

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



Fibre optic interconnecting devices and passive components – Basic test and measurement procedures

Part 3-53: Examinations and measurements – Encircled angular flux (EAF) measurement method based on two-dimensional far field data from multimode waveguide (including fibre)

Dispositifs d'interconnexion et composants passifs fibroniques – Procédures fondamentales d'essais et de mesures –

Partie 3-53: Examens et mesures – Méthode de mesure du flux angulaire inscrit (EAF) fondée sur les données bidimensionnelles de champ lointain d'un guide d'ondes multimodal (fibre incluse)



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2020 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.

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 16 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

67 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

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.

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.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

67 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



Fibre optic interconnecting devices and passive components – Basic test and measurement procedures

Part 3-53: Examinations and measurements – Encircled angular flux (EAF) measurement method based on two-dimensional far field data from multimode waveguide (including fibre)

Dispositifs d'interconnexion et composants passifs fibroniques – Procédures fondamentales d'essais et de mesures –

Partie 3-53: Examens et mesures – Méthode de mesure du flux angulaire inscrit (EAF) fondée sur les données bidimensionnelles de champ lointain d'un guide d'ondes multimodal (fibre incluse)

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 33.180.20

ISBN 978-2-8322-9136-8

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

CONTENTS

FOREWORD	4
1 Scope	6
2 Normative references	6
3 Terms and definitions	6
4 Measurement conditions	8
5 Apparatus	8
5.1 General	8
5.2 Measurement method 1: $f\theta$ lens imaging	8
5.2.1 General	8
5.2.2 Micro-positioner	8
5.2.3 FFP optical system	9
5.2.4 Imaging device	9
5.2.5 Computer (EAF analyser module)	9
5.3 Measurement method 2: direct imaging	9
5.3.1 General	9
5.3.2 Micro-positioner	9
5.3.3 Imaging device	10
5.3.4 Computer, position controller and image acquisition	10
6 Sampling and specimens	10
7 Geometric calibration	10
7.1 General	10
7.2 Light source	11
7.3 Procedure	11
8 Measurement procedure	11
8.1 Safety	11
8.2 Far field image acquisition	12
8.2.1 General	12
8.2.2 Waveguide end-face alignment	12
8.2.3 Light source image acquisition	12
8.3 Removal of background noise	13
8.4 Centre determination	13
8.4.1 General	13
8.4.2 Method A: Optical centre determination	13
8.4.3 Method B: Mechanical centre determination	14
8.5 Computation of encircled angular flux	15
9 Results	16
9.1 Information available with each measurement	16
9.2 Information available upon request	17
10 Details to be specified	17
Annex A (informative) System recommendations – Measurement method 1: far field optical system	18
A.1 General	18
A.2 Recommendations	18
Annex B (informative) System recommendations – Measurement method 2: direct imaging	19

B.1	General.....	19
B.2	Recommendations	19
Annex C (informative)	Shading effect of CCD devices: incident ray angular sensitivity	20
C.1	General.....	20
C.2	Scheme of shading and example of the characteristics	20
Annex D (normative)	Launch optics for the EAF template compliance test	22
D.1	General.....	22
D.2	Setup	22
Bibliography		23
Figure 1	– Apparatus configuration of measurement method 1: $f\theta$ lens imaging.....	8
Figure 2	– Far field optical system diagram.....	9
Figure 3	– Apparatus configuration of measurement method 2: direct imaging.....	10
Figure 4	– Calibration apparatus example	11
Figure 5	– Acquired far field image	12
Figure 6	– Acquired far field image with false colour	13
Figure 7	– Optical centre determination	14
Figure 8	– Transformation of x-y to polar coordinates on the image sensor plane	15
Figure 9	– Typical encircled angular flux chart	16
Figure A.1	– An example of an optical system using an $f\theta$ lens	18
Figure C.1	– Scheme of shading effect	20
Figure C.2	– Example of shading characteristics.....	21
Figure D.1	– Schematic view of the setup for the EAF compliance test	22

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**FIBRE OPTIC INTERCONNECTING
DEVICES AND PASSIVE COMPONENTS –
BASIC TEST AND MEASUREMENT PROCEDURES****Part 3-53: Examinations and measurements – Encircled angular
flux (EAF) measurement method based on two-dimensional
far field data from multimode waveguide (including fibre)**

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 61300-3-53 has been prepared by subcommittee 86B: Fibre optic interconnecting devices and passive components, of IEC technical committee 86: Fibre optics.

This second edition cancels and replaces the first edition in 2015. This edition constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition:

- a) the scope of the applicable wave guides, and graded index multimode optical wave guide and fibre have been included;
- b) the structure of 5.3 has been rearranged;
- c) Annex C and Annex D have been added.

The text of this International Standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
86B/4343/FDIS	86B/4373/RVD

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

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

A list of all parts in the IEC 61300, published under the general title *Fibre optic interconnecting devices and passive components – Basic test and measurement procedures*, can be found on the IEC website.

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

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

Part 3-53: Examinations and measurements – Encircled angular flux (EAF) measurement method based on two-dimensional far field data from multimode waveguide (including fibre)

1 Scope

This part of IEC 61300 defines the encircled angular flux measurement of multimode waveguide light sources, in which most of the transverse modes are excited. The term "waveguide" is understood to include both channel waveguides and optical fibres but not slab waveguides.

The applicable fibre types are the followings:

- A1 specified in IEC 60793-2-10;
- A3 specified in IEC 60793-2-30;
- A4 specified in IEC 60793-2-40.

2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

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

IEC 60793-2-30, *Optical fibres – Part 2-30: Product specifications – Sectional specification for category A3 multimode fibres*

IEC 60793-2-40, *Optical fibres – Part 2-40: Product specifications – Sectional specification for category A4 multimode fibres*

IEC 60825-1, *Safety of laser products – Part 1: Equipment classification and requirements*

IEC 61300-1:2016, *Fibre optic interconnecting devices and passive components – Basic test and measurement procedures – Part 1: General and guidance*

3 Terms and definitions

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

ISO and IEC maintain terminological databases for use in standardization at the following addresses:

- IEC Electropedia: available at <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: available at <http://www.iso.org/obp>

3.1**encircled angular flux****EAF**

fraction of the total optical power radiating from a multimode waveguide's core within a certain solid angle

3.2**Fraunhofer far field**

far field which occurs when

$$L \gg D^2/\lambda$$

where

L is the distance of the detection plane from the waveguide end facet;

D is the diameter of the multimode waveguide core or strictly mode field diameter;

λ is the wavelength.

3.3 **$f\theta$ lens**

lens converting the angle of incidence of the input beam, θ , into the output beam height, h

Note 1 to entry: The relationship between them is $h = f\theta$, where f is the focal length of the lens.

3.4**mode power distribution****MPD**

relative mode power in each of the mode groups of a multimode fibre

[SOURCE: IEC 62614-2:2015, 3.5, modified – The words "often shown graphically" have been deleted.]

3.5**numerical aperture****NA**

sine of the vertex half-angle of the largest cone of meridional rays that can enter or leave the core of an optical waveguide, multiplied by the refractive index of the medium in which the cone is located

3.6**far field pattern****FFP**

angular distribution of light radiating from a waveguide's core, which corresponds to the optical power distribution on a plane normal to the waveguide axis some distance from its end facet

Note 1 to entry: The distance depends on the largest waveguide cross section, a , the wavelength, λ , and the angle, φ , to the optical axis. In the far field region, the shape of the distribution does not change as the distance from the waveguide end facet increases; the distribution only scales in size with distance, L .

$$L \gg \frac{2a^2 (\cos \varphi)^2}{\lambda}$$

3.7**far field image**

far field pattern formed on an imaging device

3.8

neutral density filter

ND filter

filter that attenuates light of all colours equally

4 Measurement conditions

Optical fibres which are applied to this measurement are specified in IEC 60793-2-10, IEC 60793-2-30 and IEC 60793-2-40. The measurement ambient condition shall be the standard atmospheric conditions specified in IEC 61300-1.

5 Apparatus

5.1 General

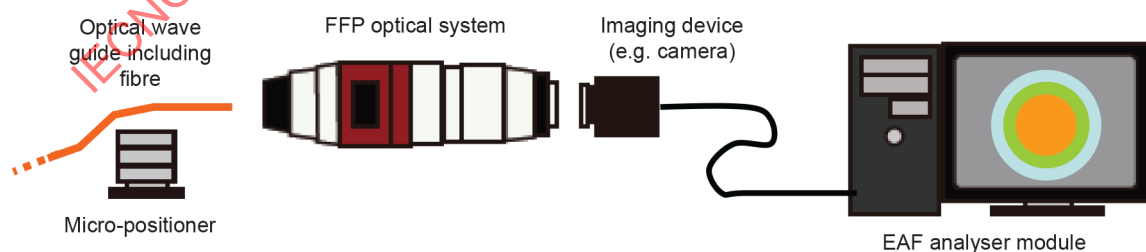
The optical source multimode waveguide shall be long enough to ensure that all cladding modes are stripped by passage through the waveguide. Often, the fibre coating or tight buffer is sufficient to perform this function. Alternatively, a cladding mode stripper shall be used in the source launch multimode optical fibre. An example of a typical cladding mode stripper which would be suitable for optical fibre is sufficient windings of the fibre around a mandrel of an appropriate diameter. The windings also have a more important essential effect to fully fill the transverse modes across the maximum mode field diameter. It should be checked that all of the transverse modes of the fibre are sufficiently well excited. See Annex D. This can be done by comparing the FFPs for different lengths of the launch fibre or different light sources. Once the FFP no longer changes in form as the launch fibre length is increased, there is no need to increase the length further.

5.2 Measurement method 1: $f\theta$ lens imaging

5.2.1 General

In theory, this measurement method, which is effectively a coherent optical method to Fourier transform the near field to the far field using a lens, does not operate well using very wideband optical sources. Experimentally, it has been shown to operate sufficiently well for sources up to 30 nm bandwidth, which are most commonly used.

Figure 1 below shows the apparatus configuration. The measurement system consists of a micro-positioner, a far field broadband optical system, an imaging device (e.g. camera) and computer (EAF analyser module). An appropriate type of camera (imaging device) shall be chosen to suit the wavelength under test.



IEC

Figure 1 – Apparatus configuration of measurement method 1: $f\theta$ lens imaging

5.2.2 Micro-positioner

The micro-positioner shall hold the optical source (including the waveguide) and be able to move in three directions (X, Y, Z). Angular movement for the optical system is recommended.

5.2.3 FFP optical system

As shown in Figure 2, an $f\theta$ lens can directly convert the light from the multimode waveguide to a far field image; however, scaling the far field image in order to fit the image sensor in the imaging device and adjustment of the light intensity in order to prevent saturation is required. The FFP optical system is chosen to operate at the measurement wavelength across the required measurement bandwidth to match that of the detection system. See Annex A for more information.

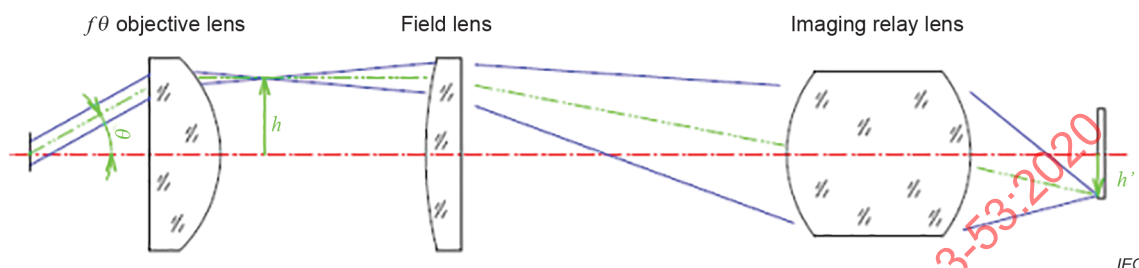


Figure 2 – Far field optical system diagram

5.2.4 Imaging device

Imaging device includes a camera, CCD, CMOS, etc. that can detect images. The detector is typically a charge coupled device (CCD) or a complementary metal oxide semiconductor (CMOS) camera. The type of imaging device shall be chosen by the measurement wavelength. Absolute intensity measurement is not required.

5.2.5 Computer (EAF analyser module)

Since the acquired image contains many thousands of pixels, and the image conversion into encircled angular flux requires substantial computation, a computer is required. The computer shall be connected to the imaging device through an image acquisition board (or with an embedded image acquisition circuit), and beam analysis software which enables the computer as a EAF analyser shall be installed.

5.3 Measurement method 2: direct imaging

5.3.1 General

In this method, far field images are acquired directly by an imaging device without any optical system. The distance between the optical waveguide source under test and the imaging device shall be long enough to achieve Fraunhofer far field.

NOTE A CCD device generally consist of CCD semiconductor tip and micro lens array to get higher sensitivity practically, then the structure generates shading effect which is incident angle dependent sensitivity consequently. For more information, see Annex C and Figure 3.

See detail information of imaging device setup in Annex B.

When the far field image is larger than the area of the imaging device, multiple images shall be taken and stitched together to configure a complete far field image.

5.3.2 Micro-positioner

Both the input multimode waveguide source and the photo detector (PD) shall be mounted on motorized translation Astages. The motorized translation stages shall operate for both coarse alignment with tenths millimetres step movement for wide position and accurate alignment with sub-micron step adjustment to maximize the light through the waveguide.

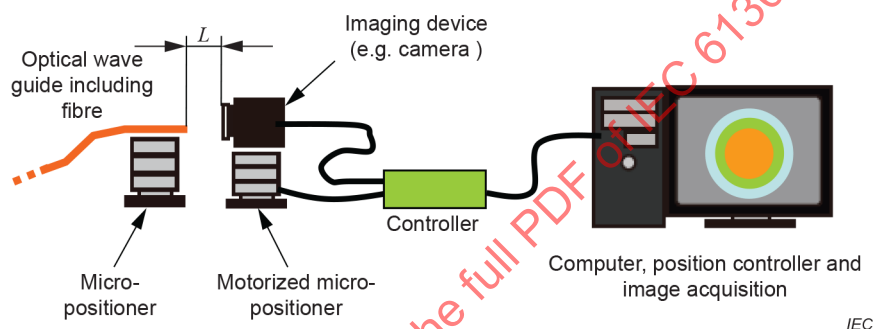
5.3.3 Imaging device

An imaging device includes a camera, CCD, CMOS, etc. that can detect images. An imaging device plane without any lens system shall be placed sufficiently far from the optical source launch multimode waveguide facet so as to be in the Fraunhofer far field.

The imaging device may, for example, be a CCD camera with its lens removed so that the light distribution falls directly on the CCD chip. The lateral position from the optical axis in the far field shall be converted to an angle of divergence from the optical axis. The angle is the arctangent of the ratio of the lateral X or Y position to the distance L . Therefore, considerable care shall be taken to accurately measure L .

5.3.4 Computer, position controller and image acquisition

The computer controls the position of the imaging device (camera) so that the proper image(s) is(are) acquired. If the far field image is too large to shoot an single image, the computerized controller moves the imaging device to the several different positions to acquire multiple images which are finally combined and become one far field image.



NOTE A CCD device generally consist of CCD semiconductor tip and micro lens array to get higher sensitivity practically, then the structure generates shading effect which is incident angle dependent sensitivity consequently. For more information, see Annex C.

Figure 3 – Apparatus configuration of measurement method 2: direct imaging

6 Sampling and specimens

The sampling and preparation procedures for the light sources which launch light into multimode waveguides to be tested shall be documented. The light sources under test shall have an operating wavelength compatible with the detector and $f\theta$ lens, and have optical connectors or splices compatible with the input port of the apparatus. The construction details of the light sources are not otherwise specified.

7 Geometric calibration

7.1 General

Calibration of the apparatus is critical to the accuracy of this measurement procedure. Calibration shall be performed periodically. If the calibration is known to drift significantly during a measurement interval, the drift of the source(s) shall be identified and eliminated. If the apparatus is disassembled or its components in or affecting the optical path are otherwise manipulated, calibration shall be performed before measurements are made.

The purpose of geometric calibration is to obtain the measurement data needed to compute the conversion factor. The factor shall be used to convert camera coordinates to light launching angle relative to the optical axis of optical waveguide.

7.2 Light source

The calibration light source shall be broadband and incoherent, in order to avoid speckle noise issues, and shall have a sufficiently symmetrical far field distribution so that the calculated centroid of the far field indicates the location of the optical centre axis of the waveguide with sufficient accuracy for the purposes of this document.

7.3 Procedure

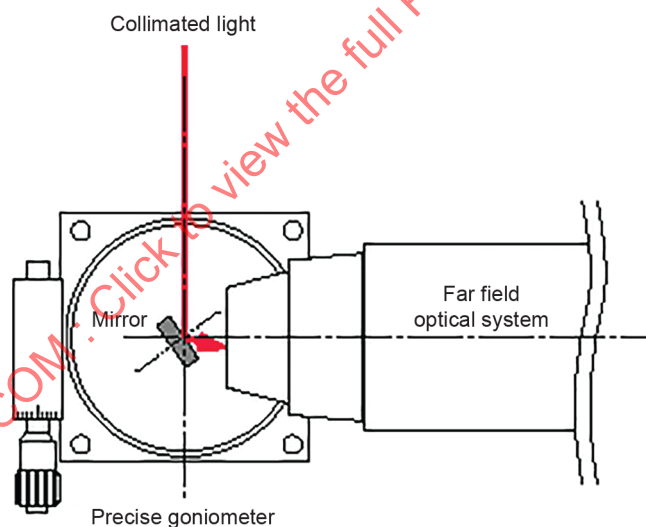
Calibration shall be performed to measure the conversion factor that relates the light launching angle to the pixel of the detector corresponding to this angle. The factor has a unit of degree per pixel and shall be used to convert imaging device coordinates to far field angle coordinates. The collimated light source for geometric calibration, shown in Figure 4, shall have a spectral power distribution similar to that of the measurement light source and the central wavelength within 30 nm around the nominal wavelength of the measurement light source.

The calibration procedure is stated below:

- Step 1: set a collimated light source whose incident angle relative to the optic axis of the far field optical system can be precisely controlled; and

NOTE An example of the calibration apparatus is shown in Figure 4.

- Step 2: measure the conversion factors from the whole range of angles to be measured with an interval small enough (e.g. 1°) to enable accurate interpolation.



IEC

Figure 4 – Calibration apparatus example

8 Measurement procedure

8.1 Safety

All procedures in which a light emitting diode (LED) or a laser source is used as the optical source shall be carried out using safety precautions in accordance with IEC 60825-1.

8.2 Far field image acquisition

8.2.1 General

Acquiring an image is central to the measurement of encircled angular flux. The approach to image acquisition depends on the general characteristics of the light source being measured.

8.2.2 Waveguide end-face alignment

A waveguide end-face shall be placed at the front focal point of the FFP optical system. The live far field image acquired on the computer display shall be adjusted to be in the centre of the display using the X and Y axes of the micro-positioner, and to a minimum diameter and in focus using the Z axis of the micro-positioner in 5.2.2.

8.2.3 Light source image acquisition

Measurement light sources shall be sufficiently incoherent and shall be sufficiently intense to easily get good dynamic range, although attenuation may be required using neutral density (ND) filter(s). The acquired image shall be shown in the PC display as in Figure 5. The picture may be displayed with false colour in Figure 6.

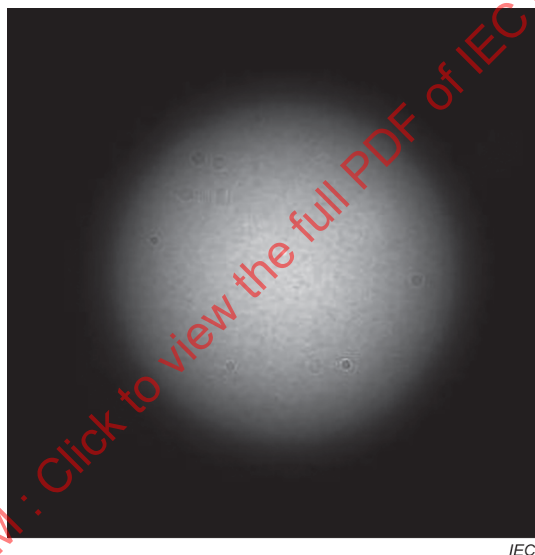


Figure 5 – Acquired far field image

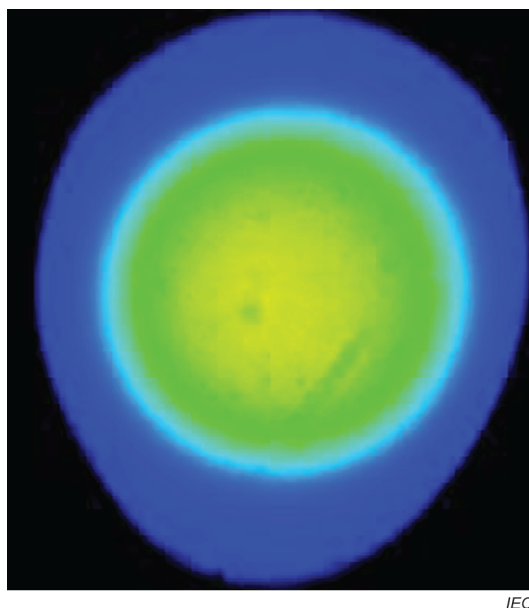


Figure 6 – Acquired far field image with false colour

8.3 Removal of background noise

The dark current of the camera which is acquired by obscuring the input light beforehand shall be removed from the acquired image, or 0,5 % intensity of the peak power in the acquired image shall be set as a background level.

8.4 Centre determination

8.4.1 General

One of the two methods shall be used

8.4.2 Method A: Optical centre determination

The encircled angular flux is computed with respect to the optical centroid of the FFP distribution. As shown in Figure 7, the centroid of the acquired image shall be determined with the use of Formula (1).

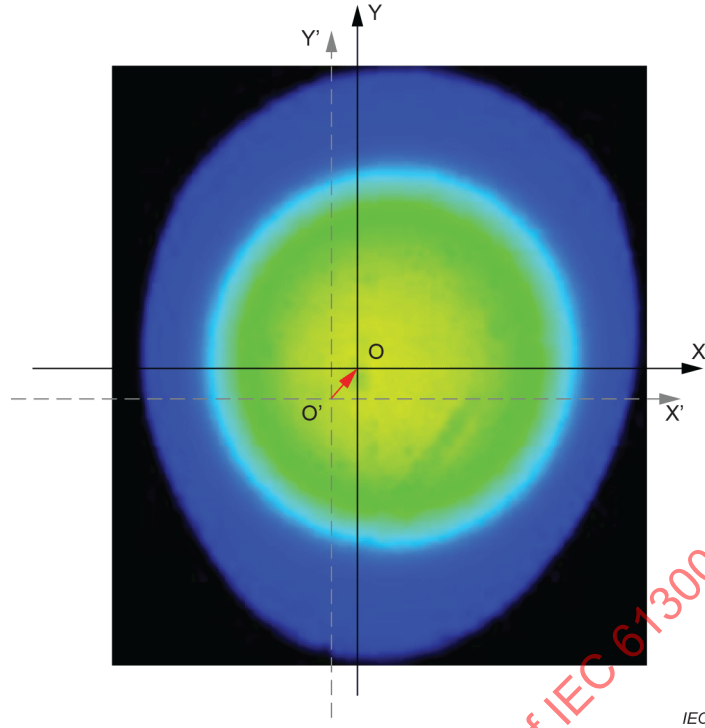


Figure 7 – Optical centre determination

$$O(x=0, y=0) = O'(x'=0, y'=0) \left(\frac{\sum_{x'} x' \sum_{y'} I(x', y')}{\sum_{x'} \sum_{y'} I(x', y')}, \frac{\sum_{y'} y' \sum_{x'} I(x', y')}{\sum_{x'} \sum_{y'} I(x', y')} \right) \quad (1)$$

where

O' is the origin of FFP optical system;

O is the calculated centroid of the acquired image;

(x', y') is the x-y coordinates based on the FFP optical system origin;

$I(x', y')$ is the light intensity at coordinate (x', y') .

8.4.3 Method B: Mechanical centre determination

The encircled angular flux is computed with respect to the optical central axis of the measurement optics. The optical central axis of the measurement optics, O_m , shall be determined by measuring the far field pattern of a reference waveguide. The reference waveguide shall be a single-mode fibre, and the end-face of the fibre should be perpendicular to the optical axis.

$$O_m(x_m=0, y_m=0) = O'_m(x'_m=0, y'_m=0) \left(\frac{\sum_{x'_m} x'_m \sum_{y'_m} I(x'_m, y'_m)}{\sum_{x'_m} \sum_{y'_m} I(x'_m, y'_m)}, \frac{\sum_{y'_m} y'_m \sum_{x'_m} I(x'_m, y'_m)}{\sum_{x'_m} \sum_{y'_m} I(x'_m, y'_m)} \right) \quad (2)$$

where

O'_m is the origin of direct imaging;

O_m is the calculated centroid of the acquired image;

(x'_m, y'_m) is the x-y coordinates based on the direct imaging origin.

$I(x'_m, y'_m)$ is the light intensity at coordinate (x'_m, y'_m) .

For method B, O'_m shall be fixed during a series of measurements.

8.5 Computation of encircled angular flux

Before computation of encircled angular flux, the x-y coordinates are converted to polar coordinates using r and φ as shown in Figure 8 (b). Figure 8 (a) shows the side view of the fibre and the emitted beam. Applying r and φ to encircled flux equation, light intensity distribution on an FFP screen is described in Formula (3).

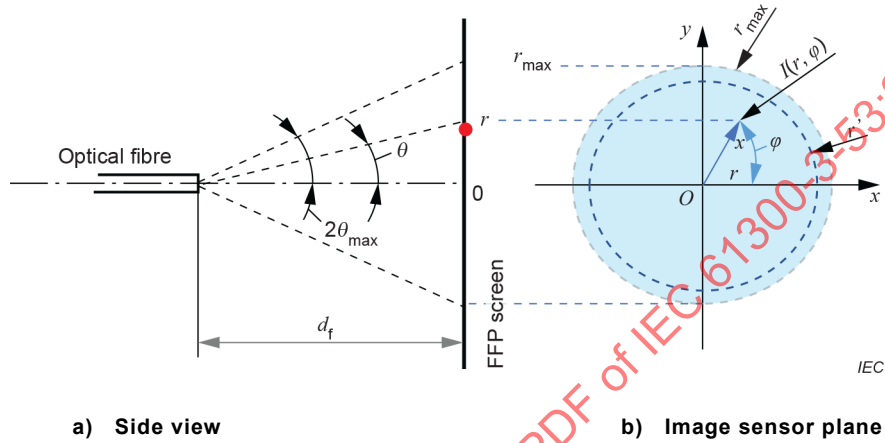


Figure 8 – Transformation of x-y to polar coordinates on the image sensor plane

$$EF(r') = \frac{\int_0^{2\pi} \int_0^{r'} I(r, \varphi) \cdot r \cdot dr \cdot d\varphi}{\int_0^{2\pi} \int_0^{r_{\max}} I(r, \varphi) \cdot r \cdot dr \cdot d\varphi} \quad (3)$$

Here is a simple Formula (4) to show the relationship between r , θ and d_f , and its differential form, Formula (5):

$$r = d_f \cdot \tan(\theta) \quad (4)$$

$$r \cdot d_f = d_f^2 \cdot \sin(\theta) \cdot \cos^{-3}(\theta) \cdot d\theta \quad (5)$$

Replacing r with θ using Formula (4) and Formula (5), Formula (6) is obtained. This shows EAF value $E(\theta')$.

$$E(\theta') = \frac{\int_0^{2\pi} \int_0^{\theta'} I(r, \varphi) \cdot \frac{\sin(\theta)}{\cos^3(\theta)} \cdot d\theta d\varphi}{\int_0^{2\pi} \int_0^{\theta_{\max}} I(r, \varphi) \cdot \frac{\sin(\theta)}{\cos^3(\theta)} \cdot d\theta d\varphi} \quad (6)$$

where

r is the radial distance from the origin corresponding to an angle between one ray emitted from the multimode waveguide and the optical axis of the multimode waveguide;

- $r_{\max}$ is the radial distance from the origin corresponding to the maximum ray angle, which is approximately 30° for category A3 multimode fibre for example;
- φ is a circular angle in polar coordinates;
- θ is an angle between one ray emitted from the multimode waveguide and the optical axis;
- $\theta_{\max}$ is the maximum ray angle, which is approximately 30° for category A3 multimode fibre for example;
- d_f is the distance between the end of multimode optical waveguide and FFP screen;
- O and O_m are the calculated centroids discussed in 8.4.

An example of EAF is shown in Figure 9.

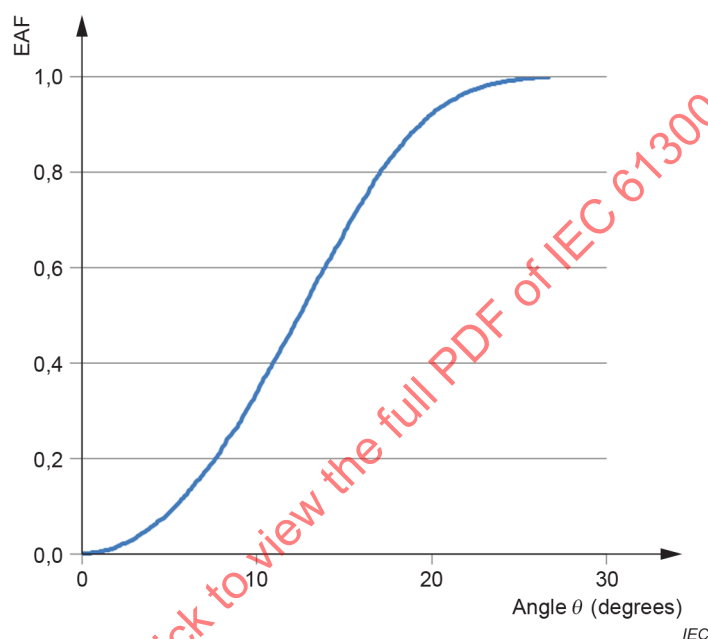


Figure 9 – Typical encircled angular flux chart

9 Results

9.1 Information available with each measurement

Report the following with each measurement:

- date and time of measurement;
- identification of source;
- nominal wavelength of source;
- method of centre determination;
- the encircled angular flux at each angle shall be reported after a series of measurements is completed;
- EAF as a graph as a function of angle θ (Figure 9), including any specified template limits.

For method B, specify the single-mode fibre and multimode fibre connectors and their lateral and angular tolerances, if the measurements are referenced to the connector.

9.2 Information available upon request

The following information shall be available upon request:

- date of most recent calibration of equipment;
- method of calibration of equipment;
- the integration limit parameters (larger than the angle corresponding to the NA of the specimen and less than the field of view);
- the original images used in the computations;
- the derived centre, and if different, the centroid image;
- the angular data functions computed in 8.5.

10 Details to be specified

The following details, as applicable, shall be stated in the relevant specification:

- type of source to be measured;
- sampling requirements, if any;
- criteria to be met by sources;
- any deviations to the procedure that may apply;
- angle θ at which the EAF is to be reported;
- the EAF template used to report results;
- measurement uncertainty.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61300-3-53:2020

Annex A (informative)

System recommendations – Measurement method 1: far field optical system

A.1 General

An $f\theta$ lens can directly convert the distribution of intensity as a function of input light angle to the distribution of intensity as a function of radius in the far field. However, scaling the far field image in order to fit the image sensor in the camera may be required. In addition, adjustment of the input light intensity in order to prevent the saturation of the image sensor may also be required using an ND filter(s). Accordingly, the far field optical system consists of $f\theta$ (telecentric) optical system and imaging optical system (relay lens). An ND filter may be placed at the filter port. Figure A.1 shows an example of an optical system using $f\theta$ lens.

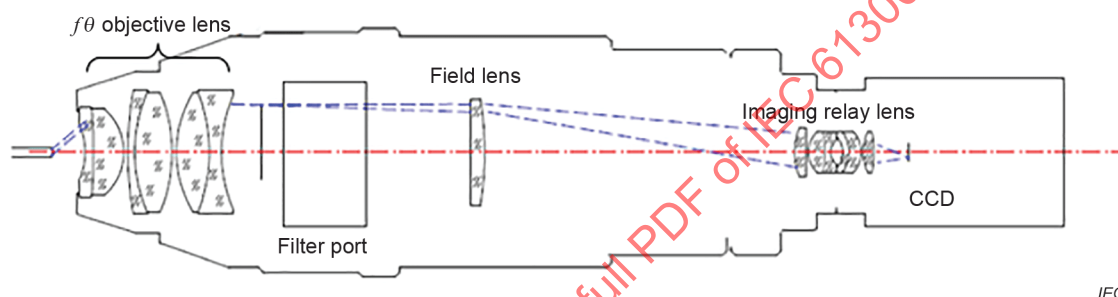


Figure A.1 – An example of an optical system using an $f\theta$ lens

A.2 Recommendations

Recommended specifications of the far field optical system are:

Main lens system:	$f\theta$ objective lens
Range of measurement angle to the optical axes:	$\pm 40^\circ$ (NA = 0,64)
Resolution of measurement angle:	0,1° or less

Annex B (informative)

System recommendations – Measurement method 2: direct imaging

B.1 General

The principle of this measurement method is that light diverges from the step index multimode waveguide connected to the light source and this light is allowed to diverge in free space without passing through any lenses, prisms, apertures or other optical elements before it impinges on the photodiode or CCD or CMOS detector apart from the case of the integrating sphere where multiple internal reflections are permitted.

B.2 Recommendations

The distance L between the imaging device and the waveguide end facet is much larger than the core size of the waveguide, so the field captured is the far field distribution. It should be confirmed that all of the light distribution is detected by the CCD camera, which may require the camera to be moved closer to the light source or alternatively multiple images may be stitched together.

Recommended setup specifications are:

Distance of detection surface from waveguide end facet:	$L \gg D^2/\lambda$
Range of measurement angle to the optical axes:	$\pm 40^\circ$ (NA = 0,64)
Resolution of measurement angle:	0,1° or less

Annex C (informative)

Shading effect of CCD devices: incident ray angular sensitivity

C.1 General

It is generally known that a CCD device consist of a CCD semiconductor tip and a micro lens array. The purpose of the lens array is to maximize the CCD sensitivity. At the same time, the structure causes the incident angle dependent sensitivity. When FFP image is gotten with use of direct imaging method with CCD camera, the higher angle image data may be affected by the shading effect. The shading effect is strongly dependent upon the actual CCD product structure and the tester should consult the CCD camera manufacturer shading characteristics, then adjust the measurement result using the data, although self-correction function may be included in some CCD devices.

C.2 Scheme of shading and example of the characteristics

Figure C.1 shows a scheme of shading effect of a CCD device.

Figure C.2 shows an example of shading characteristics.

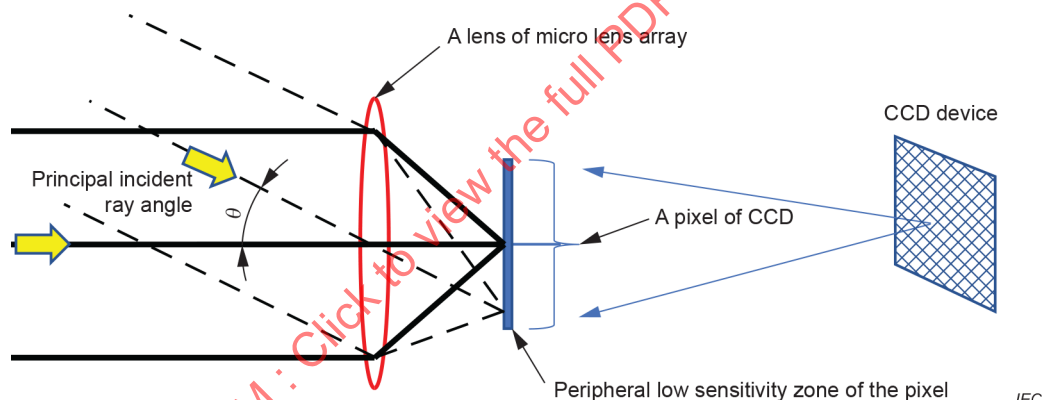
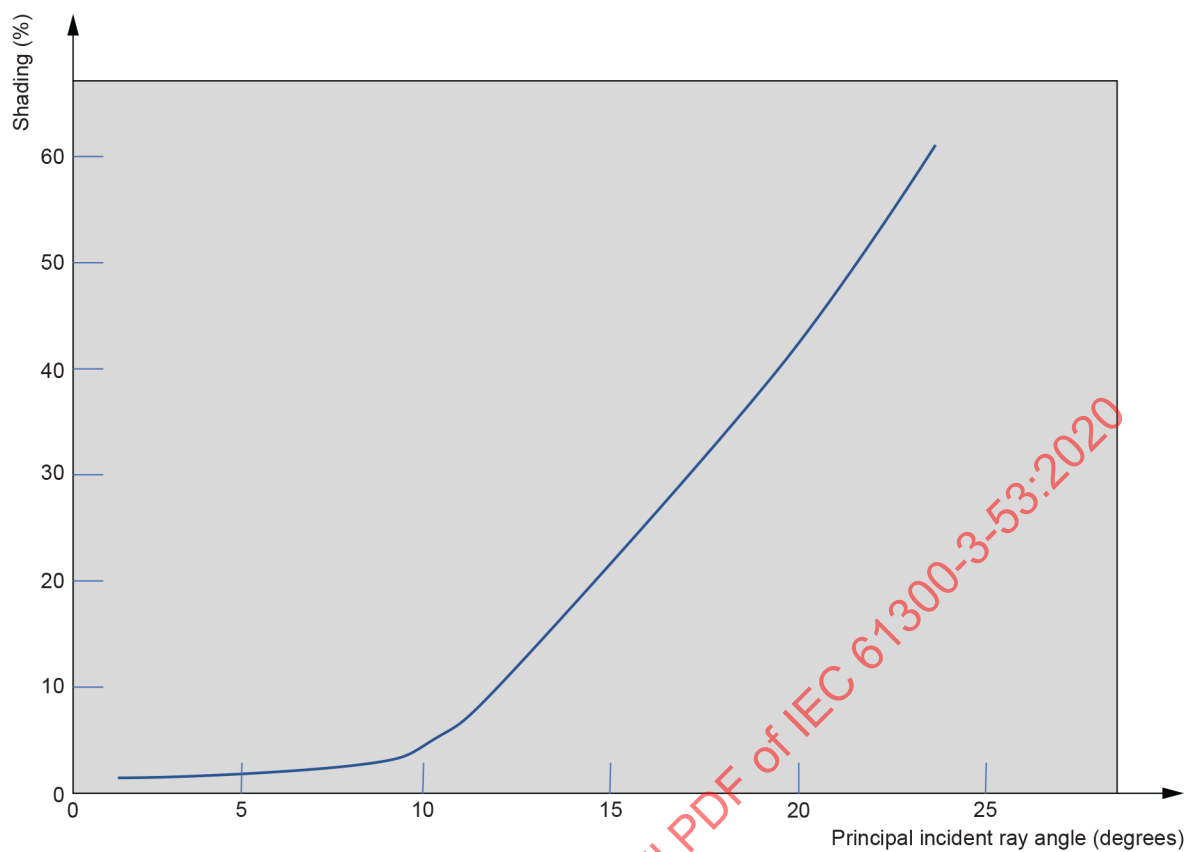


Figure C.1 – Scheme of shading effect



IEC

Figure C.2 – Example of shading characteristics

Annex D (normative)

Launch optics for the EAF template compliance test

D.1 General

IEC 61300-1:2016, Clause 10, specifies an EAF template for A3e optical fibre. However, some launching conditions provide abnormal MPDs which deliver improper attenuation values because of the unevenness of optical power distribution in the core. In order to avoid these conditions, the EAF measurement for the EAF template compliance test shall be operated using the setup as described in Clause D.2.

D.2 Setup

Launch fibre shall be wrapped 5 times with a diameter of 10 mm as shown in Figure D.1. Wrapping the fibre on a round bar of 10 mm diameter should keep the required state.

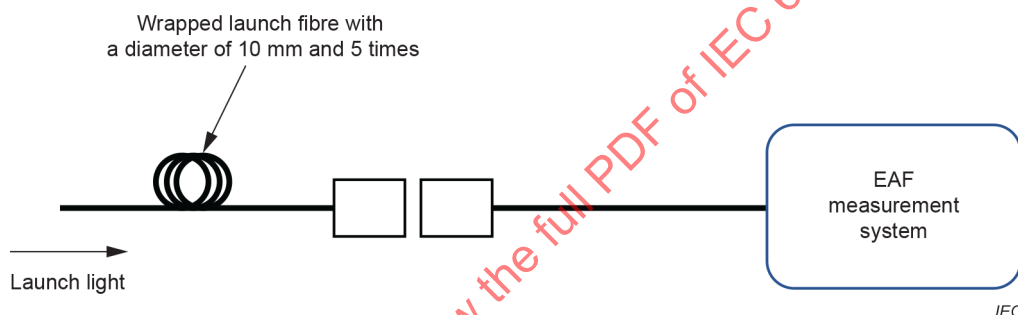


Figure D.1 – Schematic view of the setup for the EAF compliance test

Bibliography

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

MOST Specification of Physical Layer Rev. 1.1, 09/2003

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61300-3-53:2020

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	26
1 Domaine d'application	28
2 Références normatives	28
3 Termes et définitions	28
4 Conditions de mesure	30
5 Appareillage	30
5.1 Généralités	30
5.2 Méthode de mesure 1: imagerie de lentille $f\theta$	30
5.2.1 Généralités	30
5.2.2 Micropositionneur	31
5.2.3 Système optique de FFP	31
5.2.4 Dispositif d'imagerie	31
5.2.5 Ordinateur (module analyseur d'EAF)	31
5.3 Méthode de mesure 2: imagerie directe	32
5.3.1 Généralités	32
5.3.2 Micropositionneur	32
5.3.3 Dispositif d'imagerie	32
5.3.4 Ordinateur, régulateur de position et acquisition d'image	32
6 Échantillonnage et spécimens	33
7 Étalonnage géométrique	33
7.1 Généralités	33
7.2 Source de rayonnement lumineux	33
7.3 Procédure	33
8 Procédure de mesure	34
8.1 Sécurité	34
8.2 Acquisition d'image de champ lointain	34
8.2.1 Généralités	34
8.2.2 Alignement de l'extrémité du guide d'ondes	34
8.2.3 Acquisition d'image de la source de rayonnement lumineux	35
8.3 Suppression du bruit de fond	35
8.4 Détermination du centre	36
8.4.1 Généralités	36
8.4.2 Méthode A: Détermination du centre optique	36
8.4.3 Méthode B: Détermination du centre mécanique	36
8.5 Calcul du flux angulaire inscrit	37
9 Résultats	38
9.1 Informations disponibles pour chaque mesure	38
9.2 Informations disponibles sur demande	39
10 Éléments à spécifier	39
Annexe A (informative) Recommandations relatives au système – Méthode de mesure 1: système optique de champ lointain	40
A.1 Généralités	40
A.2 Recommandations	40
Annexe B (informative) Recommandations relatives au système – Méthode de mesure 2: imagerie directe	41

B.1	Généralités	41
B.2	Recommandations	41
Annexe C (informative)	Effet d'ombrage des dispositifs CCD: sensibilité angulaire en fonction du rayon d'incidence	42
C.1	Généralités	42
C.2	Schéma d'ombrage et exemple de caractéristiques.....	42
Annexe D (Normative)	Optique d'injection pour l'essai de conformité du modèle EAF	44
D.1	Généralités	44
D.2	Montage.....	44
Bibliographie.....		45

Figure 1 – Configuration de l'appareillage – Méthode de mesure 1: imagerie de lentille $f\theta$	31
Figure 2 – Schéma du système optique de champ lointain	31
Figure 3 – Configuration de l'appareillage pour la méthode de mesure 2: imagerie directe	33
Figure 4 – Exemple d'appareillage d'étalonnage	34
Figure 5 – Image acquise de champ lointain	35
Figure 6 – Image acquise de champ lointain avec une fausse couleur.....	35
Figure 7 – Détermination du centre optique.....	36
Figure 8 – Transformation des coordonnées x-y en coordonnées polaires sur le plan du détecteur d'image	37
Figure 9 – Graphique typique de flux angulaire inscrit.....	38
Figure A.1 – Exemple de système optique utilisant une lentille $f\theta$	40
Figure C.1 – Schéma de l'effet d'ombrage.....	42
Figure C.2 – Exemple de caractéristiques d'ombrage.....	43
Figure D.1 – Représentation schématique de la configuration pour l'essai de conformité de l'EAF	44

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**DISPOSITIFS D'INTERCONNEXION
ET COMPOSANTS PASSIFS FIBRONIQUES –
PROCÉDURES FONDAMENTALES D'ESSAIS ET DE MESURES –****Partie 3-53: Examens et mesures – Méthode de mesure du flux angulaire
inscrit (EAF) fondée sur les données bidimensionnelles de champ lointain
d'un guide d'ondes multimodal (fibre incluse)**

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 propriété et averti de leur existence.

La Norme internationale IEC 61300-3-53 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

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 2015. Cette édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

- a) la portée des guides d'ondes applicables, ainsi que la fibre et le guide d'ondes optiques multimodaux à gradient d'indice ont été inclus;
- b) restructuration de 5.3;
- c) ajout de l'Annexe C et de l'Annexe D.

Le texte de cette Norme internationale est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
86B/4343/FDIS	86B/4373/RVD

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

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 61300, publiées sous le titre général, *Dispositifs d'interconnexion et composants passifs fibroniques – Procédures fondamentales d'essais et de mesures* peut être consultée sur le site web de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu de ce document 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 au document recherché. A cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

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.

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

Partie 3-53: Examens et mesures – Méthode de mesure du flux angulaire inscrit (EAF) fondée sur les données bidimensionnelles de champ lointain d'un guide d'ondes multimodal (fibre incluse)

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 61300 définit la mesure du flux angulaire inscrit de sources de rayonnement lumineux dotées d'un guide d'ondes multimodal, pour lequel la plupart des modes transversaux sont excités. On considère que le terme "guide d'ondes" inclut à la fois des guides d'ondes de canal et des fibres optiques, mais pas des guides d'ondes rectangulaires rigides.

Les types de fibres applicables sont les suivants:

- A1 spécifié dans l'IEC 60793-2-10;
- A3 spécifié dans l'IEC 60793-2-30;
- A4 spécifié dans l'IEC 60793-2-40.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

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

IEC 60793-2-30, *Optical fibres – Part 2-30: Product specifications – Sectional specification for category A3 multimode fibres* (Disponible en anglais seulement)

IEC 60793-2-40, *Fibres optiques – Partie 2-40: Spécifications de produits – Spécification intermédiaire pour les fibres multimodales de catégorie A4*

IEC 60825-1, *Sécurité des appareils à laser – Partie 1: Classification des matériels et exigences*

IEC 61300-1:2016, *Dispositifs d'interconnexion et composants passifs fibroniques – Procédures fondamentales d'essais et de mesures – Partie 1: Généralités et lignes directrices*

3 Termes et définitions

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

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <http://www.iso.org/obp>

3.1

flux angulaire inscrit

EAF

fraction de la puissance optique totale rayonnée par le cœur d'un guide d'ondes multimodal dans un certain angle solide

Note 1 à l'article: L'abréviation "EAF" est dérivée du terme anglais développé correspondant "encircled angular flux".

3.2

champ lointain de Fraunhofer

champ lointain apparaissant lorsque

$$L \gg D^2/\lambda$$

où

L est la distance du plan de détection par rapport à la facette d'extrémité du guide d'ondes;

D est le diamètre du cœur du guide d'ondes multimodal, ou au sens strict, le diamètre du champ de modes;

λ est la longueur d'onde.

3.3

lentille $f\theta$

lentille convertissant l'angle d'incidence du faisceau d'entrée, θ , en hauteur du faisceau de sortie, h

Note 1 à l'article: La relation entre ces deux grandeurs est $h = f\theta$, où f est la longueur focale de la lentille.

3.4

distribution de puissance modale

MPD

puissance modale relative dans chaque groupe de modes d'une fibre multimodale

Note 1 à l'article: L'abréviation "MPD" est dérivée du terme anglais développé correspondant "mode power distribution".

[SOURCE: IEC 62614-2:2015, 3.5, modifiée – Les mots "souvent représentée de manière graphique" ont été supprimés.]

3.5

ouverture numérique

NA

sinus du demi-angle au sommet du plus grand cône de rayons méridiens pouvant entrer dans le cœur d'un guide d'ondes optique ou le quitter, multiplié par l'indice de réfraction du milieu dans lequel est situé le cône

Note 1 à l'article: L'abréviation "NA" est dérivée du terme anglais développé correspondant "numerical aperture".

3.6

diagramme de champ lointain

FFP

distribution angulaire de la lumière rayonnée par le cœur d'un guide d'ondes, qui correspond à la distribution de la puissance optique sur un plan normal à l'axe du guide d'ondes à une certaine distance de sa facette d'extrémité

Note 1 à l'article: La distance dépend de la plus grande section du guide d'ondes, a , de la longueur d'onde, λ , et de l'angle, φ par rapport à l'axe optique. Dans la région de champ lointain, la forme de la distribution ne change pas lorsque la distance par rapport à la facette d'extrémité du guide d'ondes augmente; la distribution est simplement mise à l'échelle avec la distance, L .

$$L \gg \frac{2a^2 (\cos \varphi)^2}{\lambda}$$

Note 2 à l'article: L'abréviation "FFP" est dérivée du terme anglais développé correspondant "far field pattern".

3.7

image de champ lointain

diagramme de champ lointain formé sur un dispositif d'imagerie

3.8

filtre à densité neutre

filtre ND

filtre qui atténue de manière égale le rayonnement lumineux de toutes les couleurs

Note 1 à l'article: L'abréviation "ND" est dérivée du terme anglais développé correspondant "neutral density".

4 Conditions de mesure

Les fibres optiques qui sont appliquées à cette mesure sont spécifiées dans l'IEC 60793-2-10, l'IEC 60793-2-30 et l'IEC 60793-2-40. Les conditions ambiantes de mesure doivent correspondre aux conditions atmosphériques normales spécifiées dans l'IEC 61300-1.

5 Appareillage

5.1 Généralités

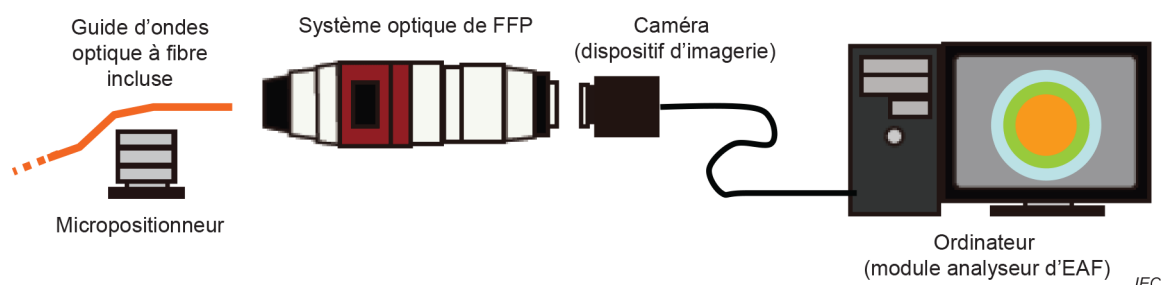
Le guide d'ondes optique source multimodal doit être d'une longueur suffisante pour que tous les modes de gaine soient extraits en traversant le guide d'onde. Le revêtement de la fibre ou un revêtement protecteur serré suffit souvent pour remplir cette fonction. En variante, un extracteur de modes de gaine doit être utilisé dans la fibre optique multimodale d'injection source. Un extracteur de modes de gaine type convenant pour une fibre optique est obtenu par exemple avec un nombre suffisant d'enroulements de la fibre autour d'un mandrin d'un diamètre approprié. Les enroulements ont également un effet essentiel plus important en ce qu'ils remplissent entièrement les modes transversaux sur le diamètre maximal des champs de mode. Il convient de vérifier que tous les modes transversaux de la fibre sont suffisamment bien excités. Voir l'Annexe D. Ceci peut être réalisé en comparant les FFP pour différentes longueurs de la fibre d'injection ou différentes sources de rayonnements lumineux. Lorsque la forme du FFP ne varie plus à mesure que la longueur de la fibre d'injection augmente, il est inutile de continuer à augmenter la longueur.

5.2 Méthode de mesure 1: imagerie de lentille $f\theta$

5.2.1 Généralités

En théorie, cette méthode de mesure qui est effectivement une méthode optique cohérente pour effectuer une transformation de Fourier du champ proche en champ lointain en utilisant une lentille, ne fonctionne pas bien si l'on utilise des sources optiques à très large bande. Il a été démontré expérimentalement qu'elle fonctionnait suffisamment bien pour des sources d'une largeur de bande allant jusqu'à 30 nm, qui sont les plus couramment utilisées.

La Figure 1 ci-dessous représente la configuration de l'appareillage. Le système de mesure est constitué d'un micropositionneur, d'un système optique à large bande de champ lointain, d'un dispositif d'imagerie (par exemple une caméra) et d'un ordinateur (module analyseur d'EAF). Un type de caméra (dispositif d'imagerie) approprié doit être choisi en fonction de la longueur d'onde soumise à essai.



**Figure 1 – Configuration de l'appareillage –
Méthode de mesure 1: imagerie de lentille $f\theta$**

5.2.2 Micropositionneur

Le micropositionneur doit maintenir la source optique (guide d'ondes inclus) et pouvoir se déplacer dans trois directions (X, Y, Z). Un mouvement angulaire du système optique est recommandé.

5.2.3 Système optique de FFP

Comme cela est représenté à la Figure 2, une lentille $f\theta$ peut convertir directement le rayonnement lumineux, provenant du guide d'ondes multimodal, en une image de champ lointain; toutefois, il est nécessaire de procéder à une mise à l'échelle de l'image de champ lointain pour adapter le détecteur d'image du dispositif d'imagerie et de régler l'intensité lumineuse pour empêcher une saturation. Le système optique de FFP est choisi de manière à fonctionner à la longueur d'onde de mesure sur toute la largeur de bande de mesure exigée pour correspondre à celle du système de détection. Voir l'Annexe A pour de plus amples informations.

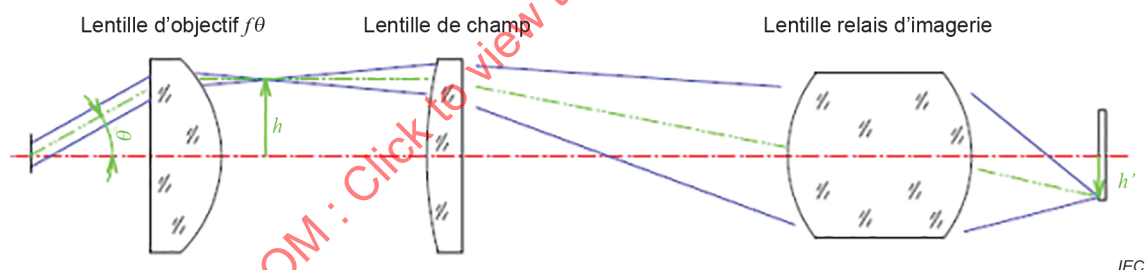


Figure 2 – Schéma du système optique de champ lointain

5.2.4 Dispositif d'imagerie

Un dispositif d'imagerie comprend une caméra, un dispositif de transfert de charge (CCD, charge-coupled device), un dispositif à semiconducteur complémentaire à oxyde métallique (CMOS, complementary metal oxide semiconductor), etc. qui peut détecter des images. Le détecteur est habituellement un CCD ou un CMOS. Le type de dispositif d'imagerie doit être choisi en fonction de la longueur d'onde de mesure. Une mesure de l'intensité absolue n'est pas exigée.

5.2.5 Ordinateur (module analyseur d'EAF)

Puisque l'image acquise contient des milliers de pixels et que la conversion de l'image en flux angulaire inscrit nécessite d'importants calculs, un ordinateur est nécessaire. L'ordinateur doit être raccordé au dispositif d'imagerie par l'intermédiaire d'une carte d'acquisition d'image (ou avec un circuit d'acquisition d'image incorporé), et un logiciel d'analyse de faisceau qui permet à l'ordinateur de fonctionner comme un module analyseur d'EAF doit être installé.

5.3 Méthode de mesure 2: imagerie directe

5.3.1 Généralités

Avec cette méthode, les images de champ lointain sont directement acquises par un dispositif d'imagerie sans aucun système optique. La distance entre le guide d'ondes optique source soumis à essai et le dispositif d'imagerie doit être d'une longueur suffisante pour atteindre le champ lointain de Fraunhofer.

NOTE Un dispositif CCD est généralement constitué d'une pointe semiconductrice de CCD et d'un réseau de microlentilles permettant d'obtenir une grande sensibilité en pratique. Puis, la structure génère en conséquence un effet d'ombrage qui correspond à la sensibilité en fonction de l'angle d'incidence. Pour de plus amples informations, voir l'Annexe C et la Figure 3.

Se reporter à l'Annexe B pour les informations détaillées de la configuration du dispositif d'imagerie.

Lorsque l'image de champ lointain est plus grande que la zone couverte par le dispositif d'imagerie, plusieurs images doivent être prises et assemblées afin de former une image de champ lointain complète.

5.3.2 Micropositionneur

Le guide d'ondes source multimodal d'entrée et le détecteur à photodiode (DP) doivent tous deux être montés sur des éléments de translation motorisés. Ces éléments doivent fonctionner tant pour un alignement grossier avec un déplacement par échelons de dixièmes de millimètres pour la position large, que pour un alignement précis avec un réglage par échelons submicroniques permettant d'augmenter au maximum la lumière traversant le guide d'ondes.

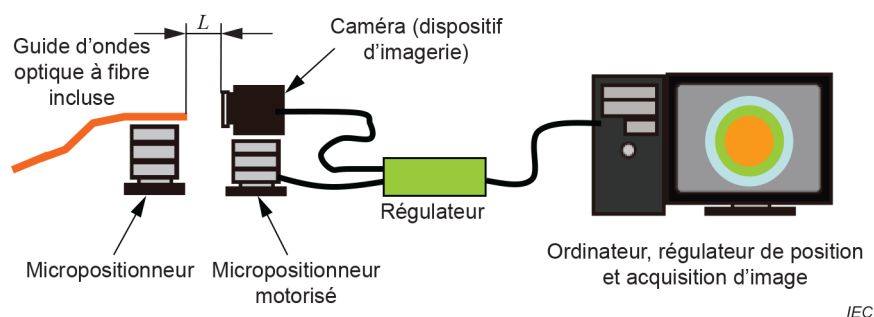
5.3.3 Dispositif d'imagerie

Un dispositif d'imagerie comprend une caméra, un dispositif de transfert de charge (CCD), un dispositif à semiconducteur complémentaire à oxyde métallique (CMOS), etc. qui peut détecter des images. Un plan de dispositif d'imagerie sans aucun système de lentille doit être installé suffisamment loin de la facette du guide d'ondes multimodal d'injection de la source optique pour se trouver dans le champ lointain de Fraunhofer.

Le dispositif d'imagerie peut être, par exemple, une caméra CCD dont la lentille a été retirée, de sorte que la distribution de lumière tombe directement sur la puce CCD. La position latérale par rapport à l'axe optique dans le champ lointain doit être convertie en angle de divergence par rapport à l'axe optique. L'angle est l'arc tangent du rapport de la position latérale X ou Y sur la distance L . Une mesure précise de L exige donc le plus grand soin.

5.3.4 Ordinateur, régulateur de position et acquisition d'image

L'ordinateur régule la position du dispositif d'imagerie (caméra) de manière à acquérir la ou les images adéquates. Si l'image de champ lointain est trop grande pour qu'une seule image puisse être capturée, le régulateur informatisé déplace le dispositif d'imagerie dans différentes positions pour acquérir plusieurs images qui sont ensuite réunies en une seule image de champ lointain.



IEC

Figure 3 – Configuration de l'appareillage pour la méthode de mesure 2: imagerie directe

NOTE Un dispositif CCD est généralement constitué d'une pointe semiconductrice de CCD et d'un réseau de microlentilles permettant d'obtenir une grande sensibilité en pratique. Puis, la structure génère en conséquence un effet d'ombrage qui correspond à la sensibilité en fonction de l'angle d'incidence. Pour de plus amples informations, voir l'Annexe C.

6 Échantillonnage et spécimens

Les procédures d'échantillonnage et de préparation des sources de rayonnement lumineux qui injectent un rayonnement lumineux dans les guides d'ondes multimodaux qui doivent être soumis à essai doivent être documentées. Les sources de rayonnement lumineux soumises à essai doivent avoir une longueur d'onde de fonctionnement compatible avec le détecteur et la lentille $f\theta$, et disposer de connecteurs optiques ou d'épissures compatibles avec le port d'entrée de l'appareillage. Sinon, aucun autre détail de construction n'est spécifié pour les sources de rayonnement lumineux.

7 Étalonnage géométrique

7.1 Généralités

L'étalonnage de l'appareillage est important pour la précision de ce mode opératoire de mesure. L'étalonnage doit être réalisé de manière périodique. Si l'étalonnage est réputé varier de manière importante sur l'intervalle de mesure, les variations des sources doivent être identifiées et éliminées. Si l'appareil est démonté ou si ses composants situés sur le chemin optique ou affectant le chemin optique sont manipulés, un étalonnage doit être réalisé avant d'effectuer des mesures.

L'objectif de l'étalonnage géométrique est d'obtenir les données de mesure nécessaires pour calculer le facteur de conversion. Ce facteur doit être utilisé pour convertir les coordonnées de la caméra en angle d'injection de la lumière par rapport à l'axe optique du guide d'ondes optique.

7.2 Source de rayonnement lumineux

La source de rayonnement lumineux d'étalonnage doit être à large bande et incohérente, afin d'éviter les problèmes de bruit modal. Elle doit également présenter une distribution de champ lointain suffisamment symétrique pour que le centroïde calculé du champ lointain indique l'emplacement de l'axe optique central du guide d'ondes avec une précision suffisante pour les besoins du présent document.

7.3 Procédure

L'étalonnage doit être effectué pour mesurer le facteur de conversion qui lie l'angle d'injection de la lumière au pixel du détecteur correspondant à cet angle. Ce facteur possède une unité de degré par pixel et doit être utilisé pour convertir les coordonnées du dispositif d'imagerie en coordonnées d'angle de champ lointain. La source de rayonnement lumineux collimatée pour l'étalonnage géométrique, représentée à la Figure 4, doit avoir une distribution de puissance

spectrale similaire à celle de la source de rayonnement lumineux de mesure et la longueur d'onde centrale doit se situer à moins de 30 nm autour de la longueur d'onde nominale de la source de rayonnement lumineux de mesure.

La procédure d'étalonnage est présentée ci-dessous:

- Étape 1: disposer une source de rayonnement lumineux collimatée dont l'angle d'incidence par rapport à l'axe optique du système optique de champ lointain peut être commandé précisément; et

NOTE Un exemple d'appareillage d'étalonnage est représenté à la Figure 4.

- Étape 2: mesurer les facteurs de conversion à partir de la plage totale d'angles à mesurer avec un intervalle suffisamment petit (par exemple, 1°) pour permettre une interpolation précise.

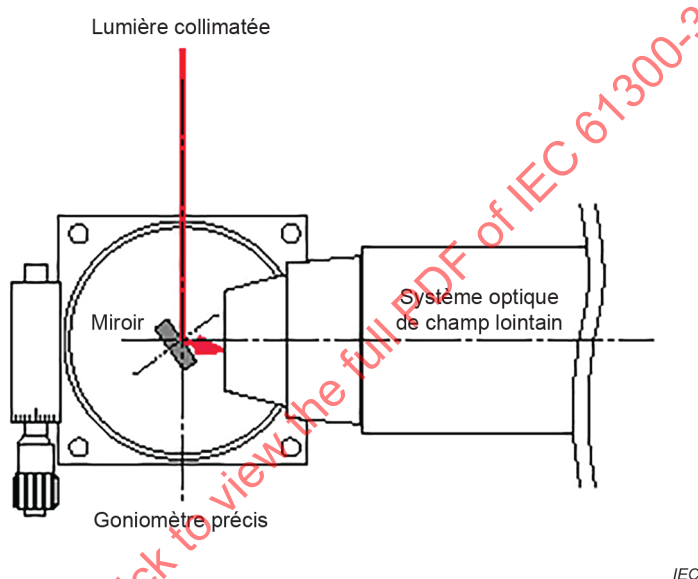


Figure 4 – Exemple d'appareillage d'étalonnage

8 Procédure de mesure

8.1 Sécurité

Toutes les procédures dans lesquelles une diode électroluminescente (LED, Light Emitting Diode) ou une source laser est utilisée en tant que source optique doivent être exécutées en respectant les précautions de sécurité de l'IEC 60825-1.

8.2 Acquisition d'image de champ lointain

8.2.1 Généralités

L'acquisition d'une image est l'élément central de la mesure du flux angulaire inscrit. L'approche de l'acquisition d'une image dépend des caractéristiques générales de la source de rayonnement lumineux mesurée.

8.2.2 Alignement de l'extrémité du guide d'ondes

Une face d'extrémité du guide d'ondes doit être placée au foyer avant du système optique de FFP. L'image de champ lointain en direct acquise sur le dispositif d'affichage de l'ordinateur doit être réglée de manière à se trouver au centre du dispositif d'affichage, en utilisant les axes

X et Y du micropositionneur et à un diamètre minimal et au point en utilisant l'axe Z du micropositionneur selon 5.2.2.

8.2.3 Acquisition d'image de la source de rayonnement lumineux

Les sources de rayonnement lumineux de mesure doivent être suffisamment incohérentes et intenses pour produire facilement une bonne plage dynamique, bien qu'un affaiblissement puisse être exigé lorsqu'un ou plusieurs filtres à densité neutre (ND) sont utilisés. L'image acquise doit apparaître sur le dispositif d'affichage de l'ordinateur comme représenté à la Figure 5. L'image peut être affichée avec une fausse couleur comme représenté à la Figure 6.

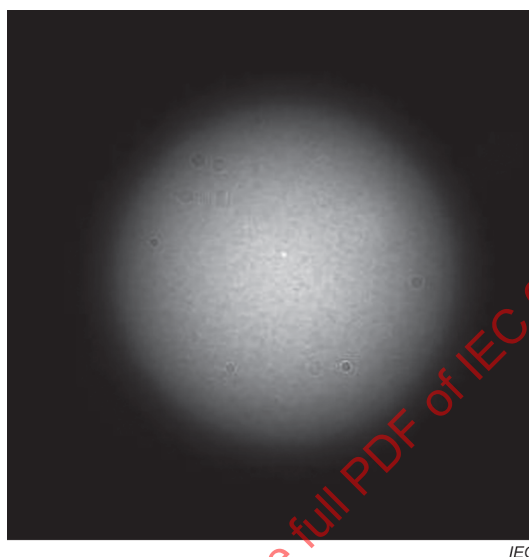


Figure 5 – Image acquise de champ lointain

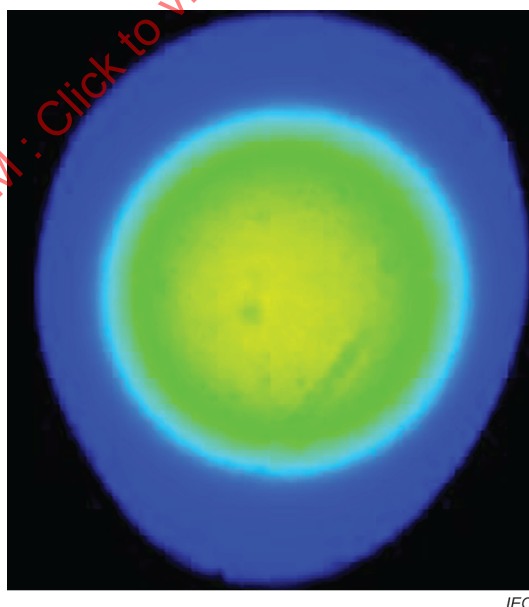


Figure 6 – Image acquise de champ lointain avec une fausse couleur

8.3 Suppression du bruit de fond

Le courant d'obscurité de la caméra qui est acquis en assombrissant la lumière d'entrée au préalable doit être éliminé de l'image acquise, ou une intensité de 0,5 % de la puissance crête de l'image acquise doit être définie comme niveau de bruit de fond.

8.4 Détermination du centre

8.4.1 Généralités

L'une des deux méthodes suivantes doit être utilisée.

8.4.2 Méthode A: Détermination du centre optique

Le flux angulaire inscrit est calculé par rapport au centroïde de la distribution de FFP. Comme représenté à la Figure 7, le centroïde de l'image acquise doit être déterminé en utilisant la formule (1).

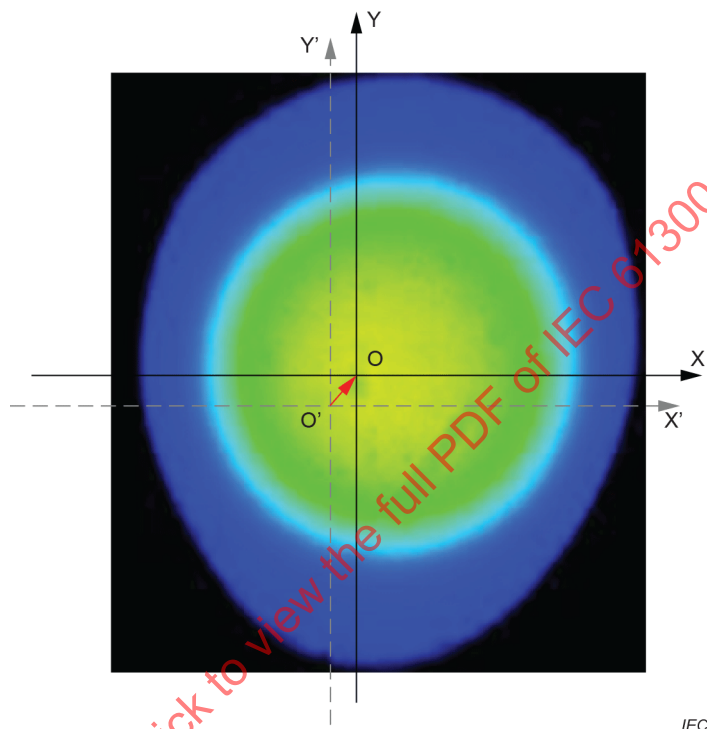


Figure 7 – Détermination du centre optique

$$O(x=0, y=0) = O'(x'=0, y'=0) - \left(\frac{\sum_{x'} x' \sum_{y'} I(x', y')}{\sum_{x'} \sum_{y'} I(x', y')}, \frac{\sum_{y'} y' \sum_{x'} I(x', y')}{\sum_{x'} \sum_{y'} I(x', y')} \right) \quad (1)$$

où

O' est l'origine du système optique de FFP;

O est le centroïde calculé de l'image acquise;

(x', y') sont les coordonnées x-y basées sur l'origine du système optique de FFP;

$I(x', y')$ est l'intensité lumineuse aux coordonnées (x', y') .

8.4.3 Méthode B: Détermination du centre mécanique

Le flux angulaire inscrit est calculé par rapport à l'axe optique central du système optique de mesure. L'axe optique central du système optique de mesure, O_m , doit être déterminé en mesurant le diagramme de champ lointain d'un guide d'ondes de référence. Le guide d'ondes de référence doit être une fibre unimodale et il convient que la face d'extrémité de la fibre soit perpendiculaire à l'axe optique.

$$O_m(x_m = 0, y_m = 0) = O'_m(x'_m = 0, y'_m = 0) - \left(\frac{\sum_{x'} x'_m \sum_{y'} I(x'_m, y'_m)}{\sum_{x'} \sum_{y'} I(x'_m, y'_m)}, \frac{\sum_{y'} y'_m \sum_{x'} I(x'_m, y'_m)}{\sum_{x'} \sum_{y'} I(x'_m, y'_m)} \right) \quad (2)$$

où

O'_m est l'origine de l'imagerie directe;

O_m est le centroïde calculé de l'image acquise;

(x'_m, y'_m) sont les coordonnées x-y basées sur l'origine de l'imagerie directe.

$I(x'_m, y'_m)$ est l'intensité lumineuse aux coordonnées (x'_m, y'_m) .

Pour la méthode B, O'_m doit être fixe pendant une série de mesures.

8.5 Calcul du flux angulaire inscrit

Avant de calculer le flux angulaire inscrit, les coordonnées x-y sont converties en coordonnées polaires en utilisant r et φ , comme représenté à la Figure 8(b). La Figure 8(a) représente la vue latérale de la fibre et le faisceau émis. En appliquant r et φ à l'équation du flux inscrit, la distribution de l'intensité lumineuse sur un écran affichant le FFP est décrite dans la formule (3).

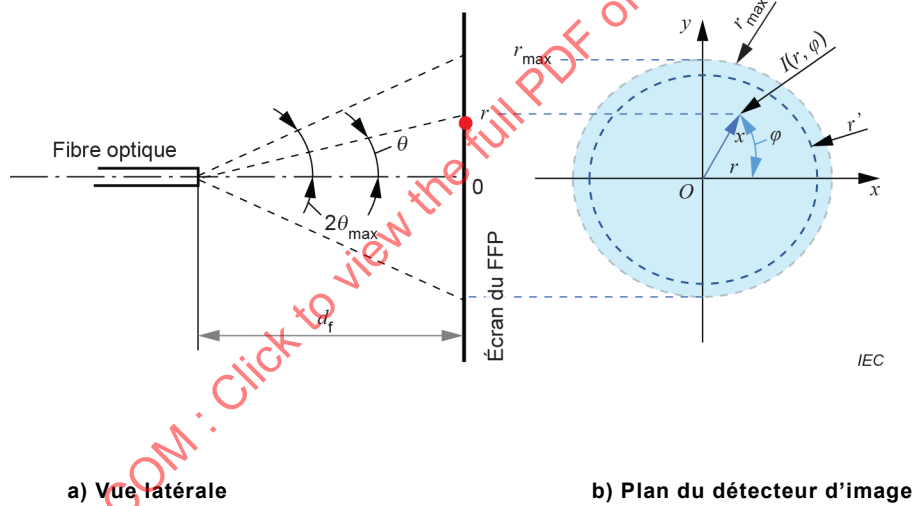


Figure 8 – Transformation des coordonnées x-y en coordonnées polaires sur le plan du détecteur d'image

$$EF(r') = \frac{\int_0^{2\pi} \int_0^{r'} I(r, \varphi) \cdot r \cdot dr \cdot d\varphi}{\int_0^{2\pi} \int_0^{r_{\max}} I(r, \varphi) \cdot r \cdot dr \cdot d\varphi} \quad (3)$$

Voici une formule simple (4) qui présente la relation entre r , θ et d_f , et sa forme différentielle (5)

$$r = d_f \cdot \tan(\theta) \quad (4)$$

$$r \cdot d_r = d_f^2 \cdot \sin(\theta) \cdot \cos^{-3}(\theta) \cdot d\theta \quad (5)$$

En remplaçant r par θ en utilisant les formules (4) et (5), on obtient la formule (6). Celle-ci montre la valeur EAF $E(\theta)$.

$$E(\theta) = \frac{\int_0^{2\pi} \int_0^{\theta'} I(r, \varphi) \cdot \frac{\sin(\theta)}{\cos^3(\theta)} \cdot d\theta d\varphi}{\int_0^{2\pi} \int_0^{\theta_{\max}} I(r, \varphi) \cdot \frac{\sin(\theta)}{\cos^3(\theta)} \cdot d\theta d\varphi} \quad (6)$$

où

r est la distance radiale par rapport à l'origine correspondant à l'angle entre un rayon émis par le guide d'ondes multimodal et l'axe optique du guide d'ondes multimodal;

$r_{\max}$ est la distance radiale par rapport à l'origine correspondant à l'angle de rayonnement maximal qui est approximativement de 30° pour une fibre multimodale de catégorie A3, par exemple;

ϕ est un angle circulaire en coordonnées polaires.

θ est un angle situé entre un rayon émis par le guide d'ondes multimodal et l'axe optique;

$\theta_{\max}$ est l'angle de rayonnement maximal qui est approximativement de 30° pour une fibre multimodale de catégorie A3, par exemple;

d_f est la distance entre l'extrémité du guide d'ondes optique multimodal et l'écran du FFP;

O et O_m sont les centroïdes calculés, évoqués en 8.4.

Un exemple d'EAF est représenté à la Figure 9.

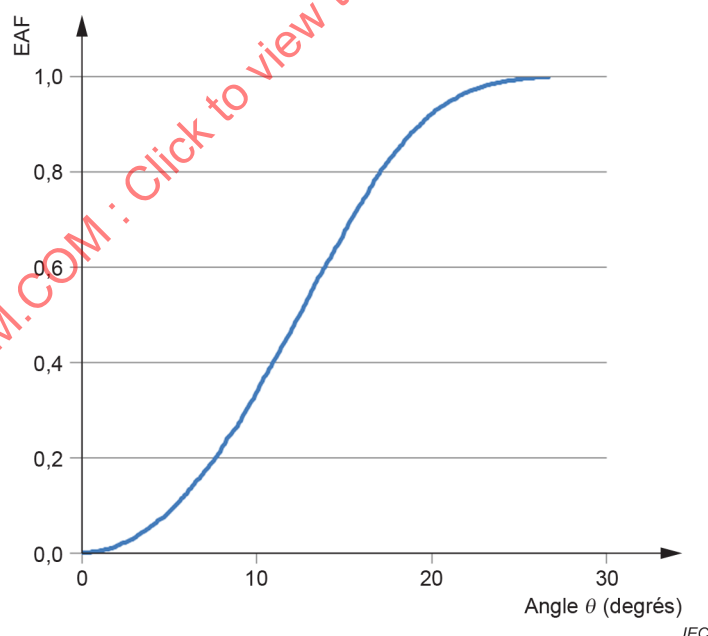


Figure 9 – Graphique typique de flux angulaire inscrit

9 Résultats

9.1 Informations disponibles pour chaque mesure

Pour chaque mesure, consigner les informations suivantes