

# INTERNATIONAL STANDARD

## NORME INTERNATIONALE



**Optical fibres –**

**Part 1-41: Measurement methods and test procedures – Bandwidth**

**Fibres optiques –**

**Partie 1-41: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Largeur de bande**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60793-1-41:2010



## THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2010 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester.

If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

Si vous avez des questions sur le copyright de la CEI ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de la CEI de votre pays de résidence.

IEC Central Office  
3, rue de Varembe  
CH-1211 Geneva 20  
Switzerland  
Email: [inmail@iec.ch](mailto:inmail@iec.ch)  
Web: [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.

- Catalogue of IEC publications: [www.iec.ch/searchpub](http://www.iec.ch/searchpub)

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 It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

- IEC Just Published: [www.iec.ch/online\\_news/justpub](http://www.iec.ch/online_news/justpub)

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

- Electropedia: [www.electropedia.org](http://www.electropedia.org)

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary online.

- Customer Service Centre: [www.iec.ch/webstore/custserv](http://www.iec.ch/webstore/custserv)

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please visit the Customer Service Centre FAQ or contact us:

Email: [csc@iec.ch](mailto:csc@iec.ch)

Tel.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

### A propos de la CEI

La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) 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 CEI

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

- Catalogue des publications de la CEI: [www.iec.ch/searchpub/cur\\_fut-f.htm](http://www.iec.ch/searchpub/cur_fut-f.htm)

Le Catalogue en-ligne de la CEI vous permet d'effectuer des recherches en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Il donne aussi des informations sur les projets et les publications retirées ou remplacées.

- Just Published CEI: [www.iec.ch/online\\_news/justpub](http://www.iec.ch/online_news/justpub)

Restez informé sur les nouvelles publications de la CEI. Just Published détaille deux fois par mois les nouvelles publications parues. Disponible en-ligne et aussi par email.

- Electropedia: [www.electropedia.org](http://www.electropedia.org)

Le premier dictionnaire en ligne au monde de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International en ligne.

- Service Clients: [www.iec.ch/webstore/custserv/custserv\\_entry-f.htm](http://www.iec.ch/webstore/custserv/custserv_entry-f.htm)

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions, visitez le FAQ du Service clients ou contactez-nous:

Email: [csc@iec.ch](mailto:csc@iec.ch)

Tél.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

# INTERNATIONAL STANDARD

## NORME INTERNATIONALE



**Optical fibres –**

**Part 1-41: Measurement methods and test procedures – Bandwidth**

**Fibres optiques –**

**Partie 1-41: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Largeur de bande**

INTERNATIONAL  
ELECTROTECHNICAL  
COMMISSION

COMMISSION  
ELECTROTECHNIQUE  
INTERNATIONALE

PRICE CODE  
CODE PRIX

U

ICS 33.180.10

ISBN 978-2-88912-170-0

## CONTENTS

|                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FOREWORD.....                                                                                              | 4  |
| 1 Scope.....                                                                                               | 6  |
| 2 Normative references .....                                                                               | 6  |
| 3 Terms and definitions .....                                                                              | 7  |
| 4 Apparatus.....                                                                                           | 7  |
| 4.1 Radiation source .....                                                                                 | 7  |
| 4.1.1 Method A – Time domain (pulse distortion) measurement.....                                           | 7  |
| 4.1.2 Method B – Frequency domain measurement .....                                                        | 8  |
| 4.1.3 Method C – Overfilled launch modal bandwidth calculated from<br>differential mode delay (OMBc) ..... | 8  |
| 4.1.4 For methods A and B.....                                                                             | 8  |
| 4.2 Launch system .....                                                                                    | 8  |
| 4.2.1 Overfilled launch (OFL) .....                                                                        | 8  |
| 4.2.2 Restricted mode launch (RML) .....                                                                   | 9  |
| 4.2.3 Differential mode delay (DMD) launch .....                                                           | 10 |
| 4.3 Detection system.....                                                                                  | 10 |
| 4.4 Recording system.....                                                                                  | 10 |
| 4.5 Computational equipment.....                                                                           | 11 |
| 4.6 Overall system performance .....                                                                       | 11 |
| 5 Sampling and specimens.....                                                                              | 11 |
| 5.1 Test sample .....                                                                                      | 11 |
| 5.2 Reference sample .....                                                                                 | 11 |
| 5.3 End face preparation .....                                                                             | 11 |
| 5.4 Test sample packaging.....                                                                             | 12 |
| 5.5 Test sample positioning.....                                                                           | 12 |
| 6 Procedure .....                                                                                          | 12 |
| 6.1 Method A – Time domain (pulse distortion) measurement.....                                             | 12 |
| 6.1.1 Output pulse measurement.....                                                                        | 12 |
| 6.1.2 Input pulse measurement method A-1: reference sample from test<br>sample .....                       | 12 |
| 6.1.3 Input pulse measurement method A-2: periodic reference sample .....                                  | 12 |
| 6.2 Method B – Frequency domain measurement .....                                                          | 13 |
| 6.2.1 Output frequency response.....                                                                       | 13 |
| 6.2.2 Method B-1: Reference length from test specimen.....                                                 | 13 |
| 6.2.3 Method B-2: Reference length from similar fibre .....                                                | 13 |
| 6.3 Method C – Overfilled launch modal bandwidth calculated from differential<br>mode delay (OMBc).....    | 13 |
| 7 Calculations or interpretation of results .....                                                          | 14 |
| 7.1 -3 dB frequency, $f_3$ dB.....                                                                         | 14 |
| 7.2 Calculations for optional reporting methods.....                                                       | 15 |
| 8 Length normalization .....                                                                               | 15 |
| 9 Results .....                                                                                            | 15 |
| 9.1 Information to be provided with each measurement .....                                                 | 15 |
| 9.2 Information available upon request.....                                                                | 15 |
| 10 Specification information .....                                                                         | 16 |
| Annex A (normative) Intramodal dispersion factor and the normalized intermodal<br>dispersion limit.....    | 17 |

|                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Annex B (normative) Fibre transfer function, $H(f)$ , power spectrum, $ H(f) $ , and $f_3$ dB.....               | 20 |
| Annex C (normative) Calculations for other reporting methods.....                                                | 22 |
| Annex D (normative) Mode scrambler requirements for overfilled launching conditions<br>to multimode fibres ..... | 23 |
| Bibliography.....                                                                                                | 28 |
| Figure 1 – Mandrel wrapped mode filter .....                                                                     | 10 |
| Figure D.1 – Two examples of optical fibre scramblers .....                                                      | 24 |
| Table 1 – DMD weights for calculating overfilled modal bandwidth (OMBc) from DMD<br>data for 850 nm only .....   | 14 |
| Table A.1 – Highest expected dispersion for commercially available A1 fibres .....                               | 17 |

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60793-1-41:2010

# INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

## OPTICAL FIBRES –

### Part 1-41: Measurement methods and test procedures – Bandwidth

#### 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 60793-1-41 has been prepared by subcommittee 86A: Fibres and cables, of IEC technical committee 86: Fibre optics.

This third edition cancels and replaces the second edition published in 2003. This edition constitutes a technical revision.

The main change with respect to the previous edition is the addition of a third method for determining modal bandwidth based on DMD data and to improve measurement procedures for A4 fibres.

This standard should be read in conjunction with IEC 60793-1-1 and IEC 60793-1-2, which cover generic specifications.

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

| FDIS         | Report on voting |
|--------------|------------------|
| 86A/1294/CDV | 86A/1329/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.

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

A list of all parts of the IEC 60793-1-4x series, published under the general title *Optical fibres – measurement methods and test procedures*, can be found on the IEC website

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

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

**IMPORTANT – The 'colour inside' logo on the cover page of this publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.**

## OPTICAL FIBRES –

### Part 1-41: Measurement methods and test procedures – Bandwidth

#### 1 Scope

This part of IEC 60793 describes three methods for determining and measuring the modal bandwidth of multimode optical fibres (see IEC 60793-2-10, IEC 60793-30 series and IEC 60793-40 series). The baseband frequency response is directly measured in the frequency domain by determining the fibre response to a sinusoidally modulated light source. The baseband response can also be measured by observing the broadening of a narrow pulse of light. The calculated response is determined using differential mode delay (DMD) data. The three methods are:

- Method A – Time domain (pulse distortion) measurement
- Method B – Frequency-domain measurement
- Method C – Overfilled launch modal bandwidth calculated from differential mode delay (OMBc)

Methods A and B can be performed using one of two launches: an overfilled launch (OFL) condition or a restricted mode launch (RML) condition. Method C is only defined for A1a.2 (and A1a.3 in preparation) multimode fibre and uses a weighted summation of DMD launch responses with the weights corresponding to an overfilled launch condition. The relevant test method and launch condition should be chosen according to the type of fibre.

NOTE 1 These test methods are commonly used in production and research facilities and are not easily accomplished in the field.

NOTE 2 OFL has been used for the modal bandwidth value for LED-based applications for many years. However, no single launch condition is representative of the laser (e.g. VCSEL) sources that are used for gigabit and higher rate transmission. This fact drove the development of IEC 60793-1-49 for determining the effective modal bandwidth of laser optimized 50  $\mu\text{m}$  fibres. See IEC 60793-2-10:2004 or later and IEC 61280-4-1:2003 or later for more information.

#### 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 60793-1-20, *Optical Fibres – Part 1-20: Measurement methods and test procedures – Fibre geometry*

IEC 60793-1-42, *Optical fibres – Part 1-42: Measurement methods and test procedures – Chromatic dispersion*

IEC 60793-1-43, *Optical fibres – Part 1-43: Measurement methods and test procedures – Numerical aperture*

IEC 60793-1-49:2006, *Optical fibres – Part 1-49: Measurement methods and test procedures – Differential mode delay*

### 3 Terms and definitions

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

#### 3.1

##### **bandwidth (–3 dB)**

value numerically equal to the lowest modulation frequency at which the magnitude of the baseband transfer function of an optical fibre decreases to a specified fraction, generally to one half, of the zero frequency value. The bandwidth is denoted in this document as  $f_{3\text{ dB}}$ .

NOTE It is known that there can be various calculations, sometimes called markdowns, to avoid reporting extremely high values associated with “plateaus”. For example the 1,5 dB frequency, multiplied by  $\sqrt{2}$  is one treatment used in IEC 60793-1-49. If such a calculation is used it should clearly be reported.

#### 3.2

##### **transfer function**

discrete function of complex numbers, dependent on frequency, representing the frequency-domain response of the fibre under test

NOTE Method A determines the frequency response by processing time domain data through Fourier transforms. Method B can only measure the transfer function if an instrument which measures phase as well as amplitude is used. Method C is similar to Method A as it uses Fourier transforms in a similar manner. The transfer Function is denoted in this document as  $H(f)$ .

#### 3.3

##### **power spectrum**

discrete function of real numbers, dependent on frequency, representing the amplitude of the frequency-domain response of the fibre under test

NOTE Methods A and C determine the power spectrum from the transfer function. Method B determines the transfer function by taking the ratio of the amplitude measured through the fibre under test and the reference. The power spectrum is denoted in this document as  $|H(f)|^2$ .

#### 3.4

##### **impulse response**

discrete function of real numbers, dependent on time, representing the time-domain response of the fibre under test to a perfect impulse stimulus. The impulse response is derived, in all methods, through the inverse Fourier transform of the transfer function. The impulse response is denoted in this document as  $h(t)$ .

### 4 Apparatus

#### 4.1 Radiation source

##### 4.1.1 Method A – Time domain (pulse distortion) measurement

Use a radiation source such as an injection laser diode that produces short duration, narrow spectral width pulses for the purposes of the measurement. The pulse distortion measurement method requires the capability to switch the energy of the light sources electrically or optically. Some light sources shall be electrically triggered to produce a pulse; in this case a means shall be provided to produce triggering pulses. An electrical function generator or equivalent can be used for this purpose. Its output should be used to both induce pulsing in the light source and to trigger the recording system. Other light sources may self-trigger; in this case, means shall be provided to synchronize the recording system with the pulses coming from the light source. This may be accomplished in some cases electrically; in other cases optoelectronic means may be employed.

#### 4.1.2 Method B – Frequency domain measurement

Use a radiation source such as a continuous wave (CW) injection laser diode for the purposes of the measurement. The frequency domain measurement method requires the capability to modulate the energy of the light sources electrically or optically. Connect the modulation output of the tracking generator or network analyzer through any required driving amplifiers to the modulator.

#### 4.1.3 Method C – Overfilled launch modal bandwidth calculated from differential mode delay (OMBc)

Use a radiation source as described in IEC 60793-1-49.

#### 4.1.4 For methods A and B

- Use a radiation source with a centre wavelength that is known and within  $\pm 10$  nm of the nominal specified wavelength. For injection laser diodes, laser emission coupled into the fibre shall exceed spontaneous emission by a minimum of 15 dB (optical).
- Use a source with sufficiently narrow linewidth to assure the measured bandwidth is at least 90 % of the intermodal bandwidth. This is accomplished by calculating the normalized intermodal dispersion limit, NIDL (refer to Annex A). For A4 fibre, the linewidth of any laser diode is narrow enough to neglect its contribution to bandwidth measurement.
- For A1 and A3 fibres, calculate the NIDL (see Annex A) for each wavelength's measurement from the optical source spectral width for that wavelength as follows:

$$\text{NIDL} = \frac{\text{IDF}}{\Delta\lambda}, \text{ in GHz}\cdot\text{km}$$

where:

$\Delta\lambda$  is the source Full Width Half Maximum (FWHM) spectral width in nm,

IDF is the Intramodal Dispersion Factor (GHz·km·nm) from Annex A according to the wavelength of the source.

NIDL is not defined for wavelengths from 1 200 nm to 1 400 nm. The source spectral width for these wavelengths shall be less than or equal to 10 nm, FWHM.

NOTE The acceptability of a NIDL value depends upon the specific user's test requirements. For example, a 0,5 GHz·km NIDL would be satisfactory for checking that fibres had minimum bandwidths greater than some value less than 500 MHz·km, but would not be satisfactory for checking that fibres had minimum bandwidths greater than 500 MHz·km. If the NIDL is too low, a source with smaller spectral width is required.

- The radiation source shall be spectrally stable throughout the duration of a single pulse and over the time during which the measurement is made.

### 4.2 Launch system

#### 4.2.1 Overfilled launch (OFL)

##### 4.2.1.1 OFL condition for A1 fibre

Use a mode scrambler between the light source and the test sample to produce a controlled launch irrespective of the radiation properties of the light source. The output of the mode scrambler shall be coupled to the input end of the test sample in accordance with Annex D. The fibre position shall be stable for the complete duration of the measurement. A viewing system may be used to aid fibre alignment where optical imaging is used.

The OFL prescription in Annex D, based on the allowed variance of light intensity on the input of the fibre under test, can result in large (>25 %) variations in the measured results for high bandwidth (>1 500 MHz·km) A1a fibres. Subtle differences in the launches of conforming equipment are a cause of these differences. Method C is introduced as a means of obtaining an improvement.

Provide means to remove cladding light from the test sample. Often the fibre coating is sufficient to perform this function. Otherwise, it will be necessary to use cladding mode strippers near both ends of the test sample. The fibres may be retained on the cladding mode strippers with small weights, but care shall be taken to avoid microbending at these sites.

NOTE Bandwidth measurements obtained by the overfilled launch (OFL) support the use of category A1 multimode fibres, especially in LED applications at 850 nm and 1 300 nm. Some laser applications may also be supported with this launch, but could result in reduced link lengths (at 850 nm) or restrictions on the laser sources (at 1 300 nm).

#### **4.2.1.2 OFL condition for A3 and A4 fibres**

OFL is obtained with geometrical optic launch in which the maximum theoretical numerical aperture of the fibre is exceeded by the launching cone and in which the diameter of the launched spot is in the order of the core diameter of the fibre. The light source shall be able to excite both low-order and high-order modes in the fibre equally.

NOTE A mode scrambler excites more or less all modes. Mode excitation is very sensitive to the source/mode scrambler alignment and the interaction with any intermediary optics such as connectors or optical imaging systems. A light source with large NA and core diameter will only excite meridional modes or  $LP_{0,m}$  modes.

#### **4.2.2 Restricted mode launch (RML)**

##### **4.2.2.1 RML condition for A1b fibre**

The RML for bandwidth is created by filtering the overfilled launch (as defined by Annex D) with a RML fibre. The OFL is defined by Annex D and it needs to be only large enough to overfill the RML fibre both angularly and spatially. The RML fibre has a core diameter of  $23,5 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$ , and a numerical aperture of  $0,208 \pm 0,01$ . The fibre shall have a graded-index profile with an alpha of approximately 2 and an OFL bandwidth greater than 700 MHz·km at 850 nm and 1 300 nm. For convenience, the clad diameter should be 125  $\mu\text{m}$ . The RML fibre should be at least 1,5 m in length to eliminate leaky modes; and it should be less than 5 m in length to avoid transient loss effects. The launch exiting the RML fibre is then coupled into the fibre under test.

Provide means to remove cladding light from the test sample. Often the fibre coating is sufficient to perform this function. Otherwise, it will be necessary to use cladding mode strippers near both ends of the test sample. The fibres may be retained on the cladding mode strippers with small weights, but care shall be taken to avoid microbending at these sites.

NOTE 1 In order to achieve the highest accuracy, tight tolerances are required on the geometry and profile of the RML fibre. In order to achieve the highest measurement reproducibility, tight alignment tolerances are required in the connection between the launch RML fibre and the fibre under test to ensure the RML fibre is centred to the fibre under test.

NOTE 2 Bandwidth measurements obtained by a restricted mode launch (RML) are used to support 1 Gigabit Ethernet laser launch applications. The present launch is especially proven for 850 nm sources transported over type A1b fibres.

##### **4.2.2.2 RML condition for A3 fibre**

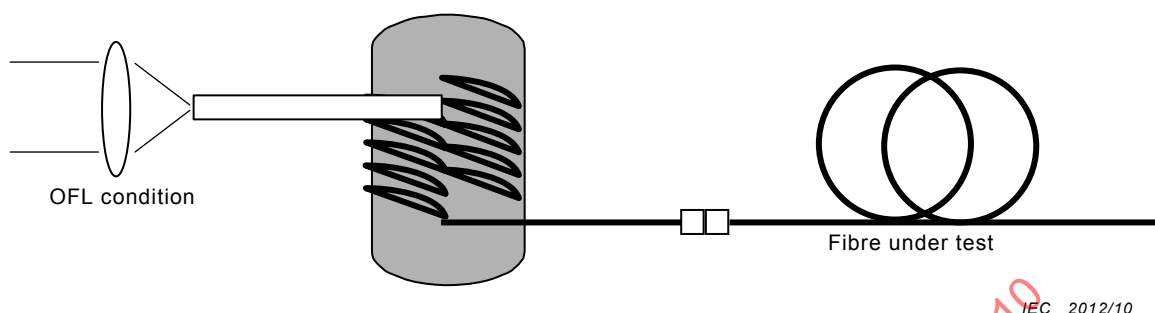
RML condition for A3 fibre is created with geometrical optic launch which corresponds to launch NA = 0,3.

Spot size shall be larger or equal to the size of core.

##### **4.2.2.3 RML condition for A4 fibre**

The RML for A4 fibre shall correspond to NA = 0,3. It can be created by filtering the overfilled launch with a mandrel wrapped mode filter, shown in Figure 1. The mode filter shall be made with the fibre of the same category as the fibre under test. In order to avoid redundant loss, the length of fibre should be 1 m. The diameter of the mandrel should be 20 times as large as that of the fibre cladding and the number of coils may be 5.

NOTE Do not apply any excessive stress in winding fibre on to the mandrel. The wound fibre may be fixed to the mandrel with an adhesive. Unwound parts of fibre should be set straight.



**Figure 1 – Mandrel wrapped mode filter**

#### **4.2.3 Differential mode delay (DMD) launch**

The DMD launch shall comply with the launch requirements of IEC 60793-1-49.

#### **4.3 Detection system**

The output optical detection apparatus shall be capable of coupling all guided modes from the test sample to the detector active area such that the detection sensitivity is not significantly mode-dependent.

A device shall be available to position the specimen output end with sufficient stability and reproducibility to meet the conditions of 4.6 below.

An optical detector shall be used that is suitable for use at the test wavelength, linear in amplitude response, spatially uniform to within 10 %, and sufficiently large to detect all emitted power. An optical attenuator may be used to control the optical intensity on the detector. It shall be mode-independent as well.

The detection electronics as well as any signal preamplifier shall be linear in amplitude response (nonlinearities less than 5 %) over the range of encountered signals.

The detection system for Method C shall comply with the requirements of IEC 60793-1-49.

#### **4.4 Recording system**

For the time domain (pulse distortion) measurement (method A), use an oscilloscope suitably connected to a recording device, such as a digital processor, to store the received pulse amplitude as a function of time. For temporal measurements, data taken from the oscilloscope display shall be considered secondary to those derived from the recorded signal.

For the frequency domain measurement (method B), use a tracking generator-electrical spectrum analyzer combination, scalar network analyzer, vector network analyzer or an equivalent instrument to detect, display and record the amplitude of the RF modulation signal derived from the optical detector. This shall be done in such a manner as to reduce harmonic distortion to less than 5 %.

The recording system for Method C shall comply with the requirements of IEC 60793-1-49.

#### 4.5 Computational equipment

For the time domain (pulse distortion) method (method A) and overfilled launch bandwidth calculated from differential mode delay (method C) or if impulse response is required from method B, computational equipment capable of performing Fourier transforms on the detected optical pulse waveforms as recorded by the waveform recording system shall be used. This equipment may implement any of the several fast Fourier transforms or other suitable algorithms, and is useful for other signal conditioning functions, waveform averaging and storage as well.

#### 4.6 Overall system performance

NOTE This subclause provides a means of verifying system stability for the duration of a measurement or the system calibration period, depending on the method used (A, B or C, see subclauses 6.1, 6.2 and IEC 60793-1-49, respectively).

The measurement system stability is tested by comparing system input pulse Fourier transforms (method B) or input frequency responses (method A) over a time interval. As shown in Annex B, a bandwidth measurement normalizes the fibre output pulse transform by the system calibration transform. If a reference sample is substituted for the fibre sample, the resultant response,  $H(f)$ , represents a comparison of the system to itself over the time interval. This normalized system amplitude stability is used to determine the system stability frequency limit (SSFL).

The SSFL is the lowest frequency at which the system amplitude stability deviates from unity by 5 %. If method A-1 or B-1 is employed, it shall be determined on the basis of one re-measurement at a time interval similar to that used for an actual fibre measurement. If method A-2 or B-2 is employed, it shall be determined over substantially the same time interval as that which is used for periodic system calibration (see 6.1.2). In this latter case, the time interval may influence the SSFL.

To determine the SSFL, attenuate the optical signal reaching the detector by an amount equal to or greater than the attenuation of the test sample plus 3 dB. This may require the introduction of an attenuator into the optical path, if an attenuator, such as might be used for signal normalization and scaling, is not already present. Also, normal deviations in the position and amplitude of the pulse or frequency response on the display device shall be present during the determination of the SSFL.

### 5 Sampling and specimens

#### 5.1 Test sample

The test sample shall be a known length of optical fibre or optical fibre cable.

#### 5.2 Reference sample

The reference sample shall be a short length of fibre of the same type as the test sample, or cut from the test sample. Except A4 fibre, the reference length shall be less than 1 % of the test sample length or less than 10 m, whichever is shorter.

For A4 fibre, the reference length shall be 1 to 2 m. In case of RML, the output of the mode filter is the reference.

#### 5.3 End face preparation

Prepare smooth, flat end faces, perpendicular to the fibre axis.

## 5.4 Test sample packaging

For A1 fibres, the deployment (spool type, wind tension, and other winding characteristics) can affect the results by significant values. It is normal to conduct most quality control measurements with the fibre deployed on spools in a manner that is suitable for shipment. The reference deployment, however, is one in which the fibre is stress-free and in which microbending is minimized. Mapping functions can be used to report the expected value that would be obtained from a reference deployment measurement based on measurements of the fibre as deployed on a shipping spool. The mapping function shall be developed from measurements of a set of fibres that have been deployed both ways and which represent the full range of bandwidth values of interest.

For A4 fibre, test sample shall be wound into coils with diameter of at least 300 mm, free from any stress. It shall be certain that the test sample is free from both macro- and microbending and that the energy distribution at the output of the launching system is substantially constant.

## 5.5 Test sample positioning

Position the input end of the test sample such that it is aligned to the output end of the launch system to create launching conditions in accordance with sub-clause 4.2.

Position the output end of the test sample such that it is aligned to the optical detector.

# 6 Procedure

## 6.1 Method A – Time domain (pulse distortion) measurement

### 6.1.1 Output pulse measurement

- a) Inject power into the test fibre and adjust the optical attenuator or detection electronics, or both, such that one entire optical pulse from the fibre is displayed on the calibrated oscilloscope, including all leading and trailing edges having an amplitude greater than or equal to 1 % or -20 dB of the peak amplitude.
- b) Record the detected amplitude and the calibrated oscilloscope sweep rate.
- c) Record the fibre output pulse and calculate the Fourier transform of this pulse, per Annex B.
- d) Determine the input pulse to the test sample by measuring the signal exiting the reference sample. This may be accomplished by using a reference length cut from the test sample or from a similar fibre.

### 6.1.2 Input pulse measurement method A-1: reference sample from test sample

- a) Cut the test fibre near the input end according to 5.2. Create a new output end face, per 5.3, and align the end with respect to the optical detector as outlined in 6.1.1 a). Do not disturb the input end.
- b) Apply the cladding mode stripper, if used (see 5.2).
- c) If an optical attenuator is used, read just for the same displayed pulse amplitude as outlined in 6.1.1 a).
- d) Record the system input pulse using the same oscilloscope sweep rate as for the test sample, and calculate the input pulse Fourier transform per Annex B.

### 6.1.3 Input pulse measurement method A-2: periodic reference sample

- a) The following system calibration procedure employing the periodic reference sample shall be performed over substantially the same time interval as used to determine the SSFL (see 4.6). In most cases where adequate preparation of mode scrambler, laser diode, and alignment equipment has been made, it is acceptable to use a reference sample not taken from the test sample.

- b) Prepare input and output ends per 5.3 on a reference sample of the same fibre class and same nominal optical dimensions as the test sample.
- c) Align the input and output ends as outlined in 5.5 and, if an optical attenuator is used, adjust to obtain the correct displayed pulse amplitude.
- d) Record the system input pulse using the same oscilloscope sweep rate as for the test sample, and calculate the input pulse Fourier transform per Annex B.

## 6.2 Method B – Frequency domain measurement

### 6.2.1 Output frequency response

- a) Sweep the modulation frequency,  $f$ , of the source from a low frequency, to provide an adequate DC zero reference level, to high frequency in excess of the 3 dB bandwidth. Record the relative optical power exiting the test specimen as a function of  $f$ ; denote this power as  $P_{\text{out}}(f)$ . If a network analyzer and the impulse response is desired, the high frequency should exceed -15 dB point and the phase  $\phi_{\text{out}}(f)$  should be recorded.

NOTE A function related to  $P_{\text{out}}(f)$ , such as  $\log P_{\text{out}}(f)$ , may be recorded to finally obtain  $|H(f)|$  in 7.1.

- b) Determine the input modulated signal to the test sample by measuring the signal exiting the reference length of the fibre. This may be accomplished using a reference length from the test sample (method B-1; preferred method to be used in case of conflict in test results) or from a similar fibre (method B-2).

### 6.2.2 Method B-1: Reference length from test specimen

- a) Cut the test sample near the input end and prepare flat end faces (see 5.3) at this newly created output end. Strip the cladding modes from the output end if necessary. Do not disturb the launching conditions to this short length.
- b) Sweep the modulation frequency,  $f$ , of the source from a low frequency, to provide an adequate DC zero reference level, to a high frequency in excess of the 3 dB bandwidth. Record the relative optical power exiting the reference length as a function of  $f$ ; denote this power as  $P_{\text{in}}(f)$ .

### 6.2.3 Method B-2: Reference length from similar fibre

- a) If the apparatus exists to position a fibre at the same place in the mode scrambler output as was the input of the test sample, then another short length of fibre having the same nominal properties of the test sample may be substituted as the reference. Use the reference fibre to replace the test sample. Apply a cladding mode stripper, if necessary, and align the output end in front of the detector.
- b) Sweep the modulation frequency,  $f$ , of the source from a low frequency, to provide an adequate DC zero reference level, to a high frequency in excess of the 3 dB bandwidth. Record the relative optical power exiting the reference length as a function of  $f$ ; denote this power as  $P_{\text{in}}(f)$ .

NOTE A function related to  $P_{\text{in}}(f)$ , such as  $\log P_{\text{in}}(f)$ , may be recorded to finally obtain  $|H(f)|$  in 7.2.

## 6.3 Method C – Overfilled launch modal bandwidth calculated from differential mode delay (OMBc)

- a) Measure the differential mode delay of fibre in accordance with IEC 60793-1-49.
- b) Calculate the overfilled modal bandwidth according to the formulae B2 of IEC 60793-1-49:2006 using weights given here in Table 1. Linear interpolation of the weight value shall be applied for any radial position of the actual scan that is known to lie between the integer positions listed in Table 1.

NOTE Table 1 weightings are only applicable for A1a fibres at 850 nm.

**Table 1 – DMD weights for calculating overfilled modal bandwidth (OMBc)  
from DMD data for 850 nm only**

| $r$ ( $\mu\text{m}$ ) | DMD weights for OMBc |
|-----------------------|----------------------|
| 0                     | 0                    |
| 1                     | 0,00073              |
| 2                     | 0,00157              |
| 3                     | 0,00253              |
| 4                     | 0,00362              |
| 5                     | 0,00487              |
| 6                     | 0,00631              |
| 7                     | 0,00795              |
| 8                     | 0,00983              |
| 9                     | 0,01198              |
| 10                    | 0,01443              |
| 11                    | 0,01725              |
| 12                    | 0,02046              |
| 13                    | 0,02414              |
| 14                    | 0,02836              |
| 15                    | 0,03317              |
| 16                    | 0,03869              |
| 17                    | 0,04500              |
| 18                    | 0,05221              |
| 19                    | 0,06047              |
| 20                    | 0,06992              |
| 21                    | 0,08073              |
| 22                    | 0,09310              |
| 23                    | 0,10725              |
| 24                    | 0,12345              |
| 25                    | 0,14197              |

## 7 Calculations or interpretation of results

### 7.1 -3 dB frequency, $f_{3\text{ dB}}$

Calculate the frequency response,  $H(f)$ . Calculate the -3 dB fibre bandwidth,  $f_{3\text{ dB}}$ , in accordance with Annex B.

If the measured -3 dB frequency exceeds the NIDL (as calculated in 4.1.4) divided by the fibre length,  $L$ , in km, report the measured result. In this case, it is preferable to show that the measurement result may have been limited by the equipment, as shown in Example 1.

**EXAMPLE 1** A fibre 2,2 km long has a length-normalized measured -3 dB frequency of 2,2 GHz·km, but the measurement system has a NIDL of 2 GHz·km at this wavelength. Preferably, the result is reported as ">normalized measured value" (">2,2 GHz·km", in this example). Similarly, the actual measured value is preferably reported as "> {measured value}" (">1,0 GHz", in this example). The ">" sign shows that the measured value may have been limited by the test set. If the measured -3 dB frequency exceeds the SSFL (as determined in 4.6), report the result as being greater than the SSFL as shown in Example 2.

EXAMPLE 2 A fibre 2,2 km long has a measured -3 dB frequency of 0,95 GHz (2,09 GHz·km), which is greater than the SSFL for the test set, 0,9 GHz (1,98 GHz·km for this fibre length). Report the result as "> (SSFL)" ("> 0,9 GHz", here). Report the length-normalized result as ">(SSFL times the sample length in km" ("> 1,98 GHz·km", here). The ">" sign is required to show that the measured value is limited by the test set.

## 7.2 Calculations for optional reporting methods

Other reporting methods may be required by a detail specification in lieu of  $f_{3\text{ dB}}$ . Refer to the appropriate Annex:

B.1: Fibre transfer function,  $H(f)$

B.2: Power spectrum,  $|H(f)|$

C.1: Fibre impulse response,  $h(t)$

C.2: RMS impulse response, exact method

C.3: RMS impulse response, difference of squares approximation

## 8 Length normalization

It may be desirable to normalize the bandwidth or pulse broadening to a unit length, such as GHz·km, or ns/km. If the bandwidth or pulse broadening is normalized to a unit length, the length dependence formula used shall be reported.

## 9 Results

### 9.1 Information to be provided with each measurement

Report the following information with each measurement:

- test procedure number and method used;
- launch conditions used (RML or OFL, DMD);
- test date;
- test sample identification;
- test results:  $f_{3\text{ dB}}$  (7.1) or results of other reporting methods as required by the detail specification;
- source wavelength (nominal or actual);
- sample length;
- length normalization formula, if used.

### 9.2 Information available upon request

The following information shall be available upon request:

- source: type, actual source wavelength, maximum specified or actual spectral width (FWHM) - state if not measured;
- description of mode scrambler and launch apparatus;
- normalized intermodal dispersion limit (NIDL), for each measurement wavelength;
- detector type and operating conditions;
- details of computational procedure to calculate bandwidth or other reporting methods;
- method of stripping cladding light;

- date of latest calibration of test equipment;
- title of test;
- test personnel.

## **10 Specification information**

The detail specification shall specify the following information:

- number and type of samples to be tested;
- test procedure number;
- reporting method to be used, if other than 7.1;
- test wavelength(s).

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60793-1-41:2010

## Annex A (normative)

### Intramodal dispersion factor and the normalized intermodal dispersion limit

#### A.1 Intramodal dispersion factor, IDF

This test method is intended to measure the intermodal bandwidth of a fibre. However, additional dispersion caused by interaction of the laser spectrum with the fibre chromatic dispersion can reduce the measured value. The purpose of the IDF is to provide a means of limiting this source of measurement error. IDF has units of GHz·km·nm, and is the frequency at which the measured bandwidth drops to 90 % of the intermodal bandwidth, per nanometer of source linewidth, per kilometer of fibre length. See A.3 for the derivation of the IDF. The data in Table A.1 represents the highest expected dispersion for any of the commercially available category A1 fibres, based on nominal dispersion performance. For table data lower than 1 200 nm, dispersion is greatest with fibre of maximum  $\lambda_0$  (0,29 NA fibre). For table data greater than 1 400 nm, dispersion is greatest with fibre of minimum  $\lambda_0$  (0,20 NA fibre). Here  $\lambda_0$  is the zero-dispersion wavelength. IDF is not used between 1 200 nm and 1 400 nm.

**Table A.1 – Highest expected dispersion for commercially available A1 fibres**

| $\lambda$<br>(nm) | IDF<br>(GHz·km·nm) | $\lambda$<br>(nm) | IDF<br>(GHz·km·nm) | $\lambda$<br>(nm) | IDF<br>(GHz·km·nm) |
|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| 780               | 1,31               |                   |                    |                   |                    |
| 790               | 1,37               |                   |                    |                   |                    |
|                   |                    |                   |                    |                   |                    |
| 800               | 1,44               | 1 000             | 3,54               | 1 400             | 23,18              |
| 810               | 1,50               | 1 010             | 3,71               | 1 410             | 21,15              |
| 820               | 1,57               | 1 020             | 3,90               | 1 420             | 19,49              |
| 830               | 1,64               | 1 030             | 4,09               | 1 430             | 18,09              |
| 840               | 1,72               | 1 040             | 4,30               | 1 440             | 16,90              |
| 850               | 1,79               | 1 050             | 4,52               | 1 450             | 15,87              |
| 860               | 1,88               | 1 060             | 4,76               | 1 460             | 14,98              |
| 870               | 1,96               | 1 070             | 5,02               | 1 470             | 14,20              |
| 880               | 2,05               | 1 080             | 5,30               | 1 480             | 13,50              |
| 890               | 2,14               | 1 090             | 5,60               | 1 490             | 12,89              |
|                   |                    |                   |                    |                   |                    |
| 900               | 2,24               | 1 100             | 5,92               | 1 500             | 12,33              |
| 910               | 2,34               | 1 110             | 6,27               | 1 510             | 11,83              |
| 920               | 2,45               | 1 120             | 6,65               | 1 520             | 11,37              |
| 930               | 2,56               | 1 130             | 7,07               | 1 530             | 10,96              |
| 940               | 2,68               | 1 140             | 7,53               | 1 540             | 10,58              |
| 950               | 2,80               | 1 150             | 8,03               | 1 550             | 10,23              |
| 960               | 2,93               | 1 160             | 8,59               | 1 560             | 9,91               |
| 970               | 3,07               | 1 170             | 9,22               | 1 570             | 9,61               |
| 980               | 3,22               | 1 180             | 9,92               | 1 580             | 9,34               |
| 990               | 3,37               | 1 190             | 10,71              | 1 590             | 9,08               |
|                   |                    |                   |                    | 1 600             | 8,84               |

NOTE Assumptions Used:  $S_0 = 0,09562 \text{ ps}/(\text{nm}^2 \cdot \text{km})$ ;  $\lambda_0 = 1\,344,5 \text{ nm}$  for nominal MMF w/0,29 NA.

## A.2 Normalized intermodal dispersion limit, NIDL

The maximum bandwidth that can be reported by a test set is limited by the normalized intermodal dispersion limit (NIDL). The NIDL is calculated for each measurement wavelength of a test set according to 4.1.4, using IDF values taken from Table A.1. The source spectral width used in the calculation may be either a maximum value for the device as specified by the device manufacturer, or, preferably, a measured value.

Since NIDL is based on the IDF, a measured, length-normalized bandwidth equal to the NIDL is 10 % less than the actual intermodal bandwidth. The error decreases for measured bandwidths less than the NIDL, and rapidly increases above it. The actual error will typically be a few percent less than this because the actual dispersion of the test sample will be less than the value used in the IDF, and the source spectral width may be overstated. Because of these approximations and source spectral instability, correction for chromatic dispersion is not appropriate.

NIDL is not defined for wavelengths from 1 200 nm to 1 400 nm because intramodal dispersion in fibre measurements is negligible when used with lasers in this range.

NOTE The calculations in Table A.1 are derived from an assumption that the spectrum is Gaussian. If this assumption is not valid some care in the interpretation of the table is needed.

## A.3 Derivation of the IDF

For the derivation of IDF, the following have been assumed to have Gaussian distributions:

- 1) chromatic and modal temporal pulse broadening,  $D_{\text{chrom}}$  and  $D_{\text{modal}}$ , respectively,
- 2) all frequency responses (amplitudes)
- 3) the optical source spectrum, expressed as  $\Delta\lambda_s$  (nm, FWHM).

The relationship between dispersion and bandwidth is expressed as:

$$D = \frac{k}{BW} \quad (\text{A.1})$$

where  $k = 187$  for RMS dispersion in ps and -3 dB bandwidth in GHz. Assuming that the chromatic and modal dispersion are independent, the total (measured) dispersion,  $D_{\text{meas}}$ , can be written:

$$D_{\text{meas}} = \sqrt{D_{\text{chrom}}^2 + D_{\text{modal}}^2} \quad (\text{A.2})$$

Combining A.1 and A.2 produces the following result:

$$\left[ \frac{BW_{\text{meas}}^2}{BW_{\text{chrom}}^2} \right] + \left[ \frac{BW_{\text{meas}}^2}{BW_{\text{modal}}^2} \right] = 1 \quad (\text{A.3})$$

Let  $\varepsilon$  represent an error in the measurement caused by chromatic dispersion such that

$$BW_{\text{meas}} = (1 - \varepsilon) BW_{\text{modal}} \quad (\text{A.4})$$

The chromatic bandwidth (in GHz) can be calculated as:

$$BW_{\text{chrom}} = \frac{440}{D(\lambda)L\Delta\lambda_s} \quad (\text{A.5})$$

where  $D(\lambda)$  is the fibre chromatic dispersion coefficient (in ps/(nm·km)) at wavelength  $\lambda$ , and  $L$  is fibre length in km.  $D(\lambda)$  is defined in IEC 60793-1-42.

Combining A.3, A.4 and A.5 provides the definition of IDF:

$$\text{IDF} = BW_{\text{meas}}L\Delta\lambda_s = \frac{440\sqrt{2\varepsilon - \varepsilon^2}}{D(\lambda)} \quad (\text{A.6})$$

Specifically, for  $\varepsilon = 0,1$  (10 % error),

$$\text{IDF} = \frac{192}{D(\lambda)} (\text{GHz} \cdot \text{km} \cdot \text{nm}) \quad (\text{A.7})$$

for  $D(\lambda)$  in ps/(nm·km).

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60793-1-41:2010

## Annex B (normative)

### Fibre transfer function, $H(f)$ , power spectrum, $|H(f)|$ , and $f_3$ dB

#### B.1 Fibre transfer function

##### B.1.1 Method A – Time domain (pulse distortion) measurement

The time domain measurement begins with the input pulse,  $a(t)$ , and the output pulse,  $b(t)$ . The input pulse and fibre output pulse Fourier transforms shall be calculated using the following formula.

$$A(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} a(t) e^{-j2\pi ft} dt \quad (\text{B.1})$$

$$B(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} b(t) e^{-j2\pi ft} dt \quad (\text{B.2})$$

Where

- $a(t)$  is the temporal input pulse,
- $b(t)$  is the temporal output pulse,
- $A(f)$  is the input pulse Fourier transform, and
- $B(f)$  is the fibre output pulse Fourier transform.

For the time domain method, the fibre transfer function shall be calculated as:

$$H(f) = \frac{B(f)}{A(f)} \quad (\text{B.3})$$

NOTE  $A(f)$ ,  $B(f)$  and  $H(f)$  are vectors of complex numbers usually expressed as real and imaginary pairs.

##### B.1.2 Method B – Frequency-domain measurement

When a network analyzer or equivalent phase-measuring equipment is used, the transfer function is calculated as:

$$A(f) = P_{\text{in}}(f) * [\cos(\varphi_{\text{in}}(f)) + i \sin(\varphi_{\text{in}}(f))] \quad (\text{B.4})$$

$$B(f) = P_{\text{out}}(f) * [\cos(\varphi_{\text{out}}(f)) + i \sin(\varphi_{\text{out}}(f))] \quad (\text{B.5})$$

$$H(f) = \frac{B(f)}{A(f)} \quad (\text{B.6})$$

where  $A(f)$ ,  $B(f)$ , and  $H(f)$  are as defined in Equation B.1.

## B.2 Power spectrum

### B.2.1 Method A – Time domain (pulse distortion) measurement

From the time domain (pulse distortion) measurement, the frequency response in dB,  $|H(f)|$ , is calculated as follows:

$$|H(f)| = 10 \log_{10} \left[ \sqrt{\operatorname{Re}(H(f))^2 + \operatorname{Im}(H(f))^2} \right] - 10 \log_{10} [\operatorname{Re}(H(0))] \quad (\text{B.7})$$

where  $\operatorname{Re}(x)$  and  $\operatorname{Im}(x)$  are the real and imaginary parts of complex number  $x$  and the subtraction of the zero frequency term normalizes the power spectrum to be zero dB at zero frequency.

### B.2.2 Method B – Frequency-domain measurement

For the frequency domain method, the frequency response in dB,  $H(f)$ , calculation may be simplified to the following:

$$|H(f)| = 10 \log_{10} \left[ \frac{P_{out}(f)}{P_{in}(f)} \right] - 10 \log_{10} \left[ \frac{P_{out}(0)}{P_{in}(0)} \right] \quad (\text{B.8})$$

where

- $P_{in}(f)$  is the input frequency response measured in 6.2.2 and
- $P_{out}(f)$  is the output frequency response measured in 6.2.1

and the subtraction of the zero frequency term normalizes the power spectrum to be zero dB at zero frequency.

### B.2.3 –3 dB Frequency

The -3 dB (optical power) frequency,  $f_{3 \text{ dB}}$ , shall be determined as the lowest frequency at which  $|H(f)| = -3 \text{ dB}$ . Interpolation shall be employed to determine  $f_{3 \text{ dB}}$ .

## Annex C (normative)

### Calculations for other reporting methods

#### C.1 Fibre impulse response, $h(t)$

The impulse response of the test fibre,  $h(t)$ , shall be calculated as

$$h(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} H(f) e^{j2\pi ft} df \quad (C.1)$$

where  $H(f)$  is the complex fibre transfer function (see Annex B).

At high frequencies,  $H(f)$  will have poor signal to noise if aliasing requirements are reasonably met during data acquisition. To produce a sufficiently quiet impulse response, filtering (i.e. attenuating) of this high frequency noise is required. Any applied filter should not significantly distort the impulse response, and so should have a low-pass cut-off at frequencies no lower than the -15 dB point of the fibre transfer function.

NOTE In order to perform this calculation for frequency domain measurements, Method B, phase information should also be gathered for accurate impulse response calculations. This may be accomplished by the use of an electrical network analyzer rather than an electrical spectrum analyzer.

#### C.2 RMS impulse response, exact method

The RMS pulse broadening shall be calculated from the test fibre impulse response,  $h(t)$  (see C.1), as:

$$\sigma_{rms} = \sqrt{C_2^2 - C_1^2} \quad (C.2)$$

with

$$C_n = \int_0^{+\infty} t^n h(t) dt \quad (C.3)$$

where  $n = 0, 1, 2, \dots$

#### C.3 RMS impulse response, difference of squares approximation

The RMS impulse response shall be calculated on the basis of the root mean square difference of input and output pulses as:

$$\sigma_{r.m.s.} = \sqrt{\sigma_B^2 - \sigma_A^2} \quad (C.4)$$

where

$\sigma_B$  is the r.m.s. fibre output pulse width,

$\sigma_A$  is the r.m.s. input pulse width.

$\sigma_A$  and  $\sigma_B$  shall be calculated according to the equations given in C.2, where  $h(t)$  is replaced by  $a(t)$  and  $b(t)$  for  $\sigma_A$  and  $\sigma_B$ , respectively.

## **Annex D**

### **(normative)**

## **Mode scrambler requirements for overfilled launching conditions to multimode fibres**

### **D.1 Introduction**

This procedure describes light launch conditions to the test fibre for the purpose of achieving a uniform overfilled launch with a laser diode or other light sources. Light launch conditions are established through the use of a mode scrambler. The mode scrambler is positioned between the light source and test fibre to produce a radiation distribution overfilling the test fibre core and numerical aperture, irrespective of the spatial radiation properties of the light source.

For many mode scrambler designs, however, the launching conditions produced depend on the source/mode scrambler alignment and the interaction with any intermediary optics such as connectors or optical imaging systems. If the source or any component in the optical system is changed, the qualification tests shall be repeated. When applied to information transmission capacity measurements, the overfilled launch gives good measurement reproducibility; it is not intended to necessarily give the best bandwidth prediction for concatenated lengths. Also, a particular light source/mode scrambler combination may be satisfactory for one size core diameter and numerical aperture test fibre, but not for another.

### **D.2 Apparatus**

#### **D.2.1 Light source**

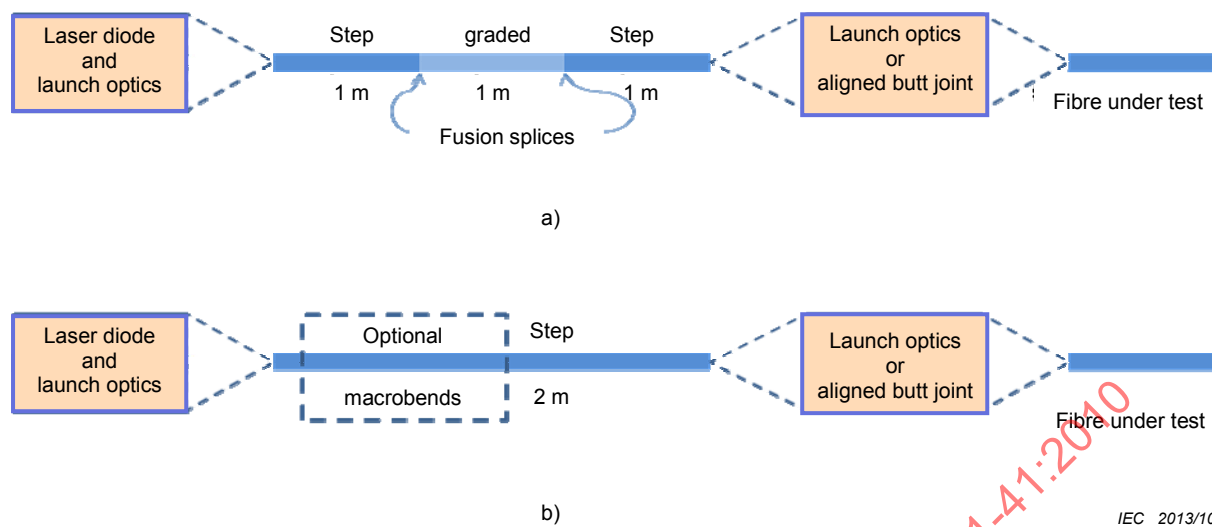
Use a light source such as a laser diode.

#### **D.2.2 Mode scrambler**

##### **D.2.2.1 General**

A "mode scrambler" is a device, which is positioned between the light source and test fibre to control launching conditions. A particular mode scrambler design is not specified. It should be emphasized that the performance of these scramblers depends upon the launch optics and fibre sizes (core and NA) used in the actual construction.

**EXAMPLES** The two designs given in Figure D1 are for illustration purposes only. Other designs may perform as well.



**Figure D.1 – Two examples of optical fibre scramblers**

#### **D.2.2.2 Step-graded-step**

The mode scrambler in Figure D.1 a) is a series combination of 1 m lengths of step-, graded-, and step-index fibres spliced together. See references [5] and [6] for information concerning fabrication of mode scramblers according to the step-graded-step design.

#### **D.2.2.3 Step with bends**

The mode scrambler in Figure D.1 b) utilizes a single length of step-index fibre. See references [7] and [8] for further information concerning the fabrication of step-index fibre mode scramblers. In some instances macroscopic, serpentine bends or wrapping several turns of the step-index fibre around a mandrel will make the mode scrambler less sensitive to the laser diode alignment.

#### **D.2.2.4 Test apparatus to qualify mode scrambler**

To qualify the mode scrambler, it is necessary to measure near- and far-field radiation patterns of the output of the mode scrambler when coupled to the light source of D.2.1. Appropriate test apparatus is described in IEC 60793-1-20 and IEC 60793-1-43. If the qualification tests are performed on an image of the mode scrambler output, the appropriate test apparatus may differ from that described in IEC 60793-1-20 and IEC 60793-1-43.

#### **D.2.2.5 Micropositioning device/optics**

Apparatus to couple light from the mode scrambler to the test fibre is needed. This may be a micropositioner along with optics to image the mode scrambler output to the input end of the test fibre. Spatial resolution and position repeatability shall be high enough to guarantee reproducible coupling conditions. Alternatively, a temporary splice to butt-couple the mode scrambler output to the input end of the test fibre may be employed.

#### **D.2.3 Cladding mode strippers**

If the mode scrambler is used in applications where fibre attenuation is measured, apply a cladding mode stripper to the test fibre unless the fibre buffer coating is sufficient to strip cladding light.

### **D.3 Sampling and specimens**

The test sample includes the optical source and mode scrambler device. Also included are positioning devices, associated optics such as connectors and optical imaging systems, and fibre to be used in the measurement system.

### **D.4 Procedure**

#### **D.4.1 Qualification of mode scrambler**

##### **D.4.1.1 General**

The mode scrambler, regardless of design, shall be sufficient to reliably reproduce the launching conditions of D.4.1.2 and D.4.1.3 and D.4.1.4 to the test fibre. If the launching conditions to the test fibre remain stable enough to meet the required launching conditions for all subsequent measurements, the qualification tests need not be made in situ and shall not be required for every test using the mode scrambler. Such stability may be obtained, for example, by permanently pigtailling or permanently connectorising the source to the mode scrambler. For many mode scrambler designs, however, the launching conditions produced depend on the source/mode scrambler alignment and interaction with any intermediary optics such as connectors or optical imaging systems. If the source or any component in the optical system is changed, the qualification tests shall be repeated.

##### **D.4.1.2 Launch spot on test fibre**

With the light source coupled to the mode scrambler fibre, the near-field radiation pattern which excites the test fibre core shall vary by less than 25 % across the test fibre core area. Speckles effects shall be avoided. If the core diameter of the test fibre is not known, it shall be determined by IEC 60793-1-20. If the mode scrambler is connected directly to the test fibre, the near-field radiation pattern which excites the test fibre core shall be measured. If the mode scrambler output is optically imaged onto the test fibre input, the launched near-field distribution shall be determined and referenced to a near-field defined by IEC 60793-1-20.

##### **D.4.1.3 Launch radiation angle to test fibre**

With the light source coupled to the mode scrambler fibre, the angular intensity distribution which excites the test fibre shall be measured. The launch numerical aperture, defined as the sine of the half-angle at which the launched angular intensity has decreased to 5 % of the maximum value, shall exceed the 5 % numerical aperture of the test fibre. If the 5 % numerical aperture of the test fibre is not known, it shall be determined by one of the procedures of IEC 60793-1-43. If the mode scrambler is connected directly to the test fibre, the angular intensity distribution from the mode scrambler fibre which excites the test fibre core shall be measured in accordance with IEC 60793-1-43. If the mode scrambler output is optically imaged onto the test fibre input, the launched angular intensity distribution shall be determined and referenced to a far field defined by IEC 60793-1-43.

#### **D.4.1.4 Additional requirements on launch using restricted measurements**

##### **D.4.1.4.1 Overview**

In order to achieve a truly uniform launch distribution, one of the following tests shall be performed and its requirements met. This is in addition to the measurements of D.4.1.2 and D.4.1.3. Either the near field is re-measured while the far-field exiting the mode scrambler is restricted (D.4.1.4.2) or the far field is re-measured while the near field exiting the mode scrambler is restricted (D.4.1.4.3).

##### **D.4.1.4.2 Near-field measurements with restricted far field**

The requirements of clause D.4.1.2 (launch spot) shall still be met when the numerical aperture launched by the mode scrambler (that is, the launch angle) is decreased by more

than 50 %. An appropriate way to test for this is to use a standard single-mode fibre which has an NA of approximately 0,1; this is less than half the NA of the mode scrambler under test, which is typically 0,3. An additional near-field measurement is performed by scanning the single-mode fibre across the mode scrambler output to confirm that the near field still meets the requirement of D.4.1.2.

#### **D.4.1.4.3 Far-field measurements with restricted near-field**

The requirements of clause D.4.1.3 (launch radiation angle) shall still be met when the spatial extent launched by the mode scrambler (spot size) is decreased by more than 50 %. An appropriate way to test for this is to use an aperture placed in an image plane of the mode scrambler output. An additional far-field measurement is performed with the aperture restricting the image to confirm that the far field still meets the requirement of D.4.1.3.

### **D.4.2 Alignment of test fibre in mode scrambler output**

#### **D.4.2.1 General**

If the qualification tests of section D.4.1 were performed on an image of the mode scrambler output, use Method A for alignment. If the tests were performed directly on the mode scrambler output, use either Method B or C for alignment.

#### **D.4.2.2 Method A - Imaging optics**

If launching optics are used to image light from the mode scrambler output to the test fibre (Figure D.1), then a technique using micropositioners and lenses shall be employed to center the test fibre core in the image of the mode scrambler output. The qualification tests for the mode scrambler shall include any influence from the imaging optics such as image or launch angle magnification. In case of conflict, this method or Method B which follows shall be preferred.

#### **D.4.2.3 Method B - Demountable splice**

If launching optics are not used, then the mode scrambler output may be connected to the test fibre by a temporary splice which aligns the mode scrambler to the core of the test fibre and brings the end faces into close contact. In this case, the core diameter of the mode scrambler fibre shall be greater than or equal to that of the test fibre.

#### **D.4.2.4 Method C - Butt coupling**

If launching optics are not used, and the test fibre is butt-coupled to the output end of the mode scrambler, then the test fibre shall be moved in the plane perpendicular to the axis to maximize coupled power.

### **D.4.3 Measurement test**

After the mode scrambler has been qualified, and the output coupled to the test fibre by method A, B, or C, the fibre parameter test can begin.

## **D.5 Calculations or interpretation of results**

The mode scrambler qualification uses the pass/fail criterion mentioned in the previous clauses. No further calculations are necessary.

## **D.6 Results**

### **D.6.1 Information to be provided with each measurement**

Report the following information with each measurement:

- date of test;
- identification of procedure used;
- sample identification;
- method of mode scrambler alignment: Method A, B, or C;
- wavelength of test.

#### **D.6.2 Information available upon request**

The following information shall be available upon request:

- detailed description of mode scrambler/light source;
- proof of mode scrambler qualification with data showing uniformity of launch spot over test fibre core and launch numerical aperture relative to test fibre;
- name(s) of test personnel;
- test equipment used and date of latest calibration.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60793-1-41:2010

## Bibliography

- [1] IEC 60793-2-10<sup>1</sup>, *Optical fibres – Part 2-10: Measurement methods and test procedures –Product specifications – Sectional specification for category A1 multimode fibres*
- [2] IEC 60793-2-30, *Optical fibres – Part 2-30: Product specifications – Sectional specification for category A3 multimode fibres*
- [3] IEC 60793-2-40, *Optical fibres – Part 2-40: Product specifications – Sectional specification for category A4 multimode fibres*
- [4] M. Horiguchi, Y. Ohmori, H. Takata, *Profile Dispersion Characteristics in High-Bandwidth Graded-Index Fibres*, Applied Optics\_Vol. 19, No. 18, p. 3 159, 15 Sept. 1980
- [5] LOVE, W.F., *Novel mode scrambler for use in optical-fibre bandwidth measurements*. Tech. Digest, Topical Meeting on Optical Fibre Communications, March 6-8, 1979, Washington, D.C.; Paper ThG2, p. 118.
- [6] KOBAYASHI, I., *Bandwidth measurement in multimode optical fibres*. Tech. Digest, Symposium on Optical Fibre Measurements, Nat. Bur. Stand. (U.S.) Spec. Publ. 597, p. 49-54; 1980.
- [7] TANIFUJI, T., et al., *Baseband-frequency-response measurement of graded-index fibre using step-index fibre as an exciter*. Electron. Lett., no. 7, p. 204; March 29, 1979.
- [8] FRANZEN, D.L. AND DAY, G.W., *Measurement of optical fibre bandwidth in the time domain*. Nat. Bur. Stand. (U.S.) Tech. Note 1019; Feb. 1980.

---

<sup>1</sup> To be published.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60793-1-41:2010

## SOMMAIRE

|                                                                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| AVANT-PROPOS .....                                                                                                             | 32 |
| 1 Domaine d'application .....                                                                                                  | 34 |
| 2 Références normatives .....                                                                                                  | 34 |
| 3 Termes et définitions .....                                                                                                  | 35 |
| 4 Appareillage .....                                                                                                           | 35 |
| 4.1 Source de rayonnements .....                                                                                               | 35 |
| 4.1.1 Méthode A – Mesure dans le domaine temporel (distorsion d'impulsion) .....                                               | 35 |
| 4.1.2 Méthode B – Mesure dans le domaine fréquentiel .....                                                                     | 36 |
| 4.1.3 Méthode C – Largeur de bande modale avec injection saturée calculée à partir du retard de mode différentiel (OMBc) ..... | 36 |
| 4.1.4 Pour les méthodes A et B .....                                                                                           | 36 |
| 4.2 Système d'injection .....                                                                                                  | 37 |
| 4.2.1 Injection saturée (OFL) .....                                                                                            | 37 |
| 4.2.2 Injection en mode partiel (RML) .....                                                                                    | 37 |
| 4.2.3 Injection de retard de mode différentiel (DMD) .....                                                                     | 38 |
| 4.3 Système de détection .....                                                                                                 | 39 |
| 4.4 Système d'enregistrement .....                                                                                             | 39 |
| 4.5 Equipement de calcul .....                                                                                                 | 39 |
| 4.6 Performance du système global .....                                                                                        | 39 |
| 5 Echantillonnage et spécimens .....                                                                                           | 40 |
| 5.1 Echantillon en essai .....                                                                                                 | 40 |
| 5.2 Echantillon de référence .....                                                                                             | 40 |
| 5.3 Préparation de l'extrémité .....                                                                                           | 40 |
| 5.4 Conditionnement de l'échantillon en essai .....                                                                            | 40 |
| 5.5 Positionnement de l'échantillon en essai .....                                                                             | 41 |
| 6 Procédure .....                                                                                                              | 41 |
| 6.1 Méthode A – Mesure dans le domaine temporel (distorsion d'impulsion) .....                                                 | 41 |
| 6.1.1 Mesure de l'impulsion de sortie .....                                                                                    | 41 |
| 6.1.2 Méthode A-1 de mesure de l'impulsion d'entrée échantillon de référence provenant de l'échantillon en essai .....         | 41 |
| 6.1.3 Méthode A-2 de mesure de l'impulsion d'entrée: échantillon de référence périodique .....                                 | 41 |
| 6.2 Méthode B – Mesure dans le domaine fréquentiel .....                                                                       | 42 |
| 6.2.1 Réponse fréquentielle de sortie .....                                                                                    | 42 |
| 6.2.2 Méthode B-1: Longueur de référence de l'échantillon à l'essai .....                                                      | 42 |
| 6.2.3 Méthode B-2: Longueur de référence d'une fibre similaire .....                                                           | 42 |
| 6.3 Méthode C – Largeur de bande modale avec injection saturée calculée à partir du retard de mode différentiel (OMBc) .....   | 42 |
| 7 Calculs ou interprétation des résultats .....                                                                                | 43 |
| 7.1 Fréquence –3 dB, $f_{3\text{ dB}}$ .....                                                                                   | 43 |
| 7.2 Calculs pour les méthodes de présentation optionnelles .....                                                               | 44 |
| 8 Normalisation de la longueur .....                                                                                           | 44 |
| 9 Résultats .....                                                                                                              | 44 |
| 9.1 Informations à fournir pour chaque essai .....                                                                             | 44 |
| 9.2 Informations à fournir sur demande .....                                                                                   | 44 |
| 10 Information à mentionner dans la spécification .....                                                                        | 45 |

|                                                                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Annexe A (normative) Facteur de dispersion intra-modale et limite de dispersion intermodale normalisée.....                            | 46 |
| Annexe B (normative) Fonction de transfert de fibre, $H(f)$ , spectre de puissance, $ H(f) $ , et $f_3$ dB.....                        | 50 |
| Annexe C (normative) Calculs pour d'autres méthodes de présentation .....                                                              | 52 |
| Annexe D (informative) Exigences d'embrouilleur de modes pour les conditions d'injection saturées sur les fibres multimodales .....    | 54 |
| Bibliographie.....                                                                                                                     | 59 |
| Figure 1 – Filtre de modes enroulé sur mandrin .....                                                                                   | 38 |
| Figure D.1 – Deux exemples d'embrouilleurs de modes à fibres optiques .....                                                            | 55 |
| Tableau 1 – Poids de DMD pour calculer la largeur de bande modale saturée (OMBc) à partir des données de DMD, à 850 nm seulement ..... | 43 |
| Tableau A.1 – Dispersion attendue la plus forte pour les fibres de la catégorie A1 disponibles sur le marché .....                     | 47 |

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60793-1-41:2010

# COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

## FIBRES OPTIQUES –

### Partie 1-41: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Largeur de bande

#### AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique 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 60793-1-41 a été établie par le sous-comité 86A: Fibres et câbles, du Comité d'Etudes 86 de la CEI: Fibres optiques.

Cette troisième édition annule et remplace la seconde édition publiée en 2003. Cette édition constitue une révision technique.

La modification principale par rapport à la précédente édition est l'addition d'une troisième méthode pour la détermination de la largeur de bande modale fondée sur les données de DMD et afin d'améliorer les procédures de mesure pour les fibres A4.

Il convient d'utiliser cette norme conjointement à la CEI 60793-1-1 et à la CEI 60793-1-2, qui couvrent les spécifications génériques.

Le texte anglais de cette norme est issu des documents 86A/1294/CDV et 86A/1329/RVD. Le rapport de vote 86A/1329/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.

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

Une liste de toutes les parties de la série CEI 60793-1-4x, publiée sous le titre général *Fibres optiques – méthodes de mesure et procédures d'essai* est disponible sur le site internet de la CEI.

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

**IMPORTANT – Le logo "colour inside" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.**

## FIBRES OPTIQUES –

### Partie 1-41: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Largeur de bande

#### 1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60793 décrit trois méthodes pour déterminer et mesurer la largeur de bande modale des fibres optiques multimodales (voir CEI 60793-2-10, série CEI 60793-30 et série CEI 60793-40). La réponse en fréquence de bande de base est directement mesurée dans le domaine fréquentiel en déterminant la réponse de la fibre à une source lumineuse modulée de manière sinusoïdale. La réponse en bande de base peut aussi être mesurée en observant l'élargissement d'une impulsion étroite de lumière. La réponse calculée est déterminée en utilisant les données de retard de mode différentiel (differential mode delay - DMD). Les trois méthodes sont les suivantes:

- Méthode A – Mesure dans le domaine temporel (distorsion d'impulsion)
- Méthode B – Mesure dans le domaine fréquentiel
- Méthode C – Largeur de bande modale d'injection saturée calculée à partir du retard de mode différentiel (OMBc)

Les méthodes A et B peuvent être réalisées en utilisant une méthode d'injection au choix parmi: une condition d'injection saturée (overfilled launch - OFL) ou une condition d'injection en mode partiel (Restricted mode launch - RML). La méthode C est seulement définie pour les fibres multimodales A1a.2 (et A1a.3 qui sont en préparation) et elle utilise une sommation pondérée des réponses d'injection de DMD avec les poids correspondant à une condition d'injection saturée. Il convient de choisir la méthode d'essai et la condition d'injection appropriées en fonction du type de fibre.

NOTE 1 Ces méthodes d'essai sont fréquemment utilisées dans les installations de production et de recherche et ne sont pas facilement réalisées sur site.

NOTE 2 La méthode OFL est utilisée depuis de nombreuses années pour la valeur de largeur de bande modale des applications à base de LED. Toutefois, aucune condition d'injection unique n'est représentative des sources lasers (par exemple VCSEL) qui sont utilisées pour la transmission en gigabits et à des débits supérieurs. Ceci a conduit à l'élaboration de la CEI 60793-1-49 pour la détermination de la largeur de bande modale effective des fibres à 50  $\mu\text{m}$  optimisées laser. Voir la CEI 60793-2-10:2004 ou postérieure et la CEI 61280-4-1:2003 ou postérieure pour plus d'informations.

#### 2 Références normatives

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

CEI 60793-1-20, *Fibres optiques – Partie 1-20: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Géométrie de la fibre*

CEI 60793-1-42, *Fibres optiques – Partie 1-42: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Dispersion chromatique*

CEI 60793-1-43, *Fibres optiques – Partie 1-43: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Ouverture numérique*

CEI 60793-1-49:2006, *Fibres optiques – Partie 1-49: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Retard différentiel de mode*

### 3 Termes et définitions

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

#### 3.1

##### **largeur de bande (–3 dB)**

valeur numériquement égale à la fréquence de modulation la plus faible à laquelle l'amplitude de la fonction de transfert en bande de base d'une fibre optique devient égale à une fraction spécifiée, généralement la moitié, de sa valeur à la fréquence zéro. Dans ce document, la largeur de bande est notée  $f_{3\text{ dB}}$ .

NOTE Il est reconnu qu'il peut exister différents calculs, parfois appelés minorés, pour éviter de reporter des valeurs très élevées associées à des "plateaux". Par exemple la fréquence 1,5 dB, multipliée par  $\sqrt{2}$  est un traitement utilisé dans la CEI 60793-1-49. Si un tel calcul est utilisé, il convient qu'il soit clairement reporté.

#### 3.2

##### **fonction de transfert**

fonction discrète de nombres complexes, dépendant de la fréquence, représentant la réponse dans le domaine fréquentiel de la fibre soumise à l'essai

NOTE La méthode A détermine la réponse en fréquence en traitant les données du domaine temporel avec des transformations de Fourier. La méthode B peut mesurer la fonction de transfert seulement si un instrument qui mesure la phase et l'amplitude est utilisé. La méthode C est similaire à la méthode A dans la mesure où elle utilise des transformations de Fourier d'une manière analogue. Dans ce document, la fonction de transfert est notée  $H(f)$ .

#### 3.3

##### **spectre de puissance**

fonction discrète de nombres réels, dépendant de la fréquence, représentant l'amplitude de la réponse dans le domaine fréquentiel de la fibre soumise à l'essai

NOTE Les méthodes A et C déterminent le spectre de puissance à partir de la fonction de transfert. La méthode B détermine la fonction de transfert en prenant le rapport de l'amplitude mesurée à travers la fibre soumise à l'essai sur la référence. Dans ce document, le spectre de puissance est notée  $|H(f)|$ .

#### 3.4

**réponse impulsionnelle** fonction discrète de nombres réels, dépendant du facteur temps, représentant la réponse dans le domaine temporel de la fibre soumise à l'essai à un stimulus d'impulsion parfait. La réponse impulsionnelle est déduite, dans toutes les méthodes, par la transformation de Fourier inverse de la fonction de transfert. Dans ce document, la réponse impulsionnelle est notée  $h(t)$ .

### 4 Appareillage

#### 4.1 Source de rayonnements

##### 4.1.1 Méthode A – Mesure dans le domaine temporel (distorsion d'impulsion)

Utiliser pour la mesure une source de rayonnements telle qu'une diode laser à injection qui produit des impulsions de largeur spectrale étroite et de courte durée. La méthode de mesure de la distorsion d'impulsion exige la capacité de commuter l'énergie des sources lumineuses électriquement ou optiquement. Certaines sources lumineuses doivent être déclenchées électriquement pour produire une impulsion; dans ce cas, un moyen doit être mis à disposition pour produire les impulsions de déclenchement. Un générateur de fonction électrique ou équivalent peut être utilisé à cet effet. Il convient que son niveau de sortie soit utilisé à la fois pour induire des impulsions dans la source lumineuse et pour déclencher le système d'enregistrement. D'autres sources lumineuses peuvent s'auto-déclencher; dans ce cas, des moyens doivent être fournis pour synchroniser le système d'enregistrement avec les

impulsions provenant de la source de lumière. Dans certains cas, ceci peut être réalisé électriquement; dans d'autres cas, des moyens optoélectroniques peuvent être utilisés.

**4.1.2 Méthode B – Mesure dans le domaine fréquentiel** Utiliser pour la mesure, une source de rayonnements telle qu'une diode laser à injection d'onde continue (CW<sup>1</sup>). La méthode de mesure dans le domaine fréquentiel exige la capacité de moduler l'énergie des sources lumineuses électriquement ou optiquement. Connecter la sortie de modulation du générateur asservi ou de l'analyseur de réseaux au modulateur par l'intermédiaire de tout amplificateur actif nécessaire.

**4.1.3 Méthode C – Largeur de bande modale avec injection saturée calculée à partir du retard de mode différentiel (OMBc<sup>2</sup>)**

Utiliser une source de rayonnement comme celle décrite dans la CEI 60793-1-49.

**4.1.4 Pour les méthodes A et B**

- Utiliser une source de rayonnements présentant une longueur d'onde centrale qui est connue et qui se situe dans les limites de  $\pm 10$  nm par rapport à la longueur d'onde nominale spécifiée. Pour les diodes laser à injection, l'émission laser couplée dans la fibre doit dépasser l'émission spontanée de 15 dB au minimum (optique).
- Utiliser une source ayant une largeur spectrale suffisamment étroite pour assurer que la largeur de bande mesurée soit au moins égale à 90 % de la largeur de bande intermodale. Ceci est obtenu en calculant la limite normalisée de la dispersion intermodale, NIDL<sup>3</sup> (voir l'Annexe A). Pour la fibre A4, la largeur spectrale de toute diode laser est suffisamment étroite pour négliger sa contribution à la mesure de la largeur de bande.
- Pour les fibres A1 et A3, calculer la limite normalisée de la dispersion intermodale NIDL, (voir l'Annexe A) pour chaque mesure de la longueur d'onde à partir de la largeur spectrale de la source optique pour la longueur d'onde concernée comme suit:

$$NIDL = \frac{IDF}{\Delta\lambda}, \text{ en GHz}\cdot\text{km}$$

où

$\Delta\lambda$  est la largeur spectrale de la source, largeur maximale à mi-hauteur (FWHM<sup>4</sup>) en nm,

L'IDF<sup>5</sup> est le facteur de dispersion intramodale (GHz·km·nm) comme décrit à l'Annexe A selon la longueur d'onde de la source.

La NIDL n'est pas définie pour les longueurs d'onde comprises entre 1200 nm et 1400 nm. La largeur spectrale de la source pour ces longueurs d'ondes doit être inférieure ou égale à 10 nm, FWHM.

NOTE L'acceptabilité d'une valeur de la NIDL dépend des exigences d'essai spécifiques de l'utilisateur. Par exemple, une NIDL de 0,5 GHz·km serait satisfaisante pour vérifier que les fibres ont des largeurs de bande minimales supérieures à certaines valeurs inférieures à 500 MHz.km, mais ne serait pas satisfaisante pour vérifier que des fibres ont des largeurs de bande minimales supérieures à 500 MHz.km. Si la NIDL est trop basse, une source ayant une largeur spectrale plus petite est exigée.

- La source de rayonnements doit être spectralement stable pendant toute la durée d'une impulsion unique et pendant le temps de réalisation de la mesure.

<sup>1</sup> CW = continuous wave.

<sup>2</sup> OMBc = overfilled launch modal bandwidth calculated from differential mode delay.

<sup>3</sup> NIDL = normalized intermodal dispersion limit.

<sup>4</sup> FWHM = Full Width Half Maximum.

<sup>5</sup> IDF = Intramodal Dispersion Factor.

## 4.2 Système d'injection

### 4.2.1 Injection saturée (OFL<sup>6</sup>)

#### 4.2.1.1 Condition OFL pour une fibre de catégorie A1

Utiliser un embrouilleur de modes entre la source lumineuse et l'échantillon en essai pour produire une injection contrôlée quelles que soient les propriétés de rayonnements de la source lumineuse. La sortie de l'embrouilleur de modes doit être couplée à l'extrémité d'entrée de l'échantillon en essai conformément à l'Annexe D. La position de la fibre doit être stable pendant toute la durée de la mesure. Un système de visualisation peut être utilisé pour aider à aligner la fibre lorsqu'on utilise l'imagerie optique.

La prescription d'OFL à l'Annexe D, fondée sur la variance autorisée d'intensité lumineuse à l'entrée de la fibre soumise à l'essai, peut donner des variations importantes (>25 %) dans les résultats mesurés pour les fibres A1a à grande largeur de bande (>1 500 MHz·km). Des différences subtiles dans les injections des équipements conformes sont à l'origine de ces différences. La méthode C est introduite comme un moyen pour obtenir une amélioration.

Fournir des moyens pour éliminer la lumière de la gaine de l'échantillon en essai. Le revêtement de fibre est souvent suffisant pour assurer cette fonction. Sinon, il sera nécessaire d'utiliser des supprimeurs de modes de gaine à proximité des deux extrémités de l'échantillon en essai. Les fibres peuvent être retenues sur les supprimeurs de modes de gaine avec de petites valeurs, mais on doit veiller à éviter toute microcourbure à ces emplacements.

NOTE Les mesures de la largeur de bande obtenues par une injection saturée (OFL) permettent l'utilisation des fibres multimodales de la catégorie A1, en particulier dans les applications de LED à 850 nm et 1300 nm. Certaines applications laser peuvent également permettre cette injection mais pourraient donner lieu à des longueurs de liaisons réduites (à 850 nm) ou à des restrictions des sources lasers (à 1 300 nm).

#### 4.2.1.2 Condition OFL pour les fibres de catégories A3 et A4

L'OFL est obtenue avec un système géométrique d'injecteur optique dans lequel l'ouverture numérique théorique maximale de la fibre est dépassée par le cône d'injection et dans lequel le diamètre de la tache injectée est de l'ordre du diamètre du cœur de la fibre. La source lumineuse doit être capable d'exciter à la fois les modes d'ordre inférieur et d'ordre supérieur, de la même façon dans la fibre.

NOTE Un embrouilleur de modes excite plus ou moins tous les modes, L'excitation de mode est très sensible à l'alignement entre source/embrouilleur de mode, et à l'interaction avec toute optique intermédiaire, telles que les connecteurs ou les systèmes d'imagerie optique. Une source lumineuse à ouverture numérique et diamètre de cœur de grande dimension n'excitera que des modes méridiens ou des modes LP<sub>0,m</sub>.

### 4.2.2 Injection en mode partiel (RML<sup>7</sup>)

#### 4.2.2.1 Condition RML pour une fibre A1b

La RML pour la largeur de bande est créée en filtrant l'injection saturée (comme défini à l'Annexe D) avec une fibre RML. L'OFL est définie par l'Annexe D et il est nécessaire qu'elle soit suffisamment importante pour saturer la fibre RML à la fois de manière angulaire et spatiale. La fibre RML a un diamètre de cœur de  $23,5 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$  et une ouverture numérique de  $0,208 \pm 0,01$ . La fibre doit avoir un profil à gradient d'indice avec un alpha d'environ 2 et une largeur de bande OFL supérieure à 700 MHz·km à 850 nm et 1300 nm. Dans un souci de commodité, il convient que le diamètre de gaine soit égal à 125  $\mu\text{m}$ . Il convient que la fibre RML ait une longueur minimale de 1,5 m pour éliminer les modes de

<sup>6</sup> OFL = *overfilled launch*.

<sup>7</sup> RML = *restricted mode launch*.

fuite; il convient qu'elle ait une longueur inférieure à 5 m pour éviter les effets de perte transitoire. L'injection sortant de la fibre RML est ensuite couplée à la fibre en essai.

Fournir des moyens pour éliminer la lumière de la gaine de l'échantillon en essai. Le revêtement de fibre est souvent suffisant pour assurer cette fonction. Sinon, il sera nécessaire d'utiliser des supprimeurs de modes de gaine à proximité des deux extrémités de l'échantillon en essai. Les fibres peuvent être retenues sur les supprimeurs de modes de gaine avec de petites valeurs, mais on doit veiller à éviter toute microcourbure à ces emplacements.

NOTE 1 Pour obtenir la précision la plus élevée, des tolérances strictes sont exigées concernant la géométrie et le profil de la fibre RML. Pour obtenir la reproductibilité de mesure la plus élevée, des tolérances strictes d'alignement sont exigées dans la connexion entre la fibre RML d'injection et la fibre en essai pour assurer que la fibre RML est centrée sur la fibre en essai.

NOTE 2 Les mesures de largeurs de bande obtenues par une injection en mode restreint (RML) sont utilisées pour supporter les applications d'injection laser Ethernet à 1 Gigabit. L'injection présente est particulièrement avérée pour les sources à 850 nm transportées par des fibres de type A1b.

#### 4.2.2.2 Condition RML pour une fibre de catégorie A3

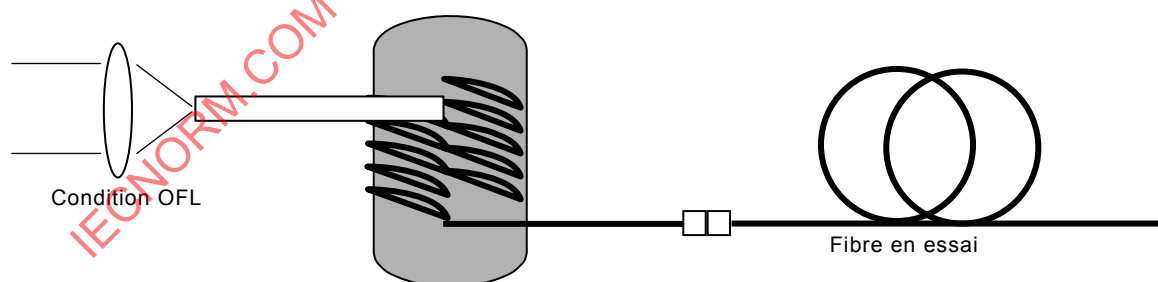
La condition RML pour les fibres de catégorie A3 est créée avec un système géométrique d'injecteur optique qui correspond à une ouverture numérique d'injection de 0,3.

La taille de la tache doit être supérieure ou égale à la taille du cœur.

#### 4.2.2.3 Condition RML pour une fibre de catégorie A4

La RML pour les fibres de catégorie A4 doit correspondre à  $NA = 0,3$ . Elle peut être créée en filtrant l'injection saturée avec un filtre de modes enroulé sur mandrin, comme représenté à la Figure 1. Le filtre de modes doit être réalisé avec une fibre de la même catégorie que celle en essai. Pour éviter une perte redondante, il convient que la longueur de la fibre soit de 1 mètre. Il convient que le diamètre du mandrin soit 20 fois plus grand que celui de la gaine de fibre et le nombre de tours peut être de 5.

NOTE Ne pas appliquer de contrainte excessive en enroulant la fibre sur le mandrin. La fibre enroulée peut être fixée au mandrin avec un adhésif. Il convient que les parties non enroulées de la fibre soient placées droites.



IEC 2012/10

Figure 1 – Filtre de modes enroulé sur mandrin

#### 4.2.3 Injection de retard de mode différentiel (DMD<sup>8</sup>)

L'injection de DMD doit être conforme aux exigences d'injection de la CEI 60793-1-49.

<sup>8</sup> DMD = differential mode delay.

### 4.3 Système de détection

L'appareil de détection optique en sortie doit être capable de coupler tous les modes guidés de l'échantillon en essai à la zone active du détecteur de telle manière que la sensibilité de détection ne dépende pas du mode de façon significative.

Un dispositif doit être disponible pour positionner l'extrémité de sortie du spécimen avec une stabilité et une reproductibilité suffisantes pour satisfaire aux conditions de 4.6 ci-dessous.

On doit utiliser un détecteur optique adapté à une utilisation à la longueur d'onde d'essai, à réponse en amplitude linéaire, ayant une uniformité spatiale dans les limites de 10 % et de taille suffisante pour détecter toute la puissance émise. Un affaiblisseur optique peut être utilisé pour contrôler l'intensité optique sur le détecteur. Il doit aussi être indépendant des modes.

L'électronique de détection ainsi que tout pré-amplificateur de signal doit être linéaire dans sa réponse en amplitude (non-linéarités inférieures à 5 %) sur la plage des signaux rencontrés.

Le système de détection pour la Méthode C doit satisfaire aux exigences de la CEI 60793-1-49.

### 4.4 Système d'enregistrement

Pour la mesure (de la distorsion d'impulsion) dans le domaine temporel (méthode A), utiliser un oscilloscope convenablement connecté à un dispositif d'enregistrement, tel un ordinateur numérique pour stocker l'amplitude d'impulsion reçue en fonction du temps. Pour les mesures temporelles, les données provenant de l'affichage de l'oscilloscope doivent être considérées comme secondaires par rapport à celles provenant du signal enregistré.

Pour la mesure dans le domaine fréquentiel (méthode B), utiliser une combinaison générateur asservi et analyseur de spectre, un analyseur de réseau vectoriel ou un dispositif équivalent pour détecter, afficher et enregistrer l'amplitude du signal de modulation RF provenant du détecteur optique. Ceci doit être réalisé de manière à réduire la distorsion harmonique à moins de 5 %.

Le système d'enregistrement pour la Méthode C doit satisfaire aux exigences de la CEI 60793-1-49.

### 4.5 Equipement de calcul

Pour la méthode (de distorsion d'impulsion) dans le domaine temporel (méthode A) et la largeur de bande d'injection saturée calculée à partir du retard de mode différentiel (méthode C) ou si une réponse impulsionnelle est exigée à partir de la méthode B, on doit utiliser des équipements de calcul capables de réaliser des transformations de Fourier sur les formes d'ondes d'impulsions optiques détectées telles qu'enregistrées par le système d'enregistrement des formes d'ondes. Cet équipement peut mettre en œuvre une des transformées rapides de Fourier ou d'autres algorithmes adaptés et il est utile pour d'autres fonctions de conditionnement de signal ainsi que de moyennage et de stockage de formes d'onde.

### 4.6 Performance du système global

NOTE Ce paragraphe fournit un moyen de vérifier la stabilité du système pendant la durée d'une mesure ou la période d'étalonnage du système, en fonction de la méthode utilisée (A, B ou C, voir les paragraphes 6.1 et 6.2 et la CEI 60793-1-49, respectivement).

La stabilité du système de mesure est soumise aux essais en comparant les transformées de Fourier des impulsions d'entrée du système (méthode B) ou les réponses fréquentielles en entrée (méthode A) sur un intervalle de temps. Comme cela est présenté à l'Annexe B, une mesure de la largeur de bande normalise la transformée d'impulsion de sortie de la fibre par

la transformée d'étalonnage du système. Si un échantillon de référence prend la place de l'échantillon de fibre, la réponse qui en résulte,  $H(f)$ , représente une comparaison du système avec lui-même sur l'intervalle de temps. Cette stabilité d'amplitude du système normalisée est utilisée pour déterminer la limite de fréquence de stabilité du système (SSFL<sup>9</sup>).

La SSFL est la fréquence la plus faible à laquelle la stabilité de l'amplitude du système s'écarte de 5 % de l'unité. Si la méthode A-1 ou B-1 est utilisée, elle doit être déterminée à partir d'une nouvelle mesure à un intervalle de temps similaire à celui utilisé pour une mesure de fibre réelle. Si la méthode A-2 ou B-2 est utilisée, elle doit être déterminée sur un intervalle de temps sensiblement identique à celui utilisé pour l'étalonnage périodique du système (voir 6.1.2). Dans ce dernier cas, l'intervalle de temps peut influencer la SSFL.

Pour déterminer la SSFL, affaiblir le signal optique atteignant le détecteur dans une proportion supérieure ou égale à l'affaiblissement de l'échantillon en essai plus 3 dB. Ceci peut nécessiter l'introduction d'un atténuateur dans le chemin optique, si un atténuateur, tel que celui qui pourrait être utilisé pour la normalisation du signal et la mise à l'échelle, n'est pas déjà présent. Des écarts normaux d'emplacement et d'amplitude de la réponse en impulsion ou en fréquence sur le dispositif d'affichage doivent aussi être présents pendant la détermination de la SSFL.

## 5 Echantillonnage et spécimens

### 5.1 Echantillon en essai

L'échantillon en essai doit être constitué d'une longueur connue de fibre optique ou de câble à fibres optiques.

### 5.2 Echantillon de référence

L'échantillon de référence doit être constitué d'une courte longueur de fibre du même type que l'échantillon en essai ou coupée à partir de cet échantillon en essai. Sauf dans le cas de fibres de catégorie A4, la longueur de référence doit être inférieure à 1 % de la longueur de l'échantillon en essai ou inférieure à 10 m, en prenant la plus faible de ces deux valeurs.

Pour les fibres de catégorie A4, la longueur de référence doit être comprise entre 1 m et 2 m. Dans le cas de la RML, la sortie du filtre de mode est la référence.

### 5.3 Préparation de l'extrémité

Préparer des surfaces d'extrémité lisses, plates, perpendiculairement à l'axe de la fibre.

### 5.4 Conditionnement de l'échantillon en essai

Pour les fibres A1, le déploiement (type de bobine, tension d'enroulage, et autres caractéristiques d'enroulage) peut affecter les résultats par des valeurs significatives. Il est normal de conduire la plupart des mesures de contrôle de qualité avec la fibre déployée sur des bobines d'une manière adaptée au transport. Le déploiement de référence, toutefois, est un de ceux dans lesquels la fibre n'est pas soumise à des contraintes et dans lequel les microcoubures sont minimisées. Des fonctions de mappage peuvent être utilisées pour reporter la valeur attendue qui serait obtenue à partir d'une mesure de déploiement de référence fondée sur les mesures de la fibre telle qu'elle est déployée sur une bobine de transport. La fonction de mappage doit être développée à partir des mesures d'un ensemble de fibres qui ont été déployées des deux manières et qui représentent toute la gamme des valeurs de largeur de bande présentant un intérêt.

---

<sup>9</sup> SSFL = *system stability frequency limit*.

Pour la fibre de catégorie A4, l'échantillon en essai doit être enroulé sur des bobines d'un diamètre d'au moins 300 mm, sans contrainte. On doit être certain que l'échantillon en essai ne subit ni macro ni micro-courbures et que la distribution d'énergie à la sortie du système d'injection est réellement constante.

### 5.5 Positionnement de l'échantillon en essai

Positionner l'extrémité d'entrée de l'échantillon en essai de manière à ce qu'elle soit alignée avec l'extrémité de sortie du système d'injection pour créer les conditions d'injection conformes au paragraphe 4.2.

Positionner l'extrémité de sortie de l'échantillon en essai de manière qu'elle soit alignée avec le détecteur optique.

## 6 Procédure

### 6.1 Méthode A – Mesure dans le domaine temporel (distorsion d'impulsion)

#### 6.1.1 Mesure de l'impulsion de sortie

- a) Injecter la puissance dans la fibre en essai et régler l'affaiblisseur optique ou l'électronique de détection, ou les deux, de manière à ce que l'impulsion optique complète provenant de la fibre soit affichée sur l'oscilloscope étalonné, y compris tous les fronts et flancs arrière ayant une amplitude supérieure ou égale à 1 % ou -20 dB de l'amplitude de crête.
- b) Enregistrer l'amplitude détectée et la vitesse de balayage étalonnée de l'oscilloscope.
- c) Enregistrer l'impulsion de sortie de la fibre et calculer la transformée de Fourier de cette impulsion, selon l'Annexe B.
- d) Déterminer l'impulsion d'entrée sur l'échantillon en essai en mesurant le signal qui sort de l'échantillon de référence. Ceci peut être réalisé en utilisant une longueur de référence prélevée sur l'échantillon en essai ou sur une fibre similaire.

#### 6.1.2 Méthode A-1 de mesure de l'impulsion d'entrée échantillon de référence provenant de l'échantillon en essai

- a) Couper la fibre en essai à proximité de l'extrémité d'entrée selon 5.2. Créer une nouvelle surface d'extrémité de sortie, selon 5.3, et aligner l'extrémité par rapport au détecteur optique comme indiqué au point a) de 6.1.1 a). Ne pas perturber l'extrémité d'entrée.
- b) Appliquer le supprimeur de modes de gaine, s'il est utilisé (voir 5.2).
- c) Si un atténuateur optique est utilisé, ne rechercher que la même amplitude d'impulsion affichée que celle indiquée en 6.1.1 a).
- d) Enregistrer l'impulsion d'entrée du système en utilisant la même vitesse de balayage de l'oscilloscope que pour l'échantillon en essai et calculer la transformée de Fourier de l'impulsion d'entrée selon l'Annexe B.

#### 6.1.3 Méthode A-2 de mesure de l'impulsion d'entrée: échantillon de référence périodique

- a) La procédure suivante d'étalonnage du système qui utilise l'échantillon de référence périodique doit être effectuée dans un intervalle de temps sensiblement identique à celui utilisé pour déterminer la SSFL (voir 4.6). Dans la plupart des cas où la préparation appropriée de l'embrouilleur de modes, de la diode laser et de l'équipement d'alignement a été réalisée, il est acceptable d'utiliser un échantillon de référence qui ne soit pas prélevé sur l'échantillon en essai.
- b) Préparer les extrémités d'entrée et de sortie selon 5.3 sur un échantillon de référence de la même classe de fibre et avec les mêmes dimensions optiques nominales que l'échantillon en essai.
- c) Aligner les extrémités d'entrée et de sortie comme indiqué en 5.5 et, si un atténuateur optique est utilisé, régler pour obtenir l'amplitude d'impulsion affichée correcte.

- d) Enregistrer l'impulsion d'entrée du système en utilisant la même vitesse de balayage de l'oscilloscope que pour l'échantillon en essai et calculer la transformée de Fourier de l'impulsion d'entrée selon l'Annexe B.

## 6.2 Méthode B – Mesure dans le domaine fréquentiel Réponse fréquentielle de sortie

- a) Balayer la fréquence de modulation,  $f$ , de la source depuis une fréquence basse, pour fournir un niveau de référence adéquat continu, jusqu'à une fréquence haute supérieure à la largeur de bande de 3 dB. Enregistrer la puissance optique relative sortant de l'échantillon à l'essai en fonction de  $f$ ; la désigner comme  $P_{out}(f)$ . Si un analyseur de réseaux et la réponse impulsionnelle sont désirés, il convient que la fréquence haute dépasse -15 dB et que la phase  $\phi_{out}(f)$  soit enregistrée.

NOTE Une fonction liée à  $P_{out}(f)$ , telle que  $\log P_{out}(f)$ , peut être enregistrée pour obtenir finalement  $|H(f)|$  au 7.1.

- b) Déterminer le signal modulé d'entrée sur l'échantillon en essai en mesurant le signal qui sort de la longueur de référence de la fibre. Ceci peut être réalisé en utilisant une longueur de référence de l'échantillon en essai (Méthode B-1; la méthode préférentielle à utiliser en cas de conflit dans les résultats d'essai) ou à partir d'une fibre similaire (Méthode B-2).

### 6.2.2 Méthode B-1: Longueur de référence de l'échantillon à l'essai

- a) Couper l'échantillon en essai à proximité de l'extrémité d'entrée et préparer des surfaces d'extrémité plates (voir 5.3) au niveau de cette extrémité de sortie nouvellement créée. Supprimer le mode de gaine de l'extrémité de la sortie, si nécessaire. Ne pas perturber les conditions d'injection sur cette faible longueur.
- b) Balayer la fréquence de modulation,  $f$ , de la source depuis la fréquence basse, pour fournir un niveau de référence adéquat continu, jusqu'à une fréquence haute supérieure à la largeur de bande de 3 dB. Enregistrer la puissance optique relative sortant de la longueur de référence en fonction de  $f$ ; la désigner comme  $P_{in}(f)$ .

### 6.2.3 Méthode B-2: Longueur de référence d'une fibre similaire

- a) Si l'appareil existe pour positionner une fibre à la même place dans la sortie de l'embrouilleur de modes que celle de l'entrée de l'échantillon en essai alors une autre faible longueur de fibre ayant les mêmes propriétés nominales de l'échantillon en essai peut être utilisée à sa place comme référence. Utiliser la fibre de référence pour remplacer l'échantillon en essai. Appliquer un supprimeur de modes de gaine, si nécessaire et aligner l'extrémité de sortie devant le détecteur.
- b) Balayer la fréquence de modulation,  $f$ , de la source depuis la fréquence basse, pour fournir un niveau de référence adéquat continu, jusqu'à une fréquence haute supérieure à la largeur de bande de 3 dB. Enregistrer la puissance optique relative sortant de la longueur de référence en fonction de  $f$ ; la désigner comme  $P_{in}(f)$ .

NOTE Une fonction liée à  $P_{in}(f)$ , telle que  $\log P_{in}(f)$ , peut être enregistrée pour obtenir finalement  $|H(f)|$  au 7.2.

## 6.3 Méthode C – Largeur de bande modale avec injection saturée calculée à partir du retard de mode différentiel (OMBc)

- a) Mesurer le retard de mode différentiel de la fibre conformément à la CEI 60793-1-49.
- b) Calculer la largeur de bande modale saturée selon les formules du B2 de la CEI 60793-1-49:2006 en utilisant les valeurs données au Tableau 1 ci-dessous. L'interpolation linéaire de la valeur doit être appliquée pour toute position radiale du balayage réel qui est connu comme étant compris entre les positions d'entiers indiquées dans le Tableau 1.

NOTE Les pondérations du Tableau 1 sont uniquement applicables aux fibres A1a à 850 nm.

**Tableau 1 – Poids de DMD pour calculer la largeur de bande modale saturée (OMBc) à partir des données de DMD, à 850 nm seulement**

| $r$ ( $\mu\text{m}$ ) | Valeurs de DMD pour OMBc |
|-----------------------|--------------------------|
| 0                     | 0                        |
| 1                     | 0,00073                  |
| 2                     | 0,00157                  |
| 3                     | 0,00253                  |
| 4                     | 0,00362                  |
| 5                     | 0,00487                  |
| 6                     | 0,00631                  |
| 7                     | 0,00795                  |
| 8                     | 0,00983                  |
| 9                     | 0,01198                  |
| 10                    | 0,01443                  |
| 11                    | 0,01725                  |
| 12                    | 0,02046                  |
| 13                    | 0,02414                  |
| 14                    | 0,02836                  |
| 15                    | 0,03317                  |
| 16                    | 0,03869                  |
| 17                    | 0,04500                  |
| 18                    | 0,05221                  |
| 19                    | 0,06047                  |
| 20                    | 0,06992                  |
| 21                    | 0,08073                  |
| 22                    | 0,09310                  |
| 23                    | 0,10725                  |
| 24                    | 0,12345                  |
| 25                    | 0,14197                  |

## 7 Calculs ou interprétation des résultats

### 7.1 Fréquence $-3$ dB, $f_{3\text{ dB}}$

Calculer la réponse fréquentielle,  $H(f)$ . Calculer la largeur de bande de la fibre  $-3$  dB,  $f_{3\text{ dB}}$  conformément à l'Annexe B.

Si la fréquence mesurée  $-3$  dB dépasse la NIDL (comme calculée en 4.1.4) divisée par la longueur de fibre,  $L$ , en km, noter le résultat mesuré. Dans ce cas, il est préférable de montrer que le résultat de mesure peut avoir été limité par l'équipement, comme représenté dans l'exemple 1.

EXEMPLE 1 Une fibre de 2,2 km de long a une fréquence  $-3$  dB de longueur normalisée mesurée de 2,2 GHz·km, mais le système de mesure a une valeur de NIDL de 2 GHz·km à cette longueur d'onde. Le résultat est de préférence présenté ">valeur mesurée normalisée" (">2,2 GHz·km", dans cet exemple). De même, la valeur réelle mesurée est de préférence présentée ">{valeur mesurée}" (">1,0 GHz", dans cet exemple). Le signe ">" montre que la valeur mesurée peut avoir été limitée par une série d'essais. Si la fréquence  $-3$  dB mesurée dépasse la SSFL (comme déterminé en 4.6), indiquer le résultat comme supérieur à la SSFL comme indiqué dans l'exemple 2.

EXEMPLE 2 Une fibre de 2,2 km de long a une fréquence -3 dB mesurée de 0,95 GHz (2,09 GHz·km), qui est supérieure à la SSFL pour la série d'essai, 0,9 GHz (1,98 GHz·km pour cette longueur de fibre). Présenter le résultat comme ">(SSFL)" ("> 0,9 GHz", ici). Présenter le résultat en longueur normalisée comme ">(SSFL fois la longueur d'échantillon en km)" (">1,98 GHz·km", ici). Le signe ">" est nécessaire pour montrer que la valeur mesurée est limitée par une série d'essais.

## 7.2 Calculs pour les méthodes de présentation optionnelles

D'autres méthodes de présentation peuvent être exigées par une spécification particulière au lieu de  $f_{3\text{ dB}}$ . Se référer à l'annexe appropriée:

B.1: Fonction de transfert de fibre,  $H(f)$

B.2: Spectre de puissance,  $|H(f)|$

C.1: Réponse impulsionnelle de fibre,  $h(t)$

C.2: Réponse impulsionnelle RMS, méthode exacte

C.3: Réponse impulsionnelle RMS, différence de l'approximation des carrés

## 8 Normalisation de la longueur

Il peut être souhaitable de normaliser la largeur de bande ou l'élargissement d'impulsion à une unité de longueur, telle que GHz·km ou ns/km. Si la largeur de bande ou l'élargissement d'impulsion est normalisé à une longueur d'unité, la formule de dépendance de longueur doit être indiquée.

## 9 Résultats

### 9.1 Informations à fournir pour chaque essai

Relever les informations suivantes pour chaque essai:

- référence de la procédure d'essai et méthode utilisée;
- conditions d'injection utilisées (RML ou OFL, DMD);
- date d'essai;
- identification de l'échantillon en l'essai;
- résultats des essais:  $f_{3\text{ dB}}$  (7.1) ou résultats d'autres méthodes de présentation selon ce qui est stipulé dans la spécification particulière;
- longueur d'onde source (nominale ou réelle);
- longueur de l'échantillon;
- formule de normalisation de la longueur, si utilisée.

### 9.2 Informations à fournir sur demande

Les informations suivantes doivent être fournies sur demande:

- source: type, longueur d'onde de source réelle, largeur spectrale maximale spécifiée ou réelle (FWHM) – indiquer si pas mesuré;
- description de l'embrouilleur de modes et de l'appareil d'injection;
- limite de dispersion intermodale normalisée (NIDL), pour chaque longueur d'onde de mesure;
- type de détecteur et conditions de fonctionnement;

- détails de la procédure de calcul pour la largeur de bande ou autres méthodes de présentation;
- méthode de suppression de la lumière de gaine;
- date du dernier étalonnage en date de l'équipement d'essai;
- titre de l'essai;
- personnel d'essai.

## **10 Information à mentionner dans la spécification**

La spécification particulière doit préciser les informations suivantes:

- nombre et type d'échantillons à soumettre aux essais;
- référence de la procédure d'essai;
- méthode de présentation à utiliser, si autre que 7.1;
- longueur(s) d'onde d'essai.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60793-1-41:2010

## **Annexe A** (normative)

### **Facteur de dispersion intra-modale et limite de dispersion intermodale normalisée**

#### **A.1 Facteur de dispersion intra-modale, IDF**

Cette méthode d'essai est destinée à mesurer la largeur de bande intermodale d'une fibre. Cependant, la dispersion supplémentaire causée par l'interaction du spectre laser avec la dispersion chromatique de la fibre peut réduire la valeur mesurée. Le but de l'IDF est de fournir les moyens pour limiter cette source d'erreur de mesure. L'IDF est donné en GHz·km·nm et correspond à la fréquence à laquelle la largeur de bande mesurée tombe à 90 % de la largeur de bande intermodale, par nanomètre de largeur spectrale de la source, par kilomètre de longueur de fibre. Voir A.3 pour la déduction de l'IDF. Les données du Tableau A.1 représentent la dispersion attendue la plus élevée pour toute fibre de la catégorie A1 disponible sur le marché, sur la base de la performance de dispersion nominale. Pour les données du tableau inférieures à 1 200 nm, la dispersion est la plus forte avec une fibre de  $\lambda_0$  maximale (fibre à 0,29 d'ouverture numérique). Pour les données du tableau supérieures à 1 400 nm, la dispersion est la plus forte avec une fibre de  $\lambda_0$  minimale (fibre à 0,20 d'ouverture numérique). Ici  $\lambda_0$  est la longueur d'onde à dispersion nulle. L'IDF n'est pas utilisée entre 1 200 et 1 400 nm.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60793-1-41:2010

**Tableau A.1 – Dispersion attendue la plus forte pour les fibres de la catégorie A1 disponibles sur le marché**

| $\lambda$<br>(nm) | IDF<br>(GHz·km·nm) | $\lambda$<br>(nm) | IDF<br>(GHz·km·nm) | $\lambda$<br>(nm) | IDF<br>(GHz·km·nm) |
|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| 780               | 1,31               |                   |                    |                   |                    |
| 790               | 1,37               |                   |                    |                   |                    |
|                   |                    |                   |                    |                   |                    |
| 800               | 1,44               | 1 000             | 3,54               | 1 400             | 23,18              |
| 810               | 1,50               | 1 010             | 3,71               | 1 410             | 21,15              |
| 820               | 1,57               | 1 020             | 3,90               | 1 420             | 19,49              |
| 830               | 1,64               | 1 030             | 4,09               | 1 430             | 18,09              |
| 840               | 1,72               | 1 040             | 4,30               | 1 440             | 16,90              |
| 850               | 1,79               | 1 050             | 4,52               | 1 450             | 15,87              |
| 860               | 1,88               | 1 060             | 4,76               | 1 460             | 14,98              |
| 870               | 1,96               | 1 070             | 5,02               | 1 470             | 14,20              |
| 880               | 2,05               | 1 080             | 5,30               | 1 480             | 13,50              |
| 890               | 2,14               | 1 090             | 5,60               | 1 490             | 12,89              |
|                   |                    |                   |                    |                   |                    |
| 900               | 2,24               | 1 100             | 5,92               | 1 500             | 12,33              |
| 910               | 2,34               | 1 110             | 6,27               | 1 510             | 11,83              |
| 920               | 2,45               | 1 120             | 6,65               | 1 520             | 11,37              |
| 930               | 2,56               | 1 130             | 7,07               | 1 530             | 10,96              |
| 940               | 2,68               | 1 140             | 7,53               | 1 540             | 10,58              |
| 950               | 2,80               | 1 150             | 8,03               | 1 550             | 10,23              |
| 960               | 2,93               | 1 160             | 8,59               | 1 560             | 9,91               |
| 970               | 3,07               | 1 170             | 9,22               | 1 570             | 9,61               |
| 980               | 3,22               | 1 180             | 9,92               | 1 580             | 9,34               |
| 990               | 3,37               | 1 190             | 10,71              | 1 590             | 9,08               |
|                   |                    |                   |                    | 1 600             | 8,84               |

NOTE Hypothèses utilisées:  $S_0 = 0,09562 \text{ ps}/(\text{nm}^2 \cdot \text{km})$ ;  $\lambda_0 = 1\,344,5 \text{ nm}$  pour MMF nominale w/0,29 NA.

## A.2 Limite de dispersion intermodale normalisée, NIDL

La largeur de bande maximale qui peut être fournie par un appareillage d'essai est limitée par la limite de dispersion intermodale normalisée (NIDL). La NIDL est calculée pour chaque longueur d'onde de mesure d'un appareillage d'essai selon 4.1.4, en utilisant les valeurs d'IDF prises au Tableau A.1. La largeur spectrale de la source utilisée dans le calcul peut être soit une valeur maximale pour le dispositif comme spécifié par le fabricant d'appareils soit, de préférence, une valeur mesurée.

Etant donné que la NIDL est fondée sur l'IDF, une largeur de bande mesurée, normalisée en longueur égale à la NIDL est de 10 % inférieure à la largeur de bande intermodale réelle. L'erreur diminue pour les largeurs de bande mesurées inférieures à la NIDL et augmente rapidement au-delà de celle-ci. L'erreur réelle sera typiquement inférieure de quelques pour cents à celle-ci car la dispersion réelle de l'échantillon en essai sera inférieure à la valeur utilisée dans l'IDF et la largeur spectrale de source peut être exagérée. Compte tenu de ces approximations et de l'instabilité spectrale de la source, la correction de la dispersion chromatique n'est pas appropriée.

La NIDL n'est pas définie pour les longueurs d'onde comprises entre 1 200 nm et 1 400 nm car la dispersion intramodale des mesures de fibre est négligeable lorsqu'elle est utilisée avec les lasers dans cette gamme.

NOTE Les calculs du Tableau A.1 sont déduits à partir de l'hypothèse selon laquelle le spectre est Gaussien. Si cette hypothèse n'est pas valable, des précautions sont nécessaires pour l'interprétation du tableau.

### A.3 Dérivation de l'IDF

Pour la dérivation de l'IDF, on part de l'hypothèse selon laquelle les éléments suivants ont des distributions Gaussiennes:

- 1) élargissement de l'impulsion temporelle chromatique et modale,  $D_{\text{chrom}}$  et  $D_{\text{modal}}$ , respectivement,
- 2) toutes les réponses fréquentielles (amplitudes)
- 3) le spectre de la source optique, exprimé comme  $\Delta\lambda_s$  (nm, FWHM).

La relation entre la dispersion et la largeur de bande est exprimée comme suit:

$$D = \frac{k}{BW} \quad (\text{A.1})$$

où  $k = 187$  pour la dispersion RMS en ps et largeur de bande -3 dB en GHz. En prenant l'hypothèse selon laquelle la dispersion chromatique et la dispersion modale sont indépendantes, la dispersion totale (mesurée),  $D_{\text{meas}}$ , peut s'écrire comme suit:

$$D_{\text{meas}} = \sqrt{D_{\text{chrom}}^2 + D_{\text{modal}}^2} \quad (\text{A.2})$$

La combinaison de A.1 et de A.2 donne le résultat suivant:

$$\left[ \frac{BW_{\text{meas}}^2}{BW_{\text{chrom}}^2} \right] + \left[ \frac{BW_{\text{meas}}^2}{BW_{\text{modal}}^2} \right] = 1 \quad (\text{A.3})$$

Soit  $\varepsilon$  représentant une erreur de mesure causée par la dispersion chromatique telle que

$$BW_{\text{meas}} = (1 - \varepsilon) BW_{\text{modal}} \quad (\text{A.4})$$

La largeur de bande chromatique (en GHz) peut être calculée comme suit:

$$BW_{\text{chrom}} = \frac{440}{D(\lambda)L\Delta\lambda_s} \quad (\text{A.5})$$

où  $D(\lambda)$  est le coefficient de dispersion chromatique de la fibre (en ps/(nm·km)) à la longueur d'onde  $\lambda$ , et  $L$  est la longueur de fibre en km.  $D(\lambda)$  est définie dans la CEI 60793-1-42.

La combinaison de A.3, A.4 et A.5 donne la définition de l'IDF:

$$\text{IDF} = BW_{\text{meas}} L \Delta\lambda_s = \frac{440 \sqrt{2\varepsilon - \varepsilon^2}}{D(\lambda)} \quad (\text{A.6})$$

Spécifiquement, pour  $\varepsilon = 0,1$  (10 % erreur),

$$IDF = \frac{192}{D(\lambda)} (GHz \cdot km \cdot nm) \quad (A.7)$$

pour  $D(\lambda)$  en ps/(nm·km).

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60793-1-41:2010