

**RAPPORT
TECHNIQUE
TECHNICAL
REPORT**

**CEI
IEC**

TR 62316

Première édition
First edition
2003-09

**Guide pour l'interprétation des courbes
de rétrodiffusion d'OTDR**

**Guidance for the interpretation
of OTDR backscattering traces**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC/TR 62316:2003

Numérotation des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000. Ainsi, la CEI 34-1 devient la CEI 60034-1.

Editions consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique. Des renseignements relatifs à cette publication, y compris sa validité, sont disponibles dans le Catalogue des publications de la CEI (voir ci-dessous) en plus des nouvelles éditions, amendements et corrigenda. Des informations sur les sujets à l'étude et l'avancement des travaux entrepris par le comité d'études qui a élaboré cette publication, ainsi que la liste des publications parues, sont également disponibles par l'intermédiaire de:

- Site web de la CEI (www.iec.ch)
- Catalogue des publications de la CEI

Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI (www.iec.ch/searchpub) vous permet de faire des recherches en utilisant de nombreux critères, comprenant des recherches textuelles, par comité d'études ou date de publication. Des informations en ligne sont également disponibles sur les nouvelles publications, les publications remplacées ou retirées, ainsi que sur les corrigenda.

- IEC Just Published

Ce résumé des dernières publications parues (www.iec.ch/online_news/justpub) est aussi disponible par courrier électronique. Veuillez prendre contact avec le Service client (voir ci-dessous) pour plus d'informations.

- Service clients

Si vous avez des questions au sujet de cette publication ou avez besoin de renseignements supplémentaires, prenez contact avec le Service clients:

Email: custserv@iec.ch
Tél: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

Publication numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series. For example, IEC 34-1 is now referred to as IEC 60034-1.

Consolidated editions

The IEC is now publishing consolidated versions of its publications. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Further information on IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology. Information relating to this publication, including its validity, is available in the IEC Catalogue of publications (see below) in addition to new editions, amendments and corrigenda. Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is also available from the following:

- IEC Web Site (www.iec.ch)
- Catalogue of IEC publications

The on-line catalogue on the IEC web site (www.iec.ch/searchpub) enables you to search by a variety of criteria including text searches, technical committees and date of publication. On-line information is also available on recently issued publications, withdrawn and replaced publications, as well as corrigenda.

- IEC Just Published

This summary of recently issued publications (www.iec.ch/online_news/justpub) is also available by email. Please contact the Customer Service Centre (see below) for further information.

- Customer Service Centre

If you have any questions regarding this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre:

Email: custserv@iec.ch
Tel: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

RAPPORT TECHNIQUE TECHNICAL REPORT

**CEI
IEC**

TR 62316

Première édition
First edition
2003-09

Guide pour l'interprétation des courbes de rétrodiffusion d'OTDR

Guidance for the interpretation of OTDR backscattering traces

© IEC 2003 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher.

International Electrotechnical Commission, 3, rue de Varembé, PO Box 131, CH-1211 Geneva 20, Switzerland
Telephone: +41 22 919 02 11 Telefax: +41 22 919 03 00 E-mail: inmail@iec.ch Web: www.iec.ch



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

L

*Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	4
1 Domaine d'application.....	8
2 Références normatives	8
3 Phénomène de rétrodiffusion	8
3.1 Diffusion de Rayleigh.....	8
3.2 Réflexions de Fresnel et fibres amorces	8
4 Mesure de la puissance rétrodiffusée (OTDR).....	10
4.1 Représentation de la puissance rétrodiffusée	10
4.2 Bruit et perturbations	12
5 Interprétation d'une courbe de rétrodiffusion	12
5.1 Courbe unidirectionnelle	12
5.1.1 Pente correspondant au coefficient d'affaiblissement d'une fibre	14
5.1.2 Impureté et discontinuité.....	14
5.1.3 Largeur d'impulsion	14
5.2 Courbe bi-directionnelle.....	14
5.2.1 Uniformité d'affaiblissement.....	16
5.2.2 Uniformité du diamètre de champ de mode (MFD)	18
5.2.3 Evaluation de la perte d'épissure	18
Bibliographie.....	22
Figure 1 – Courbe unidirectionnelle d'OTDR	12
Figure 2 – Courbes typiques des pertes introduites par une connexion ou une épissure.....	20

CONTENTS

FOREWORD	5
1 Scope	9
2 Normative references.....	9
3 Backscattering phenomenon	9
3.1 Rayleigh scattering	9
3.2 Fresnel reflections and dead zone fibres.....	9
4 Measurement of the backscattered power (OTDR)	11
4.1 Representation of the power backscattered	11
4.2 Noise and perturbations.....	13
5 Interpretation of a backscattering trace	13
5.1 Unidirectional trace.....	13
5.1.1 Slope as the attenuation coefficient of a fibre.....	15
5.1.2 Impurity and discontinuity	15
5.1.3 Pulse width	15
5.2 Bi-directional trace.....	15
5.2.1 Attenuation uniformity	17
5.2.2 MFD uniformity	19
5.2.3 Splice loss evaluation	19
Bibliography	23
Figure 1 – Unidirectional OTDR Trace.....	13
Figure 2 – Typical traces of losses introduced by connection or a splice	21

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

GUIDE POUR L'INTERPRÉTATION DES COURBES DE RÉTRODIFFUSION D'OTDR

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques et des Guides (ci-après dénommés «Publication(s) de la CEI»). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications, la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente, les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La tâche principale des comités d'études de la CEI est d'établir des Normes Internationales. Cependant, un comité d'études peut proposer la publication d'un rapport technique lorsqu'il a rassemblé des données d'un genre différent de celui qui est normalement publié en tant que norme internationale, par exemple des informations sur l'état de la technique.

La CEI 62316, qui est un rapport technique, a été établie par le sous-comité 86A: Fibres et câbles, du comité d'études 86 de la CEI: Fibres optiques.

Le texte de ce rapport technique est issu des documents suivants:

Projet d'enquête	Rapport de vote
86A/777/DTR	86A/822/RVC

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de ce rapport technique.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

GUIDANCE FOR THE INTERPRETATION OF OTDR BACKSCATTERING TRACES

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

The main task of IEC technical committees is to prepare International Standards. However, a technical committee may propose the publication of a technical report when it has collected data of a different kind from that which is normally published as an International Standard, for example "state of the art".

IEC 62316, which is a technical report, has been prepared by subcommittee 86A: Fibres and cables, of IEC technical committee 86: Fibre optics.

The text of this technical report is based on the following documents:

Enquiry draft	Report on voting
86A/777/DTR	86A/822/RVC

Full information on the voting for the approval of this technical report can be found in the report on voting indicated in the above table.

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 2.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant 2007.
A cette date, la publication sera

- reconduite;
- supprimée;
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC TR 62316:2003

Withdrawn

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until 2007. At this date, the publication will be

- reconfirmed;
- withdrawn;
- replaced by a revised edition, or
- amended.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC TR 62316:2003

Withdrawn

GUIDE POUR L'INTERPRÉTATION DES COURBES DE RÉTRODIFFUSION D'OTDR

1 Domaine d'application

Ce rapport technique fournit un guide pour l'interprétation des courbes de rétrodiffusion obtenues au moyen d'un réflectomètre optique dans le domaine temporel (OTDR).

Ce guide comporte également quelques données de base sur la théorie générale concernant l'OTDR ainsi que des lignes directrices spécifiques à l'utilisation de l'OTDR pour l'évaluation des pertes d'épissure.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 60793-1-40:2001, *Fibres optiques – Partie 1-40 Méthodes de mesure et procédures d'essai – Affaiblissement*

3 Phénomène de rétrodiffusion

3.1 Diffusion de Rayleigh

La diffusion de Rayleigh ou rétrodiffusion est due aux fluctuations de la densité, et par conséquent de l'indice de réfraction, du matériau constituant le guide d'onde; les fibres optiques sont en silice amorphe et les fluctuations de densité sont une conséquence du processus de fabrication.

3.2 Réflexions de Fresnel et fibres amorces

Lorsqu'un rayon lumineux atteint une surface avec un angle d'incidence par rapport à la normale sur cette surface et que cette surface sépare deux milieux dont l'indice de réfraction est différent, une partie de ce rayon est réfractée dans le deuxième milieu et une partie est réfléchi dans le premier milieu. Il s'agit de la réflexion de Fresnel, qui peut être très élevée, en fonction de la différence d'indice de réfraction des deux milieux, de l'aspect de la surface, de la rugosité de la surface, de l'angle d'incidence, des défauts de surface. Dans certaines situations, la réflexion de Fresnel est détectée comme un flash de très forte intensité qui peut amener le récepteur à saturation (réponse plate sur temps). La section correspondante de la courbe d'OTDR définit ce qu'on appelle la zone morte, c'est-à-dire la longueur de fibre où le signal rétrodiffusé est inférieur au signal saturé du réflecteur, et donc non détectable et non visible sur la courbe d'OTDR. L'effet de la zone morte allié à la réflexion de Fresnel à l'extrémité d'entrée de la fibre est souvent réduit en adoptant une faible longueur d'une fibre positionnée entre la sortie de l'OTDR et la fibre en essai. Il convient que cette zone morte ou fibre amorce soit de préférence d'au moins un dixième (1/10, en m) de la largeur d'impulsion de l'OTDR (en ns), par exemple pour une impulsion de 1 000 ns, il convient que la fibre amorce soit égale ou supérieure à 100 m de long.

GUIDANCE FOR THE INTERPRETATION OF OTDR BACKSCATTERING TRACES

1 Scope

This technical report provides guidelines for the interpretation of backscattering traces, as obtained by an optical time domain reflectometer (OTDR).

This guidance includes some theoretical background on the OTDR as well as guidance specific to the use of the OTDR in assessing splice loss.

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60793-1-40:2001, *Optical Fibres – Part 1-40: Measurement methods and test procedures – Attenuation*

3 Backscattering phenomenon

3.1 Rayleigh scattering

Rayleigh scattering or backscattering originates from fluctuations in the density, and hence in the index of refraction, of the material constituting the wave-guide; optical fibres are made of amorphous silica, and density fluctuations are a consequence of the manufacturing process.

3.2 Fresnel reflections and dead zone fibres

When a light ray reaches a surface at an angle of incidence from the normal to that surface and that surface separates two media of different indexes of refraction, part of this light ray is refracted in the second medium and part of it is reflected backward into the first medium. This is the Fresnel reflection, which can be very high, depending on the difference in the index of refraction of the two media, on the aspect of the surface, the surface roughness, the angle of incidence, the surface defects. In some situations, the Fresnel reflection is detected as a very intense flash, which can bring the receiver to saturation (flat response vs. time). The corresponding section of the OTDR trace defines the so-called dead zone, i.e. a length of the fibre where the backscattered signal is lower than the reflector's saturated signal, hence not detectable and visible on the OTDR trace. The effect of the dead-zone connected to the Fresnel reflection at the input end of the fibre is often reduced by adopting a short length of a fibre positioned between the OTDR output and the fibre under test. This dead-zone or buffer fibre should preferably be at least one tenth ($1/10$, in m) of the OTDR pulse-width (in ns), e.g. for a 1 000 ns pulse the dead zone fibre should be ≥ 100 m long.

4 Mesure de la puissance rétrodiffusée (OTDR)

La puissance rétrodiffusée par une fibre optique est mesurée au moyen d'un OTDR. Le principe consiste à envoyer une impulsion ou, généralement, un train d'impulsions, à partir d'une extrémité de la fibre, et à mesurer la puissance rétrodiffusée par la fibre (écho optique) au niveau de la même extrémité. Dans les courbes d'OTDR, l'espace et le temps sont complètement équivalents à travers la relation

$$\frac{z}{t} = \frac{c}{n_g(\lambda)} \quad (1)$$

où

z est la distance, en mètres (m),

t est la durée, en secondes (s),

c est la vitesse de la lumière dans le vide (299 792 458 m/s), et

$n_g(\lambda)$ (en fonction de la longueur d'onde) est l'indice de réfraction de groupe.

Ce paramètre, qui doit être fourni par le fabricant de fibre, prend en compte les propriétés de guide d'ondes de la fibre ainsi que les différents matériaux utilisés pour la gaine et le cœur. L'indice de réfraction de groupe n_g est lié à l'indice de phase n ou n_p (qui est mesuré sur une fibre et est son attribut fondamental) en utilisant l'expression suivante

$$n_g = n_p - \lambda \left(\frac{dn_p}{d\lambda} \right) \quad (2)$$

4.1 Représentation de la puissance rétrodiffusée

Une représentation schématique possible de la puissance d'OTDR $P(z)$ à la longueur d'onde λ rétrodiffusée par un point z le long d'une fibre optique est:

$$P(z) = C \frac{\lambda^2}{[\omega(z)]^2} P_i \tau_w 10^{-\frac{2}{10} \alpha \Delta z} \quad (3)$$

où

P_i est la puissance d'impulsion d'OTDR en entrée;

τ_w est la largeur d'impulsion d'OTDR en entrée;

Δz est la distance par rapport à l'origine;

α est le coefficient d'affaiblissement de la fibre (estimé comme constant dans le but de simplifier l'équation);

$\omega(z)$ est le diamètre de champ de mode de la fibre (mode field diameter, MFD) au point z ;

C est un facteur de proportionnalité, qui dépend de plusieurs paramètres tels que le matériau de la fibre ou la valeur de l'indice de réfraction.

L'équation (3) présente la relation entre la puissance rétrodiffusée, la largeur d'impulsion, le coefficient d'affaiblissement et le diamètre de champ de mode (MFD). L'écho optique, tel qu'il est donné par l'équation (3), est représenté par convention sur un graphique logarithmique: c'est pourquoi il se présente sous la forme d'une droite (en théorie), dont la pente est le coefficient d'affaiblissement de la fibre, α , comme cela est mieux expliqué à l'Article 4 ci-dessous.

4 Measurement of the backscattered power (OTDR)

The power backscattered by an optical fibre is measured by means of OTDR. They are based on the principle of sending one pulse or typically a train of pulses from one fibre end, and measure the power back-reflected from the fibre (the optical echo) at the same end. In OTDR traces, space and time are completely equivalent through the relation

$$\frac{z}{t} = \frac{c}{n_g(\lambda)} \quad (1)$$

where

z is the distance in meter (m);

t is the time in second (s);

c is the speed of light in vacuum (299 792 458 m/s); and

$n_g(\lambda)$ (as a function of the wavelength) is the group index of refraction.

This parameter, to be supplied by the fibre manufacturer, takes into account the wave-guiding properties of the fibre and the different materials used for the cladding and the core. The group index of refraction n_g is related to the phase index n or n_p (which is measured on a fibre and its fundamental attribute) by using the following expression

$$n_g = n_p - \lambda \left(\frac{dn_p}{d\lambda} \right) \quad (2)$$

4.1 Representation of the power backscattered

A possible schematic representation of the OTDR power $P(z)$ at wavelength λ backscattered by a point z along an optical fibre is:

$$P(z) = C \frac{\lambda^2}{[\omega(z)]^2} P_i \tau_w 10^{-\frac{2}{10} \alpha \Delta z} \quad (3)$$

where

P_i is the input OTDR pulse power;

τ_w is the input OTDR pulse width;

Δz is the distance from the origin;

α is the attenuation coefficient of the fibre (assumed constant to simplify the equation);

$\omega(z)$ is the fibre mode field diameter (MFD) at point z ;

C is a proportionality factor, which depends on several parameters such as the fibre material or the refractive index value.

Equation (3) shows the relation among the backscattered power, the pulse-width, the attenuation coefficient and the MFD. The optical echo, as given by equation (3), is conventionally represented on a logarithmic graph: it therefore appears as a (theoretically) straight line, whose slope is the attenuation coefficient of the fibre, α , as better explained in Clause 4 below.

4.2 Bruit et perturbations

Normalement, le bruit et les fluctuations des paramètres de fibre affectent les courbes de rétrodiffusion: c'est pourquoi le tracé va se présenter sous la forme d'une ligne irrégulière. Le signal décroît rapidement, de manière exponentielle (selon l'équation (3)); le rapport signal-sur-bruit (S/N) se dégrade ainsi rapidement en fonction de la distance. Les courbes de rétrodiffusion des fibres de grande longueur montrent inévitablement des oscillations. Une manière pratique de réduire ce problème consiste à faire la moyenne des données obtenues à partir de mesures répétées: c'est la raison pour laquelle les évaluations d'OTDR des fibres de grande longueur sont plus longues à réaliser. Si cela ne suffit pas, il est nécessaire d'utiliser des largeurs d'impulsions plus importantes, ce qui augmente de manière correspondante la puissance rétrodiffusée (voir équation (3)), et donc le rapport S/N.

Les effets de courbure et microcourbure peuvent également perturber la courbe d'OTDR: généralement, ils apparaissent comme des pertes locales et sont plus évidents à des longueurs d'ondes plus importantes (par exemple 1 550 nm ou 1 625 nm au lieu de 1 310 nm), loin de la longueur d'onde de coupure où le diamètre de champ de mode (MFD) est plus élevé et le confinement de la lumière dans la fibre est réduit.

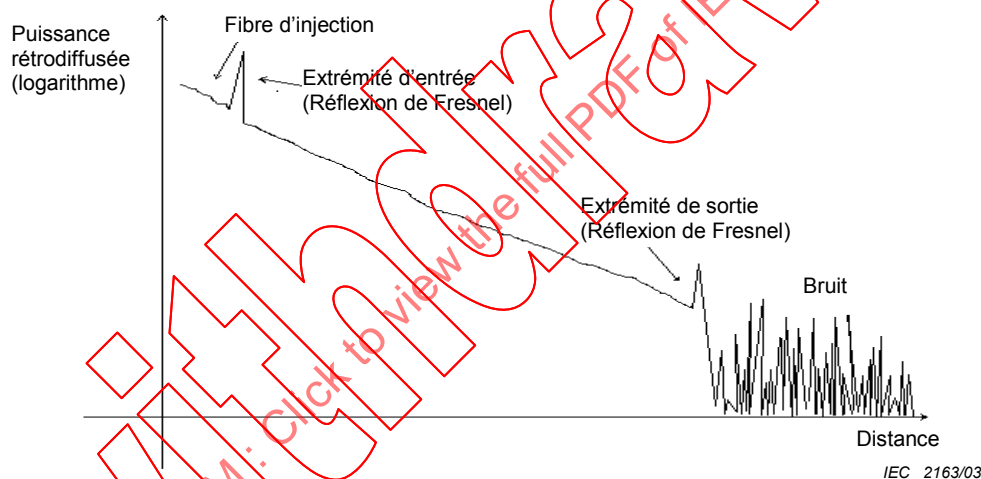


Figure 1 – Courbe unidirectionnelle d'OTDR

La Figure 1 montre une courbe d'OTDR typique de fibre optique. La réflexion au niveau de la face d'entrée est exagérée pour plus de clarté: normalement, elle est réduite au moyen d'un fluide d'adaptation d'indice approprié entre l'injection et la fibre mesurée.

5 Interprétation d'une courbe de rétrodiffusion

5.1 Courbe unidirectionnelle

Les courbes d'OTDR obtenues en réalisant l'écho optique prélevé à une seule extrémité de la fibre sont appelées courbes unidirectionnelles. Elles sont très utiles pour évaluer rapidement la continuité optique d'une fibre et pour estimer son coefficient d'affaiblissement. Leur fiabilité peut cependant être affectée par différents effets (tels que le bruit dans la fibre, les variations du diamètre de champ de mode (MFD), des pics fantômes de polarisation ou d'autres facteurs): il est fortement recommandé d'utiliser, dans la mesure du possible, l'approche bi-directionnelle décrite ci-dessous.

4.2 Noise and perturbations

Normally, the noise and fluctuations of fibre parameters affect the backscattering traces: the trace will therefore appear as a perturbed line. The signal decreases quickly, in an exponential way (as from equation(3)); the signal-to-noise (S/N) ratio is therefore rapidly degrading as a function of the distance. Backscattered traces of long fibres show inevitably oscillations. A practical way to reduce this problem is to average data collected from repeated measurements: OTDR evaluations of long fibres take therefore a longer time to be completed. If this is not sufficient, longer pulse-widths have to be used, correspondingly increasing the backscattered power (see equation (3)), hence the S/N ratio.

Bending and microbending effects can also perturb the OTDR trace: typically they appear as local losses, and are more evident at longer wavelengths (e.g. 1 550 nm or 1 625 nm vs. 1 310 nm), far from the cut off wavelength, where the MFD is larger and the confinement of the light into the fibre is reduced.



Figure 1 – Unidirectional OTDR Trace

The previous figure shows a typical OTDR trace of an optical fibre. The reflection at the input face is exaggerated for clarity: normally it is reduced by means of suitable index matching fluid between the launch and the measured fibre.

5 Interpretation of a backscattering trace

5.1 Unidirectional trace

OTDR traces obtained by the elaboration of the optical echo collected from one end only of the fibre are called unidirectional traces. They are very useful to quickly evaluate the optical continuity of a fibre and to estimate its attenuation coefficient. Their reliability can however be affected by several effects (such as noise in the fibre, MFD variations, polarisation ghost peaks or others): it is strongly recommended to use, as much as possible, the bi-directional approach described below.

5.1.1 Pente correspondant au coefficient d'affaiblissement d'une fibre

En partant de l'équation (3) pour la puissance rétrodiffusée, en prenant les logarithmes sur les deux côtés, on obtient:

$$10 \log P(z) = \text{const.} + 20 \log \left(\frac{\lambda}{\omega(z)} \right) - 2 \alpha \Delta z \quad (4)$$

La constante dans l'équation comprend certains facteurs numériques et le logarithme du paramètre C :

$$\text{const.} = 10 (\log C + \log P_i + \log \tau_w) \quad (5)$$

L'équation (4), tracée sur une échelle logarithmique en fonction de Δz , apparaîtra comme une droite avec une pente α (prenant correctement en compte le facteur 2).

Compte tenu des caractéristiques S/N décrites en 3.2, l'évaluation du coefficient d'affaiblissement est mieux réalisée sur la droite mieux adaptée.

5.1.2 Impureté et discontinuité

Si une impureté ou une discontinuité quelconque est présente le long de la fibre (dans la région du diamètre de champ de mode (MFD)), la lumière peut subir une réflexion de Fresnel (voir 2.2) et elle apparaîtra sur la courbe d'OTDR comme un pic, dont l'amplitude dépend de la taille de la discontinuité (dans certaines situations, le récepteur peut même être porté à saturation). Il est possible de localiser l'emplacement de la discontinuité par l'équation (1). Un pic peut être néfaste aux performances d'une liaison lorsque sa part d'énergie rétrodiffusée est suffisante pour interférer avec la source¹. L'affaiblissement de réflexion optique (optical return loss, ORL), tel qu'il est défini et utilisé pour caractériser les connecteurs, peut être envisagé comme le paramètre approprié pour évaluer le pic.

5.1.3 Largeur d'impulsion

Il est important de garder à l'esprit que la largeur d'impulsion affecte l'amplitude du pic réfléchi: plus l'impulsion est large, plus le pic est faible (la réflexion est moyennée sur une période assez longue). Le choix de la bonne impulsion est le résultat d'un arbitrage soigneusement mené entre la résolution et la puissance disponible (c'est-à-dire longueur de fibre, voir 3.2)².

5.2 Courbe bi-directionnelle

Les courbes bi-directionnelles sont obtenues en combinant convenablement des mesures prises à partir des deux extrémités simples de la fibre.

En partant de l'expression de la courbe optique rétrodiffusée (4), il est très simple de calculer les courtes bi-directionnelles d'OTDR, s'appliquant à la transformation de coordonnées

$$z' = L - z,$$

(où L est la longueur totale de la fibre et z, z' indiquent le même point pris sur les deux courbes), en obtient ainsi:

¹ D'autres discussions sur le même sujet sont données en C.3.6 de la CEI 60793-1-40: Etapes suivantes pour la mesure des discontinuités ponctuelles.

² D'autres discussions sur le même sujet sont données en C.1.5 de la CEI 60793-1-40: Durée d'impulsion et fréquence de répétition.

5.1.1 Slope as the attenuation coefficient of a fibre

Starting from the equation (3) for the backscattered power, taking the logarithms on both sides, one obtains:

$$10 \log P(z) = \text{const.} + 20 \log \left(\frac{\lambda}{\omega(z)} \right) - 2 \alpha \Delta z \quad (4)$$

The constant in the equation includes some numerical factors and the logarithm of the parameter C :

$$\text{const.} = 10 (\log C + \log P_i + \log \tau_w) \quad (5)$$

Equation (4), plotted on a logarithmic scale as a function of Δz , will appear as a straight line with slope α (taking properly into account the factor 2).

Due to the S/N characteristics described in 3.2, the evaluation of the attenuation coefficient is better carried out on the best-fit straight line.

5.1.2 Impurity and discontinuity

If an impurity, or any discontinuity, is present along the fibre (in the MFD region), the light can suffer a Fresnel reflection (see 2.2), and will appear on the OTDR trace as a peak, the amplitude of which depends on the size of the discontinuity (in some situations, the receiver can be even brought to saturation). It is possible to locate the position of the discontinuity by equation (1). A peak can be detrimental to link performance when its backscattered energy content is large enough to interfere with the source¹. The optical return loss (ORL), as defined and used for connectors characterization, can be envisaged as the right parameter to evaluate the peak.

5.1.3 Pulse width

It is important to consider that the pulse width affects the amplitude of the reflected peak: the wider the pulse, the smaller the peak (the reflection is averaged on a longer time). The choice of the right pulse is the result of a careful trade off between the resolution and the available power (i.e. fibre length, see 3.2)².

5.2 Bi-directional trace

Bi-directional traces are obtained by suitably combining measurements taken by the two single ends of the fibre.

Starting from the expression of the backscattered optical trace (4), it is straightforward to calculate the bi-directional OTDR traces, applying the co-ordinates transformation

$$z' = L - z,$$

(where L is the total fibre length and z, z' indicate the same point taken on the two traces), thus obtaining:

¹ Further discussions on the same subject can be found in C.3.6 of IEC 60793-1-40, Further steps for measuring point discontinuities.

² Further discussions on the same subject can be found in C.1.5 of IEC 60793-1-40, Pulse duration and repetition rate.

$$10 \log P_1(z) = \text{const.} + 20 \log \left(\frac{\lambda}{\omega(z)} \right) - 2 \alpha z \quad (6)$$

$$10 \log P_2(z') = \text{const.} + 20 \log \left(\frac{\lambda}{\omega(z)} \right) - 2 \alpha L + 2 \alpha z \quad (7)$$

P_1 et P_2 sont les courbes obtenues aux deux extrémités de la fibre. Les deux équations peuvent ensuite être additionnées ou déduites membre à membre et les résultats, respectivement S et D , sont

$$S \propto 4 \log \left(\frac{\lambda}{\omega(z)} \right) \quad (8)$$

$$D \propto -\alpha z \quad (9)$$

Les équations (8) et (9) montrent que l'approche bi-directionnelle permet, en principe, de séparer les contributions dues aux variations des paramètres géométriques de la fibre (MFD ω) à partir des contributions dues aux variations des coefficients d'affaiblissement (α) de la fibre. Des précisions supplémentaires concernant le calcul de S et D peuvent être trouvées en 5.2.1 et 5.2.2 ci-dessous.

5.2.1 Uniformité d'affaiblissement ³

L'uniformité d'affaiblissement est fondée sur la technique de rétrodiffusion bi-directionnelle. La courbe de rétrodiffusion bi-directionnelle peut être représentée comme une fonction, $y(z)$, où y est la courbe (en dB) et z l'emplacement (en km). Elle est calculée en inversant la position de chaque emplacement d'une des courbes unidirectionnelles et en calculant la différence entre les deux courbes unidirectionnelles, divisée par deux, pour chaque emplacement. Il est admis de déduire la courbe bi-directionnelle de mesures multiples ou de données filtrées de manière appropriée ayant le même effet.

5.2.1.1 Fenêtre glissante

Le paramètre d'uniformité, X_A , est défini en termes d'algorithme de fenêtre glissante (Sliding Window, SW), dans lequel le coefficient d'affaiblissement est évalué à travers une sous-longueur fixée, L , (largeur de fenêtre glissante) de la fibre, glissant idéalement le long de la fibre à partir de chacun des emplacements d'un ensemble d'emplacements: $z_1, z_2, \dots$. Les valeurs du coefficient d'affaiblissement à ces emplacements peuvent être représentées comme suit:

$$A(z_i, L) = \frac{y(z_i) - y(z_i + L)}{L} \quad (10)$$

Sinon, on peut substituer la pente adaptée de la courbe aux emplacements définis pour les valeurs de $A(z_i; L)$. Le paramètre d'uniformité est la différence entre le maximum des valeurs $A(z_i, L)$ et le coefficient d'affaiblissement moyen de toute la fibre, donné par son coefficient d'affaiblissement extrémité à extrémité, α , comme déterminé pour n'importe quelle méthode de la CEI 60793-1-40:

$$X_A = \max[A(z_i; L)] - \alpha \quad (11)$$

³ Le texte de ce paragraphe est un extrait du TR 62033 de la CEI, qui est plus détaillé.

$$10 \log P_1(z) = \text{const.} + 20 \log \left(\frac{\lambda}{\omega(z)} \right) - 2 \alpha z \quad (6)$$

$$10 \log P_2(z') = \text{const.} + 20 \log \left(\frac{\lambda}{\omega(z)} \right) - 2 \alpha L + 2 \alpha z \quad (7)$$

P_1 and P_2 are the traces obtained from the two ends of the fibre. The two equations can be then summed or subtracted side by side, and the results, respectively S and D , are

$$S \propto 4 \text{Log} \left(\frac{\lambda}{\omega(z)} \right) \quad (8)$$

$$D \propto -\alpha z \quad (9)$$

Equations (8) and (9) show that the bi-directional approach allows, in principle, to separate contributions due to variations of geometrical parameters of the fibre (the MFD ω) from contributions due to changes in the attenuation coefficients (α) of the fibre. Further details for the computation of S and D can be found in 4.2.1 and 4.2.2 below.

5.2.1 Attenuation uniformity³

Attenuation uniformity is based on the bi-directional backscattering technique. The bi-directional back-scattering trace can be represented as a function, $y(z)$, with y being the trace (in dB) and z being the position (in km). It is computed by reversing the position of each location of one of the uni-directional traces and computing the difference between the two uni-directional traces, divided by two, for each position. The bi-directional trace may be derived from multiple measurements or from appropriately filtered data having the same effect.

5.2.1.1 Sliding Window

The uniformity parameter, X_A , is defined in terms of the sliding window (SW) algorithm, in which the attenuation coefficient is evaluated across a fixed sub-length, L , (sliding window width) of the fibre, ideally sliding along the fibre starting from each of a set of positions: $z_1, z_2, \dots$. The attenuation coefficient values at those positions can be represented as:

$$A(z_i, L) = \frac{y(z_i) - y(z_i + L)}{L} \quad (10)$$

Alternatively, the fitted slope of the trace at the defined positions may be substituted for the values of $A(z_i; L)$. The uniformity parameter is the difference between the maximum of the $A(z_i, L)$ values and the average attenuation coefficient of the whole fibre, given by its end-to-end attenuation coefficient, α , as determined by any method in the IEC 60793-1-40:

$$X_A = \max[A(z_i; L)] - \alpha \quad (11)$$

³ The text of this paragraph is an extract from the more detailed discussion in IEC 62033.

5.2.1.2 Fenêtre glissante généralisée

L'algorithme de la fenêtre glissante généralisée (generalised sliding window, GSW) donnera des coefficients, α_r , et ε_r tels que pour une gamme définie de L :

$$\max\{A(z_i, L)\} \leq \alpha_r + \frac{\varepsilon_r}{L} \quad (12)$$

où

α_r est un coefficient d'affaiblissement de ligne de base et ε_r est un paramètre de pénalité de perte qui permet l'échelonnage de la non-uniformité avec des longueurs SW variables. Il est admis d'utiliser les paramètres GSW pour calculer le maximum de fenêtre glissante dans l'équation (12) pour une variété de sous-longueurs, L .

5.2.2 Uniformité du diamètre de champ de mode (MFD)

En combinant les deux courbes P_1 et P_2 dans la demi-somme $S(z)$

$$S(z) = \frac{10 \log_{10} P_1(z) + 10 \log_{10} P_2(L-z)}{2} \quad (13)$$

le diamètre de champ de mode (MFD) en fonction de l'emplacement, $\omega(z)$, peut être facilement calculé, en insérant une fibre de référence avant la fibre en essai à un diamètre de champ de mode (MFD) connu, $\omega(z_0)$, à l'emplacement z_0 , et en négligeant les variations longitudinales de α :

$$S'(z) = S(z) - S(z_0) = 20 \log_{10} \frac{\omega(z_0)}{\omega(z)} \Rightarrow \omega(z, \lambda) = \omega(z_0, \lambda) 10^{\frac{S'(z, \lambda)}{20}} \quad (14)$$

5.2.3 Evaluation de la perte d'épissure

Les mesures de la perte d'épissure sont souvent réalisées avec une utilisation incorrecte de l'OTDR. Ceci donne lieu à des résultats très imprécis et peut amener à un fort taux de réflexions injustifiées. Ce paragraphe donne quelques raisons expliquant ce phénomène et recommande des mesures bi-directionnelles d'OTDR pour obtenir des résultats précis.

L'OTDR peut également être utilisé pour évaluer les pertes introduites par une connexion ou une épissure entre deux fibres, mais il est nécessaire d'être prudent dans l'interprétation de la courbe. L'équation (3) montre que la puissance rétrodiffusée par deux fibres de diamètre de champ de mode (MFD) différent n'est pas la même, étant inversement proportionnelle aux deux diamètres de champ de mode (MFD). Ainsi, même en connectant avec une épissure parfaite deux fibres de diamètre de champ de mode (MFD) ω_1 et ω_2 (par exemple en considérant que $\omega_1 > \omega_2$), les courbes d'OTDR des deux fibres seront décalées dans une proportion correspondant à l'inverse des carrés du diamètre de champ de mode (MFD). Le «défaut» (fictif) représenté par la courbe d'OTDR apparaîtra comme une marche «positive» (à ne pas associer avec une réflexion telle que celles provenant d'un connecteur ou d'une épissure) en regardant depuis la fibre avec le diamètre de champ de mode (MFD) le plus important vers la seconde fibre et, vice versa, comme une marche «négative» (à ne pas associer avec une perte) (voir Figure 2):

5.2.1.2 Generalised Sliding Window

The generalised sliding window (GSW) algorithm will provide coefficients, α_r , and ε_r such that for a defined range of L :

$$\max\{A(z_i, L)\} \leq \alpha_r + \frac{\varepsilon_r}{L} \quad (12)$$

α_r is a baseline attenuation coefficient and is a loss penalty parameter that allows scaling non-uniformity with variable SW lengths. The GSW parameters may be used to compute the sliding window maximum in equation (12) for a variety of sub-lengths, L .

5.2.2 MFD uniformity

Combining the two traces P_1 and P_2 in the half-sum $S(z)$

$$S(z) = \frac{10\log_{10}P_1(z) + 10\log_{10}P_2(L-z)}{2} \quad (13)$$

the MFD as a function of the position, $\omega(z)$, can be easily calculated, inserting a reference fibre before the fibre under test with a known MFD, $\omega(z_0)$, at the position z_0 , and neglecting longitudinal variations of α :

$$S'(z) = S(z) - S(z_0) = 20\log_{10} \frac{\omega(z_0)}{\omega(z)} \Rightarrow \omega(z, \lambda) = \omega(z_0, \lambda) 10^{\frac{S'(z, \lambda)}{20}} \quad (14)$$

5.2.3 Splice loss evaluation

Splice loss measurements are often done with an incorrect use of the OTDR. This leads to very inaccurate results and can be the source of inappropriately high re-make rates. This clause outlines some reasons for this and recommends bi-directional OTDR measurements for accurate results.

The OTDR can also be used to evaluate the losses introduced by a connection or a splice between two fibres, but it is necessary to be cautious in the interpretation of the trace. Equation (3) shows that the power backscattered by two fibres with different MFD is different, being inversely proportional to the two MFD. Hence, even connecting with a perfect splice two fibres with MFD ω_1 and ω_2 (e.g. assuming $\omega_1 > \omega_2$), the OTDR traces from the two fibres will be shifted by an amount proportional to the inverse square of the MFD. The (fictitious) “defect” shown by the OTDR trace will appear as a “positive” step (not to be associated with a reflection such as from a connector or a splice) looking from the fibre with the larger MFD toward the second fibre, and as a “negative” step (not to be associated with a loss) vice-versa (see Figure 2):

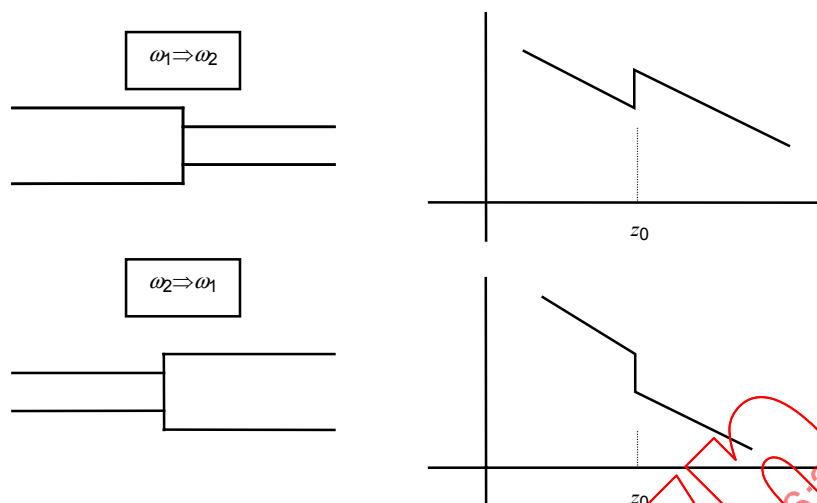


Figure 2 – Courbes typiques des pertes introduites par une connexion ou une épissure

Manifestement, ces marches n'ont aucune influence sur la propagation de la lumière le long de la fibre. Comme l'amplitude des marches est la même à partir des deux directions, mais que leur signe est opposé, leur moyenne arithmétique est zéro. C'est pourquoi, l'évaluation d'une perte d'épissure doit être réalisée selon les étapes suivantes:

- obtenir la courbe de rétrodiffusion à partir des deux côtés opposés des fibres épissurées;
- évaluer les marches S_1 et S_2 au point z_0 où se situe l'épissure: S_1 et S_2 sont composés d'un terme (Δw) qui dépend de la différence du diamètre de champ de mode (MFD) des deux fibres et d'un terme qui est la perte d'épissure elle-même (δ);
- pour extraire la valeur significative, δ , calculer

$$\text{Perte d'épissure} = \frac{S_1 + S_2}{2} = \frac{(\Delta w + \delta) + (-\Delta w + \delta)}{2} = \delta \quad (15)$$

C'est pourquoi il faut que les pertes d'épissures soient évaluées à travers la moyenne bi-directionnelle des courbes d'OTDR. Les courbes unidirectionnelles ne donnent qu'une indication approximative de la qualité de l'épissure et elles peuvent être trompeuses.

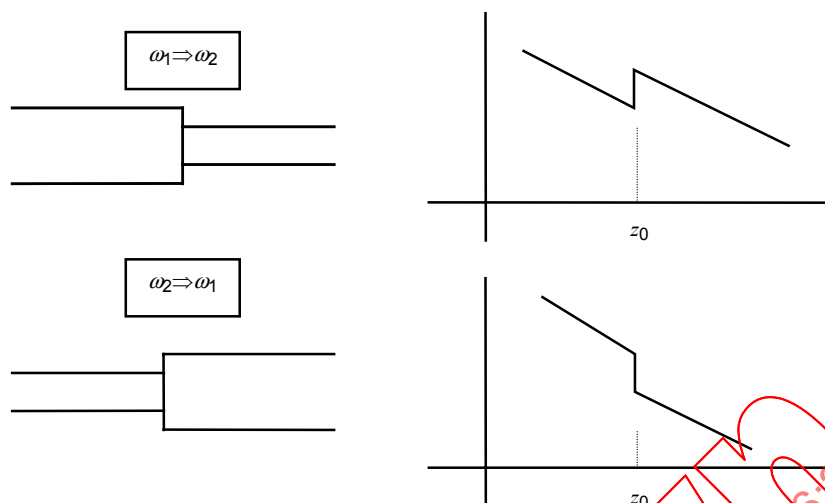


Figure 2 – Typical traces of losses introduced by connection or a splice

Obviously, these steps have no influence at all on the propagation of the light along the fibre. Since the amplitude of the steps is the same from the two directions, but their sign is opposite, their arithmetic average is zero. Therefore, the evaluation of a splice loss must be carried out according to the following steps:

- obtain the backscattering trace from the two opposite sides of the spliced fibres;
- evaluate the steps S_1 and S_2 in the point z_0 where the splice is located: S_1 and S_2 are composed by a term (Δw) depending on the difference in the MFD of the two fibres, and a term which is the proper splice loss (δ);
- to extract the significant value, δ , compute

$$Splice - loss = \frac{S_1 + S_2}{2} = \frac{(\Delta w + \delta) + (-\Delta w + \delta)}{2} = \delta \quad (15)$$

Therefore, splice losses must be evaluated through the bi-directional average of the OTDR traces. Uni-directional traces only give an approximate indication of the splice quality, and can be misleading.

Bibliographie

CEI 62033:2000, *Uniformité de l'affaiblissement dans les fibres optiques*

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC TR 62316:2003

Withd 2003

Bibliography

IEC 62033:2000, *Attenuation uniformity in optical fibres*

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC TR 62316:2003

Withd 2011