

# INTERNATIONAL STANDARD

## NORME INTERNATIONALE

**Calibration of optical time-domain reflectometers (OTDR) –  
Part 1: OTDR for single mode fibres**

**Étalonnage des réflectomètres optiques dans le domaine temporel (OTDR) –  
Partie 1 : OTDR pour fibres unimodales**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61746-1:2009



## THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2009 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](mailto:info@iec.ch)  
[www.iec.ch](http://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](http://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](http://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](http://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](http://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 14 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

#### IEC Glossary - [std.iec.ch/glossary](http://std.iec.ch/glossary)

More than 55 000 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](http://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](mailto: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](http://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](http://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](http://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](http://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 14 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

#### Glossaire IEC - [std.iec.ch/glossary](http://std.iec.ch/glossary)

Plus de 55 000 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](http://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](mailto:csc@iec.ch).

# INTERNATIONAL STANDARD

## NORME INTERNATIONALE

**Calibration of optical time-domain reflectometers (OTDR) –  
Part 1: OTDR for single mode fibres**

**Étalonnage des réflectomètres optiques dans le domaine temporel (OTDR) –  
Partie 1 : OTDR pour fibres unimodales**

INTERNATIONAL  
ELECTROTECHNICAL  
COMMISSION

COMMISSION  
ELECTROTECHNIQUE  
INTERNATIONALE

PRICE CODE  
CODE PRIX

**XC**

ICS 33.180.01

ISBN 978-2-8322-1682-8

**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.....                                                         | 6  |
| INTRODUCTION.....                                                     | 8  |
| 1 Scope.....                                                          | 9  |
| 2 Normative references.....                                           | 9  |
| 3 Terms, definitions and symbols.....                                 | 9  |
| 4 Preparation for calibration.....                                    | 16 |
| 4.1 Organization.....                                                 | 16 |
| 4.2 Traceability.....                                                 | 16 |
| 4.3 Preparation.....                                                  | 16 |
| 4.4 Test conditions.....                                              | 16 |
| 4.5 Documentation.....                                                | 16 |
| 5 Distance calibration – General.....                                 | 17 |
| 5.1 General.....                                                      | 17 |
| 5.2 Location deviation model.....                                     | 17 |
| 5.3 Using the calibration results.....                                | 19 |
| 5.4 Measuring fibre length.....                                       | 19 |
| 6 Distance calibration methods.....                                   | 20 |
| 6.1 General.....                                                      | 20 |
| 6.2 External source method.....                                       | 20 |
| 6.2.1 Short description and advantage.....                            | 20 |
| 6.2.2 Equipment.....                                                  | 20 |
| 6.2.3 Calibration of the equipment.....                               | 21 |
| 6.2.4 Measurement procedure.....                                      | 22 |
| 6.2.5 Calculations and results.....                                   | 23 |
| 6.2.6 Uncertainties.....                                              | 24 |
| 6.3 Concatenated fibre method.....                                    | 25 |
| 6.3.1 Short description and advantages.....                           | 25 |
| 6.3.2 Equipment.....                                                  | 25 |
| 6.3.3 Measurement procedures.....                                     | 27 |
| 6.3.4 Calculations and results.....                                   | 27 |
| 6.3.5 Uncertainties.....                                              | 28 |
| 6.4 Recirculating delay line method.....                              | 29 |
| 6.4.1 Short description and advantage.....                            | 29 |
| 6.4.2 Equipment.....                                                  | 29 |
| 6.4.3 Measurement procedure.....                                      | 31 |
| 6.4.4 Calculations and results.....                                   | 31 |
| 6.4.5 Uncertainties.....                                              | 32 |
| 7 Loss calibration – General.....                                     | 33 |
| 7.1 General.....                                                      | 33 |
| 7.2 Determination of the displayed power level $F$ .....              | 33 |
| 7.3 Selection of an appropriate reference loss $A_{\text{ref}}$ ..... | 34 |
| 7.4 Development of a test plan.....                                   | 35 |
| 7.5 Polarization dependence.....                                      | 37 |
| 7.6 Calculation of the calibration results.....                       | 38 |
| 7.7 Using the calibration results.....                                | 38 |

|       |                                                                                                                                                       |    |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 8     | Loss calibration methods .....                                                                                                                        | 38 |
| 8.1   | General .....                                                                                                                                         | 38 |
| 8.2   | Fibre standard method .....                                                                                                                           | 39 |
| 8.2.1 | Short description and advantage .....                                                                                                                 | 39 |
| 8.2.2 | Equipment .....                                                                                                                                       | 39 |
| 8.2.3 | Measurement procedure .....                                                                                                                           | 40 |
| 8.2.4 | Calculations and results .....                                                                                                                        | 41 |
| 8.2.5 | Uncertainties .....                                                                                                                                   | 41 |
| 8.3   | External source method (see Figure 16) .....                                                                                                          | 42 |
| 8.3.1 | Short description and advantage .....                                                                                                                 | 42 |
| 8.3.2 | Equipment .....                                                                                                                                       | 42 |
| 8.3.3 | Calibration of the reference loss .....                                                                                                               | 43 |
| 8.3.4 | Measurement procedure .....                                                                                                                           | 44 |
| 8.3.5 | Calculations and results .....                                                                                                                        | 45 |
| 8.3.6 | Uncertainties .....                                                                                                                                   | 45 |
| 8.4   | Splice simulator method .....                                                                                                                         | 46 |
| 8.4.1 | Short description and advantage .....                                                                                                                 | 46 |
| 8.4.2 | Equipment .....                                                                                                                                       | 46 |
| 8.4.3 | Procedure .....                                                                                                                                       | 47 |
| 8.4.4 | Calculations and results .....                                                                                                                        | 49 |
| 8.4.5 | Uncertainties .....                                                                                                                                   | 49 |
| 8.5   | Power reduction method .....                                                                                                                          | 50 |
| 8.5.1 | Short description and advantage .....                                                                                                                 | 50 |
| 8.5.2 | Equipment .....                                                                                                                                       | 51 |
| 8.5.3 | Measurement procedure .....                                                                                                                           | 52 |
| 8.5.4 | Calculations and results .....                                                                                                                        | 53 |
| 8.5.5 | Uncertainties .....                                                                                                                                   | 53 |
| 9     | Reflectance calibration .....                                                                                                                         | 54 |
| 9.1   | Objective .....                                                                                                                                       | 54 |
| 9.2   | Reflectance measurements (see Figure 23) .....                                                                                                        | 54 |
| 9.3   | Use of the backscatter parameter, $K$ .....                                                                                                           | 54 |
| 9.4   | Range of reflectance measurement .....                                                                                                                | 55 |
| 9.5   | Development of a test plan .....                                                                                                                      | 56 |
| 9.6   | Equipment .....                                                                                                                                       | 57 |
| 9.7   | Measurement procedure .....                                                                                                                           | 58 |
| 9.7.1 | Preparation .....                                                                                                                                     | 58 |
| 9.7.2 | Taking reflectance measurements .....                                                                                                                 | 58 |
| 9.7.3 | Calculation and results .....                                                                                                                         | 58 |
| 9.7.4 | Uncertainties .....                                                                                                                                   | 58 |
|       | Annex A (normative) Recirculating delay line for distance calibration .....                                                                           | 60 |
|       | Annex B (normative) Optical fibre standard for loss calibration .....                                                                                 | 64 |
|       | Annex C (normative) Standard splice simulator for loss calibration .....                                                                              | 68 |
|       | Annex D (normative) Mathematical basis .....                                                                                                          | 72 |
|       | Annex E (normative) Reflectance standard .....                                                                                                        | 75 |
|       | Annex F (normative) Simple version of reflectance standard .....                                                                                      | 81 |
|       | Annex G (informative) OTDR basis: Backscatter theory – Reflectance measurements<br>using an OTDR – Determination of fibre backscatter parameter ..... | 85 |

|                                                                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Bibliography .....                                                                                                                                    | 90 |
| Figure 1 – Definition of attenuation dead zone .....                                                                                                  | 10 |
| Figure 2 – Representation of the location deviation $\Delta L(L)$ .....                                                                               | 18 |
| Figure 3 – Equipment for calibration of the distance scale – External source method .....                                                             | 21 |
| Figure 4 – Set-up for calibrating the system insertion delay.....                                                                                     | 22 |
| Figure 5 – Concatenated fibres used for calibration of the distance scale.....                                                                        | 26 |
| Figure 6 – Distance calibration with a recirculating delay line .....                                                                                 | 30 |
| Figure 7 – OTDR trace produced by recirculating delay line .....                                                                                      | 30 |
| Figure 8 – Determining the reference level and the displayed power level .....                                                                        | 34 |
| Figure 9 – Measurement of the OTDR loss samples .....                                                                                                 | 35 |
| Figure 10 – Region A, the recommended region for loss measurement samples.....                                                                        | 36 |
| Figure 11 – Possible placement of sample points within region A .....                                                                                 | 36 |
| Figure 12 – External source method for testing the polarization dependence of the OTDR .....                                                          | 37 |
| Figure 13 – Reflection method for testing the polarization dependence of the OTDR .....                                                               | 37 |
| Figure 14 – Loss calibration with a fibre standard .....                                                                                              | 39 |
| Figure 15 – Placing the beginning of section $D_1$ outside the attenuation dead zone.....                                                             | 40 |
| Figure 16 – Loss calibration with the external source method.....                                                                                     | 43 |
| Figure 17 – Location and measurements for external source method .....                                                                                | 44 |
| Figure 18 – Set-up for loss calibration with splice simulator .....                                                                                   | 46 |
| Figure 19 – OTDR display with splice simulator .....                                                                                                  | 47 |
| Figure 20 – Measurement of the splice loss.....                                                                                                       | 48 |
| Figure 21 – Loss calibration with "fibre-end" variant of the power reduction method .....                                                             | 51 |
| Figure 22 – Loss calibration with "long-fibre" variant of the power reduction method.....                                                             | 52 |
| Figure 23 – Parameters involved in reflectance measurements .....                                                                                     | 54 |
| Figure 24 – The same reflectance at the end of three fibres with different values of the backscatter parameter shows different pulse amplitudes ..... | 55 |
| Figure 25 – Maximum and minimum values for the pulse amplitude, $\Delta F$ .....                                                                      | 56 |
| Figure 26 – Range of reflectance measurement.....                                                                                                     | 56 |
| Figure 27 – Determining the default displayed power level and the default location .....                                                              | 57 |
| Figure 28 – Set-up for reflectance calibration.....                                                                                                   | 58 |
| Figure A.1 – Recirculating delay line.....                                                                                                            | 60 |
| Figure A.2 – Measurement set-up for loop transit time $T_b$ .....                                                                                     | 61 |
| Figure A.3 – Calibration set-up for lead-in transit time $T_a$ .....                                                                                  | 62 |
| Figure B.1 – Determination of a highly linear power range.....                                                                                        | 65 |
| Figure B.2 – Testing the longitudinal backscatter uniformity of the fibre standard .....                                                              | 66 |
| Figure C.1 – Splice simulator and idealized OTDR signature.....                                                                                       | 68 |
| Figure C.2 – Determination of the reference loss $A_{ref}$ .....                                                                                      | 70 |
| Figure E.1 – Reflectance standard description and trace.....                                                                                          | 75 |
| Figure E.2 – Calibration set up and reference points for calibration .....                                                                            | 78 |
| Figure F.1 – Reflectance standard description and trace.....                                                                                          | 81 |
| Figure F.2 – Calibration set up and reference points for calibration .....                                                                            | 83 |

|                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure G.1 – OTDR signals used for determining reflectance .....         | 86 |
| Figure G.2 – Set-up for measurement of the backscatter coefficient ..... | 88 |
| Table 1 – Attenuation coefficients defining region A .....               | 35 |

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61746-1:2009

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**CALIBRATION OF OPTICAL TIME-DOMAIN  
REFLECTOMETERS (OTDR) –****Part 1: OTDR for single mode 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 61746-1 has been prepared by IEC technical committee 86: Fibre optics.

This bilingual version (2014-06) corresponds to the English version, published in 2009-12.

This first edition of IEC 61746-1 cancels and replaces the second edition of IEC 61746, published in 2005. It constitutes a technical revision.

The main technical changes are the adaptation of Clause 4, the suppression of Clause 10, the improvement and the addition of some definitions, the change of some calculations and the change of graphical symbology to IEC/TR 61930.

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

| FDIS        | Report on voting |
|-------------|------------------|
| 86/347/FDIS | 86/362/RVD       |

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.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the maintenance result 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 61746-1:2009

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61746-1:2009

# CALIBRATION OF OPTICAL TIME-DOMAIN REFLECTOMETERS (OTDR) –

## Part 1: OTDR for single mode fibres

### 1 Scope

This part of IEC 61746 provides procedures for calibrating single-mode optical time domain reflectometers (OTDR). It only covers OTDR measurement errors and uncertainties.

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

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

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

ITU-T Recommendation G.650.1:2002, *Definitions and test methods for linear, deterministic attributes of single-mode fibre and cable*

ITU-T Recommendation G.650.2:2002, *Definitions and test methods for statistical and non-linear attributes of single-mode fibre and cable*

### 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 loss

$A$   
optical power decrease in decibels (dB)

NOTE If  $P_{\text{in}}$  (watts) is the power entering one end of a segment of fibre and  $P_{\text{out}}$  (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

$\alpha$

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  $\Delta F$

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.

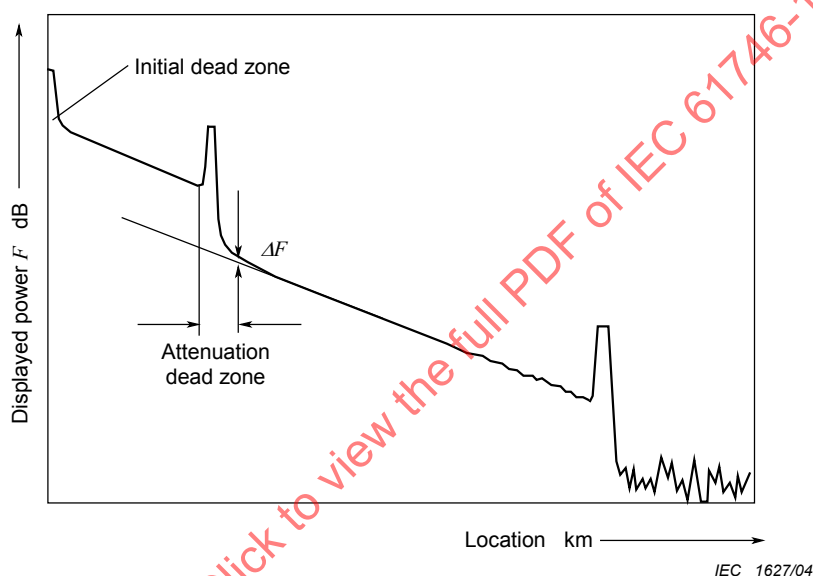


Figure 1 – Definition of attenuation dead zone

### 3.4

#### backscatter parameter

$K$

at a given point along the fibre, the backscattered propagating power per unit incident energy

NOTE 1  $K$  is given by the following formula:

$$K = S\alpha_s \frac{v}{2} \text{ s}^{-1} \quad (2)$$

where

$\alpha_s$  is the scattering coefficient, e.g.; in  $\text{m}^{-1}$ ;

$S$  is the backscatter capture fraction. It depends on other standard fibre parameters such as the mode field diameter in single mode fibre;

$v$  is the group velocity (in  $\text{m/s}$ );

$= c / N$  where  $c$  is the speed of the light in vacuum,  $N$  the group index of the fibre.

NOTE 2 See also Annex G.

**3.5****backscatter coefficient** **$C$** 

for a given pulse, the ratio of backscattered power at the input side of the fibre to the pulse input power

NOTE 1 It represents the backscatter parameter for a given pulse width. The backscatter coefficient is defined from the backscatter parameter (3.4) using the following formula:

$$C(\Delta T) = K\Delta T \quad (3)$$

where  $\Delta T$  is the pulse width, e.g. in seconds.

Usually the backscatter coefficient is expressed in dB for a given pulse width,  $\Delta T$ .

$$C_{\text{dB}}(\Delta T) = 10 \log_{10}(K\Delta T) \quad (4)$$

NOTE 2 The pulse width,  $\Delta T$  in the previous formula is used to normalise  $C(\Delta T)$ . Usual values for  $\Delta T$  are 1 ns and 1  $\mu$ s. See also Annex G.

**3.6****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/IEC Guide 99 [11] in the bibliography.

**3.7****centroidal wavelength** **$\lambda_{\text{avg}}$** 

power-weighted mean wavelength of a light source in vacuum

[IEC 61280-1-3, definition 2.1.4]

**3.8****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 scale displays five times the logarithm of the received power, plus a constant offset.

**3.9****distance** **$D$** 

spacing between two features

NOTE Usually expressed in metres.

**3.10****distance sampling error** **$\Delta L_{\text{sample}}$** 

maximum distance (3.9) 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.

### 3.11 distance scale deviation

$\Delta S_L$

difference between the average displayed distance (3.9)  $\langle D_{otdr} \rangle$  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  $\Delta S_L$  is given by the following formula:

$$\Delta S_L = \frac{\langle D_{otdr} \rangle - D_{ref}}{D_{ref}} = \frac{\langle D_{otdr} \rangle}{D_{ref}} - 1 \quad (5)$$

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

### 3.12 distance scale factor

$S_L$

average displayed distance (3.9) distance divided by the correspondent reference distance (3.27)

NOTE  $S_L$  is given by the following formula:

$$S_L = \frac{\langle D_{otdr} \rangle}{D_{ref}} \quad (6)$$

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

### 3.13 distance scale uncertainty

$u_{\Delta S_L}$

uncertainty of the distance scale deviation (3.11)

NOTE 1 Usually expressed in m/m.

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

$$u_{\Delta S_L} = u\left(\frac{\langle D_{otdr} \rangle}{D_{ref}} - 1\right) = u\left(\frac{\langle D_{otdr} \rangle}{D_{ref}}\right) \quad (7)$$

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

### 3.14 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 B fibre (see IEC 60793-2-50).

### 3.15 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

**3.16****location** **$L$** 

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

NOTE Usually expressed in metres.

**3.17****location deviation** **$\Delta L$** displayed location (3.16) of a feature  $L_{\text{otdr}}$  minus the reference location (3.28)  $L_{\text{ref}}$ 

NOTE 1 Usually expressed in metres.

NOTE 2 This deviation is a function of the location.

**3.18****location offset** **$\Delta L_0$** 

constant term of the location deviation (3.17) 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.

**3.19****location offset uncertainty** **$u_{\Delta L_0}$** 

uncertainty of the location offset (3.18)

**3.20****location readout uncertainty** **$u_{L_{\text{readout}}}$** 

uncertainty of the location (3.16) measurement samples caused by both the distance sampling error (3.10) and the uncertainty type A of the measurement samples

**3.21****loss deviation** **$\Delta A$** difference between the displayed loss of a fibre component  $A_{\text{otdr}}$  and the reference loss (3.29), in dBNOTE 1  $\Delta A$  is given by the following formula:

$$\Delta A = A_{\text{otdr}} - A_{\text{ref}} \quad (8)$$

NOTE 2 The loss deviation usually depends on the displayed power level,  $P$ .**3.22****loss uncertainty** **$u_{\Delta A}$** 

uncertainty of the loss deviation (3.21), in dB

### 3.23

#### loss scale deviation

$\Delta S_A$

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

NOTE 1  $\Delta S_A$  is given by the following formula:

$$\Delta S_A = \frac{A_{\text{otdr}} - A_{\text{ref}}}{A_{\text{ref}}} \quad (9)$$

NOTE 2 Refer to 7.1 for more details.

### 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

$NL_{\text{loss}}$

difference between the maximum and minimum values of the loss deviation (3.21)  $\Delta A$  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

$D_{\text{ref}}$

distance (3.9) precisely determined by measuring equipment with calibration traceable to international or national standards

NOTE Usually expressed in metres.

### 3.28

#### reference location

$L_{\text{ref}}$

location (3.16) precisely determined by measuring equipment with calibration traceable to international or national standards

NOTE Usually expressed in metres.

### 3.29

#### reference loss

$A_{\text{ref}}$

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

### 3.30

#### reflectance

$R$

the ratio, expressed in dB, of the reflected power (in watts), to the incident power (in watts), at a discrete location in a fibre optic component

NOTE 1  $R$  is given by the following formula:

$$R=10\log_{10}\left(\frac{P_{\text{refl}}}{P_{\text{inc}}}\right) \quad (10)$$

where  $P_{\text{refl}}$  is the reflected power, e.g. in watts;

$P_{\text{inc}}$  is the incident power, e.g. in watts.

NOTE 2 In this standard, reflectance is expressed in decibels.

NOTE 3 Reflectance values are negative.

NOTE 4 For the purpose of this standard, the reflectivity,  $\rho$ , is defined as the linear value of the reflectance:

$$\rho=\frac{P_{\text{refl}}}{P_{\text{inc}}} \quad (11)$$

### 3.31

#### reflectance deviation

##### $\Delta R$

difference between the reflectance (3.30) of a fibre component  $R_{\text{otdr}}$  and the reflectance  $R_{\text{ref}}$ , in dB

$$\Delta R=R_{\text{otdr}}-R_{\text{ref}} \quad \text{dB} \quad (12)$$

### 3.32

#### rms dynamic range (one-way)

amount of fibre attenuation (3.1) that causes the backscatter signal to equal the rms noise level (3.33)

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

### 3.33

#### rms noise level

quadratic mean of the noise

NOTE 1 On a general basis, the rms noise level can not be read or extracted from the logarithm data of the OTDR. This is because of 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:

$$\text{noise}_{98} - \text{noise}_{\text{rms}} = 5 \times \log_{10}(2,05375) = 1,56 \text{ dB} \quad (13)$$

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

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

2,053 75 is the value of the reverse standard normal distribution for 98 %.

### 3.34

#### 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.

### 3.35

#### spectral width

$\Delta\lambda_{FWHM}$

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

[IEC 61280-1-3, 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 instructions.

### 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, centroidal 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  $\Delta L_0$  and its uncertainty  $\pm 2 u_{\Delta L_0}$  as well as the distance scale deviation  $\Delta S_L$  and its uncertainty  $\pm 2 u_{\Delta S_L}$ , or the location deviations  $\Delta L_i$  and their uncertainties  $\pm 2 u_{\Delta L_i}$ ;
- b) the loss deviations  $\Delta A$  and their uncertainties  $\pm 2 u_{\Delta A}$  or the loss scale deviation  $\Delta S_A$  and their uncertainties  $\pm 2 u_{\Delta S_A}$ ;
- c) the instrument configuration (pulse width, measurement span, wavelength, averaging time,...) used during calibration;
- d) 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:

$$L = \frac{cT}{2N} \quad (14)$$

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 fibre's group index  $N$ . The determination of  $N$  is beyond the scope of this standard. Consequently, the calibration procedures below only discuss the OTDR's ability to measure  $T$  correctly. For the purpose of this standard, a default value  $N = 1,46$  is used and the uncertainty of  $N$  is considered to be 0.

### 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  $L_{\text{ref}}$  be the reference location of a feature from the front panel connector of the OTDR and let  $L_{\text{otdr}}$  be the displayed location. It is assumed that the displayed location  $L_{\text{otdr}}$ , using OTDR averaging to eliminate noise, depends functionally on the reference location  $L_{\text{ref}}$  in the following way:

$$L_{\text{otdr}} = S_L \times L_{\text{ref}} + \Delta L_0 + f(L_{\text{ref}}) \quad (15)$$

where

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

$\Delta L_0$  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 (15) 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  $\Delta L_0$  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  $\Delta L_0$  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  $L_{ref}$ :

$$\Delta L = L_{otdr} - L_{ref} = \Delta S_L \times L_{ref} + \Delta L_0 + f(L_{ref}) \quad (16)$$

where

$\Delta S_L$  is the slope; and

$\Delta L_0$  is still the intercept, as illustrated in Figure 2.

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

In this standard, the distance sampling error amplitude  $\Delta L_{sample}$  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.

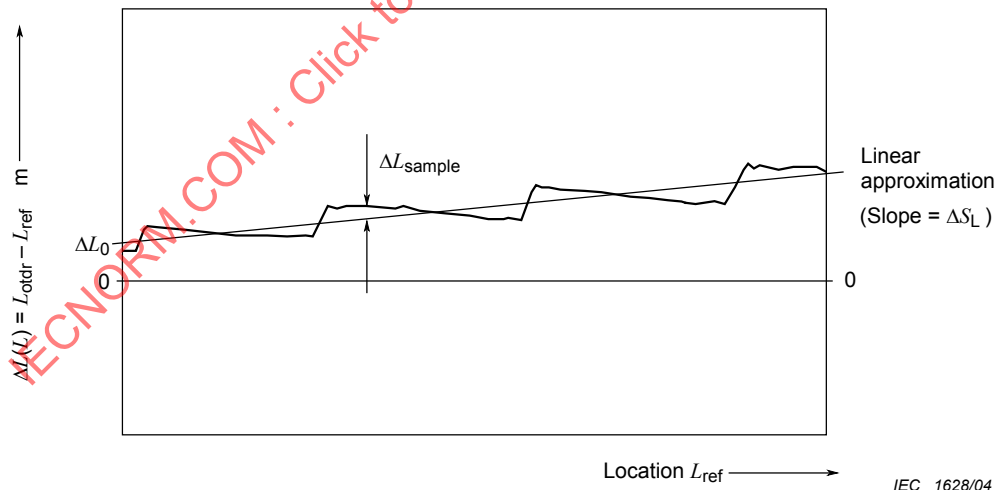


Figure 2 – Representation of the location deviation  $\Delta L(L)$

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

- $\Delta S_L, u_{\Delta S_L}$  the distance scale deviation and its uncertainty;
- $\Delta L_0, u_{\Delta L_0}$  the location offset and its uncertainty;
- $u_{L_{\text{readout}}}$  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  $\Delta L_{\text{sample}}$  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:

$$\Delta L = \Delta L_0 + L_{\text{ref}} \Delta S_L \quad (17)$$

with the uncertainty in  $\Delta L$  given by the following formula, in which the recommended confidence level of 95 % is used:

$$\pm 2u_{\Delta L} = \pm 2 \left( u_{\Delta L_0}^2 + L_{\text{ref}}^2 u_{\Delta S_L}^2 + u_{L_{\text{readout}}}^2 \right)^{1/2} \quad (17a)$$

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

Similarly, the error in the distance between two features  $\Delta D$  and its uncertainty can be calculated from the following formula:

$$\Delta D = D_{\text{ref}} \Delta S_L \quad (18)$$

with uncertainty in  $\Delta D$  given by the following formula:

$$\pm 2u_{\Delta D} = \pm 2 \left( D_{\text{ref}}^2 u_{\Delta S_L}^2 + 2u_{L_{\text{readout}}}^2 \right)^{1/2} \quad (18a)$$

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

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

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  $T_{\text{transit}}$  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 centroidal wavelength  $\lambda_{\text{avg}}$  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 centroidal 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  $D_{\text{ref}}$  can be calculated by

$$D_{\text{ref}} = \frac{cT_{\text{transit}}}{N} \text{ m} \quad (19)$$

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  $D_{\text{ref}}$  as the reference distance.

## 6 Distance calibration methods

### 6.1 General

Each of the three alternative 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

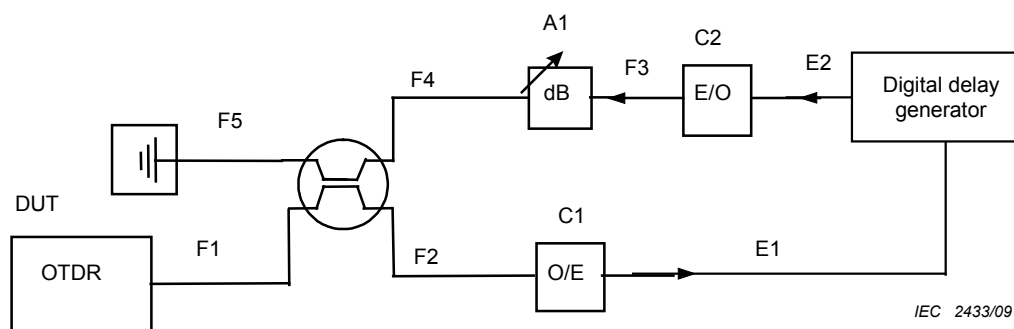
The external source method uses a calibrated time-delay generator to simulate the time delay in a fibre and an optical source to simulate the reflected or scattered signal from a fibre.

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) an optical coupler;
- b) an optical-to-electrical converter;
- c) a digital delay generator with pulse capability;
- d) an electrical to optical converter;
- e) a variable optical attenuator, for reduction of the pulse amplitude to just below the clipping level.

**Key**

|                       |                                 |
|-----------------------|---------------------------------|
| F1, F2, F3, F4 and F5 | fibres                          |
| E1 and E2             | electric cables                 |
| E/O                   | electrical-to-optical converter |
| O/E                   | optical-to-electrical converter |
| A1                    | variable attenuator             |
| C1                    | optical-to-electrical converter |
| C2                    | electrical-to-optical converter |

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

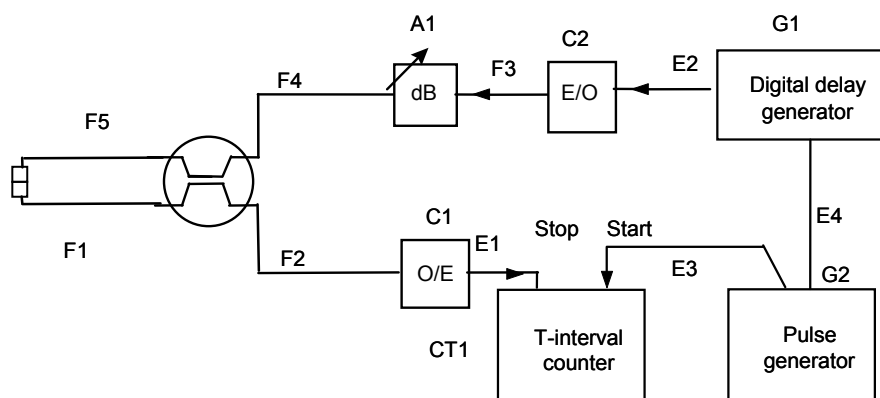
The coupler routes the OTDR signal to the O/E converter (detector). The detector triggers the delay generator, which, after a known time delay, causes an optical pulse to be generated. This pulse is then coupled back to the OTDR.

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). F5 is terminated to absorb reflections.

### 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  $\Delta L_0$  from the measured data, it is also necessary to determine the insertion delay  $T_{\text{delay}}$  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.



IEC 2434/09

### Key

|                       |                                 |
|-----------------------|---------------------------------|
| 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 calibrate the insertion delay  $T_{\text{delay}}$ , 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. 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  $T_{\text{delay}}$ .

## 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  $\mu\text{s}$ .

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  $D_{\text{sample}}$  (for the appropriate OTDR instrument setting), for example by zooming into the OTDR trace. Then calculate the corresponding delay difference of the delay generator  $T_{\text{sample}}$  using:

$$T_{\text{sample}} = \frac{2ND_{\text{sample}}}{c} \quad (20)$$

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:

$$T_K, T_K + \frac{T_{\text{sample}}}{n}, T_K + 2\frac{T_{\text{sample}}}{n}, \dots, T_K + (n-1)\frac{T_{\text{sample}}}{n} \quad (21)$$

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  $D_{\text{sample}}$  does not need to be known except very approximately. Calculate  $T_{\text{sample}}$  from Equation (20). 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  $20 T_{\text{sample}}$  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  $T_1$  of the series  $T_i$  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 5, use the time settings to calculate  $i$  reference locations  $L_{\text{ref},i}$ :

$$L_{\text{ref},i} = \frac{c(T_i + T_{\text{delay}})}{2N} \quad (22)$$

where

$N$  is the group index setting of the OTDR;

$T_i$  are the time settings defined in 6.2.3;

$T_{\text{delay}}$  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  $\Delta L_i$ :

$$\Delta L_i = L_{\text{otdr},i} - L_{\text{ref},i} \quad (23)$$

To determine the location offset  $\Delta L_0$  and the distance scale deviation  $\Delta S_L$ , fit the location deviation data to the simplified location deviation model (in which the distance sampling error is momentarily neglected):

$$\Delta L_{i, \text{model}} = \Delta S_L L_{\text{ref},i} + \Delta L_0 \quad (24)$$

Specifically, minimize the difference between the model and the data using the least-squares criterion that is, choose  $\Delta S_L$  and  $\Delta L_0$  so that the summation

$$\sum_i (\Delta L_i - \Delta S_L L_{\text{ref}, i} - \Delta L_0)^2 \quad (25)$$

is minimized. Record  $\Delta L_0$  and  $\Delta S_L$  obtained from the approximation.

As in Figure 2, the slope of the linear approximation represents the distance scale deviation  $\Delta S_L$ . The intercept with the vertical axis represents the location offset  $\Delta L_0$ . Record  $\Delta S_L$  and  $\Delta L_0$  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 D 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 no influence on the slope of the distance error model.

Applying the standard formula for the propagation of errors to Equation (7) yields the distance scale uncertainty  $u_{\Delta S_L}$  in which  $\langle D_{\text{otdr}} \rangle \cong D_{\text{ref}}$  was used.

$$u_{\Delta S_L} \cong \left[ \left( \frac{u_{\langle D_{\text{otdr}} \rangle}}{\langle D_{\text{otdr}} \rangle} \right)^2 + \left( \frac{u_{D_{\text{ref}}}}{D_{\text{ref}}} \right)^2 \right]^{1/2} \quad \text{m/km} \quad (26)$$

where

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

$u_{\langle D_{\text{otdr}} \rangle}$  is the standard deviation expressing the uncertainty of the distance samples (on the basis of the location samples);

$u_{\langle D_{\text{otdr}} \rangle} / \langle D_{\text{otdr}} \rangle$  represents the slope uncertainty due to inaccurate distance readout; it is equivalent to the standard deviation of the slope,  $\Delta S_L$  in the location model of Equation (16) which includes the marker placement uncertainty and the distance sampling error; the least-squares algorithm used for the determination of  $\Delta S_L$  can be used to determine  $u_{\langle D_{\text{otdr}} \rangle}$ ; if applicable,  $\Delta L_i$  may be averaged over the corresponding sampling interval;

$u_{D_{\text{ref}}}$  is the uncertainty of the reference distances;

$u_{D_{\text{ref}}} / D_{\text{ref}}$  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  $\Delta L_0$  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  $T_{\text{delay}}$ .

The location offset uncertainty  $u_{\Delta L_0}$  can be calculated by using the standard formula for the propagation of errors:

$$u_{\Delta L_0} = \left[ u\sigma_{\Delta L}^2 + \left( \frac{c}{2N} \right)^2 u_{T_{\text{delay}}}^2 \right]^{1/2} \quad (27)$$

where

$u_{\Delta L}$  is the uncertainty of the differences between  $\Delta L_i$  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  $(\Delta L_i - \Delta L_{i, \text{model}})$  near  $L = 0$ ; if applicable,  $\Delta L_i$  may be averaged over the correspondent sampling interval; the least-squares algorithm used for the determination of  $\Delta L_0$  can be used to determine  $\sigma_{\Delta L}$ .

$u_{T_{\text{delay}}}$  is the uncertainty of the system insertion delay; the assumption is that the first-time 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  $\Delta L_i$  and the least-squares approximation near  $L = 0$ . Then calculate the location readout uncertainty  $u_{\text{Lreadout}}$  (which includes the distance sampling error) by dividing the largest difference by the square root of 3. Alternatively,  $u_{\text{Lreadout}}$  can be determined either with the least-squares algorithm used for the determination of  $\Delta S_L$  and  $\Delta L_0$  or with the following formula:

$$u_{\text{Lreadout}} = \left[ \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta L_i - \Delta L_{i, \text{model}})^2 \right]^{1/2} \quad (28)$$

## 6.3 Concatenated fibre method

### 6.3.1 Short description and advantages

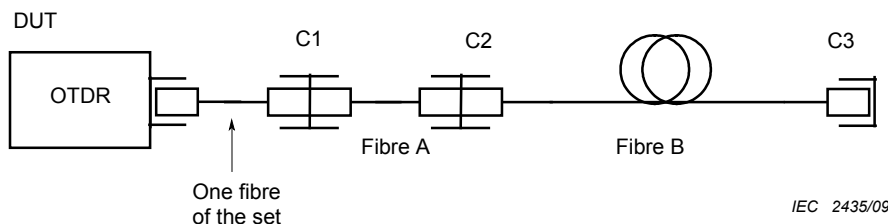
This method uses calibrated fibres with transit times precisely measured at the wavelength of the OTDR under test to calibrate the distance scale.

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 features. However, this process can be automated with optical switches, if desired.

### 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. Alternatively, they may be used with a fibre optic switching mechanism that does not require connectors.

The requirements on these fibres are indicated below.

- a) Fibre A may be a simple fibre with an end reflection, or a fibre with an internal reflection or splice. Its length is not very important, as long as it puts the feature to be measured on a backscatter trace which is essentially undisturbed from the initial reflection(s) near the OTDR port.

Fibre A may be split into a short jumper fibre and a length as outlined before, with connectorized ends. In this way, the incremental fibres (see below) can be inserted after the first section of fibre A without having access to the front panel of the OTDR. The reflection from the near-end connectors shall be small enough to avoid placing the feature at the end of fibre A into the dead zone of the OTDR.

This alternative may be important in automated systems.

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 at least 2 km 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. 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

$$0, D_x, 2D_x, \dots, (n-1)D_x \quad (29)$$

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

Select the type of feature (in or at the end of fibre A) for which the location offset is to be determined and select the fibres accordingly. Also, establish the technique (automatic or manual) for placing the markers on the feature in fibre A and the reflective ends of fibre B.

Connect fibre A to the front of the OTDR, so that the feature at or near the far end 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 feature in fibre A with the OTDR. Record this first measured location as  $L_{\text{otdr},1}$ . Measure the length of fibre B with the OTDR, using the two reflections generated by this fibre. Record this first measured distance as  $D_{\text{otdr},1}$ .

Insert the shortest of the incremental fibres between the OTDR and the beginning of fibre A. Measure the location  $L_{\text{otdr},2}$  and the distance  $D_{\text{otdr},2}$ . If fibre A is a split fibre, as described in 6.3.2, the incremental fibres may be inserted into the split instead of between the OTDR and the beginning.

Continue inserting successively increasing length combinations of the incremental fibres. Measure the location  $L_{\text{otdr},i}$  and the distance  $D_{\text{otdr},i}$  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

$$\Delta S_L = \frac{\langle D_{\text{otdr}} \rangle}{D_{\text{ref}}} - 1 = \frac{N \langle D_{\text{otdr}} \rangle}{c T_b} - 1 \quad (30)$$

where

$D_{\text{ref}}$  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 (16):

$$\Delta L_0 = \langle L_{\text{otdr}} \rangle - (1 + \Delta S_L) \langle L_{\text{ref}} \rangle \quad (31)$$

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

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;

$\Delta S_L$  is the distance scale deviation as determined by the Equation (30); if fibre A is sufficiently short, then the  $\Delta S_L$  term can be neglected.

### 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 D 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 (30):

$$u_{\Delta S_L} = \left[ \left( \frac{u_{D_{\text{otdr}}}}{D_{\text{otdr}}} \right)^2 + \left( \frac{u_{T_b}}{T_b} \right)^2 \right]^{1/2} \text{ m/km} \quad (32)$$

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  $\sigma_{T_b}$  should itself be calculated by root-sum-squaring.

$u_{T_b, \text{counter}}$  is the transit time uncertainty of fibre B, due to the time interval counter;

$u_{T_b, \lambda}$  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;

$u_{T_b, \Theta}$  is the transit time uncertainty of fibre B, due to its temperature coefficient; typical value: 1 cm/(km °C).

#### 6.3.5.3 Location offset uncertainty

The location offset uncertainty  $u_{\Delta L_0}$  should be calculated from the following formula which is derived from Equation (31), by neglecting the  $\Delta S_L$  and the  $(n-1) D_x/2$  terms:

$$u_{\Delta L_0} = \left[ u_{L_{\text{otdr}}}^2 + \left( \frac{c}{N} \right)^2 u_{T_a}^2 \right]^{1/2} \quad (33)$$

where  $u_{L_{\text{otdr}}}$  is the uncertainty of measuring the location of the feature at the end (or inside) 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:

- $u_{Ta, \text{counter}}$  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; typical value: 1 cm/(km °C).

#### 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.

$$L_{\text{otdr}, i} - L_{\text{ref}, i} = L_{\text{otdr}, i} - \left( \frac{cT_a}{N} + iD_x \right) \quad i = 0 \text{ to } n-1 \quad (34)$$

and

$$D_{\text{otdr}, i} - D_{\text{ref}, i} = D_{\text{otdr}, i} - \frac{cT_b}{N} \quad i = 0 \text{ to } n-1 \quad (35)$$

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

### 6.4 Recirculating delay line method

#### 6.4.1 Short description and advantage

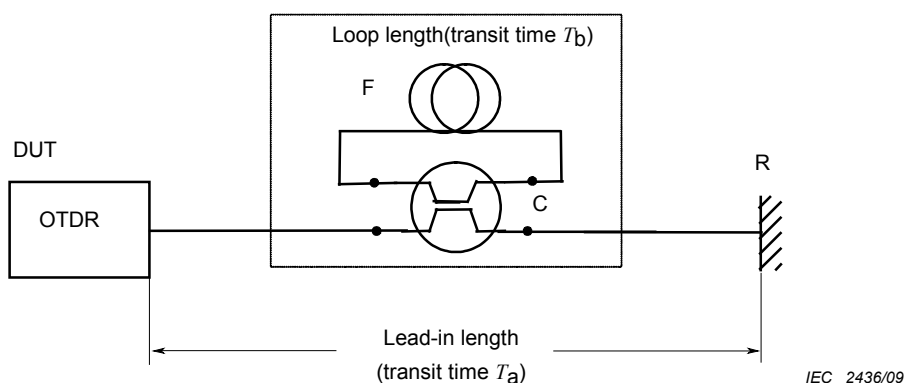
The recirculating delay line method uses a calibrated loop of fibre, made with a coupler and a reflector, to generate periodic reflections.

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 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

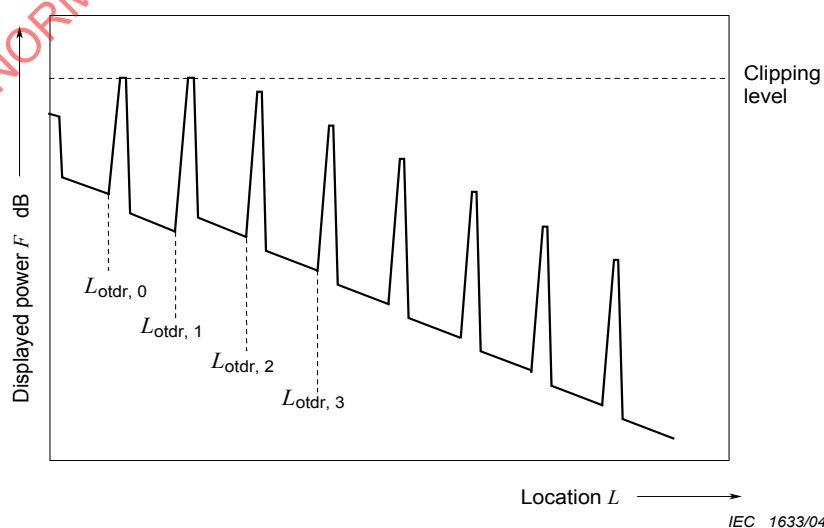
**Figure 6 – Distance calibration with a recirculating delay line**

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

$$\begin{aligned} L_{\text{otdr},0} &= L_a \\ L_{\text{otdr},1} &= L_a + L_b/2 \\ L_{\text{otdr},2} &= L_a + L_b \rightarrow \text{etc} \end{aligned} \quad (36)$$

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  $L_{\text{otdr},i}$ , 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:

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

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  $\Delta L_i$ :

$$\Delta L_i = L_{\text{otdr},i} - L_{\text{ref},i} = \Delta S_L L_{\text{ref},i} + \Delta L_0 + f(L_{\text{ref},i}) \quad (37)$$

To determine the location offset  $\Delta L_0$  and the distance scale deviation  $\Delta S_L$ , fit the location deviation data to the simplified location deviation model (in which the location readout uncertainty is momentarily neglected):

$$\Delta L_{i,\text{model}} = \Delta S_L L_{\text{ref},0} + \Delta L_0 \quad (38)$$

Specifically, minimize the difference between the model and the data using the least-squares criterion, that is choose  $\Delta S_L$  and  $\Delta L_0$  so that the summation:

$$\sum_i (\Delta L_i - \Delta S_L L_{\text{ref},i} - \Delta L_0)^2 \quad (39)$$

is minimized. Record  $\Delta L_0$  and  $\Delta S_L$  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 D 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 no influence on the slope of the distance error model.

Applying the standard formula for the propagation of errors to Equation (7) yields the distance scale uncertainty  $u_{\Delta S_L}$  in which  $\langle D_{\text{otdr}} \rangle \cong D_{\text{ref}}$  was used.

$$u_{\Delta S_L} \cong \left[ \left( \frac{u_{\langle \text{Dotdr} \rangle}}{\langle D_{\text{otdr}} \rangle} \right)^2 + \left( \frac{u_{D_{\text{ref}}}}{D_{\text{ref}}} \right)^2 \right]^{1/2} \text{ m/km} \quad (40)$$

where

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

$u_{\langle \text{Dotdr} \rangle}$  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  $(\Delta L_i - \Delta L_{i,\text{model}})$  which includes the marker placement uncertainty and the distance sampling error; the least squares algorithm used for the determination of  $\Delta S_L$  can be used to determine  $u_{\langle \text{Dotdr} \rangle}$ ; if incremental fibres are used, then  $\Delta L_i$  may be averaged over the correspondent sampling interval;

$u_{D_{\text{ref}}}$  is the uncertainty of the reference distances; it can be calculated from the formula  $u_{D_{\text{ref}}}/D_{\text{ref}} = u_{T_b}/T_b$ , where  $u_{T_b}$  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  $\Delta L_0$  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 (38):

$$u_{\Delta L_0} = \left[ u_{\Delta L}^2 + \left( \frac{c}{N} \right)^2 u_{T_a}^2 \right]^{1/2} \quad (41)$$

where

- $u_{\Delta L}$  is the uncertainty of the differences between  $\Delta L_i$  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  $\Delta L_0$  can be used to determine  $\sigma_{\Delta L}$ ; if incremental fibres are used, then  $\Delta L_i$  may be averaged over the correspondent sampling interval;
- $u_{Ta}$  is the documented uncertainty of the delay time of the lead-in fibre of the recirculating delay line (see Annex A);
- $u_{Ta, \Theta}$  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 Loss calibration – General

### 7.1 General

The objective of the loss calibration is to determine the loss deviation  $\Delta A$  for power levels  $F$  within the OTDR backscatter regime and to evaluate the measurement uncertainties.  $\Delta A$  is a function of the displayed power level  $F$ ; it includes both the inaccuracy of the displayed loss and the non-linearity of the OTDR power scale.

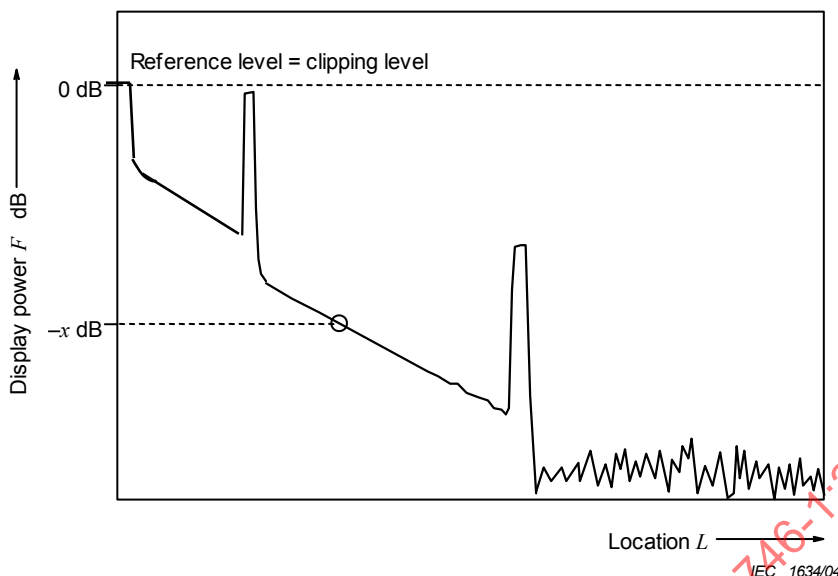
The loss scale deviation  $\Delta S_A$  can be used to present the calibration results as an alternative. This is especially useful, on previous generation of OTDR, when the error can be a function of the attenuation. The user should take care of the use of this parameter for attenuation lower than 1 dB: the uncertainty can be higher than the one provided by the formula.

The calibration can be carried out with any of the following four methods: fibre standard, external source, splice simulator or power reduction. The following subclauses outline the principles of the loss calibration.

### 7.2 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. Alternatively, a sufficiently strong optical pulse from an external source can be used (see 8.3). The clipping level was chosen because it represents the most reproducible level on most OTDR power scales.



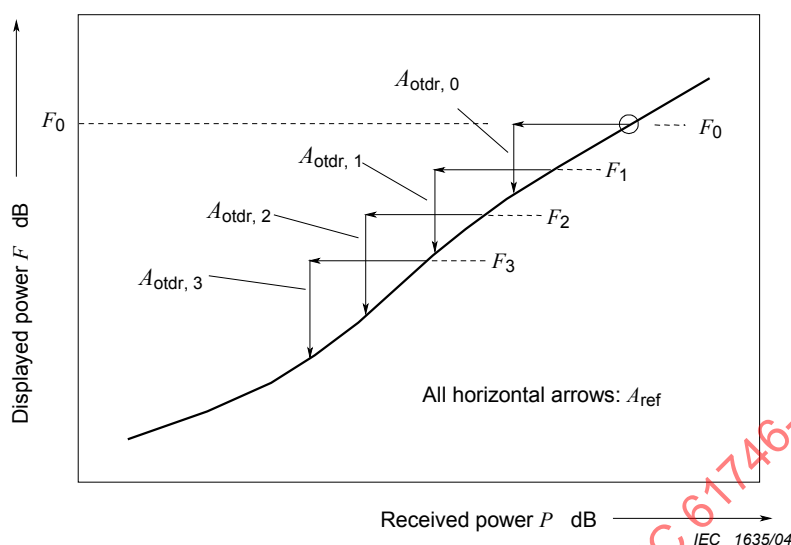
**Figure 8 – Determining the reference level and the displayed power level**

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.

### 7.3 Selection of an appropriate reference loss $A_{\text{ref}}$

The principle of the loss calibration is to apply a device of known (reference) loss  $A_{\text{ref}}$  to the OTDR and to measure the displayed loss  $A_{\text{otdr},i}$  as a function of the displayed power level  $F_i$ , as shown in Figure 9. Notice that the  $F_i$  values denote the high power ends of  $A_{\text{otdr},i}$ .

From a theoretical point of view, an infinitesimally small value of  $A_{\text{ref}}$  would be desirable. In practice, values of  $A_{\text{ref}}$  being too small may result in additional measurement uncertainty due to OTDR noise, whereas large values of  $A_{\text{ref}}$  tend to obscure fine details. Therefore, the specific value of  $A_{\text{ref}}$  used in the calibration has to be documented. The recommended range for  $A_{\text{ref}}$  is 0,5 dB to 2 dB.



**Figure 9 – Measurement of the OTDR loss samples**

The reference loss can be an actual or simulated fibre optic component. Note that fibre optic components usually exhibit wavelength-dependent losses. Therefore, it is necessary to know the reference loss at the centroidal wavelength of the OTDR. It is also important that the reference loss has a small polarization dependence.

#### 7.4 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 10: 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 1 below, and 3 dB margins on both sides.

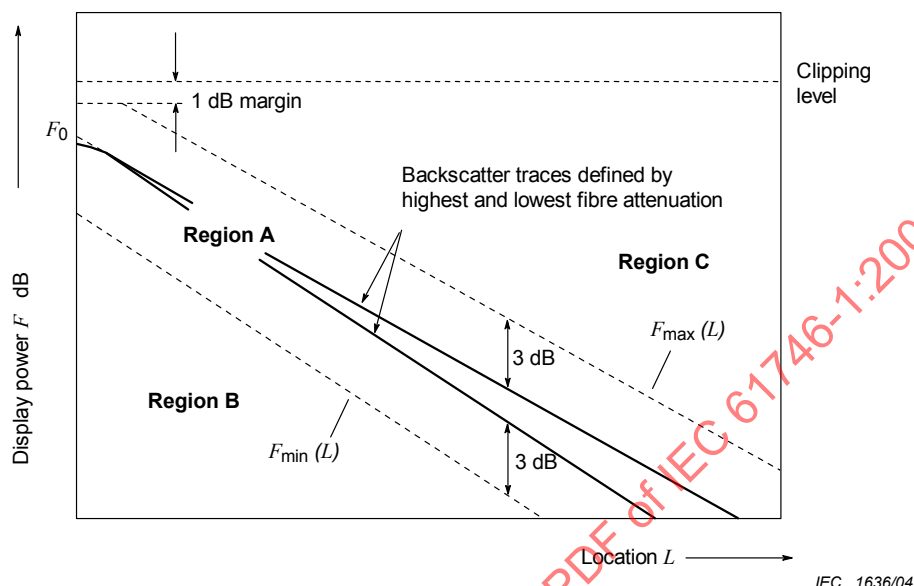
**Table 1 – Attenuation coefficients defining region A**

| Wavelength<br>nm | Fibre attenuation coefficients      |                                      |
|------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
|                  | Lowest ( $\alpha_{\min}$ )<br>dB/km | Highest ( $\alpha_{\max}$ )<br>dB/km |
| 1 310            | 0,33                                | 0,43                                 |
| 1 550            | 0,18                                | 0,28                                 |

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

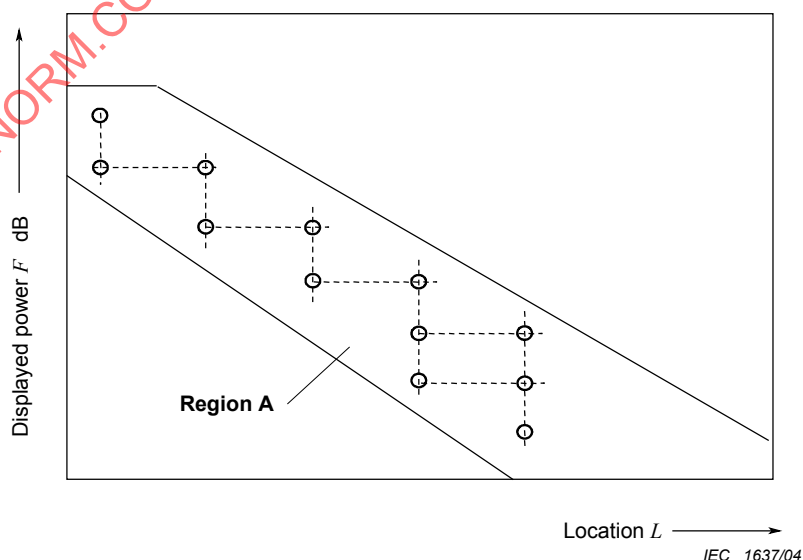
$$\begin{aligned}
 F_{\max}(L) &= F_0 - \alpha_{\min} L + 3 \text{ dB} \\
 F_{\min}(L) &= F_0 - \alpha_{\max} L - 3 \text{ dB}
 \end{aligned}
 \tag{42}$$

$F_{\max}$  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 10 – Region A, the recommended region for loss measurement samples**

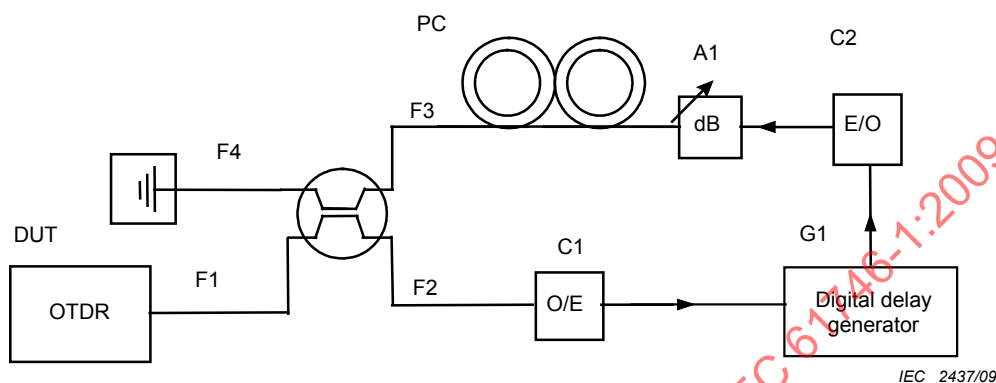
For each of the methods outlined below, develop a test plan of sample placements, each of which is a combination of location and displayed power level. The goal is a vertical sample spacing of 0,5 dB to 1 dB, and not more than the reference loss  $A_{\text{ref}}$ . An attenuation range from  $F_0$  down 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 11.



**Figure 11 – Possible placement of sample points within region A**

## 7.5 Polarization dependence

Polarization dependence (PDL) testing can be accomplished by feeding a polarized external signal with variable polarization state and constant power level to the OTDR port (see IEC 61300-3-2). One possibility is including a PDL test into the external source method outlined in 8.3, by replacing one attenuator by a polarization controller. Figure 12 shows an example. The polarization controller should be able to generate all states of polarization while leaving the output power and degree of polarization essentially unchanged.

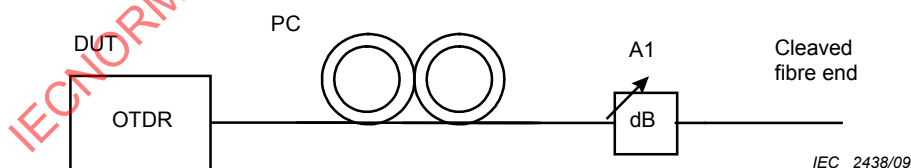


### Key

|                   |                                 |
|-------------------|---------------------------------|
| F1, F2, F3 and F4 | fibres                          |
| C1                | optical-to-electrical converter |
| C2                | electrical-to-optical converter |
| A1                | variable attenuator             |
| PC                | polarisation controller         |
| G1                | digital delay generator         |

**Figure 12 – External source method for testing the polarization dependence of the OTDR**

Another possibility for polarization dependence testing is using the reflected signal from, for example, a cleaved fibre end. See Figure 13.



### Key

|    |                         |
|----|-------------------------|
| A1 | variable attenuator     |
| PC | polarisation controller |

**Figure 13 – Reflection method for testing the polarization dependence of the OTDR**

Be aware that the loss of the polarization controller may depend on its settings (rotation dependence). The coupler used in the external source method may also exhibit polarization-dependent loss. It is essential that these dependences be smaller than the OTDR polarization dependence. Both will introduce a measurement uncertainty. It is recommended to test the set-up for this uncertainty as follows.

- a) In the case of the external source method, evaluate the uncertainty by setting the E/O converter to continuous-wave operation and replacing the OTDR with a polarization-insensitive optical power meter.

In the case of the reflection method, evaluate the uncertainty by setting the OTDR to continuous-wave mode if possible; otherwise, replace the OTDR with a continuous-wave (polarized) laser source. Connect the fibre end to a polarization-insensitive optical power meter.

- b) Adjust the polarization controller so that a large number of polarization states is produced which cover essentially the entire Poincaré sphere. Observe the peak-to-peak change of the displayed power level caused by the change of polarization state,  $\Delta A_{\text{pdl,set-up}}$ ; this quantity will also include the power meter's polarization dependence. Following the mathematical basis, record the result in the form of an uncertainty for the PDL measurement set-up,  $u_{\text{pdl,set-up}}$ :

$$u_{\text{pdl,set-up}} = \frac{\Delta A_{\text{pdl,set-up}}}{2\sqrt{3}} \quad (43)$$

To test the OTDR polarization dependence, place the optical pulse on the centre of the screen. Avoid displayed power levels near the OTDR's clipping level by proper setting of the attenuator. Adjust the polarization controller so that a large number of polarization states is produced. Observe the change of displayed power level caused by changing the polarization state. Record the variation of the pulse amplitude  $\pm \Delta A_{\text{pdl,otdr}}$ .

Include the PDL measurement result into the documentation. If PDL testing was not carried out, then this is to be specifically stated in the documentation.

## 7.6 Calculation of the calibration results

From the measured values  $A_{\text{otdr},i}$ , calculate the loss deviation  $\Delta A_i$ :

$$\Delta A_i = A_{\text{otdr},i} - A_{\text{ref}} \quad \text{dB} \quad (44)$$

The loss uncertainties  $u_{\Delta A}$  are discussed in conjunction with the calibration methods.

## 7.7 Using the calibration results

The error of a loss value,  $\Delta Y_i$  measured with the OTDR  $\Delta A_i$  and its uncertainty can be calculated from the calibration results by the following formula, in which the recommended confidence level of 95 % is used:

$$\Delta Y_i = \Delta A_i \pm 2u_{\Delta A,i} \quad \text{dB} \quad (45)$$

Notice that this error applies, in a rigorous sense, only to measured losses at the displayed power level and displayed location for which  $\Delta A_i$  was recorded.

# 8 Loss calibration methods

## 8.1 General

In all loss calibration methods, a reference loss is produced outside the OTDR, and the OTDR response to this reference loss is tested. In some cases, the reference loss is the difference between two signals of equal polarization state (see 8.3 and 8.5). In these cases, the loss calibration result is not influenced by the OTDR's polarization dependence. In other cases, the reference loss is the difference between two signals of potentially different polarization states (see 8.2 and 8.4). In these cases, it may be advisable to add a polarization controller between the OTDR and the reference loss device, in order to be able to average out the influence of the OTDR polarization dependence. Generally, it is desirable that the loss calibration results are not influenced by the OTDR polarization dependence.

## 8.2 Fibre standard method

### 8.2.1 Short description and advantage

The fibre standard method describes the calibration of the OTDR power scale with the help of an optical fibre standard of precisely determined loss (see Annex B). This reference loss is used to determine  $A_{\text{otdr},i}$ . This calibration method closely reflects the conditions in measuring fibre attenuation with an OTDR; it is particularly well suited for the calibration of region A of Figure 10.

### 8.2.2 Equipment

#### 8.2.2.1 General

In addition to the test OTDR, the measurement equipment includes

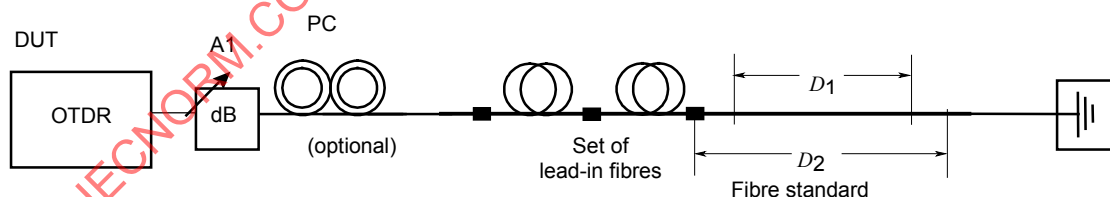
- a) a fibre standard as described in Annex B;
- b) a set of lead-in fibres, these shall be type B single-mode fibres (see IEC 60793-2-50);
- c) a variable attenuator;
- d) optionally, a polarization controller.

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 30 dB range with 2 dB steps by a proper combination of four lead-in fibres with attenuation values of 2 dB, 4 dB, 8 dB and 16 dB.

These fibres should be equipped with low-reflectance 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 optional polarization controller is to reduce the possible influence of the OTDR polarization dependence (see Figure 14).



IEC 2439/09

#### Key

- A1 variable attenuator
- PC polarisation controller (optional)

**Figure 14 – Loss calibration with a fibre standard**

Both the attenuator and the polarization controller shall have low reflections, because reflections can influence the attenuation measurement results.

### 8.2.2.2 Calibration of the reference loss

Measure the total length  $D_2$  of the fibre standard according to the OTDR manufacturer's instructions for length measurement. Using the OTDR markers, select a section of the fibre standard, of length  $D_1$ , outside the attenuation dead zone caused primarily by any connectors in front of the fibre standard (see Figure 15). 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  $D_1$ .

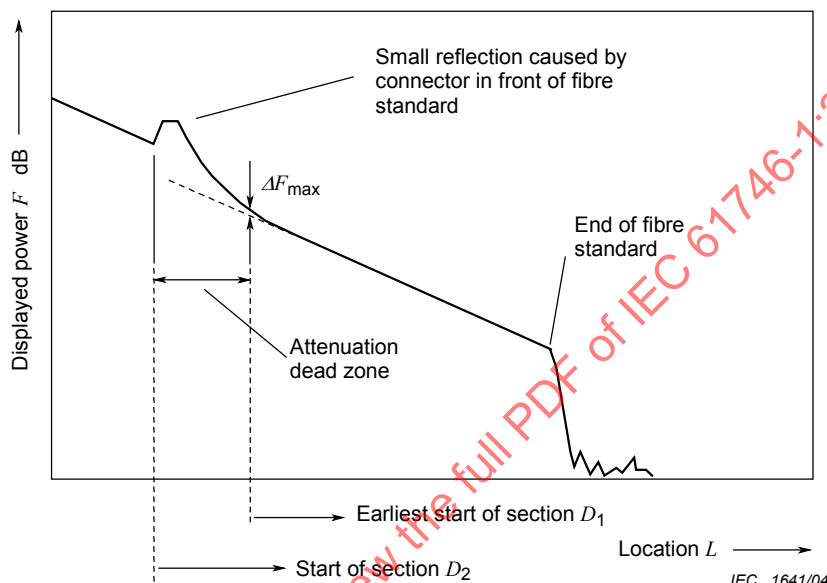


Figure 15 – Placing the beginning of section  $D_1$  outside the attenuation dead zone

A length  $D_1$  that corresponds to a reference loss of about 0,5 dB is recommended. Back reflections from the fibre standard's far end should be carefully avoided, because they can influence the preceding backscatter trace. Due to the longitudinal uniformity of the fibre standard and the directional independence of its backscatter loss, the reference loss  $A_{\text{ref}}$  at the marker locations is given with high accuracy by

$$A_{\text{ref}} = A_{\text{std}}(\lambda_{\text{avg}}) \frac{D_1}{D_2} \quad \text{dB} \quad (46)$$

where  $A_{\text{std}}(\lambda_{\text{avg}})$  is the calibrated loss of the fibre standard at the centroidal wavelength of the OTDR  $\lambda_{\text{avg}}$  (see Annex B).  $A_{\text{ref}}$  shall remain constant during the subsequent measurements, or the distance between the marker locations shall be kept fixed. Note that the influence of the group index is eliminated in the calculation.

### 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 8.2.2. Overlapping measurement samples, that is samples at the same displayed power level but at different locations, are desirable. That part of the dynamic range which might be inaccessible due to the insertion loss of the attenuator (including both connectors) may be covered by directly connecting the shortest lead-in fibre to the OTDR and varying the insertion loss by bending the lead-in fibre.

### 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  $L_i$ .

The measurement results are expected to be influenced by the OTDR polarization dependence (PDL), because the signals from the beginning and the end of section  $D_1$  may have different polarization states. A way of reducing the PDL influence is inserting a polarization controller, as shown in Figure 14, and measuring  $n$  samples of  $A_{\text{otdr},i}$  at different positions of the polarization controller. Finally, all of the  $n$  samples can be averaged to a single  $A_{\text{otdr},i}$ , in which the PDL influence is reduced.

### 8.2.4 Calculations and results

Calculate the loss deviation samples  $\Delta A_i$  using Equation (47):

$$\Delta A_i = A_{\text{otdr},i} - A_{\text{ref}} \quad \text{dB} \quad (47)$$

Alternatively report the loss scale deviation using Equation (48):

$$\Delta S_{A,i} = \frac{A_{\text{otdr},i} - A_{\text{ref}}}{A_{\text{ref}}} \quad \text{dB/dB} \quad (48)$$

### 8.2.5 Uncertainties

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

The standard deviation characterizing the loss uncertainty  $u_{\Delta A}$  of an individual  $\Delta A$  can be calculated from Equation (47), using the standard formula for the propagation of errors.

$$u_{\Delta A} = \left( u_{A_{\text{ref}}}^2 + u_{A_{\text{otdr}}}^2 \right)^{1/2} \quad \text{dB} \quad (49)$$

The uncertainty  $u_{A_{\text{ref}}}$  of the reference loss, that is of the fibre standard, and  $u_{A_{\text{otdr}}}$  of the OTDR response shall be determined.

The uncertainty  $u_{A_{\text{ref}}}$  should be accumulated, by root-sum-squaring, from the following contributions:

- $u_{A,\text{std}}$  the loss uncertainty, in decibels, of the fibre standard as documented according to Annex B;
- $u_{A,\text{distance}}$  the loss uncertainty, in decibels, due to not using the full length of the fibre standard; this uncertainty should itself be accumulated by root-sum-squaring the uncertainty in determining the length relation  $D_1/D_2$  (see Equation (46)) and the uncertainty due to the longitudinal attenuation uniformity (see Annex B).

The uncertainty  $u_{A_{\text{otdr}}}$  should be accumulated, by root-sum-squaring, from the following contributions:

- $u_{A,\lambda}$  the loss uncertainty, in decibels, introduced by the uncertainty of the OTDR centroidal wavelength  $u_{\lambda}$ .

NOTE This uncertainty may be negligible at wavelengths near 1 550 nm because of the small wavelength dependence of the fibre loss at these wavelengths; in the wavelength region where the loss is predominantly given by Rayleigh scattering, for example at 1 300 nm, the uncertainty is

$$u_{A,\lambda} = \frac{4 A_{\text{ref}}}{\lambda} u_{\lambda} \quad (50)$$

|                           |                                                                                                                                                                                                       |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $u_{A,\text{deadzone}}$   | the loss uncertainty, in decibels, caused by the attenuation dead zone following the connector(s);                                                                                                    |
| $u_{A,\text{attenuator}}$ | the loss uncertainty of the optical attenuator caused by the possibility that the backscatter signal is polarized and the attenuator may have polarization-dependent loss;                            |
| $u_{A,\text{pdl}}$        | the loss uncertainty caused by the OTDR's polarization dependence, due to the fact that the backscatter signal exhibits different polarization states; this uncertainty can be reduced (see 8.2.3.2); |
| $u_{A,\text{type A}}$     | the loss uncertainty type A, in decibels, to be experimentally determined. It will depend on the displayed power level and OTDR averaging time.                                                       |

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

### 8.3 External source method (see Figure 16)

#### 8.3.1 Short description and advantage

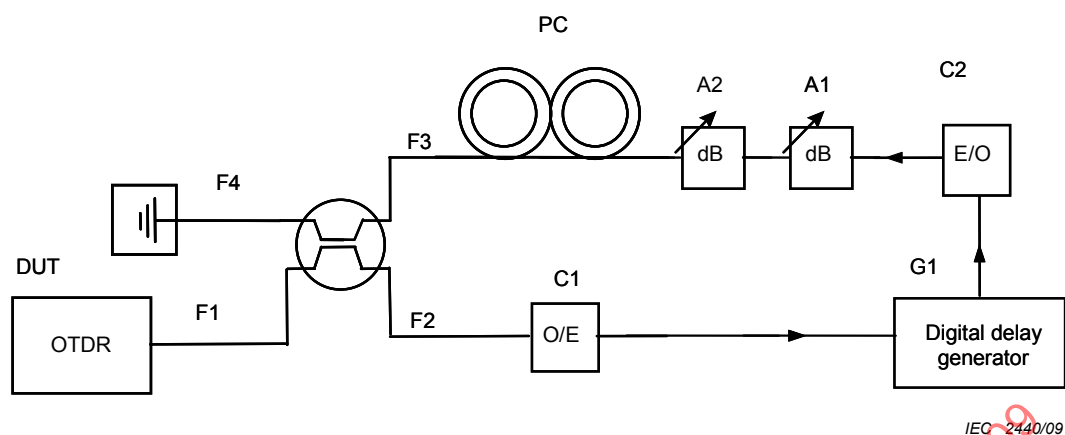
This method uses a calibrated delay generator to simulate the time delay in a fibre, and an optical source to generate a known change of optical pulse amplitude. The equipment is similar to the one used for the external source method for distance calibration (see 6.2), except that control of the optical amplitude is added. The combination of variable delay and variable pulse amplitude allows complete characterization of the OTDR power scale, including its dependence on distance.

The method is well suited to fully automated laboratory testing under computer control. It can calibrate all regions A, B and C of Figure 10. For simplicity, the text below describes only a pulsed signal source generating points in region A with no backscatter light in the signal history. To calibrate the OTDR for other conditions, the pulsed light source described below should be replaced by an optical source that simulates the appropriate signal.

#### 8.3.2 Equipment

In addition to the test OTDR, the measurement equipment includes

- an optical fibre coupler to interconnect the system;
- an optical to electrical (O/E) converter;
- a delay generator with variable delay, variable pulse width and variable pulse amplitude;
- an electrical to optical (E/O) converter, with a centroidal wavelength which is approximately equal to the OTDR's centroidal wavelength, and preferably with the capability of generating continuous-wave optical power (for the calibration of the reference loss);
- a variable optical attenuator (attenuator 1);
- an optical attenuator (attenuator 2) with good repeatability to toggle in and out a specific quantity of attenuation (the recommended value is 1 dB to 4 dB);
- optical fibre jumper cables to connect the system;
- an optical power meter.



### Key

|                   |                                 |
|-------------------|---------------------------------|
| F1, F2, F3 and F4 | fibres                          |
| C2                | electrical-to-optical converter |
| C1                | optical-to-electrical converter |
| A1, A2            | variable attenuators            |
| PC                | polarisation controller         |
| G1                | digital delay generator         |

**Figure 16 – Loss calibration with the external source method**

The combination of variable attenuator A1 and variable delay generator allows the peak of an optical pulse (or simulated backscatter trace) to be positioned anywhere in the two-dimensional space of the OTDR display. Attenuator A2 is used to toggle a fixed attenuation step in and out so that the optical pulse amplitude changes by a known amount. Note that the reference loss  $A_{\text{ref}}$  equals half the attenuation step, due to the OTDR's vertical scaling factor of 0,5.

The purpose of the optional polarization controller is to reduce the possible influence of the polarization dependence of the two attenuators and the power meter used in taking the reference loss. If applicable, it should be used in both calibrating the reference loss and taking the actual measurements, by taking the average of several polarization states as described in 8.2.3.2.

### 8.3.3 Calibration of the reference loss

Select a suitable value for the reference loss  $A_{\text{ref}}$ . A value of 0,5 dB to 2 dB is recommended – this equals an attenuation step of 1 dB to 4 dB.

Set the E/O converter to continuous wave (CW) operation. Connect the optical power meter to the OTDR end of fibre F1. Set the wavelength correction of the optical power meter to the wavelength of the E/O converter. Measure the attenuation step of attenuator 2 a number of times to determine  $A_{\text{ref}}$  and its uncertainty type A  $u_{A,\text{step}}$ . Note that optical interference, caused by reflections in the measurement set-up and by a narrow spectral width of the source, may cause undesired variability of the measurement results.

Calculate the reference loss as the average attenuation step divided by 2.

### 8.3.4 Measurement procedure

#### 8.3.4.1 Preparation

Select appropriate combinations of pulse amplitudes and delay settings so that the measurement samples are spaced by 0,5 dB to 1 dB and distributed evenly over the entire length of region A (see Figure 10). Overlapping measurement samples are desirable, that is samples at the same displayed power level but at different locations. Note that measurement samples outside of region A can be provided on a voluntary basis.

Select the E/O pulse width, for example, 1  $\mu$ s, so that the displayed pulse has an essentially flat top. Select the OTDR pulse width so that it is shorter than the return path, to prevent it from overlapping the pulse from the E/O. Program attenuators 1 and 2 and the delay generator accordingly. Another possibility is to change the pulse width with each new location, so that the pulse always starts at  $L = 0$ , and determine the attenuation step at the end of the pulse.

Define the method of using the OTDR to measure the change of power level caused by toggling attenuator 2. For example, the method may involve averaging a number of points in the vicinity of the measurement location. Also, define the method of measuring the displayed power level (see Clause 7; the displayed power level is defined as the upper level of the two in question).

Switch on all equipment. Specifically, allow sufficient warm-up time for the E/O converter to achieve a stable pulse amplitude. Toggle attenuator 2 a few times and verify the stability of the displayed power level and of the attenuation step  $A_{otdr}$  with the OTDR.

#### 8.3.4.2 Taking the measurement results

Determine the 0 dB reference level as described in Clause 7.

For each of the preselected combinations of attenuator 1 settings and delay generator settings proceed as follows.

Determine the measurement location on the pulse  $L_i$ , for example, as the centre of the pulse width. To reduce the uncertainty, do not change  $L_i$  during the set of measurements at this particular location.

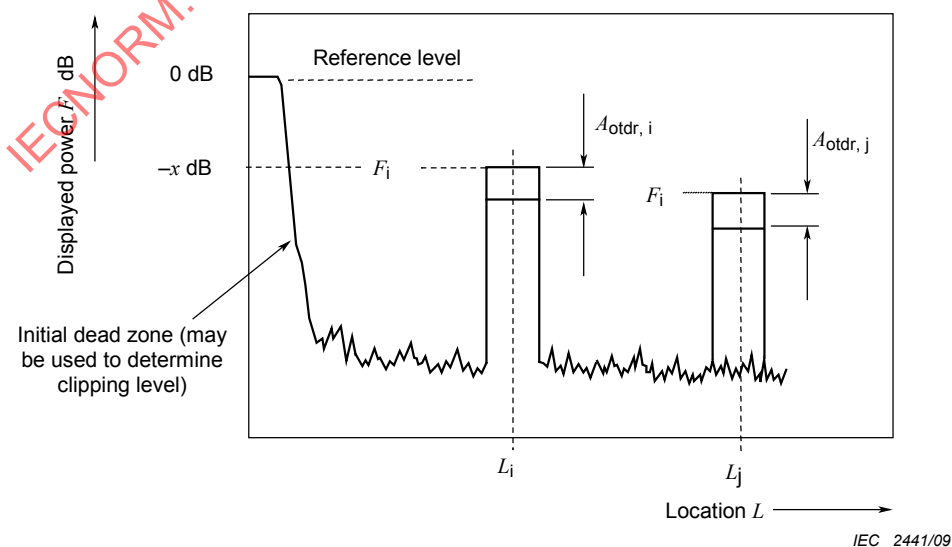


Figure 17 – Location and measurements for external source method

Toggle attenuator 2 between its predefined settings, record the displayed power level  $F_i$  (the upper level of the two in question) and the change of displayed power level  $A_{\text{otdr},i}$  as shown in Figure 17.

It may be advisable to repeat the measurement of  $A_{\text{otdr},i}$  several times and to record the average of these samples. It may also be desirable to generate more than one sample per location, at different displayed power levels, by adjusting the pulse power with attenuator 1.

Proceed by setting the delay generator to the next location.

### 8.3.5 Calculations and results

For each measurement sample, calculate the loss deviation using Equation (44):

$$\Delta A_i = A_{\text{otdr},i} - A_{\text{ref}} \quad \text{dB} \quad (51)$$

Record the displayed power level  $F_i$  and the location  $L_i$  with each loss deviation value. It may be advisable to plot the loss deviation values as a function of the displayed power level  $F_i$ .

Alternatively report the loss scale deviation using Equation (52):

$$\Delta S_{A,i} = \frac{A_{\text{otdr},i} - A_{\text{ref}}}{A_{\text{ref}}} \quad \text{dB/dB} \quad (52)$$

### 8.3.6 Uncertainties

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 D should be used to calculate and state the uncertainties.

The standard deviation characterizing the loss uncertainty can be calculated from Equation (51) using the standard formula for the propagation of errors:

$$u_{\Delta A} = \left( u_{A_{\text{ref}}}^2 + u_{A_{\text{otdr}}}^2 \right)^{1/2} \quad \text{dB} \quad (53)$$

The uncertainty of the reference loss  $u_{A_{\text{ref}}}$  should be accumulated, by root-sum-squaring, from the following contributions:

- $u_{A,\text{pm}}$  the uncertainty, in decibels, due to calibrating the reference loss with the power meter, for example, due to the power meter's non-linearity, polarization dependence, inhomogeneity and noise. This uncertainty should itself be accumulated by root-sum-squaring;
- $u_{A,\text{refl}}$  the uncertainty due to differences in the reflection characteristics of the set-up. The return loss of the power meter will not be the same as the return loss of the coupler/OTDR combination; this may have an influence on the magnitude of the reference loss;
- $u_{A,\text{step}}$  the loss uncertainty, in decibels, introduced by the instability of the attenuation step, for example caused by the instability of the external source, optical interference, or the coupler's polarization dependence in conjunction with instability of the state of polarization.

The uncertainty of the OTDR measurement samples  $u_{A_{\text{otdr}}}$  should be accumulated, by root-sum-squaring, from the following contributions:

- $u_{A,\lambda}$  the uncertainty, in decibels, caused by the difference between the centroidal wavelengths of the OTDR and the optical source used in the calibration;
- $u_{A,\text{pdl}}$  the uncertainty, in decibels, introduced by changing polarization state as a result of the attenuation step;

$u_{A,type A}$  the uncertainty, in decibels, introduced by the variability of the attenuation step measurements, for example, caused by limited readout resolution and displayed power levels when they approach the noise limit. This uncertainty can be determined together with  $u_{A,step}$  above.

NOTE The uncertainties due to polarization dependence can be reduced or eliminated by the optional polarization controller.

## 8.4 Splice simulator method

### 8.4.1 Short description and advantage

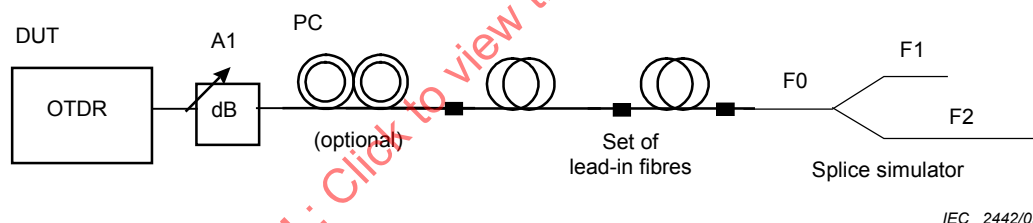
This method uses a splice simulator to calibrate the OTDR power scale. The splice simulator has a fixed reference loss of approximately 1,5 dB. This method closely reflects the condition in measuring splice attenuation with an OTDR. No electronic equipment is needed for the calibration. The method is well suited for the calibration of the regions A and B of Figure 10.

### 8.4.2 Equipment

In addition to the test OTDR, the measurement equipment includes

- a) a splice simulator as described in Annex C;
- b) a set of lead-in fibres. The lead-in fibres shall be type B of IEC 60793-2-50;
- c) a variable attenuator, if necessary;
- d) optionally, a polarization controller.

The test set-up is shown in Figure 18.



#### Key

- F0, F1 and F2 fibres
- A1 variable attenuator
- PC polarisation controller (optional)

**Figure 18 – Set-up for loss calibration with splice simulator**

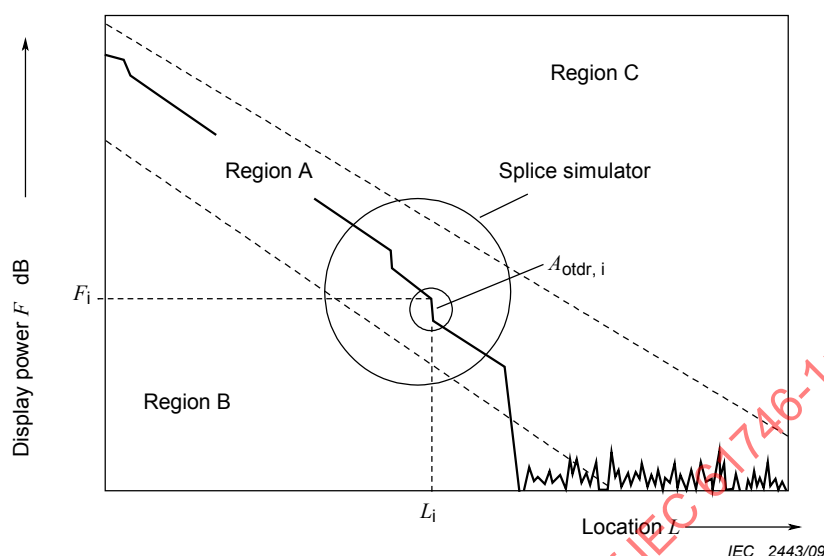
According to Annex C, the calibrated reference loss (approximately 1,5 dB) appears at the end of fibre F1. The purpose of the lead-in fibres is to generate measurement data within region A (see Clause 7 and Figure 19).

The loss produced by the splice simulator is the difference between

- a) the sum of the two backscatter signals from fibres F1 and F2, and
- b) the backscatter signal from fibre F2.

The two signals a) and b) will usually have different polarization states. Therefore, it may be advisable to use a polarization controller to produce a number of different polarization states of signals a) and b), which will then allow to average out the effect from the OTDR's polarization dependence.

It is important that the attenuator and the polarization controller have low reflections, because they can influence the calibration result.



NOTE The smaller circle represents the OTDR response to the reference loss.

**Figure 19 – OTDR display with splice simulator**

### 8.4.3 Procedure

#### 8.4.3.1 Preparation

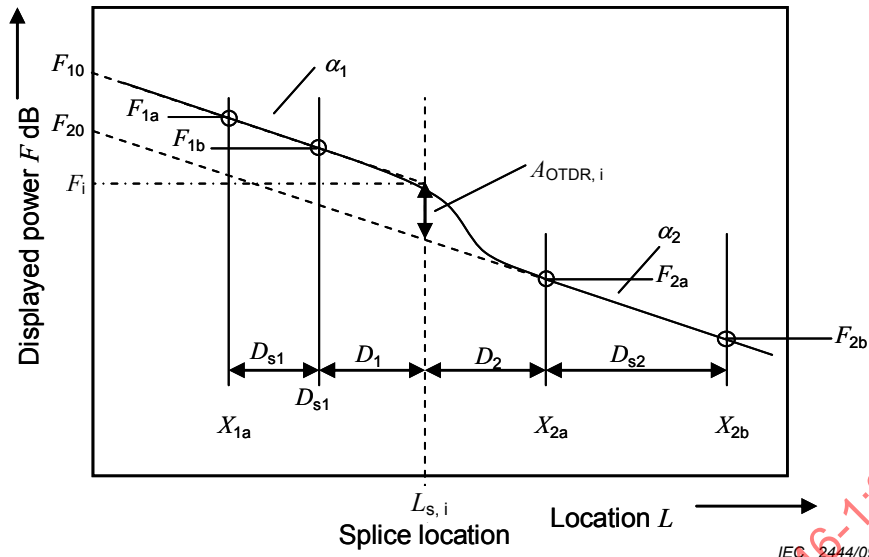
Select appropriate combinations of lead-in fibre and attenuator settings so that a vertical sample spacing of 0,5 dB to 1 dB is achieved and all measurement samples fall within the region A of the OTDR display. Overlapping measurement samples, that is samples which are taken at the same displayed power level but at different locations, are desirable. Note that the variable attenuator can be used in order to increase the number of different displayed power levels  $F$ .

Connect the splice simulator to the OTDR as shown in Figure 18.

#### 8.4.3.2 Taking the splice loss measurements

As illustrated in Figure 20, the splice loss  $A_{otdr}$  is defined as the vertical distance between the two lines representing the attenuation coefficients.

Follow the instructions below for splice loss measurement with two cursors (two points method) or with the least squares approximation (LSA method). Note that other methods such as the five cursors method or automatic measurement can also be used. However, the method used shall be clearly specified.



**Figure 20 – Measurement of the splice loss**

If the optional polarization controller is used, then repeat the following procedure  $n$  times for different positions of the polarization controller. In the calculations, average all of the  $n$  samples to a single  $A_{otdr,i}$ , in which the PDL influence is reduced.

For each combination of lead-in fibres and attenuator settings, proceed as follows:

- define point  $X_{1b}$  near the splice, but to the left on a straight, clean backscatter trace;
- define point  $X_{1a}$  to the left of  $X_{1b}$  at least 500 m away. A straight, clean backscatter trace should connect the two points. Record the distance between the two points  $D_{s1}$ ;

NOTE A distance of 500 m was chosen because it is essential that the backscatter loss between the two points is at least in the order of 0,1 dB.

- according to the method used – the two-point method or the LSA method:
  - if using the two-point method, record the two power levels,  $F_{1a}$  and  $F_{1b}$ , and compute the displayed attenuation coefficient of the fibre as:

$$\alpha_1 = \frac{F_{1a} - F_{1b}}{D_{s1}} \quad (54)$$

Note that the attenuation coefficient given by the OTDR may be used;

- if using the LSA method, compute the best-fit line and determine the slope  $\alpha_1$  and the intercept with the vertical axis  $F_{10}$ . The fit should be performed on all points between  $X_{1a}$  and  $X_{1b}$ . Record  $\alpha_1$  and  $F_{10}$ ;
- define point  $X_{2a}$  near the splice, but to the right, after any effects caused by the drop of signal on a straight, clean backscatter trace;
- define point  $X_{2b}$  to the right of  $X_{2a}$  at least 500 m away. A straight, clean backscatter trace should connect the two points. Record the distance between the two points  $D_{s2}$ ;
- according to the method used – the two-point method or the LSA method:
  - if using the two-point method, record the two power levels,  $F_{2a}$  and  $F_{2b}$ , and compute the displayed attenuation coefficient of the fibre as

$$\alpha_2 = \frac{F_{2a} - F_{2b}}{D_{s2}} \quad (55)$$

Note that the attenuation coefficient given by the OTDR may be used;

- 2) if using the LSA method, compute the best-fit line and determine the slope  $\alpha_2$  and the intercept with the vertical axis  $F_{20}$ . The fit shall be performed on all points between  $X_{2a}$  and  $X_{2b}$ . Record  $\alpha_2$  and  $F_{20}$ ;
- g) define the splice location  $L_{s,i}$  as the turning point of the backscatter trace;
- h) compute the distance  $D_1$  between point  $X_{1b}$  and the splice location. Compute the distance  $D_2$  between the splice location and point  $X_{2a}$ .

#### 8.4.4 Calculations and results

a) According to the method used – the two-point method or the LSA method:

- 1) if using the two-point method, compute the splice loss  $A_{\text{otdr},i}$  and the correspondent power level  $F_i$  (the subscript  $i$  indicates the  $i^{\text{th}}$  splice loss) as:

$$A_{\text{otdr},i} = (F_{1b} - \alpha_1 D_1) - (F_{2a} + \alpha_2 D_2) \quad (56)$$

$$F_i = F_{1b} - \alpha_1 D_1$$

- 2) if using the LSA method, compute the splice loss  $A_{\text{otdr},i}$  and the correspondent power level  $F_i$ , as:

$$A_{\text{otdr},i} = F_{10} - F_{20} - L_{s,i}(\alpha_1 - \alpha_2) \quad (57)$$

$$F_i = F_{1b} - \alpha_1 D_1$$

b) from the loss values  $A_{\text{otdr}}$ , calculate the loss deviations  $\Delta A$ :

$$\Delta A_i = A_{\text{otdr},i} - A_{\text{ref}} \quad \text{dB} \quad (58)$$

Record the loss deviations, the displayed power levels and the splice locations. State the method used for splice loss analysis (for example two-point method or least-squares approximation).

Alternatively report the loss scale deviation using Equation (59):

$$\Delta S_{A,i} = \frac{A_{\text{otdr},i} - A_{\text{ref}}}{A_{\text{ref}}} \quad \text{dB/dB} \quad (59)$$

#### 8.4.5 Uncertainties

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 D should be used to calculate and state the uncertainties.

The standard deviation characterizing the loss uncertainty  $u_{\Delta A}$  of an individual  $\Delta A$  can be calculated from Equation (58), using the standard formula for propagation of uncertainties:

$$u_{\Delta A} = \left( u_{A_{\text{ref}}}^2 + u_{A_{\text{otdr}}}^2 \right)^{1/2} \quad \text{dB} \quad (60)$$

The uncertainty  $u_{A_{\text{ref}}}$  can be extracted from the calibration certificate of the splice simulator (see Annex C). The uncertainty  $\sigma_{A_{\text{otdr}}}$  should be accumulated, by root-sum-squaring, from the following contributions:

- $u_{A,\lambda}$  the splice loss uncertainty, in decibels, introduced by the difference between the centroidal wavelength used for the calibration of the splice simulator and the OTDR's centroidal wavelength;
- $u_{A,\text{pdl}}$  the splice loss uncertainty caused by the OTDR polarization dependence, due to the possibility that the lead-in fibres and/or the attenuation step introduce a change of the signal's polarization state (when the optional polarization controller is used, then this uncertainty is reduced);

$u_{A,pos}$  the splice loss uncertainty, in decibels, introduced by the uncertainty of the splice location  $\sigma_L$ . If not available elsewhere, use one half of the OTDR pulse width, expressed in metres; the relation between these uncertainties is given by:

$$u_{A,pos} = |\alpha_1 - \alpha_2| \sigma_L \quad (61)$$

$u_{A,slope}$  the splice loss uncertainty introduced by the uncertainty of the slope measurement  $\sigma_s$ . The relation between these uncertainties is given by:

$$u_{A,slope} = \sqrt{(D_1 u_{\alpha_1})^2 + (D_2 u_{\alpha_2})^2} \quad (62)$$

## 8.5 Power reduction method

### 8.5.1 Short description and advantage

This method uses a known change of optical signal to calibrate the OTDR power scale. The correspondent change of displayed power level is a measure of the loss deviation. Three variants of this method are in compliance with this standard:

- the "fibre-end" variant, in which the power steps are recorded as the change of reflection amplitude;
- the "multiple-reflections" variant, in which the power steps are recorded as the changes of all reflection amplitudes produced;
- the "long-fibre" variant, in which the power steps are recorded as the change of backscatter signal along the length of the fibre.

The equipment includes an attenuator which is toggled between two attenuation settings to produce the change of displayed power level. The equipment is lightweight and inexpensive.

The advantage of the "fibre-end reflection" variant is that it can measure all regions A, B and C. A well-cleaved fibre end or polished connector, a second attenuator and a number of lead-in fibres are needed, in addition to the equipment of the "long fibre" variant, to place the measurement samples into the two-dimensional space of power and distance.

The "multiple-reflections" variant can also measure all regions A, B and C. Its advantage over the "single" fibre-end reflection is that no lead-in fibres and no fibre reconnections are necessary during the calibration. The multiple reflections can be generated by an optical cavity with partially transparent mirrors. This variant is well suited for full automation.

The advantage of the "long-fibre" variant is that this method is close to measuring fibre loss with the OTDR and that the measurement samples automatically fall into region A. Placing measurement samples into region C and the upper part of region A is not possible. No fibre reconnections are necessary during the calibration. This variant is also well suited for full automation.

It is expected that toggling the attenuation step in and out will not change the state of polarization of the wave returning to the OTDR, thereby allowing OTDR loss calibration without an uncertainty contribution from the OTDR polarization dependence. Appropriate polarization characteristics of the "toggle" attenuator are necessary to accomplish this. Care should be taken not to alter the position of the fibres in the measurement set-up while toggling the attenuator, because otherwise the measurement results will be affected by the OTDR polarization dependence.

An optional polarization controller, such as in the "fibre-standard" and "splice-simulator" methods, is not needed here because each loss measurement result is the difference of two samples representing essentially the same polarization state.

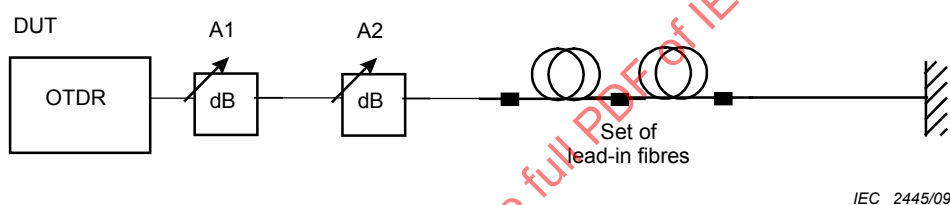
NOTE The set up must be mechanically and thermally stable over the period of the two measurements to avoid changes in the polarisation state caused by changes in the fibres.

## 8.5.2 Equipment

### 8.5.2.1 "Fibre-end" variant

The measurement equipment includes, as shown in Figure 21:

- a set of fibres, type B, IEC 60793-2-50, the end of which is equipped with a well-cleaved fibre end or polished connector; the shortest fibre of the set shall be long enough to ensure that the reflected pulse arrives after the recovery from the initial pulse;
- a variable optical attenuator (attenuator 1) with a resolution of  $\leq 0,1$  dB, to set the displayed power level;
- an optical attenuator (attenuator 2) with good repeatability to toggle in and out a specific quantity of attenuation (recommended values are 0,5 dB to 2 dB); this attenuator should have high attenuation repeatability (preferably  $< 0,05$  dB) when toggled between the two attenuation settings; it is also important that there is no change in the polarization state due to toggling, and that the reflectances are sufficiently low to avoid amplitude changes of the main reflection;
- optical jumper cables to connect the system;
- an optical power meter.



#### Key

A1 and A2                  attenuator

**Figure 21 – Loss calibration with "fibre-end" variant of the power reduction method**

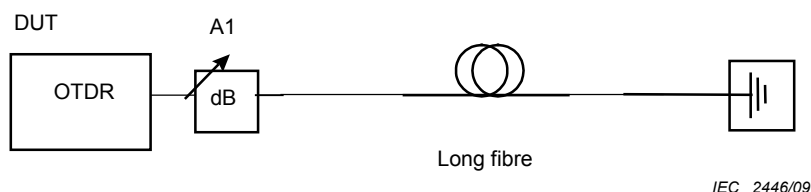
### 8.5.2.2 "Multiple-reflections" variant

The set of fibres and the cleaved fibre end are replaced by an optical cavity constructed, for example, from two partially transparent mirrors with a length of fibre in between. The intention is to produce a series of reflections which are separated by some distance.

### 8.5.2.3 "Long-fibre" variant

Attenuator A2 is not necessary. Instead, a long fibre and a device which is capable of reducing the fibre-end reflection to insignificance (absorber, for example, fibre knots) are required, as shown in Figure 22.

The long fibre should have a total attenuation corresponding to the OTDR measurement range.



**Key**

A1 attenuator

**Figure 22 – Loss calibration with "long-fibre" variant of the power reduction method**

#### 8.5.2.4 Calibration of the reference loss

The attenuation step of the "toggle" attenuator represents the reference loss  $A_{\text{ref}}$ . Select a suitable value for  $A_{\text{ref}}$ . A value of 0,5 dB to 2 dB is recommended. Switch the OTDR to continuous wave mode, if possible. Otherwise, use a continuous wave laser source, with a centroidal wavelength as close as possible to the OTDR centroidal wavelength. A second attenuator can be considered as part of the source. Connect the source to the input of the "toggle" attenuator. Connect the output of the "toggle" attenuator to the optical power meter. Set the wavelength correction of the optical power meter.

Measure the attenuation step a number of times. Calculate the reference loss as the average attenuation step.

#### 8.5.3 Measurement procedure

##### 8.5.3.1 Preparation

In the "fibre-end" and "multiple-reflections" variants, determine the 0 dB reference level, for example the OTDR clipping level, as described in Clause 7. The clipping level can be determined by setting both attenuators to their respective minimum attenuations. Select a set of fibres so that the optical pulse is displayed in the centre of the screen. Select the pulse width, for example 10  $\mu\text{s}$ , so that the displayed pulse has a flat top. Adjust attenuator A1 so that the peak of the generated optical pulse is just below (within 1 dB) the clipping level. Following the guidelines of Clause 7, develop a test plan of sample placements based on attenuator A1 settings and fibre combinations from the set.

In the "long-fibre" variant, determine the 0 dB reference level, for example the start of the backscatter signal (without the attenuator), as described in Clause 7. Select the pulse width, for example 10  $\mu\text{s}$ . Set the attenuator to the smallest attenuation value possible, so that the displayed power is not significantly reduced in comparison with no attenuator inserted. Following the guidelines of Clause 7, develop a test plan of sample placements based on the selected attenuation step and the length of fibre connected.

##### 8.5.3.2 Measurements

Find a method to measure the change in height of the reflection or backscatter signal. One technique is to place one cursor on a stable power level such as the initial OTDR pulse and a second cursor on the pulse top of the reflection or backscatter signal. To reduce the uncertainty of distance, do not change either marker's location during the set of measurements at a particular location.

The measurements are similar to those outlined in 8.3:

- select the first sample placement according to the test plan;
- toggle the attenuator between its predetermined settings;

- c) record the displayed power level  $F_i$ , the change of displayed power level  $A_{\text{otdr},i}$  and the correspondent location  $L_i$ . It may be advisable to repeat the measurement of  $A_{\text{otdr},i}$  several times and to record the average of these samples;
- d) select the next sample placement according to the test plan and go back to step b). Continue until the test plan is finished.

#### 8.5.4 Calculations and results

For each measurement sample, calculate the loss deviation from the equation:

$$\Delta A_i = A_{\text{otdr},i} - A_{\text{ref}} \quad \text{dB} \quad (63)$$

Record the displayed power level  $F_i$  and the location  $L_i$ , with each loss deviation value. It may be advisable to plot the loss deviation values as a function of the displayed power level  $F_i$ .

Alternatively report the loss scale deviation using Equation (64):

$$\Delta S_{A,i} = \frac{A_{\text{otdr},i} - A_{\text{ref}}}{A_{\text{ref}}} \quad \text{dB/dB} \quad (64)$$

#### 8.5.5 Uncertainties

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 D should be used to calculate and state the uncertainties.

The standard deviation characterizing the loss uncertainty can be calculated from Equation (63), using the standard formula for the propagation of errors:

$$u_{\Delta A} = \left( u_{A_{\text{ref}}}^2 + u_{A_{\text{otdr}}}^2 \right)^{1/2} \quad \text{dB} \quad (65)$$

The uncertainty of the reference loss  $u_{A_{\text{ref}}}$  should be accumulated, by root-sum-squaring, from the following contributions:

|                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $u_{A,\text{pm}}$       | the uncertainty, in decibels, due to calibrating the reference loss with the power meter, for example due to the non-linearity of the power meter, polarization dependence, spatial inhomogeneity and noise. This uncertainty should itself be accumulated by root-sum-squaring; |
| $u_{A,\text{refl}}$     | the uncertainty, in decibels, due to changes in the reflection characteristics of the set-up. For example, the power step measured with the power meter may differ from the power step with the test device connected, due to reflections from the power meter;                  |
| $u_{A,\lambda}$         | the uncertainty, in decibels, caused by the difference between the centroidal wavelengths of the OTDR and the optical source used in the calibration of the reference loss;                                                                                                      |
| $u_{A,\text{deadzone}}$ | the uncertainty, in decibels, caused by the possibility that the attenuation step is influenced by the recovery from attenuator reflections (attenuation dead zone);                                                                                                             |
| $u_{A,\text{step}}$     | the uncertainty type A, in decibels, introduced by the instability of the attenuation step.                                                                                                                                                                                      |

The uncertainty  $u_{A_{\text{otdr}}}$  includes the following:

|                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $u_{A,\text{pdl}}$    | the uncertainty, in decibels, introduced by changing a polarization state as a result of the attenuation step;                                                                                                                                                                                                 |
| $u_{A,\text{type A}}$ | the uncertainty type A, in decibels, introduced by the variability of the attenuation step measurements, caused for example by limited readout resolution, tilted pulse top in the case of the "fibre-end" and "multiple-reflections" variants, and displayed power levels when they approach the noise limit. |

## 9 Reflectance calibration

### 9.1 Objective

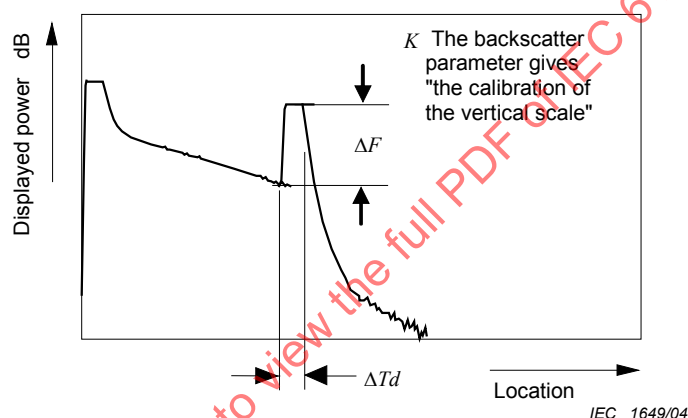
The objective of the reflectance calibration is to determine the reflectance deviation,  $\Delta S_R$  between the measured and actual reflectance and to evaluate its uncertainty.

### 9.2 Reflectance measurements (see Figure 23)

An OTDR measures the reflectance  $R_{\text{otdr}}$  of a fibre optic component, using the amplitude of the reflection over the backscatter trace,  $\Delta F$ . The reflectance  $R_{\text{otdr}}$  can be expressed by a function such as:

$$R_{\text{otdr}} \approx f(\Delta F, K, \Delta Td) \quad (66)$$

where  $K$  is the backscatter parameter of the fibre,  $\Delta F$  the amplitude of the reflection and  $\Delta Td$  the displayed OTDR's pulsewidth.



**Figure 23 – Parameters involved in reflectance measurements**

NOTE 1 The displayed OTDR's pulsewidth includes all parameters affecting the displayed pulsewidth; such as:

- a) the actual pulsewidth;
- b) the photodiode response;
- c) the amplifier bandwidth.

NOTE 2 It is assumed that there is no perturbation on the displayed pulse amplitude. For example, the top of the reflection is below the clipping level, and the noise of the backscatter trace before the pulse is very low with respect to the pulse amplitude.

NOTE 3 Other parameters may affect reflectance measurements e.g. displayed power level, event location, associated attenuation, and averaging time. These parameters should be included in the calibration process.

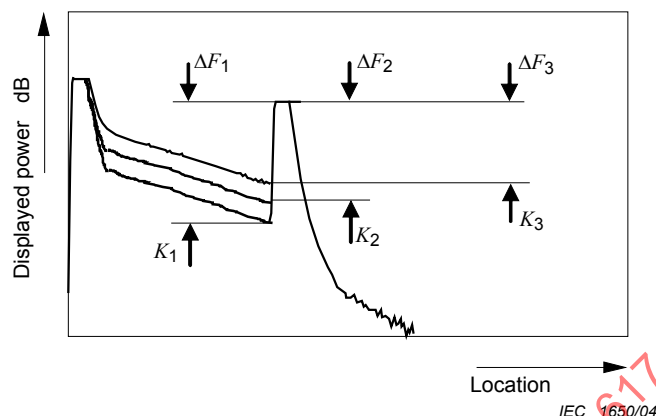
### 9.3 Use of the backscatter parameter, $K$

On a general basis the vertical scale of an OTDR is not calibrated for absolute optical power measurements. When an OTDR is used for reflectance measurements the backscatter parameter,  $K$ , effectively acts as reference level for the vertical scale. Therefore any change in  $K$  directly changes the displayed reflectance value, as shown in Figure 24. This is discussed in more detail in Annex G where it is shown that

$$\Delta F_{\text{dB}}(L) = 5 \log_{10} \left\{ \frac{R}{K \Delta T} + 1 \right\} \quad (67)$$

and

$$R_{dB} = 10 \log_{10}(K) + 10 \log_{10}(\Delta T) + 10 \log_{10} \left( 10^{\frac{\Delta F_{dB}(L)}{5}} - 1 \right) \quad (68)$$



**Figure 24 – The same reflectance at the end of three fibres with different values of the backscatter parameter shows different pulse amplitudes**

The backscatter parameter is related to the fibre under test. This leads to the following consequences:

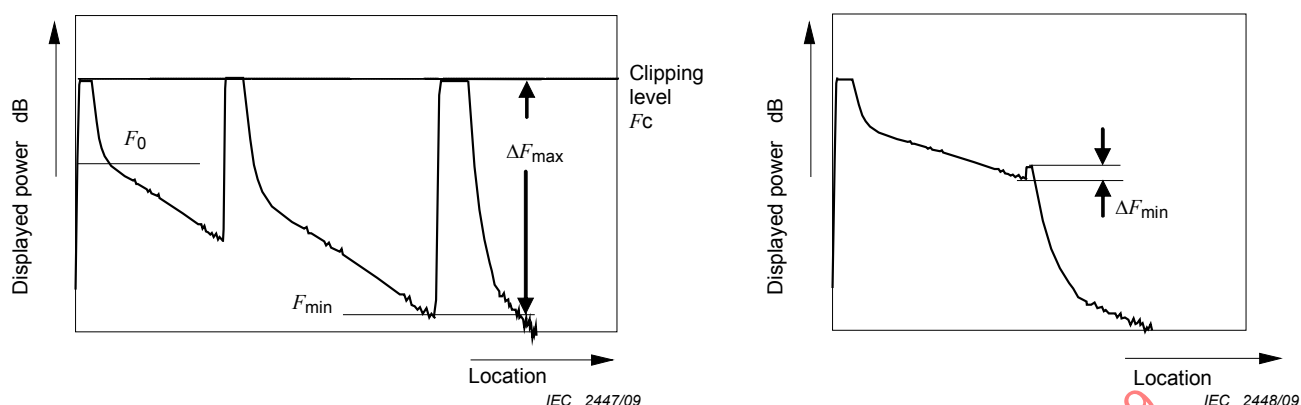
- The calibration is only valid if the OTDR uses the same backscatter parameter in measuring the test device as the backscatter parameter of the test device itself. Alternatively, the use of the calibration results shall take into account the different values of the backscatter parameter using for example Equation (68).  
By using the same backscatter parameter as the one stated in the documentation of the reflection standard, the uncertainty of  $K$  is effectively eliminated in the calibration.
- Additional errors in using the OTDR for reflectance measurements may result from the uncertainty in determining the backscatter parameter of the fibre,  $K$ . The determination of  $K$  is beyond the scope of this standard. Consequently, the calibration procedure below only discusses the OTDR's ability to measure  $\Delta F$  and compute  $R_{otdr}$  correctly.  
As the fibre backscatter parameter is needed for reflectance measurements, mainly to reduce uncertainties, a method to determine  $K$  is provided in informative Annex G.

#### 9.4 Range of reflectance measurement

For a given OTDR setting it will not be possible to measure all reflectance values. Analysis of the available range is useful to prepare the test plan. For a given OTDR setting, the pulse amplitude,  $\Delta F$  is a function of the reflectance. The range (from the minimum to the maximum value) of the pulse amplitude is directly related to the available range of reflectance.

The minimum value of the pulse amplitude should be equal to zero. Generally a small minimum value, e.g. 3 dB, is applicable. This is because for small values of  $\Delta F$ , small errors in this quantity cause large errors in  $R_{dB}$ , Equation G.10. Taking a minimum value of  $\Delta F$  of 3 dB, the minimum reflectance that can be measured with a 1  $\mu$ s pulse is  $\sim -45$  dB and for a 10 ns pulse  $\sim -65$  dB.

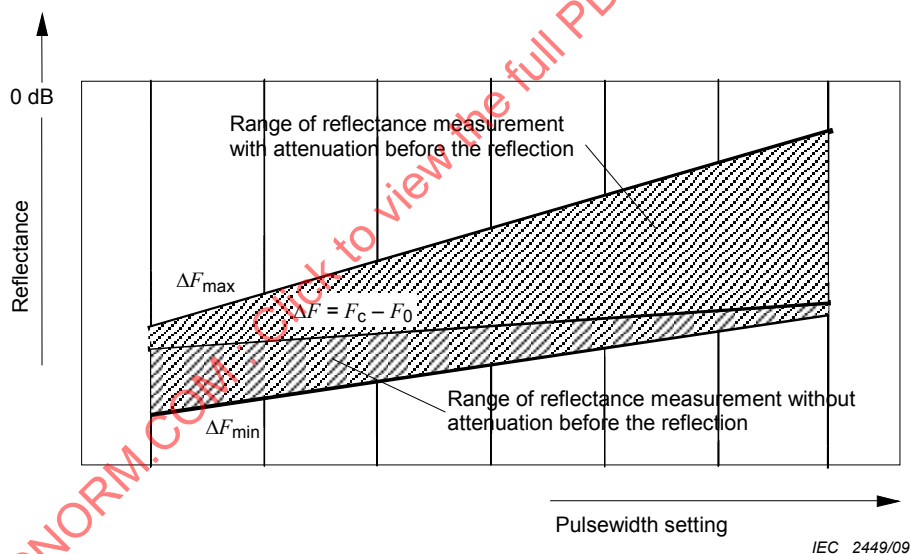
The maximum value of the pulse amplitude is limited at the top, by the clipping level,  $F_c$ , and at the bottom by the level of the backscatter trace,  $F$ , approaching the noise floor. As  $F$  depends on the attenuation of the fibre before the event, the maximum value of the pulse amplitude depends on the location of the pulse (see Figure 25). From Equation G.9 it can be seen that  $\Delta F$  is minimised by using the longest pulse width.



**Figure 25 – Maximum and minimum values for the pulse amplitude,  $\Delta F$**

NOTE Some OTDR are able to internally reduce the backscattered power. In this case, the maximum value of the pulse amplitude also depends on the internal attenuation.

The range of reflectance measurements can be illustrated by an area shown in Figure 26. The lower limit of the area is defined by the minimum value of the pulse amplitude. The maximum values of the pulse amplitude give the upper limits of the range of reflectance measurements.



NOTE Reflectance values are negative.

**Figure 26 – Range of reflectance measurement**

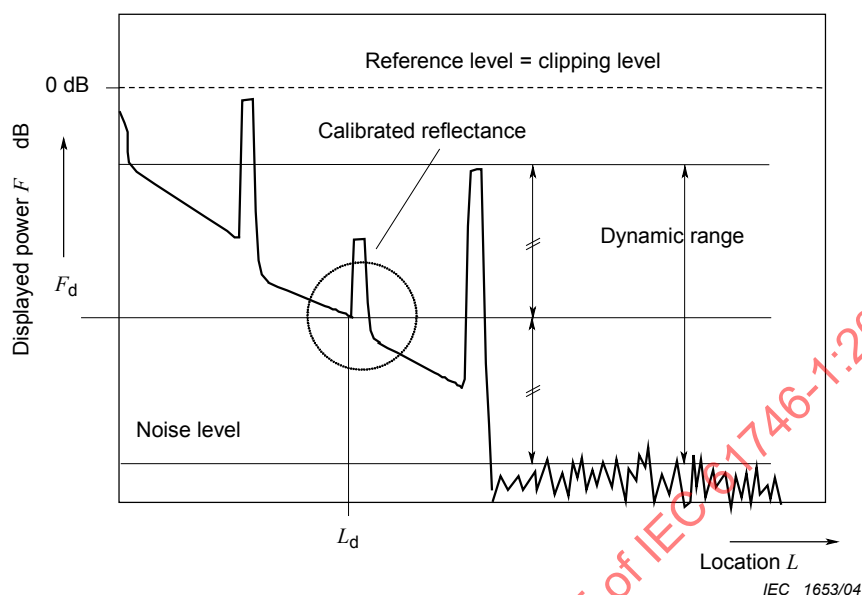
## 9.5 Development of a test plan

The principle of reflectance calibration is to apply a set of known (or reference) reflectances,  $R_{\text{ref},j}$ , to the OTDR, and to measure the displayed reflectance,  $R_{\text{otdr},j}$ , for a given OTDR setting and for different values of location and power level.  $R_{\text{ref},j}$  should be chosen as a set of regularly spaced reflectance values within the range of reflectance measurement.

This leads to a very large quantity of measurements.

To help in reducing the quantity of measurements, this standard defines default values for the location, the displayed power level and reflectance sample spacing.

For the purpose of this standard, the default values of location  $L_d$  and displayed power level  $F_d$  are defined regarding the dynamic range, as illustrated in Figure 27.



**Figure 27 – Determining the default displayed power level and the default location**

The default value for displayed power level  $F_d$  is defined as the half value of the dynamic range over the noise level. The location  $L_d$  is defined in order to keep the reflection location as close as possible to middle of the A region defined in 7.3.

The default for reference reflectance sample spacing is 2 dB.

Build a test plan providing selection for appropriate reference reflectances,  $R_{ref}$ , using previously defined default values.

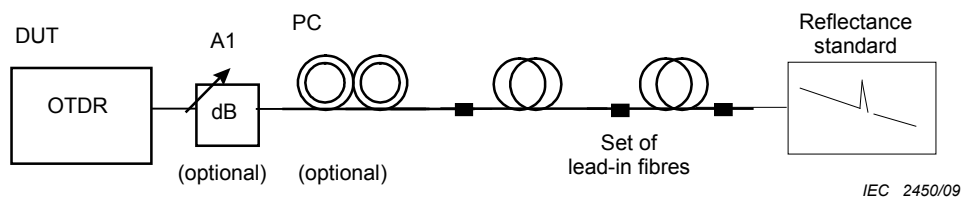
Calibration data for other values of location, displayed power level and reflectance sample spacing can be provided on a voluntary basis.

## 9.6 Equipment

In addition to the test OTDR, the measurement equipment includes

- a reflectance standard as described in Annex E or Annex F;
- a set of lead-in fibres. The lead-in fibres shall be type B IEC 60793-2-50 type B1.1 or B1.3;
- a variable attenuator, if necessary;
- optionally, a polarization controller.

The test set-up is shown in Figure 28.



#### Key

A1 attenuator

PC polarization controller

**Figure 28 – Set-up for reflectance calibration**

The purpose of the lead in fibre (and the optional attenuator) is to place the reflectance standard at the displayed power level and location previously defined. The purpose of the optional polarization controller is to reduce the possible influence of the OTDR's polarization dependence.

## 9.7 Measurement procedure

### 9.7.1 Preparation

Select the appropriate combination of lead-in fibres and attenuator setting in order to place the reflectance standard within test plan conditions.

Set the backscatter parameter to the one stated in the documentation of the reflection standard. Check that the instrument setting is appropriate.

Record the displayed power level,  $F_d$ , (or  $F$  if the default value is not used) the location,  $L_d$ , (or  $L$  if the default value is not used), the used backscatter coefficient,  $C$ , and other OTDR's setting parameters.

### 9.7.2 Taking reflectance measurements

For each values of  $R_{ref,j}$ , follow the instructions of the OTDR manufacturer to take reflectance measurements of the reflectance standard. Alternatively define a measurement procedure to measure the reflectance. Annex G can be used to prepare this procedure.

If the reflectance measurement was not carried out using the manufacturer's instructions, then the used procedure has to be added in the documentation.

Record  $R_{otdr,j}$  for each value of  $R_{ref,j}$ .

### 9.7.3 Calculation and results

Calculate the reflectance deviation  $\Delta S_{R,j}$

$$\Delta S_{R,j} = R_{otdr,j} - R_{ref} \quad \text{dB} \quad (69)$$

### 9.7.4 Uncertainties

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.

The standard deviation characterising the reflectance uncertainty,  $u_{\Delta S_R}$ , of an individual  $\Delta S_R$  can be calculated from Equation (69), using the standard formula for propagation of uncertainties:

$$u_{\Delta S_R} \cong \frac{1}{R_{\text{ref}}} \left( u_{R_{\text{ref}}}^2 + u_{R_{\text{otdr}}}^2 \right)^{1/2} \quad \text{dB/dB} \quad (70)$$

The uncertainty  $u_{R_{\text{ref}}}$  can be extracted from the calibration certificate of the reflectance standard (see Annex E or F). The uncertainty  $u_{R_{\text{otdr}}}$  should be accumulated, by root-sum-squaring, from the following contributions:

|                            |                                                                                                                                                                               |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $u_{R, \text{type A}}$     | is the reflectance uncertainty type A in dB, to be experimentally determined. It will depend on the displayed power level and OTDR averaging time;                            |
| $u_{R, l}$                 | is the reflectance uncertainty introduced by the uncertainty of the reflectance location, e.g. caused by the location of the cursor (s) used to measure $\Delta F$ ;          |
| $u_{R, \lambda}$           | is the uncertainty in dB caused by the difference between the centroidal wavelengths of the OTDR and the optical source used in the calibration of the reflectance standard;  |
| $u_{R, \text{pdl}}$        | is the uncertainty in dB introduced by changing the polarization state of the light reflected from the reflectance standard;                                                  |
| $u_{R, \text{attenuator}}$ | is the loss uncertainty of the optical attenuator caused by the possibility that the backscatter signal is polarized and the attenuator may have polarization-dependent loss. |

## Annex A (normative)

### Recirculating delay line for distance calibration

#### A.0 Introduction

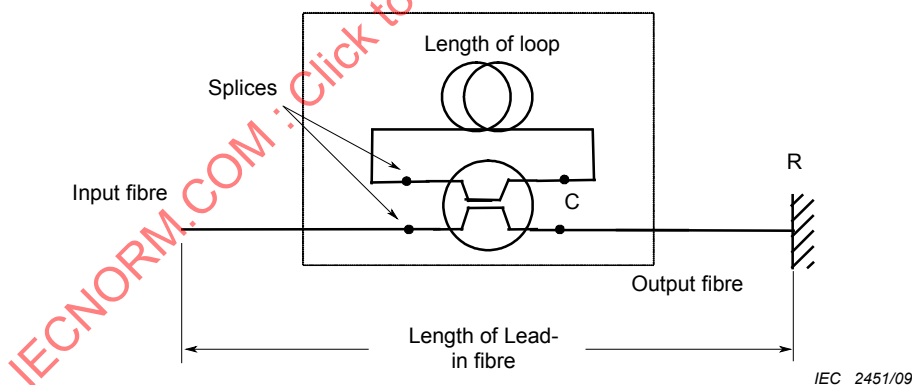
In this annex, a fibre-type recirculating delay line to be used as calibration artefact for OTDR distance calibration is described.

#### A.1 Construction

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

- a four-port coupler, preferably with a wavelength-insensitive coupling ratio, 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;
- an input fibre (typically around 1 km) 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 in a flat reflecting connector. The length of this fibre piece is kept short, for example <1 m. The reflection from the flat termination is sufficient to give an accurately define location.

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. All fibres shall be single-mode according to IEC 60793-2-50.



**Figure A.1 – Recirculating delay line**

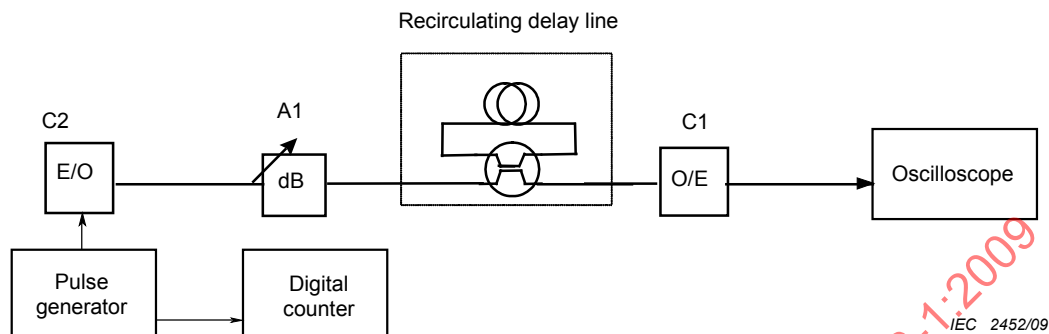
and O/E converters, an oscilloscope and an optical attenuator. The centroidal wavelength of the E/O converter shall be known.

##### A.1.1 Procedure

##### A.1.1.1 Loop transit time measurement

To determine the loop transit time, set up the system shown in Figure A.2. 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  $\sigma_{T_b}$  by introducing small changes to the repetition rate.



#### Key

- A1 Attenuator
- C1 optical-to-electrical converter
- C2 electrical-to-optical converter

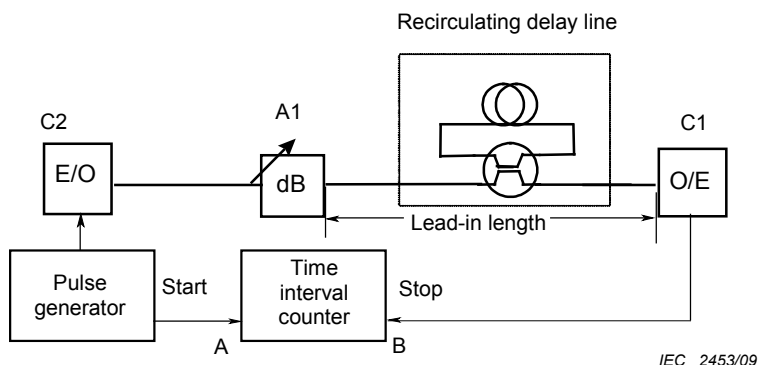
**Figure A.2 – Measurement set-up for loop transit time  $T_b$**

#### A.1.1.2 Lead-in transit time measurement

To calibrate the transit time of the lead-in fibres, set up the system shown in Figure A.3. 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

- A1 Attenuator
- C1 optical-to-electrical converter
- C2 electrical-to-optical converter

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

## A.2 Uncertainties

The guidelines of the mathematical basis given in Annex D 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 centroidal 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.

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 centroidal 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.

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

### A.3 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 A.3.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61746-1:2009

## Annex B (normative)

### Optical fibre standard for loss calibration

#### B.0 Introduction

In this annex, a fibre-type calibration standard is defined for OTDR loss calibration with the fibre standard method.

#### B.1 Fibre requirements

The fibre shall be a single-mode fibre type B according to IEC 60793-2-50 and ITU-T Recommendations G.650.1 and G.650.2, with the following additional requirements:

- |                                                                    |                          |                   |
|--------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------|
| – attenuation coefficient at 1 310 nm                              | $\alpha_{1310}$          | $\leq 0,40$ dB/km |
| – attenuation coefficient at OH-peak 1 385 nm                      | $\alpha_{1385}$          | $\leq 1,00$ dB/km |
| – attenuation coefficient at 1 550 nm                              | $\alpha_{1550}$          | $\leq 0,25$ dB/km |
| – bend loss at 1 550 nm using 60 mm diameter mandrel and 100 turns | $\Delta L_{\text{bend}}$ | $\leq 0,20$ dB    |
| – total length of fibre                                            | $L$                      | $\geq 3$ km       |

#### B.2 Suitability check of the fibre

##### B.2.1 General

The selection of a suitable fibre for the fibre standard is outlined in B.2.3 and B.2.4. The tests ensure that the fibre's backscatter trace is

- a) essentially independent of the direction of the signal flow – this ensures that the backscatter trace can be used as a measure for attenuation;
- b) essentially linear – this ensures that the backscatter loss and, in conjunction with a), the attenuation are linearly dependent on the length of fibre.

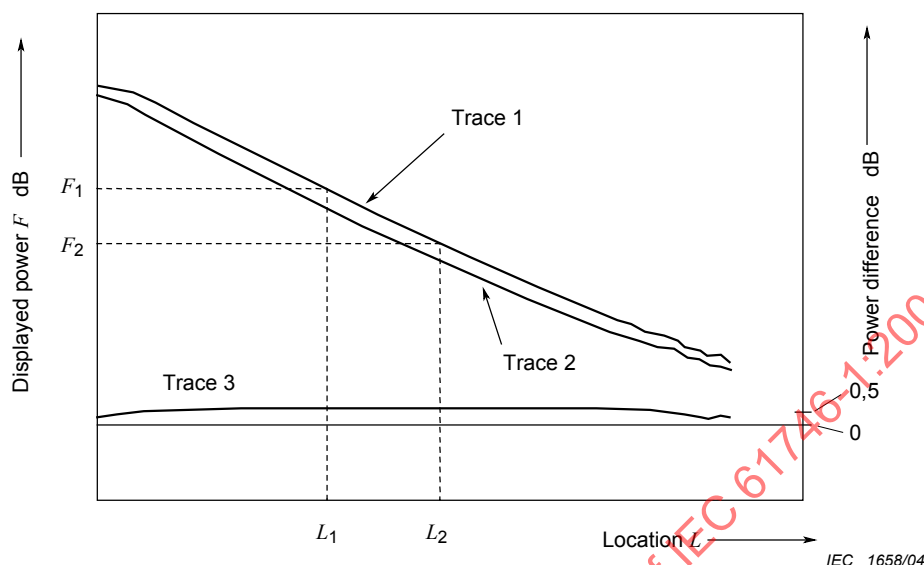
These tests are to be carried out with a selected OTDR which has a sufficiently long linear region of power levels. The linearity test is described in B.2.2.

##### B.2.2 Linearity test of the OTDR power scale

In order to check the longitudinal uniformity of the fibre standard, make sure that the range of the OTDR power scale used for characterizing the fibre standard is sufficiently linear. Determine this highly linear range by the following method:

- a) measure the OTDR trace of a single-mode optical fibre which is much longer than the fibre standard (trace 1 in Figure B.1). No specific requirements have to be met for this fibre;
- b) re-measure the same fibre for a reduced (for example, 0,5 dB) input power. For example, this can be achieved by adding an attenuation step using a variable optical attenuator (trace 2 in Figure B.1);
- c) subtract trace 2 from trace 1 to obtain trace 3 (Figure B.1);
- d) identify a region on trace 3, with the smallest possible slope and a length which is at least the length of the fibre standard;

- e) the highly linear power range is defined by the distance between  $L_1$  and  $L_2$  and by the corresponding displayed power levels  $F_1$  and  $F_2$  of trace 1 in Figure B.1.



NOTE It is expected that the OTDR polarization dependence has no influence on the determination of the highly linear power range; if adding a small attenuation step with a variable attenuator does not change the polarization state, then the OTDR polarization dependence will introduce the same perturbation to both traces 1 and 2, with no perturbation on trace 3.

**Figure B.1 – Determination of a highly linear power range**

### B.2.3 Directional dependence of the backscatter loss

Connect the total length of fibre to the OTDR. Adjust the OTDR pulse width, for example to 1  $\mu$ s, so that a sufficiently large number of data points and an appropriate signal-to-noise ratio are obtained. Determine the backscatter traces from both fibre ends with alternating OTDR measurements, in order to average out any effects from the OTDR polarization dependence. It is preferable to insert a polarization controller between the OTDR and the fibre. This allows the OTDR polarization dependence to be cancelled out in a more systematic way, as described in 8.1.

For each direction A and B, calculate the average backscatter traces  $F_A(L)$  et  $F_B(L)$ . Add the two backscatter traces so that the backscatter signals from the same location coincide:

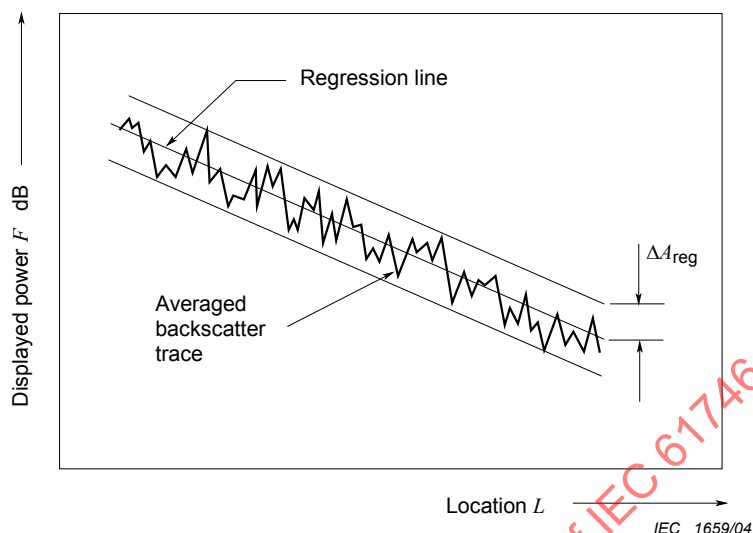
$$\Delta A_{AB}(L) = F_A(L) + F_B(L_{\text{total}} - L) \quad (\text{B.1})$$

Analyse only the centre section of 2 km to 3 km, to avoid influences from the fibre ends. The difference between the maximum and the minimum of  $\Delta A_{AB}(L)$  shall be stated. This ensures that the backscatter trace can be used as a measure for attenuation, as outlined above. Note that the accuracy of this test depends on the non-linearity measurement results from B.2.2.

### B.2.4 Longitudinal attenuation uniformity of the fibre

This test should be carried out from one side only. Adjust the OTDR pulse width to the pulse width used in B.2.3, for example to 1  $\mu$ s. Make sure that the backscatter trace lies within the highly linear power range determined in B.2.2, for example with a lead-in fibre of appropriate length. For best accuracy, insert a polarization controller, measure the backscatter trace at several states of polarization, average the thereby obtained traces and determine the regression line from the averaged trace (see Figure B.2). Calculate the deviation  $\Delta A_{\text{reg}}$  of the averaged trace from the regression line. Also, make sure that the uncertainty type A in this measurement does not contribute significantly to the value of  $\Delta A_{\text{reg}}$ .

Note that testing longitudinal attenuation uniformity usually requires measuring the backscatter trace from both ends and calculating an averaged backscatter trace. This is not necessary here because the test in B.2.3 ensures nearly equal backscatter traces.



**Figure B.2 – Testing the longitudinal backscatter uniformity of the fibre standard**

Record the peak deviation  $\Delta A_{\text{reg}}$  of the trace from the regression line as an estimate of the longitudinal attenuation uniformity. This ensures that the attenuation is linearly dependent on the length of fibre, as outlined above.

### B.3 Preparation and calibration of the fibre standard

To prepare the fibre standard for use, transport and storage, proceed as follows:

- cut a centre section having a length of 2 km to 3 km from the total length of fibre;
- protect the fibre suitably for transportation and handling (for example by a loose tube, secondary coating or a cable);
- wind the fibre loosely so that no additional loss will occur from winding and transportation.

If the fibre standard is intended to be used as a mobile calibration tool and frequent shipment must be considered, its attenuation stability against temperature cycling should be tested referring to IEC 60794-1-2, method F1. The measurement results shall be identical with the initial values within the limits of the measurement accuracy. If this is not the case, then the temperature cycle should be repeated until no change in the attenuation at 23 °C is observed; it may be necessary to repeat the procedures of Clause B.2 to check that the fibre is still suitable.

Determine the fibre attenuation  $A(\lambda)$  within the spectral ranges of 1 285 nm to 1 330 nm and 1 530 nm to 1 570 nm, for example with a filtered white-light source and in steps of 2 nm, referring to IEC 60793-1-40 (cut-back method). A fibre loop with  $r = 30$  mm is integrated in the reference fibre length in order to avoid the propagation of higher modes. The temperature shall be stabilized within  $23\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$  during the measurement. Record the spectral width of the light source  $\Delta\lambda_{\text{FWHM}}$ .

Prepare the fibre with single-mode connectors on both ends. Alternatively, splicing of pigtails is permitted up to a maximum length of 5 m each.

## B.4 Recalibration of the optical fibre standard

Remove the single-mode connectors or pigtails from the optical fibre standard. For the recalibration, use the attenuation procedure in Clause B.3. The attenuation recalibration result should not differ from the first calibration result by more than  $\pm 4$  times  $u_{A,\text{std}}$  specified in Clause B.5 (this includes ageing).

## B.5 Uncertainty of the fibre standard

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

The uncertainty of the fibre standard  $u_{A,\text{std}}$  should be accumulated by root-sum-squaring from the following contributions:

- |                        |                                                                                                                                   |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $u_{A,\text{cutback}}$ | the loss uncertainty due to the repeatability of the cut-back measurement;                                                        |
| $u_{A,\lambda}$        | the loss uncertainty due to the uncertainty of the centroidal wavelength of the light source used in the attenuation measurement; |
| $u_{A,\text{meter}}$   | the loss uncertainty due to the non-linearity of the power meter used in the cut-back measurement;                                |
| $u_{A,\theta}$         | the loss uncertainty, in decibels, caused by the temperature dependence within the allowable temperature range.                   |

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

## B.6 Documentation

The fibre standard shall be accompanied by the following documentation:

- approximate length of the fibre;
- fibre attenuation for the spectral ranges of 1 285 nm to 1 330 nm and 1 530 nm to 1 570 nm, in steps of 2 nm;
- spectral width of the light source used for the measurement;
- allowable temperature range ( $23\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$ , as specified before);
- attenuation uncertainty in the expanded form  $\pm 2 u_{A,\text{std}}$ , as calculated in Clause B.5;
- longitudinal attenuation uniformity in the form of  $\Delta A_{\text{reg}}$ , as described in B.2.4.
- bidirectional dependence of the backscatter loss in the form of  $\Delta A_{\text{AB}}$  as described in B.2.3.

## Annex C (normative)

### Standard splice simulator for loss calibration

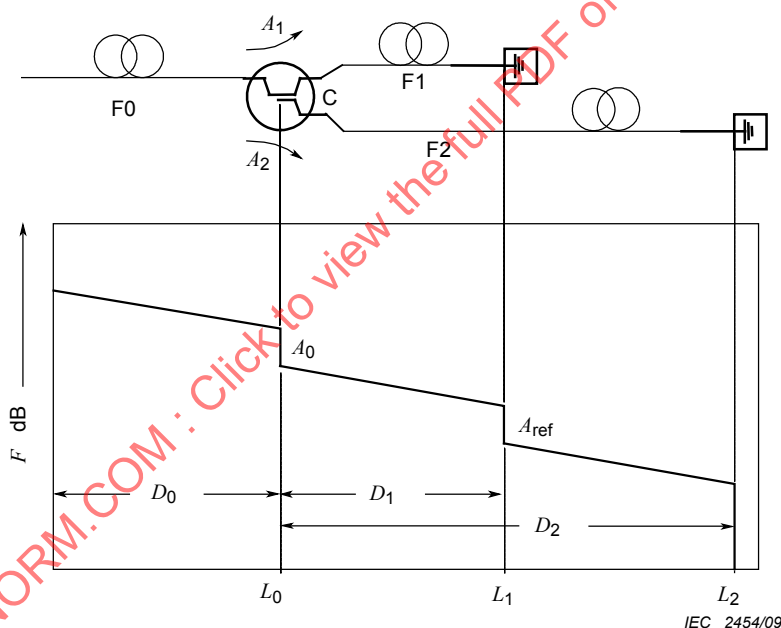
#### C.1 Structure

##### C.1.1 Description

The simulator is made with three fibres F0, F1 and F2, the length of which are  $D_0$ ,  $D_1$ ,  $D_2$ . A wavelength-independent branching device C connects them.

The simulator and its theoretical backscatter signature are shown in Figure C.1. The small circles at the end of fibres F1 and F2 indicate devices which eliminate reflections.

From  $L_0$  to  $L_1$  the displayed backscatter signal is the contribution of the two fibres F1 and F2. After  $L_1$ , only the backscatter signal from fibre F2 is displayed. The standard splice loss used for OTDR calibration is  $A_{\text{ref}}$ . This splice appears at the end of the fibre F1, at location  $L_1$ .



#### Key

|                            |                                                      |
|----------------------------|------------------------------------------------------|
| F0, F1 and F2              | fibres                                               |
| $D_0$ , $D_1$ and $D_2$    | length of each fibres                                |
| $L_0$ , $L_1$ and $L_2$    | location of the end of each fibres                   |
| C                          | branching device                                     |
| $A_1$ and $A_2$            | attenuation of each branch's of the branching device |
| $A_0$ and $A_{\text{ref}}$ | excess loss of branching device and reference loss   |

**Figure C.1 – Splice simulator and idealized OTDR signature**

### C.1.2 Splice loss analysis

Assuming that the fibres have the same nature and that the attenuation of the branching device is the same in both directions, the theoretical description of the device is

$$A_1 = -10 \log X_1 \quad X_1 = 10^{-A_1/10} \quad (\text{C.1})$$

$$A_2 = -10 \log X_2 \quad X_2 = 10^{-A_2/10} \quad (\text{C.2})$$

$A_1$  is the branching device attenuation from F0 to F1 (which is the same as the branching device attenuation from F1 to F0).  $A_2$  is the branching device attenuation from F0 to F2 (which is the same as the branching device attenuation from F2 to F0). Equivalently,  $X_1$  and  $X_2$  denote the coupling ratios.

The excess loss  $A_0$  and the reference loss  $A_{\text{ref}}$  are given by the following equations; note that due to the OTDR round trip correction, the logarithmic conversion uses a factor of 5 instead of 10:

$$A_0 = -5 \log (X_1^2 + X_2^2) \quad (\text{C.3})$$

$$A_{\text{ref}} = -5 \log \left( \frac{X_2^2}{X_1^2 + X_2^2} \right) = 5 \log \left( 1 + \frac{X_1^2}{X_2^2} \right) \quad (\text{C.4})$$

$A_{\text{ref}}$  can also be expressed with  $A_1$  and  $A_2$ :

$$A_{\text{ref}} = 5 \log \left( 1 + 10^{(A_2 - A_1)/5} \right) \quad (\text{C.5})$$

This equation defines the reference loss.

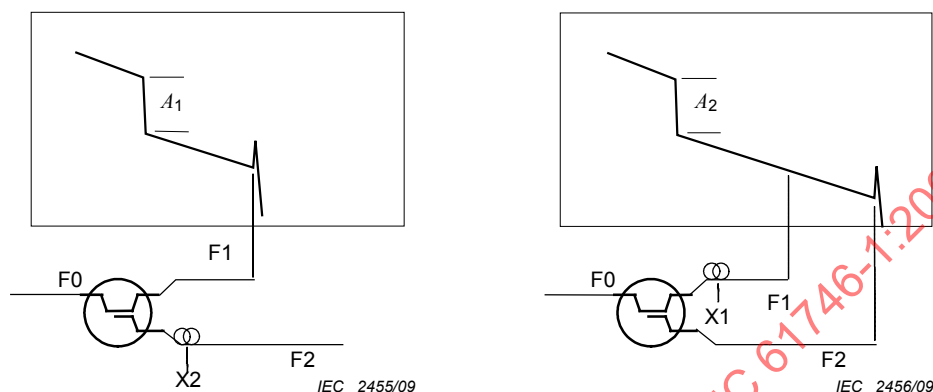
## C.2 Preparation of the standard splice simulator

To prepare the standard splice simulator:

- a) select a spool of single-mode fibre according to IEC 60793-2-50;
- b) cut fibres F0, F1 and F2 from this same spool, with respective length  $D_0$ ,  $D_1$  and  $D_2$ , for example of about 1 000 m, 2 000 m and 4 000 m;
- c) wind the fibres loosely on different spools;
- d) select a  $1 \times 2$  achromatic branching device with single-mode fibre pigtails and low wavelength and polarization dependence. Typical requirements are:
  - 1) coupling ratio = 50 %  $\pm$  1,5 % from 1 290 nm to 1 330 nm and 1 530 nm to 1 570 nm;
  - 2) polarization dependence of coupling ratio less than  $\pm$  0,5 %;
- e) splice the three fibres to the branching device;
- f) add a connector to the input of the splice simulator;
- g) place and fix the three fibre spools and the branching device in a rugged transit case to protect the standard from shock and vibration;
- h) if the splice simulator is intended to be used as a mobile calibration tool and frequent shipment must be considered, its splice loss stability against temperature cycling should be tested referring to IEC 60794-1-2, method F1. The measurement results shall be identical with the initial values within the limits of the measurement accuracy. If this is not the case, then the temperature cycle shall be repeated until no change in the attenuation at 23 °C is observed.

### C.3 Calibration procedure

An OTDR is used for calibration: the calibrated value  $A_{\text{ref}}$  is only dependent on the coupling ratio of the branching device. When the coupling ratio is 50/50, then the backscatter signals due to each branch (F1 and F2) are equal. This phenomenon can be demonstrated by excluding one branch then the other, using an appropriate device to bend the fibre (see Figure C.2).



#### Key

|                 |                                                    |
|-----------------|----------------------------------------------------|
| F0, F1 and F2   | fibres                                             |
| X1 and X2       | locations after the branching device               |
| $A_1$ and $A_2$ | attenuation of each branch of the branching device |

**Figure C.2 – Determination of the reference loss  $A_{\text{ref}}$**

To calibrate the splice simulator, proceed as follows:

- exclude branch F2 using an appropriate device to bend the fibre, at point X2; the necessary degree of bending can be determined by searching for the maximum achievable attenuation  $A_1$ ;
- measure the attenuation  $A_1$  with the OTDR;
- exclude branch F1 using an appropriate device to bend the fibre, at point X1;
- measure the attenuation  $A_2$  with the OTDR. Be careful that the two attenuation measurements are made in the same condition (for example, rms slope measurement with the same points for start and stop, and at the same displayed power level).

The reference loss is obtained from Equation (C.5):

$$A_{\text{ref}} = 5 \log \left( 1 + 10^{(A_2 - A_1)/5} \right)$$

Note that no specific requirements concerning the accuracy of the OTDR power scale have to be met, because the result of this computation only depends on the capability of the OTDR of measuring the small difference between  $A_1$  and  $A_2$  correctly. For an ideal coupler,  $A_1 = A_2$ , and  $A_{\text{ref}} = 1,505$  dB.

### C.4 Uncertainties

The guidelines of the mathematical basis given in Annex D should be used to calculate and state the uncertainties. Calculate the uncertainties using the following.

At the moment of the calibration, the losses  $A_1$  and  $A_2$  are nearly the same:

$$A_2 = A_1 + \varepsilon \quad (\text{C.6})$$

$$A_{\text{ref}} = -5 \log \left( 1 + 10^{-\varepsilon/5} \right) \quad (\text{C.7})$$

When  $\varepsilon$  approaches zero:

$$\partial A_{\text{ref}} \cong \frac{1}{2} \partial \varepsilon \quad (\text{C.8})$$

$$\partial A_{\text{ref}} = \frac{1}{2} \left( \partial A_1 + \partial A_2 \right) \cong \frac{2}{2} \partial A_1 \quad (\text{C.9})$$

Note that  $A_1$  and  $A_2$  are linearly added as they are correlated. The result is that the uncertainty of the reference loss is identical with the uncertainty of the branching loss:

$$u_{A_{\text{ref}}} = u_{A_1} \quad (\text{C.10})$$

The uncertainty  $u_{A_1}$  should be accumulated, by root-sum-squaring, from the following uncertainties of the branching loss:

|                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $u_{A,\lambda}$            | the loss uncertainty, in decibels, caused by the uncertainty of the OTDR's centroidal wavelength;                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| $u_{A,L}$                  | the linearity uncertainty, in decibels, caused by the non linearity of the OTDR used to measure $A_1$ and $A_2$ ;                                                                                                                                                                                                                                                            |
| $u_{A,\theta}$             | the loss uncertainty, in decibels, caused by the temperature dependence within the allowable temperature range;                                                                                                                                                                                                                                                              |
| $u_{A,\text{coupler pdl}}$ | the loss uncertainty, in decibels, introduced by the coupler's polarization dependence (PDL) and the fact that the incident wave is polarized. IEC 61300-3-2 discusses PDL measurements;                                                                                                                                                                                     |
| $u_{A,\text{otdr pdl}}$    | the uncertainty of $A_1$ (or $A_2$ ), in decibels, caused by the OTDR's polarization dependence (PDL) and the fact that the backscatter signal is polarized. This uncertainty can be reduced by inserting a polarization controller between the OTDR and the splice loss simulator, measuring $A_1$ and $A_2$ at different states of polarization and averaging the results; |
| $u_{A,\text{uni}}$         | the branching loss uncertainty caused by the fibre's non-uniformity.                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

## C.5 Documentation

The splice simulator shall be accompanied by the following documentation:

- approximate fibre lengths  $D_0$ ,  $D_1$  and  $D_2$ ;
- approximate distance of the reference loss from the input connector of the splice simulator  $D_0 + D_1$ , this distance will be used as splice location;
- reference loss  $A_{\text{ref}}$ ;
- centroidal wavelength used for the calibration;
- allowable temperature range;
- uncertainty of the reference loss as calculated according to Clause C.4.

## Annex D (normative)

### Mathematical basis

#### D.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" (GUM) [12]. 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.

#### D.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:

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

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:

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

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:

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

## D.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.

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

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

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

and the standard uncertainty is

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

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

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

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  $x$ .

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

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 (D.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.

## D.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:

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

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

#### D.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  $k$ :

$$U = k \times u_c(y) \quad (D.10)$$

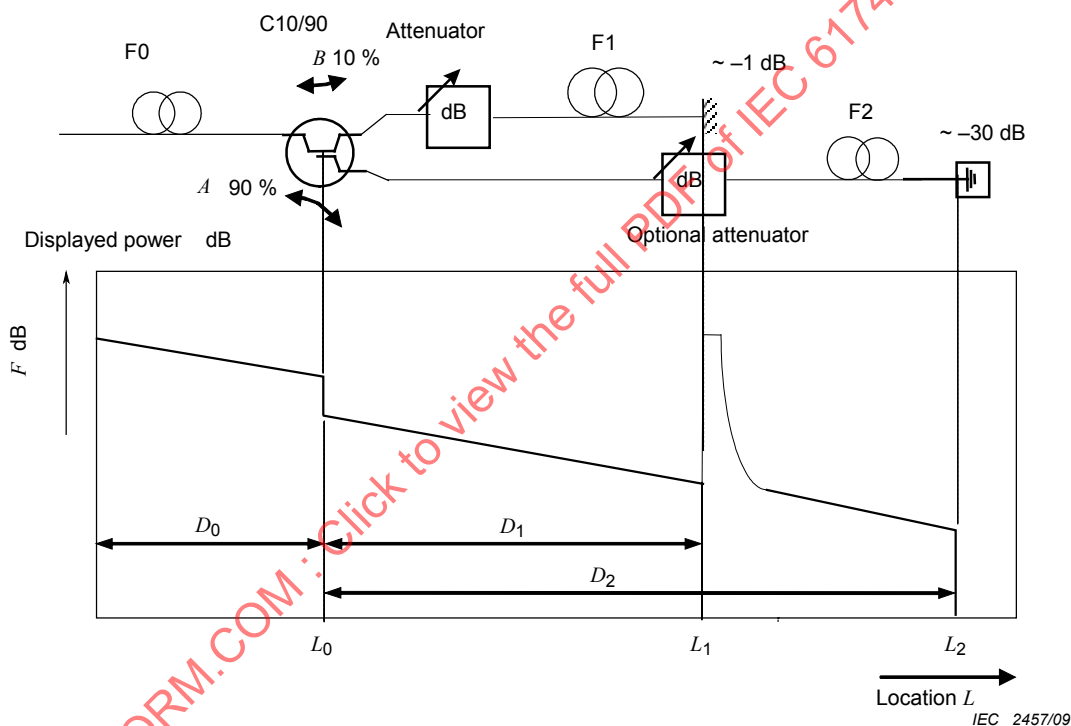
For a coverage probability of approximately 95 %, the default level, then  $k = 2$ . If a level of confidence of approximately 99 % is chosen, then  $k = 3$ . The above values for  $k$  are valid under some conditions, see GUM [12]; if these conditions are not met, larger coverage factors are to be used to reach these levels of confidence.

## Annex E (normative)

### Reflectance standard

#### E.1 Description

The reflectance standard is composed of a four port coupler, two fibres F1 and F2, having lengths  $D_1$  and  $D_2$  with identical or similar optical characteristics, and a variable attenuator (Figure E.1). The fibre F1 is terminated with a high reflector and the fibre F2 with a low reflection. Typical fibre lengths for  $D_1$ ,  $D_2$  would be 1 km and 2 km. The coupler should have a split ratio  $\sim 90:10$  with low wavelength and polarization dependence. The coupler shall be connected to give 90 % coupling ratio to fibre F2. The OTDR trace produced by such a device is also shown in Figure E.1.



#### Key

|                         |                                                    |
|-------------------------|----------------------------------------------------|
| F0, F1 and F2           | fibres                                             |
| $D_0$ , $D_1$ and $D_2$ | length of each fibre                               |
| $L_0$ , $L_1$ and $L_2$ | location of the end of each fibres                 |
| C10/90                  | branching device                                   |
| A and B                 | attenuation of each branch of the branching device |

NOTE Optionally, a non reflective attenuator is added on fibre F2 at location  $L_1$ , to associate an attenuation with the reference reflectance.

**Figure E.1 – Reflectance standard description and trace**

## E.2 Reflectance analysis

NOTE 1 Following analysis includes both linear and logarithm expressions of different parameters. Appropriate care should be applied using following formulas. The analysis is based on that of reference [14] of the bibliography.

Let the CW input power to the branching device be  $P_0$ . Then the backscattered power returned to the input coupler port,  $P_{bs}$  is:

$$P_{bs} = P_0 \left\{ \frac{AK}{\alpha v} (1 - e^{-2\alpha D_2}) + \frac{BK}{\alpha v} (1 - e^{-2\alpha D_1}) \right\} \text{ W} \quad (\text{E.1})$$

where

$\alpha$  is the fibre attenuation in  $\text{m}^{-1}$ ;

$v$  is the velocity of light in the fibre ( $\Rightarrow c / N$ );

$A$  is the two way transmission coefficient of the coupler for the 90 % arm;

$B$  is the two way transmission coefficient of the coupler and attenuator in the 10 % arm;

$K$  is the fibre backscatter parameter,

$B$  is composed of two parts

$$B = B_0 10^{-AT/5} \text{ dB} \quad (\text{E.2})$$

Where  $B_0$  is the two way coupler and attenuator losses when the attenuator is set to 0 dB and  $AT$  is the attenuator setting in dB. ( $AT$  is taken as being positive.)

The power reflected,  $P_\rho$ , from the highly reflecting termination of reflectivity  $\rho$  is

$$P_\rho = P_0 \rho B e^{-2\alpha D_1} \text{ W} \quad (\text{E.3})$$

In pulsed input condition, and assuming a rectangular pulse, the backscatter power just before the reflection peak,  $P_{bs,D1}$ , is

$$P_{bs,D1} = P_0 \frac{K}{\alpha v} e^{-2\alpha D_1} (e^{\alpha v \Delta T} - 1) (A + B) \text{ W} \quad (\text{E.4})$$

where  $\Delta T$  is the OTDR pulse width. The power at the peak,  $P_P$ , is the sum of the reflected and backscatter powers

$$P_P = P_0 \rho B e^{-2\alpha D_1} + P_{bs,D1} \text{ W} \quad (\text{E.5})$$

Hence the height of the peak above the backscatter,  $\Delta F$  is

$$\Delta F = 5 \log \left\{ 1 + \frac{\rho B \alpha v}{K(A+B)} (e^{\alpha v \Delta T} - 1)^{-1} \right\} = 5 \log \left\{ 1 + \frac{\rho B}{A} \frac{\alpha v}{K} \frac{(e^{\alpha v \Delta T} - 1)^{-1}}{(1+B/A)} \right\} \text{ dB} \quad (\text{E.6})$$

$$= 5 \log \left\{ 1 + \frac{\rho B}{A K \Delta T (1+B/A)} \frac{\alpha v \Delta T}{(e^{\alpha v \Delta T} - 1)} \right\} \text{ dB} \quad (\text{E.6a})$$

as  $\lim_{x \rightarrow 0} \left( \frac{e^x - 1}{x} \right) = 1$ , when  $\alpha v \Delta T \ll 1$  then

$$\Delta F = 5 \log \left\{ 1 + \frac{\rho B}{A K \Delta T (1+B/A)} \right\} \text{ dB} \quad (\text{E.6b})$$

NOTE 2 The error is less than 0,04 dB at  $\Delta T = 1 \text{ } \mu\text{s}$  and  $\alpha = 0,35 \text{ dB/km}$ .

Thus the coupler/attenuator/reflector appears to the OTDR as a reflective event with a reflectivity of  $\rho B/(A(1 + B/A))$  (see Equation (G.9)) and hence a reflectance,  $R$  of:

$$R = 10 \log \left\{ \rho B / (A(1 + B/A)) \right\}$$

$$R \approx 10 \log \left\{ \frac{\rho B_0}{A} \right\} - 2AT - 10 \log \left( 1 + \frac{B}{A} \right) \text{ dB} \quad (\text{E.7})$$

Since  $B/A < 0,01$  the last term in Equation (E.7) can usually be neglected (error is less than 0,04 dB) and

$$R \approx 10 \log \left\{ \frac{\rho B_0}{A} \right\} - 2AT \text{ dB}$$

$$R \approx 10 \log \{ \rho_{\text{ref}} \} - 2AT \text{ dB} \quad (\text{E.8})$$

From Equations (E.1) and (E.3), the ratio of the reflected to the CW backscattered power with attenuation set to 0 dB is

$$\frac{P_{\rho,0}}{P_{\text{bs},0}} = \frac{P_0 \rho B_0 e^{-2\alpha D_1}}{P_0 \frac{K}{\alpha \nu} \left\{ A(1 - e^{-2\alpha D_2}) + B_0(1 - e^{-2\alpha D_1}) \right\}}$$

$$= \frac{\rho B_0}{A} \frac{\alpha \nu}{K} \frac{e^{-2\alpha D_1}}{\left\{ (1 - e^{-2\alpha D_2}) + B_0(1 - e^{-2\alpha D_1})/A \right\}} \quad (\text{E.9})$$

and the ratio of the backscattered power from the 10 % port to the 90 % port,  $P_{B/A,0}$ , is

$$P_{B/A,0} = \frac{B_0}{A} \frac{(1 - e^{-2\alpha D_1})}{(1 - e^{-2\alpha D_2})} \quad (\text{E.10})$$

hence

$$\frac{B_0}{A} = P_{B/A,0} \frac{(1 - e^{-2\alpha D_2})}{(1 - e^{-2\alpha D_1})} \quad (\text{E.11})$$

Substitute for  $B_0/A$  in (E.8) yields

$$\frac{\rho B_0}{A} = \frac{P_{\rho,0}}{P_{\text{bs},0}} \frac{K}{\alpha \nu} e^{2\alpha D_1} (1 - e^{-2\alpha D_2}) (1 + P_{B/A,0}) \quad (\text{E.12})$$

All of the quantities on the right hand side of Equation (E.12) are measurable;  $\alpha$ ,  $D_1$  and  $D_2$  can be measured with sufficient accuracy using an OTDR. In fact, it is not essential to determine  $K$  and  $\nu$  as these are parameters which are input to the OTDR or exist as default values in the OTDR's software. However, if default values for  $K$  and  $\nu$  are used to calculate  $\rho B_0/A$ , then the same values shall be input to the OTDR before carrying out the reflectance calibration.

### E.3 Preparation and calibration of the standard reflectance

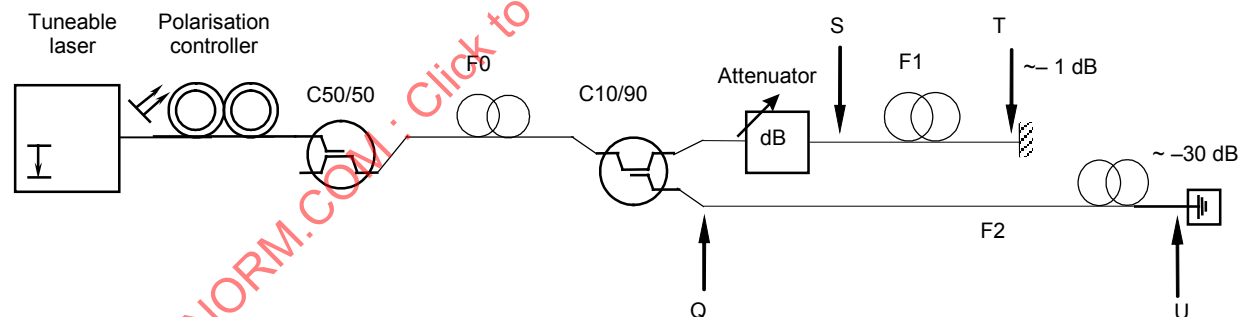
To prepare and calibrate the standard reflectance, proceed as follows:

- select a spool of single-mode fibre conforming to IEC 60793-2-50 type B1.1 or B1.3 with variation in attenuation coefficient of  $< \pm 0,01$  dB/km along its length;
- measure the attenuation coefficient of this fibre;
- cut two fibres of length  $D_1$  and  $D_2$  from the spool and wind onto different spools, such that  $D_2 = 2 D_1$ . Typical lengths for  $D_1$  and  $D_2$  would be 1 000 m and 2 000 m;
- if required, measure the backscatter parameter,  $K$ ;
- measure the length  $D_1$  and  $D_2$  of the fibres. This can normally be done with sufficient accuracy using an OTDR, although time of flight may be used if necessary;

- f) select a 2 x 2 achromatic branching device with single-mode pigtails and low wavelength and polarization dependence. Coupling ratio should be approximately 90 %/10 %;
- g) select a variable attenuator with low polarization dependence and low reflectance, typically better than –50 dB;
- h) connect the attenuator to the 10 % output of the branching device using either a fusion splice or low reflectance (<–50 dB) connectors;
- i) connect the fibres of lengths  $D_1$  and  $D_2$  to the attenuator and the 90 % output port respectively of the coupler using either fusion splices or low reflectance connectors;
- j) fusion splice a high reflector onto the end of fibre F1, it should have a reflectivity >0,8;
- k) cleave the end of fibre F2 and apply matching gel to reduce the end reflection to better than –30 dB. Alternatively, cleave the end at an angle;
- l) fusion splice the lead-in fibre F0 to the input port of the coupler, the length of this fibre is not critical, ~ 100 m is suggested;
- m) fusion splice the output port of an achromatic 2 x 2 coupler with a 50/50 % coupling ratio to the end of the lead in fibre F0. Terminate the other output port with a low reflection;
- n) connect one of the input ports of the 50/50 coupler to a tuneable laser via a polarization state controller;

NOTE If it is not required to calibrate the two way loss of the attenuator, then steps o) to r) can be omitted.

- o) connect the other input port of the 90/10 coupler to a power meter;
- p) place a knot at the point Q in the 90 % port of this coupler to remove the backscatter and reflectance signal from this port. Here and in the following, the subscripts refer to the points at which knots are placed, e.g.  $P_{QS}$ . Figure E.2 shows reference point locations (Q, S, T, U);



IEC 2458/09

**Key**

|                   |                   |
|-------------------|-------------------|
| F0, F1 and F2     | fibres            |
| C10/90 and C50/50 | branching devices |
| S, T, Q and U     | reference points  |

**Figure E.2 – Calibration set up and reference points for calibration**

- q) set the attenuator to 0 dB attenuation and put a knot at point S after the attenuator to remove the backscatter and reflected power after F1. Record this signal on the power meter  $P_{QS,0}$ . Repeat for other attenuator settings to obtain  $P_{QS,AT}$ . This represents the background return signal of the system as a function of the attenuator setting. **All power measurements should be in linear units;**
- r) remove the knot at S to obtain a signal from the reflector on the power meter,  $P_{Q,AT}$ . Calibrate the attenuator over the dynamic range and wavelength range required. The power

meter reading for each attenuator setting is corrected for any background signal by subtracting the background signal  $P_{QS, AT}$  from the observed power  $P_{Q, AT}$ . Use this data to calculate a correction factor for the attenuator;

- s) remove the power meter from the input port and cleave the end of the coupler fibre pigtail to achieve a low reflectance ( $< -50$  dB);
- t) connect the power meter to the unused input port of the 50/50 coupler;
- u) set the attenuator to 0 dB loss. Place knots at Q and S and measure the new background,  $P_{QS}$ ;
- v) remove knot at S and place knots in the fibre F1 at point T and in F2 at Q. Measure the power returned to the power meter,  $P_{QT}$ . Calculate the backscatter power from the 10 % arm as  $P_{QT} - P_{QS}$ ;
- w) remove the knot at T and record the backscatter plus reflected power  $P_Q$ . Calculate the reflected power  $P_{\rho_0}$ , as  $P_Q - P_{QT}$ ;
- x) place knots in the fibre F1 at S and F2 at U (remove knot at Q). Record the power returned to the power meter  $P_{SU}$ . Calculate the power returned from the 90 % arm as  $P_{SU} - P_{QS}$ ;
- y) calculate  $P_{B/A,0}$  as  $(P_{QT} - P_{QS}) / (P_{SU} - P_{QS})$  and  $B_0/A$  from Equation (E.10);
- z) place knots at T and U and record the backscatter power  $P_{TU}$ . Calculate the backscatter power  $P_{bs,0}$  as  $P_{TU} - P_{QS}$ ;
- aa) use Equation (E.12) to calculate  $\rho B_0/A$  using the values of  $P_{\rho_0}$ ,  $P_{B/A,0}$  and  $P_{bs,0}$  from w) , y) and z);
- bb) use Equations (E.7) and (E.2) to calculate  $R_{ref}$  for different values of attenuation.

#### E.4 Uncertainties

Uncertainties in the reference reflectance  $R_{ref}$  are composed essentially of three parts (see Equation (E.7)), uncertainty in  $\rho B_0/A$ ,  $u_{\rho}$ , uncertainty due to the attenuator  $u_{AT}$  and uncertainty in the quantity  $B/A$ ,  $u_{BA}$ . The last term is negligible and can be neglected.

The uncertainty of the attenuator is made up of contributions:

- $u_{A1}$  arising from the repeatability of the attenuator value;
- $u_{A2}$  arising from the linearity of the power meter used to characterise the attenuator;
- $u_{A3}$  arising from any polarization dependence of the attenuator;
- $u_{A4}$  arising from the wavelength dependence of the attenuator combined with the uncertainty of the OTDR's actual wavelength. (May be negligible if the centroidal wavelength of OTDR is known).

The above contributions should be added in quadrature to obtain  $u_{AT}$ .

The uncertainty in  $\rho B_0/A$  depends on the uncertainties in  $P_{\rho_0}$ ,  $P_{bs,0}$  and the fibre attenuation coefficient and lengths. Again, the error in  $P_{BA}$  can be neglected.

$$\rho_{ref} \approx \frac{\rho B_0}{A} = \frac{P_{\rho,0}}{P_{bs,0}} \frac{K}{\alpha \nu} e^{2\alpha D_1} (1 - e^{-2\alpha D_2}) \quad \text{dB} \quad (\text{E.13})$$

$$\approx \frac{P_{\rho,0} K}{P_{bs,0} \nu} (1 + 2\alpha D_1) (2D_2) \quad (\text{E.14})$$

From this, we obtain the contributions to the uncertainties in  $\rho_{ref}$  due to  $D_1$ ,  $D_2$ , etc. as:

$$u_{\rho,D1} = \rho_{\text{ref}} \frac{2\alpha}{(1+2\alpha D_1)} u_{D1} \quad (\text{E.15})$$

$$u_{\rho,D2} = \rho_{\text{ref}} \frac{1}{D_2} u_{D2} \quad (\text{E.16})$$

$$u_{\rho,\alpha} = \rho_{\text{ref}} \frac{2D_1}{(1+2\alpha D_1)} u_{\alpha} \quad (\text{E.17})$$

$$u_{\rho,P_{\rho,0}} = \rho_{\text{ref}} \frac{1}{P_{\rho,0}} u_{P_{\rho,0}} \quad (\text{E.18})$$

$$u_{\rho,P_{\text{bs},0}} = -\rho_{\text{ref}} \frac{1}{P_{\text{bs},0}} u_{P_{\text{bs},0}} \quad (\text{E.19})$$

The errors in the quantities  $P_{\rho,0}$ ,  $P_{\text{bs},0}$  are composed of the errors in power measurements which comprise them. For each power measurement there will be contributions for detector and source noise and detector linearity. These should be added in quadrature to obtain the uncertainty in  $P_{\rho,0}$  and  $P_{\text{bs},0}$  which are  $u_{P_{\rho,0}}$  and  $u_{P_{\text{bs},0}}$ . Finally, these should be combined in quadrature with those for  $D_1$ ,  $D_2$  etc., to obtain the total error in  $\rho_{\text{ref}}$ . This is then used to calculate the uncertainty in the reflectance  $R$ .

## E.5 Documentation

The following calibration results shall be supplied with the reflectance standard:

- the approximate fibres lengths,  $D_0$ ,  $D_1$ , and  $D_2$ ;
- the approximate distance of the reflection from the input connector of the reflectance standard,  $D_0 + D_1$ ; this distance will be used as reflection location;
- the backscatter parameter of the fibre (for both wavelengths);
- the reference reflectance value,  $R_{\text{ref}}$  for each value of the attenuator setting;
- the backscatter parameter (s) used for the calibration;
- the centroidal wavelength (s) used for the calibration;
- the uncertainty of the reflectances as calculated with E.4.

## Annex F (normative)

### Simple version of reflectance standard

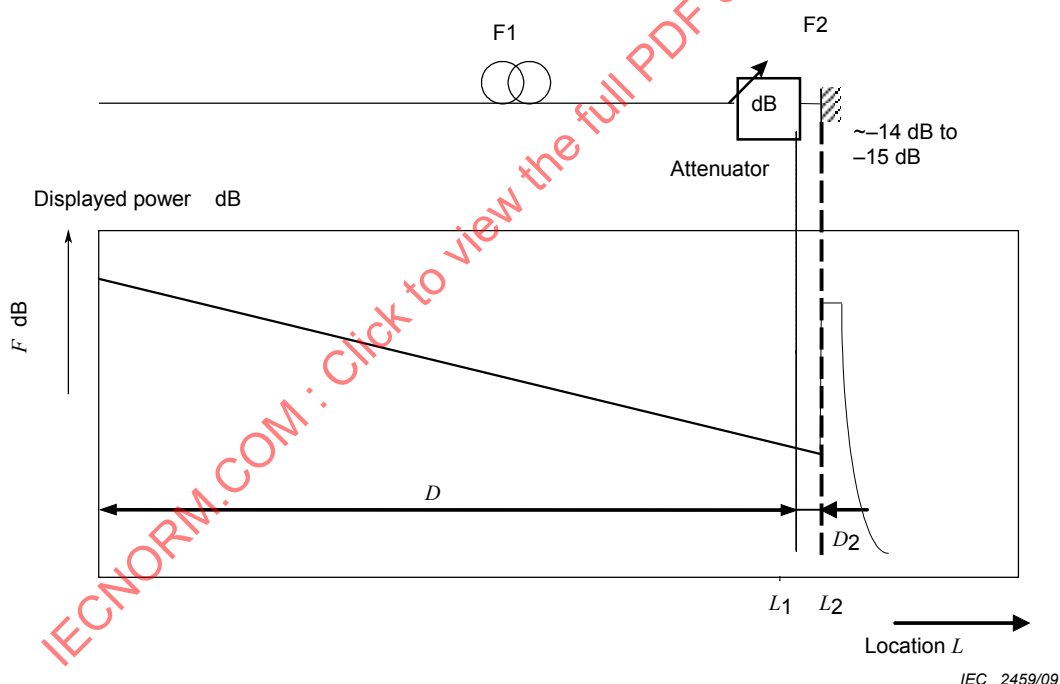
#### F.1 Description

The simple version of the reflectance standard can be used for high reflection (–20 dB to –35 dB) with an appropriate OTDR pulse width.

The simple reflections standard is composed of an optical fibre F1, a variable optical attenuator and an optical fibre F2 (Figure F.1).

Fibre F1 is 2 km or more and the variable optical attenuator has a low wavelength and polarization dependence. Fibre F2 should be less than 2 m and a length of 1 m is preferred.

The reflectance of both attenuator connectors should be –50 dB or less and the APC type connector is preferred. APC type connector is used at the far-end to provide high reflection.



#### Key

|                                   |                                   |
|-----------------------------------|-----------------------------------|
| F1 and F2                         | fibres                            |
| D and D <sub>2</sub>              | length of each fibre              |
| L <sub>1</sub> and L <sub>2</sub> | location of the end of each fibre |

Figure F.1 – Reflectance standard description and trace

#### F.2 Reflectance analysis

Assuming  $D \gg D_2$  ( $L = L_2$ ) The power reflected,  $P_\rho$ , from the highly reflecting termination of reflectivity  $\rho$  is

$$P_{\rho} = P_0 \rho E e^{-2\alpha D} \quad \text{W} \quad (\text{F.1})$$

Where  $E$  is the two ways attenuation coefficient of the attenuator.  $E$  is composed of two parts:

$$E = E_0 10^{-AT/5} \quad \text{dB} \quad (\text{F.2})$$

where  $E_0$  is the two ways attenuation coefficient of attenuator losses when it is set to 0 dB and  $AT$  is the attenuator setting in dB. ( $AT$  is taken as being positive.)

In pulsed input condition, and assuming a rectangular pulse, the backscatter power just before the reflection peak,  $P_{\text{bs},D}$ , is

$$P_{\text{bs},D} = P_0 \frac{K}{\alpha v} e^{-2\alpha D} (e^{\alpha v \Delta T} - 1) \quad \text{W} \quad (\text{F.3})$$

where

- $\alpha$  is the fibre attenuation in  $\text{m}^{-1}$ ;
- $v$  is the velocity of light in the fibre ( $\Rightarrow c / N$ );
- $K$  is the fibre backscatter parameter;
- $\Delta T$  is the OTDR pulse width.

The power at the peak,  $P_p$  is the sum of the reflected and backscatter powers

$$P_p = P_0 \rho E e^{-2\alpha D} + P_{\text{bs},D} \quad \text{W} \quad (\text{F.4})$$

The height of the peak above the backscatter,  $\Delta F$  is

$$\Delta F = 5 \log \left\{ 1 + \frac{\rho E \alpha v}{K} (e^{\alpha v \Delta T} - 1) \right\} \quad \text{dB} \quad (\text{F.5})$$

Thus the attenuator/reflector appears to the OTDR as a reflective event with a reflectivity  $\rho C$  and hence a reflectance,  $R$  of:

$$R = 10 \log \{ \rho E \} \\ R = 10 \log \{ \rho E_0 \} - 2AT = 10 \log \{ \rho_{\text{ref}} \} - 2AT \quad \text{dB} \quad (\text{F.6})$$

From Equation (F.1) the ratio of the reflected to the CW backscattered power with attenuation set to 0 dB is

$$\frac{P_{\rho,0}}{P_{\text{bs},0}} = \frac{P_0 \rho E_0 e^{-2\alpha D}}{P_0 \frac{K}{\alpha v} (1 - e^{-2\alpha D})}$$

hence

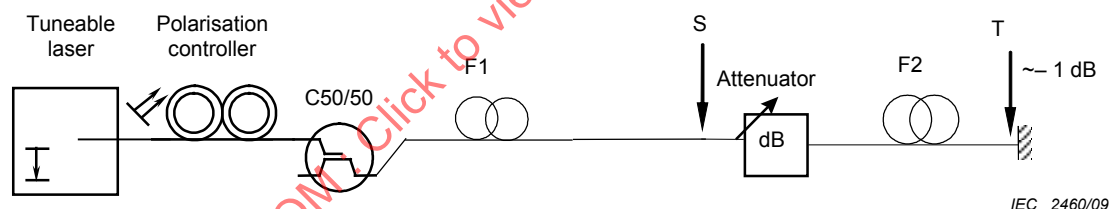
$$\rho_{\text{ref}} = \rho E_0 = \frac{P_{\rho,0}}{P_{\text{bs},0}} \frac{K}{\alpha v} (e^{2\alpha D} - 1) \quad (\text{F.7})$$

All of the quantities on the right hand side of Equation (F.7) are measurable;  $\alpha$  can be measured with sufficient accuracy using an OTDR. In fact it is not essential to determine  $K$  and  $v$  as these are parameters which are input to the OTDR or exist as default values in the OTDR's software.

### F.3 Preparation and calibration of standard reflectance simulator

To prepare and calibrate the standard reflectance simulator, proceed as follows:

- a) use a spool of single-mode fibre conforming to IEC 60793-2-50 with a variation in attenuation coefficient of  $< \pm 0,01$  dB/km along its length;
- b) measure the attenuation coefficient of this fibre;
- c) select a variable attenuator with a low polarization dependence and high return loss, typically  $> 50$  dB;
- d) connect a variable attenuator to fibre F1 and connect fibre F2 after the variable attenuator. Set the variable optical attenuator to 0 dB;
- e) fusion splice the output port of an achromatic 2 x 2 coupler with a 50/50 % coupling ratio to the end of the lead in fibre F1. Terminate the other output port with a low reflection;
- f) connect one of the input ports of the 50/50 coupler to a tuneable laser via a polarization state controller;
- g) connect the other input port of the 50/50 coupler to a power meter;
- h) put a knot at point S before the attenuator to remove the backscatter and reflected power after fibre F1. Record this signal on the power meter  $P_{bs,0}$ . This represents the background return signal of the system. **All power measurements should be in linear units.** Figure F.2 shows reference point location (S);
- i) remove the knot at point S to obtain a signal from the reflector on the power meter,  $P_{Q,AT}$ . Calibrate the attenuator over the dynamic range and wavelength range required. The power meter reading for each attenuator setting is corrected by subtracting the background signal  $P_{bs,0}$  from the observed power  $P_{Q,AT}$ . Use this data to calculate a correction factor for the attenuator;
- j) set the attenuator to 0 dB. Record  $P_{Q,0}$ ;
- k) calculate the reflected power  $P_{\rho,0}$ , as  $P_{Q,0} - P_{bs,0}$ ;
- l) use Equation (F.7) to calculate  $\rho_{ref}$  using the values of  $P_{\rho,0}$   $P_{bs,0}$  from k) and h);
- m) use Equations (F.6) and (F.2) to calculate  $R_{ref}$  for different values of attenuation.



#### Key

|           |                  |
|-----------|------------------|
| F1 and F2 | fibres           |
| C50/50    | branching device |
| S         | reference point  |
| T         | termination      |

**Figure F.2 – Calibration set up and reference points for calibration**

## F.4 Uncertainties

The uncertainties in the reference reflectance  $R_{ref}$  have two main parts: uncertainty due to the attenuator,  $u_{AT}$ , and uncertainty due to the far-end reflection,  $u_R$ . The uncertainty of the attenuator is made up of:

$u_{A1}$  from the repeatability of the attenuator;

- $u_{A2}$  from the linearity of the power meter used to characterise the attenuator;
- $u_{A3}$  from any polarization dependence of the attenuator;
- $u_{A4}$  from the wavelength dependence of the attenuator combined with the uncertainty of the actual OTDR wavelength (negligible if the OTDR centroidal wavelength is known);
- $u_{A5}$  from the internal reflection;
- $u_K$  from the determination of  $K$ .

## F.5 Documentation

The following calibration results shall be supplied with the reflections standard:

- a) the approximate lengths,  $D$  and  $D_2$ ;
- b) the backscatter parameter of the fibre (for each wavelength);
- c) the reference reflectance value,  $R_{\text{ref}}$  for each attenuator setting;
- d) the backscatter level used for calibration;
- e) the centroidal wavelength used for calibration;
- f) the uncertainty of reflectance as calculated based on Equation (F.6).

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61746-1:2009

## Annex G (informative)

### OTDR basis: Backscatter theory – Reflectance measurements using an OTDR – Determination of fibre backscatter parameter

#### G.0 Introduction

In reflectance measurements with an OTDR, it is necessary to know the backscatter power at the point of the reflection. This annex discusses the measurement of the backscatter parameter with the help of a continuous wave (CW) source.

NOTE The analysis is based on that of reference [14] of the bibliography.

#### G.1 Backscatter theory

The backscattered power at the input port of a fibre is given by:

$$P_{bs}(z) = S \alpha_s \Delta z P_0 e^{-2\alpha z} \quad (G.1)$$

where

$P_0$  is the pulse input power;

$S$  is the backscatter capture fraction;

$\alpha_s$  is the scattering coefficient, e.g. in  $m^{-1}$ ;

$\alpha$  is the attenuation in  $m^{-1}$ . Multiply  $\alpha_{dB}$  by 0,000 23 to obtain  $\alpha$  and  $\alpha_{dB}$  is the attenuation in dB/km;

$z$  is the distance at which the backscattered power is generated;

$\Delta z$  is the fibre length contributing to the backscattered power at each time instant (depending on the pulse width setting:  $\Delta z = v \Delta T/2$ ).

Alternately, the backscattered power can be defined as a time function:  $P_{bs}(t)$ .

$$2z = vt \Rightarrow P_{bs}(t) = S \alpha_s \frac{v}{2} \Delta T P_0 e^{-\alpha vt} \quad (G.2)$$

where

$v$  is the group velocity, e.g.; in m/s;

$= c/N$  where  $c$  the speed of the light in vacuum,  $N$  the group index of the fibre;

$\Delta T$  is the OTDR pulse width, e.g. in seconds.

It is useful to define the backscatter coefficient  $C$  as the ratio of backscattered power at the input side of the fibre to the pulse input power. Equation (G.1) can be used to determine this ratio (it depends on the pulse width):

$$C(\Delta T) = \frac{P_{bs}(t=0)}{P_0} = S \alpha_s \frac{v}{2} \Delta T \quad (G.3)$$

Typical values for single-mode fibre are:

$\alpha_s$  (1 300 nm)  $\approx \alpha = 0,000\ 08\ m^{-1}$ , from multiplying 0,35 dB/km with 0,000 23

$\alpha_s$  (1 550 nm)  $\approx \alpha = 0,000\ 046\ m^{-1}$ , from multiplying 0,2 dB/km with 0,000 23

$S \approx (NA/n)^2 / 4 = 0,001\ 2$  from reference [13] of the bibliography.

$S \approx \frac{3}{2n^2w^2(2\pi/\lambda)^2}$  based on the mode field diameter.

For a pulse width of 1 ns, this leads to the following approximate values (however, exact values must be known):

$$\begin{aligned} C_{dB}(1\,300\text{ nm}, 1\text{ ns}) &= -78,4\text{ dB} \\ C_{dB}(1\,550\text{ nm}, 1\text{ ns}) &= -81,5\text{ dB} \end{aligned}$$

In order to have a value only depending on fibre parameters, the backscatter parameter  $K$  is defined from the previous Equation (G.3):

$$K = \frac{C(\Delta T)}{\Delta T} = S\alpha_s \frac{v}{2} \quad \text{s}^{-1} \quad (\text{G.4})$$

This leads to the following approximate values:

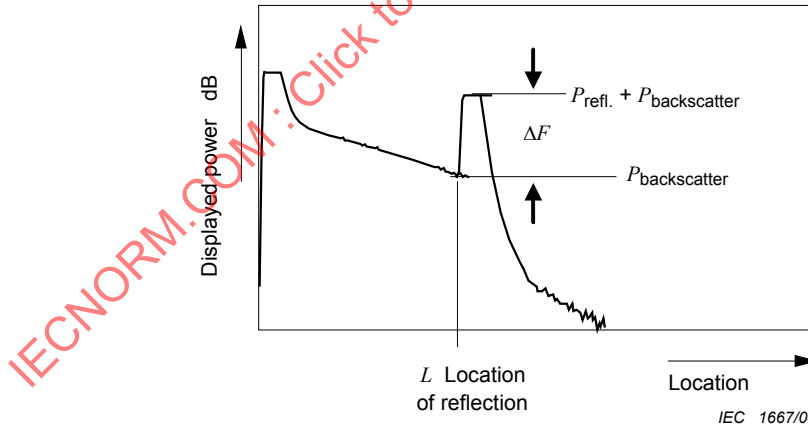
$$\begin{aligned} K(1\,300\text{ nm}) &= 14,4\text{ s}^{-1} \\ K(1\,550\text{ nm}) &= 7,1\text{ s}^{-1} \end{aligned}$$

## G.2 Reflectance measurements using an OTDR

The reflectivity of an optical component is defined as the ratio of reflected to incident power:

$$\rho_{\text{OTDR}} = \frac{P_{\text{refl}}}{P_{\text{inc}}} \quad (\text{G.5})$$

In reflectance measurements with an OTDR, only the reflected power can be measured directly. The incident power must be measured indirectly through the backscatter signal. Figure G.1 shows the relevant OTDR signals.



**Figure G.1 – OTDR signals used for determining reflectance**

At the distance  $L$ , the reflected power can be calculated as:

$$P_{\text{refl}}(L) = \rho_{\text{otdr}} P_{\text{inc}}(L) \quad (\text{G.6})$$

The backscattered power at the distance  $L$  can be calculated from Equations (G.1) and (G.4):

$$P_{\text{bs}}(L) = K \Delta T P_{\text{inc}}(L) \quad (\text{G.7})$$

The base of the pulse just prior to the reflection, (at location  $L$ ) corresponds only to the backscatter power level,  $P_{\text{bs}}(L)$ . The peak just at the reflection corresponds to both the reflection and the backscattered power level,  $P_{\text{refl}}(L) + P_{\text{bs}}(L)$ .

An OTDR displays these signals in dB. Also, the vertical scale is compressed by a factor of 2. Therefore, the pulse amplitude can be expressed as follows:

$$\Delta F(L) = 5\log_{10}\{P_{\text{refl}}(L) + P_{\text{bs}}(L)\} - 5\log_{10}\{P_{\text{bs}}(L)\} \quad (\text{G.8})$$

Combining Equation (G.8) with (G.6) and (G.7) yields:

$$\begin{aligned} \Delta F(L) &= 5\log_{10}\left\{\frac{\rho P_{\text{inc}}(L) + K \Delta T P_{\text{inc}}(L)}{K \Delta T P_{\text{inc}}(L)}\right\} \\ \Delta F(L) &= 5\log_{10}\left\{\frac{\rho}{K \Delta T} + 1\right\} \end{aligned} \quad (\text{G.9})$$

Therefore:

$$R = 10\log_{10}(K) + 10\log_{10}(\Delta T) + 10\log_{10}\left(10^{\frac{\Delta F(L)}{5}} - 1\right) \quad (\text{G.10})$$

$$R = C(\Delta T) + 10\log_{10}\left(10^{\frac{\Delta F(L)}{5}} - 1\right) \quad (\text{G.11})$$

For high value of  $\Delta F$ , e.g. more than 8 dB the following approximation can be used:

$$R \approx 10\log_{10}(K) + 10\log_{10}(\Delta T) + 2\Delta F(L) \quad (\text{G.12})$$

NOTE 1 From this Equation (G.12), the error is –0,11 dB at  $\Delta F = 8$  dB and –0,07 dB at  $\Delta F = 9$  dB.

In summary, the reflectance of a test device can be calculated on the basis of a measured power difference,  $\Delta F$  (see Figure G.1), and a known backscatter coefficient,  $K$ .

NOTE 2 Previous calculation should be done using the equivalent OTDR's pulsewidth,  $\Delta T$ , which includes all parameters affecting the displayed pulsewidth. Other parameters, such as the associated attenuation, are not taken into account.

### G.3 Determining the backscatter parameter

To determine the backscatter coefficient,  $C$ , it is useful to use a continuous wave source. To calculate the total backscattered power from a CW source, Equation (G.1) must be integrated over the total length of the fibre,  $L$ .

The result is:

$$P_{\text{bs,cw}} = \frac{S \alpha_s P_{\text{cw}}}{2\alpha} (1 - e^{-2\alpha L}) \quad (\text{G.13})$$

It is important to use a relatively long fibre (e.g. 1 000 m to 5 000 m) because the backscatter signal from a short fibre is likely to be disturbed by parasitic reflections. Assuming that the CW-backscatter signal,  $P_{\text{bs,cw}}$ , and the total transmission,  $\alpha L$ , can be measured, then Equation (G.13) can be converted to:

$$S \alpha_s = \frac{P_{\text{bs,cw}}}{L P_{\text{CW}}} \frac{2\alpha L}{1 - e^{-2\alpha L}} = \frac{P_{\text{bs,cw}}}{P_{\text{CW}}} \frac{A}{L} \quad (\text{G.14})$$

where  $A$  is a dimensionless quantity characterising the round-trip transmission:

$$A = \frac{2\alpha L}{1 - e^{-2\alpha L}} \quad (\text{G.15})$$

Combining Equations (G.4) and (G.14), the backscatter coefficient can be calculated as:

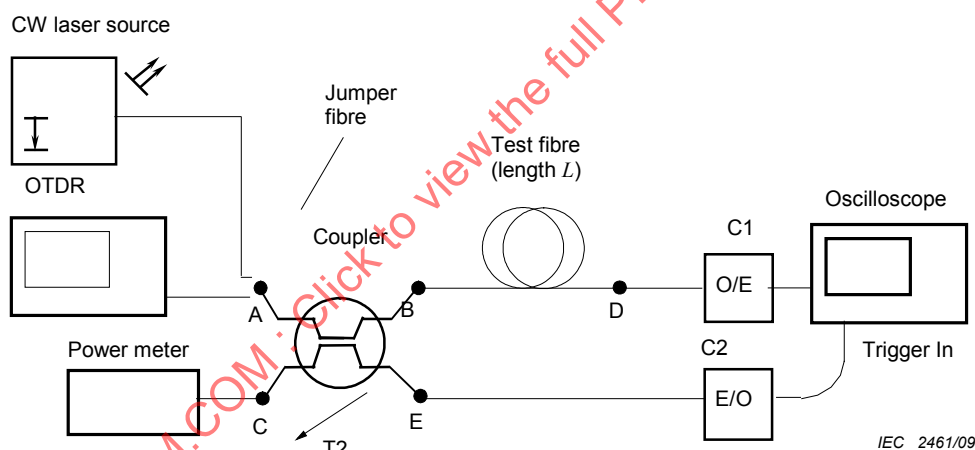
$$K = \frac{P_{\text{bs,cw}}}{P_{\text{cw}}} \frac{A}{L} \frac{v}{2} = \frac{P_{\text{bs,cw}}}{P_{\text{cw}}} \frac{A}{2T} \quad (\text{G.16})$$

This means that the backscatter coefficient can be calculated on the basis of the following measurements:

- CW input power,  $P_{\text{cw}}$ , to a test fibre;
- total transmission,  $\alpha L$ , of the fibre (this is an attenuation measurement);
- backscatter power,  $P_{\text{bs, cw}}$ , from that fibre;
- transit time,  $T$ , through the test fibre.

Figure G.2 shows the set-up for determining the backscatter parameter,  $K$ . It consists of an OTDR, a CW laser source, an O/E converter, an oscilloscope, a power meter, a coupler (for example a 3 dB coupler) and a long test fibre of at least 1 000 m (5 000 m recommended) length.

Alternatively an OTDR which can be switched between pulse and CW mode can be used to replace the regular OTDR and the CW laser source.



#### Key

- A, B, C, D and E reference points
- C2 electrical-to-optical converter
- C1 optical-to-electrical converter
- T2 coupler transmission

**Figure G.2 – Set-up for measurement of the backscatter coefficient**

The measurement procedure is as follows:

- connect a jumper to the CW laser source. It is assumed that the jumper fibre remains connected to the source and that the CW power from the jumper fibre remains constant during the following measurements;
- to determine the transmission  $T_2$ , splice the source jumper fibre to point B and measure the power  $P_C$  at point C;

- c) disconnect the jumper fibre from point B and measure the power at the output of the jumper fibre  $P_A$  at point A;
- d) calculate the coupler transmission  $T2 = P_C / P_A$ ;
- e) splice the jumper fibre to point A and measure the incident power  $P_{CW} = P_B$  at point B;
- f) make sure that points B and E are terminated in a non-reflective way;

Without the test fibre, measure the backscatter power,  $P_{bs,C1}$ , at port C;

- g) splice the test fibre to point B and make sure that point D is terminated in a non-reflective way.

Measure the backscatter power,  $P_{bs,C2}$ , at port C;

- h) calculate the backscatter power,  $P_{bs, CW}$ , at point B:

$$P_{bs, CW} = \frac{P_{bs,C2} - P_{bs,C1}}{T2} \quad (G.17)$$

- i) remove the terminations at points D and E;
- j) measure the CW output power at the end of the fibre,  $P_D$ , at point D;
- k) calculate the fibre transmission:

$$\alpha L = \ln \left( \frac{P_D}{P_B} \right) \quad (G.18)$$

- l) calculate quantity  $A$  in the second part of Equation (G.14) ;
- m) connect the source jumper to the OTDR. Set the OTDR with pulse width = 1  $\mu$ s.

Measure the transit time,  $T$ , through the test fibre, by measuring the pulse arrival time with a combination of O/E converter and oscilloscope, without and with the test fibre inserted;

- n) calculate the backscatter parameter with the help of Equation (G.16).

Alternatively, the ratio  $P_{bs, CW} / P_{CW}$  can be measured with a well-calibrated continuous-wave return loss meter, in which case only the total transmission (attenuation) and the transit time remain to be measured.

## 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 60794-1-2:2003, *Optical fibre cables – Part 1-2: Generic specification – Basic optical cable test procedures*
- [4] IEC 60825-1, *Safety of laser products – Part 1: Equipment classification and requirements*
- [5] IEC 60825-2, *Safety of laser products – Part 2: Safety of optical fibre communication systems (OFCS)*
- [6] IEC 61280-1-3:1998, *Fibre optic communication subsystem basic test procedures – Part 1-3: Test procedures for general communication subsystems – Central wavelength and spectral width measurement*
- [7] IEC 61300-3-2, *Fibre optic interconnecting devices and passive components – Basic test and measurement procedures – Part 3-2: Examinations and measurements – Polarization dependent loss in a single-mode fibre optic device*
- [8] IEC 61300-3-6, *Fibre optic interconnecting devices and passive components – Basic test and measurement procedures – Part 3-6: Examinations and measurements – Return loss*
- [9] IEC/TR 61930:1998, *Fibre optic graphical symbology*
- [10] IEC 61931, *Fibre optic – Terminology*
- [11] ISO/IEC Guide 99:2007, *International vocabulary of metrology — Basic and general concepts and associated terms (VIM)*
- [12] ISO/IEC Guide 98-3:2008, *Uncertainty of measurement — Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)*
- [13] DANIELSON, DL. *Backscatter measurements on optical fibers*, NBS Technical Note 1034, US Department of Commerce, 1981
- [14] 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 61746-1:2009

## SOMMAIRE

|                                                                                      |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| AVANT-PROPOS .....                                                                   | 96  |
| 1 Domaine d'application .....                                                        | 99  |
| 2 Références normatives .....                                                        | 99  |
| 3 Termes, définitions et symboles .....                                              | 99  |
| 4 Préparation relative à l'étalonnage .....                                          | 106 |
| 4.1 Organisation .....                                                               | 106 |
| 4.2 Traçabilité .....                                                                | 106 |
| 4.3 Préparation .....                                                                | 106 |
| 4.4 Conditions de mesure .....                                                       | 106 |
| 4.5 Documentation .....                                                              | 107 |
| 5 Étalonnage des distances – Généralités .....                                       | 107 |
| 5.1 Généralités .....                                                                | 107 |
| 5.2 Modèle d'écart de position .....                                                 | 107 |
| 5.3 Utilisation des résultats d'étalonnage .....                                     | 109 |
| 5.4 Mesure des longueurs de fibre .....                                              | 110 |
| 6 Méthodes d'étalonnage des distances .....                                          | 110 |
| 6.1 Généralités .....                                                                | 110 |
| 6.2 Méthode de la source externe .....                                               | 110 |
| 6.2.1 Description sommaire et avantages .....                                        | 110 |
| 6.2.2 Équipement .....                                                               | 111 |
| 6.2.3 Étalonnage du banc de mesure .....                                             | 112 |
| 6.2.4 Procédure de mesure .....                                                      | 113 |
| 6.2.5 Calculs et résultats .....                                                     | 114 |
| 6.2.6 Incertitudes .....                                                             | 115 |
| 6.3 Méthode des ajouts de fibres .....                                               | 116 |
| 6.3.1 Description sommaire et avantages .....                                        | 116 |
| 6.3.2 Équipement .....                                                               | 116 |
| 6.3.3 Procédures de mesure .....                                                     | 118 |
| 6.3.4 Calculs et résultats .....                                                     | 118 |
| 6.3.5 Incertitudes .....                                                             | 119 |
| 6.4 Méthode de la boucle de retard .....                                             | 120 |
| 6.4.1 Description sommaire et avantages .....                                        | 120 |
| 6.4.2 Équipement .....                                                               | 121 |
| 6.4.3 Procédure de mesure .....                                                      | 122 |
| 6.4.4 Calculs et résultats .....                                                     | 122 |
| 6.4.5 Incertitudes .....                                                             | 123 |
| 7 Étalonnage des affaiblissements – Généralités .....                                | 125 |
| 7.1 Généralités .....                                                                | 125 |
| 7.2 Détermination du niveau de puissance affiché $F$ .....                           | 125 |
| 7.3 Détermination d'un affaiblissement de référence approprié $A_{\text{ref}}$ ..... | 126 |
| 7.4 Élaboration d'un plan d'essai .....                                              | 126 |
| 7.5 Dépendance envers la polarisation .....                                          | 128 |
| 7.6 Calcul des résultats d'étalonnage .....                                          | 130 |
| 7.7 Utilisation des résultats d'étalonnage .....                                     | 130 |
| 8 Méthodes d'étalonnage de l'affaiblissement .....                                   | 130 |

|                        |                                                                                                                                                                 |     |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 8.1                    | Généralités .....                                                                                                                                               | 130 |
| 8.2                    | Méthode de la fibre étalon .....                                                                                                                                | 131 |
| 8.2.1                  | Description sommaire et avantages.....                                                                                                                          | 131 |
| 8.2.2                  | Équipement .....                                                                                                                                                | 131 |
| 8.2.3                  | Procédure de mesure.....                                                                                                                                        | 133 |
| 8.2.4                  | Calculs et résultats .....                                                                                                                                      | 133 |
| 8.2.5                  | Incertitudes.....                                                                                                                                               | 133 |
| 8.3                    | Méthode de la source externe (voir Figure 16).....                                                                                                              | 134 |
| 8.3.1                  | Description sommaire et avantages.....                                                                                                                          | 134 |
| 8.3.2                  | Équipement .....                                                                                                                                                | 135 |
| 8.3.3                  | Étalonnage de l'affaiblissement de référence.....                                                                                                               | 136 |
| 8.3.4                  | Procédure de mesure.....                                                                                                                                        | 136 |
| 8.3.5                  | Calculs et résultats .....                                                                                                                                      | 137 |
| 8.3.6                  | Incertitudes.....                                                                                                                                               | 138 |
| 8.4                    | Méthode du simulateur d'épissure .....                                                                                                                          | 138 |
| 8.4.1                  | Description sommaire et avantages.....                                                                                                                          | 138 |
| 8.4.2                  | Équipement .....                                                                                                                                                | 139 |
| 8.4.3                  | Procédure.....                                                                                                                                                  | 140 |
| 8.4.4                  | Calculs et résultats .....                                                                                                                                      | 142 |
| 8.4.5                  | Incertitudes.....                                                                                                                                               | 143 |
| 8.5                    | Méthode de la réduction de puissance .....                                                                                                                      | 143 |
| 8.5.1                  | Description sommaire et avantages.....                                                                                                                          | 143 |
| 8.5.2                  | Équipement .....                                                                                                                                                | 144 |
| 8.5.3                  | Procédure de mesure.....                                                                                                                                        | 146 |
| 8.5.4                  | Calculs et résultats .....                                                                                                                                      | 146 |
| 8.5.5                  | Incertitudes.....                                                                                                                                               | 147 |
| 9                      | Étalonnage de la réflectance .....                                                                                                                              | 148 |
| 9.1                    | Objectif .....                                                                                                                                                  | 148 |
| 9.2                    | Mesure de réflectance (voir Figure 23) .....                                                                                                                    | 148 |
| 9.3                    | Utilisation du paramètre de rétrodiffusion, $K$ .....                                                                                                           | 148 |
| 9.4                    | Gamme de mesures de réflectance .....                                                                                                                           | 149 |
| 9.5                    | Élaboration d'un plan d'essai .....                                                                                                                             | 151 |
| 9.6                    | Équipement.....                                                                                                                                                 | 151 |
| 9.7                    | Procédure de mesure .....                                                                                                                                       | 152 |
| 9.7.1                  | Préparation.....                                                                                                                                                | 152 |
| 9.7.2                  | Réalisation des mesures de réflectance .....                                                                                                                    | 152 |
| 9.7.3                  | Calcul et résultats .....                                                                                                                                       | 153 |
| 9.7.4                  | Incertitudes.....                                                                                                                                               | 153 |
| Annexe A (normative)   | Boucle à décalage pour l'étalonnage des distances .....                                                                                                         | 154 |
| Annexe B (normative)   | Fibre optique étalon pour l'étalonnage de l'affaiblissement .....                                                                                               | 158 |
| Annexe C (normative)   | Simulateur d'épissure étalon pour l'étalonnage des<br>affaiblissements .....                                                                                    | 162 |
| Annexe D (informative) | Bases mathématiques.....                                                                                                                                        | 167 |
| Annexe E (normative)   | Étalon de réflectance .....                                                                                                                                     | 170 |
| Annexe F (normative)   | Version simple de l'étalon de réflectance.....                                                                                                                  | 177 |
| Annexe G (informative) | Bases des OTDR: Théorie de la rétrodiffusion – Mesure de<br>réflectance en utilisant un OTDR – Détermination du paramètre de rétrodiffusion<br>de la fibre..... | 181 |

|                                                                                                                                                                       |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Bibliographie .....                                                                                                                                                   | 187 |
| Figure 1 – Définition de la zone morte en affaiblissement .....                                                                                                       | 100 |
| Figure 2 – Représentation de l'écart de position $\Delta L(L)$ .....                                                                                                  | 109 |
| Figure 3 – Banc de mesure pour l'étalonnage de l'échelle des distances – Méthode de la source externe .....                                                           | 111 |
| Figure 4 – Montage pour l'étalonnage du retard à l'insertion du système .....                                                                                         | 112 |
| Figure 5 – Ajouts de fibres utilisés pour l'étalonnage de l'échelle des distances .....                                                                               | 117 |
| Figure 6 – Étalonnage des distances au moyen d'une boucle de retard .....                                                                                             | 121 |
| Figure 7 – Trace de l'OTDR produite par une boucle de retard .....                                                                                                    | 122 |
| Figure 8 – Détermination du niveau de référence et du niveau de puissance affiché .....                                                                               | 125 |
| Figure 9 – Mesure des échantillons d'affaiblissement de l'OTDR .....                                                                                                  | 126 |
| Figure 10 – Région A, recommandée pour les échantillons de mesure d'affaiblissement .....                                                                             | 127 |
| Figure 11 – Placement possible des points d'échantillons à l'intérieur de la région A .....                                                                           | 128 |
| Figure 12 – Méthode de la source externe pour l'essai de dépendance des OTDR envers la polarisation .....                                                             | 129 |
| Figure 13 – Méthode de la réflexion pour l'essai de dépendance envers la polarisation des OTDR .....                                                                  | 129 |
| Figure 14 – Étalonnage de l'affaiblissement avec une fibre étalon .....                                                                                               | 132 |
| Figure 15 – Placement du début de la section D1 hors de la zone morte en affaiblissement .....                                                                        | 132 |
| Figure 16 – Étalonnage de l'affaiblissement à l'aide de la méthode de la source externe .....                                                                         | 135 |
| Figure 17 – Position et mesures concernant la méthode de la source externe .....                                                                                      | 137 |
| Figure 18 – Montage pour l'étalonnage d'affaiblissement avec un simulateur d'épissure .....                                                                           | 139 |
| Figure 19 – Écran de l'OTDR avec simulateur d'épissure .....                                                                                                          | 140 |
| Figure 20 – Mesure de l'affaiblissement d'épissure .....                                                                                                              | 141 |
| Figure 21 – Étalonnage de l'affaiblissement avec la variante "fin de fibre" de la méthode de réduction de puissance .....                                             | 145 |
| Figure 22 – Étalonnage de l'affaiblissement avec la variante "longue fibre" de la méthode de réduction de puissance .....                                             | 145 |
| Figure 23 – Paramètres intervenant dans les mesures de réflectance .....                                                                                              | 148 |
| Figure 24 – La même réflectance à l'extrémité de trois fibres ayant des paramètres de rétrodiffusion différents présente des impulsions d'amplitude différentes ..... | 149 |
| Figure 25 – Valeurs maximales et minimales de l'amplitude de l'impulsion, $\Delta F$ .....                                                                            | 150 |
| Figure 26 – Gamme de mesures de réflectance .....                                                                                                                     | 150 |
| Figure 27 – Détermination des valeurs par défaut du niveau de puissance affiché et de la position .....                                                               | 151 |
| Figure 28 – Montage pour l'étalonnage de réflectance .....                                                                                                            | 152 |
| Figure A.1 – Boucle à décalage .....                                                                                                                                  | 154 |
| Figure A.2 – Montage de mesure du temps de propagation de la boucle $T_b$ .....                                                                                       | 155 |
| Figure A.3 – Banc d'étalonnage du temps de propagation dans la fibre amorcée $T_a$ .....                                                                              | 156 |
| Figure B.1 – Détermination de la zone de grande linéarité .....                                                                                                       | 159 |
| Figure B.2 – Essai d'uniformité de la rétrodiffusion le long de la fibre étalon .....                                                                                 | 160 |
| Figure C.1 – Simulateur d'épissure et trace de réflectométrie idéale .....                                                                                            | 162 |
| Figure C.2 – Détermination de l'affaiblissement de référence $A_{ref}$ .....                                                                                          | 164 |
| Figure E.1 – Description et trace de l'étalon de réflectance .....                                                                                                    | 171 |

|                                                                                     |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure E.2 – Montage de d'étalonnage et points de référence pour l'étalonnage ..... | 174 |
| Figure F.1 – Description et trace de l'étalon de réflectance .....                  | 178 |
| Figure F.2 – Montage de d'étalonnage et points de référence pour l'étalonnage ..... | 180 |
| Figure G.1 – Signaux d'OTDR utilisés pour déterminer la réflectance.....            | 183 |
| Figure G.2 – Montage pour la mesure du coefficient de rétrodiffusion .....          | 185 |
| Tableau 1 – Affaiblissement linéique définissant la région A .....                  | 127 |

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61746-1:2009

## COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

#### Partie 1 : OTDR pour fibres unimodales

#### AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale CEI 61746-1 a été établie par le comité d'études 86 de la CEI : Fibres optiques.

Cette première édition de la CEI 61746-1 annule et remplace la deuxième édition de la CEI 61746 publiée en 2005. Elle constitue une révision technique.

Les principaux changements techniques sont constitués de l'adaptation de l'Article 4, la suppression de l'Article 10, l'amélioration et l'adjonction de certaines définitions, la modification de quelques calculs et le changement des symboles graphiques pour adopter ceux du CEI/TR 61930.

La présente version bilingue (2014-06) correspond à la version anglaise monolingue publiée en 2009-12.

Le texte anglais de cette norme est issu des documents 86/347/FDIS et 86/362/RVD.

Le rapport de vote 86/362/RVD donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

La version française de cette norme n'a pas été soumise au vote.

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

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de maintenance indiquée sur le site web de la CEI 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.

Les travaux d'élaboration de la présente norme ont été conduits sur la base de projets rédigés en anglais. Dans le cas d'une incompréhension possible de la version française, il convient de se reporter à la version anglaise.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61746-1:2009

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61746-1:2009

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

## Partie 1: OTDR pour fibres unimodales

### 1 Domaine d'application

La présente partie de la 61746 fournit des procédures destinées à l'étalonnage des réflectomètres optiques dans le domaine de temps pour fibres unimodales (OTDR). Elle ne traite que des erreurs de mesure et incertitudes de l'OTDR.

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

### 2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

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

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

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

Recommandation UIT-T G.650.1:2002, *Définitions et méthodes de test applicables aux attributs linéaires déterministes des fibres et câbles optiques monomodes*

Recommandation UIT-T G.650.2:2002, *Définitions et méthodes de test applicables aux attributs se rapportant aux caractéristiques statistiques et non linéaires des fibres et câbles optiques monomodes*

### 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 la CEI 60050-731 pour disposer de définitions plus précises.

#### 3.1 affaiblissement perte

$A$

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:

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

[VEI 731-01-48, modifiée]

### 3.2 affaiblissement linéique

$\alpha$

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  $\Delta F$  donnée

NOTE La zone morte en affaiblissement (voir Figure 1 ci-dessous) dépend des paramètres suivants: réflectance, affaiblissement, niveau de puissance affichée et position. Elle peut aussi dépendre des composants optiques se situant en amont de l'événement.

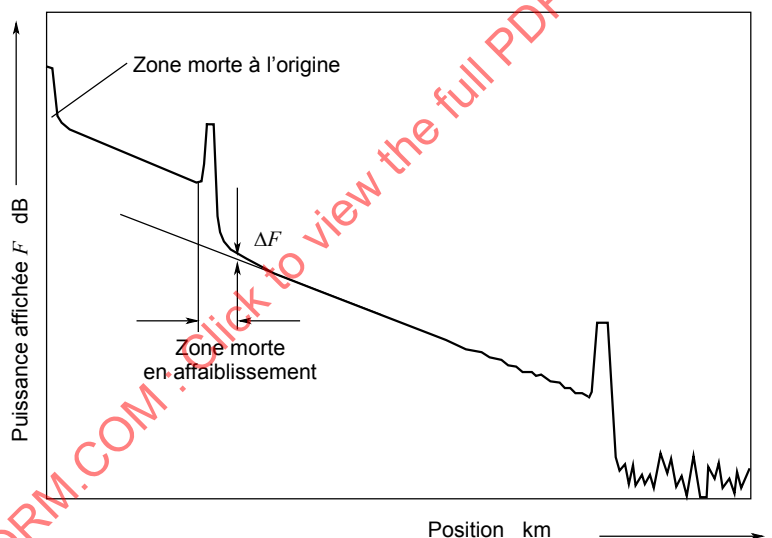


Figure 1 – Définition de la zone morte en affaiblissement

### 3.4 paramètre de rétrodiffusion

$K$

en un point défini le long de la fibre, puissance rétrodiffusée propagée par unité d'énergie incidente

NOTE 1  $K$  est donné par la formule suivante:

$$K = S \alpha_s \frac{V}{2} \text{ s}^{-1} \quad (2)$$

où

$\alpha_s$  est le coefficient de diffusion en  $\text{m}^{-1}$ ;

$S$  est la fraction de capture de la rétrodiffusion. Celle-ci est fonction d'autres paramètres de référence de la fibre tels que le diamètre de champ de mode pour les fibres unimodales;

$v$  est la vitesse de groupe (en m/s);

$= c / N$  où  $c$  est la vitesse de la lumière dans le vide,  $N$  l'indice de groupe de la fibre.

NOTE 2 Voir aussi Annexe G.

### 3.5

#### coefficient de rétrodiffusion

$C$

pour une impulsion donnée, rapport entre la puissance rétrodiffusée à l'entrée de la fibre et la puissance impulsionnelle d'entrée

NOTE 1 Cela correspond au paramètre de rétrodiffusion pour une largeur d'impulsion donnée. Le coefficient de rétrodiffusion est défini à partir du paramètre de rétrodiffusion (3.4) en utilisant la formule suivante:

$$C(\Delta T) = K\Delta T \quad (3)$$

où  $\Delta T$  est la largeur d'impulsion, par exemple en secondes.

Habituellement, le coefficient de rétrodiffusion est exprimé en dB pour une largeur d'impulsion donnée,  $\Delta T$ .

$$C_{dB}(\Delta T) = 10 \log_{10}(K\Delta T) \quad (4)$$

NOTE 2 La largeur d'impulsion,  $\Delta T$  dans la formule précédente, est utilisée pour normaliser  $C(\Delta T)$ . Les valeurs usuelles de  $\Delta T$  sont 1 ns et 1  $\mu$ s. Voir aussi l'Annexe G.

### 3.6

#### 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/CEI 99 [11] en bibliographie.

### 3.7

#### longueur d'onde centroïdale

$\lambda_{avg}$

longueur d'onde moyenne pondérée en puissance d'une source de rayonnement lumineux dans le vide [CEI 61280-1-3, définition 2.1.4]

### 3.8

#### niveau de puissance affiché

$F$

niveau 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.

### 3.9

#### distance

$D$

espacement entre deux événements

NOTE Généralement exprimée en mètres.

### 3.10

#### erreur d'échantillonnage en distance

$\Delta L_{\text{sample}}$

valeur maximale de l'erreur en distance (3.9) attribuable à la distance entre deux points d'échantillonnage successifs

NOTE 1 Généralement exprimée 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.

### 3.11

#### écart d'échelle des distances

$\Delta S_L$

différence entre la distance moyenne affichée (3.9)  $\langle D_{\text{otdr}} \rangle$  et la distance de référence correspondante (3.27)  $D_{\text{ref}}$  divisée par la distance de référence (3.27)

NOTE 1 exprimée généralement en m/m

NOTE 2  $\Delta S_L$  est donné par la formule suivante:

$$\Delta S_L = \frac{\langle D_{\text{otdr}} \rangle - D_{\text{ref}}}{D_{\text{ref}}} = \frac{\langle D_{\text{otdr}} \rangle}{D_{\text{ref}}} - 1 \quad (5)$$

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

### 3.12

#### facteur d'échelle en distance

$S_L$

distance affichée moyenne (3.9), distance divisée par la distance de référence correspondante (3.27)

NOTE  $S_L$  est donné par la formule suivante:

$$S_L = \frac{\langle D_{\text{otdr}} \rangle}{D_{\text{ref}}} \quad (6)$$

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

### 3.13

#### incertitude sur l'échelle des distances

$u_{\Delta S_L}$

incertitude de l'écart d'échelle des distances (3.11)

NOTE 1 Exprimée généralement en m/m.

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

$$u_{\Delta S_L} = u \left( \frac{\langle D_{\text{otdr}} \rangle}{D_{\text{ref}}} - 1 \right) = u \left( \frac{\langle D_{\text{otdr}} \rangle}{D_{\text{ref}}} \right) \quad (7)$$

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

### 3.14

#### dynamique à 98 % (un seul chemin)

amplitude d'affaiblissement de la fibre (3.1) 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 B (voir la CEI 60793-2-50).

**3.15****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

**3.16****position** $L$ 

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

NOTE Exprimée généralement en mètres.

**3.17****écart de position** $\Delta L$ 

position (3.16) affichée d'un événement  $L_{\text{otdr}}$  moins la position de référence (3.28)  $L_{\text{ref}}$

NOTE 1 Exprimée généralement en mètres.

NOTE 2 Cet écart est fonction de la position.

**3.18****décalage de position** $\Delta L_0$ 

terme constant du modèle d'écart de position (3.17)

NOTE 1 Exprimée généralement 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.

**3.19****incertitude de décalage de position** $u_{\Delta L_0}$ 

incertitude du décalage de position (3.18)

**3.20****incertitude d'affichage de position** $u_{L_{\text{readout}}}$ 

incertitude de la mesure de position (3.16) due à la fois à l'erreur de pas d'échantillonnage (3.10) et à l'incertitude de type A sur la mesure des points

**3.21****écart d'affaiblissement** $\Delta A$ 

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

NOTE 1  $\Delta A$  est donné par la formule suivante:

$$\Delta A = A_{\text{otdr}} - A_{\text{ref}} \quad (8)$$

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

### 3.22

#### incertitude d'affaiblissement

$u_{\Delta A}$

incertitude de l'écart d'affaiblissement (3.21), en dB

### 3.23

#### écart d'échelle d'affaiblissement

$\Delta S_A$

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

NOTE 1  $\Delta S_A$  est donné par la formule suivante:

$$\Delta S_A = \frac{A_{\text{otdr}} - A_{\text{ref}}}{A_{\text{ref}}} \quad (9)$$

NOTE 2 Se référer au 7.1 pour plus de détails.

### 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

$NL_{\text{loss}}$

différence entre les valeurs maximale et minimale de l'écart d'affaiblissement (3.21)  $\Delta A$  pour une plage de niveaux de puissance donnée, en dB

NOTE 1 C'est 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

$D_{\text{ref}}$

distance (3.9) déterminée précisément par l'équipement de mesure dont la calibration est conforme aux normes internationales et nationales

NOTE Exprimée généralement en mètres.

### 3.28

#### position de référence

$L_{\text{ref}}$

position (3.16) déterminée précisément par l'équipement de mesure dont la calibration est conforme aux normes internationales et nationales

NOTE Exprimée généralement en mètres.

### 3.29

#### affaiblissement de référence

$A_{\text{ref}}$

affaiblissement d'un composant de fibre optique déterminé précisément par l'équipement de mesure dont la calibration est conforme aux normes internationales et nationales

### 3.30 réflectance

**R**

Rapport, exprimé en dB, entre la puissance réfléchie (en watts) et la puissance incidente (en watts), situé à une position discrète d'un composant de fibre optique

NOTE 1 *R* est donné par la formule suivante:

$$R = 10 \log_{10} \left( \frac{P_{\text{refl}}}{P_{\text{inc}}} \right) \quad (10)$$

où  $P_{\text{refl}}$  est la puissance réfléchie, par exemple en watts;

$P_{\text{inc}}$  est la puissance incidente, par exemple en watts.

NOTE 2 Dans la présente norme, la réflectance est exprimée en décibels.

NOTE 3 Les valeurs de réflectance sont négatives.

NOTE 4 Dans le cadre de la présente norme, la réflectivité,  $\rho$ , est définie comme étant la valeur linéaire de la réflectance:

$$\rho = \frac{P_{\text{refl}}}{P_{\text{inc}}} \quad (11)$$

### 3.31 écart de réflectance

**$\Delta R$**

différence entre la réflectance (3.30) d'un composant de fibre  $R_{\text{otdr}}$  et la réflectance  $R_{\text{ref}}$ , en dB

$$\Delta R = R_{\text{otdr}} - R_{\text{ref}} \text{ dB} \quad (12)$$

### 3.32 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 (3.33)

NOTE En supposant une distribution gaussienne du bruit, la (gamme) dynamique efficace peut être calculée en ajoutant 1,56 dB à la dynamique (aller simple).

### 3.33 niveau de bruit efficace

moyenne quadratique du bruit

NOTE 1 D'une manière générale, le niveau de bruit efficace ne peut pas être lu ou extrait des données logarithmiques de l'OTDR. Ceci est dû au fait que la conversion linéaire / logarithmique utilisée pour afficher le niveau de puissance sur une échelle en dB supprime la composante négative du bruit.

NOTE 2 En supposant une distribution gaussienne du bruit, une relation entre le niveau de bruit et le niveau de bruit efficace peut être trouvée en utilisant la formule suivante:

$$\text{noise}_{98} - \text{noise}_{\text{rms}} = 5 \times \log_{10}(2,05375) = 1,56 \text{ dB} \quad (13)$$

où  $\text{noise}_{98}$  est le niveau de bruit à 98 %, par exemple en dB;

$\text{noise}_{\text{rms}}$  est le niveau de bruit efficace, par exemple en dB;

2,053 75 est la valeur de la distribution normale standard (ou centrée réduite) inverse pour 98 %.

### 3.34 pas d'échantillonnage

distance des points consécutifs numérisés par l'OTDR

NOTE 1 Exprimée généralement 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.

### 3.35

#### largeur spectrale

$\Delta\lambda_{FWHM}$

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

[CEI 61280-1-3, modifiée]

## 4 Préparation relative à l'étalonnage

### 4.1 Organisation

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

Il convient qu'une procédure de mesure documentée existe pour chaque type d'étalonnage effectué, donnant des instructions opératoires pas par pas et le banc de mesure à utiliser.

### 4.2 Traçabilité

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

Tous les étalons utilisés dans le processus d'étalonnage doivent être étalonnés conformément à un programme documenté, avec une traçabilité vis-à-vis des laboratoires nationaux de métrologie ou des laboratoires d'étalonnage accrédités. Il est recommandé de maintenir plusieurs étalons à chaque niveau hiérarchique, de sorte que la performance de l'étalon puisse être vérifiée par des comparaisons au même niveau. S'assurer que tous les autres 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 sa ou ses 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. Faire subir à l'OTDR un temps de chauffe conforme aux instructions du constructeur.

### 4.4 Conditions de mesure

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: le temps de moyennage, la largeur d'impulsion, le pas d'échantillonnage, la longueur d'onde centroïdale. 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 la CEI 60825-1 et à la CEI 60825-2.

#### 4.5 Documentation

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

- le décalage de position  $\Delta L_0$  et son incertitude  $\pm 2 u_{\Delta L_0}$ , ainsi que l'écart d'échelle des distances  $\Delta S_L$  et son incertitude  $\pm 2 u_{\Delta S_L}$ , ou les écarts de position  $\Delta L_i$  et leurs incertitudes  $\pm 2 u_{\Delta L_i}$ ;
- les écarts d'affaiblissement  $\Delta A$  et leurs incertitudes  $\pm 2 u_{\Delta A}$  ou l'écart de l'échelle d'affaiblissement  $\Delta S_A$  et son incertitude  $\pm 2 u_{\Delta S_A}$ ;
- la configuration de l'instrument (largeur d'impulsion, gamme de mesure horizontale, longueur d'onde, temps de moyennage, ...) utilisée pendant l'étalonnage;
- autre exigence relative au certificat d'étalonnage selon l'ISO/CEI 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:

$$L = \frac{cT}{2N} \quad (14)$$

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 de la fibre  $N$ . La détermination de  $N$  n'est pas l'objet de cette 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.

#### 5.2 Modèle d'écart de position

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

$$L_{\text{otdr}} = S_L \cdot L_{\text{ref}} + \Delta L_0 + f(L_{\text{ref}}) \quad (15)$$

où

$S_L$  est le facteur d'échelle, dont la valeur idéale est 1;

$\Delta L_0$  est le décalage de position, dont la valeur idéale est 0;

$f(L_{\text{ref}})$  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,  $f(L_{\text{ref}})$  peut avoir l'aspect d'une forme d'onde à rampe périodique.

L'équation (15) 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 décrivant les erreurs peuvent être déterminés par les procédures ci-après.

$S_L$  et  $\Delta L_0$  peuvent être déterminés en mesurant  $L_{\text{otdr}}$  pour différentes valeurs de  $L_{\text{ref}}$  et en traçant ensuite une droite à partir des données obtenues, en utilisant la méthode des moindres carrés.  $S_L$  et  $\Delta L_0$  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 d'écart de position, c'est-à-dire la différence entre  $L_{\text{otdr}}$  et  $L_{\text{ref}}$ :

$$\Delta L = L_{\text{otdr}} - L_{\text{ref}} = \Delta S_L \cdot L_{\text{ref}} + \Delta L_0 + f(L_{\text{ref}}) \quad (16)$$

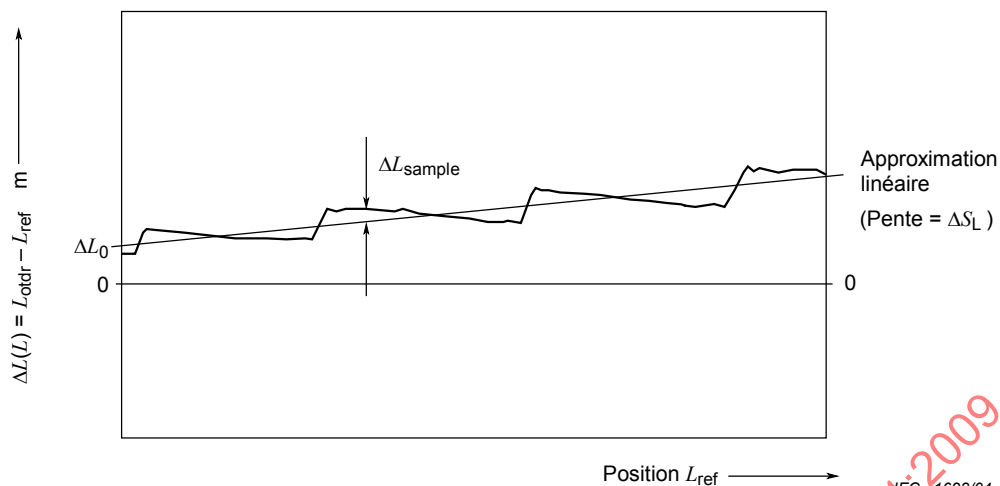
où

$\Delta S_L$  est la pente; et

$\Delta L_0$  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  $f(L_{\text{ref}})$  et sa demi-amplitude  $\Delta L_{\text{readout}}$  en mesurant les écarts par rapport à la droite pour différentes valeurs de  $L_{\text{ref}}$ . L'amplitude de l'erreur d'échantillonnage en distance  $\Delta L_{\text{sample}}$  est prise comme la moitié de l'amplitude de  $f(L_{\text{ref}})$ .

Dans cette norme, l'amplitude de l'erreur d'échantillonnage en distance  $\Delta L_{\text{sample}}$  est considérée comme partie intégrante de l'incertitude d'affichage de position de type A. 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:

- $\Delta S_L, u_{\Delta S_L}$  l'écart d'échelle des distances et son incertitude;
- $\Delta L_0, u_{\Delta L_0}$  le décalage de position et son incertitude;
- $u_{L_{\text{readout}}}$  l'incertitude d'affichage de position, c'est-à-dire la 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  $\Delta L_{\text{sample}}$  représente l'erreur d'échantillonnage physique de l'instrument. Cette erreur est accessible à l'utilisateur en tant que  $u_{L_{\text{readout}}}$ , qui inclut les erreurs de calcul de distance et d'affichage.

### 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:

$$\Delta L = \Delta L_0 + L_{\text{ref}} \Delta S_L \quad (17)$$

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

$$\pm 2 u_{\Delta L} = \pm 2 (u_{\Delta L_0}^2 + L_{\text{ref}}^2 u_{\Delta S_L}^2 + u_{L_{\text{readout}}}^2)^{1/2} \quad (17a)$$

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

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

$$\Delta D = D_{\text{ref}} \Delta S_L \quad (18)$$

avec l'incertitude dans  $\Delta D$  donnée par l'équation suivante:

$$\pm 2 u_{\Delta D} = \pm 2 (D_{\text{ref}}^2 u_{\Delta SL}^2 + 2 u_{\text{Lreadout}}^2)^{1/2} \quad (18a)$$

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

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

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  $T_{\text{transit}}$  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 centroïdale  $\lambda_{\text{avg}}$  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 centroïdales 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  $D_{\text{ref}}$  peut être calculée de la façon suivante:

$$D_{\text{ref}} = \frac{c T_{\text{transit}}}{N} \text{ m} \quad (19)$$

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  $D_{\text{ref}}$  comme distance de référence.

### 6 Méthodes d'étalonnage des distances

#### 6.1 Généralités

Chacune des trois 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.

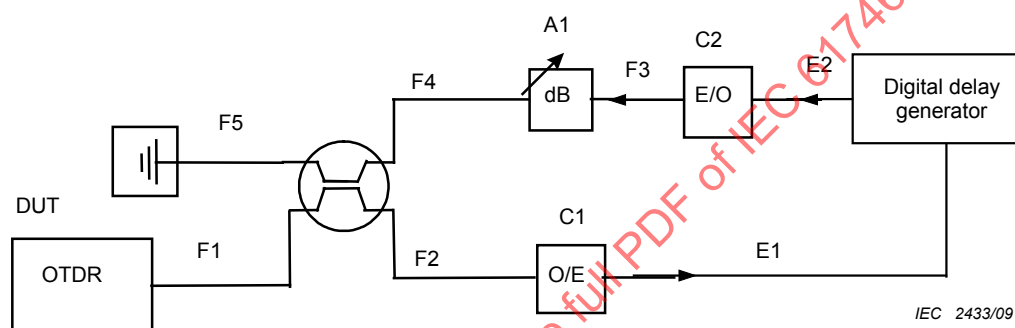
Cette méthode est bien adaptée aux laboratoires automatisés effectuant des essais contrôlés par ordinateur. A des fins de simplification, seuls les événements réfléchissants sont étudiés dans cette norme. Pour étalonner un OTDR pour des événements non réfléchissants, il

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:

- un coupleur optique;
- un convertisseur optique/électrique;
- un générateur de retard numérique capable d'impulsion;
- un convertisseur électrique/optique;
- un atténuateur optique variable, pour maintenir l'amplitude d'impulsion juste en dessous du niveau de saturation.



#### Légende

| Anglais                 | Français                       |
|-------------------------|--------------------------------|
| Digital delay generator | Générateur de retard numérique |

#### Légende

|                      |                                  |
|----------------------|----------------------------------|
| F1, F2, F3, F4 et F5 | fibres                           |
| E1 et E2             | câbles électriques               |
| E/O                  | convertisseur électrique/optique |
| O/E                  | convertisseur optique/électrique |
| A1                   | atténuateur variable             |
| C1                   | convertisseur optique-électrique |
| C2                   | convertisseur électrique-optique |

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

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.

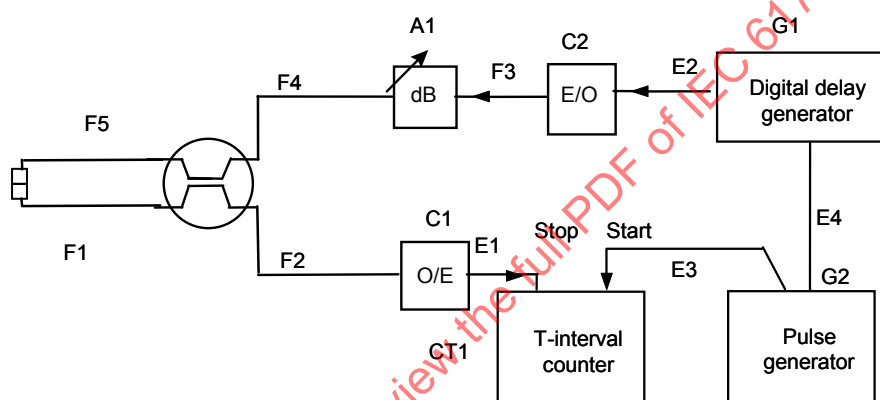
Le convertisseur E/O peut être un simple laser pulsé simulant la réflexion. Pour étalonner l'échelle des distances en présence d'événements réfléchissants, une amplitude et une largeur

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 terminaison de F5 est destinée à absorber les réflexions.

### 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  $\Delta L_0$  à partir des données mesurées nécessite également la connaissance du retard à l'insertion  $T_{\text{delay}}$  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.



IEC 2434/09

#### Légende

| Anglais                 | Français                       |
|-------------------------|--------------------------------|
| Digital delay generator | Générateur de retard numérique |
| Stop                    | Arrêt                          |
| Start                   | Démarrage                      |
| T-interval counter      | Compteur d'intervalle de temps |
| Pulse generator         | Générateur d'impulsions        |

#### Légende

|                      |                                  |
|----------------------|----------------------------------|
| 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 étalonner le retard à l'insertion  $T_{\text{delay}}$ , 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. 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  $T_{\text{delay}}$ .

## 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  $\mu\text{s}$ .

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  $D_{\text{sample}}$  (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  $T_{\text{sample}}$  en utilisant:

$$T_{\text{sample}} = \frac{2ND_{\text{sample}}}{c} \quad (20)$$

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 ( $i = k n$ ), chaque groupe recouvrant de manière uniforme un intervalle d'échantillonnage. Chaque groupe doit avoir la forme suivante:

$$T_k, T_k + T_{\text{sample}}/n, T_k + 2 T_{\text{sample}}/n, \dots, T_k + (n-1) T_{\text{sample}}/n \quad (21)$$

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  $D_{\text{sample}}$  peut n'être connu que très approximativement. Calculer  $T_{\text{sample}}$  à partir de l'équation (20). 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 5, utiliser les différents réglages de temps pour calculer les  $i$  positions de référence  $L_{\text{ref},i}$ :

$$L_{\text{ref},i} = \frac{c(T_i + T_{\text{delay}})}{2N} \quad (22)$$

où

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

$T_i$  sont les réglages de temps définis en 6.2.3;

$T_{\text{delay}}$  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  $\Delta L_i$ :

$$\Delta L_i = L_{\text{otdr},i} - L_{\text{ref},i} \quad (23)$$

Pour déterminer le décalage de position  $\Delta L_0$  et l'écart d'échelle des distances  $\Delta S_L$ , 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):

$$\Delta L_{i, \text{model}} = \Delta S_L L_{\text{ref},i} + \Delta L_0 \quad (24)$$

Particulièrement, minimiser la différence entre le modèle et les données en utilisant le critère des moindres carrés, c'est-à-dire en choisissant  $\Delta S_L$  et  $\Delta L_0$ , de façon que la somme

$$\sum_i (\Delta L_i - \Delta S_L L_{\text{ref},i} - \Delta L_0)^2 \quad (25)$$

soit minimale. Enregistrer  $\Delta L_0$  et  $\Delta S_L$  obtenus à partir de l'approximation.

Comme sur la Figure 2, la pente de l'approximation linéaire représente l'écart d'échelle des distances  $\Delta S_L$ . L'intersection avec l'axe vertical représente le décalage de position  $\Delta L_0$ . Enregistrer  $\Delta S_L$  et  $\Delta L_0$  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.

Il est à noter que la liste suivante d'incertitudes n'est pas exhaustive. D'autres causes peuvent avoir à être prises en compte en fonction du montage de mesure et de la procédure utilisés. Il convient d'utiliser les bases mathématiques de l'Annexe D 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  $L = L_{\max}$  ont la plus grande influence sur l'écart d'échelle des distances car les échantillons du centre n'ont pas d'influence sur la pente du modèle d'erreur de distance.

L'application de la formule standard de propagation des erreurs à l'équation (7) donne l'incertitude sur l'échelle des distances  $u_{\Delta SL}$  pour laquelle  $\langle D_{otdr} \rangle \approx D_{ref}$  a été utilisé.

$$u_{\Delta SL} \cong \left[ \left( \frac{u_{\langle D_{otdr} \rangle}}{\langle D_{otdr} \rangle} \right)^2 + \left( \frac{u_{D_{ref}}}{D_{ref}} \right)^2 \right]^{1/2} \text{ m/km} \quad (26)$$

où

|                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $D_{otdr}$                                                | est $D_{ref} \approx L_{ref}$ (pour les longues distances dont il est question ici);                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| $u_{\langle D_{otdr} \rangle}$                            | est l'écart type traduisant l'incertitude sur les échantillons de distance (à partir des échantillons de position);                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| $u_{\langle D_{otdr} \rangle} / \langle D_{otdr} \rangle$ | est l'incertitude sur la pente due à un manque de précision de la distance affichée; elle est équivalente à l'écart type de la pente, $\Delta S_L$ , dans le modèle de localisation de l'équation (16), 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 $\Delta S_L$ peut être utilisé pour la détermination de $u_{\langle D_{otdr} \rangle}$ ; dans ce cas, $\Delta L_i$ peut être moyenné sur l'intervalle d'échantillonnage correspondant; |
| $u_{D_{ref}}$                                             | est l'incertitude sur les distances de référence;                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| $u_{D_{ref}} / D_{ref}$                                   | 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 de décalage de position

Le décalage de position  $\Delta L_0$  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 de décalage de position  $u_{\Delta L0}$  peut être calculée à partir de la formule classique de propagation des erreurs:

$$u_{\Delta L0} = \left[ u_{\sigma_{\Delta L}}^2 + \left( \frac{c}{2N} \right)^2 u_{T_{delay}}^2 \right]^{1/2} \quad (27)$$

où

- $u_{\Delta L}$  est l'incertitude sur les différences entre  $\Delta L_i$  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  $(\Delta L_i - \Delta L_{i, \text{model}})$  près de  $L = 0$ ; dans ce cas,  $\Delta L_i$  peut être moyenné sur l'intervalle d'échantillonnage correspondant; l'algorithme des moindres carrés utilisé pour la détermination de  $\Delta L_0$  peut être utilisé pour déterminer  $\sigma_{\Delta L}$ .
- $u_{\text{Tdelay}}$  est l'incertitude sur le retard d'insertion du système; il est supposé que le premier retard est très court ou même nul, 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  $\Delta L_i$  et l'approximation par la méthode des moindres carrés au voisinage de  $L = 0$ . Calculer ensuite l'incertitude d'affichage de position  $u_{\text{Lreadout}}$  (qui inclut l'erreur d'échantillonnage en distance) en divisant la plus grande différence par la racine carrée de 3. De manière alternative,  $u_{\text{Lreadout}}$  peut être obtenu soit avec l'algorithme des moindres carrés utilisé pour la détermination de  $\Delta S_L$  et  $\Delta L_0$ , soit avec l'équation suivante:

$$u_{\text{Lreadout}} = \left[ \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta L_i - \Delta L_{i, \text{model}})^2 \right]^{1/2} \quad (28)$$

### 6.3 Méthode des ajouts de fibres

#### 6.3.1 Description sommaire et avantages

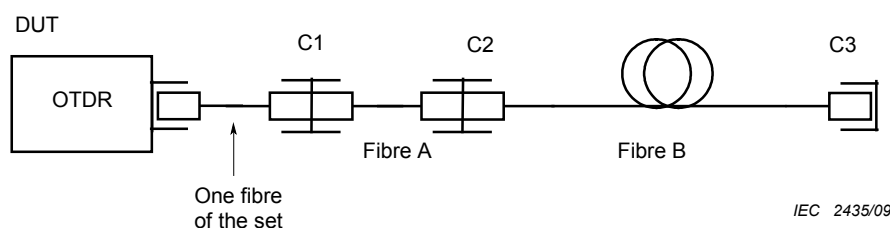
Cette méthode permet d'étalonner l'échelle des distances en utilisant des fibres étalonnées, dont les temps de transit, à la longueur d'onde de l'OTDR testé, ont été mesurés avec précision.

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 d'essai 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 événements. Elle peut toutefois être automatisée, si cela est souhaité, par l'utilisation de commutateurs optiques.

#### 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

| Anglais              | Français                   |
|----------------------|----------------------------|
| One fibre of the set | Une fibre du jeu de fibres |
| DUT                  | Dispositif en essai        |

### 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. De manière alternative, elles peuvent aussi être utilisées avec un système de commutateurs optiques sans connecteurs.

Les exigences concernant ces fibres sont indiquées ci-dessous.

- a) La fibre A peut être une fibre ordinaire, avec une réflexion terminale, ou une fibre présentant une réflexion en ligne ou une épissure. Sa longueur importe peu, dans la mesure où la courbe de rétrodiffusion de l'événement à mesurer n'est pas perturbée par la ou les réflexions à la sortie de l'OTDR.

La fibre A peut se composer d'une courte fibre amorce et d'une longueur de fibre conforme à la description ci-dessus, avec des connecteurs d'extrémités. Ainsi, les fibres par accroissement (voir ci-après) peuvent être insérées après le premier tronçon de la fibre A, sans avoir à déconnecter la face avant de l'OTDR. La réflexion des connecteurs proches de l'extrémité doit être la plus faible possible de façon à ce que l'événement à l'extrémité de la fibre A soit situé hors de la zone morte de l'OTDR.

Cette possibilité peut être intéressante pour les systèmes automatisés.

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 2 km, 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 mesuré sont toutefois réduites par une longueur de fibre plus grande.

- c) Lorsque l'intervalle d'échantillonnage n'est pas connu précisément du constructeur et lorsqu'on suppose qu'il est grand, le jeu de fibres par accroissement sera 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. 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

$$0, D_x, 2 D_x, \dots, (n - 1) D_x \quad (29)$$

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 conviendra 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

Sélectionner le type d'événement (le long de la fibre A ou à l'extrémité) pour lequel le décalage de position est à déterminer et sélectionner les fibres en conséquence. Déterminer également la technique de placement des marqueurs (automatique ou manuelle) sur l'événement 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 l'événement à la fin ou proche de la fin de la fibre soit visible sur l'OTDR. Connecter la fibre B à l'autre extrémité de la fibre A, de manière 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 l'événement sur 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  $D_{otdr,1}$ .

Insérer la plus petite des fibres par accroissement entre l'OTDR et le début de la fibre A. Mesurer la position  $L_{otdr,2}$  et la distance  $D_{otdr,2}$ . Si la fibre A est une fibre séparable, comme décrit en 6.3.2, les fibres par accroissement peuvent être insérées à l'endroit de la séparation plutôt qu'entre l'OTDR et le début de la fibre.

Continuer d'insérer successivement des combinaisons de longueur croissante de fibres par accroissement. Mesurer la position  $L_{otdr,i}$  et la distance  $D_{otdr,i}$  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 Écart d'échelle des distances

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

$$\Delta S_L = \frac{\langle D_{otdr} \rangle}{D_{ref}} - 1 = \frac{N \langle D_{otdr} \rangle}{c T_b} - 1 \quad (30)$$

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  $\langle L_{otdr} \rangle$  la moyenne de toutes les  $n$  valeurs de  $L_{otdr,i}$ . Calculer le décalage de position à partir de l'équation (16):

$$\Delta L_0 = \langle L_{otdr} \rangle - (1 + \Delta S_L) \langle L_{ref} \rangle \quad (31)$$

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

où

$\langle L_{ref} \rangle$  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;

$\Delta S_L$  est l'écart d'échelle des distances déterminé d'après l'équation (30); si la fibre A est suffisamment courte, le terme  $\Delta S_L$  peut 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. Il est à noter que la liste suivante d'incertitudes n'est pas exhaustive. D'autres causes peuvent avoir à être prises en compte en fonction du montage de mesure et de la procédure utilisés.

Il convient d'utiliser les bases mathématiques de l'Annexe D 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 (30):

$$u_{\Delta SL} = \left[ \left( \frac{u_{D_{otdr}}}{D_{otdr}} \right)^2 + \left( \frac{u_{T_b}}{T_b} \right)^2 \right]^{1/2} \text{ m/km} \quad (32)$$

où  $u_{D_{otdr}}$  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  $\sigma_{T_b}$  par extraction de la racine carrée de la somme quadratique.

$u_{T_b, counter}$  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 dilatation; valeur typique: 1 cm/(km °C).

### 6.3.5.3 Incertitude de décalage de position

Il convient de calculer l'incertitude de décalage de position  $u_{\Delta L0}$  à partir de l'équation suivante, qui est tirée de l'équation (31), dont les termes  $\Delta S_L$  et  $(n-1) D_x/2$  sont considérés comme négligeables:

$$u_{\Delta L0} = \left[ u_{L_{otdr}}^2 + \left( \frac{c}{N} \right)^2 u_{Ta}^2 \right]^{1/2} \quad (33)$$

où  $u_{L_{otdr}}$  est l'incertitude sur la mesure de la position de l'événement à l'extrémité (ou à l'intérieur) 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:

- $u_{Ta,counter}$  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 dilatation; valeur typique: 1 cm/(km °C).

### 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.

$$L_{otdr,i} - L_{ref,i} = L_{otdr,i} - \left( \frac{cT_a}{N} + iD_x \right) \quad i = 0 \text{ to } n-1 \quad (34)$$

et

$$D_{otdr,i} - D_{ref,i} = D_{otdr,i} - \frac{cT_b}{N} \quad i = 0 \text{ to } n-1 \quad (35)$$

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

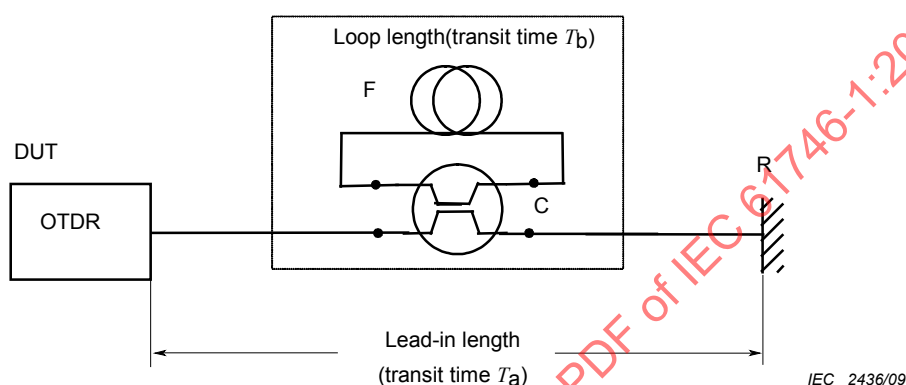
La méthode de la boucle de retard utilise une boucle de fibre étalonnée, composée d'un coupleur et d'un miroir, qui génèrent des réflexions périodiques.

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 réalisée et étalonnée selon les principes exposés à l'Annexe A, comme indiqué à la Figure 6.



#### Légende

| Anglais                              | Français                                     |
|--------------------------------------|----------------------------------------------|
| Loop length (transit time $T_b$ )    | Longueur de boucle (temps de transit $T_b$ ) |
| Lead-in length (transit time $T_a$ ) | Longueur d'amorce (temps de transit $T_a$ )  |

#### Légende

|   |                      |
|---|----------------------|
| F | fibre dans la boucle |
| C | coupleur à 4 ports   |
| R | Réflexion            |

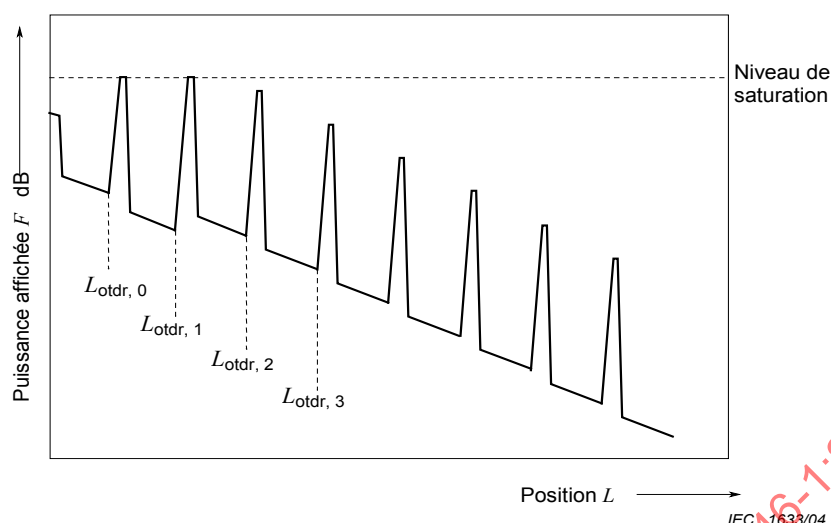
**Figure 6 – Étalonnage des distances au moyen d'une boucle de retard**

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 seraient donc:

$$\begin{aligned}
 L_{\text{otdr},0} &= L_a \\
 L_{\text{otdr},1} &= L_a + L_b/2 \\
 L_{\text{otdr},2} &= L_a + L_b \rightarrow \text{etc}
 \end{aligned}
 \tag{36}$$

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 remplaçant la fibre A et la boucle remplaçant 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.

Connecter la boucle de retard directement à l'OTDR, de manière à voir les événements réfléchissants sur l'OTDR.

#### 6.4.3.3 Réalisation des mesures

Avec l'OTDR, mesurer la position des réflexions successives de la boucle de retard. Enregistrer ces mesures en tant que  $L_{otdr,i}$  où l'indice  $i$  va de 0 à  $k$  et représente le nombre de passages à travers la boucle. Si  $k$  a une valeur élevée, la précision sur le résultat sera probablement meilleure, mais cette valeur est limitée par l'affaiblissement et le plancher de bruit de l'OTDR.

#### 6.4.4 Calculs et résultats

En utilisant les données d'étalonnage de la boucle de retard  $T_a$  et  $T_b$ , la série des positions de référence est:

$$\begin{aligned}
 i = 1: L_{\text{ref},1} &= \frac{c(T_a + T_b/2)}{N} \\
 i = 2: L_{\text{ref},2} &= \frac{c(T_a + T_b)}{N} \\
 i = l: L_{\text{ref},i} &= \frac{c(T_a + \frac{iT_b}{2})}{N}
 \end{aligned}$$

où  $N$  est l'indice de groupe réglé sur l'OTDR.

Utiliser ensuite les positions affichées  $L_{\text{otdr},i}$  et les positions de référence pour calculer la série d'écarts de position  $\Delta L_i$ :

$$\Delta L_i = L_{\text{otdr},i} - L_{\text{ref},i} = \Delta S_L L_{\text{ref},i} + \Delta L_0 + f(L_{\text{ref},i}) \quad (37)$$

Pour déterminer le décalage de position  $\Delta L_0$  et l'écart d'échelle des distances  $\Delta S_L$ , entrer les valeurs d'écarts de position dans le modèle simplifié d'écart de position (dans lequel on néglige momentanément l'incertitude d'affichage de position):

$$\Delta L_{i,\text{model}} = \Delta S_L L_{\text{ref},0} + \Delta L_0 \quad (38)$$

Particulièrement, minimiser la différence entre le modèle et les valeurs en utilisant le critère des moindres carrés, en d'autres termes choisir  $\Delta S_L$  et  $\Delta L_0$  tels que la somme

$$\sum_i (\Delta L_i - \Delta S_L L_{\text{ref},i} - \Delta L_0)^2 \quad (39)$$

soit minimale. Enregistrer  $\Delta L_0$  et  $\Delta S_L$  obtenus à partir de l'approximation.

## 6.4.5 Incertitudes

### 6.4.5.1 Généralités

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

Il est à noter que la liste suivante d'incertitudes n'est pas exhaustive. D'autres causes peuvent avoir à être prises en compte en fonction du montage de mesure et de la procédure utilisés. Il convient d'utiliser les bases mathématiques de l'Annexe D pour calculer et déterminer les incertitudes.

### 6.4.5.2 Incertitudes sur l'échelle des distances

L'approximation par les moindres carrés exposée en 6.4.4 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 n'ont pas d'influence sur la pente du modèle d'erreur de distance.

L'application de la formule standard de propagation des erreurs à l'équation (7) donne l'incertitude sur l'échelle des distances  $u_{\Delta S_L}$  pour laquelle  $\langle D_{\text{otdr}} \rangle \cong D_{\text{ref}}$  a été utilisé.

$$u_{\Delta S_L} \cong \left[ \left( \frac{u_{\langle D_{\text{otdr}} \rangle}}{\langle D_{\text{otdr}} \rangle} \right)^2 + \left( \frac{u_{D_{\text{ref}}}}{D_{\text{ref}}} \right)^2 \right]^{1/2} \text{ m/km} \quad (40)$$

où

$D_{\text{otdr}}$  est  $D_{\text{ref}} \approx L_{\text{ref}}$  (pour les longues distances dont il est question ici);

$u_{\langle \text{Dotdr} \rangle}$  est l'écart type traduisant l'incertitude sur les échantillons de distance (à partir des échantillons de position); il est équivalent à l'écart type de  $(\Delta L_i - \Delta L_{i,\text{model}})$ , 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  $\Delta S_L$  peut être utilisé pour la détermination de  $u_{\langle \text{Dotdr} \rangle}$ ; si des fibres par accroissement sont employées,  $\Delta L_i$  peut être moyenné sur l'intervalle d'échantillonnage correspondant;

$u_{D_{\text{ref}}}$  est l'incertitude sur les distances de référence; il est possible de la calculer avec l'équation  $u_{D_{\text{ref}}}/D_{\text{ref}} = u_{T_b}/T_b$ , où  $u_{T_b}$  est l'incertitude du temps de transit dans la boucle, comme documenté dans le certificat d'étalonnage de la boucle de décalage (voir Annexe A).

#### 6.4.5.3 Incertitude de décalage de position

Le décalage de position  $\Delta L_0$  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 temps de transit  $T_a$ .

L'incertitude de décalage de position  $u_{\Delta L_0}$  peut être calculée à partir de la formule classique de propagation des erreurs appliquée à l'équation (38):

$$u_{\Delta L_0} = \left[ u_{\Delta L}^2 + \left( \frac{c}{N} \right)^2 u_{T_a}^2 \right]^{1/2} \quad (41)$$

où

$u_{\Delta L}$  est l'incertitude sur les différences entre  $\Delta L_i$  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 et est équivalente à l'écart type de  $(\Delta L_i - \Delta L_{i,\text{model}})$  près de  $L = 0$ ; l'algorithme des moindres carrés, utilisé pour déterminer  $\Delta L_0$  peut l'être aussi pour déterminer  $\sigma_{\Delta L}$ . Si des fibres par accroissement sont utilisées,  $\Delta L_i$  peut être moyenné sur l'intervalle d'échantillonnage correspondant;

$u_{T_a}$  est l'incertitude annoncée sur le temps de retard de la fibre amorce de la boucle de retard (voir Annexe A);

$u_{T_a,\Theta}$  est l'incertitude sur le temps de retard de la fibre amorce due au coefficient de dilatation de la fibre; valeur typique: 1 cm/(km °C).

#### 6.4.5.4 Incertitude d'affichage de position

Le principe de détermination de l'incertitude d'affichage de position est exposé à la Figure 2. Dans le cas de la méthode de la boucle de retard, les données ne sont pas assez nombreuses pour mettre en évidence la nature répétitive des échantillons de mesure. Néanmoins, il est recommandé de déterminer les plus grandes différences entre les écarts de position  $\Delta L_i$  ( $L_{\text{ref}}$ ) et l'approximation des moindres carrés. On divise ensuite cette différence par la racine carrée de 3, pour obtenir l'incertitude d'affichage de position  $u_{L_{\text{readout}}}$  (qui inclut l'erreur d'échantillonnage en distance).

## 7 Étalonnage des affaiblissements – Généralités

### 7.1 Généralités

L'objectif de l'étalonnage des affaiblissements est de déterminer l'écart d'affaiblissement  $\Delta A$  pour des niveaux de puissance  $F$  à l'intérieur de la zone de rétrodiffusion utile de l'OTDR et d'évaluer les incertitudes de mesure.  $\Delta A$  est fonction du niveau de puissance affiché  $F$ ; il inclut à la fois les inexactitudes de l'affichage d'affaiblissement et la non-linéarité de l'échelle de puissance de l'OTDR.

L'écart d'échelle d'affaiblissement  $\Delta S_A$  peut être utilisé pour présenter les résultats de l'étalonnage sous une autre forme. Sur la génération précédente d'OTDR, ceci est particulièrement utile lorsque l'erreur peut être une fonction de l'affaiblissement. Il convient que l'utilisateur porte une attention particulière à l'utilisation de ce paramètre pour un affaiblissement inférieur à 1 dB: l'incertitude peut être supérieure à celle donnée par la formule.

L'étalonnage peut être réalisé avec l'une des quatre méthodes suivantes: fibre étalon, source externe, simulateur d'épissure, réduction de puissance. Les paragraphes suivants décrivent les principes de l'étalonnage des affaiblissements.

### 7.2 Détermination du niveau de puissance affiché $F$

Pour chaque mesure d'affaiblissement, déterminer le niveau de puissance affiché ou un paramètre équivalent qui peut être utilisé pour reproduire la position verticale d'un échantillon de mesure. Ce niveau est appelé  $F$ .

Sauf spécification contraire, utiliser le niveau de saturation de l'OTDR, déterminé à la position du connecteur de face avant, comme valeur de référence (par défaut) pour déterminer  $F$ :  $F_{\text{ref}} = 0$  dB. Préciser toutes les valeurs de  $F$  en relation avec ce point de référence (par exemple, si le niveau de puissance affiché est  $x$  dB en dessous du niveau de saturation, alors  $F = -x$  dB). Le niveau de saturation peut être obtenu en introduisant une réflexion suffisamment forte dans une longueur de fibre, comme indiqué sur la Figure 8. Une autre méthode consiste à utiliser une impulsion optique suffisamment forte provenant d'une source externe (voir 8.3). Le niveau de saturation a été choisi parce qu'il représente le niveau le plus reproductible de la plupart des échelles de puissance des OTDR.

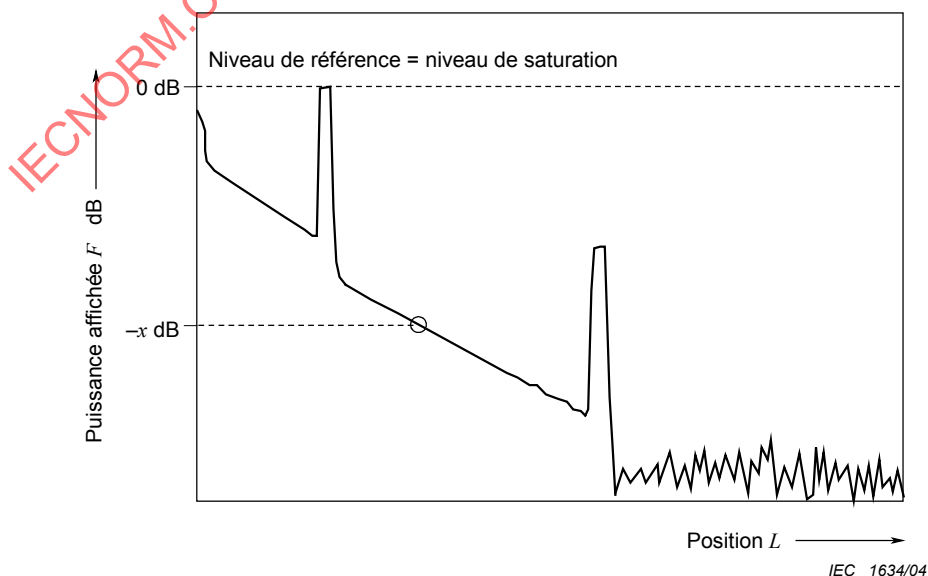


Figure 8 – Détermination du niveau de référence et du niveau de puissance affiché

Il est aussi possible de présenter le niveau de puissance  $F$  en dB, relativement à un niveau fixe, si l'OTDR fournit la possibilité de lire la puissance affichée en dB, ou d'utiliser le niveau du début du signal de rétrodiffusion pour une fibre d'un type donné, à une largeur d'impulsion donnée, comme niveau de référence. Il est à noter que, dans ce dernier cas, la reproductibilité du niveau de référence est généralement affectée par la non-reproductibilité de la connexion de la sortie de l'OTDR.

### 7.3 Détermination d'un affaiblissement de référence approprié $A_{ref}$

Le principe de l'étalonnage des affaiblissements est d'appliquer un dispositif possédant un affaiblissement de référence connu  $A_{ref}$  à l'OTDR, et de mesurer l'affaiblissement affiché  $A_{otdr,i}$  en fonction du niveau de puissance affiché  $F_i$  comme cela est décrit à la Figure 9. Il est à remarquer que les valeurs  $F_i$  représentent la puissance haute de  $A_{otdr,i}$ .

D'un point de vue théorique, une valeur infiniment petite de  $A_{ref}$  serait souhaitable. En pratique, des valeurs de  $A_{ref}$  trop petites peuvent causer des incertitudes de mesure supplémentaires dues au bruit de l'OTDR, alors que de fortes valeurs de  $A_{ref}$  tendent à cacher les détails plus fins. On doit donc préciser la valeur spécifique de  $A_{ref}$  utilisée pour l'étalonnage. La gamme recommandée pour  $A_{ref}$  va de 0,5 dB à 2 dB.

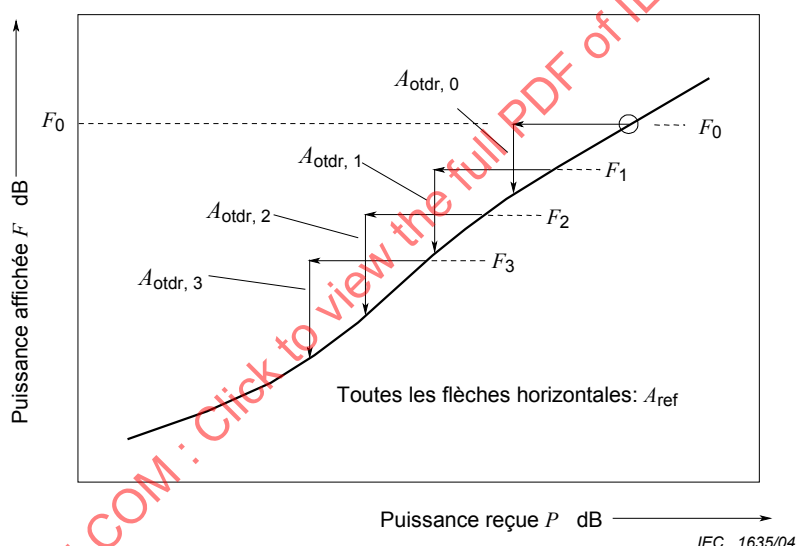


Figure 9 – Mesure des échantillons d'affaiblissement de l'OTDR

L'affaiblissement de référence peut être un composant optique réel ou simulé. Il est à remarquer que les composants de la fibre optique produisent normalement des affaiblissements dépendant de la longueur d'onde. Il est donc nécessaire de connaître la valeur de l'affaiblissement de référence à la longueur d'onde centroïdale de l'OTDR. Il est également important que l'affaiblissement de référence dépende peu de la polarisation.

### 7.4 Élaboration d'un plan d'essai

Les échantillons d'affaiblissement peuvent dépendre non seulement du niveau de puissance, mais aussi de la distance et de l'antériorité du signal (c'est-à-dire la réponse de l'OTDR sur la fibre) précédant le dispositif qui doit être mesuré. Plus particulièrement, le détecteur et l'électronique peuvent être affectés par la récupération de l'émission initiale du laser et des signaux provenant soit de la rétrodiffusion, soit des réflexions sur la fibre. L'étalonnage sera applicable seulement aux conditions de distance et de signal pour lequel il a été réalisé.

Cette norme ne spécifie pas de conditions particulières de l'antériorité du signal. Afin de faciliter la description des niveaux de puissance et de la distance, cette norme définit une

région A de l'affichage de l'OTDR comme étant une approximation de la région où l'opérateur effectue habituellement les mesures. Pour les besoins de cette norme, la région A est définie par quatre quantités, telles que décrites à la Figure 10: le niveau extrapolé de la courbe de rétrodiffusion pour la largeur d'impulsion spécifique utilisée  $F_0$ , la plus faible et la plus forte valeur d'affaiblissement définie par le Tableau 1 ci-dessous, et une marge de 3 dB des deux côtés.

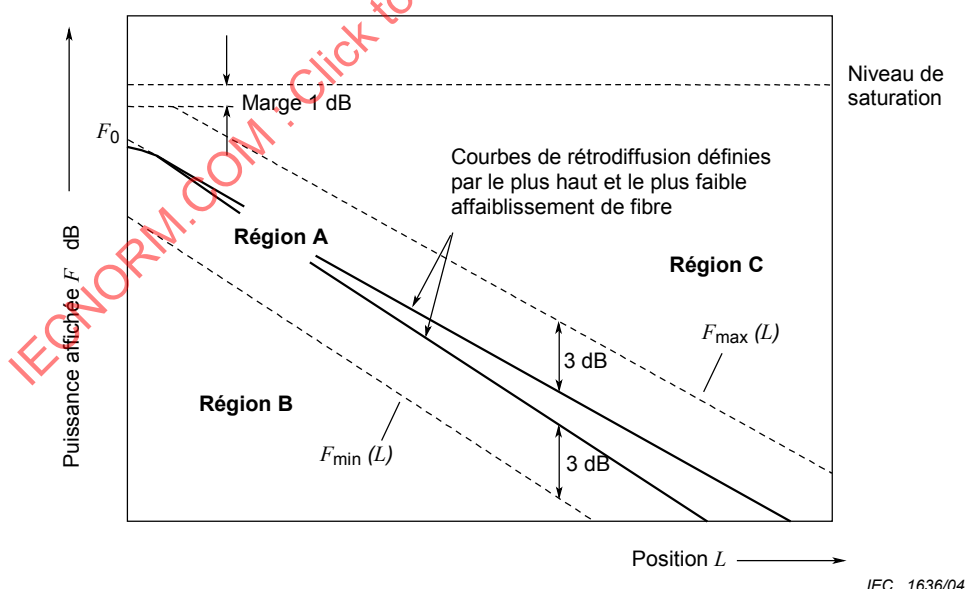
**Tableau 1 – Affaiblissement linéique définissant la région A**

| Longueur d'onde<br>nm | Affaiblissement linéique de la fibre         |                                              |
|-----------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|
|                       | Valeur minimale ( $\alpha_{\min}$ )<br>dB/km | Valeur maximale ( $\alpha_{\max}$ )<br>dB/km |
| 1 310                 | 0,33                                         | 0,43                                         |
| 1 550                 | 0,18                                         | 0,28                                         |

Sur les mêmes bases, des valeurs d'affaiblissement linéique pour d'autres longueurs d'onde peuvent être choisies pour représenter les fibres unimodales typiques. Une description analytique de la région A est donnée par

$$\begin{aligned} F_{\max}(L) &= F_0 - \alpha_{\min} L + 3 \text{ dB} \\ F_{\min}(L) &= F_0 - \alpha_{\max} L - 3 \text{ dB} \end{aligned} \quad (42)$$

Il convient que  $F_{\max}$  ne dépasse pas une limite supérieure de 1 dB en dessous du niveau de saturation, sauf spécification contraire du fournisseur de l'OTDR. Il convient que les points d'étalonnage d'affaiblissement  $F$  se situent à l'intérieur de la région A. Les points d'étalonnage des régions B et C peuvent être fournis d'une manière volontaire. La région B est applicable lorsque le chemin de la fibre inclut des composants à fort affaiblissement. La région C est applicable lorsque le chemin de la fibre inclut des composants à forte réflexion.



**Figure 10 – Région A, recommandée pour les échantillons de mesure d'affaiblissement**

Pour chacune des méthodes présentées ci-dessous, élaborer un plan d'essai de placement des échantillons, chacun issu d'une combinaison de la position et du niveau de puissance affiché. Le but est d'avoir un espacement vertical des échantillons de 0,5 dB à 1 dB et jamais supérieur à l'affaiblissement de référence  $A_{\text{ref}}$ . Il convient de choisir une gamme d'affaiblissement comprise entre  $F_0$  et le niveau de bruit et une distribution régulière des

échantillons à l'intérieur de la région A. La superposition des échantillons de mesure, c'est-à-dire des échantillons au même niveau de puissance affiché mais à des positions différentes, est souhaitable, comme indiqué à la Figure 11.

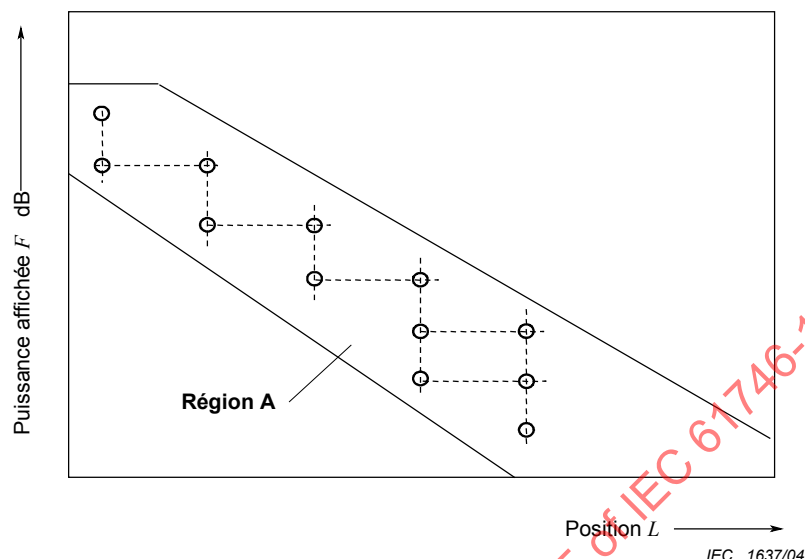
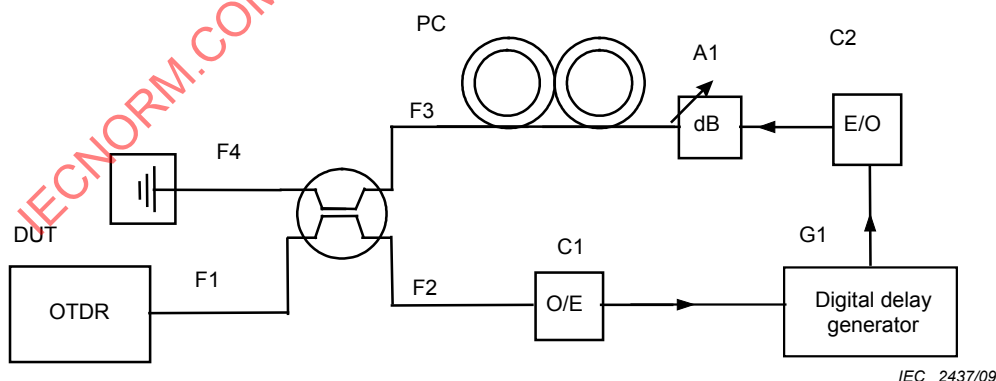


Figure 11 – Placement possible des points d'échantillons à l'intérieur de la région A

## 7.5 Dépendance envers la polarisation

L'évaluation de la perte dépendant de la polarisation (PDL) peut être effectuée en plaçant sur la sortie de l'OTDR un signal externe polarisé ayant un état de polarisation variable et un niveau de puissance constant (voir la CEI 61300-3-2). Une solution consiste à inclure un essai de PDL dans la méthode de la source externe décrite en 8.3, en remplaçant un atténuateur par un contrôleur de polarisation. La Figure 12 montre un exemple. Il convient que le contrôleur de polarisation soit capable de fournir tous les états de polarisation tout en conservant essentiellement invariables le niveau de puissance en sortie et le degré de polarisation.



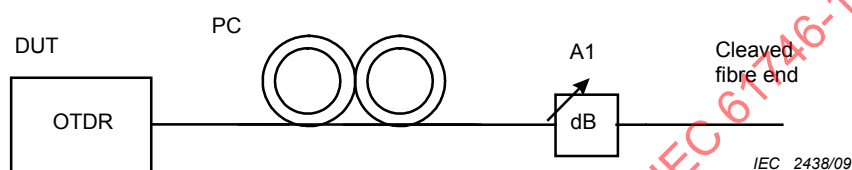
### Légende

| Anglais                 | Français                       |
|-------------------------|--------------------------------|
| Digital delay generator | Générateur de retard numérique |
| DUT                     | Dispositif en essai            |

|                  |                                  |
|------------------|----------------------------------|
| F1, F2, F3 et F4 | fibres                           |
| C1               | convertisseur optique/électrique |
| C2               | convertisseur électrique/optique |
| A1               | atténuateur variable             |
| PC               | contrôleur de polarisation       |
| G1               | générateur de retard numérique   |

**Figure 12 – Méthode de la source externe pour l'essai de dépendance des OTDR envers la polarisation**

Une autre solution consiste à utiliser, pour l'essai de PDL, le signal réfléchi provenant par exemple, de la fin d'une fibre clivée. Voir Figure 13.



**Légende**

| Anglais           | Français            |
|-------------------|---------------------|
| Cleaved fibre end | Fin de fibre clivée |
| DUT               | Dispositif en essai |

**Légende**

|    |                            |
|----|----------------------------|
| A1 | atténuateur variable       |
| PC | contrôleur de polarisation |

**Figure 13 – Méthode de la réflexion pour l'essai de dépendance envers la polarisation des OTDR**

Bien prendre en compte le fait que l'affaiblissement du contrôleur de polarisation peut être fonction de sa mise en œuvre (dépendance envers la rotation). Le coupleur utilisé par la méthode de la source externe peut aussi avoir un affaiblissement dû à la polarisation. Il est indispensable que ces dépendances soient plus petites que la dépendance envers la polarisation de l'OTDR. L'ensemble crée des incertitudes de mesure. Il est recommandé de tester le dispositif pour déterminer cette incertitude en procédant comme indiqué ci-dessous.

- a) Pour la méthode de la source externe, évaluer l'incertitude en configurant le convertisseur E/O en mode continu (CW) et en remplaçant l'OTDR par un radiomètre optique insensible à la polarisation.

Pour la méthode de la réflexion, évaluer l'incertitude en configurant si cela est possible l'OTDR en source continue; si cela n'est pas possible, remplacer l'OTDR par une source laser continue (polarisée). Connecter la fin de la fibre à un radiomètre optique insensible à la polarisation.

- b) Ajuster le contrôleur de polarisation de manière à créer un grand nombre d'états de polarisation couvrant la totalité de la sphère de Poincaré. Observer la variation crête à crête du niveau de puissance affiché produite par la modification des états de polarisation  $\Delta A_{\text{pdl, set-up}}$ ; cette grandeur inclut également la dépendance du radiomètre envers la

polarisation. Suivant les bases mathématiques, noter le résultat sous forme d'incertitude liée au dispositif de mesure de la dépendance envers la polarisation (PDL)  $u_{\text{pdl, set-up}}$ :

$$u_{\text{pdl, set-up}} = \frac{\Delta A_{\text{pdl, set-up}}}{2\sqrt{3}} \quad (43)$$

Pour tester la dépendance envers la polarisation de l'OTDR, placer l'impulsion optique au centre de l'écran du réflectomètre. Éviter les niveaux de puissance affichés proches du niveau de saturation de l'OTDR en ajustant correctement le niveau de l'atténuateur. Ajuster le contrôleur de polarisation de manière qu'un grand nombre d'états de polarisation soient créés. Observer la modification du niveau de puissance affiché créé par la modification des états de polarisation. Noter la variation de l'amplitude de l'impulsion  $\pm \Delta A_{\text{pdl, otldr}}$ .

Ajouter le résultat de la mesure de la PDL à la documentation. Si l'essai de PDL n'a pas été réalisé, cela doit être clairement précisé dans la documentation.

## 7.6 Calcul des résultats d'étalonnage

A partir des valeurs mesurées  $A_{\text{otdr}, i}$ , calculer l'écart d'affaiblissement  $\Delta A_i$ :

$$\Delta A_i = A_{\text{otdr}, i} - A_{\text{ref}} \quad \text{dB} \quad (44)$$

Les incertitudes d'affaiblissement  $u_{\Delta A}$  sont exposées en même temps que les méthodes d'étalonnage.

## 7.7 Utilisation des résultats d'étalonnage

L'erreur sur une valeur d'affaiblissement,  $\Delta Y_i$  mesurée par l'OTDR  $\Delta A_i$  et son incertitude peuvent être calculées à partir des résultats de l'étalonnage par l'équation suivante, dans laquelle le degré de confiance recommandé de 95 % est utilisé:

$$\Delta Y_i = \Delta A_i \pm 2u_{\Delta A, i} \quad \text{dB} \quad (45)$$

Il est à noter que cette erreur s'applique, de manière rigoureuse, seulement pour les affaiblissements mesurés au niveau de puissance affiché et à la position affichée pour lesquelles  $\Delta A_i$  a été enregistré.

# 8 Méthodes d'étalonnage de l'affaiblissement

## 8.1 Généralités

Dans toutes les méthodes d'étalonnage de l'affaiblissement, un affaiblissement de référence est produit hors de l'OTDR, et la réponse de l'OTDR à cet affaiblissement de référence est testée. Dans certains cas, l'affaiblissement de référence est la différence entre deux signaux d'état de polarisation identique (voir 8.3 et 8.5). Dans ces cas, le résultat de l'étalonnage de l'affaiblissement n'est pas influencé par la dépendance de l'OTDR envers la polarisation. Dans d'autres cas, l'affaiblissement de référence est la différence entre deux signaux d'états de polarisation différents (voir 8.2 et 8.4). Dans ces cas, il peut être judicieux d'ajouter un contrôleur de polarisation entre l'OTDR et le dispositif d'affaiblissement de référence, de façon à pouvoir éliminer l'influence de la dépendance de l'OTDR envers la polarisation. Généralement, il est souhaitable que les résultats d'étalonnage de l'affaiblissement ne soient pas influencés par la dépendance de l'OTDR envers la polarisation.

## 8.2 Méthode de la fibre étalon

### 8.2.1 Description sommaire et avantages

La méthode de la fibre étalon décrit l'étalonnage de l'échelle de puissance de l'OTDR en utilisant une fibre optique étalon d'affaiblissement précisément déterminé (voir Annexe B). Cet affaiblissement de référence est utilisé pour déterminer  $A_{\text{otdr},i}$ . Cette méthode d'étalonnage correspond précisément aux conditions de mesure d'affaiblissement de fibre avec un OTDR; elle est particulièrement bien adaptée pour l'étalonnage de la région A de la Figure 10.

### 8.2.2 Équipement

#### 8.2.2.1 Généralités

En plus de l'OTDR en essai, l'équipement de mesure se compose:

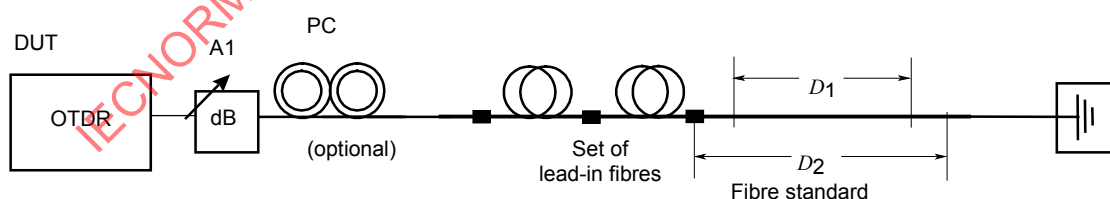
- d'une fibre étalon telle que décrite à l'Annexe B;
- d'un jeu de fibres amorces, qui doivent être des fibres unimodales de type B (voir la CEI 60793-2-50);
- d'un atténuateur variable;
- de manière optionnelle, d'un contrôleur de polarisation.

Le but de l'atténuateur et des fibres amorces est de placer la fibre étalon à différentes positions dans la région A (voir l'Article 7) de l'affichage de l'OTDR. Exemple: le niveau de puissance affiché peut être ajusté dans une plage de 30 dB par pas de 2 dB par une combinaison adéquate de quatre fibres amorces ayant des valeurs d'affaiblissement de 2 dB, 4 dB, 8 dB et 16 dB.

Il convient que ces fibres soient raccordées avec des connecteurs à faible réflectance; les valeurs d'affaiblissement incluent les pertes typiques des connecteurs. Dans le but d'obtenir l'espacement des échantillons recommandé (plus fin) de 0,5 dB, l'atténuateur devra être ajusté entre 0 dB et 1,5 dB par pas de 0,5 dB.

Il convient de noter que l'atténuateur n'est pas nécessaire si les pas de 0,5 dB recommandés sont obtenus à partir d'un nombre de fibres amorces plus élevé.

L'objet du contrôleur de polarisation optionnel est de réduire l'influence possible de la dépendance de l'OTDR envers la polarisation (voir Figure 14).



IEC 2439/09

#### Légende

| Anglais               | Français              |
|-----------------------|-----------------------|
| (optional)            | (facultatif)          |
| Set of lead-in fibres | Jeu de fibres amorces |
| Fibre standard        | Fibre étalon          |
| DUT                   | Dispositif en essai   |

### Légende

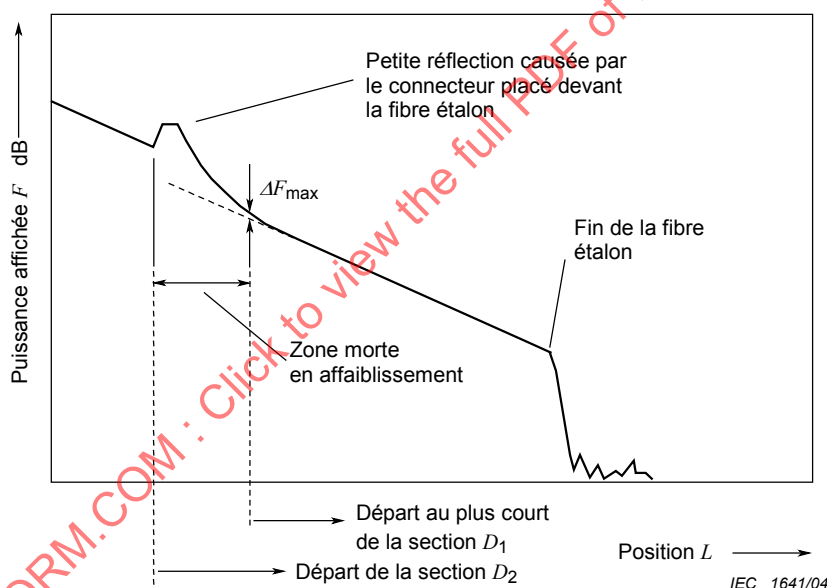
- A1 atténuateur variable  
PC contrôleur de polarisation (facultatif)

**Figure 14 – Étalonnage de l'affaiblissement avec une fibre étalon**

Autant l'atténuateur que le contrôleur de polarisation doit présenter de faibles réflexions, car les réflexions peuvent influencer les résultats des mesures d'affaiblissement.

### 8.2.2.2 Étalonnage de l'affaiblissement de référence

Mesurer la longueur totale  $D_2$  de la fibre étalon selon les spécifications du fabricant de l'OTDR pour la mesure de longueur. En utilisant les curseurs de l'OTDR, sélectionner une section de la fibre étalon, de longueur  $D_1$ , hors de la zone morte d'atténuation causée principalement par tout connecteur placé devant la fibre étalon (voir Figure 15). Choisir le début de la section de telle façon que la différence entre la courbe rétrodiffusée réelle et son extrapolation linéaire  $\Delta F_{\max}$  soit suffisamment petite à ce point (une fibre amorce peut être nécessaire à cet effet). Mesurer la longueur de la section  $D_1$ .



**Figure 15 – Placement du début de la section D1 hors de la zone morte en affaiblissement**

Une longueur  $D_1$  qui correspond à un affaiblissement de référence d'environ 0,5 dB est recommandée. Il convient d'éviter soigneusement les rétroreflexions provenant de la fin de la fibre étalon, car elles peuvent affecter la courbe de rétrodiffusion précédente. A cause de l'uniformité longitudinale de la fibre étalon et de l'indépendance directionnelle de sa perte de rétrodiffusion, l'affaiblissement de référence  $A_{\text{ref}}$  aux positions des curseurs est donné avec une grande précision par

$$A_{\text{ref}} = A_{\text{std}}(\lambda_{\text{centre}}) \frac{D_1}{D_2} \text{ dB} \quad (46)$$

où  $A_{\text{std}}(\lambda_{\text{avg}})$  est l'affaiblissement étalonné de la fibre étalon pour la longueur d'onde centroïdale de l'OTDR  $\lambda_{\text{avg}}$  (voir Annexe B).  $A_{\text{ref}}$  doit rester constant durant les mesures suivantes, ou alors la distance entre les positions des curseurs doit rester constante. Noter que l'effet de l'indice de groupe est éliminé dans le calcul.

### 8.2.3 Procédure de mesure

#### 8.2.3.1 Préparation

Élaborer tout d'abord un plan d'essai pour les réglages de l'atténuateur et de la fibre, tel que l'espacement d'échantillonnage vertical, de 0,5 dB approximativement, soit réalisé, et que tous les échantillons de mesure se trouvent dans la région A de l'affichage de l'OTDR; un exemple est décrit en 8.2.2. La superposition des échantillons de mesure, c'est-à-dire des échantillons de même niveau de puissance affiché, mais à des positions différentes, est souhaitable. La part du domaine en dynamique qui pourrait être inaccessible du fait de la perte d'insertion de l'atténuateur (y compris les deux connecteurs) peut être couverte en raccordant directement à l'OTDR la fibre amorce la plus courte et en faisant varier la perte d'insertion en courbant la fibre amorce.

#### 8.2.3.2 Réalisation des mesures

Pour chaque niveau de puissance affiché  $F_i$ , mesurer la valeur d'affaiblissement  $A_{\text{otdr},i}$ . Afin de réduire l'incertitude, il est recommandé de réaliser une moyenne autour des curseurs ou sur toute la longueur  $D_1$ , au lieu d'utiliser des niveaux de puissance uniques. Une durée de moyennage de l'OTDR plus longue peut être conseillée pour les faibles niveaux de puissance affichés afin de réduire l'incertitude de type A; il convient, dans ce cas, de consigner tous les temps de moyennage. Enregistrer tous les  $A_{\text{otdr},i}$ , tous les niveaux de puissance  $F_i$  affichés et toutes les positions  $L_i$ .

Les résultats de mesure sont supposés être influencés par la dépendance de l'OTDR envers la polarisation (PDL), car les signaux provenant du début et de la fin de la section  $D_1$  peuvent présenter des états de polarisation différents. Une manière de réduire l'influence de la PDL est d'insérer un contrôleur de polarisation, comme indiqué sur la Figure 14, et de mesurer  $n$  échantillons de  $A_{\text{otdr},i}$  pour différentes positions du contrôleur de polarisation. Finalement, tous les  $n$  échantillons peuvent être réduits à une valeur moyenne  $A_{\text{otdr},i}$ , pour laquelle l'influence de la PDL est réduite.

#### 8.2.4 Calculs et résultats

Calculer les échantillons d'écart d'affaiblissement  $\Delta A_i$  avec l'équation (47):

$$\Delta A_i = A_{\text{otdr},i} - A_{\text{ref}} \quad \text{dB} \quad (47)$$

De manière alternative, consigner l'écart d'échelle d'affaiblissement en utilisant l'équation (48):

$$\Delta S_{A,i} = \frac{A_{\text{otdr},i} - A_{\text{ref}}}{A_{\text{ref}}} \quad \text{dB/dB} \quad (48)$$

#### 8.2.5 Incertitudes

Il est à noter que la liste suivante d'incertitudes n'est pas exhaustive. D'autres causes peuvent avoir à être prises en compte en fonction du montage de mesure et de la procédure utilisés.

Il convient d'utiliser les directives sur les bases mathématiques de l'Annexe D pour calculer et déterminer les incertitudes.

L'écart type caractérisant l'incertitude d'affaiblissement  $u_{\Delta A}$  s'appliquant à chaque  $\Delta A$  peut être calculé à partir de l'équation (47), en utilisant la formule habituelle de propagation des erreurs.

$$u_{\Delta A} = \left( u_{A_{\text{ref}}}^2 + u_{A_{\text{otdr}}}^2 \right)^{1/2} \quad \text{dB} \quad (49)$$

L'incertitude sur l'affaiblissement de référence  $u_{Aref}$  de la fibre étalon, et l'incertitude  $u_{Aotdr}$  de la réponse de l'OTDR doivent être déterminées.

Il convient d'accumuler l'incertitude  $u_{Aref}$  par sommation quadratique, à partir des contributions suivantes:

- $u_{A, std}$  incertitude d'affaiblissement, en décibels, de la fibre étalon telle que décrite selon l'Annexe B;
- $u_{A, distance}$  incertitude d'affaiblissement, en décibels, due à la non-utilisation de la totalité de la longueur de la fibre étalon; il convient que cette incertitude soit elle-même accumulée par sommation quadratique de l'incertitude dans la détermination du rapport de longueur  $D_1/D_2$  (voir équation (46)) et de l'incertitude liée à l'uniformité longitudinale de l'affaiblissement (voir Annexe B).

Il convient d'accumuler l'incertitude  $u_{Aotdr}$  par sommation quadratique, à partir des contributions suivantes:

- $u_{A, \lambda}$  incertitude d'affaiblissement, en décibels, introduite par l'incertitude sur la longueur d'onde centroïdale de l'OTDR,  $u_{\lambda}$ .

NOTE Cette incertitude peut être négligeable aux longueurs d'onde proches de 1 550 nm à cause de la faible dépendance envers la longueur d'onde de l'affaiblissement de la fibre à ces longueurs d'onde; dans la région de longueur d'onde où l'affaiblissement dépend essentiellement de la diffusion de Rayleigh, par exemple à 1 300 nm, l'incertitude est:

$$u_{A, \lambda} = \frac{4 A_{ref}}{\lambda} u_{\lambda} \quad (50)$$

- $u_{A, deadzone}$  incertitude d'affaiblissement, en décibels, due à la zone morte d'affaiblissement en aval du ou des connecteurs;
- $u_{A, attenuator}$  incertitude d'affaiblissement de l'atténuateur optique, due à l'éventualité que le signal rétrodiffusé soit polarisé et que l'atténuateur puisse présenter un affaiblissement dépendant de la polarisation;
- $u_{A, pdl}$  incertitude d'affaiblissement due à la dépendance de l'OTDR envers la polarisation, liée au fait que le signal rétrodiffusé présente différents états de polarisation; cette incertitude peut être réduite (voir 8.2.3.2);
- $u_{A, type A}$  incertitude d'affaiblissement de type A, en décibels, devant être déterminée expérimentalement. Elle dépendra du niveau de puissance affiché et du temps de moyennage de l'OTDR.

D'autres causes peuvent avoir à être prises en compte en fonction du montage de mesure et de la procédure utilisés.

### 8.3 Méthode de la source externe (voir Figure 16)

#### 8.3.1 Description sommaire et avantages

La méthode de la source externe utilise un générateur de retard étalonné pour simuler le retard de transmission dans une fibre et une source optique destinée à générer une impulsion optique dont la variation d'amplitude soit connue. L'équipement est identique à celui utilisé pour l'étalonnage en distance dans le cadre de la méthode de la source externe (voir 6.2), excepté l'addition du contrôle de l'amplitude du signal optique. La combinaison d'un retard réglable et d'une amplitude d'impulsion réglable permet une caractérisation totale de l'échelle de puissance de l'OTDR, y compris sa dépendance de la distance.

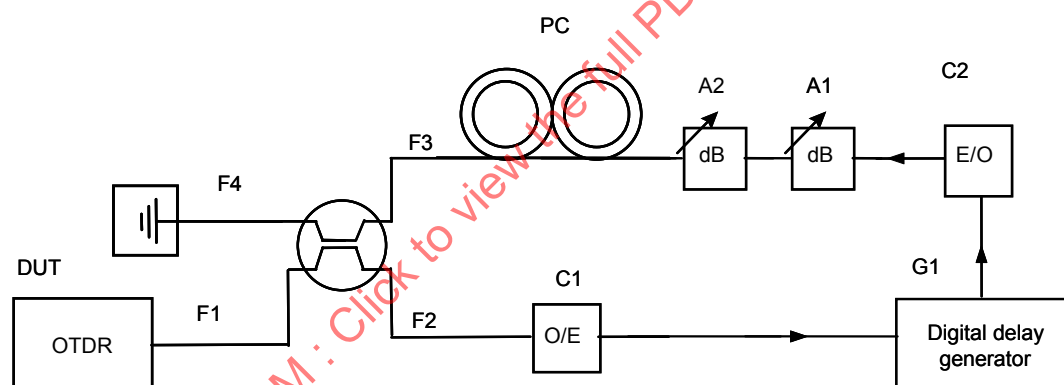
La méthode est parfaitement adaptée aux laboratoires complètement automatisés, effectuant des essais contrôlés par ordinateur. Elle permet d'étalonner toutes les régions A, B et C de la Figure 10. Pour simplifier, le texte ci-dessous ne décrit que le cas d'un signal délivré par une source à impulsions, dont les points sont situés dans la région A et ne comprenant pas de trace de rétrodiffusion. Afin d'étalonner l'OTDR pour d'autres conditions, il convient de

remplacer la source de lumière impulsionnelle décrite ci-après par une source optique simulant le signal approprié.

### 8.3.2 Équipement

En plus de l'OTDR en essai, l'équipement de mesure se compose:

- d'un coupleur optique pour interconnecter le dispositif;
- d'un convertisseur optique-électrique (O/E);
- d'un générateur de retard variable, de largeur d'impulsion variable et d'amplitude d'impulsion variable;
- d'un convertisseur électrique-optique (E/O), dont la longueur d'onde centroïdale est approximativement égale à la longueur d'onde centroïdale de l'OTDR et qui, de préférence, peut émettre une puissance optique continue (pour l'étalonnage de l'affaiblissement référence);
- d'un atténuateur optique variable (atténuateur 1);
- d'un atténuateur optique (atténuateur 2) possédant une bonne répétabilité pour introduire, puis soustraire un affaiblissement de valeur spécifique (la valeur recommandée est de 1 dB à 4 dB);
- de cordons de fibre optique pour connecter le dispositif;
- d'un radiomètre optique.



IEC 2440/09

#### Légende

| Anglais                 | Français                       |
|-------------------------|--------------------------------|
| Digital delay generator | Générateur de retard numérique |
| DUT                     | Dispositif en essai            |

#### Légende

|                  |                                  |
|------------------|----------------------------------|
| F1, F2, F3 et F4 | fibres                           |
| C2               | convertisseur électrique/optique |
| C1               | convertisseur optique/électrique |
| A1, A2           | atténuateurs variables           |
| PC               | contrôleur de polarisation       |
| G1               | générateur de retard numérique   |

**Figure 16 – Étalonnage de l'affaiblissement à l'aide de la méthode de la source externe**

La combinaison de l'atténuateur variable A1 et du générateur de retard variable permet de positionner le pic d'une impulsion optique (ou une courbe de rétrodiffusion simulée) n'importe

où dans l'espace à deux dimensions de l'affichage de l'OTDR. L'atténuateur A2 est utilisé pour introduire puis soustraire une marche d'affaiblissement fixée de telle sorte que l'amplitude de l'impulsion optique varie d'une quantité connue. On note que l'affaiblissement de référence  $A_{\text{ref}}$  est égal à la moitié de la marche d'affaiblissement, ce qui est dû au facteur de correction de l'échelle verticale de l'OTDR, dont la valeur est de 0,5.

Le but du contrôleur de polarisation facultatif est de réduire l'influence éventuelle de la dépendance envers la polarisation des deux affaiblisseurs et du mesureur de puissance utilisé pour déterminer l'affaiblissement de référence. Le cas échéant, il convient de l'utiliser pour étalonner l'affaiblissement de référence et pour effectuer les mesures réelles, en prenant la moyenne de plusieurs états de polarisation comme décrit en 8.2.3.2.

### 8.3.3 Étalonnage de l'affaiblissement de référence

Choisir une valeur convenable pour l'affaiblissement de référence  $A_{\text{ref}}$ . Une valeur de 0,5 dB à 2 dB est recommandée – ce qui équivaut à une marche d'affaiblissement de 1 dB à 4 dB.

Régler le convertisseur E/O en fonctionnement d'onde continu CW. Connecter le radiomètre optique à l'extrémité destinée à l'OTDR de la fibre F1. Régler la correction en longueur d'onde du radiomètre optique à la longueur d'onde du convertisseur E/O. Mesurer la marche d'atténuation de l'atténuateur 2 plusieurs fois afin de déterminer  $A_{\text{ref}}$  et son incertitude de type A,  $u_{A,\text{step}}$ . Noter que les interférences optiques, occasionnées par des réflexions dans le montage de mesure et par une source dont la largeur spectrale est étroite, peuvent engendrer des variations indésirables sur les résultats de mesure.

Calculer l'affaiblissement de référence comme étant la valeur moyenne de la marche d'affaiblissement divisée par 2.

### 8.3.4 Procédure de mesure

#### 8.3.4.1 Préparation

Choisir des combinaisons appropriées d'amplitudes d'impulsion et de réglages de retard de sorte que les échantillons de mesure soient espacés de 0,5 dB à 1 dB et répartis uniformément sur la totalité de la longueur de la région A (voir Figure 10). La superposition des échantillons de mesure, c'est-à-dire des échantillons de même niveau de puissance affiché mais à des positions différentes, est souhaitable. Noter que des échantillons de mesure pris en dehors de la région A peuvent être produits si on le veut.

Choisir la largeur d'impulsion, par exemple 1  $\mu\text{s}$ , de telle sorte que l'impulsion affichée présente un sommet essentiellement plat. Choisir la largeur d'impulsion de l'OTDR de sorte qu'elle soit plus courte que le chemin de retour, pour l'empêcher de se superposer à l'impulsion venant du convertisseur E/O. Programmer les atténuateurs 1 et 2 ainsi que le générateur de retard en conséquence. Une autre possibilité consiste à changer la largeur d'impulsion à chaque nouvelle position, de telle sorte que l'impulsion débute toujours à  $L = 0$ , en déterminant la marche d'affaiblissement à la fin de l'impulsion.

Définir la méthode d'utilisation de l'OTDR destinée à mesurer le changement de niveau de puissance engendré par le basculement de l'atténuateur 2. Par exemple, la méthode peut inclure la réalisation d'une moyenne de points au voisinage de l'abscisse de mesure. De même, définir la méthode de mesure du niveau de puissance affiché (voir l'Article 7; le niveau de puissance affiché est défini comme étant le niveau le plus élevé des deux en question).

Mettre en fonctionnement la totalité de l'équipement. En particulier, accorder un temps de mise en chauffe suffisant pour obtenir du convertisseur E/O une amplitude d'impulsion stable. Basculer l'atténuateur 2 plusieurs fois et vérifier la stabilité du niveau de puissance affiché ainsi que de la marche d'affaiblissement  $A_{\text{otdr}}$  à l'aide de l'OTDR.

### 8.3.4.2 Réalisation des mesures

Déterminer le niveau de référence de 0 dB comme décrit à l'Article 7.

Pour chaque combinaison présélectionnée de réglages de l'atténuateur 1 et de réglages du générateur de retard, procéder comme indiqué ci-après.

Déterminer la position de mesure sur l'impulsion  $L_i$  au centre de la largeur de l'impulsion, par exemple. Pour réduire l'incertitude, ne pas modifier  $L_i$  durant la série de mesures à cette position particulière.

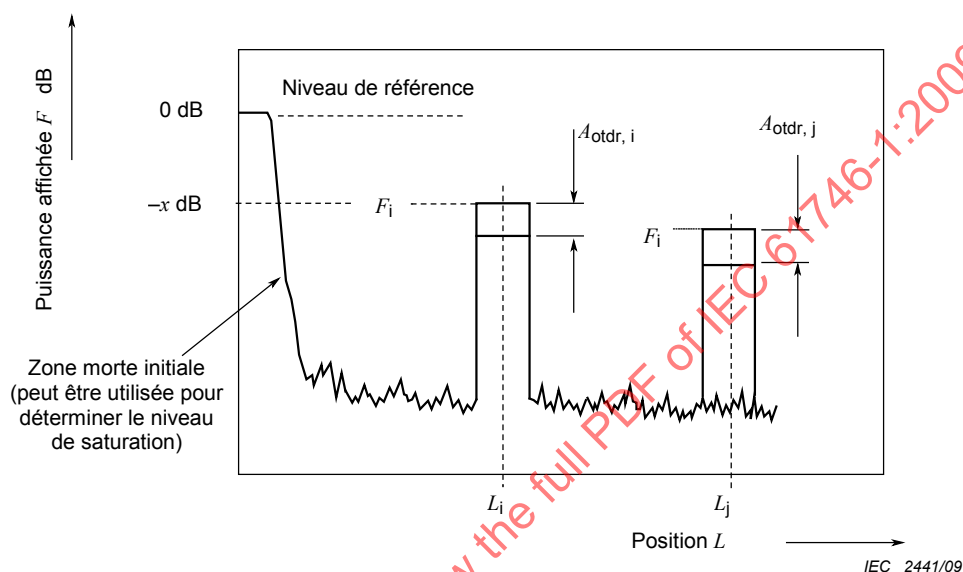


Figure 17 – Position et mesures concernant la méthode de la source externe

Basculer l'atténuateur 2 entre ses réglages prédéfinis, enregistrer le niveau de puissance affichée  $F_i$  (le niveau le plus élevé des deux en question) et le changement du niveau de puissance affichée  $A_{otdr, i}$ , comme indiqué sur la Figure 17.

Il peut être recommandé de répéter la mesure de  $A_{otdr, i}$  plusieurs fois et d'enregistrer la moyenne de ces échantillons. Il peut également être souhaitable de générer plus d'un échantillon par position, à différents niveaux de puissance affichés, en ajustant la puissance de l'impulsion à l'aide de l'atténuateur 1.

Poursuivre en réglant le générateur de retard pour atteindre la position suivante.

### 8.3.5 Calculs et résultats

Pour chaque échantillon mesuré, calculer l'écart d'affaiblissement à l'aide de l'équation (44):

$$\Delta A_i = A_{otdr, i} - A_{ref} \text{ dB} \quad (51)$$

Enregistrer le niveau de puissance affichée  $F_i$  et la position  $L_i$  pour chaque valeur d'écart d'affaiblissement. Il peut être recommandé de représenter les valeurs des écarts d'affaiblissement en fonction du niveau de puissance affichée  $F_i$ .

De manière alternative, consigner l'écart d'échelle d'affaiblissement en utilisant l'équation (52):

$$\Delta S_{A,i} = \frac{A_{\text{otdr},i} - A_{\text{ref}}}{A_{\text{ref}}} \text{ dB/dB} \quad (52)$$

### 8.3.6 Incertitudes

Il est à noter que la liste suivante d'incertitudes n'est pas exhaustive. D'autres causes peuvent avoir à être prises en compte en fonction du montage de mesure et de la procédure utilisés. Il convient d'utiliser les bases mathématiques de l'Annexe D pour calculer et déterminer les incertitudes.

L'écart type caractérisant l'incertitude d'affaiblissement peut être calculé à partir de l'équation (51) en utilisant la formule habituelle de propagation des erreurs:

$$u_{\Delta A} = \left( u_{A_{\text{ref}}}^2 + u_{A_{\text{otdr}}}^2 \right)^{1/2} \text{ dB} \quad (53)$$

Il convient que l'incertitude sur l'affaiblissement de référence  $u_{A_{\text{ref}}}$  soit accumulée, par sommation quadratique, à partir des contributions suivantes:

- $u_{A,\text{pm}}$  incertitude, en décibels, due à l'étalonnage de l'affaiblissement de référence avec le radiomètre, due par exemple à la non-linéarité du radiomètre, à sa dépendance de la polarisation, aux inhomogénéités et au bruit. Il convient que cette incertitude elle-même soit accumulée par sommation quadratique;
- $u_{A,\text{refl}}$  incertitude due aux différences des caractéristiques de réflexion du montage. Le facteur de réflexion du radiomètre ne sera pas le même que celui de la combinaison coupleur/OTDR, ce qui peut avoir une influence sur la grandeur de l'affaiblissement de référence;
- $u_{A,\text{step}}$  incertitude d'affaiblissement, en décibels, générée par l'instabilité de la marche d'affaiblissement, causée par exemple par l'instabilité de la source externe, l'interférence optique ou la dépendance du coupleur envers la polarisation en conjugaison avec l'instabilité de l'état de polarisation.

Il convient que l'incertitude liée aux mesures réflectométriques des échantillons  $u_{A,\text{otdr}}$  soit accumulée, par sommation quadratique, à partir des contributions suivantes:

- $u_{A,\lambda}$  incertitude, en décibels, causée par la différence entre les longueurs d'onde centroïdales de l'OTDR et de la source optique utilisée pour l'étalonnage;
- $u_{A,\text{pdl}}$  incertitude, en décibels, provoquée par un changement d'état de polarisation suite à la marche d'affaiblissement;
- $u_{A,\text{type A}}$  incertitude, en décibels, provoquée par la variabilité des mesures de la marche d'affaiblissement, causée par exemple par une résolution de lecture limitée et par les niveaux de puissance affichés lorsqu'ils s'approchent de la limite du bruit. Cette incertitude peut être déterminée avec  $u_{A,\text{step}}$  ci-dessus.

NOTE Les incertitudes qui résultent de la dépendance envers la polarisation peuvent être réduites ou éliminées par le contrôleur de polarisation facultatif.

## 8.4 Méthode du simulateur d'épissure

### 8.4.1 Description sommaire et avantages

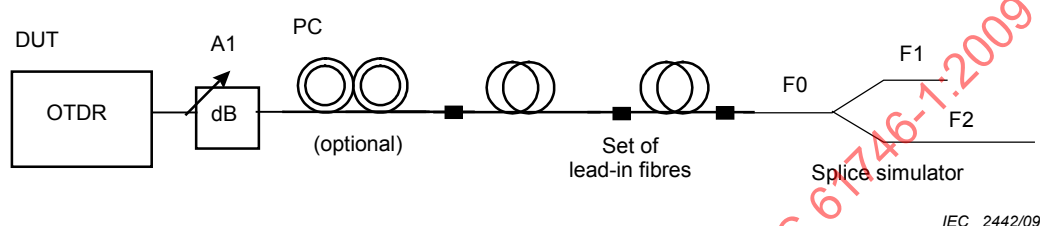
La méthode du simulateur d'épissure utilise ce dispositif pour étalonner l'échelle de puissance de l'OTDR. Le simulateur d'épissure a un affaiblissement de référence fixe d'environ 1,5 dB. Cette méthode s'approche des conditions de mesure des épissures avec un OTDR. Aucun équipement électronique n'est nécessaire pour réaliser cet étalonnage. Cette méthode est bien adaptée à l'étalonnage dans les régions A et B de la Figure 10.

### 8.4.2 Équipement

En plus de l'OTDR en essai, l'équipement de mesure se compose:

- d'un simulateur d'épissure tel que décrit à l'Annexe C;
- d'un jeu de fibre amorces. Les fibres amorces doivent être de type B de la série CEI 60793-2-50;
- d'un atténuateur variable, si nécessaire;
- de manière optionnelle, d'un contrôleur de polarisation.

Le montage d'essai est décrit à la Figure 18.



#### Légende

| Anglais               | Français              |
|-----------------------|-----------------------|
| (optional)            | (facultatif)          |
| Set of lead-in fibres | Jeu de fibres amorces |
| Splice simulator      | Simulateur d'épissure |
| DUT                   | Dispositif en essai   |

#### Légende

|              |                                         |
|--------------|-----------------------------------------|
| F0, F1 et F2 | fibres                                  |
| A1           | atténuateur variable                    |
| PC           | contrôleur de polarisation (facultatif) |

**Figure 18 – Montage pour l'étalonnage d'affaiblissement avec un simulateur d'épissure**

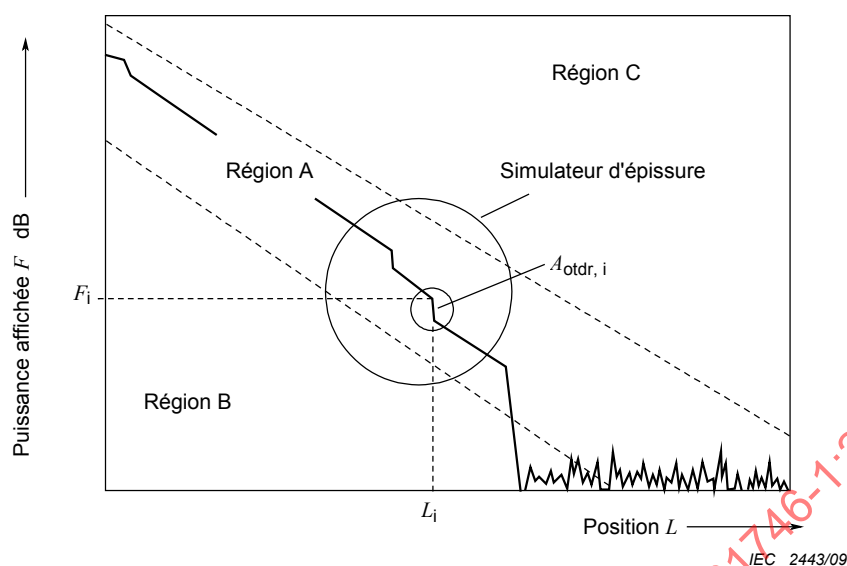
Conformément à l'Annexe C, l'affaiblissement de référence étalonné (approximativement 1,5 dB) apparaît à la fin de la fibre F1. Le but des fibres amorces est de générer des points de mesure à l'intérieur de la région A (voir Article 7 et Figure 19).

L'affaiblissement réalisé par le simulateur d'épissure est la différence entre:

- la somme des deux signaux de rétrodiffusion provenant des fibres F1 et F2, et
- le signal de rétrodiffusion de la fibre F2.

Les deux signaux a) et b) ont généralement des états de polarisation différents. Il peut donc être conseillé d'utiliser un contrôleur de polarisation pour produire différents états de polarisation des signaux a) et b) qui permettront d'éliminer l'effet de la dépendance de l'OTDR envers la polarisation.

Il est important que l'atténuateur et le contrôleur de polarisation aient de faibles réflexions, car les réflexions peuvent influencer les résultats de l'étalonnage.



NOTE Le petit cercle représente la réponse de l'OTDR à l'affaiblissement de référence.

**Figure 19 – Écran de l'OTDR avec simulateur d'épissure**

### 8.4.3 Procédure

#### 8.4.3.1 Préparation

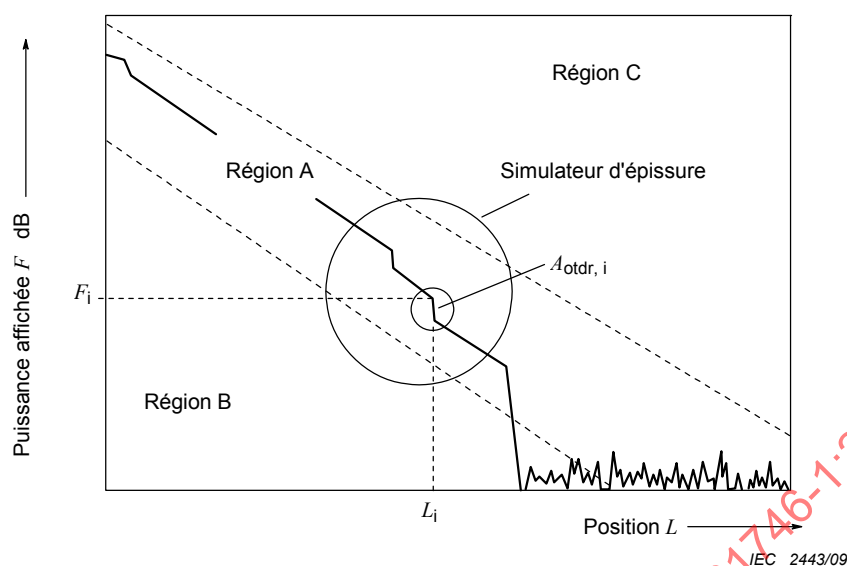
Sélectionner des combinaisons adéquates de réglage des fibres amorces et de l'atténuateur de manière à obtenir un espacement vertical de 0,5 dB à 1 dB et de telle sorte que l'ensemble des échantillons de mesure soient à l'intérieur de la région A de l'affichage de l'OTDR. La superposition des échantillons de mesure, c'est-à-dire des échantillons pris au même niveau de puissance affichée mais à des positions différentes, est souhaitable. Il est à noter que l'atténuateur variable peut être utilisé pour accroître le nombre de niveaux de puissance affichés  $F$ .

Connecter le simulateur d'épissure à l'OTDR, comme indiqué à la Figure 18.

#### 8.4.3.2 Réalisation des mesures de l'affaiblissement d'épissure

Comme cela est décrit à la Figure 20, l'affaiblissement d'épissure  $A_{otdr}$  est défini comme étant la distance verticale entre les deux lignes représentant l'affaiblissement linéique.

Suivre les instructions suivantes pour la mesure de l'affaiblissement d'épissure avec deux curseurs (méthode des deux points) ou en utilisant l'approximation des moindres carrés (méthode LSA). Il est à noter que d'autres méthodes telles que la méthode des cinq curseurs ou la mesure automatique peuvent aussi être utilisées. Cependant, la méthode utilisée doit être clairement décrite.



NOTE Le petit cercle représente la réponse de l'OTDR à l'affaiblissement de référence.

**Figure 19 – Écran de l'OTDR avec simulateur d'épissure**

### 8.4.3 Procédure

#### 8.4.3.1 Préparation

Sélectionner des combinaisons adéquates de réglage des fibres amorce et de l'atténuateur de manière à obtenir un espacement vertical de 0,5 dB à 1 dB et de telle sorte que l'ensemble des échantillons de mesure soient à l'intérieur de la région A de l'affichage de l'OTDR. La superposition des échantillons de mesure, c'est-à-dire des échantillons pris au même niveau de puissance affiché mais à des positions différentes, est souhaitable. Il est à noter que l'atténuateur variable peut être utilisé pour accroître le nombre de niveaux de puissance affichés  $F$ .

Connecter le simulateur d'épissure à l'OTDR, comme indiqué à la Figure 18.

#### 8.4.3.2 Réalisation des mesures de l'affaiblissement d'épissure

Comme cela est décrit à la Figure 20, l'affaiblissement d'épissure  $A_{otdr}$  est défini comme étant la distance verticale entre les deux lignes représentant l'affaiblissement linéique.

Suivre les instructions suivantes pour la mesure de l'affaiblissement d'épissure avec deux curseurs (méthode des deux points) ou en utilisant l'approximation des moindres carrés (méthode LSA). Il est à noter que d'autres méthodes telles que la méthode des cinq curseurs ou la mesure automatique peuvent aussi être utilisées. Cependant, la méthode utilisée doit être clairement décrite.

- d) définir le point  $X_{2a}$  près de l'épissure, mais à droite, après tous les effets causés par la chute du signal, sur une partie de la courbe droite et sans bruit de rétrodiffusion;
- e) définir le point  $X_{2b}$  à la droite et au moins à 500 m de  $X_{2a}$ . Il convient qu'une courbe de rétrodiffusion droite et sans bruit rejoigne les deux points. Enregistrer la distance entre les deux points,  $D_{s2}$ ;
- f) selon la méthode utilisée – méthode des deux points ou méthode des moindres carrés (LSA):
  - 1) si la méthode des deux points est utilisée, enregistrer les deux niveaux de puissance  $F_{2a}$  et  $F_{2b}$ , et calculer l'affaiblissement linéique affiché de la fibre comme étant:

$$\alpha_2 = \frac{F_{2a} - F_{2b}}{D_{s2}} \quad (55)$$

Noter que l'affaiblissement linéique fourni par l'OTDR peut être utilisé;

- 2) si la méthode LSA est utilisée, calculer la meilleure ligne de régression et déterminer la pente  $\alpha_2$ , ainsi que l'intersection avec l'axe vertical  $F_{20}$ . La régression doit être réalisée sur tous les points compris entre  $X_{2a}$  et  $X_{2b}$ . Enregistrer  $\alpha_2$  et  $F_{20}$ ;
- g) déterminer la position de l'épissure  $L_{s,i}$  comme le point de rotation de la courbe de rétrodiffusion;
- h) calculer la distance  $D_1$  entre le point  $X_{1b}$  et la position de l'épissure. Calculer la distance  $D_2$  entre la position de l'épissure et le point  $X_{2a}$ .

#### 8.4.4 Calculs et résultats

- a) Selon la méthode utilisée – méthode des deux points ou méthode des moindres carrés:
  - 1) si la méthode des deux points est utilisée, calculer l'affaiblissement de l'épissure  $A_{otdr,i}$  et le niveau de puissance correspondant  $F_i$  (l'indice  $i$  indique que cela correspond au  $i^{\text{ème}}$  affaiblissement d'épissure) comme étant:

$$A_{otdr,i} = (F_{1b} - \alpha_1 D_1) - (F_{2a} + \alpha_2 D_2) \quad (56)$$

$$F_i = F_{1b} - \alpha_1 D_1$$

- 2) si la méthode LSA est utilisée, calculer l'affaiblissement de l'épissure  $A_{otdr,i}$  et le niveau de puissance correspondant  $F_i$  comme étant:

$$A_{otdr,i} = F_{10} - F_{20} - L_{s,i}(\alpha_1 - \alpha_2) \quad (57)$$

$$F_i = F_{1b} - \alpha_1 D_1$$

- b) à partir des valeurs d'affaiblissement  $A_{otdr}$ , calculer l'écart d'affaiblissement  $\Delta A$ :

$$\Delta A_i = A_{otdr,i} - A_{ref} \text{ dB} \quad (58)$$

Enregistrer les écarts d'affaiblissement, les niveaux de puissance affichés et les positions de l'épissure. Préciser la méthode utilisée pour l'analyse de l'affaiblissement de l'épissure (par exemple méthode des deux points ou méthode des moindres carrés).

De manière alternative, consigner l'écart d'échelle d'affaiblissement en utilisant l'équation (59):

$$\Delta S_{A,i} = \frac{A_{otdr,i} - A_{ref}}{A_{ref}} \text{ dB/dB} \quad (59)$$

### 8.4.5 Incertitudes

Il est à noter que la liste suivante d'incertitudes n'est pas exhaustive. D'autres causes peuvent avoir à être prises en compte en fonction du montage de mesure et de la procédure utilisés. Il convient d'utiliser les bases mathématiques de l'Annexe D pour calculer et déterminer les incertitudes.

L'écart type caractérisant l'incertitude d'affaiblissement  $u_{\Delta A}$  pour une valeur individuelle de  $\Delta A$  peut être calculé à partir de l'équation (58), en utilisant la formule habituelle de propagation des incertitudes:

$$u_{\Delta A} = \left( u_{A_{ref}}^2 + u_{A_{otdr}}^2 \right)^{1/2} \text{ dB} \quad (60)$$

L'incertitude  $u_{A_{ref}}$  peut être extraite du certificat d'étalonnage du simulateur d'épissure (voir Annexe C). Il convient d'accumuler l'incertitude  $u_{A_{otdr}}$ , par sommation quadratique, à partir des contributions suivantes:

- $u_{A,\lambda}$  incertitude d'affaiblissement de l'épissure, en décibels, causée par la différence entre la longueur d'onde centroïdale utilisée pour l'étalonnage du simulateur d'épissure et la longueur d'onde centroïdale de l'OTDR;
  - $u_{A,pdl}$  incertitude d'affaiblissement de l'épissure provoquée par la dépendance envers la polarisation de l'OTDR due au fait qu'il est possible que les fibres amorces et/ou la marche d'affaiblissement provoquent une modification de l'état de polarisation du signal (lorsqu'un contrôleur de polarisation optionnel est utilisé, cette incertitude est alors réduite);
  - $u_{A,pos}$  incertitude d'affaiblissement de l'épissure, en décibels, causée par l'incertitude de la position de l'épissure  $\sigma_L$ . Si cela n'est pas disponible par ailleurs, utiliser la moitié de la largeur d'impulsion de l'OTDR, exprimée en mètres; la relation entre ces incertitudes est donnée par l'équation:
- $$u_{A,pos} = |\alpha_1 - \alpha_2| \sigma_L \quad (61)$$
- $u_{A,slope}$  incertitude d'affaiblissement de l'épissure causée par l'incertitude sur la mesure de la pente  $\sigma_s$ . La relation entre ces incertitudes est donnée par:

$$u_{A,slope} = \sqrt{(D_1 u_{\alpha_1})^2 + (D_2 u_{\alpha_2})^2} \quad (62)$$

## 8.5 Méthode de la réduction de puissance

### 8.5.1 Description sommaire et avantages

La méthode de la réduction de puissance utilise une variation connue d'un signal optique pour étalonner l'échelle de puissance de l'OTDR. Le changement correspondant du niveau de puissance affiché est une mesure de l'écart d'affaiblissement. Trois variantes de cette méthode sont en conformité avec cette norme:

- a) la variante "fin de fibre", pour laquelle les marches de puissance sont enregistrées comme changements d'amplitude des réflexions;
- b) la variante "réflexions multiples", pour laquelle les marches de puissance sont enregistrées comme changements des amplitudes de toutes les réflexions produites;
- c) la variante "longue fibre", pour laquelle les marches de puissance sont enregistrées comme changement du signal de rétrodiffusion le long de la fibre.

L'équipement comprend un atténuateur qui bascule entre deux réglages d'atténuation afin de produire un changement du niveau de puissance affiché. L'équipement est léger et bon marché.

L'avantage de la variante "réflexion de fin de fibre" est qu'elle peut mesurer toutes les régions A, B et C. Une fibre bien clivée ou un connecteur poli, un deuxième atténuateur et quelques fibres amorces sont nécessaires, en plus de l'équipement de la variante de "longue fibre", afin de placer les échantillons de mesure dans l'espace bidimensionnel de la puissance et de la distance.

La variante "réflexions multiples" peut également mesurer toutes les régions A, B et C. L'avantage sur la réflexion de fin de fibre "simple" est qu'elle ne nécessite ni fibre amorce ni remise en connexion durant l'étalonnage. Les réflexions multiples peuvent être générées par une cavité optique possédant des miroirs partiellement transparents. Cette variante est bien adaptée à une automatisation complète.

L'avantage de la variante "longue fibre" est que cette méthode est proche d'une mesure d'affaiblissement de la fibre par réflectométrie et que les échantillons de mesure sont automatiquement placés dans la région A. Le placement des échantillons de mesure dans la région C et dans la partie la plus haute de la région A n'est pas possible. Aucune remise en connexion n'est nécessaire durant l'étalonnage. Cette variante est également bien adaptée à une automatisation complète.

Il est attendu qu'introduire puis soustraire la marche d'affaiblissement n'entraîne pas de changement de l'état de polarisation de l'onde retournant vers l'OTDR, permettant de ce fait de s'affranchir de l'incertitude liée à la dépendance de l'OTDR envers la polarisation lors de son étalonnage en affaiblissement. Il est nécessaire que l'atténuateur de basculement présente des caractéristiques de polarisation appropriées pour répondre à ce cas. Il convient de prendre des précautions afin de ne pas modifier la position des fibres dans le montage de mesure lorsque l'on bascule l'atténuateur, car sinon les résultats de mesure seront affectés par la dépendance de l'OTDR envers la polarisation.

Un contrôleur de polarisation optionnel, tel que celui des méthodes de la "fibre étalon" et du "simulateur d'épissure" n'est pas nécessaire dans ce cas, car chaque résultat de mesure d'affaiblissement est la différence de deux échantillons reproduisant essentiellement le même état de polarisation.

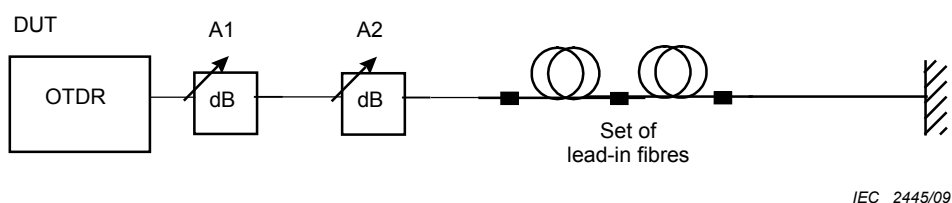
NOTE Le montage doit être mécaniquement et thermiquement stable sur la période des deux mesures pour éviter des changements de l'état de polarisation provoqués par des changements dans les fibres.

## 8.5.2 Équipement

### 8.5.2.1 Variante "fin de fibre"

L'équipement de mesure inclut, comme indiqué à la Figure 21:

- a) un jeu de fibres, type B de la CEI 60793-2-50, dont l'extrémité est équipée d'une fibre bien clivée ou d'un connecteur poli; la plus petite fibre du jeu doit être assez longue afin que l'impulsion réfléchie arrive après la récupération de l'impulsion initiale;
- b) un atténuateur optique variable (atténuateur 1) d'une résolution  $\leq 0,1$  dB, pour régler le niveau de puissance affiché;
- c) un atténuateur optique (atténuateur 2) avec une bonne répétabilité pour introduire puis soustraire une valeur spécifique d'affaiblissement (les valeurs recommandées sont de 0,5 dB à 2 dB); il convient que cet atténuateur ait une grande répétabilité en affaiblissement (de préférence  $< 0,05$  dB) lors du basculement entre les deux positions d'affaiblissement; il est important également qu'il n'y ait pas de changement d'états de polarisation dus au basculement et que les réflectances soient suffisamment faibles pour éviter des changements d'amplitude de la réflexion principale;
- d) des cordons optiques pour connecter le système;
- e) un radiomètre optique.

**Légende**

| Anglais               | Français              |
|-----------------------|-----------------------|
| Set of lead-in fibres | Jeu de fibres amorces |
| DUT                   | Dispositif en essai   |

**Légende**

A1 et A2     atténuateurs

**Figure 21 – Étalonnage de l'affaiblissement avec la variante "fin de fibre" de la méthode de réduction de puissance**

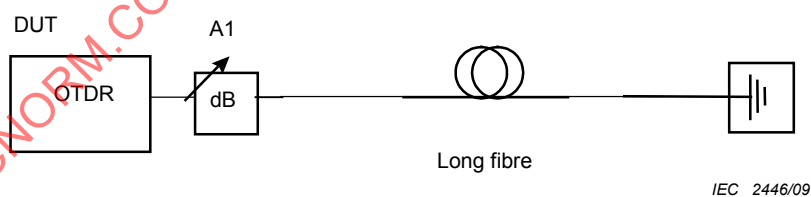
**8.5.2.2 Variante "réflexions multiples"**

Le jeu de fibres et l'extrémité clivée de la fibre sont remplacés par une cavité optique, construite par exemple à l'aide de deux miroirs partiellement transparents entre lesquels se trouve une longueur de fibre. Le but est de produire une série de réflexions séparées par une certaine distance.

**8.5.2.3 Variante "longue fibre"**

L'atténuateur A2 n'est pas nécessaire. En remplacement, il est nécessaire d'avoir une longue fibre et un dispositif qui peut réduire la réflexion de fin de fibre à une valeur insignifiante (absorbeur, par exemple des nœuds sur la fibre), comme indiqué à la Figure 22.

Il convient que la longue fibre ait un affaiblissement total correspondant au domaine de mesures de l'OTDR.

**Légende**

| Anglais    | Français            |
|------------|---------------------|
| Long fibre | Longue fibre        |
| DUT        | Dispositif en essai |

**Légende**

A1 et A2     atténuateurs

**Figure 22 – Étalonnage de l'affaiblissement avec la variante "longue fibre" de la méthode de réduction de puissance**

#### 8.5.2.4 Étalonnage de l'affaiblissement de référence

La marche d'affaiblissement de l'atténuateur de "basculement" représente l'affaiblissement de référence  $A_{ref}$ . Choisir une valeur convenable pour  $A_{ref}$ . Une valeur de 0,5 dB à 2 dB est recommandée. Commuter l'OTDR sur un mode d'émission continu, si possible. Sinon, utiliser une source laser continue, dont la longueur d'onde centroïdale soit la plus proche possible de celle de l'OTDR. Un deuxième atténuateur peut être pris comme faisant partie de la source. Connecter la source à l'entrée de l'atténuateur de "basculement". Connecter la sortie de l'atténuateur de "basculement" au radiomètre optique. Régler la correction de la longueur d'onde du radiomètre optique.

Mesurer la marche d'affaiblissement plusieurs fois. Calculer l'affaiblissement de référence comme étant la moyenne de la marche d'affaiblissement.

#### 8.5.3 Procédure de mesure

##### 8.5.3.1 Préparation

Pour les variantes "fin de fibre" et "réflexions multiples", déterminer le niveau 0 dB de référence, par exemple le niveau de saturation de l'OTDR, comme décrit à l'Article 7. Le niveau de saturation peut être déterminé en réglant les deux atténuateurs à leur niveau d'affaiblissement minimal. Choisir un jeu de fibres tel que l'impulsion optique soit affichée au centre de l'écran. Choisir la durée d'impulsion, par exemple 10  $\mu$ s, de sorte que l'impulsion affichée présente un sommet plat. Ajuster l'atténuateur A1 de façon que le pic de l'impulsion optique générée soit juste sous le niveau de saturation (moins de 1 dB). En suivant les directives de l'Article 7, élaborer un plan d'essai de placement des échantillons basé sur les réglages de l'atténuateur A1 et l'arrangement des fibres du jeu.

Pour la variante "longue fibre", déterminer le niveau 0 dB de référence, par exemple le début du signal de rétrodiffusion (sans l'atténuateur), tel que décrit dans l'Article 7. Choisir la durée d'impulsion, par exemple 10  $\mu$ s. Régler l'atténuateur à la plus faible valeur d'affaiblissement possible, de telle manière que la puissance affichée ne soit pas réduite de façon significative par rapport au cas où l'atténuateur ne serait pas inséré. En suivant les directives de l'Article 7, élaborer un plan d'essai de placement des échantillons basé sur la marche d'affaiblissement sélectionnée et la longueur de la fibre connectée.

##### 8.5.3.2 Mesures

Trouver une méthode pour mesurer le changement de hauteur du signal de réflexion ou de rétrodiffusion. Une technique consiste à placer un curseur sur un niveau de puissance stable tel que l'impulsion de départ de l'OTDR et un deuxième curseur au plus haut point du signal de réflexion ou de rétrodiffusion. Afin de réduire l'incertitude sur la distance, ne changer l'abscisse d'aucun curseur durant la série de mesures à une position déterminée.

Les mesures sont similaires à celles décrites en 8.3:

- a) se mettre à l'emplacement du premier échantillon conformément au plan d'essai;
- b) basculer l'atténuateur entre ses réglages prédéterminés;
- c) enregistrer le niveau de puissance affiché  $F_i$ , le changement de niveau de puissance affiché  $A_{otdr,i}$  et la position correspondante  $L_i$ . Il peut être recommandé de répéter la mesure de  $A_{otdr,i}$  plusieurs fois et d'enregistrer la moyenne de ces échantillons;
- d) choisir l'emplacement de l'échantillon suivant conformément au plan d'essai et reprendre au point b). Continuer jusqu'à ce que le plan d'essai soit terminé.

#### 8.5.4 Calculs et résultats

Pour chaque échantillon de mesure, calculer l'écart d'affaiblissement à l'aide de l'équation:

$$\Delta A_i = A_{\text{otdr}, i} - A_{\text{ref}} \quad \text{dB} \quad (63)$$

Enregistrer le niveau de puissance affiché  $F_i$  et la position  $L_i$  pour chaque valeur d'écart d'affaiblissement. Il peut être recommandé de représenter les valeurs des écarts d'affaiblissement en fonction du niveau de puissance affiché  $F_i$ .

De manière alternative, consigner l'écart d'échelle d'affaiblissement en utilisant l'équation (64):

$$\Delta S_{A,i} = \frac{A_{\text{otdr},i} - A_{\text{ref}}}{A_{\text{ref}}} \quad \text{dB/dB} \quad (64)$$

### 8.5.5 Incertitudes

Il est à noter que la liste suivante d'incertitudes n'est pas exhaustive. D'autres causes peuvent avoir à être prises en compte en fonction du montage de mesure et de la procédure utilisés. Il convient d'utiliser les bases mathématiques de l'Annexe D pour calculer et déterminer les incertitudes.

L'écart type caractérisant l'incertitude d'affaiblissement peut être calculé à partir de l'équation (63) en utilisant la formule habituelle de propagation des erreurs:

$$u_{\Delta A} = \left( u_{A_{\text{ref}}}^2 + u_{A_{\text{otdr}}}^2 \right)^{1/2} \quad \text{dB} \quad (65)$$

Il convient que l'incertitude sur l'affaiblissement de référence  $u_{A_{\text{ref}}}$  soit accumulée, par sommation quadratique, à partir des contributions suivantes:

|                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $u_{A,\text{pm}}$       | incertitude, en décibels, due à l'étalonnage de l'affaiblissement de référence à l'aide du radiomètre, par exemple due à la non-linéarité du radiomètre, au fait qu'il dépend de la polarisation, à l'inhomogénéité spatiale et au bruit. Il convient que cette incertitude elle-même soit accumulée par sommation quadratique; |
| $u_{A,\text{refl}}$     | incertitude, en décibels, due aux différences des caractéristiques de réflexion du montage. Par exemple, la marche de puissance mesurée à l'aide du radiomètre peut différer de la marche de puissance lorsque l'appareil soumis à l'essai est connecté, du fait des réflexions produites par le radiomètre;                    |
| $u_{A,\lambda}$         | incertitude, en décibels, causée par la différence entre les longueurs d'onde centrales de l'OTDR et de la source optique utilisée pour l'étalonnage de l'affaiblissement de référence;                                                                                                                                         |
| $u_{A,\text{deadzone}}$ | incertitude, en décibels, causée par la possibilité que la marche d'affaiblissement soit influencée par la récupération du signal après les réflexions issues de l'atténuateur (zone morte d'affaiblissement);                                                                                                                  |
| $u_{A,\text{step}}$     | incertitude de type A, en décibels, provoquée par l'instabilité de la marche d'affaiblissement.                                                                                                                                                                                                                                 |

L'incertitude  $u_{A_{\text{otdr}}}$  comprend les composantes suivantes:

|                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $u_{A,\text{pdl}}$    | incertitude, en décibels, provoquée par un changement d'état de polarisation suite à la création de la marche d'affaiblissement;                                                                                                                                                                                                                                |
| $u_{A,\text{type A}}$ | incertitude de type A, en décibels, provoquée par la variabilité des mesures de la marche d'affaiblissement, causée par exemple par une résolution de lecture limitée, des sommets d'impulsion inclinés dans le cas des variantes "fin de fibre" et "réflexions multiples", et les niveaux de puissance affichés lorsqu'ils s'approchent de la limite du bruit. |

## 9 Étalonnage de la réflectance

### 9.1 Objectif

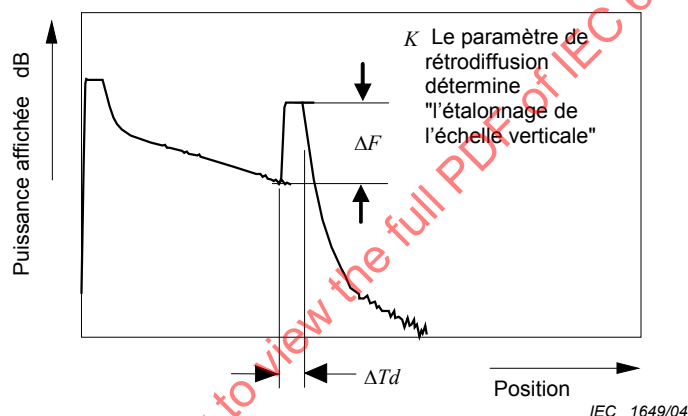
L'objectif de l'étalonnage de la réflectance est de déterminer l'écart de réflectance,  $\Delta S_R$ , entre la valeur mesurée et la valeur vraie de la réflectance, et d'évaluer son incertitude.

### 9.2 Mesure de réflectance (voir Figure 23)

Un OTDR mesure la réflectance  $R_{\text{otdr}}$  d'un composant en utilisant l'amplitude de la réflexion au-dessus de la courbe de rétrodiffusion,  $\Delta F$ . La réflectance peut être exprimée par une fonction telle que:

$$R_{\text{otdr}} \approx f(\Delta F, K, \Delta Td) \quad (66)$$

où  $K$  est le paramètre de rétrodiffusion de la fibre,  $\Delta F$  l'amplitude de la réflexion et  $\Delta Td$  la largeur affichée de l'impulsion de l'OTDR.



**Figure 23 – Paramètres intervenant dans les mesures de réflectance**

NOTE 1 La valeur affichée de la largeur d'impulsion de l'OTDR tient compte de tous les paramètres affectant la largeur d'impulsion affichée, tels que:

- a) la valeur vraie de la largeur d'impulsion;
- b) la réponse de la photodiode;
- c) la bande passante de l'amplificateur.

NOTE 2 On prend pour hypothèse que l'amplitude de l'impulsion affichée n'est pas perturbée. Par exemple, le sommet de l'impulsion est en dessous du niveau de saturation et le bruit sur la trace de rétrodiffusion avant le pic est très faible devant l'amplitude du pic.

NOTE 3 D'autres paramètres sont susceptibles de perturber les mesures de réflectance, par exemple le niveau de puissance affichée, la position de l'événement, l'affaiblissement associé et la durée de moyennage. Il convient que ces paramètres soient pris en compte dans le processus d'étalonnage.

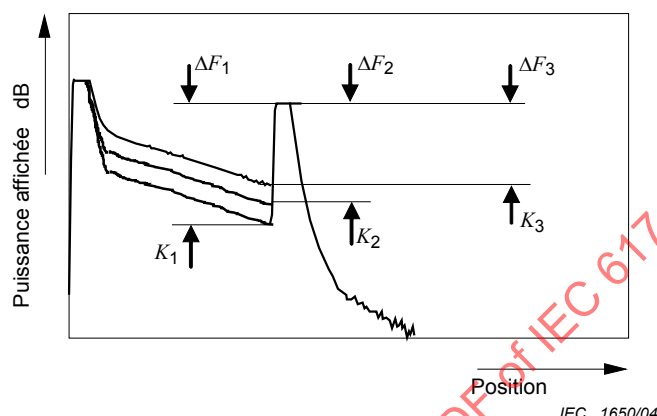
### 9.3 Utilisation du paramètre de rétrodiffusion, $K$

Généralement l'axe vertical d'un OTDR n'est pas étalonné pour la mesure de puissance optique absolue. Lorsqu'un OTDR est utilisé pour les mesures de réflectance, le paramètre de rétrodiffusion,  $K$ , intervient comme une référence de niveau pour l'axe vertical. Par conséquent, toute modification de la valeur de  $K$  modifie directement la valeur de la réflectance lue, comme illustré à la Figure 24. Ce point est décrit avec plus de détails en Annexe G; il y est notamment montré que:

$$\Delta F_{\text{dB}}(L) = 5 \log_{10} \left\{ \frac{R}{K \Delta T} + 1 \right\} \quad (67)$$

et

$$R_{\text{dB}} = 10 \log_{10}(K) + 10 \log_{10}(\Delta T) + 10 \log_{10} \left( 10^{\frac{\Delta F_{\text{dB}}(L)}{5}} - 1 \right) \quad (68)$$



**Figure 24 – La même réflectance à l'extrémité de trois fibres ayant des paramètres de rétrodiffusion différents présente des impulsions d'amplitude différentes**

Le paramètre de rétrodiffusion est spécifique à la fibre à tester. Cela conduit aux conséquences suivantes:

- L'étalonnage n'est valable que si l'OTDR utilise le même paramètre de rétrodiffusion en mesurant le dispositif en essai que le paramètre de rétrodiffusion propre au dispositif en essai. De manière alternative, l'utilisation des résultats d'étalonnage doit prendre en compte les valeurs différentes du paramètre de rétrodiffusion en utilisant par exemple l'équation (68).

En utilisant le même paramètre de rétrodiffusion que celui défini pour l'étalon de réflectance, l'incertitude relative à  $K$  s'élimine de l'étalonnage.

- Lors de l'utilisation d'un OTDR pour des mesures de réflectance, les incertitudes de détermination du paramètre de rétrodiffusion de la fibre  $K$  peuvent produire des erreurs additionnelles. La détermination de  $K$  n'est pas l'objet de la présente norme. Par conséquent, la procédure d'étalonnage suivante ne traite que de la capacité de l'OTDR à mesurer  $\Delta F$  et calculer  $R_{\text{otdr}}$  correctement.

Comme le paramètre de rétrodiffusion est nécessaire pour réaliser des mesures de réflectance, et principalement réduire les incertitudes, une méthode de détermination de  $K$  est proposée dans l'Annexe informative G.

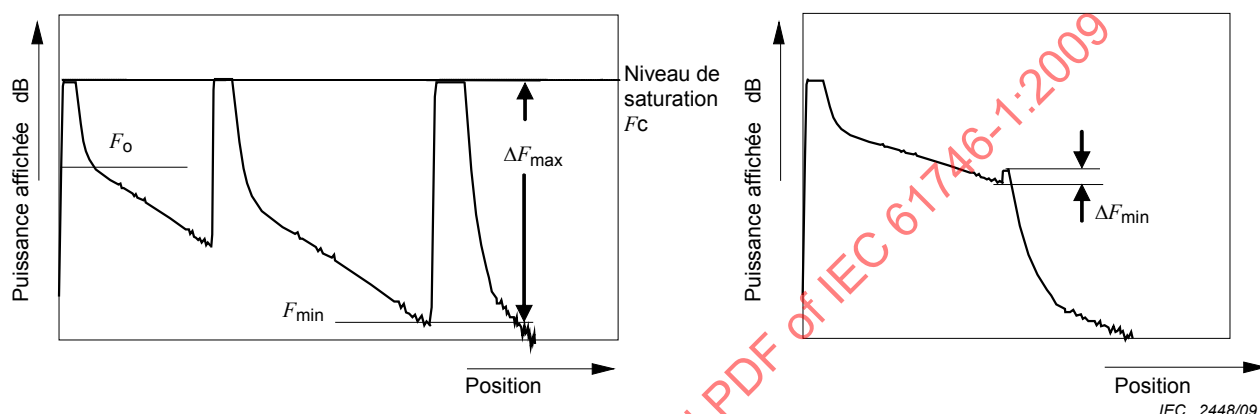
#### 9.4 Gamme de mesures de réflectance

Pour une largeur d'impulsion donnée, il ne sera pas possible de mesurer toutes les valeurs de réflectance. L'analyse de la gamme de mesures disponible est utile à la préparation du plan d'essai. Pour une configuration donnée de l'OTDR,  $\Delta F$  est une fonction de la réflectance. L'étendue (à partir de la valeur minimale jusqu'à la valeur maximale) de l'amplitude de l'impulsion est directement liée à la gamme de réflectances disponible.

Il convient que la valeur minimale de l'amplitude de l'impulsion soit égale à zéro. Généralement, une petite valeur minimale, 3 dB par exemple, est applicable. Cela est dû au fait que pour de petites valeurs de  $\Delta F$ , de petites erreurs conduisent à d'importantes erreurs de

$R_{dB}$ , équation G.10. En prenant une valeur minimale pour  $\Delta F$  de 3 dB, la réflectance minimale qui pourrait être mesurée avec une impulsion de 1  $\mu s$  est  $\sim -45$  dB et pour une impulsion de 10 ns  $\sim -65$  dB.

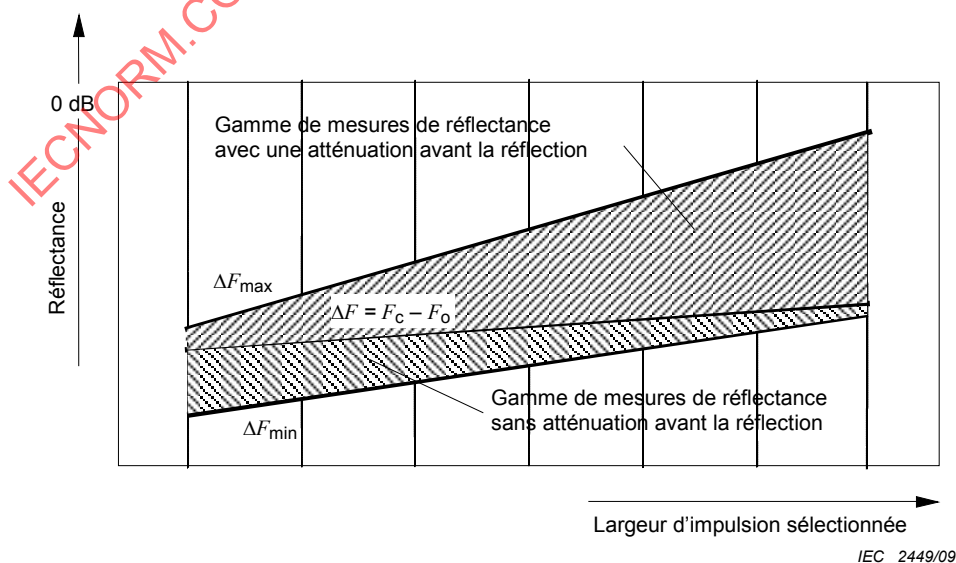
L'amplitude maximale de l'impulsion est limitée en haut par le niveau de saturation,  $F_c$ , et en bas par le niveau de la courbe de rétrodiffusion,  $F$ , qui se rapproche du niveau de bruit. Comme  $F$  dépend de l'affaiblissement de la fibre avant la position de l'événement, l'amplitude maximale de l'impulsion dépend de la position de celle-ci (voir Figure 25). À partir de l'équation G.9 on peut montrer que  $\Delta F$  sera minimum en utilisant l'impulsion la plus large.



**Figure 25 – Valeurs maximales et minimales de l'amplitude de l'impulsion,  $\Delta F$**

NOTE Certains OTDR intègrent la possibilité de réduire la puissance rétrodiffusée. Dans ce cas, l'amplitude maximale de l'impulsion dépend aussi de l'affaiblissement interne.

La gamme de mesures de réflectance peut être illustrée par l'aire représentée à la Figure 26. La limite basse de l'aire est définie par la valeur minimale de l'amplitude de l'impulsion. Les valeurs maximales de l'amplitude de l'impulsion donnent les valeurs des limites hautes des mesures de réflectance.



NOTE Les valeurs de réflectance sont négatives.

**Figure 26 – Gamme de mesures de réflectance**

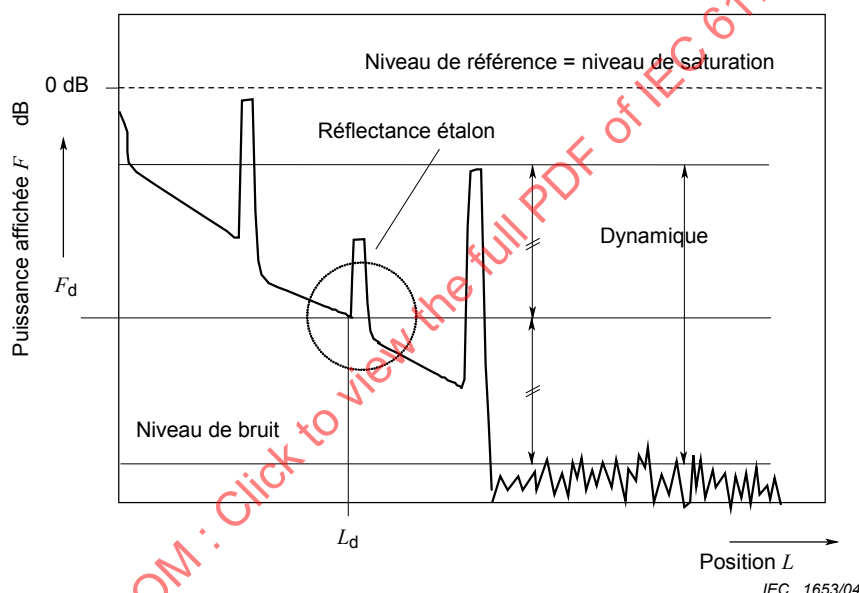
### 9.5 Élaboration d'un plan d'essai

Le principe de l'étalonnage en réflectance consiste à appliquer un jeu de réflectances connues (ou de référence),  $R_{\text{ref},j}$ , à l'OTDR et à mesurer la réflectance affichée,  $R_{\text{otdr},j}$ , pour un réglage donné de l'OTDR et pour différentes valeurs de position et de niveau de puissance. Il convient que  $R_{\text{ref},j}$  constitue un ensemble de valeurs de réflectance régulièrement espacées sur la gamme de mesures de réflectance.

Cela se traduit par un grand nombre de points de mesure.

De manière à faciliter la réduction du nombre de points de mesure, la présente norme spécifie des valeurs par défaut pour la position, le niveau de puissance affichée et l'espacement des échantillons de réflectance.

Dans le cadre de la présente norme, les valeurs par défaut de la position  $L_d$  et de la puissance affichée  $F_d$  sont définies en relation avec la dynamique, comme illustré à la Figure 27.



**Figure 27 – Détermination des valeurs par défaut du niveau de puissance affichée et de la position**

La valeur par défaut du niveau de puissance affichée  $F_d$  est positionnée à la moitié de la gamme dynamique au-dessus du niveau de bruit. La position  $L_d$  est déterminée de manière à maintenir la position de la réflexion aussi proche que possible du milieu de la région A définie en 7.3.

L'espacement par défaut des échantillons de réflectance est de 2 dB.

Construire un plan d'essai avec un choix de réflectances de référence appropriées,  $R_{\text{ref}}$ , en utilisant les valeurs par défaut définies précédemment.

Il est possible de choisir d'autres valeurs de position, de niveau de puissance affichée et d'espacement des échantillons de réflectance.

### 9.6 Équipement

En plus de l'OTDR en essai, l'équipement de mesure se compose: