

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Calibration of optical time-domain reflectometers (OTDR) –
Part 2: OTDR for multimode fibres**

**Étalonnage des réflectomètres optiques dans le domaine temporel (OTDR) –
Partie 2: OTDR pour fibres multimodales**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61746-2:2010



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2010 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, 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 either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester. If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, 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'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigenda or an amendment might have been published.

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

The stand-alone application for consulting the entire bibliographical information on IEC International Standards, Technical Specifications, Technical Reports and other documents. Available for PC, Mac OS, Android Tablets and iPad.

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

The advanced search enables to find IEC publications by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...). It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details all new publications released. Available online and also once a month by email.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 30 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 15 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

More than 60 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

IEC Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: csc@iec.ch.

A propos de l'IEC

La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des Normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications IEC

Le contenu technique des publications IEC est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

Application autonome pour consulter tous les renseignements bibliographiques sur les Normes internationales, Spécifications techniques, Rapports techniques et autres documents de l'IEC. Disponible pour PC, Mac OS, tablettes Android et iPad.

Recherche de publications IEC - www.iec.ch/searchpub

La recherche avancée permet de trouver des publications IEC en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Restez informé sur les nouvelles publications IEC. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et aussi une fois par mois par email.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 30 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 15 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

Plus de 60 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: csc@iec.ch.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Calibration of optical time-domain reflectometers (OTDR) –
Part 2: OTDR for multimode fibres**

**Étalonnage des réflectomètres optiques dans le domaine temporel (OTDR) –
Partie 2: OTDR pour fibres multimodales**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 33.180.01

ISBN 978-2-8322-3067-1

**Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.
Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.**

CONTENTS

FOREWORD.....	4
INTRODUCTION.....	6
1 Scope.....	7
2 Normative references.....	7
3 Terms, definitions and symbols.....	7
4 Preparation for calibration.....	13
4.1 Organization.....	13
4.2 Traceability.....	13
4.3 Preparation.....	13
4.4 Test conditions.....	13
4.5 Documentation.....	13
5 Distance calibration – General.....	14
5.1 General.....	14
5.2 Location deviation model.....	14
5.3 Using the calibration results.....	16
5.4 Measuring fibre length.....	17
6 Distance calibration methods.....	17
6.1 General.....	17
6.2 External source method.....	17
6.2.1 Short description and advantage.....	17
6.2.2 Equipment.....	18
6.2.3 Calibration of the equipment.....	19
6.2.4 Measurement procedure.....	20
6.2.5 Calculations and results.....	21
6.2.6 Uncertainties.....	21
6.3 Concatenated fibre method (using multimode fibres).....	23
6.3.1 Short description and advantages.....	23
6.3.2 Equipment.....	23
6.3.3 Measurement procedures.....	24
6.3.4 Calculations and results.....	25
6.3.5 Uncertainties.....	25
6.4 Recirculating delay line method.....	27
6.4.1 Short description and advantages.....	27
6.4.2 Equipment.....	27
6.4.3 Measurement procedure.....	28
6.4.4 Calculations and results.....	28
6.4.5 Uncertainties.....	29
7 Vertical scale calibration – General.....	30
7.1 General.....	30
7.2 Loss difference calibration.....	31
7.2.1 Determination of the displayed power level F	31
7.2.2 Development of a test plan.....	31
7.3 Characterization of the OTDR source near field.....	33
7.3.1 Objectives and references.....	33
7.3.2 Procedure.....	33

8	Loss difference calibration method	34
8.1	General	34
8.2	Long fibre method.....	34
8.2.1	Short description.....	34
8.2.2	Equipment	34
8.2.3	Measurement procedure	36
8.2.4	Calculation and results.....	36
Annex A	(normative) Multimode recirculating delay line for distance calibration	37
Annex B	(normative) Mathematical basis	41
Bibliography		44
Figure 1	– Definition of attenuation dead zone	8
Figure 2	– Representation of the location deviation $\Delta L(L)$	15
Figure 3	– Equipment for calibration of the distance scale – External source method	18
Figure 4	– Set-up for calibrating the system insertion delay.....	19
Figure 5	– Concatenated fibres used for calibration of the distance scale.....	23
Figure 6	– Distance calibration with a recirculating delay line	27
Figure 7	– OTDR trace produced by recirculating delay line	28
Figure 8	– Determining the reference level and the displayed power level	31
Figure 9	– Region A, the recommended region for loss measurement samples	32
Figure 10	– Possible placement of sample points within region A	33
Figure 11	– Linearity measurement with a long fibre	35
Figure 12	– Placing the beginning of section D_1 outside the attenuation dead zone.....	35
Figure A.1	– Recirculating delay line.....	37
Figure A.2	– Measurement set-up for loop transit time T_b	38
Figure A.3	– Calibration set-up for lead-in transit time T_a	39
Table 1	– Additional distance uncertainty.....	16
Table 2	– Attenuation coefficients defining region A.....	32

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

CALIBRATION OF OPTICAL TIME-DOMAIN REFLECTOMETERS (OTDR) –

Part 2: OTDR for multimode fibres

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, Publicly Available Specifications (PAS) 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 itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 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.

International Standard IEC 61746-2 has been prepared by IEC technical committee 86: Fibre optics.

This bilingual version (2015-12) corresponds to the monolingual English version, published in 2010-06.

The text of this standard is based on the following documents:

CDV	Report on voting
86/336/CDV	86/359/RVC

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

The French version of this standard has not been voted upon.

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

A list of all parts of IEC 61746 series, under the general title *Calibration of optical time-domain reflectometers (OTDR)*, can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. 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 61746-2:2010

INTRODUCTION

In order for an optical time-domain reflectometer (OTDR) to qualify as a candidate for complete calibration using this standard, it must be equipped with the following minimum feature set:

- a) the ability to measure type A1a or A1b IEC 60793-2-10 fibres;
- b) a programmable index of refraction, or equivalent parameter;
- c) the ability to present a display of a trace representation, with a logarithmic power scale and a linear distance scale;
- d) two markers/cursors, which display the loss and distance between any two points on a trace display;
- e) the ability to measure absolute distance (location) from the OTDR's zero-distance reference;
- f) the ability to measure the displayed power level relative to a reference level (for example, the clipping level).

Calibration methods described in this standard may look similar to those provided in Part 1 of this series. However, there are differences: mix of different fibre types, use of mode conditioner or different arrangement of the fibres. This leads to different calibration processes as well as different uncertainties analysis.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61746-2:2010

CALIBRATION OF OPTICAL TIME-DOMAIN REFLECTOMETERS (OTDR) –

Part 2: OTDR for multimode fibres

1 Scope

This part of IEC 61746 provides procedures for calibrating multimode optical time domain reflectometers (OTDR). It covers OTDR measurement errors and uncertainties. The test of the laser(s) source modal condition is included as an optional measurement.

This standard does not cover correction of the OTDR response.

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 60793-2-10, *Optical fibres – Part 2-10: Product specifications – Sectional specification for category A1 multimode fibres*

IEC 60793-2-50, *Optical fibres – Part 2-50: Product specifications – Sectional specification for class B single-mode fibres*

IEC 61280-1-4, *Fibre optic communication subsystem test procedures – Part 1-4: General communication subsystems – Light source encircled flux measurement method*

IEC 61280-4-1, *Fibre optic communication subsystem test procedures – Part 4-1: Installed cable plant – Multimode attenuation measurement*

IEC 61745, *End-face image analysis procedure for the calibration of optical fibre geometry test sets*

ISO/IEC 17025, *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*

3 Terms, definitions and symbols

For the purposes of this document, the following terms, definitions and symbols apply.

NOTE For more precise definitions, the references to IEC 60050-731 should be consulted.

3.1 attenuation

A
loss

optical power decrease in decibels (dB)

NOTE If P_{in} (watts) is the power entering one end of a segment of fibre and P_{out} (watts) is the power leaving the other end, then the attenuation of the segment is

$$A = 10\log_{10}\left(\frac{P_{\text{in}}}{P_{\text{out}}}\right) \text{ dB} \quad (1)$$

[IEV 731-01-48, modified]

3.2

attenuation coefficient

α

attenuation (3.1) of a fibre per unit length

[IEV 731-03-42, modified]

3.3

attenuation dead zone

for a reflective or attenuating event, the region after the event where the displayed trace deviates from the undisturbed backscatter trace by more than a given vertical distance ΔF

NOTE The attenuation dead zone (see Figure 1 below) will depend on the following event parameters: reflectance, loss, displayed power level and location. It may also depend on any fibre optic component in front of the event.

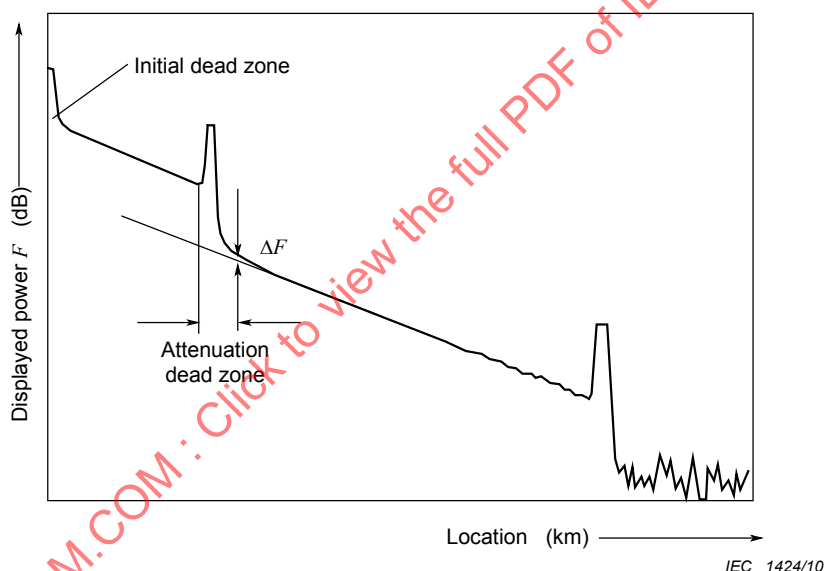


Figure 1 – Definition of attenuation dead zone

3.4

calibration

set of operations which establish, under specified conditions, the relationship between the values indicated by the measuring instrument and the corresponding known values of that quantity

NOTE See ISO Guide International vocabulary of basic and general terms in metrology.

3.5

centroidal wavelength

λ_{avg}

power-weighted mean wavelength of a light source in vacuum

[IEC 61280-1-3, definition 2.1.4]

3.6**displayed power level** **F**

level displayed on the OTDR's power scale

NOTE 1 Unless otherwise specified, F is defined in relation to the clipping level (see Figure 8).

NOTE 2 Usually, the OTDR power scale displays five times the logarithm of the received power, plus a constant offset.

3.7**distance** **D**

spacing between two features

NOTE Usually expressed in metres.

3.8**distance sampling error** **ΔL_{sample}**

maximum distance (3.7) error attributable to the distance between successive sample points

NOTE 1 Usually expressed in metres.

NOTE 2 The distance sampling error is repetitive in nature; therefore, one way of quantifying this error is by its amplitude.

3.9**distance scale deviation** **ΔS_L** difference between the average displayed distance (3.7) $\langle D_{\text{otdr}} \rangle$ and the correspondent reference distance (3.27) D_{ref} divided by the reference distance (3.27)

NOTE 1 Usually expressed in m/m.

NOTE 2 ΔS_L is given by the following formula

$$\Delta S_L = \frac{\langle D_{\text{otdr}} \rangle - D_{\text{ref}}}{D_{\text{ref}}} = \frac{\langle D_{\text{otdr}} \rangle}{D_{\text{ref}}} - 1 \quad (2)$$

where $\langle D_{\text{otdr}} \rangle$ is the displayed distance on a fibre averaged over at least one sample spacing.

3.10**distance scale factor** **S_L**

average displayed distance (3.7) divided by the correspondent reference distance (3.27)

NOTE 1 S_L is given by the following formula

$$S_L = \frac{\langle D_{\text{otdr}} \rangle}{D_{\text{ref}}} \quad (3)$$

where $\langle D_{\text{otdr}} \rangle$ is the displayed distance between two features on a fibre (actual or simulated) averaged over at least one sample spacing.

3.11**distance scale uncertainty** **$u_{\Delta S_L}$**

uncertainty of the distance scale deviation (3.9)

NOTE 1 Usually expressed in m/m.

NOTE 2 $u_{\Delta SL}$ is given by the following formula

$$u_{\Delta SL} = u\left(\frac{\langle D_{otdr} \rangle}{D_{ref}} - 1\right) = u\left(\frac{\langle D_{otdr} \rangle}{D_{ref}}\right) \quad (4)$$

NOTE 3 In the above formula, $u()$ is understood as the standard uncertainty of $()$.

3.12

dynamic range at 98 % (one-way)

amount of fibre attenuation (3.1) that causes the backscatter signal to equal the noise level at 98 % (3.24)

NOTE It can be represented by the difference between the extrapolated point of the backscattered trace (taken at the intercept with the power axis) and the noise level expressed in decibels, using a standard category A fibre (see IEC 60793-2-10).

3.13

encircled flux EF

fraction of cumulative near field power to total output power as a function of radial distance from the centre of the core

3.14

group index

N

factor by which the speed of light in vacuum has to be divided to yield the propagation velocity of light pulses in the fibre

3.15

location

L

spacing between the front panel of the OTDR and a feature in a fibre

NOTE Usually expressed in metres

3.16

location deviation

ΔL

displayed location (3.15) of a feature L_{otdr} minus the reference location (3.28) L_{ref}

NOTE 1 Usually expressed in metres.

NOTE 2 This deviation is a function of the location.

3.17

location offset

ΔL_0

constant term of the **location deviation** (3.16) model

NOTE 1 Usually expressed in metres.

NOTE 2 This is approximately equivalent to the location of the OTDR front panel connector on the instrument's distance scale.

NOTE 3 For a perfect OTDR, the location offset is zero.

3.18

location offset uncertainty

$u_{\Delta L_0}$

uncertainty of the location offset (3.17)

3.19**location readout uncertainty** **u_{Lreadout}**

uncertainty of the location (3.15) measurement samples caused by both the distance sampling error (3.8) and the uncertainty type A of the measurement samples

3.20**loss deviation** **ΔA**

difference between the displayed loss of a fibre component A_{otdr} and the reference loss (3.29) A_{ref} , in dB

NOTE 1 ΔA is given by the following formula

$$\Delta A = A_{\text{otdr}} - A_{\text{ref}} \quad (5)$$

NOTE 2 The loss deviation usually depends on the displayed power level, F .

3.21**loss uncertainty** **$u_{\Delta A}$**

uncertainty of the loss deviation (3.20), in dB

3.22**loss scale deviation** **ΔS_A**

difference between the displayed loss of a fibre component A_{otdr} and the reference loss (3.29) A_{ref} , divided by the reference loss (3.29), in dB/dB

NOTE 1 ΔS_A is given by the following formula

$$\Delta S_A = \frac{A_{\text{otdr}} - A_{\text{ref}}}{A_{\text{ref}}} \quad (6)$$

NOTE 2 Refer to 7.1 for more details.

3.23**mode conditioner**

a fibre set that converts any power distribution submitted at its input to an output power distribution that fully comply with encircled flux limits

NOTE For the purposes of this standard, the encircled flux limits are defined by the IEC 61280-4-1.

3.24**noise level at 98 %**

upper limit of a range which contains at least 98 % of all noise data points

3.25**non-linearity** **NL_{loss}**

difference between the maximum and minimum values of the loss deviation (3.20) ΔA for a given range of power levels, in dB

NOTE 1 This is the non-linearity of a logarithmic power scale.

NOTE 2 Non-linearity is one contribution to loss deviation; it usually depends on the displayed power level and the location.

3.26

received power level

P

power received by the OTDR's optical port

3.27

reference distance

D_{ref}

distance (3.7) precisely determined by measuring equipment with calibration traceable to international or national standards

NOTE Usually expressed in metres.

3.28

reference location

L_{ref}

location (3.15) precisely determined by measuring equipment with calibration traceable to international or national standards

NOTE Usually expressed in metres.

3.29

reference loss

A_{ref}

loss of a fibre optic component precisely determined by measuring equipment with calibration traceable to international or national standards

3.30

rms dynamic range (one-way)

amount of fibre attenuation (3.1) that causes the backscatter signal to equal the rms noise level (3.31)

NOTE Assuming a Gaussian distribution of noise, the rms dynamic range can be calculated adding 1,56 dB to the one way dynamic range. See 3.31.

3.31

rms noise level

the quadratic mean of the noise

NOTE 1 On a general basis, the rms noise level cannot be read or extracted from the logarithm data of the OTDR. This is because the linear to logarithm conversion used to display the power level on a dB scale removes the negative part of the noise.

NOTE 2 Assuming a Gaussian distribution of noise, a relation between the noise level and the RMS noise level can be found using the following formula

$$Noise_{98} - Noise_{\text{rms}} = 5 \times \log_{10}(2,05375) = 1,56 \text{ dB} \quad (7)$$

where $Noise_{98}$ is the noise level at 98 %, e.g. in dB;

$Noise_{\text{rms}}$ is the rms noise level, e.g. in dB;

2,05375 is the value of the reverse standard normal distribution for 98 %.

3.32

sample spacing

distance of consecutive data points digitized by the OTDR

NOTE 1 Usually expressed in metres.

NOTE 2 Sample spacing may be obtainable from instrument set-up information. Sample spacing may depend on the measurement span and other OTDR instrument settings.

3.33

spectral width

$\Delta\lambda_{FWHM}$

full-width half-maximum (FWHM) spectral width of the source

[IEC 61280-1-3, definition 3.2.3 modified]

4 Preparation for calibration

4.1 Organization

The calibration laboratory should satisfy requirements of ISO/IEC 17025.

There should be a documented measurement procedure for each type of calibration performed, giving step-by-step operating instructions and equipment to be used.

4.2 Traceability

The requirements of ISO/IEC 17025 should be met.

All standards used in the calibration process shall be calibrated according to a documented program with traceability to national standards laboratories or to accredited calibration laboratories. It is advisable to maintain more than one standard on each hierarchical level, so that the performance of the standard can be verified by comparisons on the same level. Make sure that any other test equipment which has a significant influence on the calibration results is calibrated. Upon request, specify this test equipment and its traceability chain(s). The re-calibration period(s) shall be defined and documented.

4.3 Preparation

Perform all tests at an ambient room temperature of $23\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$, unless otherwise specified. Give the test equipment a minimum of 2 h prior to testing to reach equilibrium with its environment. Allow the OTDR a warm-up period according to the manufacturer's instruction.

4.4 Test conditions

The test conditions usually include the following OTDR external conditions: date, temperature, connector-adaptor combination and use of a lead-in fibre.

Perform the calibration in accordance with the manufacturer's specifications and operating procedures. Where practical, select a range of test conditions and parameters so as to emulate the actual field operating conditions of the OTDR under test. Choose these parameters so as to optimize the OTDR's accuracy and resolution capabilities (for example, view windows, zoom features, etc.), as specified by the manufacturer's operating procedures.

The test conditions usually include the following OTDR parameters: averaging time, pulse width, sample spacing, centre wavelength. Unless otherwise specified, set the OTDR group index to exactly 1,46.

NOTE 1 The calibration results only apply to the set of test conditions used in the calibration process.

NOTE 2 Because of the potential for hazardous radiation, be sure to establish and maintain conditions of laser safety. Refer to IEC 60825-1 and IEC 60825-2.

4.5 Documentation

Calibration certificates shall include the following data and their uncertainties:

- a) the location offset ΔL_0 and its uncertainty $\pm 2 u_{\Delta L_0}$ as well as the distance scale deviation ΔS_L and its uncertainty $\pm 2 u_{\Delta S_L}$, or the location deviations ΔL_i and their uncertainties $\pm 2 u_{\Delta L_i}$;
- b) the non-linearity NL_{loss} ;
- c) the instrument configuration (pulse width, measurement span, wavelength, averaging time, etc.) used during calibration;
- d) other appropriate calibration data and other calibration certificate requirement as per ISO/IEC 17025.

5 Distance calibration – General

5.1 General

The objective of distance calibration is to determine deviations (errors) between the measured and actual distances between points on a fibre, and to characterize the uncertainties of these deviations.

An OTDR measures the location L of a feature from the point where a fibre is connected to the instrument, by measuring the round-trip transit time T for a light pulse to reach the feature and return. L is calculated from T using the speed of light in vacuum c ($2,997\,924\,58 \times 10^8$ m/s) and the group index N of the fibre:

$$L = \frac{cT}{2N} \quad (8)$$

Errors in measuring L will result from scale errors, from offsets in the timebase of the OTDR and from errors in locating a feature relative to the timebase. Placing a marker in order to measure the location may be done manually or automatically by the instrument. The error will, generally, depend on both the marker placement method and the type of feature (for example, a point loss, a large reflection that saturates the receiver or a small reflection that does not).

Even larger errors in measuring L may result from the uncertainty in determining the multimode fibre's group index N and taking into account the differential mode delay. The determination of N and the analysis of the consequences of the differential mode delay are beyond the scope of this standard. Consequently, the calibration procedures below only discuss the OTDR's ability to measure T correctly. For the purposes of this standard, a default value $N = 1,46$ is used and the uncertainty of N is considered to be 0. Also the calibration methods are built to limit uncertainties due to the differential mode delay.

5.2 Location deviation model

In order to characterize location deviations, a specific model will be assumed that describes the behaviour of most OTDRs. Let L_{ref} be the reference location of a feature from the front panel connector of the OTDR and let L_{otdr} be the displayed location. It is assumed that the displayed location L_{otdr} , using OTDR averaging to eliminate noise, depends functionally on the reference location L_{ref} in the following way

$$L_{\text{otdr}} = S_L \cdot L_{\text{ref}} + \Delta L_0 + f(L_{\text{ref}}) \quad (9)$$

where

S_L is the scale factor, which ideally should be 1;

ΔL_0 is the location offset, which ideally should be 0;

$f(L_{\text{ref}})$ represents the distance sampling error, which is also ideally 0. The distance sampling error is a periodic function with a mean of zero and a period equal to the distance

interval between sampled points on the OTDR. As an example, if the location of a large reflection is measured by placing a marker on the first digitized point that shows an increase in signal and the position of the reflection is incremented in fine steps, then $f(L_{\text{ref}})$ may be shaped like a periodic ramp waveform.

Equation (9) is meant to characterize known errors in location measurements, but there may still be an additive uncertainty type A. This will affect both the distance measurements and the accuracy with which parameters describing the errors can be determined by the procedures below.

S_L and ΔL_0 may be determined by measuring L_{otdr} for different values of L_{ref} , then fitting a straight line to the data by the least squares method. S_L and ΔL_0 are the slope and intercept, respectively.

Equivalently, a line may be fitted to the location deviation function, that is, the difference between L_{otdr} and L_{ref}

$$\Delta L = L_{\text{otdr}} - L_{\text{ref}} = \Delta S_L \cdot L_{\text{ref}} + \Delta L_0 + f(L_{\text{ref}}) \quad (10)$$

where

ΔS_L is the slope, and

ΔL_0 is still the intercept, as illustrated in Figure 2.

After finding the linear approximation, the distance sampling error $f(L_{\text{ref}})$ respectively its half-amplitude $\Delta L_{\text{readout}}$ may be determined by measuring departures from the line for different values of L_{ref} . The distance sampling error amplitude ΔL_{sample} is taken as half the amplitude of $f(L_{\text{ref}})$.

In this standard, the distance sampling error amplitude ΔL_{sample} is treated as part of the location readout uncertainty type A. The stated uncertainty result thus ignores the repetitive nature of the sampling error, that is it does not distinguish between the relative contributions of the sampling error and the uncertainty type A.

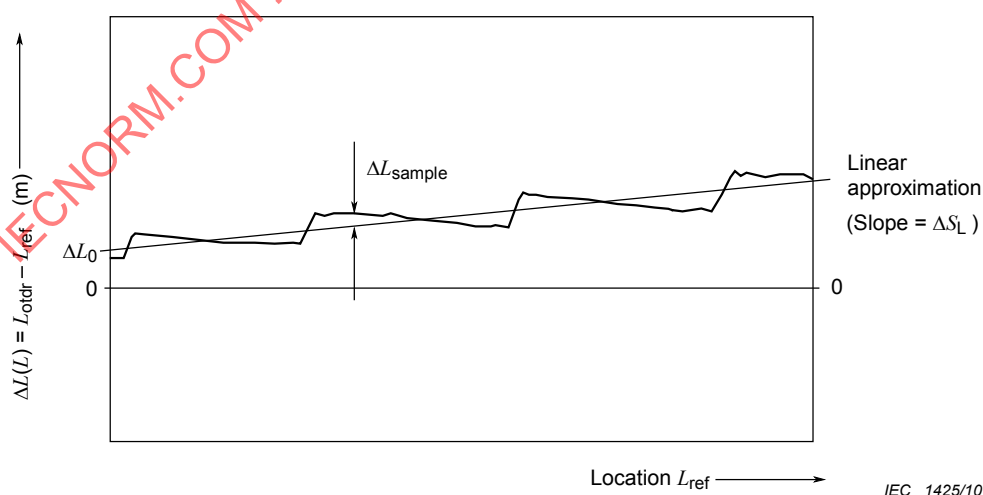


Figure 2 – Representation of the location deviation $\Delta L(L)$

Therefore, the result of the distance calibration shall be stated by the following parameters:

ΔS_L , $u_{\Delta S_L}$ is the distance scale deviation and its uncertainty;

ΔL_0 , $u_{\Delta L_0}$ is the location offset and its uncertainty;

$u_{L_{\text{readout}}}$ is the location readout uncertainty, that is the combined uncertainty due to the distance sampling error and the uncertainty type A of the measurement samples, in the form of a standard deviation.

In compliance with the "mathematical basis," divide the largest excursions from the least-squares approximation by the square root of 3 for stating $u_{L_{\text{readout}}}$. Note that the uncertainty will depend on the distance, the displayed power level and the instrument settings.

NOTE ΔL_{sample} represents the physical sampling error of the instrument. This error is accessible for the user as $u_{L_{\text{readout}}}$ that includes distance calculation and displaying errors.

5.3 Using the calibration results

The error in the location of a feature $\Delta L = L_{\text{otdr}} - L_{\text{ref}}$ can be calculated from the calibration results:

$$\Delta L = \Delta L_0 + L_{\text{ref}} \Delta S_L \quad (11)$$

with the uncertainty in ΔL given by the following formula, in which the recommended confidence level of 95 % is used:

$$\pm 2u_{\Delta L} = \pm 2 \left(u_{\Delta L_0}^2 + L_{\text{ref}}^2 u_{\Delta S_L}^2 + u_{L_{\text{readout}}}^2 \right)^{1/2} \quad (11a)$$

where the displayed location L_{otdr} can be used instead of the reference location L_{ref} without serious consequences.

Similarly, the error in the distance between two features ΔD and its uncertainty can be calculated from the following formula:

$$\Delta D = D_{\text{ref}} \Delta S_L \quad (12)$$

with uncertainty in ΔD given by the following formula:

$$\pm 2u_{\Delta D} = \pm 2 \left(D_{\text{ref}}^2 u_{\Delta S_L}^2 + 2u_{L_{\text{readout}}}^2 \right)^{1/2} \quad (12a)$$

where the displayed distance D_{otdr} can be used instead of the reference distance D_{ref} .

NOTE The 2 in front of $u_{L_{\text{readout}}}^2$ is due to combining two uncorrelated uncertainties.

Differential mode delay may create additional uncertainties on long fibres measurement. Such uncertainties should be negligible for distance given in Table 1.

Table 1 – Additional distance uncertainty

Wavelength nm	Length of fibre causing additional distance uncertainty			
	IEC 60793-2-10	IEC 60793-2-10	IEC 60793-2-10	IEC 60793-2-10
	A1a.1	A1a.2	A1b	A1d
850	1 000 m	7 500 m	500 m	50 m
1 300	1 000 m	2 500 m	1 000 m	500 m

Additional uncertainties may have to be taken into account if the type of feature is different from the feature used in the calibration. Specify the type of feature as part of the calibration result.

5.4 Measuring fibre length

As indicated above, one of the methods of OTDR distance calibration is to measure fibres of known length with the OTDR. In several instances in this standard, it is required that fibre length be determined using the fibre's transit time, in contrast to a mechanical length measurement. This method is directly compatible with the measurement principle of the OTDR itself. In addition, the transit time can usually be measured with better accuracy than its mechanical length, particularly when the fibre is long. Therefore, in this standard, it is suggested that fibre transit time instead of fibre length be used whenever accuracy is important.

Measure the transit time of the fibre T_{transit} with the help, for example, of a pulse generator, a triggerable laser source, an optical-to-electrical converter (O/E converter) and a time interval counter. It is important that the laser source has approximately the same centre wavelength λ_{centre} as the test OTDR, because a difference in wavelength may result in a difference of transit time due to the chromatic dispersion of the fibre. An alternative to the laser source is using the OTDR itself to produce optical pulses; in this case, the centre wavelengths automatically coincide. Record the transit time as the difference between the arrival times with and without the fibre inserted between the laser source and the O/E converter.

When this fibre is used for OTDR distance calibrations, then the reference distance D_{ref} can be calculated by

$$D_{\text{ref}} = \frac{cT_{\text{transit}}}{N} \quad \text{m} \quad (13)$$

In this equation, use a group index N which is identical with the OTDR's group index setting. The time measurement principle makes it possible to use D_{ref} as the reference distance.

6 Distance calibration methods

6.1 General

Each of the calibration methods described below is capable of determining all of the necessary calibration results: location offset, distance scale deviation, and their uncertainties.

6.2 External source method

6.2.1 Short description and advantage

The external source method uses a calibrated time-delay generator to simulate the time delay in a fibre and an optical source to simulate the reflected or scattered signal from a fibre.

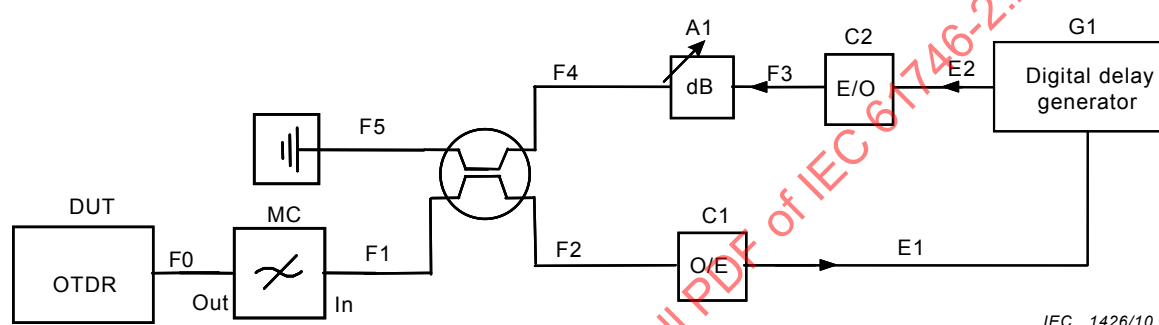
Each time it is possible (e.g. when operation at 1 300 nm), IEC 60793-2-50 single mode fibres are used instead of multimode fibres for the interconnections, in order to reduce uncertainties caused by differential mode delay.

The method is well suited to automated laboratory testing under computer control. For simplicity, only reflective features are discussed in this standard. To calibrate the OTDR for features other than reflection, the pulsed E/O converter described below should be replaced by an optical source that simulates the appropriate feature.

6.2.2 Equipment

In addition to the OTDR, the measurement equipment includes, as shown in Figure 3:

- a mode conditioner;
- an single mode optical coupler;
- an optical-to-electrical converter;
- a digital delay generator with pulse capability;
- an electrical to optical converter;
- a variable optical attenuator, for reduction of the pulse amplitude to just below the clipping level.



Key

F0	multimode fibre
F1, F2, F3, F4 and F5	single mode fibres
MC	mode conditioner
E1 and E2	electric cables
E/O	electrical-to-optical converter
O/E	optical-to-electrical converter
A1	variable attenuator

Figure 3 – Equipment for calibration of the distance scale – External source method

The OTDR is connected to the coupler through the mode conditioning multimode to single mode adapter. The coupler routes the OTDR signal to the O/E converter (detector). The detector triggers the delay generator, which, after a known time delay, causes an optical pulse to be generated. This pulse is then coupled back to the OTDR.

The E/O converter can be a simple pulsed laser that simulates a reflection. Constant pulse amplitude and pulse width are considered adequate to calibrate the distance scale for reflective features. However, the attenuator makes it possible to adjust the pulse amplitude based on the distance of the reflection from the front panel of the OTDR, in order to simulate the change of reflection amplitude caused by the attenuation of the fibre.

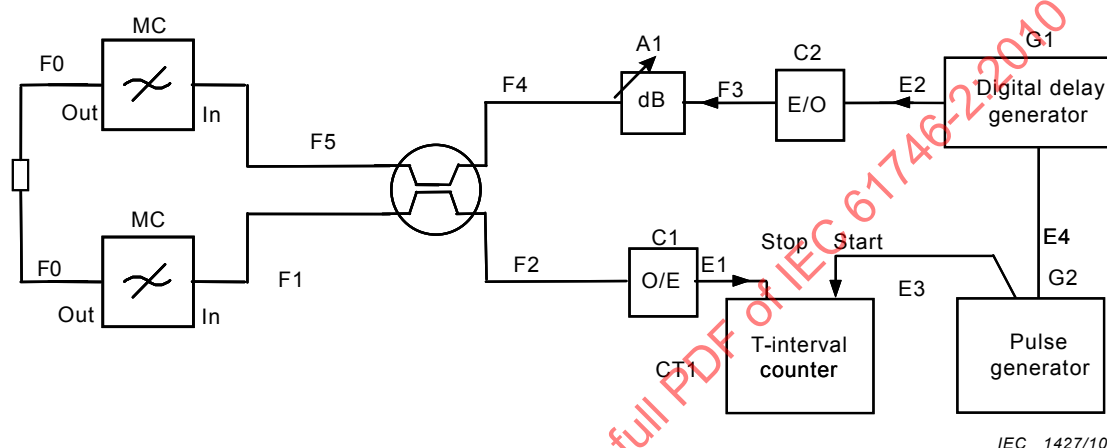
To allow accurate calibration of the set-up, fibres F1 and F5 should have the same length (see below). Fibre F5 is terminated to absorb reflections.

NOTE 1 The mode conditioner is needed to make sure the OTDR receives proper launch conditions from the electrical to optical converter. Therefore fibre F0 should be connected to the output of the mode conditioner while fibre F1 should be connected to the input.

NOTE 2 The attenuation of the optical path between the connector of the OTDR and the optical to electrical converter may be high. This is acceptable as the output power of the OTDR is generally sufficient.

6.2.3 Calibration of the equipment

Before using the "external source" equipment, it shall be properly calibrated. It is assumed that the digital delay generator is regularly calibrated. For computing the location offset ΔL_0 from the measured data, it is also necessary to determine the insertion delay T_{delay} of the apparatus. This can be accomplished by adding a pulse generator and a calibrated time interval counter to the equipment, as shown in Figure 4.



Key

F0	multimode fibre (two during calibration)
MC	mode conditioner (two during calibration)
F1, F2, F3, F4 and F5	fibres
E1, E2, E3 and E4	electric cables
C2	electrical-to-optical converter
C1	optical-to-electrical converter
A1	variable attenuator

Figure 4 – Set-up for calibrating the system insertion delay

To properly measure the propagation delay of the mode conditioner it is recommended to include within the optical path, a second identical mode conditioner.

To calibrate the insertion delay T_{delay} , proceed as follows.

Set the pulse generator to square wave, with a repetition period more than twice as long as the delay time to be measured. Use the output pulse of the pulse generator as the start pulse on the time interval counter, and to externally trigger the delay generator. Set the digital delay generator for external triggering and zero delay for the leading edge of the pulse generator signal. Set the trigger levels of the delay generator and the counter.

The external source will then generate an optical square wave which, after re-conversion to an electrical pulse, will stop the time interval counter. To ensure lowest uncertainty, the electrical cables E3 and E4 should have equal length. Also, fibres F1 and F5 should have equal lengths.

The two modes conditioner and the two fibres F0 should have the same length. Note that identical cable numbers in Figures 3 and 4 mean the same physical cables. Adjust the optical attenuator for best triggering of the time interval counter. Record the displayed time interval (between start and stop) as the insertion delay T_{delay} .

6.2.4 Measurement procedure

6.2.4.1 Preparation

Select the technique (automatic or manual) for locating the feature on the OTDR. Program the attenuator to generate the desired pulse amplitude(s). Select the pulse width on the digital delay generator, for example 1 μs .

Choose the time settings of the delay generator T_i so that the samples are distributed over a wide distance range with some randomness, to accomplish averaging over the OTDR's distance sampling interval. The first time setting should be chosen so that the pulse appears close to the front panel of the OTDR, but sufficiently out of the initial dead zone for good measurements. If the testing laboratory does not determine and analytically justify a different distance sampling scheme, one of the two schemes below shall be chosen.

- a) In the first scheme, evaluate the sample spacing D_{sample} (for the appropriate OTDR instrument setting), for example by zooming into the OTDR trace. Then calculate the corresponding delay difference of the delay generator T_{sample} using

$$T_{\text{sample}} = \frac{2ND_{\text{sample}}}{c} \quad (14)$$

where N is the OTDR's group index setting and c is the speed of light in vacuum.

Then calculate a total number of i delay generator settings, grouped in k clusters of n settings each ($i = kn$), where each cluster uniformly covers one sample spacing. Each cluster shall have the form:

$$T_K, T_K + \frac{T_{\text{sample}}}{n}, T_K + 2\frac{T_{\text{sample}}}{n}, \dots, T_K + (n-1)\frac{T_{\text{sample}}}{n} \quad (15)$$

where the number of settings in each cluster n is at least four and is the same for every cluster. The centres of the clusters are uniformly spaced, from just beyond the initial dead zone to a large distance over which the instrument is to be calibrated. The number of clusters k may be as small as two.

- b) In the second scheme, there are no clusters, and the sample spacing D_{sample} does not need to be known except very approximately. Calculate T_{sample} from Equation (14). Choose the time settings so that they are uniformly spaced between the initial dead zone and a large distance and each has a random time interval added. The random intervals should have a uniform probability density in the interval $-T_1$ to T_1 , where T_1 is at least 20 T_{sample} but less than 10 % of the longest time delay for the tests. The number of measurements i (that is, different settings) should be at least 20.

Alternatively, prior knowledge of the magnitude of the uncertainty type A and the tolerable uncertainty in the measurements may lead the testing laboratory to select a different systematic or random distance sampling scheme.

6.2.4.2 Taking the measurement results

Select the first time setting of the time T_i of the series T_1 as defined above. Record the time T_1 of the delay generator and the measured location $L_{\text{otdr},1}$ of the event on the OTDR. Proceed with the time settings as selected in 6.2.4.1. Always record the time T_i and the measured location $L_{\text{otdr},i}$. Continue until all time settings are completed.

6.2.5 Calculations and results

Following the concept of Clause 4, use the time settings to calculate i reference locations $L_{\text{ref},i}$

$$L_{\text{ref},i} = \frac{c(T_i + T_{\text{delay}})}{2N} \quad (16)$$

where

N is the group index setting of the OTDR;

T_i are the time settings defined in 6.2.3;

T_{delay} is the calibrated insertion delay of the test equipment (see 6.2.2).

Then, use the reference locations and the displayed locations $L_{\text{otdr},i}$ to calculate the set of i location deviations ΔL_i

$$\Delta L_i = L_{\text{otdr},i} - L_{\text{ref},i} \quad (17)$$

To determine the location offset ΔL_0 and the distance scale deviation ΔS_L , fit the location deviation data to the simplified location deviation model (in which the distance sampling error is momentarily neglected):

$$\Delta L_{i, \text{model}} = \Delta S_L L_{\text{ref},i} + \Delta L_0 \quad (18)$$

Specifically, minimize the difference between the model and the data using the least-squares criterion that is, choose ΔS_L and ΔL_0 so that the summation

$$\sum_i (\Delta L_i - \Delta S_L L_{\text{ref},i} - \Delta L_0)^2 \quad (19)$$

is minimized. Record ΔL_0 and ΔS_L obtained from the approximation.

As in Figure 2, the slope of the linear approximation represents the distance scale deviation ΔS_L . The intercept with the vertical axis represents the location offset ΔL_0 . Record ΔS_L and ΔL_0 obtained from the calculation.

6.2.6 Uncertainties

6.2.6.1 General

A general discussion of the distance uncertainties can be found in Clause 5.

Note that the following list of uncertainties may not be complete. Additional contributions may have to be taken into account, depending on the measurement set-up and procedure. The mathematical basis given in Annex B should be used to calculate and state the uncertainties.

6.2.6.2 Distance scale uncertainty

The least-squares approximation outlined in 6.2.5 effectively uses the displayed distances between the measurement samples to calculate the distance scale deviation. It is assumed that the measurement samples near $L = 0$ and near the farthest location $L = L_{\text{max}}$ have the strongest influence on the distance scale deviation because the samples in the middle of the range have less influence on the slope of the distance error model.

Applying the standard formula for the propagation of errors to Equation (4) yields the distance scale uncertainty $u_{\Delta SL}$ in which $\langle D_{otdr} \rangle \equiv D_{ref}$ was used.

$$u_{\Delta SL} \equiv \left[\left(\frac{u_{\langle Dotdr \rangle}}{\langle D_{otdr} \rangle} \right)^2 + \left(\frac{u_{Dref}}{D_{ref}} \right)^2 \right]^{1/2} \text{ m/km} \quad (20)$$

where

D_{otdr}	is $D_{ref} \approx L_{ref}$ (for the long distances discussed here);
$u_{\langle Dotdr \rangle}$	is the standard deviation expressing the uncertainty of the distance samples (on the basis of the location samples);
$u_{\langle Dotdr \rangle} / \langle D_{otdr} \rangle$	represents the slope uncertainty due to inaccurate distance readout; it is equivalent to the standard deviation of the slope, ΔS_L in the location model of Equation (10) which includes the marker placement uncertainty and the distance sampling error; the least-squares algorithm used for the determination of ΔS_L can be used to determine $u_{\langle Dotdr \rangle}$; if applicable, ΔL_i may be averaged over the corresponding sampling interval;
u_{Dref}	is the uncertainty of the reference distances;
u_{Dref} / D_{ref}	represents the slope uncertainty caused by the digital delay generator and is equal to the relative timing uncertainty of the delay generator.

6.2.6.3 Location offset uncertainty

The location offset ΔL_0 is equal to the intercept of the least-squares approximation with the vertical axis. This intercept mostly depends on the first few samples, that is those samples which are closest to the location $L = 0$, and on the accuracy of the insertion delay T_{delay} .

The location offset uncertainty $u_{\Delta L0}$ can be calculated by using the standard formula for the propagation of errors

$$u_{\Delta L0} = \left[u_{\Delta L}^2 + \left(\frac{c}{2N} \right)^2 u_{Tdelay}^2 \right]^{1/2} \quad (21)$$

where

$u_{\Delta L}$	is the uncertainty of the differences between ΔL_i and the least-squares approximation near $L = 0$, which includes the marker placement uncertainty and the distance sampling error; it is equivalent to the standard deviation of $(\Delta L_i - \Delta L_{i, model})$ near $L = 0$; if applicable, ΔL_i may be averaged over the correspondent sampling interval; the least-squares algorithm used for the determination of ΔL_0 can be used to determine $u_{\Delta L}$.
u_{Tdelay}	is the uncertainty of the system insertion delay that also includes the difference between the two mode conditioning adapters used during calibration; the assumption is that the first measurement setting will be very short or even zero, reducing the delay generator uncertainty to one of the insertion delays only.

6.2.6.4 Location readout uncertainty

As outlined in Clause 5, determine the largest difference between the location deviation samples ΔL_k and the least-squares approximation near $L = 0$. Then calculate the location readout uncertainty $u_{Lreadout}$ (which includes the distance sampling error) by dividing the largest difference by the square root of 3. Alternatively, $u_{Lreadout}$ can be determined either with the least-squares algorithm used for the determination of ΔS_L and ΔL_0 or with the following formula

$$u_{\text{Lreadout}} = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta L_i - \Delta L_{i, \text{model}})^2 \right]^{1/2} \quad (22)$$

6.3 Concatenated fibre method (using multimode fibres)

6.3.1 Short description and advantages

This method uses multimode calibrated fibres with transit times precisely measured at the wavelength of the OTDR under test to calibrate the distance scale.

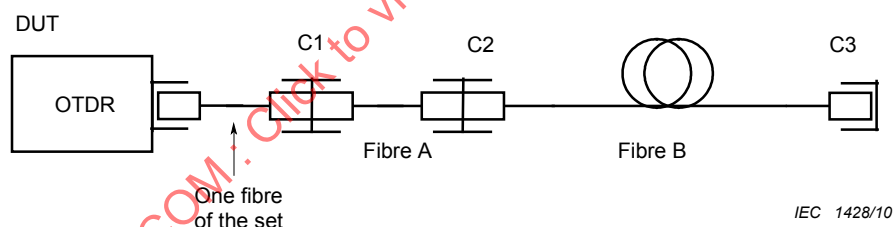
The method requires only connectorized lengths of fibre, and is thus both inexpensive and well suited to testing in locations where equipment such as that used in 6.2 cannot be carried. It may be viewed as a manual test method because it requires connecting and disconnecting short lengths of fibre a number of times to vary the locations of reflections. However, this process can be automated with optical switches, if desired.

This method using multimode fibres is applicable at both 850 nm and 1 300 nm and does not require any mode conditioner. However, the differential mode delay (DMD) of the calibrated fibre B (see Figure 5) has to be taken into account as an uncertainty.

6.3.2 Equipment

In addition to the test OTDR, the equipment includes, as shown in Figure 5,

- fibre A, to determine the location offset;
- fibre B, to determine the distance scale deviation;
- a set of incremental fibres, to determine the distance sampling error.



Key

C1, C2 and C3 optical connectors

Figure 5 – Concatenated fibres used for calibration of the distance scale

Normally, these fibres will be cabled or packaged in some way for protection and connectorized for easy connection and disconnection.

The requirements on these fibres are indicated below.

- Fibre A is a simple multimode fibre with an end reflection (generated by a non-angled connection). Its length, much shorter than fibre B, is not very important, as long as it puts the end reflection to be measured on a backscatter trace which is essentially undisturbed from the initial reflection(s) near the OTDR port.

Fibre A can also be used as a lead-in fibre for measuring the distance scale deviation with the help of fibre B.

- b) Fibre B shall have reflective ends, for example by using the reflections from its connectors. Because the uncertainty is reduced by making this fibre longer, it is recommended that fibre B be a few hundreds of metres long.

To calibrate the fibre, measure its optical transit time T_b as described in Clause 5.

Caution: for a correct distance calibration, the reflections from the two ends of fibre B (connectors C2 and C3) should be approximately equal. For example, if one end produces a reflection that saturates the OTDR and the other end does not, then the difference in waveforms can lead to inaccurate distance measurements. The effect of this difference on the measured distance scale deviation will be small if the fibre is long, however.

- c) When the sampling interval is not precisely known from the manufacturer and expected to be large, the set of incremental fibres will be used to vary the locations of the two reflections of the long fibre B by amounts less than the distance sampling interval of the OTDR (if practical). Their lengths should be selected in order to generate at least four distance increments which are evenly spaced over the distance sampling interval. As an example, if the distance sampling interval is 10 m, this can be accomplished with two fibres of lengths 2,5 m and 5 m. Separately and in combination, these can produce increments of 0 m (no fibre), 2,5 m, 5 m, and 7,5 m (both fibres). More generally, the fibres should generate length increments of

$$0, D_x, 2D_x, \dots, (n-1)D_x \quad (23)$$

where

$n \geq 4$, and

$n D_x$ equals the distance sampling interval of the OTDR under the conditions to be tested.

Except in unusual cases, calibrating the transit time of these fibres according to Clause 5 is unnecessary. Instead, their physical lengths should be measured. The difference between the true group index and the OTDR group index setting will be negligible on such short fibres.

6.3.3 Measurement procedures

6.3.3.1 General

The contribution of random noise to location deviation is usually small except when the displayed power level comes close to the noise limit of the instrument. Longer OTDR averaging is recommended in this case.

6.3.3.2 Preparation

Establish the technique (automatic or manual) for placing the markers on the reflection of fibre A and the reflective ends of fibre B.

Connect fibre A to the front of the OTDR, so that the end reflection of the fibre can be seen on the OTDR. Connect fibre B to the far end of fibre A, so that the reflections from both ends of fibre B may be seen on the OTDR.

6.3.3.3 Taking the measurements

Measure the location of the reflection of fibre A with the OTDR. Record this first measured location as $L_{otdr,1}$. Measure the length of fibre B with the OTDR, using the two reflections generated by this fibre. Record this first measured distance as $D_{otdr,1}$.

Insert the shortest of the incremental fibres between the OTDR and the beginning of fibre A. Measure the location $L_{otdr,2}$ and the distance $D_{otdr,2}$.

Continue inserting successively increasing length combinations of the incremental fibres. Measure the location $L_{otdr,i}$ and the distance $D_{otdr,i}$ until $i = n$ and the total length of the incremental fibres is $(n-1) D_x$.

6.3.4 Calculations and results

6.3.4.1 Distance scale deviation

Compute the distance $\langle D_{\text{otdr}} \rangle$ (the length of fibre B) as the average of the n values of $D_{\text{otdr},i}$. Then compute the distance scale deviation as

$$\Delta S_L = \frac{\langle D_{\text{otdr}} \rangle}{D_{\text{ref}}} - 1 = \frac{N \langle D_{\text{otdr}} \rangle}{c T_b} - 1 \quad (24)$$

where

D_{ref} is the reference distance;

N is the group index setting of the OTDR;

T_b is the one-way transit time for fibre B, as measured according to Clause 5.

6.3.4.2 Location offset

Let $\langle L_{\text{otdr}} \rangle$ be the average of all n values of $L_{\text{otdr},i}$. Compute the location offset on the basis of Equation (10).

$$\Delta L_0 = \langle L_{\text{otdr}} \rangle - (1 + \Delta S_L) \langle L_{\text{ref}} \rangle \quad (25)$$

$$\Delta L_0 = \langle L_{\text{otdr}} \rangle - (1 + \Delta S_L) \left(\frac{c T_a}{N} + \frac{(n-1) D_x}{2} \right) \quad (26)$$

where

$\langle L_{\text{ref}} \rangle$ is the average reference location corresponding to the first reflection, to be calculated with the help of the average length of the incremental fibres;

N is the group index setting of the OTDR;

T_a is the one-way transit time for fibre A, as measured according to Clause 5;

ΔS_L is the distance scale deviation as determined by Equation (10); if fibre A is sufficiently short, then the ΔS_L term can be disregarded.

6.3.5 Uncertainties

6.3.5.1 General

A general discussion of the distance uncertainties is given in Clause 5. Note that the following list of uncertainties may not be complete. Additional contributions may have to be taken into account, depending on the measurement set-up and procedure.

The mathematical basis given in Annex B should be used to calculate and state the uncertainties.

6.3.5.2 Distance scale uncertainty

The distance scale uncertainty $u_{\Delta S_L}$ should be calculated with the following formula which is derived from Equation (10)

$$u_{\Delta S_L} = \left[\left(\frac{u_{D_{\text{otdr}}}}{D_{\text{otdr}}} \right)^2 + \left(\frac{u_{T_b}}{T_b} \right)^2 \right]^{1/2} \text{ m/km} \quad (27)$$

where $u_{D_{\text{otdr}}}$ is the uncertainty of the displayed length of fibre B, for example, as caused by the marker placement uncertainty and the distance sampling error.

The transit time uncertainty of fibre B u_{Tb} should itself be calculated by root-sum-squaring:

$u_{Tb,counter}$	is the transit time uncertainty of fibre B, due to the time interval counter;
$u_{Tb,\lambda}$	is the transit time uncertainty of fibre B, due to a difference between the wavelength used in determining the transit time and the OTDR wavelength;
$u_{Tb,\Theta}$	is the transit time uncertainty of fibre B, due to its temperature coefficient; typical value: 1 cm/(km °C);
$u_{Tb,DMD}$	is the transit time uncertainty of fibre B, due to the differential mode delay; Table 1 gives some indications for different multimode fibres.

6.3.5.3 Location offset uncertainty

The location offset uncertainty $u_{\Delta L0}$ should be calculated from the following formula which is derived from Equation (25), by neglecting the ΔS_L and the $(n-1) D_x/2$ terms:

$$u_{\Delta L0} = \left[u_{Lotdr}^2 + \left(\frac{c}{N} \right)^2 u_{Ta}^2 \right]^{1/2} \quad (28)$$

where u_{Lotdr} is the uncertainty of measuring the location of the end reflection of fibre A, that is mainly the uncertainty of the marker placement; it is assumed that the distance sampling error is effectively removed by averaging over one sampling interval.

The transit time uncertainty of fibre A u_{Ta} should itself be calculated by root-sum-squaring:

$u_{Ta,counter}$	is the transit time uncertainty of fibre A, due to the time interval counter;
$u_{Ta,\lambda}$	is the transit time uncertainty of fibre A, due to a difference between the wavelength used in determining the transit time and the OTDR wavelength;
$u_{Ta,\Theta}$	is the transit time uncertainty of fibre A, due to its temperature coefficient; typical value: 1 cm/(km °C);
$u_{Ta,DMD}$	is the transit time uncertainty of fibre A, due to the differential mode delay in fibre A (can be estimated based on the length ratio of the different type of fibres; should be negligible if fibre A is much shorter than fibre B).

6.3.5.4 Location readout uncertainty

Calculate the following two sets of data, one for the location deviation and one for the distance error, using the measurement samples given in 6.3.3.

$$L_{otdr,i} - L_{ref,i} = L_{otdr,i} - \left(\frac{cT_a}{N} + iD_x \right) \quad i = 0 \text{ to } n-1 \quad (29)$$

and

$$D_{otdr,i} - D_{ref,i} = D_{otdr,i} - \frac{cT_b}{N} \quad i = 0 \text{ to } n-1 \quad (30)$$

It is recommended that half the difference between the largest and the smallest value of the L set or the D set, whichever is the larger, be divided by the square root of 3 to calculate the location readout uncertainty $u_{Lreadout}$.

6.4 Recirculating delay line method

6.4.1 Short description and advantages

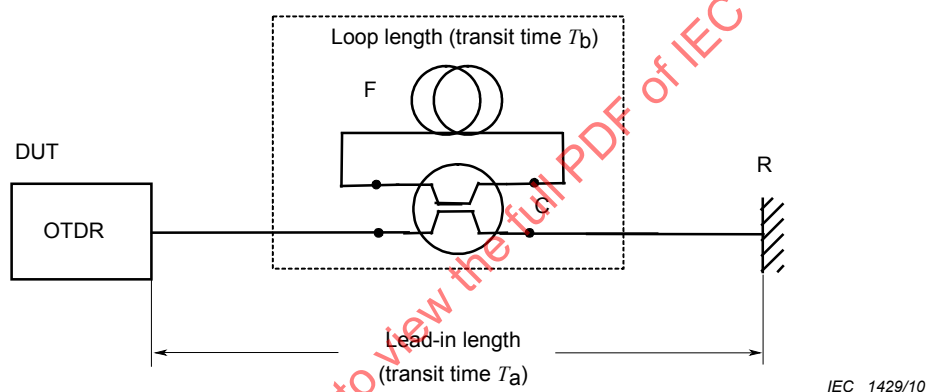
The recirculating delay line method uses a calibrated loop of multimode fibre, made with a coupler and a reflector, to generate periodic reflections.

The method is similar to the concatenated fibre method: a fibre artifact is used, and there is no need for electronic equipment. The artifact generates many calibrated distance samples; this has the potential of reducing type A uncertainties affecting the distance scale deviation.

The measurements of location offset are limited to the reflective features generated by the recirculating delay line.

6.4.2 Equipment

In addition to the test OTDR, the measurement equipment only includes a multimode recirculating delay line manufactured and calibrated according to Annex A, as shown in Figure 6.



Key

F	fibre in the loop
C	four-port coupler
R	reflection

Figure 6 – Distance calibration with a recirculating delay line

The recirculating delay line places a number of reflective features on the OTDR display, as shown in Figure 7. The first feature is the one obtained from the optical pulse travelling direct to the mirror, then back direct to the OTDR. The second feature is generated by the optical pulse travelling once through the loop, then to the mirror, then back direct to the OTDR (this pulse coincides with the pulse travelling direct to the mirror, then back through the loop, then back to the OTDR). The third pulse travels through the loop twice, etc.

Accordingly, the ideal displayed locations would be

$$\begin{aligned}
 L_{\text{otdr},0} &= L_a \\
 L_{\text{otdr},1} &= L_a + L_b/2 \\
 L_{\text{otdr},2} &= L_a + L_b \rightarrow \text{etc}
 \end{aligned}
 \tag{31}$$

where L_a is the length of the lead-in fibre and L_b is the length of the fibre loop.

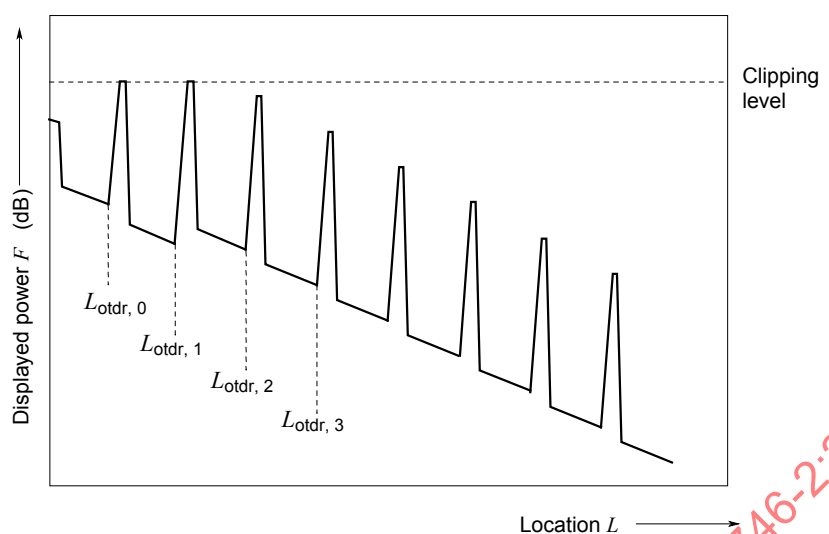


Figure 7 – OTDR trace produced by recirculating delay line

As an optional addition to the measurement set-up, it may be advantageous to use one or more incremental fibres as in 6.3.3. The need for this is reduced because the multiple reflections from the delay line are likely to generate averaging over the distance sampling interval. However, this averaging effect is not controlled and systematic control may be preferred. Using the notation of 6.3.3, it may be sufficient to let $n = 2$, so there is just one incremental fibre with length equal to half of the distance sampling interval.

6.4.3 Measurement procedure

6.4.3.1 General

The procedure assumes that no incremental fibres are used. If they are used, this simply increases the number of distance samples that are recorded, and it is straightforward to modify the notation and computations. The method then becomes very similar to that of 6.3, with the lead-in fibre being equivalent to fibre A and the loop length equivalent to fibre B.

6.4.3.2 Preparation

Establish the technique (automatic or manual) of placing the markers at the leading edges of the reflections from the recirculating delay line, following the manufacturer's recommendations.

Connect the recirculating delay line assembly directly to the OTDR so that the reflective features can be seen on the OTDR.

6.4.3.3 Taking the measurement results

Measure the locations of successive reflections from the recirculating delay line with the OTDR. Record these as $L_{otdr,i}$, where the index i goes from 0 to k and represents the number of passes through the loop. A large number k will presumably increase the accuracy of the result, but it will be limited by loss and the noise floor of the OTDR.

6.4.4 Calculations and results

Using the calibration data of the recirculating delay line T_a and T_b the series of reference locations is

$$\begin{aligned}
 i = 1: L_{\text{ref},1} &= \frac{c(T_a + T_b/2)}{N} \\
 i = 2: L_{\text{ref},2} &= \frac{c(T_a + T_b)}{N} \quad \text{etc.}
 \end{aligned}
 \tag{32}$$

where N is the group index setting of the OTDR.

Then use the displayed locations $L_{\text{otdr},i}$ and the reference locations to calculate the series of location deviations ΔL_i :

$$\Delta L_i = L_{\text{otdr},i} - L_{\text{ref},i} = \Delta S_L L_{\text{ref},i} + \Delta L_0 + f(L_{\text{ref},i}) \tag{33}$$

To determine the location offset ΔL_0 and the distance scale deviation ΔS_L , fit the location deviation data to the simplified location deviation model (in which the location readout uncertainty is momentarily neglected):

$$\Delta L_{i,\text{model}} = \Delta S_L L_{\text{ref},0} + \Delta L_0 \tag{34}$$

Specifically, minimize the difference between the model and the data using the least-squares criterion, that is choose ΔS_L and ΔL_0 so that the summation:

$$\sum_i (\Delta L_i - \Delta S_L L_{\text{ref},i} - \Delta L_0)^2 \tag{35}$$

is minimized. Record ΔL_0 and ΔS_L obtained from the approximation.

6.4.5 Uncertainties

6.4.5.1 General

A general discussion of the distance uncertainties is given in Clause 5.

Note that the following list of uncertainties may not be complete. Additional contributions may have to be taken into account, depending on the measurement set-up and procedure. The mathematical basis given in Annex B should be used to calculate and state the uncertainties.

6.4.5.2 Distance scale uncertainty

The least-squares approximation outlined in 6.4.4 effectively uses the displayed distances between the measurement samples to calculate the distance scale deviation. It is assumed that the group of measurement samples near $L = 0$ and the one near the farthest location $L = L_{\text{max}}$ have the strongest influence on the distance scale deviation because the samples in the middle of the range have less influence on the slope of the distance error model.

Applying the standard formula for the propagation of errors to Equation (4) yields the distance scale uncertainty $u_{\Delta S_L}$ in which $\langle D_{\text{otdr}} \rangle \cong D_{\text{ref}}$ was used.

$$u_{\Delta S_L} \cong \left[\left(\frac{u_{\langle D_{\text{otdr}} \rangle}}{\langle D_{\text{otdr}} \rangle} \right)^2 + \left(\frac{u_{D_{\text{ref}}}}{D_{\text{ref}}} \right)^2 \right]^{1/2} \text{ m/km} \tag{36}$$

where

D_{otdr} is $D_{\text{ref}} \approx L_{\text{ref}}$ (for the long distances discussed here);

- u_{Dotdr} is the standard deviation expressing the uncertainty of the distance samples (on the basis of the location samples); this is equivalent to the standard deviation of the slope, ΔS_L in the location model of Equation (10) which includes the marker placement uncertainty and the distance sampling error; the least squares algorithm used for the determination of ΔS_L can be used to determine u_{Dotdr} ; if incremental fibres are used, then ΔL_i may be averaged over the correspondent sampling interval;
- u_{Dref} is the uncertainty of the reference distances; it can be calculated from the formula $u_{\text{Dref}}/D_{\text{ref}} = u_{\text{Tb}}/T_b$, where u_{Tb} is the uncertainty of the loop transit time, as documented in the calibration certificate of the recirculating delay line (see Annex A).

6.4.5.3 Location offset uncertainty

The location offset ΔL_0 is equal to the intercept of the least-squares approximation with the vertical axis. This intercept mostly depends on the first few samples, that is those which are closest to the location $L = 0$, and on the accuracy of the transit time T_a .

The location offset uncertainty $u_{\Delta L_0}$ can be calculated by applying the standard formula for the propagation of errors to Equation (34)

$$u_{\Delta L_0} = \left[u_{\Delta L}^2 + \left(\frac{c}{N} \right)^2 u_{T_a}^2 \right]^{1/2} \quad (37)$$

where

- $u_{\Delta L}$ is the uncertainty of the differences between ΔL_i and the least squares approximation near $L = 0$; this includes the marker placement uncertainty and the distance sampling error; this is equivalent to the standard deviation of $(\Delta L_i - \Delta L_{i, \text{model}})$ near $L = 0$; the least squares algorithm used for the determination of ΔL_0 can be used to determine $u_{\Delta L}$; if incremental fibres are used, then ΔL_i may be averaged over the correspondent sampling interval;
- u_{T_a} is the documented uncertainty of the delay time of the lead-in fibre of the recirculating delay line (see Annex A);
- $u_{T_a, \Theta}$ is the uncertainty of the delay time of the lead-in fibre due to the temperature coefficient of the fibre; typical value: 1 cm/(km °C).

6.4.5.4 Location readout uncertainty

The principle of determining the location readout uncertainty is shown in Figure 2. With the recirculating delay line, it is expected that not enough data are produced to show the repetitive nature of the measurement samples. Nevertheless, it is recommended that the largest differences between the location deviations $\Delta L_i (L_{\text{ref}})$ and the least-squares approximation be determined. Then divide this difference by the square root of 3 to obtain the location readout uncertainty $u_{L_{\text{readout}}}$ (which includes the distance sampling error).

7 Vertical scale calibration – General

7.1 General

The vertical scale calibration process of an OTDR for multimode fibres is divided in two parts.

The first one is mostly related to the receiver part of the OTDR. It is called loss difference calibration. This part of the calibration process only considers the ability of the OTDR to properly measure the backscattered power received from the fibre.

The second part is the measurement of the launch conditions created by the laser source of the OTDR. The objective is to characterize the near field of the OTDR source in order to demonstrate that the backscatter signal is generated appropriately.

The characterization of the OTDR source can be carried out using a near field analysis (see IEC 61280-1-4).

The following subclauses outline the principles of the backscattered power calibration and the near field analysis.

7.2 Loss difference calibration

7.2.1 Determination of the displayed power level F

For each measured loss, determine the displayed power level or an equivalent parameter that can be used to reproduce the vertical position of a measurement sample. This level is termed F .

Unless otherwise specified, use the OTDR's clipping level, determined at the front panel connector location, as the (default) reference point for determining F : $F_{\text{ref}} = 0$ dB. State all values of F in relation to this reference point (for example, if the displayed power level is x dB below the clipping level, then $F = -x$ dB). The clipping level can be found by introducing a sufficiently large reflection into a length of fibre, as indicated in Figure 8.

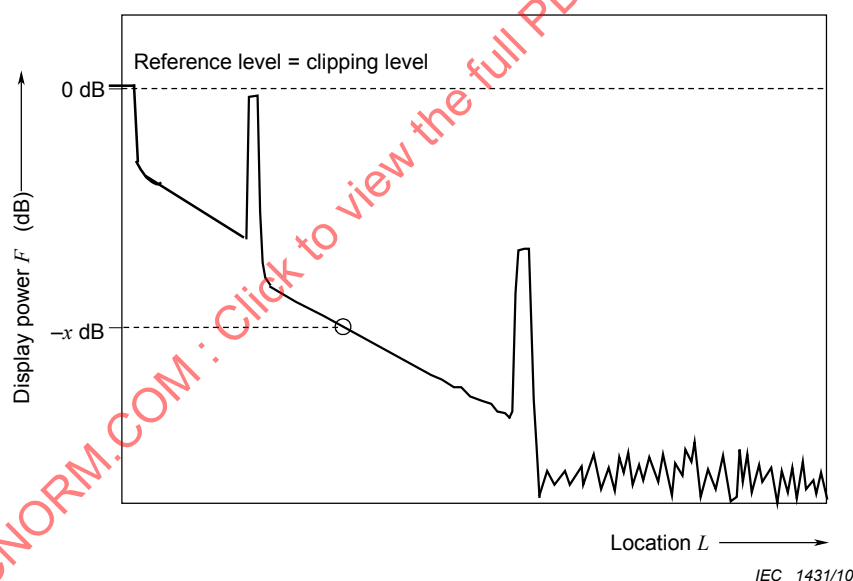


Figure 8 – Determining the reference level and the displayed power level

Alternative solutions may be to state the value of F in dB, relatively to a fixed level, if the OTDR provides the capability of reading out the displayed power in dB, or to use the start level of the backscatter trace from a specified type of fibre, at a specified pulse width, as the reference level. Note that, in the latter case, the reproducibility of the reference level is usually affected by the non-reproducibility of the connection to the OTDR port.

7.2.2 Development of a test plan

The loss samples may depend not only on the power level, but also on the distance and the history of the signal (that is, the shape of the fibre's OTDR signature) prior to the feature that is being measured. In particular, the detector and electronics may be affected by recovery from the initial firing of the laser and from signals due either to scattering or reflections in the fibre. The calibration will apply only to the distance and signal conditions for which it is performed.

This standard does not require specific conditions of signal history. For an aid in describing power levels and distance, this standard defines an OTDR display region A as an approximation to the region where the user normally takes measurements. For the purpose of this standard, region A is defined by four quantities, as illustrated in Figure 9: the extrapolated start of the backscatter trace for the specific pulse width used F_0 , a lowest and a highest attenuation as defined in the table below, and 3 dB margins on both sides.

Table 2 – Attenuation coefficients defining region A

Wavelength nm	Fibre attenuation coefficients	
	Lowest ($\alpha_{\min}$) dB/km	Highest ($\alpha_{\max}$) dB/km
850	1,5	3,5
1 300	0,3	1,5

On the same basis, attenuation coefficient values for other wavelengths may be chosen to represent typical multimode fibres. An analytical description of region A is given by

$$\begin{aligned} F_{\max}(L) &= F_0 - \alpha_{\min} L + 3 \text{ dB} \\ F_{\min}(L) &= F_0 - \alpha_{\max} L - 3 \text{ dB} \end{aligned} \quad (38)$$

$F_{\max}$ should not exceed an upper limit of 1 dB below the clipping level, unless otherwise specified by the OTDR manufacturer. The loss calibration points F should lie inside region A. Calibration data in regions B and C can be provided on a voluntary basis. Region B is applicable when the fibre path includes components with high loss. Region C is applicable when the fibre path includes components with strong reflection.

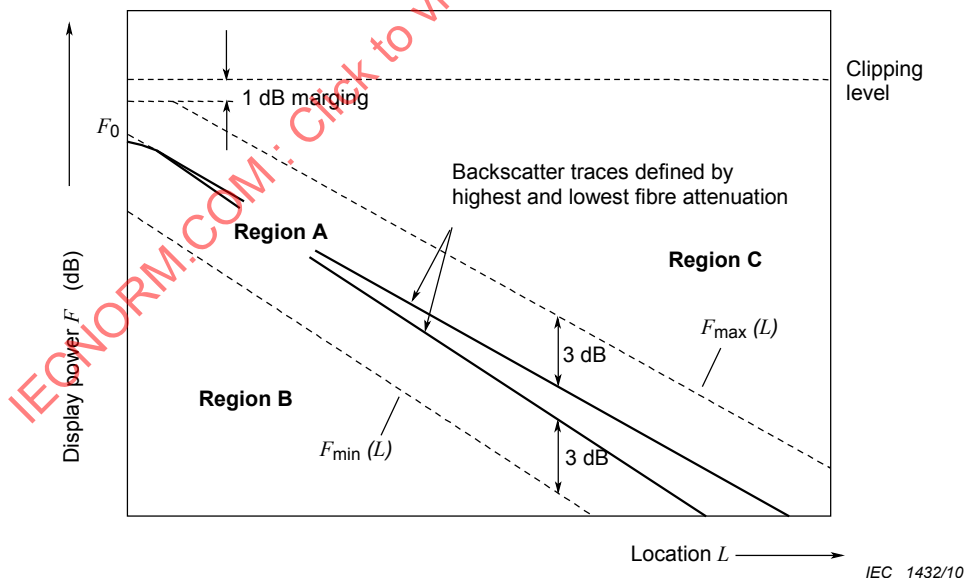


Figure 9 – Region A, the recommended region for loss measurement samples

For each of the methods outlined below, develop a test plan of sample placements, each of which is a combination of location and displayed power level. The goal is a vertical sample spacing of 0,5 dB to 1 dB, and not more than the reference loss A_{ref} . An attenuation range from F_0 down to the noise level and an even distribution of samples inside region A should be chosen. Overlapping measurement samples, that is samples at the same displayed power level but at different locations, are desirable, as indicated in Figure 10.

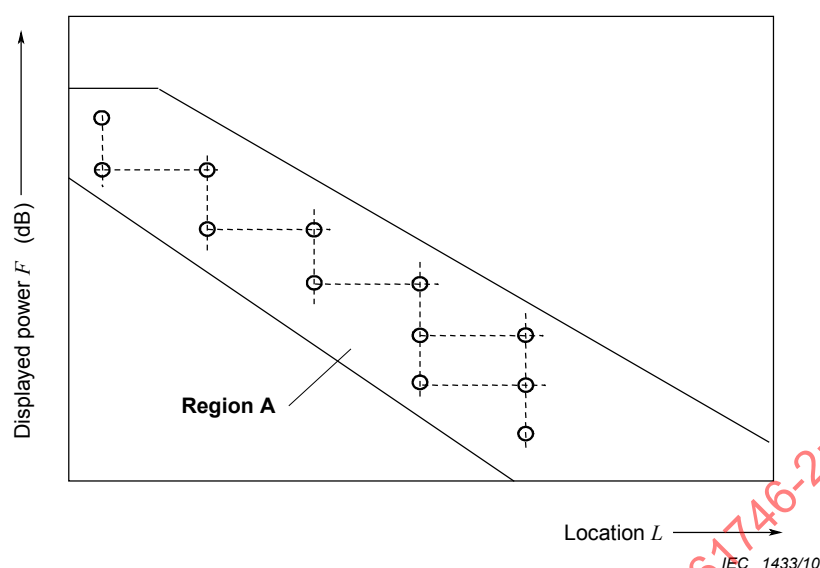


Figure 10 – Possible placement of sample points within region A

7.3 Characterization of the OTDR source near field

7.3.1 Objectives and references

The objective is to determine the encircle flux function $EF(r)$ from the near field measurement of the light coming from the end of the test cord; and to compare it to the radial bound requirements.

$$EF(r) = \frac{\int_0^r xI(x)dx}{\int_0^R xI(x)dx} \quad (39)$$

The encircle flux limits are defined in the IEC 61280-4-1.

The requirements for the measurement and the process details are defined by the IEC 61280-1-4. The calibration procedure is given by the IEC 61745.

7.3.2 Procedure

In order to be consistent with the requirements of the IEC 61280-4-1, the OTDR source near field is measured at the end connector of the test cord.

Connect the end of the OTDR test cord to the near field measurement set up.

Measure the encircle flux function as defined per the reference documents.

Plot the measured function, the encircled flux lower bound and the encircled flux upper bound on the same diagram. The measured encircled flux curve should lie between the two bound curves.

8 Loss difference calibration method

8.1 General

Calibration methods that could provide loss calibration against known reference values are not available.

For the following method the loss reference is not supposed to be known; it is only supposed to be constant. Therefore the results only represent variations. Alternatively, if the attenuation is known with an appropriate level of uncertainty the measurement results can be reported differently (see 8.2.4).

8.2 Long fibre method

8.2.1 Short description

The long fibre method describes the measurement of the linearity of the OTDR power scale with the help of a long multimode optical fibre. This reference loss is not known; it is only supposed to be constant.

8.2.2 Equipment

8.2.2.1 General

In addition to the test OTDR, the measurement equipment includes

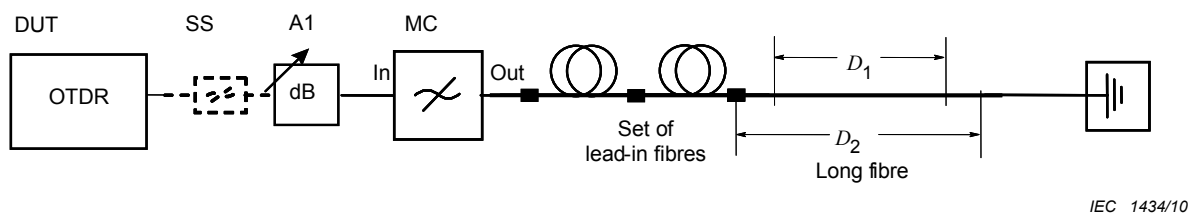
- a) a long multimode fibre type A1a or A1b fibres (see IEC 60793-2-10);
- b) a set of multimode lead-in fibres, these shall be type A1a or A1b fibres (see IEC 60793-2-10) able to create a minimum of 1 dB attenuation;
- c) a variable attenuator for multimode fibre;
- d) mode conditioner;
- e) speckle scrambler optional.

The purpose of the attenuator and lead-in fibres is to place the fibre standard at a number of different locations within region A (see Clause 7) of the OTDR display. Example: the displayed power level can be varied within a 14 dB range with 2 dB steps by a proper combination of three lead-in fibres with attenuation values of 2 dB, 4 dB and 8 dB.

These fibres should be equipped with reference type connectors; the attenuation numbers include the typical connector losses. In order to obtain the recommended (finer) sample spacing of 0,5 dB, the attenuator will have to be varied between 0 dB and 1,5 dB in 0,5 dB steps.

It should be noted that the attenuator is not necessary if the recommended steps of 0,5 dB are generated with a larger number of lead-in fibres.

The purpose of the mode conditioner is to comply with the launch condition requirements and to ensure that any changes in modal condition as the attenuator is adjusted do not propagate through to the fibre. As an option the speckle scrambler can be used to improve repeatability.

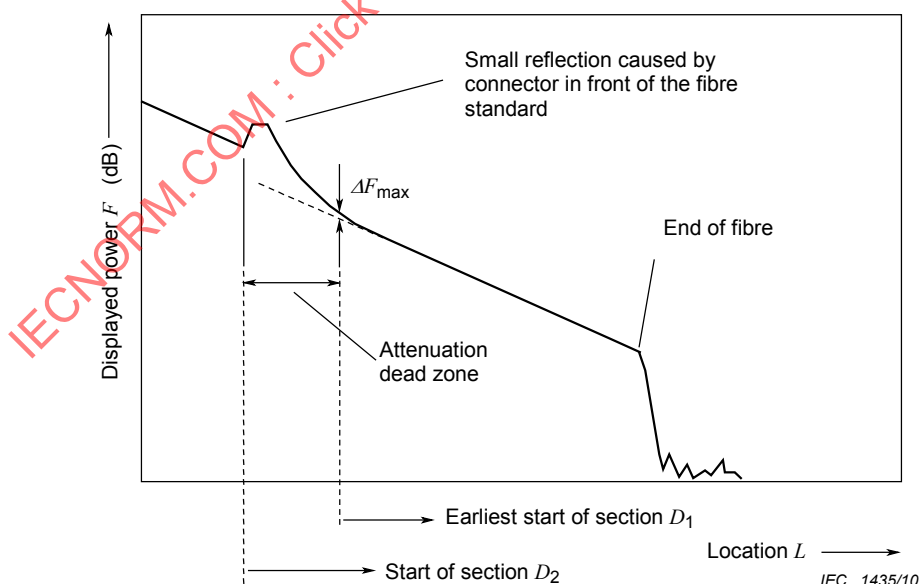
**Key**

A1	variable attenuator
MC	mode conditioner
SS	speckle scrambler (optional)

Figure 11 – Linearity measurement with a long fibre**8.2.2.2 Determination of the initial loss**

The objective of this part of the procedure is to properly define reference points on the fibre to be used to always measure the same loss.

Measure the total length D_2 of the long fibre according to the OTDR manufacturer's instructions for length measurement. Using the OTDR markers, select a section of the fibre, of length D_1 , outside the attenuation dead zone caused primarily by any connectors in front of the fibre standard (see Figure 12). Choose the beginning of the section so that the difference between the actual backscatter trace and its linear extrapolation $\Delta F_{\max}$ is sufficiently small at that point (a lead-in fibre may be necessary to accomplish this). Measure the length of the section D_1 .

**Figure 12 – Placing the beginning of section D_1 outside the attenuation dead zone**

A length D_1 that corresponds to an initial loss of about 1 dB is recommended. Back reflections from the fibre standard's far end should be carefully avoided, because they can influence the preceding backscatter trace.

8.2.3 Measurement procedure

8.2.3.1 Preparation

First, develop a test plan of fibre/attenuator settings so that a vertical sample spacing of approximately 0,5 dB is achieved and all measurement samples fall within the region A of the OTDR display; an example is described in 7.2.2.

8.2.3.2 Taking the measurement results

For each displayed power level F_i , measure the loss value $A_{\text{otdr},i}$. In order to reduce the uncertainty, it is recommended to average around the markers or over the entire length D_1 , instead of using single power levels. Longer OTDR averaging may be advisable at low displayed power levels in order to reduce the uncertainty type A; all applied averaging times should be reported in this case. Record all $A_{\text{otdr},i}$ displayed power levels F_i and locations L_i .

8.2.4 Calculation and results

Calculate the non-linearity NL_{loss} using Equation (40)

$$NL_{\text{loss}} = \pm \max |A_{\text{otdr},i} - A_{\text{otdr},0}| \quad \text{dB} \quad (40)$$

where $A_{\text{otdr},0}$ is the initial loss.

Alternatively, if the attenuation of the fibre A_{ref} is known with an appropriate level of uncertainty, calculate the loss deviation samples ΔA_i using Equation (41)

$$\Delta A_i = A_{\text{otdr},i} - A_{\text{ref}} \quad \text{dB} \quad (41)$$

Or report the loss scale deviation using Equation (42)

$$\Delta S_{A,i} = \frac{A_{\text{otdr},i} - A_{\text{ref}}}{A_{\text{ref}}} \quad \text{dB/dB} \quad (42)$$

Annex A (normative)

Multimode recirculating delay line for distance calibration

A.0 Introduction

In this annex, a fibre-type recirculating delay line to be used as calibration artefact for multimode OTDR distance calibration is described.

A.1 Construction

As illustrated in Figure A.1, the device is constructed from the following:

- a multimode four-port coupler, with a long fibre (the length of which depends on the distance range to be calibrated) fusion spliced between a pair of input and output ports. The fibre core diameter may be either $50\ \mu\text{m}$ or $62,5\ \mu\text{m}$, independently of the OTDR fibre type. Identical fibre core diameters allow keeping the insertion loss at a minimum and should be used for measurements over very long distances. The length of the long fiber shouldn't exceed one kilometre in order to keep the intermodal dispersion to an acceptable level, independently of the fibre type and of the launching condition;
- an input fibre (typically around 250 m) which is spliced to the second input port with the input equipped with a connector;
- an output fibre which is spliced to the second output port of the coupler and which is terminated with a low back-reflection connector. The length of this fibre piece is kept short, for example $<1\ \text{m}$;
- a device with a high reflectance which can be used to create a reflection at the end of the output fibre.

The length of the lead-in fibre is defined by the input fibre, one branch of the coupler and the output fibre. The length of the loop is defined by the long fibre specified in item a) and the second half of the coupler.

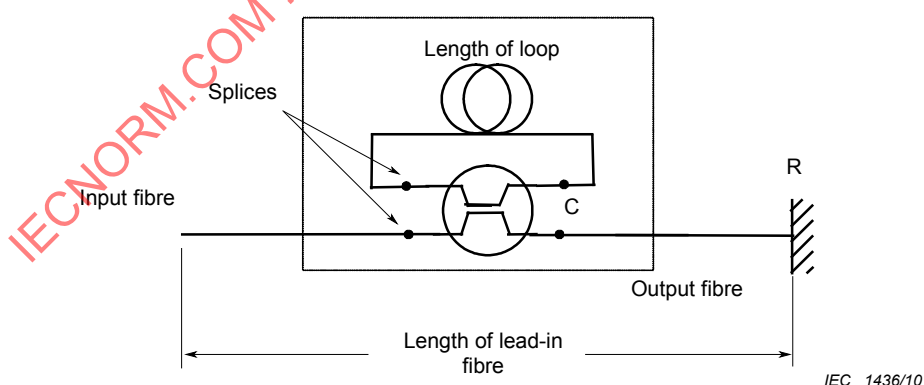


Figure A.1 – Recirculating delay line

A.2 Calibration

A.2.1 General

The objective is to calibrate a recirculating delay line for two parameters: the transit time of the fibre in the loop T_b and the transit time of the input length T_a . The latter is the sum of the transit times of the input fibre, the coupler pigtails and output fibre.

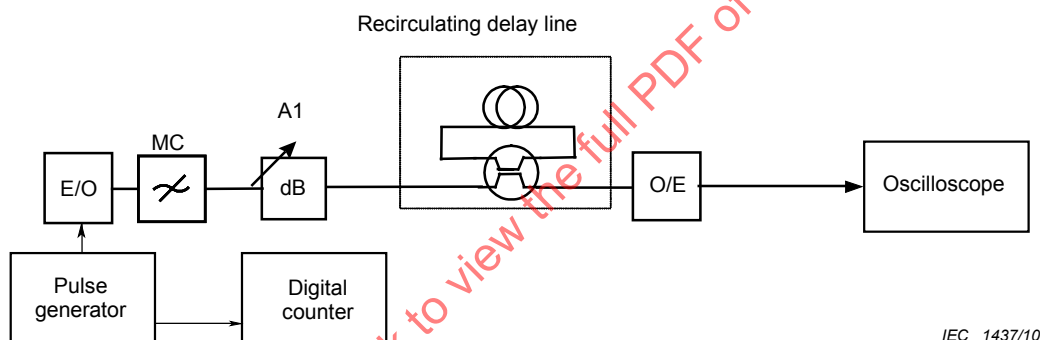
A.2.2 Measurement equipment

The equipment consists of a pulse generator with variable rate and delay, a digital counter, E/O and O/E converters, an oscilloscope and an optical attenuator. The centre wavelength of the E/O converter shall be known.

A.2.3 Procedure

A.2.3.1 Loop transit time measurement

To determine the loop transit time, set up the system shown in Figure A.2. A mode conditioner (MC) will be used either to establish a launch condition similar to the one produced by the OTDR or to generate an overfill. Set the pulse generator to give pulses of suitable width, and the attenuator to generate a suitable amplitude for the E/O converter. Set the pulse repetition rate, in kilohertz, to $200/L_b$, where L_b is the approximate length of the fibre in the loop in kilometres. View the output pulses from the O/E converter on the oscilloscope and then adjust the repetition rate until the following two pulses are superimposed on the oscilloscope trace: first, the optical pulse which has been transmitted directly from the E/O converter to the O/E converter without going round the loop, and second, the fraction of the preceding optical pulse which has travelled once round the loop are detected together. Record the repetition period with the digital counter. This is the loop transit time T_b . Estimate the uncertainty $u_{T_b, \text{adjust}}$ by introducing small changes to the repetition rate.



Key

MC	mode conditioner
E/O	electrical-to-optical converter
O/E	optical-to-electrical converter
A1	variable attenuator

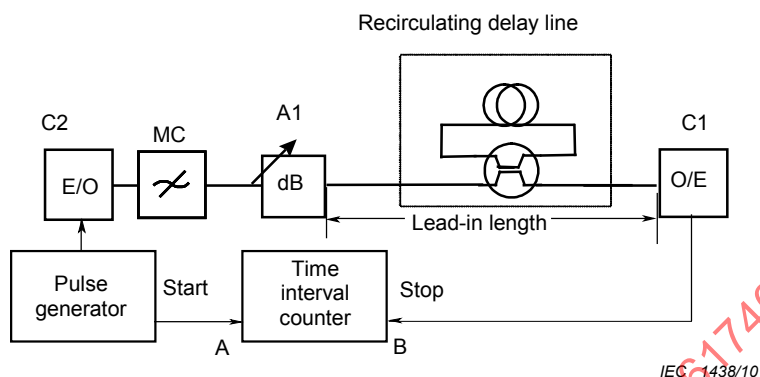
Figure A.2 – Measurement set-up for loop transit time T_b

A.2.3.2 Lead-in transit time measurement

To calibrate the transit time of the lead-in fibres, set up the system shown in Figure A.3. A mode conditioner (MC) will be used either to establish a launch condition similar to the one produced by the OTDR or to generate an overfill. Adjust the pulse width, amplitude and repetition rate (approximately 1 kHz is suggested) of the pulse generator to suitable values and provide a trigger signal for the digital counter. It may be necessary to delay the output pulse to the E/O converter with respect to this trigger pulse as some counters have a "dead time" between start and stop trigger. Adjust the trigger level of channel B of the counter so that it is just reliably triggered by the output of the O/E converter; this is to prevent the counter being triggered by smaller pulses which have made one or more circuits of the loop. Record the transit time T_1 displayed by the counter. Temporarily disconnect the O/E converter from the counter, connect to an oscilloscope, view the directly transmitted pulses and note their amplitude.

Then remove the recirculating delay line and connect the O/E converter directly to the attenuator. Again view the pulses on the oscilloscope. Adjust the attenuator to give pulses of the same amplitude as before. Reconnect the O/E converter to the counter and measure the transit time T_2 . The transit time of the lead-in fibre T_a is then given by

$$T_a = T_1 - T_2 \quad (\text{A.1})$$



Key

MC	mode conditioner
E/O	electrical-to-optical converter
O/E	optical-to-electrical converter
A1	variable attenuator

Figure A.3 – Calibration set-up for lead-in transit time T_a

A.3 Uncertainties

The guidelines of the mathematical basis given in Annex B should be used to calculate and state the uncertainties.

The uncertainty of the loop transit time u_{Tb} should be accumulated, by root-sum-squaring, from the following contributions:

- $u_{Tb, \text{counter}}$ the time uncertainty, in seconds, due to the digital counter, as caused by clock frequency uncertainty and time interval resolution;
- $u_{Tb, \text{adjust}}$ the time uncertainty, in seconds, due to adjusting the repetition rate with the help of the oscilloscope;
- $u_{Tb, \lambda}$ the time uncertainty, in seconds, due to the uncertainty of the E/O converter's centre wavelength; it can be calculated by multiplying the wavelength uncertainty by the fibre length L_a and the chromatic dispersion;
- $u_{Tb, \Theta}$ the time uncertainty due to the fibre's temperature coefficient; typical value: 1 cm/(km °C) within the allowable temperature range;
- $u_{Tb, MD}$ the time uncertainty due to the modal dispersion at the applied launch condition.

The uncertainty of the lead-in transit time u_{Ta} should be accumulated, by root-sum-squaring, from the following contributions:

- $u_{Ta, \text{counter}}$ the time uncertainty, in seconds, due to the digital counter, as caused by clock frequency uncertainty, time interval resolution and setting the trigger amplitude;
- $u_{Ta, \text{type A}}$ the time uncertainty type A, in seconds, for example as caused by timing jitter; it can be obtained from a series of successive counter readings;

- $u_{Ta,\lambda}$ the time uncertainty, in seconds, due to the uncertainty of the E/O converter's centre wavelength; it can be calculated by multiplying the wavelength uncertainty by the fibre length L_a and the chromatic dispersion;
- $u_{Ta,\Theta}$ the time uncertainty due to the fibre's temperature coefficient; typical value: 1 cm/(km °C) within the allowable temperature range;
- $u_{Ta,MD}$ the time uncertainty due to the modal dispersion at the applied launch condition.

Additional contributions may have to be taken into account, depending on the measurement set-up and procedure.

A.4 Documentation

The following calibration results shall be supplied with the recirculating delay line

- a) approximate lengths of lead-in fibre and loop;
- b) measured transit times of lead-in fibre and loop;
- c) centroidal wavelength of the E/O converter;
- d) time uncertainties $\pm 2 u_{Ta}$ and $\pm 2 u_{Tb}$ as calculated according to Clause A.3.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61746-2:2010

Annex B (normative)

Mathematical basis

B.0 Introduction

This annex summaries the form of evaluating, combining and reporting the uncertainty of measurement. It is based on the "Guide to the expression of uncertainty in measurement" (ISO/IEC Guide 98-3(GUM)). It does not relieve the need to consult this guide for more advice.

This standard distinguishes two types of evaluation of uncertainty of measurement. Type A is the method of evaluation of uncertainty by the statistical analysis of a series of measurements on the same measurand. Type B is the method of evaluation of uncertainty based on other knowledge.

B.1 Type A evaluation of uncertainty

The type A evaluation of standard uncertainty can be applied when several independent observations have been made for a quantity under the same conditions of measurement.

For a quantity X estimated from n independent repeated observations X_k , the arithmetic mean is

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n X_k \quad (\text{B.1})$$

This mean is used as the estimate of the quantity, that is $x = \bar{X}$. The experimental standard deviation of the observations is given by

$$s(X) = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (X_k - \bar{X})^2 \right]^{1/2} \quad (\text{B.2})$$

where

$\bar{X}$ is the arithmetic mean of the observed values;

X_k are the measurement samples of a series of measurements;

n is the number of measurements; it is assumed to be large, for example, $n \geq 10$.

The type A standard uncertainty $u_{\text{typeA}}(x)$ associated with the estimate x is the experimental standard deviation of the mean

$$u_{\text{typeA}}(x) = s(\bar{X}) = \frac{s(X)}{\sqrt{n}} \quad (\text{B.3})$$

B.2 Type B evaluation of uncertainty

The type B evaluation of standard uncertainty is the method of evaluating the uncertainty by means other than the statistical analysis of a series of observations. It is evaluated by scientific judgement based on all available information on the variability of the quantity.

If the estimate x of a quantity X is taken from a manufacturer's specification, calibration certificate, handbook, or other source and its quoted uncertainty $U(x)$ is stated to be a multiple

k of a standard deviation, the standard uncertainty $u(x)$ is simply the quoted value divided by the multiplier.

$$u(x) = U(x) / k \quad (\text{B.4})$$

If only upper and lower limit $X_{\max}$ and $X_{\min}$ can be estimated for the value of the quantity X (for example a manufacturer's specifications or a temperature range), a rectangular probability distribution is assumed, the estimated value is

$$x = \frac{1}{2}(X_{\max} + X_{\min}) \quad (\text{B.5})$$

and the standard uncertainty is

$$u(x) = \frac{1}{2\sqrt{3}}(X_{\max} - X_{\min}) \quad (\text{B.6})$$

The contribution to the standard uncertainty associated with the output estimate y resulting from the standard uncertainty associated with the input estimate x is

$$u(y) = c \times u(x) \quad (\text{B.7})$$

where c is the sensitivity coefficient associated with the input estimate x , that is the partial derivative of the model function $y(x)$, evaluated at the input estimate x .

$$c = \frac{\partial y}{\partial x} \quad (\text{B.8})$$

The sensitivity coefficient c describes the extent to which the output estimate y is influenced by variations of the input estimate x . It can be evaluated by Equation (B.8) or by using numerical methods, that is by calculating the change in the output estimate y due to a change in the input estimate x from a model function. Sometimes, it may be more appropriate to find the change in the output estimate y due to the change of x from an experiment.

B.3 Determining the combined standard measurement uncertainty

The combined standard measurement uncertainty is used to collect a number of individual uncertainties into a single number. The combined standard measurement uncertainty is based on statistical independence of the individual uncertainties, it is calculated by root-sum-squaring all standard uncertainties obtained from type A and type B evaluation

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n u_i^2(y)} \quad (\text{B.9})$$

where

i is the current number of individual contribution;

$u_i(y)$ are the standard uncertainty contributions;

n is the number of uncertainties.

NOTE It is acceptable to neglect uncertainty contributions to this equation that are smaller than 1/10 of the largest contribution, because squaring them will reduce their significance to 1/100 of the largest contribution.

When the quantities above are to be used as the basis for further uncertainty computations, then the combined standard measurement uncertainty, u_c , can be re-inserted into Equation

(B.9). Despite its partially type A origin, u_c should be considered as describing an uncertainty of type B.

B.4 Reporting

In calibration reports and technical data sheets, combined standard measurement uncertainties shall be reported in the form of expanded measurement uncertainties, together with the applicable level of confidence. Correction factors or deviations shall be reported. The expanded measurement uncertainty U is obtained by multiplying the standard uncertainty $u_c(y)$ by a coverage factor k :

$$U = k \times u_c(y) \quad (\text{B.10})$$

For a coverage probability of approximately 95 %, the default level, then $k = 2$. If a level of confidence of approximately 99 % is chosen, then $k = 3$. The above values for k are valid under some conditions, see ISO/IEC Guide 98-3 (GUM); if these conditions are not met, larger coverage factors are to be used to reach these levels of confidence.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61746-2:2010

Bibliography

- [1] IEC 60050-731:1991, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 731: Optical fibre communication*
- [2] IEC 60793-1-1, *Optical Fibres – Part 1-1: Measurement methods and test procedures – General and guidance*
- [3] IEC 60793-1-40, *Optical fibres – Part 1-40: Measurement methods and test procedures – Attenuation*
- [4] IEC 60794-1-2, *Optical fibre cables – Part 1-2: Generic specification – Basic optical cable test procedures*
- [5] IEC 60825-1, *Safety of laser products – Part 1: Equipment classification and requirements*
- [6] IEC 60825-2, *Safety of laser products – Part 2: Safety of optical fibre communication systems (OFCS)*
- [7] IEC 61280-1-3, *Fibre optic communication subsystem test procedures – Part 1-3: General communication subsystems – Central wavelength and spectral width measurement*
- [8] IEC 61280-2-10, *Fibre optic communication subsystem test procedures – Part 2-10: Digital systems – Time-resolved chirp and alpha-factor measurement of laser transmitters*
- [9] IEC 61300-3-6, *Fibre optic interconnecting devices and passive components – Basic test and measurement procedures – Part 3-6: Examinations and measurements – Return loss*
- [10] IEC/TR 61930:1998, *Fibre optic graphical symbology*
- [11] IEC/TR 61931, *Fibre optic – Terminology*
- [12] VIM: 1993, *International vocabulary of basic and general terms in metrology*
- [13] ISO/IEC Guide 98-3, *Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM)*
- [14] DANIELSON, DL. *Backscatter measurements on optical fibers*, NBS Technical Note 1034, US Department of Commerce, 1981
- [15] KAPRON, FP. et al. *Fiber-optic reflection measurements using OCWR and OTDR techniques*. Journal of Lightwave Technology. Vol 7, No 8, August 1989

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61746-2:2010

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	48
INTRODUCTION	50
1 Domaine d'application	51
2 Références normatives	51
3 Termes, définitions et symboles	51
4 Préparation pour l'étalonnage	57
4.1 Organisation	57
4.2 Traçabilité	57
4.3 Préparation	57
4.4 Conditions d'essai	57
4.5 Documentation	58
5 Étalonnage des distances – Généralités	58
5.1 Généralités	58
5.2 Modèle d'écart de position	59
5.3 Utilisation des résultats d'étalonnage	60
5.4 Mesure des longueurs de fibre	61
6 Méthodes d'étalonnage des distances	62
6.1 Généralités	62
6.2 Méthode de la source externe	62
6.2.1 Description sommaire et avantages	62
6.2.2 Équipement	62
6.2.3 Étalonnage du banc de mesure	63
6.2.4 Procédure de mesure	65
6.2.5 Calculs et résultats	66
6.2.6 Incertitudes	66
6.3 Méthode des ajouts de fibres (utilisant des fibres multimodales)	68
6.3.1 Description sommaire et avantages	68
6.3.2 Équipement	68
6.3.3 Procédures de mesure	69
6.3.4 Calculs et résultats	70
6.3.5 Incertitudes	70
6.4 Méthode de la boucle de retard	72
6.4.1 Description sommaire et avantages	72
6.4.2 Équipement	72
6.4.3 Procédure de mesure	73
6.4.4 Calculs et résultats	74
6.4.5 Incertitudes	74
7 Étalonnage de l'axe vertical – Généralités	76
7.1 Généralités	76
7.2 Étalonnage de différence d'affaiblissements	76
7.2.1 Détermination du niveau de puissance affiché F	76
7.2.2 Élaboration d'un plan d'essai	77
7.3 Caractérisation du champ proche de la source de l'OTDR	79
7.3.1 Objectifs et références	79
7.3.2 Procédure	79

8	Méthode d'étalonnage de différence d'affaiblissements	80
8.1	Généralités	80
8.2	Méthode «longue fibre»	80
8.2.1	Description sommaire	80
8.2.2	Équipement	80
8.2.3	Procédure de mesure.....	82
8.2.4	Calcul et résultats	82
	Annexe A (normative) Boucle de retard multimodale pour l'étalonnage des distances	83
	Annexe B (normative) Bases mathématiques	87
	Bibliographie	90
	Figure 1 – Définition de la zone morte en affaiblissement	52
	Figure 2 – Représentation de l'écart de position $\square(L)$	60
	Figure 3 – Banc de mesure pour l'étalonnage de l'échelle des distances – Méthode de la source externe	63
	Figure 4 – Montage pour l'étalonnage du retard à l'insertion du système	64
	Figure 5 – Ajouts de fibres utilisés pour l'étalonnage de l'échelle des distances	68
	Figure 6 – Étalonnage des distances au moyen d'une boucle de retard	72
	Figure 7 – Trace de l'OTDR produite par une boucle de retard.....	73
	Figure 8 – Détermination du niveau de référence et du niveau de puissance affiché.....	77
	Figure 9 – Région A, recommandée pour les échantillons de mesure d'affaiblissement	78
	Figure 10 – Placement possible des points d'échantillons à l'intérieur de la région A	79
	Figure 11 – Mesure de la linéarité avec une longue fibre.....	81
	Figure 12 – Placement du début de la section D1 hors de la zone morte en affaiblissement.....	81
	Figure A.1 – Boucle de retard.....	83
	Figure A.2 – Montage de mesure du temps de propagation de la boucle T_b	84
	Figure A.3 – Banc d'étalonnage du temps de propagation dans la fibre amorce T_a	85
	Tableau 1 – Incertitudes supplémentaires sur la distance	61
	Tableau 2 – Affaiblissement linéique définissant la région A	77

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ÉTALONNAGE DES RÉFLECTOMÈTRES OPTIQUES DANS LE DOMAINE TEMPOREL (OTDR) –

Partie 2: OTDR pour fibres multimodales

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation, composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC 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, l'IEC – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de l'IEC"). 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 l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC 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 l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC 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 l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 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 l'IEC, 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 l'IEC, 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 l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC 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 l'IEC peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. L'IEC 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 Norme internationale IEC 61746-2 a été établie par le comité d'études 86 de l'IEC: Fibres optiques.

La présente version bilingue (2015-12) correspond à la version anglaise monolingue publiée en 2010-06.

Le texte anglais de cette norme est issu des documents 86/336/CDV et 86/359/RVC.

Le rapport de vote 86/359/RVC donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

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

Une liste de toutes les parties de la série IEC 61746, publiées sous le titre général *Étalonnage des réflectomètres optiques dans le domaine temporel (OTDR)*, est disponible sur le site internet de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de maintenance indiquée sur le site web de l'IEC sous «<http://webstore.iec.ch>» dans les données relatives à la publication recherchée. 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 61746-2:2010

INTRODUCTION

Pour qu'un réflectomètre optique dans le domaine temporel (OTDR) puisse être étalonné complètement selon la présente norme, il faut qu'il soit au minimum équipé des fonctions et dispositifs suivants:

- a) la possibilité de mesurer des fibres de type A1a ou A1b de l'IEC 60793-2-10;
- b) un indice de réfraction programmable, ou un paramètre équivalent;
- c) la possibilité d'afficher une représentation graphique du signal, avec une échelle de puissance logarithmique et une échelle de distance linéaire;
- d) deux marqueurs ou curseurs, qui affichent l'affaiblissement et la distance entre deux points quelconques de la courbe affichée du signal;
- e) la possibilité de mesurer la distance absolue (position) à partir du point de référence zéro de l'OTDR;
- f) la possibilité de mesurer le niveau de puissance affiché par rapport à un niveau de référence (par exemple le niveau de saturation).

Les méthodes d'étalonnage décrites dans la présente norme peuvent ressembler à celles présentées dans la Partie 1 de la présente série. Ces méthodes comportent toutefois les différences suivantes: mélange de différents types de fibres, utilisation de conditionneur de mode ou différentes dispositions des fibres. Cela conduit à différents processus d'étalonnage et différentes analyses de l'incertitude.

ÉTALONNAGE DES RÉFLECTOMÈTRES OPTIQUES DANS LE DOMAINE TEMPOREL (OTDR) –

Partie 2: OTDR pour fibres multimodales

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 61746 fournit des procédures destinées à l'étalonnage des réflectomètres optiques dans le domaine de temps pour fibres multimodales (OTDR). Elle traite des erreurs de mesure et incertitudes de l'OTDR. L'essai des conditions modales des sources laser est une mesure facultative.

La présente norme ne couvre pas la correction de la réponse de l'OTDR.

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).

IEC 60793-2-10, *Fibres optiques – Partie 2-10: Spécifications de produits – Spécification intermédiaire pour les fibres multimodales de catégorie A1*

IEC 60793-2-50, *Fibres optiques – Partie 2-50: Spécifications de produits – Spécification intermédiaire pour les fibres unimodales de classe B*

IEC 61280-1-4, *Procédures d'essai des sous-systèmes de communication par fibres optiques – Partie 1-4: Sous-systèmes généraux de télécommunication – Recueil et réduction de données à deux dimensions de champs proches pour les émetteurs de laser à fibres multimodales*

IEC 61280-4-1, *Procédures d'essai des sous-systèmes de communication par fibres optiques – Partie 4-1: Installation câblées – Mesure de l'affaiblissement en multimodal*

IEC 61745, *Procédure d'analyse d'image d'extrémité pour l'étalonnage de dispositifs d'essais de géométrie des fibres optiques*

ISO/IEC 17025, *Exigences générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essais*

3 Termes, définitions et symboles

Pour les besoins du présent document, les termes, définitions et symboles suivants s'appliquent.

NOTE Il convient de se reporter aux références de l'IEC 60050-731 pour disposer de définitions plus précises.

3.1 affaiblissement

A
perte

décroissance de la puissance optique, exprimée en décibels (dB)

NOTE Si P_{in} (watts) représente la puissance entrant à une extrémité d'un segment de fibre et P_{out} (watts) représente la puissance sortant à l'autre extrémité, alors l'affaiblissement du segment est:

$$A = 10 \log_{10} \left(\frac{P_{in}}{P_{out}} \right) \text{ dB} \quad (1)$$

[VEI 731-01-48, modifiée]

3.2

affaiblissement linéique

α

affaiblissement (3.1) d'une fibre par unité de longueur

[VEI 731-03-42, modifiée]

3.3

zone morte en affaiblissement

pour un événement réfléchissant ou affaiblissant, la région après l'événement où la courbe affichée s'écarte de la courbe de rétrodiffusion non perturbée de plus d'une distance verticale ΔF donnée

NOTE La zone morte en affaiblissement dépend des paramètres suivants: réflectance, affaiblissement, niveau de puissance affiché et position. Elle peut aussi dépendre des composants optiques se situant en amont de l'événement.

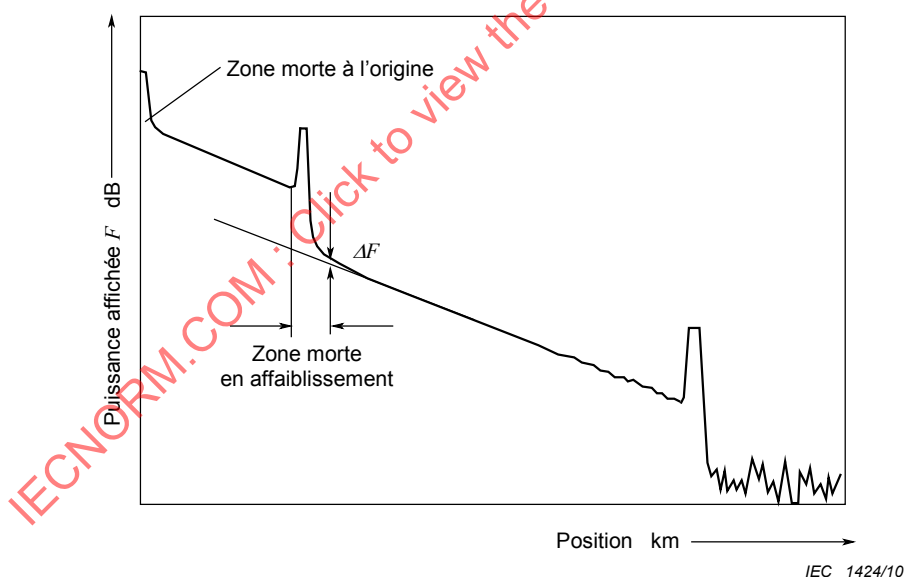


Figure 1 – Définition de la zone morte en affaiblissement

3.4

étalonnage

ensemble des opérations établissant, dans des conditions spécifiées, la relation entre les valeurs de la grandeur indiquées par l'instrument de mesure et les valeurs connues correspondantes de la grandeur

NOTE Voir le Guide ISO *Vocabulaire international des termes fondamentaux et généraux de métrologie*.

3.5**longueur d'onde centrale** λ_{avg}

longueur d'onde moyenne pondérée en puissance d'une source de lumière dans le vide

[IEC 61280-1-3, définition 2.1.4]

3.6**niveau de puissance affiché** F

niveau de puissance affiché sur l'échelle de puissance de l'OTDR

NOTE 1 Sauf spécification contraire, F est défini par rapport au niveau de saturation (voir Figure 8).

NOTE 2 Habituellement, l'échelle d'un OTDR affiche cinq fois le logarithme de la puissance reçue, plus un décalage constant.

3.7**distance** D

espacement entre deux événements

NOTE Généralement exprimé en mètres.

3.8**erreur d'échantillonnage en distance** ΔL_{sample}

valeur maximale de l'erreur en distance (3.7) attribuable à la distance entre deux points d'échantillonnage successifs

NOTE 1 Généralement exprimé en mètres.

NOTE 2 L'erreur d'échantillonnage en distance est de nature répétitive, l'utilisation de son amplitude est donc une manière de la quantifier.

3.9**écart d'échelle des distances** ΔS_L différence entre la distance (3.7) moyenne affichée $\langle D_{\text{otdr}} \rangle$ et la distance de référence (3.27) correspondante D_{ref} divisée par la distance de référence (3.27)

NOTE 1 Généralement exprimé en m/m.

NOTE 2 ΔS_L est donné par la formule suivante:

$$\Delta S_L = \frac{\langle D_{\text{otdr}} \rangle - D_{\text{ref}}}{D_{\text{ref}}} = \frac{\langle D_{\text{otdr}} \rangle}{D_{\text{ref}}} - 1 \quad (2)$$

où $\langle D_{\text{otdr}} \rangle$ est la distance affichée sur la fibre, moyennée sur au moins un pas d'échantillonnage.**3.10****facteur d'échelle en distance** S_L

moyenne de la distance (3.7) affichée divisée par la distance de référence (3.27) correspondante

NOTE 1 S_L est donné par la formule suivante:

$$S_L = \frac{\langle D_{\text{otdr}} \rangle}{D_{\text{ref}}} \quad (3)$$

où $\langle D_{\text{otdr}} \rangle$ est la distance affichée entre deux événements (réels ou simulés) sur la fibre, moyennée sur au moins un pas d'échantillonnage.

3.11

incertitude sur l'échelle des distances

$u_{\Delta\text{SL}}$

incertitude de l'écart d'échelle des distances (3.9)

NOTE 1 Généralement exprimé en m/m.

NOTE 2 $u_{\Delta\text{SL}}$ est donné par la formule suivante:

$$u_{\Delta\text{SL}} = u\left(\frac{\langle D_{\text{otdr}} \rangle}{D_{\text{ref}}} - 1\right) = u\left(\frac{\langle D_{\text{otdr}} \rangle}{D_{\text{ref}}}\right) \quad (4)$$

NOTE 3 Dans la formule ci-dessus, $u()$ est compris comme étant l'incertitude type de $()$.

3.12

dynamique à 98 % (aller simple)

amplitude d'affaiblissement (3.1) de la fibre nécessaire pour que le signal de rétrodiffusion soit égal au niveau de bruit à 98 % (3.24)

NOTE Elle peut être obtenue par la différence entre le point extrapolé de la courbe de rétrodiffusion (pris à l'intersection de l'axe des affaiblissements) et le niveau de bruit exprimé en décibels, en utilisant une fibre normale de catégorie A (voir IEC 60793-2-10).

3.13

flux inscrit

EF (en anglais *encircled flux*)

fraction de la puissance du champ proche cumulée sur la puissance de sortie totale en fonction de la distance radiale depuis le centre du cœur

3.14

indice de groupe

N

nombre par lequel la vitesse de la lumière dans le vide doit être divisée pour obtenir la vitesse de propagation des impulsions optiques dans la fibre

3.15

position

L (en anglais *location*)

distance entre la face avant de l'OTDR et un événement sur la fibre

NOTE Généralement exprimé en mètres

3.16

écart de position

ΔL

position (3.15) affichée d'un événement L_{otdr} moins la position de référence (3.28) L_{ref}

NOTE 1 Généralement exprimé en mètres.

NOTE 2 Cet écart est fonction de la position.

3.17

décalage de position

ΔL_0

terme constant du modèle d'écart de position (3.16)

NOTE 1 Généralement exprimé en mètres.

NOTE 2 Ce décalage est approximativement équivalent à la position du connecteur de face avant de l'OTDR sur l'échelle des distances de l'instrument.

NOTE 3 Pour un OTDR parfait, le décalage de position est zéro.

3.18

incertitude de décalage de position

$u_{\Delta L_0}$

incertitude du décalage de position (3.17)

3.19

incertitude d'affichage de position

$u_{L_{readout}}$

incertitude des échantillons de mesure de position (3.15) due à la fois à l'erreur d'échantillonnage en distance (3.8) et à l'incertitude de type A sur les échantillons de mesure

3.20

écart d'affaiblissement

ΔA

différence entre l'affaiblissement affiché d'un composant de la fibre A_{otdr} et l'affaiblissement de référence (3.29) A_{ref} en dB

NOTE 1 ΔA est donné par la formule suivante:

$$\Delta A = A_{otdr} - A_{ref} \quad (5)$$

NOTE 2 L'écart d'affaiblissement dépend habituellement du niveau de puissance affiché, F .

3.21

incertitude d'affaiblissement

$u_{\Delta A}$

incertitude de l'écart d'affaiblissement (3.20), en dB

3.22

écart d'échelle d'affaiblissement

ΔS_A

différence entre l'affaiblissement affiché d'un composant de la fibre A_{otdr} et l'affaiblissement de référence (3.29) A_{ref} , divisée par l'affaiblissement de référence (3.29), en dB/dB

NOTE 1 ΔS_A est donné par la formule suivante:

$$\Delta S_A = \frac{A_{otdr} - A_{ref}}{A_{ref}} \quad (6)$$

NOTE 2 Se reporter à 7.1 pour plus d'informations.

3.23

conditionneur de mode

un jeu de fibres qui convertit toute distribution de puissance à son entrée en une distribution de puissance de sortie entièrement conforme aux limites du flux inscrit

NOTE Dans le cadre de la présente norme, les limites du flux inscrit sont définies par l'IEC 61280-4-1.

3.24

niveau de bruit à 98 %

limite supérieure d'un ensemble de points de bruit contenant au moins 98 % de tous les points de bruit

3.25

non-linéarité

NL_{loss}

différence entre les valeurs maximale et minimale de l'écart d'affaiblissement (3.20) ΔA pour une gamme de niveaux de puissance donnée, en dB

NOTE 1 Il s'agit de la non-linéarité d'une échelle de puissance logarithmique.

NOTE 2 La non-linéarité est une contribution à l'écart d'affaiblissement; elle dépend habituellement du niveau de puissance affiché et de la position.

3.26

niveau de puissance reçu

P

puissance reçue par l'OTDR sur sa connexion optique

3.27

distance de référence

D_{ref}

distance (3.7) déterminée précisément par un instrument de mesure dont l'étalonnage satisfait aux normes nationales ou internationales

NOTE Généralement exprimé en mètres.

3.28

position de référence

L_{ref}

position (3.15) déterminée précisément par un instrument de mesure dont l'étalonnage satisfait aux normes nationales ou internationales

NOTE Généralement exprimé en mètres.

3.29

affaiblissement de référence

A_{ref}

affaiblissement d'un composant de fibre optique déterminé précisément par un instrument de mesure dont l'étalonnage satisfait aux normes nationales ou internationales

3.30

dynamique efficace (aller simple)

amplitude d'affaiblissement (3.1) de la fibre nécessaire pour que le signal de rétrodiffusion soit égal au niveau de bruit efficace (3.31)

NOTE En supposant que la distribution du bruit est gaussienne, la dynamique efficace peut être calculée en ajoutant 1,56 dB à la dynamique en aller simple. Voir 3.31.

3.31

niveau de bruit efficace

la moyenne quadratique du bruit

NOTE 1 Généralement, le niveau de bruit efficace ne peut pas être lu ni extrait des données logarithmiques de l'OTDR. Ceci est dû au fait que la conversion logarithmique utilisée pour afficher le niveau de puissance en dB retire la partie négative du bruit.

NOTE 2 En supposant que la distribution du bruit est gaussienne, on peut trouver une relation entre le niveau de bruit et le niveau de bruit efficace à l'aide de la formule suivante

$$Noise_{98} - Noise_{rms} = 5 \times \log_{10}(2,05375) = 1,56 \text{ dB} \quad (7)$$

où $Noise_{98}$ est le niveau de bruit à 98 %, par exemple en dB;

$Noise_{rms}$ est le niveau de bruit efficace, par exemple en dB;

2,05375 est la valeur de la distribution normale standard inverse pour 98 %.

3.32

pas d'échantillonnage

distance entre deux points consécutifs numérisés par l'OTDR

NOTE 1 Généralement exprimé en mètres.

NOTE 2 Le pas d'échantillonnage peut être obtenu à partir des informations de configuration de l'instrument. Le pas d'échantillonnage peut être fonction de la longueur de balayage horizontal et d'autres paramètres de configuration de l'OTDR.

3.33

largeur spectrale

$\Delta\lambda_{FWHM}$

largeur totale à mi-hauteur du spectre (FWHM) de la source

[IEC 61280-1-3, définition 3.2.3 modifiée]

4 Préparation pour l'étalonnage

4.1 Organisation

Il convient que le laboratoire d'étalonnage satisfasse aux exigences de l'ISO/IEC 17025.

Il convient d'avoir une procédure de mesure documentée pour chaque type d'étalonnage effectué, donnant les instructions de fonctionnement étape par étape et indiquant les équipements à utiliser.

4.2 Traçabilité

Il convient que les exigences de l'ISO/IEC 17025 soient satisfaites.

Toutes les normes utilisées dans le processus d'étalonnage doivent être étalonnées conformément à un programme documenté avec une traçabilité reconnue par les laboratoires de normes nationales ou par les laboratoires d'étalonnage agréés. Il est recommandé de maintenir plusieurs normes sur chaque niveau hiérarchique, de sorte que les performances de la norme puissent être vérifiées par des comparaisons sur le même niveau. S'assurer que tous les équipements d'essai ayant une influence significative sur les résultats de l'étalonnage sont étalonnés. Si la demande en est faite, décrire ces équipements d'essai et leurs chaînes de traçabilité. La périodicité des vérifications doit être définie et documentée.

4.3 Préparation

Sauf spécification contraire, effectuer tous les essais à une température ambiante de $23\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$. Mettre les équipements d'essai en place au minimum 2 h avant les essais, de manière à atteindre un équilibre avec les conditions de leur environnement. Laisser à l'OTDR un temps de mise en température conforme aux instructions du constructeur.

4.4 Conditions d'essai

Les conditions d'essais se caractérisent en général par les paramètres externes à l'OTDR suivants: date, température, couple connecteur- raccord et utilisation d'une fibre amorce.

Effectuer l'étalonnage conformément aux spécifications et aux modes opératoires du constructeur. Lorsque cela est possible, sélectionner une gamme de conditions et de paramètres de manière à simuler le domaine d'utilisation réel de l'OTDR soumis à l'essai. Sélectionner ces paramètres afin d'optimiser la précision de l'OTDR et ses capacités de résolution (par exemple fenêtres de visualisation, caractéristiques du zoom, etc.), comme indiqué dans les modes opératoires du constructeur.

Les conditions d'essais prennent généralement en compte les paramètres de l'OTDR suivants: temps de moyennage, largeur d'impulsion, pas d'échantillonnage, longueur d'onde centrale. Sauf spécification contraire, régler la valeur de l'indice de groupe de l'OTDR à exactement 1,46.

NOTE 1 Les résultats de l'étalonnage ne sont valables que pour les conditions de mesures utilisées dans la procédure d'étalonnage.

NOTE 2 Du fait du risque de radiations dangereuses, s'assurer que les conditions de sécurité concernant le laser sont remplies et maintenues. Se référer à l'IEC 60825-1 et à l'IEC 60825-2.

4.5 Documentation

Les certificats d'étalonnage doivent inclure les informations et incertitudes suivantes:

- le décalage de position ΔL_0 et son incertitude $\pm 2 u_{\Delta L_0}$ ainsi que l'écart d'échelle des distances ΔS_L et son incertitude $\pm 2 u_{\Delta S_L}$ ou les écarts de position ΔL_i et leurs incertitudes $\pm 2 u_{\Delta L_i}$;
- la non-linéarité NL_{loss} ;
- la configuration des instruments (largeur d'impulsion, la gamme de mesure horizontale, la longueur d'onde, le temps de calcul de la moyenne, etc) utilisée pendant l'étalonnage;
- d'autre données d'étalonnage appropriées et d'autres exigences du certificat d'étalonnage selon l'ISO/IEC 17025.

5 Étalonnage des distances – Généralités

5.1 Généralités

L'objectif de l'étalonnage des distances est de déterminer les écarts (erreurs) entre les distances mesurées et les distances réelles entre des points d'une fibre, et de caractériser les incertitudes de ces écarts.

Un OTDR mesure la position L d'un événement par rapport au point de connexion de la fibre sur l'appareil, en mesurant le temps de parcours aller-retour T d'une impulsion lumineuse jusqu'à cet événement. L est déduit de T à l'aide de la vitesse de propagation de la lumière dans le vide c ($2,997\,924\,58 \times 10^8$ m/s) et de l'indice de groupe N de la fibre:

$$L = \frac{cT}{2N} \quad (8)$$

Les erreurs sur la mesure de L proviennent d'erreurs d'échelles, de décalages de la base de temps de l'OTDR et d'erreurs de positionnement de l'événement par rapport à la base de temps. Le placement d'un marqueur destiné à mesurer la position de l'événement peut être effectué manuellement ou de façon automatique par l'instrument. Généralement, l'erreur de mesure dépend à la fois de la méthode de placement du marqueur et du type d'événement (par exemple affaiblissement ponctuel, forte réflexion qui sature le récepteur ou faible réflexion sans saturation).

Même des erreurs plus importantes sur la mesure de L peuvent provenir de l'incertitude sur la détermination de l'indice de groupe N de la fibre multimodale et en tenant compte du retard différentiel de mode. La détermination de N et l'analyse des conséquences du retard différentiel de mode ne sont pas l'objet de la présente norme. C'est pourquoi les procédures d'étalonnage ci-après n'examinent que la capacité de l'OTDR à mesurer T correctement. Dans cette norme, on utilise une valeur par défaut $N = 1,46$ et l'on considère l'incertitude sur N comme nulle. Les méthodes d'étalonnage sont également construites pour limiter les incertitudes dues au retard différentiel de mode.

5.2 Modèle d'écart de position

Afin de caractériser les écarts de localisation, on admet un modèle spécifique décrivant le comportement de la plupart des OTDR. Soit L_{ref} la position de référence d'un événement par rapport au connecteur d'entrée de l'OTDR et L_{otdr} la position affichée. On admet que la position affichée L_{otdr} , après élimination du bruit à l'aide du moyennage de l'OTDR, est fonction de la position de référence L_{ref}

$$L_{otdr} = S_L \cdot L_{ref} + \Delta L_0 + f(L_{ref}) \quad (9)$$

où

S_L est le facteur d'échelle, dont il convient que la valeur idéale soit 1;

ΔL_0 est le décalage de position, dont il convient que la valeur idéale soit 0;

$f(L_{ref})$ représente l'erreur d'échantillonnage en distance, dont la valeur idéale est aussi 0. Il s'agit d'une fonction périodique, dont la valeur moyenne est zéro et la période est égale à la distance entre deux points d'échantillonnage de l'OTDR. Par exemple, si on localise une réflexion large en plaçant un marqueur sur le premier point de la courbe montrant une augmentation du signal et si la position de la réflexion est modifiée pas à pas, $f(L_{ref})$ peut avoir l'aspect d'une forme d'onde à rampe périodique.

L'équation (9) a pour objectif de caractériser les erreurs connues des mesures de position, mais il peut toujours s'ajouter une incertitude de type A à celles-ci. Cela affectera à la fois la mesure des distances et la précision avec laquelle les paramètres qui décrivent les erreurs peuvent être déterminés par les procédures ci-après.

S_L et ΔL_0 peuvent être déterminés en mesurant L_{otdr} pour différentes valeurs de L_{ref} et en traçant ensuite une droite à partir des données obtenues, en utilisant la méthode des moindres carrés. S_L et ΔL_0 sont, respectivement, la pente et l'ordonnée à l'origine de la droite.

De la même manière, une droite peut être associée à la fonction écart de position, c'est-à-dire la différence entre L_{otdr} et L_{ref} :

$$\Delta L = L_{otdr} - L_{ref} = \Delta S_L \cdot L_{ref} + \Delta L_0 + f(L_{ref}) \quad (10)$$

où

ΔS_L est la pente, et

ΔL_0 est l'ordonnée à l'origine, comme le montre la Figure 2.

Après une approximation linéaire, il est possible de déterminer l'erreur d'échantillonnage en distance $f(L_{ref})$ et sa demi-amplitude $\Delta L_{readout}$ en mesurant les écarts par rapport à la droite pour différentes valeurs de L_{ref} . L'amplitude de l'erreur d'échantillonnage en distance ΔL_{sample} est prise comme la moitié de l'amplitude de $f(L_{ref})$.

Dans cette norme, l'amplitude de l'erreur d'échantillonnage en distance ΔL_{sample} est considérée comme partie intégrante de l'incertitude de type A sur la position affichée. Le résultat de l'incertitude énoncé ignore ainsi la nature répétitive de l'erreur d'échantillonnage, c'est-à-dire qu'il ne fait pas la distinction entre les contributions respectives de l'erreur d'échantillonnage et de l'incertitude de type A.

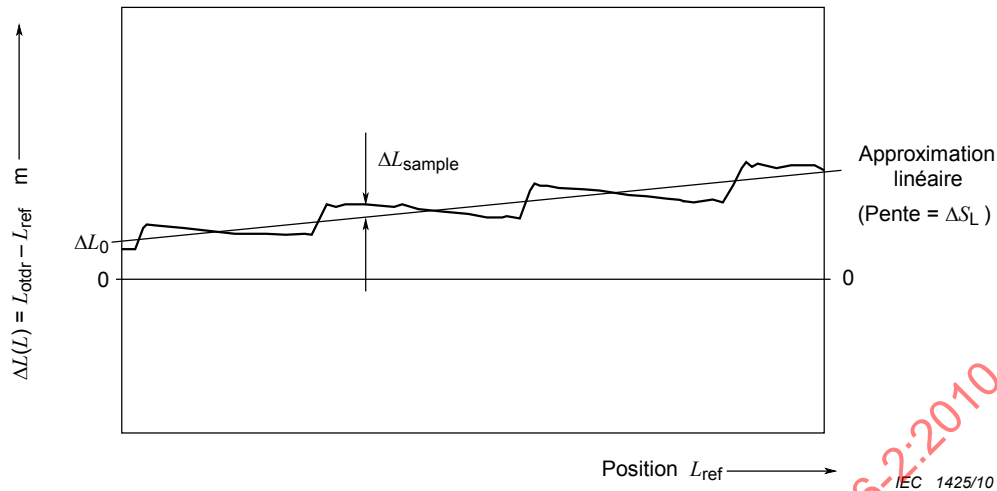


Figure 2 – Représentation de l'écart de position $\Delta L(L)$

En conséquence, le résultat de l'étalonnage des distances doit être déterminé par les paramètres suivants:

- $\Delta S_L, u_{\Delta S_L}$ est l'écart d'échelle des distances et son incertitude;
- $\Delta L_0, u_{\Delta L_0}$ est le décalage de position et son incertitude;
- $u_{L_{\text{readout}}}$ est l'incertitude d'affichage de position, c'est-à-dire combinaison de l'incertitude due à l'erreur d'échantillonnage en distance et de l'incertitude de type A des échantillons de mesure, mise sous la forme d'un écart type.

Conformément aux «bases mathématiques», diviser le plus grand écart par rapport à l'approximation des moindres carrés par la racine carrée de 3 pour déterminer $u_{L_{\text{readout}}}$. On notera que l'incertitude dépend de la distance, du niveau de puissance affiché et des réglages de l'appareil.

NOTE ΔL_{sample} représente l'erreur d'échantillonnage physique de l'instrument. Cette erreur est indiquée par la valeur $u_{L_{\text{readout}}}$ qui inclut le calcul de la distance et l'affichage des erreurs.

5.3 Utilisation des résultats d'étalonnage

L'erreur de position d'un événement $\Delta L = L_{\text{otdr}} - L_{\text{ref}}$ peut être calculée à partir des résultats d'étalonnage:

$$\Delta L = \Delta L_0 + L_{\text{ref}} \Delta S_L \quad (11)$$

avec l'incertitude dans ΔL donnée par l'équation suivante, pour laquelle le degré de confiance recommandé de 95 % est utilisé:

$$\pm 2u_{\Delta L} = \pm 2 \left(u_{\Delta L_0}^2 + L_{\text{ref}}^2 u_{\Delta S_L}^2 + u_{L_{\text{readout}}}^2 \right)^{1/2} \quad (11a)$$

où la position affichée L_{otdr} peut remplacer la position de référence L_{ref} sans engendrer de conséquences significatives.

De la même façon, l'erreur sur la distance entre deux événements ΔD et son incertitude peuvent être calculées à l'aide de l'équation suivante:

$$\Delta D = D_{\text{ref}} \Delta S_L \quad (12)$$

avec l'incertitude dans ΔD donnée par l'équation suivante:

$$\pm 2u_{\Delta D} = \pm 2 \left(D_{\text{ref}}^2 u_{\Delta SL}^2 + 2u_{\text{Lreadout}}^2 \right)^{1/2} \quad (12a)$$

où la distance affichée D_{otdr} peut remplacer la distance de référence D_{ref} .

NOTE Le 2 devant u_{Lreadout}^2 provient de la combinaison de deux incertitudes non corrélées.

Le retard différentiel de mode peut créer d'autres incertitudes sur la mesure de longues fibres. Il convient de négliger de telles incertitudes sur la distance données dans le Tableau 1.

Tableau 1 – Incertitudes supplémentaires sur la distance

Longueur d'onde nm	Longueur de fibre causant une incertitude supplémentaire sur la distance			
	IEC 60793- 2-10 A1a.1	IEC 60793- 2-10 A1a.2	IEC 60793- 2-10 A1b	IEC 60793- 2-10 A1d
850	1 000 m	7 500 m	500 m	50 m
1 300	1 000 m	2 500 m	1 000 m	500 m

Des incertitudes supplémentaires peuvent être à prendre en compte si le type d'événement rencontré diffère de celui utilisé pour l'étalonnage. Le type d'événement est indissociable des résultats de l'étalonnage et sera spécifié.

5.4 Mesure des longueurs de fibre

Comme indiqué précédemment, une méthode pour étalonner l'OTDR en distance consiste à mesurer avec l'OTDR des fibres de longueur connue. A plusieurs reprises dans cette norme, il est exigé de déterminer les longueurs de fibre en utilisant la mesure du temps de transit de préférence à une mesure mécanique. Cette méthode est directement compatible avec le principe de mesure de l'OTDR lui-même. De plus, le temps de transit est habituellement mesurable avec une plus grande précision que la longueur mécanique, particulièrement pour les grandes longueurs. C'est pourquoi il est recommandé, dans cette norme, d'utiliser le temps de transit plutôt que la longueur de fibre quand la précision demandée est importante.

Mesurer le temps de transit de la fibre T_{transit} à l'aide, par exemple, d'un générateur d'impulsion, d'une source laser pilotée, d'un convertisseur optique/électrique (convertisseur O/E) et d'un compteur d'intervalles de temps. Il est important que la source laser ait une longueur d'onde centrale λ_{centre} approximativement égale à celle de l'OTDR à tester, car une différence en longueur d'onde pourrait entraîner un écart sur le temps de transit dû à la dispersion chromatique de la fibre. A la place de la source laser, on peut utiliser l'OTDR lui-même pour produire des impulsions optiques. Dans ce cas, les deux longueurs d'onde centrales coïncident automatiquement. Enregistrer le temps de transit comme la différence des temps d'arrivée avec et sans fibre insérée entre la source laser et le convertisseur O/E.

Quand cette fibre est utilisée pour l'étalonnage des distances des OTDR, la distance de référence D_{ref} peut être calculée de la façon suivante:

$$D_{\text{ref}} = \frac{cT_{\text{transit}}}{N} \quad \text{m} \quad (13)$$

Dans cette équation, utiliser un indice de groupe N identique à celui qui est réglé sur l'OTDR. Le principe de mesure de temps permet d'utiliser D_{ref} comme distance de référence.

6 Méthodes d'étalonnage des distances

6.1 Généralités

Chacune des méthodes d'étalonnage décrites ci-dessous permet d'obtenir la totalité des résultats nécessaires à l'étalonnage: décalage de position, écart d'échelle des distances, ainsi que les incertitudes associées.

6.2 Méthode de la source externe

6.2.1 Description sommaire et avantages

La méthode de la source externe utilise un générateur de retard étalonné pour simuler le temps de retard dans une fibre et une source optique pour simuler le signal réfléchi ou diffusé d'une fibre.

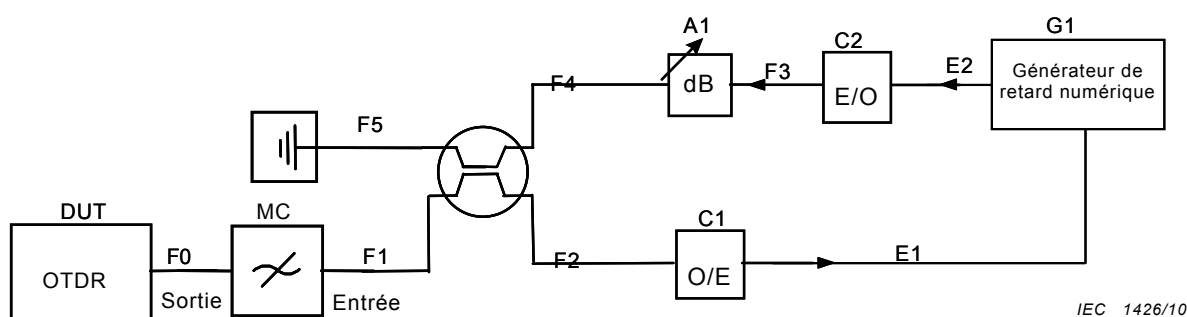
Chaque fois que c'est possible (par exemple lors d'un fonctionnement à 1300 nm), on utilise les fibres unimodales de l'IEC 60793-2-50 à la place de fibres multimodales pour les interconnexions, afin de réduire les incertitudes causées par un retard différentiel de mode.

Cette méthode est bien adaptée aux laboratoires automatisés effectuant des essais contrôlés par ordinateur. A des fins de simplification, seuls les événements réfléchissants sont étudiés dans cette norme. Pour étalonner un OTDR pour des événements non réfléchissants, il convient de remplacer le convertisseur E/O décrit ci-après par une source optique simulant l'événement adéquat.

6.2.2 Équipement

Outre l'OTDR, le banc de mesure comporte les éléments suivants, comme indiqué à la Figure 3:

- a) un conditionneur de mode;
- b) un coupleur optique unimodal;
- c) un convertisseur optique/électrique;
- d) un générateur de retard numérique capable d'impulsion;
- e) un convertisseur électrique/optique;
- f) un atténuateur optique variable, pour maintenir l'amplitude d'impulsion juste en dessous du niveau de saturation.



Légende

F0	fibre multimodale
F1, F2, F3, F4 et F5	fibres unimodales
MC	conditionneur de mode
E1 et E2	câbles électriques
E/O	convertisseur électrique/optique
O/E	convertisseur optique/électrique
A1	atténuateur variable

**Figure 3 – Banc de mesure pour l'étalonnage de l'échelle des distances –
Méthode de la source externe**

L'OTDR est connecté au coupleur par l'adaptateur multimodal – unimodal à conditionnement de mode. Le coupleur achemine le signal de l'OTDR vers le convertisseur O/E (détecteur). Le détecteur déclenche le générateur de retard qui, après une temporisation connue, déclenche une impulsion optique. Cette impulsion est ensuite renvoyée à l'OTDR par le coupleur.

Le convertisseur E/O peut être un simple laser pulsé simulant la réflexion. Pour étalonner l'échelle des distances en présence d'événements réfléchissants, une amplitude et une largeur d'impulsion constantes sont considérées comme suffisantes. Toutefois, l'atténuateur permet d'ajuster l'amplitude de l'impulsion en fonction de la distance entre la réflexion et la face avant de l'OTDR, de manière à simuler la modification de l'amplitude de la réflexion provoquée par l'affaiblissement de la fibre.

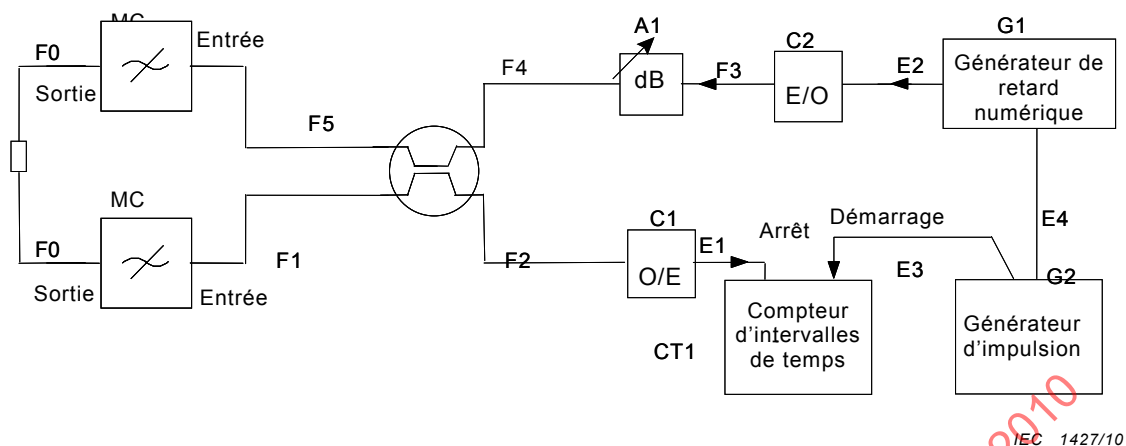
Afin de réaliser un étalonnage précis de ce montage, il est recommandé que les fibres F1 et F5 aient la même longueur (voir ci-après). La fibre F5 est terminée pour absorber les réflexions.

NOTE 1 Le conditionneur de mode est nécessaire pour garantir que l'OTDR reçoit les bonnes conditions d'amorce du convertisseur électrique/optique. Il convient donc que la fibre F0 soit connectée à la sortie du conditionneur de mode alors que la fibre F1 est connectée à son entrée.

NOTE 2 L'atténuation du chemin optique entre le connecteur de l'OTDR et le convertisseur optique/électrique peut être élevée. Ceci est acceptable parce que la puissance de sortie de l'OTDR est généralement suffisante.

6.2.3 Étalonnage du banc de mesure

Le banc de mesure «source externe» doit être correctement étalonné avant utilisation. On suppose le générateur de retard numérique étalonné de façon valable. Le calcul du décalage de position ΔL_0 à partir des données mesurées nécessite également la connaissance du retard à l'insertion T_{delay} de l'appareil. Celui-ci peut être obtenu en ajoutant au montage un générateur d'impulsion et un compteur d'intervalles de temps étalonné, comme indiqué à la Figure 4.



Légende

F0	fibre multimodale (deux pendant l'étalonnage)
MC	conditionneur de mode (deux pendant l'étalonnage)
F1, F2, F3, F4 et F5	fibres
E1, E2, E3 et E4	câbles électriques
C2	convertisseur électrique/optique
C1	convertisseur optique/électrique
A1	atténuateur variable

Figure 4 – Montage pour l'étalonnage du retard à l'insertion du système

Pour mesurer correctement le retard de propagation du conditionneur de mode, il est recommandé d'inclure dans le chemin optique un deuxième conditionneur de mode identique.

Pour étalonner le retard à l'insertion T_{delay} , on procédera de la manière indiquée ci-dessous.

Positionner le générateur d'impulsion en signaux rectangulaires. Choisir une période de répétition au moins deux fois plus longue que le retard à mesurer. Utiliser l'impulsion de sortie du générateur d'impulsion comme impulsion de départ du compteur d'intervalles de temps et comme commande externe du générateur de retard numérique. Positionner le générateur de retard sur déclenchement externe et annuler le retard pour le front du signal émis par le générateur d'impulsion. Régler les seuils de déclenchement du générateur de retard et du compteur de temps.

La source externe va ensuite générer une onde optique carrée qui, après reconversion en impulsion électrique, viendra arrêter le compteur d'intervalles de temps. Pour minimiser les incertitudes, il convient que les câbles électriques E3 et E4 soient de longueur égale. Il convient également que les fibres F1 et F5 soient de longueur égale. Il convient que les deux conditionneurs de mode et les deux fibres F0 soient de même longueur. On notera que les câbles utilisés sur les Figures 3 et 4, représentés par les mêmes chiffres, sont matériellement les mêmes. Optimiser le déclenchement du compteur d'intervalles de temps par le réglage de l'atténuateur variable. Enregistrer l'intervalle de temps (entre démarrage et arrêt) affiché sur le compteur comme étant le retard à l'insertion T_{delay} .

6.2.4 Procédure de mesure

6.2.4.1 Préparation

Sélectionner le mode de localisation de l'événement sur l'OTDR (automatique ou manuel). Régler l'atténuateur de manière à obtenir la ou les amplitudes d'impulsion désirées. Sélectionner la largeur d'impulsion sur le générateur de retard numérique, par exemple 1 µs.

Afin de réaliser un moyennage sur l'intervalle inter-échantillons de l'OTDR, choisir les réglages du générateur de retard T_i de sorte que les échantillons soient distribués aléatoirement sur une grande étendue de mesure. Pour donner une mesure valide, il convient de choisir le premier réglage de telle façon que l'impulsion apparaisse proche de la face avant de l'OTDR, mais suffisamment hors de la zone morte initiale. Si le laboratoire d'essais ne détermine pas, avec une validation analytique, une sélection d'intervalles d'échantillonnage différente, l'un ou l'autre des principes suivants doit être utilisé.

- a) Premier principe: évaluer l'espacement d'échantillonnage D_{sample} (pour un réglage approprié de l'OTDR), en dilatant par exemple la trace de l'OTDR. Calculer ensuite la différence de retard correspondante du générateur de retard T_{sample} en utilisant:

$$T_{\text{sample}} = \frac{2ND_{\text{sample}}}{c} \quad (14)$$

où N est l'indice de groupe réglé sur l'OTDR et c est la vitesse de la lumière dans le vide.

Effectuer ensuite le même calcul pour un nombre total i de réglages du générateur de retard, regroupés en k groupes de n réglages chacun ($i = kn$), chaque groupe recouvrant de manière uniforme un intervalle d'échantillonnage. Chaque groupe doit avoir la forme suivante:

$$T_K, T_K + \frac{T_{\text{sample}}}{n}, T_K + 2\frac{T_{\text{sample}}}{n}, \dots, T_K + (n-1)\frac{T_{\text{sample}}}{n} \quad (15)$$

où le nombre de réglages dans chaque groupe n est au moins égal à quatre et est identique pour tous les groupes. Les centres des groupes sont régulièrement espacés entre la fin de la zone morte initiale et une distance importante sur laquelle l'appareil doit être étalonné. Le nombre de groupes k peut être égal à deux.

- b) Second principe: il n'y a pas de groupes, et l'intervalle d'échantillonnage D_{sample} peut n'être connu que très approximativement. Calculer T_{sample} à partir de l'équation (14). Choisir les réglages de retard de manière qu'ils soient répartis uniformément entre la fin de la zone morte initiale et une distance importante, et que chacun de ces réglages comporte une variation aléatoire. Il convient que ces variations aient une densité de probabilité uniforme dans l'intervalle $-T_1$ à T_1 , où T_1 est au moins $20 T_{\text{sample}}$ mais inférieur à 10 % du plus long retard pour les essais. Il convient que le nombre de mesures i (c'est-à-dire les différents réglages) soit d'au moins 20.

De manière alternative, une connaissance préalable de l'amplitude de l'incertitude de type A et de l'incertitude de mesure acceptable peut amener le laboratoire à adopter un principe d'échantillonnage, systématique ou aléatoire, différent.

6.2.4.2 Réalisation des mesures

Sélectionner le premier réglage de temps T_i de la série T_1 comme défini ci-dessus. Enregistrer le temps T_1 du générateur de retard ainsi que la position mesurée $L_{\text{otdr},1}$ de l'événement sur l'OTDR. Répéter l'opération pour les différents temps sélectionnés en 6.2.4.1. Toujours enregistrer T_i et la position mesurée $L_{\text{otdr},i}$ jusqu'à ce que tous les réglages aient été utilisés.

6.2.5 Calculs et résultats

En application des principes indiqués à l'Article 4, utiliser les différents réglages de temps pour calculer les i positions de référence $L_{\text{ref},i}$:

$$L_{\text{ref},i} = \frac{c(T_i + T_{\text{delay}})}{2N} \quad (16)$$

où

N est l'indice de groupe réglé sur l'OTDR;

T_i sont les réglages de temps définis en 6.2.3;

T_{delay} est le retard d'insertion étalonné de l'équipement d'essai (voir 6.2.2).

Utiliser ensuite les positions de référence et les positions affichées $L_{\text{otdr},i}$ pour calculer l'ensemble des i écarts de position ΔL_i :

$$\Delta L_i = L_{\text{otdr},i} - L_{\text{ref},i} \quad (17)$$

Pour déterminer le décalage de position ΔL_0 et l'écart d'échelle des distances ΔS_L , ajuster les données d'écart de position sur le modèle simplifié d'écart de position (dans lequel l'erreur d'échantillonnage en distance est momentanément négligée):

$$\Delta L_{i, \text{model}} = \Delta S_L L_{\text{ref},i} + \Delta L_0 \quad (18)$$

Particulièrement, minimiser la différence entre le modèle et les données en utilisant le critère des moindres carrés, c'est-à-dire en choisissant ΔS_L et ΔL_0 , de façon que la somme

$$\sum_i (\Delta L_i - \Delta S_L L_{\text{ref},i} - \Delta L_0)^2 \quad (19)$$

soit minimale. Enregistrer ΔL_0 et ΔS_L obtenus à partir de l'approximation.

Comme sur la Figure 2, la pente de l'approximation linéaire représente l'écart d'échelle des distances ΔS_L . L'intersection avec l'axe vertical représente le décalage de position ΔL_0 . Enregistrer ΔS_L et ΔL_0 obtenus à partir du calcul.

6.2.6 Incertitudes

6.2.6.1 Généralités

On trouvera une discussion générale relative aux incertitudes sur les distances à l'Article 5.

Noter que la liste des incertitudes présentée ci-dessous n'est pas exhaustive. Il peut être nécessaire de prendre en compte d'autres causes, en fonction de la méthode de mesure et de l'appareillage utilisés. Il convient d'utiliser les bases mathématiques exposées à l'Annexe B pour calculer et déterminer les incertitudes.

6.2.6.2 Incertitudes sur l'échelle des distances

L'approximation par les moindres carrés exposée en 6.2.5 prend en compte les distances affichées entre les échantillons de mesure pour calculer l'écart d'échelle des distances. On suppose que les échantillons de mesure proches de $L = 0$ et ceux proches de la position la plus lointaine $L = L_{\text{max}}$ ont la plus grande influence sur l'écart d'échelle des distances car les échantillons du centre ont moins d'influence sur la pente du modèle d'erreur de distance.

L'application de la formule standard de propagation des erreurs à l'équation (4) donne l'incertitude sur l'échelle des distances $u_{\Delta SL}$ pour laquelle $\langle D_{otdr} \rangle \cong D_{ref}$ a été utilisé.

$$u_{\Delta SL} \cong \left[\left(\frac{u_{\langle Dotdr \rangle}}{\langle D_{otdr} \rangle} \right)^2 + \left(\frac{u_{Dref}}{D_{ref}} \right)^2 \right]^{1/2} \text{ m/km} \quad (20)$$

où

D_{otdr}	est $D_{ref} \approx L_{ref}$ (pour les longues distances dont il est question ici);
$u_{\langle Dotdr \rangle}$	est l'écart type traduisant l'incertitude sur les échantillons de distance (à partir des échantillons de position);
$u_{\langle Dotdr \rangle} / \langle D_{otdr} \rangle$	est l'incertitude sur la pente due à un manque de précision de la distance affichée; elle est équivalente à l'écart type ΔS_L , dans le modèle de position de l'équation (10) qui inclut l'incertitude sur le placement des marqueurs ainsi que l'erreur d'échantillonnage en distance; l'algorithme des moindres carrés utilisé pour la détermination de ΔS_L peut être utilisé pour la détermination de $u_{\langle Dotdr \rangle}$; dans ce cas, ΔL_i peut être moyenné sur l'intervalle d'échantillonnage correspondant;
u_{Dref}	est l'incertitude sur les distances de référence;
u_{Dref} / D_{ref}	est l'incertitude sur la pente due au générateur numérique de retard et est égale à l'incertitude relative de l'horloge du générateur de retard.

6.2.6.3 Incertitude sur le décalage de position

Le décalage de position ΔL_0 est donné par l'intersection de l'approximation des moindres carrés avec l'axe vertical. Ce point dépend principalement des premiers échantillons, ceux qui sont les plus proches de la position $L = 0$, et dépend également de la précision du retard d'insertion T_{delay} .

L'incertitude sur le décalage de position $u_{\Delta L0}$ peut être calculée à partir de la formule classique de propagation des erreurs:

$$u_{\Delta L0} = \left[u_{\Delta L}^2 + \left(\frac{c}{2N} \right)^2 u_{Tdelay}^2 \right]^{1/2} \quad (21)$$

où

$u_{\Delta L}$	est l'incertitude sur les différences entre ΔL_i et l'approximation des moindres carrés au voisinage de $L = 0$, qui inclut l'incertitude sur le placement des marqueurs et l'erreur d'échantillonnage en distance; elle est équivalente à l'écart type de $(\Delta L_i - \Delta L_{i, model})$ près de $L = 0$; dans ce cas, ΔL_i peut être moyenné sur l'intervalle d'échantillonnage correspondant; l'algorithme des moindres carrés utilisé pour la détermination de ΔL_0 peut être utilisé pour déterminer $u_{\Delta L}$.
u_{Tdelay}	est l'incertitude sur le retard d'insertion du système qui inclut également la différence entre les deux adaptateurs de conditionnement de mode utilisés pendant l'étalonnage; il est supposé que la première mesure est très courte ou même nulle, ce qui réduit l'incertitude du générateur à seulement un des retards insérés.

6.2.6.4 Incertitude d'affichage de position

Comme indiqué à l'Article 5, déterminer la plus grande différence entre les échantillons d'écart de position ΔL_k et l'approximation par la méthode des moindres carrés au voisinage de $L = 0$. Calculer ensuite l'incertitude d'affichage de position $u_{Lreadout}$ (qui inclut l'erreur d'échantillonnage en distance) en divisant la plus grande différence par la racine carrée de 3.

De manière alternative, u_{Lreadout} peut être obtenu soit avec l'algorithme des moindres carrés utilisé pour la détermination de ΔS_L et ΔL_0 soit avec l'équation suivante:

$$u_{\text{Lreadout}} = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta L_i - \Delta L_{i, \text{model}})^2 \right]^{1/2} \quad (22)$$

6.3 Méthode des ajouts de fibres (utilisant des fibres multimodales)

6.3.1 Description sommaire et avantages

Cette méthode permet d'étalonner l'échelle des distances en utilisant des fibres multimodales étalonnées, dont les temps de transit, à la longueur d'onde de l'OTDR testé, ont été mesurés avec précision.

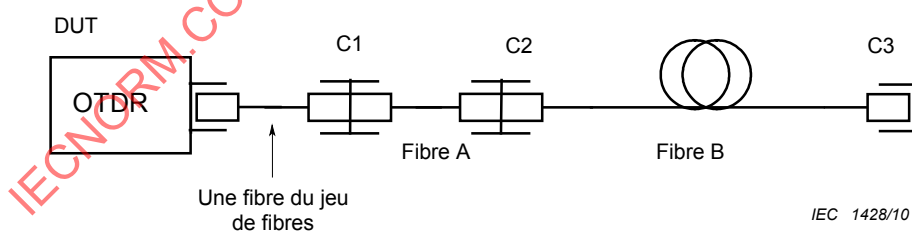
La méthode ne nécessite que l'utilisation de longueurs de fibre connectées. Elle est donc bon marché et convient particulièrement aux essais dans des endroits où l'on ne peut pas disposer des équipements utilisés en 6.2. On peut la considérer comme une méthode manuelle dans la mesure où elle ne nécessite qu'un certain nombre de connexions et de déconnexions de fibres courtes pour faire varier la localisation des réflexions. Elle peut toutefois être automatisée, si cela est souhaité, par l'utilisation de commutateurs optiques.

Cette méthode utilisant des fibres multimodales est applicable à 850 nm et à 1 300 nm et ne requiert pas de conditionneur de mode. Toutefois, le retard différentiel de mode de la fibre B étalonnée (voir Figure 5) doit être considéré comme une incertitude.

6.3.2 Équipement

En plus de l'OTDR soumis aux essais, l'équipement de mesure inclut, comme indiqué à la Figure 5:

- la fibre A, pour déterminer le décalage de position;
- la fibre B, pour déterminer l'écart d'échelle des distances;
- un jeu de fibres par accroissement, pour déterminer l'erreur d'échantillonnage en distance.



Légende

C1, C2 et C3 connecteurs optiques

Figure 5 – Ajouts de fibres utilisés pour l'étalonnage de l'échelle des distances

Normalement, ces fibres sont protégées par câblage ou emballage et sont connectées pour permettre des connexions et des déconnexions aisées.

Les exigences concernant ces fibres sont indiquées ci-dessous.

- La fibre A est une fibre multimodale simple avec une réflexion terminale (générée par une connexion sans angle). Sa longueur, bien inférieure à celle de la fibre B, importe peu, dans

la mesure où la courbe de rétrodiffusion de la réflexion terminale à mesurer n'est pas perturbée par la ou les réflexions initiales à la sortie de l'OTDR.

La fibre A peut être également utilisée comme fibre amorce pour mesurer l'écart d'échelle des distances à l'aide de la fibre B.

- b) La fibre B doit posséder des extrémités réfléchissantes (réflexions de ses connecteurs, par exemple). Il est recommandé d'utiliser pour la fibre B, une fibre d'une longueur d'au moins quelques centaines de mètres, car l'utilisation d'une fibre longue permet de réduire l'incertitude.

Pour étalonner la fibre, mesurer son temps de transit optique T_b comme indiqué à l'Article 5.

Attention: pour réaliser un étalonnage correct des distances, il convient que les réflexions des deux extrémités de la fibre B (connecteurs C2 et C3) soient à peu près équivalentes. Par exemple, si l'une des extrémités produit une réflexion qui sature l'OTDR et l'autre non, la différence de forme d'onde peut nuire à la précision des mesures de distances. Les conséquences de cette différence sur l'écart d'échelle des distances mesurées sont toutefois réduites par une longueur de fibre plus grande.

- c) Si le fabricant ne donne pas l'intervalle d'échantillonnage précis et si on pense qu'il est grand, le jeu de fibres par accroissement est utilisé pour faire varier la position des deux réflexions de la longue fibre B, par des valeurs inférieures à l'intervalle d'échantillonnage de l'OTDR (si cela est possible). Il convient que les longueurs soient sélectionnées pour pouvoir réaliser au moins quatre variations de distance espacées régulièrement sur l'intervalle d'échantillonnage. Par exemple, si l'intervalle d'échantillonnage est de 10 m, le jeu peut être composé de deux fibres de 2,5 m et 5 m de longueur. Individuellement ou combinées, elles pourront constituer des compléments de 0 m (pas de fibre), 2,5 m, 5 m et 7,5 m (deux fibres). D'une manière générale, il convient que les fibres constituent des compléments égaux à

$$0, D_x, 2D_x, \dots, (n-1)D_x \quad (23)$$

où

$n \geq 4$, et

$n D_x$ est égal à l'intervalle d'échantillonnage de l'OTDR dans les conditions de l'essai.

Sauf dans quelques cas particuliers, il n'est pas nécessaire d'étalonner le temps de transit de ces fibres selon la méthode décrite à l'Article 5. Il convient de mesurer leur longueur physique. Sur des fibres aussi courtes, la différence entre l'indice de groupe réel et l'indice réglé sur l'OTDR est négligeable.

6.3.3 Procédures de mesure

6.3.3.1 Généralités

L'influence du bruit aléatoire sur l'écart de position est habituellement peu importante, sauf dans le cas où le niveau de puissance affiché serait proche de la limite de bruit de l'appareil. Dans un tel cas, on recommande d'augmenter le temps de moyennage de l'OTDR.

6.3.3.2 Préparation

Déterminer la technique de placement des marqueurs (automatique ou manuelle) sur la réflexion de la fibre A et sur les réflexions d'extrémités de la fibre B.

Connecter la fibre A à l'avant de l'OTDR, en veillant à ce que la réflexion terminale de la fibre soit visible sur l'OTDR. Connecter la fibre B à l'autre extrémité de la fibre A, de telle sorte que les réflexions des deux extrémités de la fibre B soient visibles sur l'OTDR.

6.3.3.3 Réalisation des mesures

Mesurer la position de la réflexion de la fibre A à l'aide de l'OTDR. Enregistrer cette première position mesurée $L_{otdr,1}$. Mesurer la longueur de la fibre B à l'aide de l'OTDR, en utilisant les

deux réflexions créées par cette fibre. Enregistrer cette première distance mesurée en tant que $D_{\text{otdr},1}$.

Insérer la plus petite des fibres par accroissement entre l'OTDR et le début de la fibre A. Mesurer la position $L_{\text{otdr},2}$ et la distance $D_{\text{otdr},2}$.

Continuer d'insérer successivement des combinaisons de longueur croissante de fibres par accroissement. Mesurer la position $L_{\text{otdr},i}$ et la distance $D_{\text{otdr},i}$ jusqu'à ce que $i = n$ et que la longueur totale des fibres par accroissement soit de $(n - 1) D_x$.

6.3.4 Calculs et résultats

6.3.4.1 Ecart d'échelle des distances

Calculer la distance $\langle D_{\text{otdr}} \rangle$ (longueur de la fibre B) en faisant la moyenne des n valeurs de $D_{\text{otdr},i}$. Calculer ensuite l'écart d'échelle des distances comme étant

$$\Delta S_L = \frac{\langle D_{\text{otdr}} \rangle}{D_{\text{ref}}} - 1 = \frac{N \langle D_{\text{otdr}} \rangle}{c T_b} - 1 \quad (24)$$

où

D_{ref} est la distance de référence;

N est l'indice de groupe réglé sur l'OTDR;

T_b est le temps de transit aller de la fibre B, mesuré conformément à l'Article 5.

6.3.4.2 Décalage de position

Soit $\langle L_{\text{otdr}} \rangle$ la moyenne de toutes les n valeurs de $L_{\text{otdr},i}$. Calculer le décalage de position à partir de l'équation (10).

$$\Delta L_0 = \langle L_{\text{otdr}} \rangle - (1 + \Delta S_L) \langle L_{\text{ref}} \rangle \quad (25)$$

$$\Delta L_0 = \langle L_{\text{otdr}} \rangle - (1 + \Delta S_L) \left(\frac{c T_a}{N} + \frac{(n-1) D_x}{2} \right) \quad (26)$$

où

$\langle L_{\text{ref}} \rangle$ est la position de référence moyenne correspondant à la première réflexion, à calculer à l'aide de la longueur moyenne des fibres par accroissement;

N est l'indice de groupe réglé sur l'OTDR;

T_a est le temps de transit aller de la fibre A, mesuré suivant l'Article 5;

ΔS_L est l'écart d'échelle des distances déterminé d'après l'équation (10); si la fibre A est suffisamment courte, le terme ΔS_L peut alors être négligé.

6.3.5 Incertitudes

6.3.5.1 Généralités

On trouvera une discussion générale concernant les incertitudes sur les distances à l'Article 5. Noter que la liste des incertitudes présentée ci-dessous n'est pas exhaustive. Il peut être nécessaire de prendre en compte d'autres causes, en fonction de la méthode de mesure et de l'appareillage utilisés.

Il convient d'utiliser les bases mathématiques exposées à l'Annexe B pour calculer et déterminer les incertitudes.

6.3.5.2 Incertitudes sur l'échelle des distances

Il convient de calculer l'incertitude sur l'échelle des distances $u_{\Delta SL}$ avec l'équation suivante, qui est tirée de l'équation (10)

$$u_{\Delta SL} = \left[\left(\frac{u_{\text{Dotdr}}}{D_{\text{otdr}}} \right)^2 + \left(\frac{u_{Tb}}{T_b} \right)^2 \right]^{1/2} \text{ m/m} \quad (27)$$

où u_{Dotdr} est l'incertitude sur la longueur affichée de la fibre B, causée, par exemple, par l'incertitude sur le placement des marqueurs et l'erreur d'échantillonnage en distance.

Il convient de calculer l'incertitude sur le temps de transit de la fibre B u_{Tb} par extraction de la racine carrée de la somme quadratique de

- $u_{Tb, \text{counter}}$ est l'incertitude sur le temps de transit de la fibre B, provoquée par le compteur d'intervalles de temps;
- $u_{Tb, \lambda}$ est l'incertitude sur le temps de transit de la fibre B, provoquée par la différence entre la longueur d'onde de l'OTDR et la longueur d'onde utilisée pour déterminer ce temps de transit;
- $u_{Tb, \Theta}$ est l'incertitude sur le temps de transit de la fibre B, provoquée par son coefficient de température; valeur typique: 1 cm/(km °C);
- $u_{Tb, \text{DMD}}$ est l'incertitude sur le temps de transit de la fibre B, provoquée par le retard différentiel de mode; le Tableau 1 donne des indications pour différentes fibres multimodales.

6.3.5.3 Incertitude sur le décalage de position

Il convient de calculer l'incertitude sur le décalage de position $u_{\Delta L0}$ à partir de l'équation suivante, qui est tirée de l'équation (25), dont les termes ΔS_L et $(n-1) D_x/2$ sont considérés comme négligeables:

$$u_{\Delta L0} = \left[u_{\text{Lotdr}}^2 + \left(\frac{c}{N} \right)^2 u_{Ta}^2 \right]^{1/2} \quad (28)$$

où u_{Lotdr} est l'incertitude sur la mesure de la position de la réflexion terminale de la fibre A, c'est-à-dire principalement l'incertitude sur le placement du marqueur; on suppose que l'erreur d'échantillonnage en distance est supprimée efficacement par un moyennage sur un intervalle d'échantillonnage.

Il convient de calculer l'incertitude sur le temps de transit de la fibre A u_{Ta} en prenant la racine carrée de la somme quadratique de:

- $u_{Ta, \text{counter}}$ est l'incertitude sur le temps de transit de la fibre A, provoquée par le compteur d'intervalles de temps;
- $u_{Ta, \lambda}$ est l'incertitude sur le temps de transit de la fibre A, provoquée par la différence entre la longueur d'onde de l'OTDR et la longueur d'onde utilisée pour déterminer ce temps de transit;
- $u_{Ta, \Theta}$ est l'incertitude sur le temps de transit de la fibre A, provoquée par son coefficient de température; valeur typique: 1 cm/(km °C);
- $u_{Ta, \text{DMD}}$ est l'incertitude sur le temps de transit de la fibre A, provoquée par le retard différentiel de mode dans la fibre A. (Elle peut être estimée en fonction du rapport

de longueurs des différents types de fibres et il convient qu'elle soit négligeable si la fibre A est bien plus courte que la fibre B).

6.3.5.4 Incertitude d'affichage de position

Calculer les deux groupes de données suivants, un pour l'écart de position et un pour l'erreur de distance, à partir des échantillons de mesures indiqués en 6.3.3.

$$L_{otdr,i} - L_{ref,i} = L_{otdr,i} - \left(\frac{cT_a}{N} + iD_x \right) \quad i = 0 \text{ à } n-1 \quad (29)$$

et

$$D_{otdr,i} - D_{ref,i} = D_{otdr,i} - \frac{cT_b}{N} \quad i = 0 \text{ à } n-1 \quad (30)$$

Pour calculer l'incertitude d'affichage de position $u_{L_{readout}}$, il est conseillé de diviser la moitié de la différence entre la plus grande et la plus petite des valeurs soit du groupe L soit du groupe D , selon celui qui présente la valeur la plus importante, par la racine carrée de 3.

6.4 Méthode de la boucle de retard

6.4.1 Description sommaire et avantages

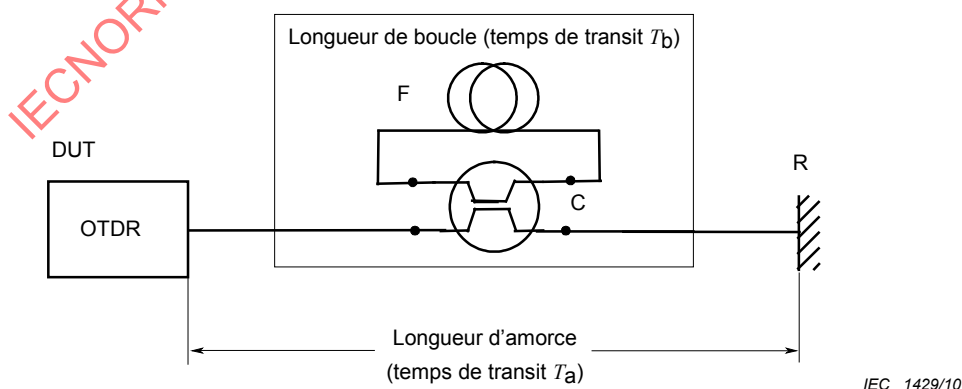
La méthode de la boucle de retard utilise une boucle de fibre multimodale étalonnée, composée d'un coupleur et d'un miroir qui génèrent des réflexions périodiques.

La méthode est similaire à la méthode des ajouts de fibres: on utilise une fibre artificielle, et il n'y a pas besoin de composants électroniques. La fibre artificielle crée de nombreux éléments de fibre étalonnés; cela permet de réduire les incertitudes de type A qui affectent l'écart d'échelle des distances.

Les mesures de décalage de position se limitent aux événements réfléchissants engendrés par la boucle de retard.

6.4.2 Équipement

En plus de l'OTDR, le banc de mesure ne se compose que d'une boucle de retard multimodale réalisée et étalonnée selon les principes exposés à l'Annexe A, comme indiqué à la Figure 6.



Légende

- F boucle de fibre
- C coupleur 4 ports
- R réflexion

Figure 6 – Étalonnage des distances au moyen d'une boucle de retard

La boucle de retard provoque un certain nombre d'événements réfléchissants sur l'écran de l'OTDR, comme indiqué à la Figure 7. Le premier est causé par l'impulsion optique allant directement au miroir et revenant directement à l'OTDR. Le second est causé par l'impulsion optique parcourant une fois la boucle, puis allant vers le miroir et revenant directement à l'OTDR (cette impulsion se confond avec celle allant directement au miroir et revenant à l'OTDR à travers la boucle). La troisième impulsion traverse deux fois la boucle, etc.

Selon ce principe, les positions affichées idéales sont donc

$$\begin{aligned} L_{\text{otdr},0} &= L_a \\ L_{\text{otdr},1} &= L_a + L_b/2 \\ L_{\text{otdr},2} &= L_a + L_b \rightarrow \text{etc} \end{aligned} \quad (31)$$

où L_a est la longueur de la fibre amorce et L_b est la longueur de la boucle de fibre.

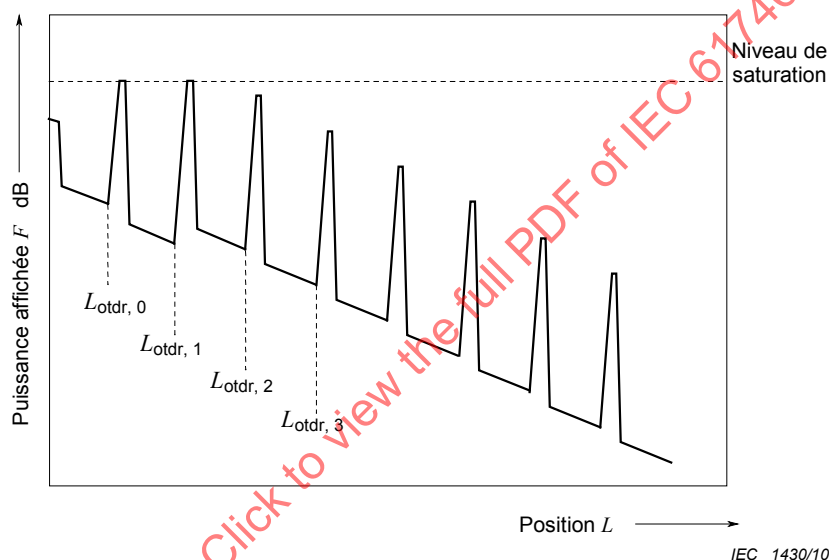


Figure 7 – Trace de l'OTDR produite par une boucle de retard

De manière optionnelle, il peut être intéressant d'ajouter au dispositif de mesure une ou plusieurs fibres par accroissement décrites en 6.3.3. Les multiples réflexions provoquées par la boucle de retard sont susceptibles d'engendrer des moyennages sur l'intervalle d'échantillonnage et diminuent l'intérêt de cette précaution. Cependant, cet effet de moyenne n'est pas contrôlé et un contrôle systématique peut être préférable. En employant la notation de 6.3.3, il peut être suffisant que $n = 2$, donc il y aurait une seule fibre par accroissement de longueur égale à la moitié de l'intervalle d'échantillonnage.

6.4.3 Procédure de mesure

6.4.3.1 Généralités

On suppose qu'aucune fibre par accroissement n'est utilisée. Dans le cas contraire, cela ne conduit qu'à une augmentation du nombre d'échantillons à enregistrer et il sera facile de modifier les écritures et les calculs. La méthode devient alors très semblable à celle décrite en 6.3, la fibre amorce égale à la fibre A et la boucle égale à la fibre B.

6.4.3.2 Préparation

Fixer le mode de placement (automatique ou manuel) des marqueurs sur les fronts des réflexions de la boucle de retard, d'après les instructions du fabricant.