist der Mittelwert der DGD, die PMD-Verzögerung, symbolisch häufig als $\Delta\tau$ bezeichnet. Die Zeitabhängigkeit der DGD bewirkt auch eine zeitliche Beeinflussung des Übertragungssystems (Bild 2). Für die meisten installierten Glasfaserkabel folgt die Häufigkeitsverteilung der DGD-Werte einer Maxwell-Verteilung [2]. Die Betrachtung des statistischen Verhaltens der DGD ist wichtig, weil als Folge davon hohe Werte für die DGD nie ganz auszuschliessen sind, auch wenn der Mittelwert klein ist. Die PMD-Verzögerung ist auch der einzige Wert, der unabhängig von der Messmethode reproduzierbar wiedergemessen werden kann [3].

Einen maximalen Wert der DGD gibt es somit nicht, da der Schwanz der Maxwell-Verteilung beliebig hohe Werte zulässt. Wie kann trotzdem die maximale Übertragungskapazität der Glasfaser aus der Verteilung abgeleitet werden? Im wesentlichen durch das Festlegen einer Wahrscheinlichkeit, mit der dieser Maximalwert überschritten werden darf.

Wie gross sind die Zeitintervalle, in denen die DGD bei der Betriebswellenlänge schwankt und somit die Übertragung zeitlich stören kann? Die Antwort darauf ist im wesentlichen durch die Umgebungsbedingungen, wie Temperatur und mechanische Belastung, gegeben. Für Luftkabel ist deshalb mit Variationen in der Grössenordnung von Sekunden zu rechnen, für Unterwasserkabel sind die Intervalle viel länger, Stunden oder Tage. Bei Erdkabeln ist denkbar, dass auch Vibrationen, beispielsweise entlang einer Strasse, die Variationszeit der DGD verändern kann. Aus heutiger Erfahrung ist in Erdkabeln mit Variationszeiten von Minuten bis Stunden zu rechnen.

Wie kann die PMD reduziert werden?

Der Netzbetreiber minimiert die PMD der neu zu installierenden Kabel, indem er solche mit kleiner PMD einkauft, denn solche gibt es auf dem Markt. Die meisten Faserhersteller sind heute in der Lage, Fasern mit tie-

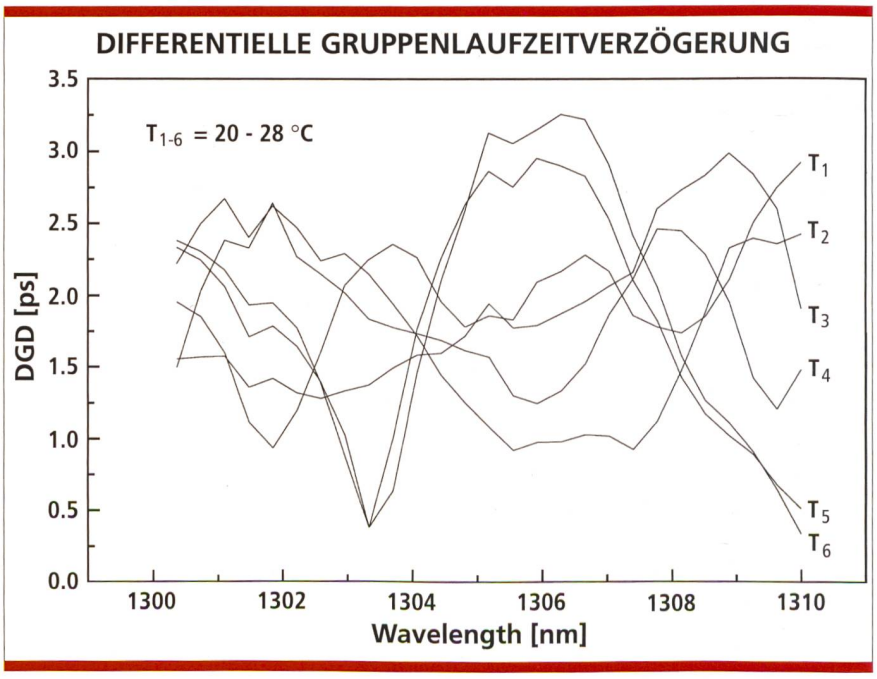


Bild 3. Differentielle Gruppenlaufzeitverzögerungen, gemessen an einem Glasfaserkabel im Klimaschrank für verschiedene Temperaturen. Die gemessenen Fluktuationen sind abhängig von vielen Parametern, wie Wellenlänge, Temperatur, Feuchtigkeit, Spannungen usw.

fer und stabiler PMD herzustellen. Dabei wird meistens ein Eingriff beim Ziehen der Faser aus der Vorform vorgenommen, indem zum Beispiel ein oszillierender, spannungsfreier Drall (Twist) in die Faser gebracht wird [4]. Der Hersteller versucht dabei zu erreichen, dass die Doppelbrechungseigenschaften entlang der Faser möglichst stark variieren, denn mit starker Kopplung der Moden längs der Faser wird die Laufzeit der Polarisationsmoden zwischen den Kopplungen kürzer, und damit reduziert sich der aufsummierte Wert der DGDs. Solche Fasern haben einerseits sehr tiefe PMD-Werte und sind anderseits auch bezüglich variabler Umgebungsbedingungen sehr unempfindlich.
Der Netzbetreiber muss unter Umständen auch schon installierte ältere Glasfasern für Hochgeschwindigkeitssysteme verwenden, welche hohe PMD aufweisen. Kann dann der Einfluss auf Systeme noch reduziert werden? Direkte Kompensationsverfahren wie bei der CD gibt es nicht. Es wurden jedoch Laborexperimente durchgeführt, in denen durch eine kontinuierliche Regelung des Polarisationszustandes auf der Senderseite versucht wurde, nur einen der Principal States of Polarization anzuregen. Das zeitliche Verhalten der DGD wird dadurch stabiler. Der Aufwand dafür ist gross und die Verbesserung begrenzt. Deshalb wird dies in der Praxis nicht durchgeführt.

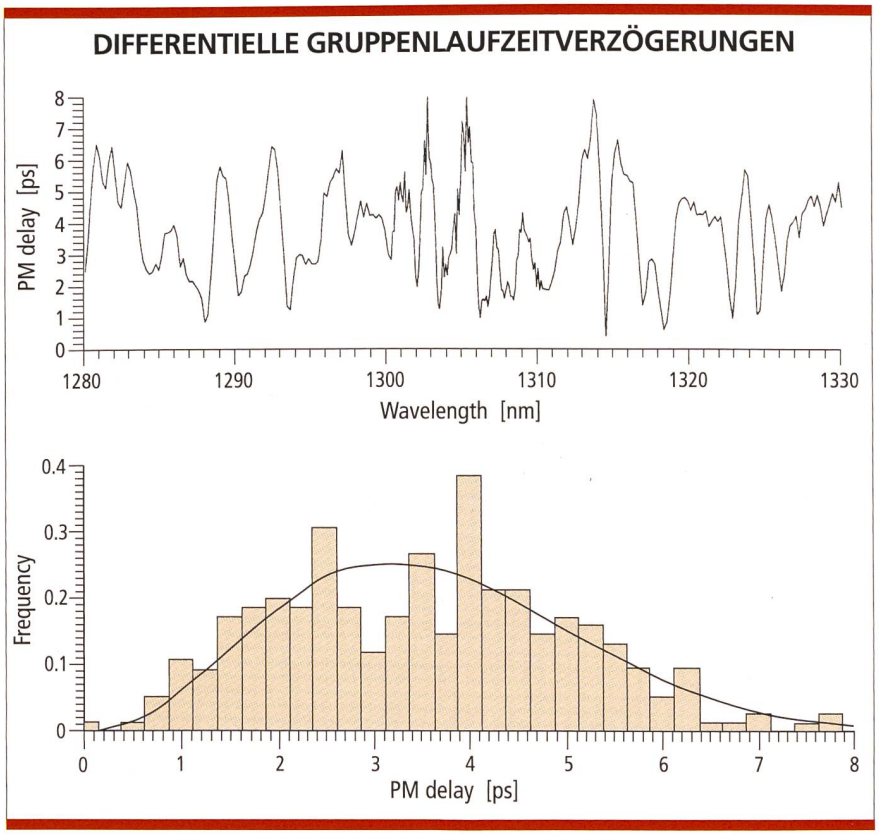


Bild 4. Oben: Differentielle Gruppenlaufzeitverzögerungen (DGD), gemessen an einem installierten Glasfaserkabel. Statistische Maxwell-Verteilung der DGD. Unten: Zugehörige Maxwell-Verteilung der DGD. Der Mittelwert ist bei 3 ps mit vereinzelten Spitzenwerten bis zu beinahe 8 ps.

Einfluss der Verkabelung auf die PMD

Der Einfluss der Verkabelung auf die PMD ist heute noch immer Gegenstand verschiedener Forschungsaktivitäten [4], und teilweise liegen widersprüchliche Resultate vor.
Hohe PMD-Verzögerungen wurden meistens an installierten Kabeln gemessen. Unverkabelte Fasern auf einem Lieferhaspel weisen meist eine tiefere PMD auf als verkabelte, da der relativ kleine Biegeradius und die Aufwicklungsspannung zu erhöhter Modenkopplung führen. Als Konsequenz wird die PMD-Verzögerung dadurch auf einen Wert heruntergesetzt, der meistens tiefer ist als derjenige, der später im Kabel gemessen wird, da die Faser dort nicht mehr aufgewickelt ist. Aus heutiger Erfahrung weiss man, dass die PMD von verkabelten Fasern und installierten Kabeln, die mit Fa-

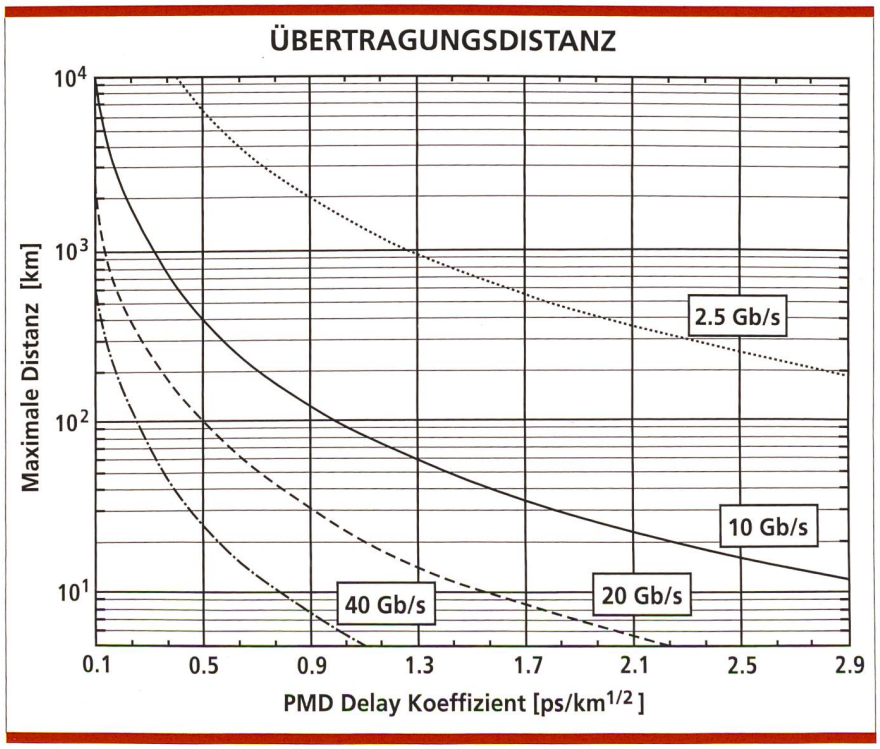


Bild 5. Theoretisch maximale Übertragungsdistanz als Funktion des PMD-Delay-Koeffizienten für eine gegebene Übertragungsrate bei einer maximalen Leistungseinbusse von 1 dB.

ete-hager

Mit RADCOM TESTGERÄTEN

lösen wir Ihre Netzwerkprobleme

Mit der LAN, WAN und ATM Testgerätepalette von RADCOM, bieten wir Ihnen eine umfassende Lösung zur Behebung Ihrer Netzprobleme an.

Gleichzeitiges Troubleshooting auf LAN, WAN u. ATM!

- ☑ alle V-Typen, ISDN, E1 sowie Ethernet, Token-Ring und ATM Schnittstellen
- ☑ über 180 Protokolle und bis zu 10 Schnittstellen in einem Testgerät
- ☑ Windows Bedieneroberfläche
- ☑ Gleichzeitige Analyse, Statistik und Simulation von LAN, WAN und ATM

Ihr Telematik-Team

ete-hager

Bielstrasse 26, 3250 Lyss

Tel. 032 / 384 44 88

Flimmert oder flackert Ihr Bildschirm?

Lesen Sie hier, wie Magnetfelder Bildschirme stören und wie ein *ScreenTurtle*™ Ihren Augen wieder zu einem entspannten Arbeiten verhilft.

Der *ScreenTurtle*™ schützt den Bildschirm zuverlässig vor Magnetfeldern!

Wer möchte nicht einen modernen, flimmerfreien Monitor besitzen, der die Augen schont und ein ermüdungsfreies Arbeiten erlaubt? Ein grosser Monitor mit einer hohen Auflösung und einer schnellen Bildwiederholfrequenz trägt deutlich zur Steigerung der Arbeitsqualität bei. Viele von uns kennen jedoch einen anderen Zustand: Das Bild flackert und zittert, weist Farbflecken auf oder ist verzogen. Die Augen sind nach kurzer Zeit übermüdet, der Kopf schmerzt und die Freude an der Arbeit ist dahin. Habe Sie das auch schon erlebt?

Diese Erscheinungen werden in den wenigsten Fällen vom Bildschirm verursacht. Auch das Manipulieren an den zahlreichen Knöpfen bringt selten Besserung. Der Grund für diese Störungen liegt oftmals bei unsichtbaren Magnetfeldern, welche die Bildqualität der immer empfindlicheren Monitore stark beeinflussen. Alle elektrischen Anlagen verursachen Magnetfelder, die Bildschirme beeinflussen können. Oft sind die Störungen auch noch in einer Distanz von 50 Meter und mehr sichtbar.

Die Firma Systron untersucht solche Störungen und realisiert die entsprechenden Lösungen. Oft können diese Belästigungen durch einfaches Umplazieren der Bildschirme oder durch entsprechende Installationsänderungen behoben werden. In anderen Fällen hilft das Abschirmen der Störquellen oder der Monitor wird durch einen *ScreenTrutle*™ vor den Magnetfeldern geschützt.

Fordern Sie jetzt gleich – per Fax oder Telefon – weitere Unterlagen oder **kostenlose Unterstützung** vor Ort an!

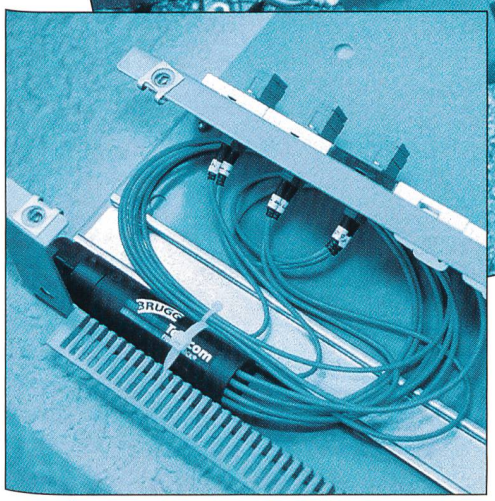
Telefon 01 / 937 53 50 • Fax 01 / 937 53 70

systron

EMV-Störschutztechnik
Untere Bahnhofstrasse 25 • CH-8340 Hinwil

Spitzenleistungen in der Übertragungstechnik

«Auf»Schalten zur Zielfahrt



Wer in der Formel 1 schon beim Training schnell ist, startet aus der Pole Position. Immer kürzere Zeiten werden auch beim Bau und Betrieb von Kommunikationsnetzen gefordert. Früher standen bei der Installation und Messung von Glasfaserkabeln nicht der Faktor Zeit als vielmehr Spezialkenntnisse und teure Geräte zur Diskussion. Mit FIBER-QUICK® liefern wir Ihnen Kabelverbindungen mit bis zu 48 Glasfasern und fixfertig montierten Steckern an. Sie bestellen einfach die Kabellänge mit der gewünschten Stekkerzahl und erhalten von uns eine fertige FIBER-QUICK®-Verbindung. Diese ist nach der Montage sofort betriebsbereit. Zeitaufwendige Spleissarbeiten und Messungen entfallen. Mit FIBER-QUICK® schicken wir Ihnen modernste Technik anschlussfertig franko Domizil. Über kürzere und günstigere Montagezeiten freuen sich nicht nur Ihre Monteure, sondern auch Ihre Kunden. Mit FIBER-QUICK® starten Sie aus der Pole Position und stehen schon kurz nach dem «Auf»-Schalten auf einem guten Podestplatz.

BRUGG Telecom

Brugg Telecom AG · Nachrichtenkabel und Systeme · 5201 Brugg
Telefon 056 460 31 00 · Fax 056 460 35 31 · http://www.brugg.ch

Leistung, die verbindet

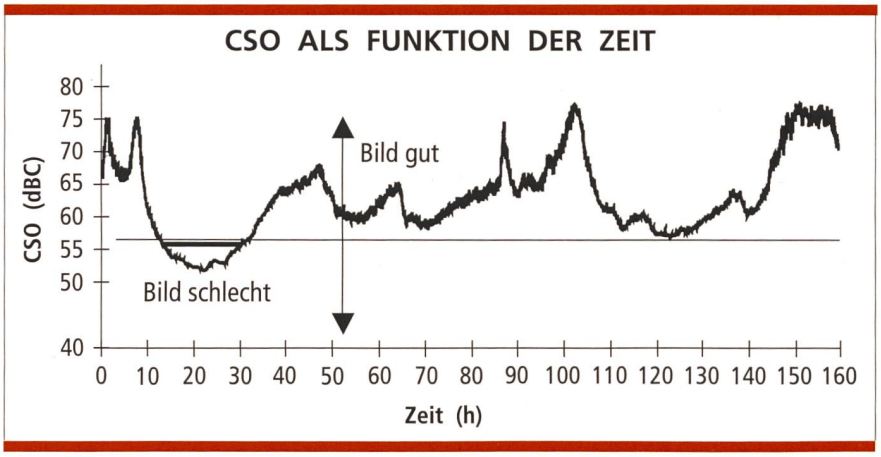


Bild 6. CSO-Verhältnis als Funktion der Zeit, gemessen an einem installierten Glasfaserkabel. Bei CSO-Werten unter 57 dBc hat der Kunde eine sichtbar schlechtere Bildqualität.

sern mit hoher PMD (in seltenen Fällen auch tiefer PMD) hergestellt wurden, um Faktoren höher sein kann als die PMD der Glasfaser vor der Verkabelung [5, 6].

Die heutigen guten Fasern mit tiefen PMD-Werten weisen eine ausgeprägte Stabilität der PMD gegenüber dem Verkabelungsprozess auf [4]. Die Grösse der PMD kann dann sehr genau aus Messungen an Fabrikationslängen oder mit grosser Wahrscheinlichkeit sogar aus Messungen an Fasern auf dem Lieferhaspel vorhergesagt werden.

Grundsätzlich kann die PMD auch in einem schlechten Verkabelungsprozess, bei welchem die Faser Spannungen ausgesetzt wird, kleiner werden, da dadurch zusätzliche Modenkopplung erzeugt wird, welche die PMD heruntersetzt. In den meisten Fällen zeigen aber solche Fasern erhöhte Dämpfungen. Weltweit ist heute die Meinung sehr stark vertreten, dass nur Fasern mit tiefen PMD-Werten nach der Verkabelung keine erhöhten PMD-Werte zeigen.

Einfluss der PMD auf die Übertragung

Digitale Systeme

Die wichtigsten zu berücksichtigenden Parameter bei der Planung einer Übertragungsstrecke sind die Dämpfung, die CD und die PMD. Ob die letztere wirklich eine zusätzliche Begrenzung darstellt oder im speziellen Fall vernachlässigt werden kann, hängt von der Bitrate, der Distanz L und vom erwarteten oder gemessenen PMD-Koeffizienten der benützten Glasfaserstrecke ab. Zur Bestimmung der maximal zulässigen PMD wird meistens folgende Faustregel benützt [7]:

Maximale zulässige PMD-Verzögerung = $^1/_{10}$ der Bitlänge oder, anders ausgedrückt:

$$\frac{\Delta\tau_{max}}{T_{bit}} < 0{,}10 \quad (1)$$

wobei $\Delta\tau_{max} = \sqrt{L}\Delta\tau_{Coeff}$ und T_{bit} die Bitperiode ist.

Die PMD-Verzögerung soll also nicht mehr als $^1/_{10}$ der Bitperiode betragen. Dies folgt aus theoretischen Überlegungen, falls man für ein NRZ-Signal eine Leistungseinbusse (Power Penalty) von maximal 1 dB akzeptiert. Der Statistik der DGD wurde dadurch Rechnung getragen, dass die Wahrscheinlichkeit[2] für DGD-Werte, die dreimal grösser sind als der Mittelwert, $4 \cdot 10^{-5}$ beträgt [7]. Die Resultate können je nach verwendeter Photodiode im Empfänger variieren. Die angegebenen Werte beziehen sich auf den schlechtesten Fall bei Verwendung einer «Avalanche-Photodiode». Dieser tritt dann ein, wenn die in die beiden PSOP eingekoppelte Leistung gleich ist.

Für ein 10-Gbit/s-System (STM-64-System mit TDM), bei welchen die Pulsperiode 100 ps beträgt, darf somit die PMD-Verzögerung 10 ps nicht übersteigen.

[2] Der Wert gilt für den Mittelwert der DGD. Manchmal findet man in der Literatur einen anderen Wert, der sich dann auf den RMS-Wert der DGD bezieht. RMS-Wert oder gewöhnlicher Mittelwert sind heute noch Diskussionspunkte in der wissenschaftlichen Forschung in Zusammenhang mit der Defintion der PMD.

Bild 5 zeigt die Streckenbeschränkung einer Anlage infolge der PMD. Es ist ersichtlich, dass die PMD für 2,5-Gbit/s-System für Anlagelängen von max. 100 km, wie sie im Fernnetz der Telecom vorkommen, ab etwa 3 ps/km$^{1/2}$ zu Problemen führt. Für 10-Gbit/s-Systeme begrenzt ein PMD-Wert von 1,0 ps/km$^{1/2}$ die maximale Anlagelänge bereits auf 100 km. Für Faserstrecken gemäss geltendem PMD-Pflichtwert (0,5 ps/km$^{1/2}$) tritt die Begrenzung erst oberhalb 400 km auf.

Analoge Systeme

Der störende Einfluss der PMD zeigte sich zuerst bei der Übertragung von vielen TV-Kanälen über eine Glasfaser. Die Wirkung auf solche analoge Systeme ist bedeutend komplizierter als bei digitalen Systemen [8]. Deshalb sind im folgenden nur die Grundzüge erklärt.

Analoge Übertragung von vielen Kanälen über ein einziges Kabel erfolgt meistens mit der Trägerfrequenzmodulation. Jedem Kanal ist eine bestimmte Frequenz zugewiesen. Oft liegen alle äquidistant nebeneinander, beispielsweise im Abstand 7 oder 8 MHz, bei CATV-Systemen im Bereich von 55 bis 755 MHz. Sowohl bei Koaxial- wie bei Glasfaserkabeln ist die Übertragung vielen störenden Einflüssen unterworfen. Hohe DGD-Werte der Glasfaser bewirken primär die Bildung von Mischprodukten, das heisst, es entstehen Spektralkomponenten, welche bei der Summen- oder Differenzfrequenz zweier beliebiger Nutzfrequenzen liegen.

Diese störenden Spektralkomponenten entstehen durch Signalverzerrung infolge der sogenannten «PMD 2. Ordnung». Dies bezeichnet, etwas vereinfacht gesagt, die Wellenlängenabhängigkeit der DGD (Bild 2). Die Wirkung beruht nun darauf, dass jedes modulierte Signal eine endliche spektrale Breite hat, und zwar sowohl im Frequenz- als auch im Wellenlängenbereich, und dass die einzelnen Komponenten in diesem Signalspektrum eine unterschiedliche DGD erfahren, weil diese eben über die Wellenlänge variiert. Die Komponenten des Spektrums werden unterschiedlich verzögert. Bei der Überlagerung dieser Komponenten auf dem Photodetektor entsteht ein verzerrtes Signal, dessen Spektrum schliesslich die erwähnten Mischfrequenzen zeigt.

Dispersionsarten in Glasfasern

Die Dispersion ist zusammen mit der Dämpfung einer der Schlüsselparameter zur Charakterisierung der Übertragungseigenschaft einer Glasfaser. Die Dispersion beschreibt, wie sich ein Lichtpuls beim Durchgang durch eine Faser verbreitert. Es gibt im wesentlichen drei verschiedene Dispersionsarten:

Modendispersion

Die ersten, zu Beginn der achtziger Jahre verwendeten Fasern waren Multimodefasern mit einem lichtleitenden Kern von 50 bis 100 µm Durchmesser. In diesem dicken Lichtleiter können sich eine grosse Anzahl von Lichtwellen in unterschiedlichen Wellenformen (Moden) fortpflanzen. Ein sich durch eine Glasfaser ausbreitender Lichtpuls wird durch die Modendispersion verbreitert. Ursache der Modendispersion sind die unterschiedlichen Moden, welche im Lichtleiter unter verschiedenen Winkeln quer zur Achse hin und her reflektiert werden. Jeder Modus legt dadurch eine andere Wegstrecke zurück und benötigt daher auch eine charakteristische Zeit zum Durchlaufen der Faser. Der in verschiedene Moden aufgespaltene Lichtpuls wird dadurch immer breiter. Die maximale Bandbreite der Übertragungsstrecke wird durch diese Verschmierung begrenzt.

Chromatische Dispersion (CD)

Seit Mitte der achtziger Jahre werden im Netz der Telecom PTT vor allem Glasfasern eingesetzt, in welchen sich nur ein Modus fortpflanzt: die Monomodefasern. Diese wurden mit dem Ziel entwickelt, die Modendispersion zu unterdrücken. Eine Pulsverbreiterung kann aber trotzdem stattfinden. Ursache dafür ist die sogenannte chromatische Dispersion. Der Ursprung der CD liegt in der Wellenlängenabhängigkeit der Geschwindigkeit, mit der sich der Lichtpuls in der Glasfaser fortpflanzt. Diese wird verursacht durch die Abhängigkeit des Brechungsindexes (Materialdispersion) und des Modenquerschnitts (Wellenleiterdispersion) von der Wellenlänge. Zu jedem Lichtpuls gehört ein Wellenlängenspektrum. Jede Komponente dieses Spektrums durchläuft die Glasfaser mit einer anderen Geschwindigkeit. Der Lichtpuls zieht sich deshalb beim Durchgang durch die Glasfaser auseinander. Die Übertragungskapazität wird dadurch beschränkt. Die heutigen sogenannten Standard-Monomodefasern sind so aufgebaut, dass die CD bei 1310 nm praktisch null ist. Viele Übertragungssysteme arbeiten deshalb auch bei 1310 nm. Diese Fasern weisen im Übertragungsfenster bei 1550 nm wohl eine tiefere Dämpfung auf, hingegen ist die chromatische Dispersion sehr hoch, und die Faser ist deshalb dort auch nur beschränkt einsetzbar. Hochbitratige Systeme werden meistens bei der (dispersiven) Wellenlänge 1550 nm betrieben, weil dort die Dämpfung minimal ist und optische Verstärker heute nur bei dieser Wellenlänge existieren. Der Einfluss der CD bei 1550 nm kann beispielsweise mittels spezieller Glasfasern, welche eine hohe Dispersion mit umgekehrtem Vorzeichen haben, kompensiert werden. Bei geeigneter Dimensionierung wird die CD bei 1550 nm ebenfalls null.

Polarisationsmodendispersion

Analysiert man eine Standard-Monomodefaser genauer, so stellt man fest, dass sie eben doch nicht monomode ist. Jede elektromagnetische Welle, also auch das elektrische Feld eines Lichtpulses, hat einen bestimmten Polarisationszustand (Schwingungsrichtung), welcher im wesentlichen die Richtung der Felder beschreibt. Dabei sind immer zwei Polarisationszustände möglich, beispielsweise senkrecht und waagrecht. (Kombinationen führen zu zirkular und elliptisch polarisiertem Licht.) Beide Polarisationsmoden durchlaufen die Glasfaser gleichberechtigt. Als PMD bezeichnet man das Phänomen, bei welchem sich ein polarisierter Lichtpuls in zwei verschieden polarisierte Komponenten aufspaltet, die sich mit unterschiedlicher Geschwindigkeit durch die Faser bewegen. Die Laufzeitdifferenz bezeichnet man als PMD (Bild 1). Sie beeinflusst die maximale Übertragungsrate bei digitalen Systemen und hat einen Einfluss auf die Bildqualität bei analogen CATV-Systemen (CSO-Degradierung).

Die Maxwell-Verteilung der differentiellen Gruppenlaufzeitverzögerung (DGD)

Die Wahrscheinlichkeitsdichte $\rho(\delta\tau)$ der DGD $\delta\tau(\omega)$ beschreibt deren Variation für jeden nur erdenklichen Parameter, wie die Zeit, die Frequenz, die Temperatur, die Feuchtigkeit, die Vorform usw. Sogenannte Wellenlängenensembles, Zeitensembles und Faserensembles aus gleichen Vorformen sind statistisch identisch. Die Wahrscheinlichkeitsdichte $\rho(\delta\tau)$ ist gegeben durch die Maxwell-Verteilung:

$$\rho(\delta\tau) = \frac{3}{\sqrt{\pi/6}} \frac{\delta\tau^2}{(\Delta\tau)^3} \exp\left(\frac{-3\delta\tau^2}{2(\Delta\tau)^2}\right) \quad (1)$$

wobei $\Delta\tau$ der RMS-Mittelwert der Verteilung der DGDs darstellt, welcher häufig im «Volksgebrauch» auch als PMD bezeichnet wird. Es ist der Wert, der von vielen Messinstrumenten direkt angezeigt wird. Der Wert darf nicht verwechselt werden mit den DGD $\delta\tau$, welche zeitlich schwanken. Es gibt Messgeräte, die direkt die DGD $\delta\tau$ messen und daraus $\Delta\tau$ berechnen. Die heute am meisten verwendete Definition des PMD Delay $\Delta\tau$ ist :

$$\Delta\tau = \langle\delta\tau^2\rangle^{1/2} = \left(\frac{\int_{\omega_1}^{\omega_2} \delta\tau(\omega)^2 d\omega}{\omega_2 - \omega_1}\right)^{1/2} \quad (2)$$

wobei $\omega_2 - \omega_1$ den Frequen- bzw. Wellenlängenbereich darstellt, über den die PMD-Verzögerung bestimmt wurde.
Der PMD Delay ist, im Gegensatz zu den DGDs, der einzige Wert, der unabhängig von der Messmethode reproduzierbar wiedergemessen werden kann.
Bild 4 zeigt die Variation der DGD über die Wellenlänge für zwei Temperaturen in einem Glasfaserkabel. Obwohl sich die DGD-Verteilungen über die Wellenlänge für beide Temperaturen stark unterscheiden, zeigt sich der gleiche Mittelwert.
Einen maximalen Wert der DGD gibt es nicht, da der Schwanz der Maxwell-Verteilung beliebig hohe Werte zulässt. Ein maximaler Wert kann also mit keiner Methode gemessen werden. Es müsste unendlich lange oder an unendlich vielen Ensembles Messungen durchgeführt werden, um diesen Wert «genau» zu bestimmen.
Häufig wird anstelle des RMS-Mittelwerts der DGD der arithmetische Mittelwert benutzt. Die theoretische Beziehung dieser beiden Mittelwerte ist gegeben durch:

Mean DGD = RMS DGD/1,085=$\Delta\tau$/1,085 (3)

Im Gegensatz zu einer Gauss-Verteilung ist die Maxwell-Verteilung asymmetrisch und weist einen viel längeren Schwanz für die hohen Werte auf.

Bei Äquidistanz der Kanäle im RF-Spektrum fallen die Mischfrequenzen auf die Nutzfrequenzen, interferieren mit diesen und erzeugen dadurch beispielsweise Störungen im Fernsehbild. Diese Art Störung ist als vertikale Bänder, welche sich horizontal übers Bild bewegen, sichtbar. Für die maximal zulässige relative Amplitude der Mischprodukte in TV-Kanälen (Composite Second Order, CSO) existieren Empfehlungen (CENELEC). Diese Werte sind von technischen Randbedingungen abhängig, aber auch von den Qualitätsansprüchen der Kunden.
Die Wirkung des stochastischen Verlaufs der DGD über die Wellenlänge ist bei der PMD 2. Ordnung noch grösser als bei der direkten PMD 1. Ordnung, weil im wesentlichen die Ableitung oder Steigung der DGD-Kurve die Wirkung bestimmt. Ein Dynamikbereich von über 20 dB wurde im Labor und im Feld gemessen, in Übereinstimmung mit der Theorie. Bild 6 zeigt die an einem Erdkabel gemessene Variation der Mischprodukte, worin sich Stunden mit konstanter Wirkung der PMD abwechseln mit Änderungen innerhalb Minuten. Das Fernsehbild bleibt über Wochen gut und wird dann für einige Stunden gestört.
Unter Einbezug all dieser Einflussgrössen empfehlen wir heute einen Grenzwert von 12 ps für die maximal zulässige PMD-Verzögerung der Glasfaserverbindung. Diesen Grenzwert einzuhalten sollte im Glasfasernetz der Telecom PTT immer möglich sein. Bei signifikanter Erhöhung der übertragenen Kanäle (>>40) muss je nach Systemcharakteristik der Wert neu überdacht werden. Im Pflichtenheft für Glasfaserkabel ist heute aufgrund der Anforderungen für digitale Systeme ein auf die Kabellänge bezogener Grenzwert von 0,5 ps/km$^{1/2}$ spezifiziert. Dies bedeutet, dass für Distanzen von einigen 10 km in Fernsehzubringern keine Beschränkung auftritt. Nur alte Kabel im Boden sollten vor Verwen-

Abkürzungen

PMD	Polarisationsmodendispersion
PSOP	Pricipal States of Polarization
PMD Delay	PMD-Verzögerung (ps): Δt
PMD-Delay-Koeffizient	PMD-Verzögerungskoeffizient (ps/km$^{1/2}$)
DGD	Differential Group Delay (ps): $\delta\tau$
CD	Chromatische Dispersion
SSMF	Standard Single-Mode Fibre
CSO	Composite Second Order
RF	Radio Frequency

dung mit CATV-Systemen bezüglich PMD gemessen werden. Dann lässt sich mit dem vorgeschlagenen Grenzwert von 12 ps entscheiden, ob die Glasfaser ohne Probleme benutzt werden kann oder ob eine andere Faser dieses Kabels einzusetzen ist. Viele der alten Kabel enthalten Fasern mit unterschiedlich hohen und tiefen Werten der PMD. Falls nötig, kann dann auf eine Faser mit tieferer PMD-Verzögerung umgespleisst werden.

Spezifikation der PMD

Seit 1994 hat die Telecom PTT im Pflichtenheft für Glasfaserkabel einen Grenzwert für die PMD spezifiziert, nämlich 0,5 ps/km$^{1/2}$. Stand der Technik der Glasfaserherstellung sind PMD-Werte unterhalb 0,2 ps/km$^{1/2}$. Unter Berücksichtigung der Anforderungen zukünftiger Übertragungssysteme mit Bitraten von 10 Gbit/s und darüber ist ein maximal zulässiger Wert von 0,5 ps/km$^{1/2}$ für die in der Schweiz zu überbrückenden Distanzen sinnvoll [9]. Ein Wert zu spezifizieren, der tiefer liegt, wäre möglich, würde aber infolge des statistischen Verhaltens der PMD zu Diskussionen mit Lieferanten führen, da PMD-Messungen immer mit einer grösseren Unsicherheit behaftet sind als beispielsweise Dämpfungsmessungen. Der heute spezifizierte PMD-Wert hat auch keine höheren Kabelkosten zur Folge. Der Wert von 0,5 ps/km$^{1/2}$ wird zudem in allen Standardisierungsgremien (ITU, ETSI, IEC) als bevorzugter Wert diskutiert.
Die Telecom empfiehlt den Kabelherstellern, Fasern mit PMD-Werten, die

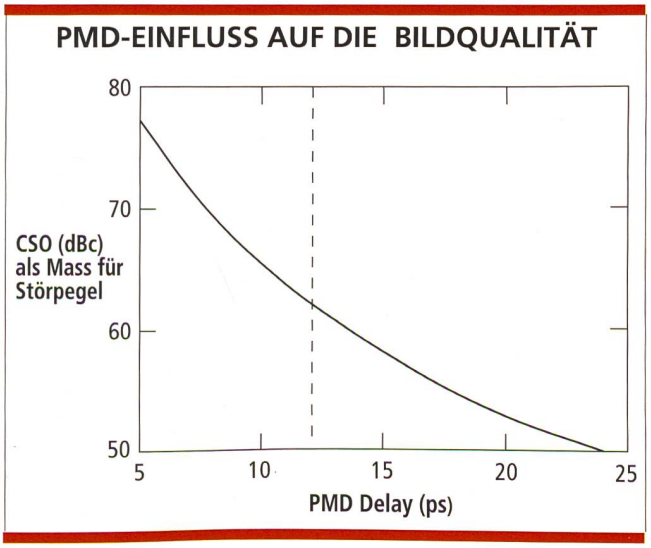


Bild 7. CSO-Verhältnis als Mass für die Bildqualität in Funktion des PMD Delay der Glasfaserstrecke. Die dargestellte Abhängigkeit ist ein typisches Beispiel für heute eingesetzte CATV-Systeme und wenn andere Effekte (z. B. PDL) vernachlässigbar klein sind.

LAN-Kabeltester WAVETEK

LANTEK Pro XL

- 100 MHz, Kat. 5
- Erfüllt Level II
- Dual Next
- Einfachste Bedienung
- Autotest in 30 Sek.
- Fiberoptic Option

LWL POWER METER 850/1300/1550 nm

ISATEL
ISATEL Electronic AG
Hinterbergstrasse 9, 6330 Cham
Telefon 041/748 50 50, Fax 041/748 50 55

dem Stand der Technik entsprechen (<0,2 ps/km$^{1/2}$), einzusetzen. Dies ist nach heutigem Wissensstand die beste Garantie, nach der Verkabelung und nach der Verlegung des Kabels keine Überraschungen mit höheren PMD-Werten zu erleben. Ziel der Spezifikation ist auch, dass Fasern bzw. Kabel später vom Kabelhersteller und von der Telecom nur stichprobenweise gemessen werden müssen und der kostenintensive Messaufwand so für den Lieferanten und die Telecom reduziert wird.

Methoden zur Messung der PMD

Es gibt heute verschiedene Methoden zur Messung der PMD-Verzögerung [3, 10], die bei richtiger Anwendung vergleichbare Resultate liefern [14, 15]. 1997 werden erstmals vier Methoden in die ITU-Empfehlung G.650 [11] aufgenommen. Die Forschung und Entwicklung der Telecom PTT hat bereits zu Beginn der neunziger Jahre zusammen mit der Universität Genf ein transportables Messgerät entwickelt [10], welches erlaubt, sehr schnell Messungen im Feld durchzuführen. Die dabei entwickelte interferometrische Messmethode ist eine der vier Methoden, die in den Standardisierungsgremien als zuverlässig anerkannt sind. Das Gerät wird heute kommerziell vertrieben [12] und ist bei namhaften Netzbetreibern und Kabelherstellern im Einsatz

Bei allen zurzeit gebräuchlichen Messmethoden wird der PMD Delay über eine Mittelung über eine beschränkte Anzahl Messungen und Wellenlängen bestimmt. Dadurch sind alle Resultate intrinsisch bereits mit einer relativ grossen Unsicherheit behaftet. Die Genauigkeit der heutigen Messmethoden liegt aber sehr nahe an der theoretisch gegebenen Genauigkeitsgrenze, das heisst, die Messgeräte können nicht mehr wesentlich besser werden [13]. Beispielsweise liegt die Messunsicherheit infolge der statistischen Natur der PMD für eine PMD-Verzögerung von 1 ps bereits bei 9 % . Bei einem Wert von 0,1 ps beträgt die Unsicherheit schon fast 30 % [13]. Nur durch die Mittelung über die Temperatur bzw. die Zeit lässt sich die Genauigkeit einer Messung noch steigern, was aber den Zeitaufwand enorm vergrössert.

Literatur

[1] C. D. Poole and R. E. Wagner. Phenomenological approach to polarization dispersion in long single-mode fibres. Electron. Lett., Vol. 22, No. 19, 1029 (1986).

[2] N. Gisin, R. Passy, J. C. Bischof and B. Perny. Experimental investigations of the statistical properties of polarization mode dispersion in single-mode fibres. Photonics Technology Letters, Vol. 5, No. 7 (1993).

[3] N. Gisin and COST 241 Group. Definition of polarization mode dispersion and first results of the COST 241 round-robin measurements. Pure and App. Opt. 4 (1995), 511–522.

[4] A. Judy. Improved PMD stability in optical fibres and cabled. IWCS Proceedings (1994), 658.

[5] N. Gisin, B. Perny, R. Passy. Polarization mode dispersion measurements in optical fibres, cables, installed terrestrial cables and fibre ribbons. OFMC, 17.–18. September 1991, York, U.K.

[6] B. Perny, H. R. Haller. Polarization mode dispersion measurements on cables in the network of Swiss Telecom PTT. Meeting ETSI STC-TM1, 16.–20. Januar 1995, London, U.K., TD 17.

[7] S. B. Andreasen, Tele Danmark. Preliminary considerations on the system impacts from fibre PMD. ITU-T SG 15/WP4, Ithaca, New York, 17.–22. July 1995.

[8] Ph. Ciprut, B. Gisin, N. Gisin, F. Prieto and Ch. Zimmer. Second Order Polarization Mode Dispersion: Impact on Analog and Digital Systems. (Zur Publikation eingereicht.)

[9] B. Perny. Swiss Telecom PMD Specification. ETSI STC-TM1/WG1, Oslo, Norway, May 6–10 (1996).

[10] B. Perny, N. Gisin. Test methods to measure polarization mode dispersion. Ein Beitrag für ITU-T SG15 Q.23 für das Meeting im Mai 1994.

[11] ITU-T Recommendation G.650. Defintition and Test Metods for the Relevant Parameters of Single-Mode Fibres. (Aktuelle Version 3, 1993, neue Version wird 1997 erscheinen.)

[12] GAP Optique SA, chemin de la Gravière 2, 1227 Genève, Fax 022 792 80 82.

[13] N. Gisin, B. Gisin, J. P. Von der Weid and R. Passy. How accurately can one measure a statistical quantity like polarization mode dispersion. (Zur Publikation eingereicht.)

[14] N. Gisin, R. Passy, B. Perny, A. Galtarossa, C. Someda, F. Bergamin, M. Schiano and F. Matera. Experimental comparison between two different methods for measuring polarization mode dispersion in single-mode fibres. Electronic. Lett., Vol. 27, No. 24 (1991).

[15] B. Perny, Ch. Zimmer, N. Gisin, F. Prieto. Polarization Mode Dispersion: Large-scale comparison of Jones matrix eigenanalysis against interferometric measurement techniques. Electronic. Lett., Vol. 32, No. 7, 680–681 (1996.)

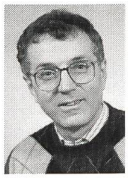
Schlussfolgerungen

Hohe PMD kann die Übertragungskapazität einer Glasfaserstrecke begrenzen. Sowohl die Grösse der PMD im Glasfasernetz der Telecom PTT und deren Wirkung auf Übertragungssysteme als auch geeignete Messmethoden sind heute bekannt und unter Kontrolle. Es gibt heute kommerziell erhältliche Messgeräte, mit denen routinemässig Feldmessungen durchgeführt werden. Eines dieser Messgeräte wurde in einem F+E-Projekt der Telecom PTT mit der Universität Genf entwickelt. Die Messmethode wird heute von den Normierungsgremien ITU und IEC empfohlen.

Die Telecom PTT hat die zu beschaffenden Kabel bezüglich PMD so spezifiziert, dass sie auch den Anforderungen zukünftiger Übertragungssysteme genügen.

Weil die Wirkung der PMD auf Systeme mit sehr hohen Bitraten oder anspruchsvoller Analogübertragung wegen der statistischen Natur noch nicht exakt vorausgesagt werden kann, sind die weltweit im Gange befindlichen Arbeiten weiter zu verfolgen. 4, 9.1

Beat Perny studierte an der Universität Freiburg Physik und promovierte 1987 mit einer Dissertation in experimenteller Kernphysik. Als wissenschaftlicher Mitarbeiter arbeitete er anschliessend drei Jahre an der Universität Bern in der Abteilung für Raumforschung. Seit 1990 ist er bei der Generaldirektion der Telecom in der Direktion Forschung und Entwicklung. Sein Hauptarbeitsgebiet sind optische Übertragungseigenschaften von Glasfasern und Kabeln sowie passiven optischen Komponenten. Als Leiter der Fachgruppe Glasfaserkabeltechnik ist er unter anderem verantwortlich für die technische Spezifikation von Glasfasern und Glasfaserkabeln, die bei der Telecom PTT eingesetzt werden.



Christian Zimmer beschäftigte sich nach dem Physikstudium mit optischer Übertragung. Nachdem er einige Jahre bei der Forschung tätig war, entwickelte er Messgeräte und den Aufbau einer Produktionsanlage für Hybridschaltungen. Nach dem Bau von Modulen für optische Glasfasersysteme war er in der Messtechnik tätig. Seit 1992 ist Christian Zimmer bei der Telecom PTT beschäftigt und betreut heute zukunftsgerichtete Forschungsprojekte gemeinsam mit Hochschulen und internationalen Gremien. Er unterstützt die Bereiche der Telecom PTT in Fragen der optischen Übertragung und führt, soweit die Zeit reicht, im Labor Messungen an neuen Komponenten und Systemen für die optische Übertragung durch.

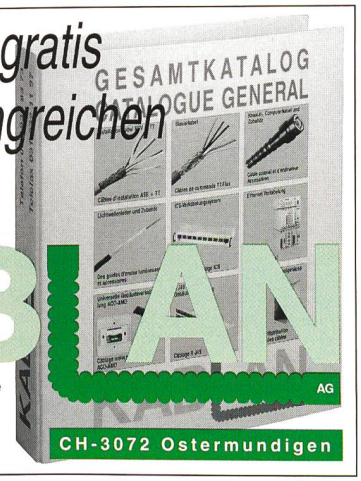
SUMMARY

Monomode fiber isn't monomode after all

Recent statistics show that the requirements of transmission rate in modern transmission systems roughly quadruple at a rate of about five years. Fiber systems of 2.5 Gbit/s (STM-16) are standard already for some time. Systems for 10 Gbit/s (STM-64) wait for production, and data rates above 10 Gbit/s are to be expected readily. By its nature, the fiber itself is generally considered as a transmission medium with unlimited capacity. That this is not necessarily the case has been revealed recently in practice by several network operators. Due to excessive polarization mode dispersion, problems can occur already with 2.5-Gbit/s systems. Detrimental effects also appear by using analog CATV transmission, where pictures may be degraded by fiber transmission. Often the main problem seems to consist in an insufficient specification of the fiber. The possibility of a future upgrade of existing cable networks to bit rates of 10 Gbit/s or even higher will thus depend on a corresponding quality of the installed cables; therefore, when selecting new fiber and cable installations, an appropriate specification is of very high importance, considering the fact that newly installed cables represent an asset for typically the next 20 years.

Nicolas Gisin promovierte an der Universität Genf mit einer Dissertation in Quantenphysik und statistischer Physik. Nach einem Studienaufenthalt an der Universität Rochester in New York kehrte er nach Genf zurück und beschäftigte sich bei der Firma Alphatronix mit der Entwicklung optischer Messgeräte zur Charakterisierung von Glasfasern. Prof. Dr. Nicolas Gisin ist seit 1988 Leiter der Optikabteilung (GAP Optique) des Instituts für angewandte Physik der Universität Genf. Seine Forschungsgebiete reichen von Quantenoptik über Glasfasern bis zur integrierten Optik.

Verlangen Sie gratis unseren umfangreichen Katalog



Kabel, LAN und Haushaltprodukte
Weissackerstrasse 7
Tel. 031 930 80 60
Fax 031 932 11 97

GENESIS

GENESIS COMMUNICATION

Enterprise Netzwerk Management

Dienstleistungen und Produkte in den Bereichen IP-Adressen. Verwaltungssysteme, DNS, DDNS, DHCP,WWW, NMS, Firewalls, Security, Netzwerk-Analyzer, proaktives Netzwerk-Monitoring mit WEB-Reporting sowie Consulting und Schulungen.

TeleNetCom '97: Halle 1.1, Stand 1.131

www.GenesisCom.ch
Tel. 031 335 62 77 • info@GenesisCom.ch • Fax 031 335 62 76