

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Fibre optic interconnecting devices and passive components – Basic test and measurement procedures –
Part 3-43: Examinations and measurements – Mode transfer function measurement for fibre optic sources**

**Dispositifs d'interconnexion et composants passifs fibroniques – Procédures fondamentales d'essais et de mesures –
Partie 3-43: Examens et mesures – Mesure de la fonction de transfert modal pour sources fibroniques**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2009 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester. If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

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

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

IEC online collection - oc.iec.ch

Discover our powerful search engine and read freely all the publications previews. With a subscription you will always have access to up to date content tailored to your needs.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 000 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 18 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

A propos de l'IEC

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

A propos des publications IEC

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

Recherche de publications IEC -

webstore.iec.ch/advsearchform

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

IEC online collection - oc.iec.ch

Découvrez notre puissant moteur de recherche et consultez gratuitement tous les aperçus des publications. Avec un abonnement, vous aurez toujours accès à un contenu à jour adapté à vos besoins.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 000 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 16 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Fibre optic interconnecting devices and passive components – Basic test and measurement procedures –
Part 3-43: Examinations and measurements – Mode transfer function measurement for fibre optic sources**

**Dispositifs d'interconnexion et composants passifs fibroniques – Procédures fondamentales d'essais et de mesures –
Partie 3-43: Examens et mesures – Mesure de la fonction de transfert modal pour sources fibroniques**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 33.180.20

ISBN 978-2-8322-9359-1

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

CONTENTS

FOREWORD.....	3
1 Scope.....	5
2 Normative references	5
3 General description	5
4 Theory.....	5
4.1 Alternative method	7
4.2 Mode power distribution	7
4.3 Constraints.....	8
5 Apparatus.....	9
5.1 General.....	9
5.2 Test sample	9
5.3 Sample positioning device.....	9
5.4 Optical system.....	10
5.5 Camera	10
5.6 Video digitiser	10
5.7 Calibration.....	10
6 Procedure	11
6.1 Mounting and aligning the sample	11
6.2 Optimisation	11
6.3 Acquiring the data	11
7 Calculations	11
7.1 Background level subtraction.....	11
7.2 Location of centroid of intensity profile	12
7.3 Differentiating the intensity profile	12
7.4 Computing the MTF	14
8 Results.....	15
Annex A (informative)	16
Bibliography.....	18
Figure 1 – Example of normalised MTF	7
Figure 2 – Example of normalised MPD	8
Figure 3 – Schematic of measurement apparatus.....	9
Figure 4 – Location of fibre centre using symmetry computation	13
Figure A.1 – Sensitivity of MTF and MPD to core diameter.....	16
Figure A.2 – Sensitivity of MTF and MPD to profile factor	17

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

FIBRE OPTIC INTERCONNECTING DEVICES AND PASSIVE COMPONENTS – BASIC TEST AND MEASUREMENT PROCEDURES –

Part 3-43: Examinations and measurements – Mode transfer function measurement for fibre optic sources

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 provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 61300-3-43 has been prepared by subcommittee 86B: Fibre optic interconnecting devices and passive components, of IEC technical committee 86: Fibre optics.

This standard cancels and replaces IEC/PAS 61300-3-43, published in 2006. This first edition constitutes a technical revision.

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

FDIS	Report on voting
86B/2780/FDIS	86B/2810/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.

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

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

IMPORTANT – The "colour inside" logo on the cover page of this document 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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61300-3-43:2009

FIBRE OPTIC INTERCONNECTING DEVICES AND PASSIVE COMPONENTS – BASIC TEST AND MEASUREMENT PROCEDURES –

Part 3-43: Examinations and measurements – Mode transfer function measurement for fibre optic sources

1 Scope

This part of IEC 61300 describes the method for measuring the mode transfer function (MTF) to be used in characterising the launch conditions for measurements of attenuation and or return loss of multimode passive components. The MTF may be measured at the operational wavelengths.

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 61300-1, *Fibre optic interconnecting devices and passive components – Basic test and measurement procedures – Part 1: General and guidance*

IEC 61300-3-4, *Fibre optic interconnecting devices and passive components – Basic test and measurement procedures – Part 3-4: Examination and measurements – Attenuation*

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

3 General description

The modal distribution launched into multimode fibre can vary widely with different light sources. This variation in launched modal distribution can result in significant differences in measured attenuation in the same component. The MTF test method gives information about the launched modal distribution (LMD) condition in a measured component. The MTF test method is based on a measurement of the near-field intensity distribution in the fibre [1], [2]¹.

4 Theory

For a fibre with a power-law index profile $n(r)$, given by,

$$n(r) = n_1 \left[1 - 2\Delta \left(\frac{r}{a} \right)^\alpha \right]^{0.5} \quad \left(\frac{r}{a} \right) \leq 1 \quad (1)$$

where

a is the fibre core radius;

α is the profile factor ($\alpha = 2$ for a parabolic profile);

¹ Figures in square brackets refer to the Bibliography.

Δ is the relative index difference, given by

$$\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2} \quad (2)$$

where

n_1 is the index at fibre centre;

n_2 is the cladding index.

The near-field intensity profile in the fibre $I(r)$ may be determined from an integration of the mode transfer function $MTF(\delta)$ in the fibre, as follows (ignoring constants):

$$I(r) = \int_{\Delta(r/a)^\alpha}^{\Delta} MTF(\delta) \times d\delta \quad (3)$$

where

δ is the normalised propagation constant;

r/a is the normalised radial position.

Differentiating both sides gives the MTF as follows (ignoring constants):

$$MTF(\delta) = \left[\frac{dI(r)}{dr} \times \frac{1}{r^{\alpha-1}} \right]_{\delta=\Delta(r/a)^\alpha} \quad (4)$$

The MTF is usually plotted as in terms of the principal mode number m divided by the maximum principal mode number M , where

$$\frac{m}{M} = \left[\frac{\delta}{\Delta} \right]^{(2+\alpha)/2\alpha} = \left[\frac{r}{a} \right]^{(2+\alpha)/2} \quad (5)$$

The term (m/M) is usually referred to as the relative mode number, or the normalised mode number.

The maximum principle mode number M , is given by

$$M = \sqrt{\frac{\alpha}{\alpha+2}} \left(\frac{n_1 2\pi a}{\lambda} \right) \sqrt{\Delta} \quad (6)$$

A typical normalised MTF plot is shown in Figure 1, where it can be seen, in this example, that normalised mode numbers up to about 0,6 are equally filled and higher order modes are progressively less well-filled.

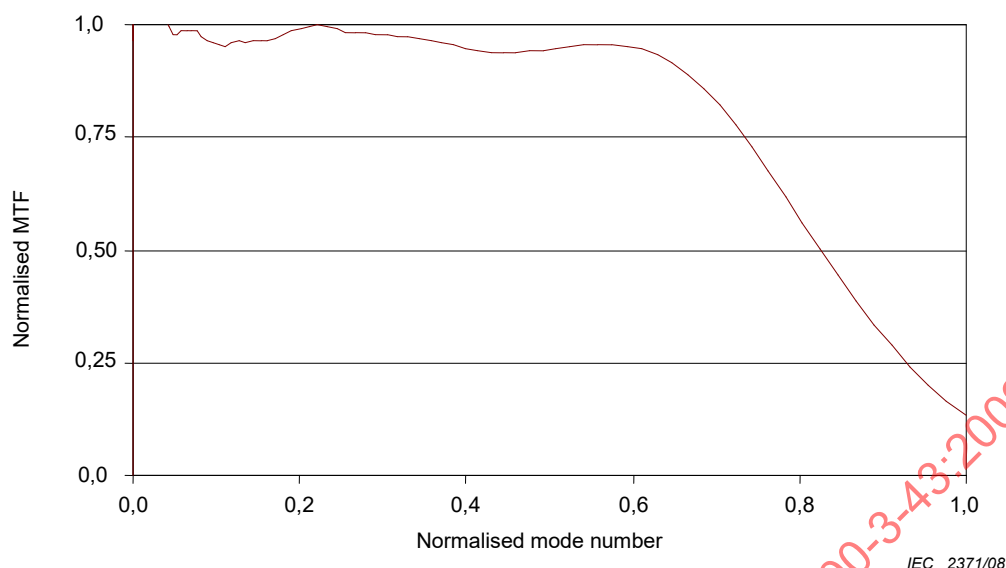


Figure 1 – Example of normalised MTF

4.1 Alternative method

If the profile factor, α , in Equation (4) is not known, then an alternative expression for MTF can be used.

It is known[3] that in a fully-filled fibre (i.e. MTF=1 for all mode numbers) the near-field intensity profile, I_o , is approximately the same shape as the square of the refractive index profile, $n(r)^2$. Furthermore, the term $r^{\alpha-1}$ in Equation (4) is equal (ignoring constants) to the differential of $n(r)^2$ and so Equation(4) can be rewritten as:

$$MTF(\delta) = \left[\frac{dI(r)}{dr} \times \frac{1}{dI_o(r)/dr} \right]_{\delta=\Delta(r/a)^2} \quad (7)$$

where a value of $\alpha=2$ has been assumed in order to compute values for the normalised mode number.

Thus the MTF is equal to the ratio of the derivative of the intensity profile under test to the derivative of the intensity profile of the same fibre under fully-filled conditions.

4.2 Mode power distribution

For graded index multimode fibre the number of discrete modes in a particular mode group is proportional to the principal mode number. Thus higher-order mode groups contain more modes and therefore will carry more light if all the modes are equally excited. This can be represented by the mode power distribution (MPD), defined as:

$$MPD(m) = MTF(m) \times m \quad (8)$$

Because of this relationship of modes within mode groups, the MPD transform effectively displays the relative power in the mode groups.

An example of a normalised MPD is shown in Figure 2, where it can be seen, in this case, that the peak power level occurs around 0,65 normalised mode number.

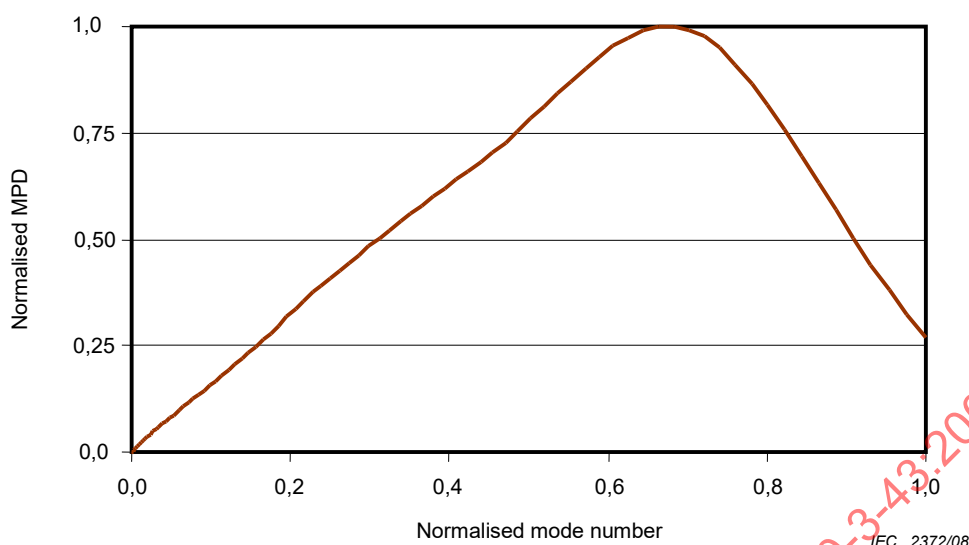


Figure 2 – Example of normalised MPD

4.3 Constraints

The MTF measurement method described herein is only valid under certain conditions, as follows:

- modes within a mode group carry the same power;
- there are random phases between the propagating modes.

It has been found[4] that both these conditions can be simultaneously met if the line-width $\Delta\lambda$ of the source is sufficiently broad, leading to the so-called "mode-continuum approximation", given by:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} \geq \frac{\sqrt{2\Delta}}{a \times k_0 \times N} \quad (10)$$

where

λ is the optical wavelength;

$k_0 = 2\pi/\lambda$;

N is the group index, given by

$$N = n_1 - \lambda \times \frac{dn_1}{d\lambda} \quad (11)$$

Typically, for a 50 μm core diameter fibre, with 0,21 numerical aperture, then $\Delta\lambda > 0,5 \text{ nm}$ at 850 nm and $\Delta\lambda > 1,0 \text{ nm}$ at 1 300 nm satisfy this condition.

If the source line-width does not meet this criterion then interference between propagating modes may take place, resulting in "speckle" in the near-field image. The method can, however, still be applied to such sources by gently shaking, or somehow agitating, the fibre under test so as to cause a temporal averaging of the speckle pattern. In this case, it is important to ensure the near-field is azimuthally symmetric. This can be achieved by checking that the MTFs measured at 45° intervals around the fibre coincide with each other[5].

- The peak of the MPD occurs at a normalised mode number of $<0,8$.

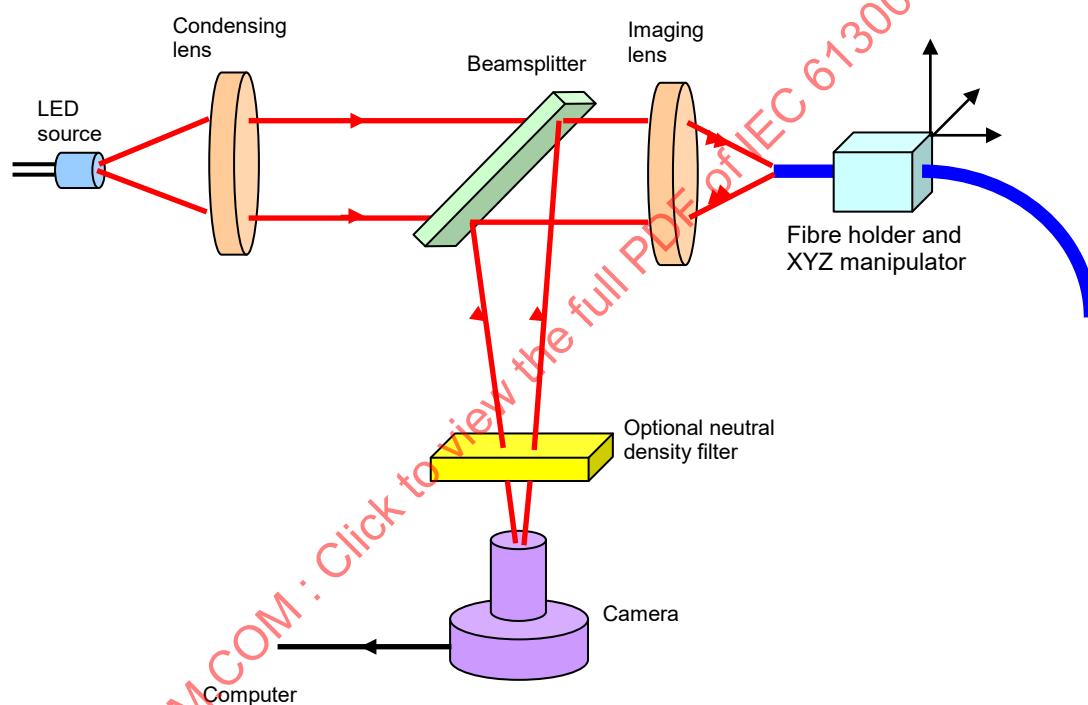
It is known that deviation of the measured near-field intensity profile $I(r)$ from the power law profile in Equation (1), for fibres that are well-filled, may occur towards the core/cladding boundary. It is recommended that, in this case, the alternative method for the determination of MTF described in 4.1 is employed.

5 Apparatus

5.1 General

The apparatus is essentially a video microscope where a near-field image of the end of the fibre under test is formed on the surface of a camera by an optical system. The camera image is then digitised by a video digitiser and transferred to a computer for analysis and data presentation.

A schematic of a typical measurement configuration is shown in Figure 3.



IEC 2373/08

Figure 3 – Schematic of measurement apparatus

5.2 Test sample

The test sample consists of a multimode patch cord attached to a light source. It should be recognised that the mode distribution at the output of the patch cord is a product of both the launch conditions of the source and of the patch cord itself. The resultant MTF is therefore not a parameter of either the light source or the patch cord individually but rather of the combination, including the particular conditions under which the patch cord is disposed, such as bend radius.

5.3 Sample positioning device

A positioning device is required to ensure that the end of the patch cord under test is located on the optical axis of the instrument and also in the correct axial position to give a well-focussed image on the camera. For this purpose, an XYZ manipulation stage may be used or, preferably, a suitable connector receptacle mounted axially with the optics. An example is a standard 2,5 mm ferrule receptacle which is able to accommodate several connector types,

such as FC, ST and SC. In this case, the XY positioning of the patch cord is well-defined and only a focussing adjustment is required.

5.4 Optical system

The optical system comprises magnifying optics to produce an image of the fibre end on the camera. To optimise measurement resolution, it is recommended that the optical magnification shall be chosen so that the image of the fibre core fills a reasonable proportion of the camera. Typically, this might be between 20 % and 50 % of the vertical extent of the camera.

The numerical aperture of the imaging system shall be greater than the numerical aperture of the fibre under test.

A means of illuminating the end face of the fibre in reflection may also be provided, such as a beam splitter and an LED source positioned between the focussing lens and the camera.

Neutral density (ND) filters may also be provided to control the amount of light reaching the camera.

5.5 Camera

A high quality camera shall be used that has demonstrable geometrical uniformity and intensity linearity. The pixel size of the camera, *picsize*, shall be sufficiently small compared with the magnified near-field image as to be less than the system diffraction limits by a factor of 2, given by

$$Picsize < \frac{0,61 Mag \lambda}{2 NA} \quad (12)$$

where

Mag is the system magnification;

NA is the numerical aperture of the fibre.

For example, if *Mag* = 20, *NA* = 0,21, λ = 850 nm then *picsize* < 24 µm. It is recommended, however, that the camera pixel size is much smaller than this. In this example, the corresponding pixel size at the fibre would be equal to *picsize* divided by *Mag*, which is equal to 1,2 µm.

5.6 Video digitiser

The video digitiser, which is connected to the camera, provides the computer with a digitised image of the fibre end. A typical video digitiser will provide an 8 bit image, although a digitiser providing more bits, for example 12, may be used for increased resolution.

5.7 Calibration

The calibration factor is expressed in units of µm/pixel. It is required in 7.4 to convert the processed data between pixel space and µm units.

The optical system may be calibrated by measuring an artefact of known dimension, such as a microscope graticule or an optical fibre of known cladding diameter. The calibration artefact is positioned in the object plane of the system and focussed onto the camera. In the case of a graticule, illumination may be by transmitted or reflected light. In the case of an optical fibre, reflected light must be used. This is typically achieved by the use of a light source and beam splitter positioned in the optical system between the focussing lens and the camera.

NOTE The wavelength of the illumination source should be within 30 nm of the nominal wavelength of the source under test so as to minimise chromatic effects on the system magnification.

Measure the size of the calibration artefact in pixels, n_{pix} . If the size of the artefact in μm is n_{cal} , then the calibration factor, $calfactor$, is given by

$$Calfactor = \frac{n_{cal}}{n_{pix}} \quad (13)$$

The system magnification, Mag , which is required in 5.5 may be calculated from the calibration factor as follows:

$$Mag = \frac{picsize}{calfactor} \quad (14)$$

NOTE In the case where the camera pixels are non-square, then the calibration factor must be determined along the particular axis of the camera that is used for subsequent MTF measurements, (see Clause 7).

6 Procedure

6.1 Mounting and aligning the sample

Mount the fibre to be measured in the sample positioning device in the object plane of the optical system and switch on the end illumination source. Align the lateral position of the fibre end, if necessary, and adjust the focus position of the fibre to give a well-focussed near-field image on the camera. Switch off the end illumination and switch on the source under test, which, if necessary, should be allowed to stabilise.

6.2 Optimisation

In order to utilise the full analogue-to-digital converter (ADC) range of the video digitiser effectively adjust the intensity of the image so that it fills typically about 90 % of the ADC range. This may be achieved by any or a combination of the following means:

- adjusting the intensity of the light source;
- the use of neutral density (ND) filters in front of the camera;
- adjusting the gain and/or electronic shuttering of the camera.

6.3 Acquiring the data

A digitised image of the fibre end is then transferred by the controlling computer for analysis. Typically the image is then converted to a two-dimensional array of ADC values for subsequent processing. In order to improve signal-to-noise ratio, several images or frames, can be serially acquired and their ADC values averaged on a pixel-by-pixel basis. A typical number of frames is ten to twenty, although, in the case of a coherent source where agitation must be used to break up the speckle pattern, several hundred frames is typical.

If the alternative method (4.1) is being used then it is necessary to disconnect the source under test from the patchcord and replace this with a source which overfills the patchcord. A second digitised image is then obtained in the same manner as above.

7 Calculations

7.1 Background level subtraction

It is important that the background level, or dark level, of the camera is uniform to avoid unwanted noise caused by the differential in Equation (4). The background uniformity may be

improved by acquiring image data with the light source turned off and then subtracting this on a pixel-by-pixel basis from the measured fibre image.

7.2 Location of centroid of intensity profile

The centroid, or centre of gravity, of the near-field image is required so that an intensity profile through the fibre centre can be extracted. To do this, only the vertical centroid is required. A typical method is as follows:

- a) locate the co-ordinates of the position of peak power in the image;
- b) extract a 2-D matrix of pixels, I_{core} , from the acquired, background-subtracted image, centred on the position of peak. The first index of I_{core} is the row index (y-dimension) whose extent is rows. The second index of I_{core} is the column index (x-dimension) whose extent is cols. I_{core} shall contain the entire core image although effort should be made to limit the dark pixels since they contribute only noise to the following computations;
- c) compute the sum of the intensity values along each row in I_{core} , $\text{sumrow}(i)$, yielding a 1D array of sums. This is called collapsing the 2D data onto the Y axis:

$$\text{Sumrow}(i) = \sum_{j=1}^{\text{cols}} I_{\text{core}}(i, j) \quad (15)$$

- d) compute the sum of the elements of the array of sums, yielding a single scalar number, sumofsums ;

$$\text{Sumofsums} = \sum_{i=1}^{\text{rows}} \text{sumrow}(i) \quad (16)$$

- e) compute the product of each element of the array of sums with its array co-ordinate and sum these products to yield a single scalar number, sumproduct ;

$$\text{Sumproduct} = \sum_{i=1}^{\text{rows}} \text{sumrow}(i) \times i \quad (17)$$

- f) the centroid, in pixel units, is then given by the sum of the products divided by the sum of the sums:

$$\text{Centroid} = \frac{\text{sumproduct}}{\text{sumofsums}} \quad (18)$$

- g) the intensity profile, $I(i)$, along the row that is nearest to the centroid is then extracted for analysis. Note that, for cameras meeting the requirements of Equation (12), the error in this approximation is negligible.

7.3 Differentiating the intensity profile

The next step is to differentiate the near-field intensity profile, as required by Equation (4). Any suitable numerical method can be used but a recommended method is that of the Savitsky-Golay filter[6]. This filter effectively fits a sliding polynomial across the data-set and computes the differential from the fitted coefficients. One such polynomial is that of a quadratic. A required parameter is the number of data-points over which the polynomial is fitted, known as the fit-window. Typically, the wider the fit-window the greater the data smoothing that occurs, similar to a low-pass filter. A trade-off exists, therefore between the level of noise in the differentiated data and amount of detail that is lost by the smoothing process.

The intensity profile that was extracted in 7.2 extends well beyond the extent of the fibre core. However, the MTF is only defined between the fibre centre and the edge of the core so the

end points need to be defined. The fibre centre is located from the differentiated data as follows:

- a) locate the approximate centre of the fibre by computing the mean pixel position, X_c , of the positions corresponding to the maximum and minimum values of the differentiated data-set, $Idiff(i)$;
- b) compute the symmetry function, $Sym(k)$, about this position, as follows:

$$Sym(k) = \sum_{i=X_c-nsym}^{k-1} |Idiff(i) \times |k-i|| + \sum_{i=k+1}^{X_c+nsym} |Idiff(i) \times |k-i|| \quad (19)$$

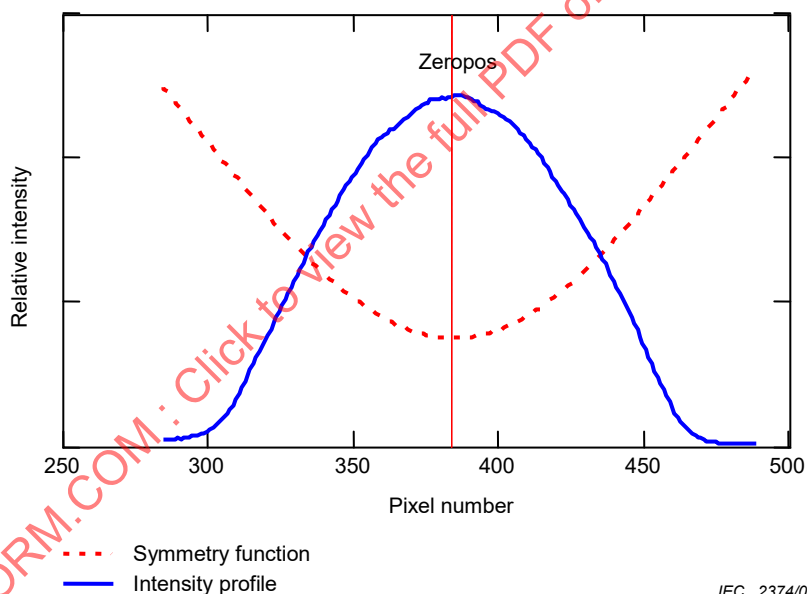
where

$nsym$ is the width of window for the symmetry computation, typically similar to the core radius, in pixels;

k takes integer values from (X_c-nsym) to (X_c+nsym) .

- c) locate the pixel nearest to the minimum of $Sym(k)$. This corresponds to the fibre centre.

An example of a computed symmetry function for a particular intensity profile is shown in Figure 4, where the position of maximum symmetry, corresponding to the minimum of the symmetry, zeropos, corresponding to the minimum of the symmetry function, is indicated.



IEC 2374/08

Figure 4 – Location of fibre centre using symmetry computation

Next, in order to compute the MTF, separate the differentiated data-set into two halves, left and right, about the computed fibre centre and average these together on a pixel-by-pixel basis.

For diagnostic purposes, the MTF may also be independently computed for both the left and right halves of the differentiated data-set. Comparison of the resulting curves provides a useful check of the requirement for azimuthal symmetry (4.3). Differences between the two curves may indicate, for example, that part of the fibre end is scratched or contaminated.

7.4 Computing the MTF

The final step is to divide the differential, $dI(r)/dr$, by the factor $(r^{\alpha-1})$, in pixel space, shown in Equation (4) and reproduced below as a function of the principal mode number:

$$MTF(m) = \left[\frac{dI(r)}{dr} \times \frac{1}{r^{\alpha-1}} \right]_{m=M \left[\frac{r}{a} \right]}^{(2+\alpha)/2} \quad (20)$$

The MTF is then normalised and plotted as a function of normalised mode number, given by Equation(5) as:

$$\frac{m}{M} = \left[\frac{r}{a} \right]^{(2+\alpha)/2} \quad (21)$$

where in Equation (21) the fibre core radius, a , is replaced by the number of pixels corresponding to the fibre core radius, $pixrad$:

$$Pixrad = \frac{a}{calfactor} \quad (22)$$

where calfactor is the calibration factor of the optical system, described in 5.7, and expressed in units of $\mu m/pixel$.

NOTE If the fibre core radius is unknown, then it may be determined according to the procedures given in IEC 60793-1-20.

If the alternative method is being used (see 4.1) then the reference image obtained in 6.3 is processed in the same way as described in 7.1 to 7.3. The MTF is computed, in pixel space, according to Equation (7), which is reproduced below as a function of the principal mode number:

$$MTF(m) = \left[\frac{dI(r)}{dr} \times \frac{1}{dI_o(r)/dr} \right]_{m=M \left[\frac{r}{a} \right]}^2 \quad (23)$$

The MTF is then normalised and plotted as a function of the normalised mode number, given by:

$$\frac{m}{M} = \left[\frac{r}{a} \right]^2 \quad (24)$$

where in Equation (24) the fibre core radius, a , is replaced by the number of pixels corresponding to the fibre core radius, $pixrad$, defined in Equation (22).

NOTE For display purposes, data points for a normalised mode number below 0,05 may be ignored in the normalisation and values greater than 1 in this region may not be plotted. Additionally, negative values may be omitted from the plot.

8 Results

The following information shall be provided with each measurement:

- date and title of measurement;
- identification of test method (this document);
- identification and description of specimen, including light source and patch cord;
- the test wavelength;
- the fit-window used in differentiating the profile intensity data, in μm ;
- the number of frames averaged;
- the normalised mode transfer function (MTF);
- the normalised mode power distribution (MPD);

The following information may also be provided if required:

- the near-field image (bitmap).

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61300-3-43:2009

Annex A (informative)

Sensitivity of MTF and MPD to core parameters

The measurement of the modal distribution according to Equation (4) depends on a knowledge of the fibre core radius and the index profile factor.

Examples of the effect on the MTF and MPD of entering different core diameters into Equation (4) are shown in Figure A.1

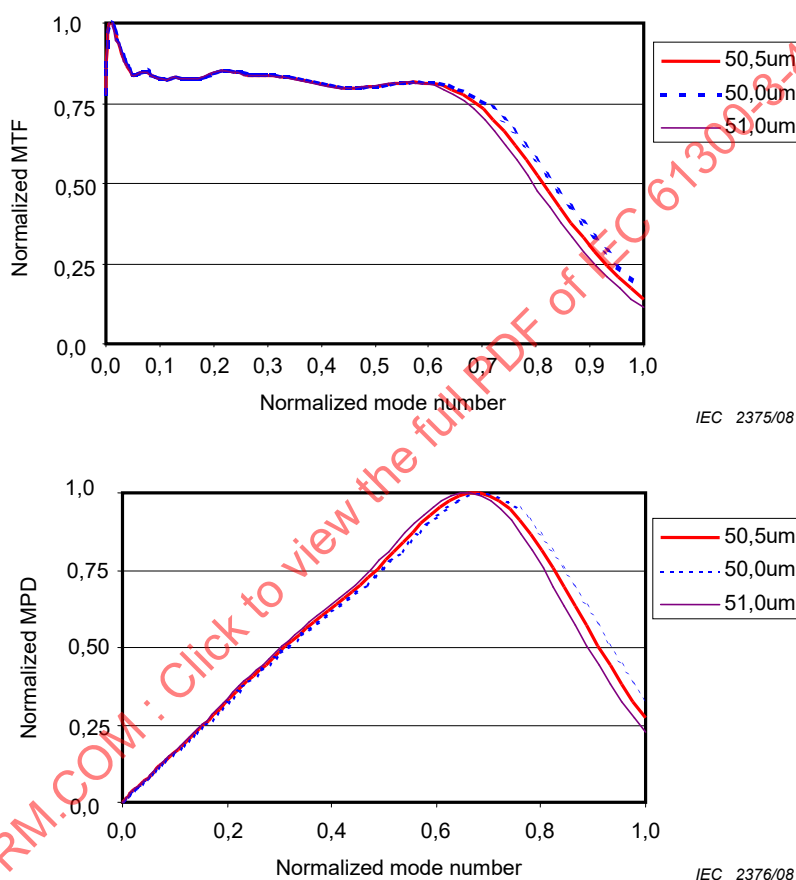


Figure A.1 – Sensitivity of MTF and MPD to core diameter

Examples of the effect on the MTF and MPD of entering different profile factors, α , into Equation (4) are shown in Figure A.2

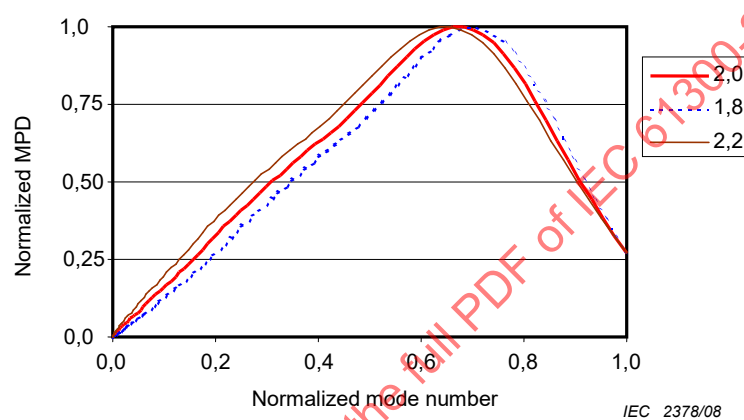
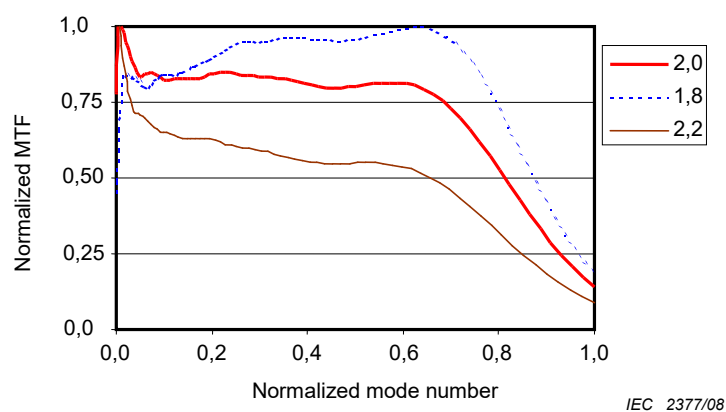


Figure A.2 – Sensitivity of MTF and MPD to profile factor

Bibliography

- [1] DAIDO Y. et al., *Determination of modal power distribution in graded-index optical waveguides from near-field patterns and its application to differential mode attenuation*, *Appl. Opt.*, vol. 18, no. 13, pp. 2207-2213, 1979.
- [2] LEMINGER OG. and GRAU GK., *Near-field intensity and modal power distribution in multimode graded-index fibres*, *Electron. Lett.*, vol. 16, no. 17, pp. 678-679, 1980.
- [3] GLOGE D. and MARCATILI EAJ., *Multimode theory of graded-core fibers*, *Bell Syst. Tech. J.*, vol. 52, no. 9, pp. 1563-1579, 1973.
- [4] MICKELSON AR. and ERIKSRUD M., *Mode-continuum approximation in optical fibers*, *Opt. Lett.*, vol. 7, no. 11, pp. 572-574, 1982.
- [5] RITTICH D., *Practicability of determining the modal power distribution by measured near and far-fields*, *IEEE J. Lightwave Technol.*, vol. 3, no. 3, pp. 625-661, 1985.
- [6] PRESS WH. et al., *Numerical Recipes in C: The Art of Scientific Computing*, Cambridge University Press, ch.14.8.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61300-3-43:2009

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61300-3-43:2009

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	21
1 Domaine d'application	23
2 Références normatives	23
3 Description générale	23
4 Théorie	24
4.1 Autre méthode	25
4.2 Distribution de puissance modale	26
4.3 Contraintes	26
5 Appareillage	27
5.1 Généralités	27
5.2 Echantillon d'essai	28
5.3 Dispositif de positionnement de l'échantillon	28
5.4 Système optique	29
5.5 Caméra	29
5.6 Numériseur vidéo	29
5.7 Etalonnage	29
6 Procédure	30
6.1 Montage et alignement de l'échantillon	30
6.2 Optimisation	30
6.3 Acquisition des données	30
7 Calculs	31
7.1 Soustraction du bruit de fond	31
7.2 Emplacement du centroïde du profil d'intensité	31
7.3 Différentiation du profil d'intensité	32
7.4 Calcul de la MTF	33
8 Résultats	34
Annex A (informative) Sensibilité de la MTF et la MPD aux paramètres du cœur	35
Bibliographie	37
Figure 1 – Exemple de MTF normalisée	25
Figure 2 – Exemple de MPD normalisée	26
Figure 3 – Schéma de l'appareillage de mesure	28
Figure 4 – Localisation du centre de la fibre à l'aide du calcul de symétrie	33
Figure A.1 – Sensibilité de la MTF et la MPD au diamètre du cœur	35
Figure A.2 – Sensibilité de la MTF et la MPD au facteur de profil	36

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**DISPOSITIFS D'INTERCONNEXION
ET COMPOSANTS PASSIFS FIBRONIQUES –
PROCÉDURES FONDAMENTALES D'ESSAIS ET DE MESURES –****Partie 3-43: Examens et mesures –
Mesure de la fonction de transfert modal pour sources fibroniques**

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale IEC 61300-3-43 a été établie par le sous-comité 86B: Dispositifs d'interconnexion et composants passifs à fibres optiques, du Comité d'études 86 de l'IEC: Fibres optiques.

La présente norme annule et remplace l'IEC/PAS 61300-3-43, publiée en 2006. Cette première édition constitue une révision technique.

La présente version bilingue (2021-02) correspond à la version anglaise monolingue publiée en 2009-01.

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

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

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 l'IEC sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61300-3-43:2009

DISPOSITIFS D'INTERCONNEXION ET COMPOSANTS PASSIFS FIBRONIQUES – PROCÉDURES FONDAMENTALES D'ESSAIS ET DE MESURES –

Partie 3-43: Examens et mesures – Mesure de la fonction de transfert modal pour sources fibroniques

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 61300 décrit la méthode de mesure de la fonction de transfert modal (MTF, Mode Transfer Function) à utiliser lors de la caractérisation des conditions d'injection pour les mesures de l'affaiblissement et/ou de l'affaiblissement de réflexion des composants passifs multimodaux. La MTF peut être mesurée au niveau des longueurs d'onde opérationnelles.

2 Références normatives

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

IEC 61300-1, *Dispositifs d'interconnexion et composants passifs fibroniques – Procédures fondamentales d'essais et de mesures – Partie 1: Généralités et lignes directrices*

IEC 61300-3-4, *Dispositifs d'interconnexion et composants passifs à fibres optiques – Méthodes fondamentales d'essais et de mesures – Partie 3-4: Examen et mesures – Affaiblissement*

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

3 Description générale

La distribution modale injectée dans la fibre multimodale peut grandement varier en fonction de différentes sources lumineuses. La variation de la distribution modale injectée peut donner lieu à des différences significatives de l'affaiblissement mesuré dans le même composant. La méthode d'essai MTF donne des informations sur la condition de distribution modale injectée (LMD, Launched Modal Distribution) dans un composant mesuré. La méthode d'essai MTF se fonde sur une mesure de la distribution d'intensité en champ proche dans la fibre [1], [2]¹.

¹ Les chiffres entre crochets font référence à la Bibliographie.

4 Théorie

Pour une fibre présentant un profil d'indice à loi en puissance $n(r)$, obtenu comme suit,

$$n(r) = n_1 \left[1 - 2\Delta \left(\frac{r}{a} \right)^\alpha \right]^{0,5} \quad \left(\frac{r}{a} \right) \leq 1 \quad (1)$$

où

a est le rayon du cœur de la fibre;

α est le facteur de profil ($\alpha = 2$ pour un profil parabolique);

Δ est la différence relative d'indice, obtenue comme suit

$$\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2} \quad (2)$$

où

n_1 est l'indice au centre de la fibre;

n_2 est l'indice de la gaine.

Il est possible de déterminer le profil d'intensité en champ proche dans la fibre $I(r)$ à partir d'une intégration de la fonction de transfert modal $MTF(\delta)$ dans la fibre, comme suit (en ignorant les constantes):

$$I(r) = \int_{\Delta \left(\frac{r}{a} \right)^\alpha}^{\Delta} MTF(\delta) \times d\delta \quad (3)$$

où

δ est la constante de propagation normalisée;

r/a est la position radiale normalisée.

La différentiation des deux côtés permet d'obtenir la MTF comme suit (en ignorant les constantes):

$$MTF(\delta) = \left[\frac{dI(r)}{dr} \times \frac{1}{r^{\alpha-1}} \right]_{\delta=\Delta \left(\frac{r}{a} \right)^\alpha} \quad (4)$$

La MTF est généralement tracée comme le numéro du mode principal m divisé par le numéro du mode principal maximal M , où

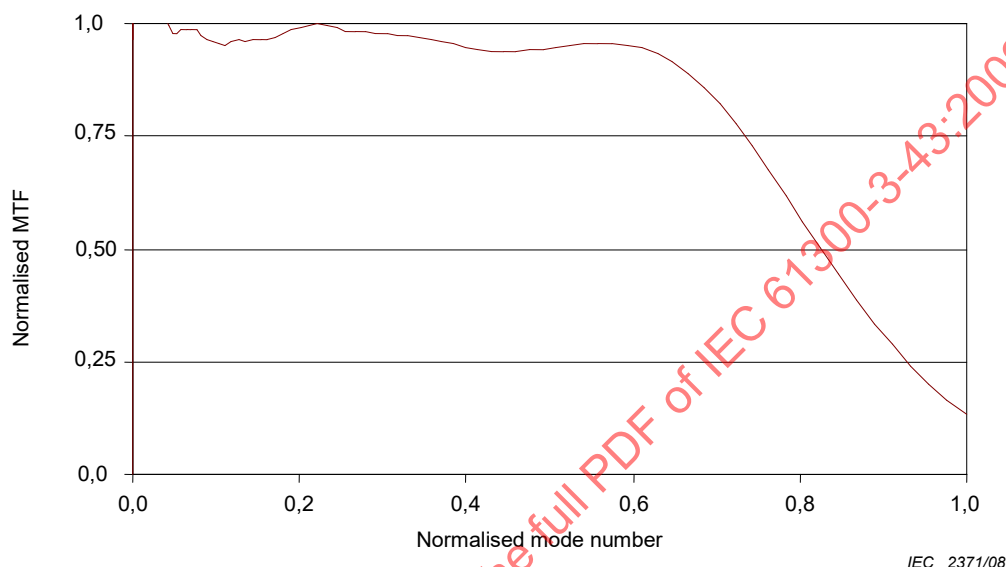
$$\frac{m}{M} = \left[\frac{\delta}{\Delta} \right]^{(2+\alpha)/2\alpha} = \left[\frac{r}{a} \right]^{(2+\alpha)/2} \quad (5)$$

Le terme (m/M) est habituellement désigné numéro du mode relatif ou numéro du mode normalisé.

Le numéro du mode principal maximal M , obtenu comme suit

$$M = \sqrt{\frac{\alpha}{\alpha + 2}} \left(\frac{n_1 2\pi a}{\lambda} \right) \sqrt{\Delta} \quad (6)$$

Un tracé de la MTF normalisée type est représenté à la Figure 1. Il est possible de voir, sur cet exemple, que les numéros de modes normalisés allant jusqu'à 0,6 sont remplis à un niveau équivalent et que les modes d'ordre supérieur sont progressivement moins remplis.



Anglais	Français
Normalised MTF	MFT normalisée
Normalised mode number	Numéro de mode normalisé

Figure 1 – Exemple de MTF normalisée

4.1 Autre méthode

Si le facteur de profil, α , dans l'Equation (4) est inconnu, il est alors possible d'utiliser une expression en variante pour la MTF.

Il est établi[3] que dans une fibre entièrement remplie (c'est-à-dire, MTF=1 pour tous les numéros de modes) le profil d'intensité en champ proche, I_o , a une forme quasiment identique au carré du profil d'indice de réfraction, $n(r)^2$. De plus, le terme $r^{\alpha-1}$ Equation (4) est égal (en ignorant les constantes) à la différentielle de $n(r)^2$, ainsi l'Equation (4) peut être réécrite comme suit:

$$MTF(\delta) = \left[\frac{dI(r)}{dr} \times \frac{1}{dI_o(r)/dr} \right]_{\delta=\Delta(r/a)^2} \quad (7)$$

où il a été présumé une valeur de $\alpha=2$ afin de calculer des valeurs pour le numéro du mode normalisé.

Ainsi, la MTF est égale au rapport de la dérivée du profil d'intensité soumis à essai et de la dérivée du profil d'intensité de la même fibre en conditions de remplissage complet.

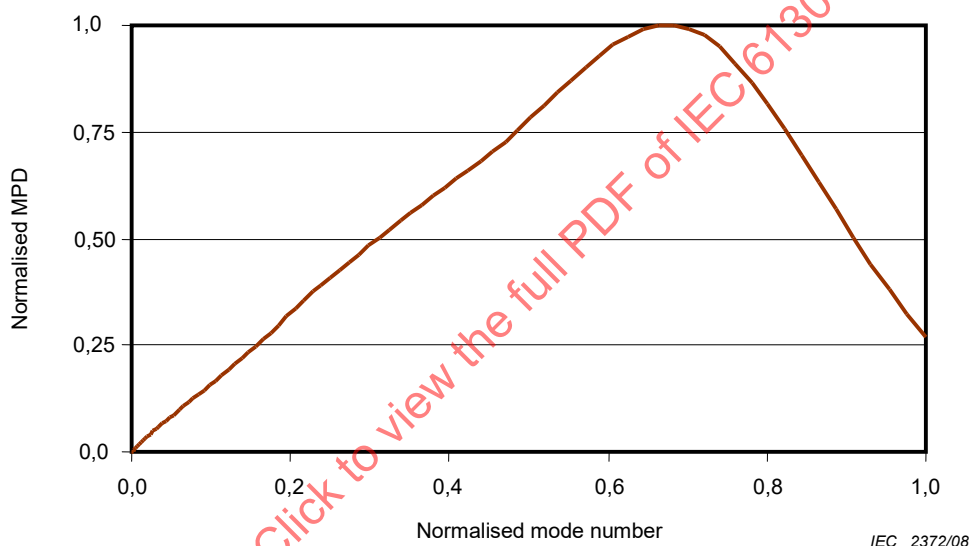
4.2 Distribution de puissance modale

Pour la fibre multimodale à gradient d'indice, le numéro de modes discrets dans un groupe de modes particulier est proportionnel au numéro du mode principal. Ainsi, les groupes de modes d'ordre supérieur contiennent davantage de modes et, par conséquent, transporteront davantage de lumière si tous les modes sont uniformément excités. Cela peut être représenté par la distribution de puissance modale (MPD, Mode Power Distribution), définie comme suit:

$$MPD(m) = MTF(m) \times m \quad (8)$$

Du fait de ce lien entre les modes dans les groupes de modes, la transformée de la MPD démontre clairement la puissance relative dans les groupes de modes.

Un exemple de MPD normalisée est représenté à la Figure 2, où il est possible de voir, dans ce cas, que le niveau de puissance de crête survient aux alentours du numéro de mode normalisé de 0,65.



Anglais	Français
Normalised MPD	MPD normalisée
Normalised mode number	Numéro de mode normalisé

Figure 2 – Exemple de MPD normalisée

4.3 Contraintes

La méthode de mesure de la MTF décrite ci-dessous est uniquement valide dans certaines conditions, énoncées ci-dessous:

- les modes dans un groupe de modes transportent la même puissance;
- il y a des phases aléatoires entre les modes de propagation.

Il a été découvert[4] que ces deux conditions peuvent être remplies simultanément si la largeur de raies $\Delta\lambda$ de la source est suffisamment large, induisant l'approximation dite "approximation du continuum de modes", obtenue comme suit:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} \geq \frac{\sqrt{2\Delta}}{a \times k_0 \times N} \quad (10)$$

où

λ est la longueur d'onde optique;

$k_0 = 2\pi/\lambda$;

N est l'indice de groupe, obtenu comme suit

$$N = n_1 - \lambda \times \frac{dn_1}{d\lambda} \quad (11)$$

Typiquement, pour un cœur de fibre de 50 μm de diamètre, présentant une ouverture numérique de 0,21, les valeurs $\Delta\lambda > 0,5 \text{ nm}$ à 850 nm et $\Delta\lambda > 1,0 \text{ nm}$ à 1 300 nm satisfont à cette condition.

Si la largeur de raies source ne respecte par ce critère, une interférence entre les modes de propagation peut survenir, donnant lieu à une "tacheture" sur l'image en champ proche. Cette méthode peut, toutefois, encore être appliquée à de telles sources en secouant doucement, ou en agitant d'une quelconque façon, la fibre soumise à essai de sorte à causer une moyenne temporelle du motif de tachetures. Dans ce cas, il est important de s'assurer que le champ proche est symétrique azimutalement. Cela peut être obtenu en vérifiant que les MFT mesurées à intervalles de 45° autour de la fibre coïncident l'une avec l'autre[5].

- La crête de la MPD survient à un numéro du mode normalisé de <0,8.

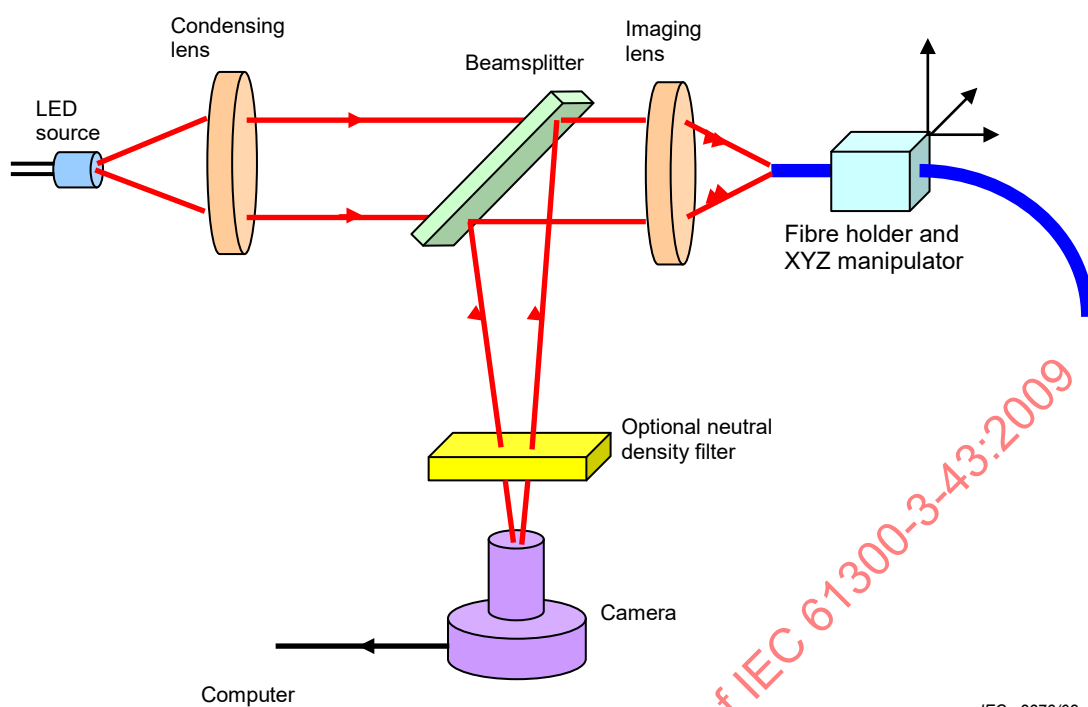
Il est établi que l'écart du profil d'intensité en champ proche mesuré $I(r)$ par rapport au profil à loi en puissance de l'Equation (1), pour les fibres bien remplies peut survenir vers la limite cœur/gaine. Dans ce cas, il est recommandé d'employer la méthode en variante pour la détermination de la MTF décrite en 4.1.

5 Appareillage

5.1 Généralités

L'appareillage consiste essentiellement en un vidéomicroscope sur lequel l'image en champ proche de l'extrémité de la fibre soumise à essai est formée par une caméra à système optique. L'image de la caméra est alors numérisée par un numériseur vidéo, puis transférée vers un ordinateur en vue de l'analyse et la présentation des données.

Un schéma d'une configuration de mesure type est représenté à la Figure 3.



IEC 2373/08

Anglais	Français
LED source	Source LED
Condensing lens	Lentille de condensation
Beamsplitter	Séparateur de faisceau
Imaging lens	Lentille de formation d'image
Fibre holder and XYZ manipulator	Support de fibre et manipulateur XYZ
Optional neutral density filter	Filtre à densité neutre facultatif
Camera	Caméra
Computer	Ordinateur

Figure 3 – Schéma de l'appareillage de mesure

5.2 Echantillon d'essai

L'échantillon d'essai se compose d'un cordon de brassage multimodal fixé à une source lumineuse. Il convient de reconnaître que la distribution modale à la sortie du cordon de brassage résulte à la fois des conditions d'injection de la source et du cordon de brassage même. La MTF obtenue n'est donc pas un paramètre soit de la source lumineuse soit du cordon de brassage, mais plutôt de cette association et notamment des conditions particulières dans lesquelles le cordon de brassage est disposé, comme son rayon de courbure.

5.3 Dispositif de positionnement de l'échantillon

Un dispositif de positionnement est exigé pour assurer que l'extrémité du cordon de brassage soumis à essai est située sur l'axe optique de l'instrument, mais également dans la bonne position axiale pour obtenir une image bien nette sur la caméra. A cette fin, une platine de manipulation XYZ peut être utilisée ou, de préférence, une embase de connecteur appropriée, montée axialement avec l'optique. Cela peut, par exemple, être une embase à ferrule normalisée de 2,5 mm, capable d'accueillir plusieurs types de connecteurs, tel que FC, ST et SC. Dans ce cas, le positionnement XY du cordon de brassage est bien défini et seul un réglage de la netteté est exigé.

5.4 Système optique

Le système optique est constitué d'une optique grossissante permettant de produire une image de l'extrémité de la fibre sur la caméra. Pour optimiser la résolution de la mesure, le grossissement de l'optique doit être choisi de sorte que l'image du cœur de la fibre remplisse une part raisonnable du champ de la caméra. Typiquement, cela peut représenter entre 20 % et 50 % de la dimension verticale du champ de la caméra.

L'ouverture numérique du système d'imagerie doit être supérieure à l'ouverture numérique de la fibre soumise à essai.

De plus, il peut être prévu un moyen d'éclairer la face terminale de la fibre par réflexion, en positionnant par exemple un séparateur de faisceau et une source LED entre la lentille de mise au point et la caméra.

Des filtres à densité neutre peuvent également être placés pour contrôler la quantité de lumière parvenant à la caméra.

5.5 Caméra

Il doit être utilisé une caméra haute définition dont l'uniformité géométrique et la linéarité de l'intensité sont démontrables. La taille de pixel de la caméra, *picsize*, doit être suffisamment petite par rapport à l'image en champ proche agrandie et être ainsi inférieure aux limites de diffraction du système suivant un facteur de 2, obtenu comme suit

$$Picsize < \frac{0,61Mag\lambda}{2NA} \quad (12)$$

où

Mag est le grossissement du système;

NA est l'ouverture numérique de la fibre.

Par exemple, si *Mag* = 20, *NA* = 0,21, λ = 850 nm alors *picsize* < 24 µm. Il est recommandé, toutefois, que la taille de pixel de la caméra soit bien inférieure à cela. Dans cet exemple, la taille de pixel correspondante au niveau de la fibre serait égale à *picsize* divisée par *Mag*, soit 1,2 µm.

5.6 Numériseur vidéo

Le numériseur vidéo, connecté à la caméra, fournit à l'ordinateur l'image numérisée de l'extrémité de la fibre. Un numériseur vidéo type offrira une image 8 bits, bien qu'un numériseur ayant un nombre de bits plus élevé, par exemple 12, puisse être utilisé pour une résolution accrue.

5.7 Etalonnage

Le facteur d'étalonnage est exprimé en µm/pixel. Cela est exigé en 7.4 pour convertir les données traitées entre l'espace mesuré en pixel et les unités de µm.

Le système optique peut être étalonné en mesurant un artefact dont les dimensions sont connues, comme un réticule de microscope, ou une fibre optique dont le diamètre de la gaine est connu. L'artefact d'étalonnage est positionné dans le plan-objet du système et mis au point sur la caméra. Dans le cas d'un réticule, l'éclairage peut être une lumière transmise ou réfléchie. Dans le cas d'une fibre optique, il doit être utilisé une lumière réfléchie. Pour ce faire, une source lumineuse est généralement utilisée et un séparateur de faisceau est positionné dans le système optique, entre la lentille de mise au point et la caméra.

NOTE Il convient que la longueur d'onde de la source lumineuse soit comprise dans les 30 nm de la longueur d'onde nominale de la source soumise à essai, de sorte à réduire le plus possible les effets chromatiques sur le grossissement du système.

Mesurer la taille de l'artefact d'étalonnage en pixels, n_{pix} . Si la taille de l'artefact en μm est égale à n_{cal} , alors le facteur d'étalonnage, $calfactor$, est obtenu comme suit

$$Calfactor = \frac{n_{cal}}{n_{pix}} \quad (13)$$

Le grossissement du système, Mag , qui est exigé en 5.5 peut être calculé à partir du facteur d'étalonnage comme suit:

$$Mag = \frac{picsize}{calfactor} \quad (14)$$

NOTE Lorsque les pixels de la caméra ne sont pas carrés, le facteur d'étalonnage doit être déterminé le long de l'axe particulier de la caméra qui est utilisé pour les mesures ultérieures de la MTF (voir Article 7).

6 Procédure

6.1 Montage et alignement de l'échantillon

Monter la fibre à mesurer sur le dispositif de positionnement de l'échantillon dans le plan-objet du système optique et allumer la source lumineuse sur l'extrémité. Aligner la position latérale de l'extrémité de la fibre, si nécessaire, puis régler la zone de mise au point de la fibre pour obtenir une image en champ proche bien nette sur la caméra. Arrêter l'éclairage sur l'extrémité de la fibre, puis mettre en marche la source soumise à essai, qu'il convient, si nécessaire, de laisser se stabiliser.

6.2 Optimisation

Afin d'utiliser toute la plage de convertisseur analogique-numérique (CAN) du numériseur vidéo, régler efficacement l'intensité de l'image de sorte qu'elle remplisse généralement environ 90 % de la plage du CAN. Cela peut être obtenu par un ou plusieurs des moyens suivants:

- le réglage de l'intensité de la source lumineuse;
- l'utilisation de filtres à densité neutre devant la caméra;
- le réglage du gain et/ou de l'obturateur électronique de la caméra.

6.3 Acquisition des données

Une image numérisée de l'extrémité de la fibre est ensuite transférée par l'ordinateur de commande en vue de l'analyse. Généralement, l'image est alors convertie en tableau bidimensionnel de valeurs CAN pour un traitement ultérieur. Afin d'améliorer le rapport signal sur bruit, plusieurs images peuvent être acquises en série et la moyenne de leurs valeurs CAN est calculée sur une base pixel par pixel. Un nombre type d'images est compris entre dix et vingt, bien que, dans le cas d'une source cohérente où une agitation doit être effectuée pour rompre le motif de taches, il soit commun d'obtenir plusieurs centaines d'images.

Si la méthode en variante (4.1) est utilisée, il est nécessaire de déconnecter la source soumise à essai du cordon de brassage et de la remplacer par une source qui remplit excessivement le cordon de brassage. Une seconde image numérisée est alors obtenue de la même manière que précédemment.

7 Calculs

7.1 Soustraction du bruit de fond

Il est important que le bruit de fond, ou niveau d'obscurité, de la caméra soit uniforme pour éviter tout bruit indésirable causé par la différentielle de l'Equation (4). L'uniformité du bruit de fond peut être améliorée en procédant à une acquisition de données d'image avec la source lumineuse éteinte, puis à une soustraction pixel par pixel de l'image de la fibre mesurée.

7.2 Emplacement du centroïde du profil d'intensité

Le centroïde, ou centre de gravité, de l'image en champ proche est exigé pour permettre l'extraction d'un profil d'intensité à travers le centre de la fibre. Pour ce faire, seul le centroïde vertical est exigé. Une méthode typique est indiquée ci-dessous:

- déterminer les coordonnées de la position de la puissance de crête sur l'image;
- extraire une matrice en 2D de pixels, I_{core} , de l'image acquise centrée sur la position de crête, après soustraction du bruit de fond. Le premier indice de I_{core} est l'indice de ligne (dimension y) dont l'étendue est rows. Le second indice de I_{core} est l'indice de colonne (dimension x) dont l'étendue est cols. I_{core} doit contenir l'image entière du cœur, bien qu'il convienne de chercher à limiter les pixels sombres, car ils n'apportent que du bruit aux calculs ci-dessous;
- calculer la somme des valeurs d'intensité pour chaque ligne de I_{core} , $\text{sumrow}(i)$, pour parvenir à un tableau de sommes en 1D. Cela s'appelle la fusion des données en 2D sur l'ordonnée Y:

$$\text{Sumrow}(i) = \sum_{j=1}^{\text{cols}} I_{\text{core}}(i, j) \quad (15)$$

- calculer la somme des éléments du tableau de sommes, pour parvenir à un nombre scalaire unique, sumofsums ;

$$\text{Sumofsums} = \sum_{i=1}^{\text{rows}} \text{sumrow}(i) \quad (16)$$

- calculer le produit de chaque élément du tableau de sommes par sa coordonnée de tableau, puis additionner ces produits pour parvenir à un nombre scalaire unique, sumproduct ;

$$\text{Sumproduct} = \sum_{i=1}^{\text{rows}} \text{sumrow}(i) \times i \quad (17)$$

- le centroïde, en pixels, est alors obtenu en divisant la somme des produits par la somme des sommes:

$$\text{Centroid} = \frac{\text{sumproduct}}{\text{sumofsums}} \quad (18)$$

- le profil d'intensité, $I(i)$, de la ligne qui se rapproche le plus du centroïde est alors extrait en vue de l'analyse. Il est à noter que, pour les caméras qui satisfont aux exigences de l'Equation (12), l'erreur de cette approximation est négligeable.