

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Calibration of tuneable laser sources

Étalonnage des sources laser accordables



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2014 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

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

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 30 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 14 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

More than 55 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

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

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

A propos de l'IEC

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

A propos des publications IEC

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

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

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

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

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 30 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 14 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

Plus de 55 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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



IEC 62522

Edition 1.0 2014-02

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Calibration of tuneable laser sources

Étalonnage des sources laser accordables

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

W

ICS 31.260; 33.180.01

ISBN 978-2-8322-1411-4

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

CONTENTS

FOREWORD.....	4
INTRODUCTION.....	6
1 Scope.....	7
2 Normative references.....	7
3 Terms, definitions and abbreviations	7
3.1 Terms and definitions.....	7
3.2 Abbreviations	10
4 Preparation for calibration.....	10
4.1 Organization.....	10
4.2 Traceability	10
4.3 Preparation	10
4.4 Reference calibration conditions.....	11
5 Wavelength calibration.....	11
5.1 Overview.....	11
5.2 Wavelength calibration at reference conditions	11
5.2.1 Set-up.....	11
5.2.2 Calibration equipment	11
5.2.3 Procedure for wavelength calibration.....	12
5.2.4 Dependence on conditions	12
5.2.5 Uncertainty at reference conditions	14
5.3 Wavelength calibration at operating conditions	15
5.3.1 General	15
5.3.2 Optical power dependence	15
5.3.3 Uncertainty at operating conditions.....	16
6 Optical power calibration.....	16
6.1 Overview.....	16
6.2 Optical power calibration at reference conditions	17
6.2.1 Set-up.....	17
6.2.2 Calibration equipment	17
6.2.3 Procedure for power calibration at reference conditions.....	17
6.2.4 Dependence on conditions	18
6.2.5 Uncertainty at reference conditions	21
6.3 Optical power calibration at operating conditions	22
6.3.1 General	22
6.3.2 Wavelength dependence.....	22
6.3.3 Uncertainty at operating conditions.....	23
7 Documentation.....	23
7.1 Calibration data and uncertainty	23
7.2 Calibration conditions	23
Annex A (normative) Mathematical basis	25
A.1 General.....	25
A.2 Type A evaluation of uncertainty	25
A.3 Type B evaluation of uncertainty.....	26
A.4 Determining the combined standard uncertainty.....	26
A.5 Reporting	27
Annex B (informative) Averaged wavelength (or power) deviation over a certain range.....	28

Annex C (informative) Other testing	30
C.1 General	30
C.2 Wavelength resolution	30
C.2.1 Set-up	30
C.2.2 Testing equipment	30
C.2.3 Testing procedure for determining wavelength resolution	30
C.3 Optical power resolution	31
C.3.1 Set-up	31
C.3.2 Testing equipment	31
C.3.3 Testing procedure for optical power resolution	31
C.4 Signal to source spontaneous emission ratio	32
C.4.1 Set-up	32
C.4.2 Testing equipment	32
C.4.3 Testing procedure for determining signal to source spontaneous emission ratio	32
C.5 Side mode suppression ratio	33
C.5.1 General	33
C.5.2 Set-up	33
C.5.3 Testing equipment	34
C.5.4 Testing procedure	34
Bibliography	37
Figure 1 – Measurement set-up for wavelength calibration	11
Figure 2 – Measurement set-up for temperature dependence	13
Figure 3 – Measurement set-up for wavelength stability	14
Figure 4 – Measurement set-up for optical power dependence	15
Figure 5 – Measurement set-up for intrinsic optical power calibration	17
Figure 6 – Measurement set-up for temperature dependence	18
Figure 7 – Measurement set-up for optical power stability	20
Figure 8 – Measurement set-up for connection repeatability/reproducibility	21
Figure 9 – Measurement set-up for wavelength dependence	22
Figure C.1 – Measurement set-up for wavelength resolution	30
Figure C.2 – Measurement set-up for optical power resolution setting test	31
Figure C.3 – Measurement set-up for signal to total source spontaneous emission ratio	32
Figure C.4 – Measurement of the signal to spontaneous emission ratio	33
Figure C.5 – Measurement set-up for the side mode suppression ratio test	33
Figure C.6 – Optical spectrum of tuneable laser source	35
Figure C.7 – Measurement set-up for SMSR	35

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

CALIBRATION OF TUNEABLE LASER 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 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 62522 has been prepared by IEC technical committee 86: Fibre optics.

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

CDV	Report on voting
86/443/CDV	86/459/RVC

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

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 stability date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

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

INTRODUCTION

Wavelength-division multiplexing (WDM) transmission systems have been deployed in optical trunk lines. ITU-T Recommendations in the G.694 series describe the frequency and wavelength grids for WDM applications. For example, the frequency grid of G.694.1 supports a variety of channel spacing ranging from 12,5 GHz to 100 GHz and wider. WDM devices, such as arrayed waveguide grating (AWG), thin film filter or grating based multiplexers (MUX) and demultiplexers (DMUX) with narrow channel spacing are incorporated in the WDM transmission systems. When measuring the characteristics of such devices, wavelength tuneable laser sources are commonly used and are required to have well-calibrated performances; wavelength uncertainty, wavelength tuning repeatability, wavelength stability and output optical power stability are important parameters.

The tuneable laser source (TLS) is generally equipped with the following features:

- a) the output wavelength is continuously tuneable in a wavelength range starting at 1 260 nm or higher and ending at less than 1 675 nm (the output should excite only the fundamental LP01 fibre mode);
- b) an output port for optical fibre connectors.

The envelope of the spectrum is a single longitudinal mode with a FWHM of at most 0,1 nm. Any adjacent modes are at least 20 dB lower than the main spectral mode (for example, a distributed feedback laser diode (DFB-LD), external cavity laser, etc.)

CALIBRATION OF TUNEABLE LASER SOURCES

1 Scope

This International Standard provides a stable and reproducible procedure to calibrate the wavelength and power output of a tuneable laser against reference instrumentation such as optical power meters and optical wavelength meters (including optical frequency meters) that have been previously traceably calibrated.

2 Normative references

The following documents, in whole or in part, are normatively referenced in this document and are indispensable for its application. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

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

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

IEC 60825-2, *Safety of laser products – Part 2: Safety of optical fibre communication systems (OFCS)*

IEC 62129-2, *Calibration of wavelength/optical frequency measurement instruments – Part 2: Michelson interferometer single wavelength meters*

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

ISO/IEC Guide 98-3:2008, *Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)*

ISO/IEC Guide 99:2007, *International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM)*

3 Terms, definitions and abbreviations

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

3.1 Terms and definitions

3.1.1

accredited calibration laboratory

calibration laboratory authorized by an appropriate national organization to issue calibration certificates that demonstrates traceability to national standards

3.1.2

adjustment

set of operations carried out on an instrument in order that it provides given indications corresponding to given values of the measurand

[SOURCE: IEC 60050-300:2001, 311-03-16, modified – minor editorial change, omission of the NOTE]

[See also ISO/IEC Guide 99:2007, 3.11, modified – 3 NOTES omitted].

3.1.3 calibration

set of operations that establish, under specified conditions, the relationship between the values of quantities indicated by a measuring instrument and the corresponding values realized by standards

Note 1 to entry: The results of a calibration permit either the assignment of measurand values to the indications or the determination of corrections with respect to the indications.

Note 2 to entry: A calibration may also determine other metrological properties such as the effects of influence quantities.

Note 3 to entry: The result of a calibration may be recorded in a document, called a calibration certificate or a calibration report.

[SOURCE: ISO/IEC Guide 99:2007, 2.39, modified – shortened; the two NOTES replaced by 3 new NOTES].

3.1.4 calibration conditions

conditions of measurement in which the calibration is performed

3.1.5 calibration at reference conditions

calibration which includes the evaluation of the uncertainty at reference conditions of the light source under calibration

3.1.6 calibration at operating conditions

calibration which includes the evaluation of the uncertainty at operating conditions of the light source under calibration

3.1.7 level of confidence

estimated probability that the true value of a measured parameter lies in the given range

3.1.8 coverage factor

k

used to calculate the expanded uncertainty U from the standard uncertainty, u

3.1.9 decibels

dB, dBm

sub-multiple of the Bel, B, unit used to express values of optical power on a logarithmic scale

Note 1 to entry: The power level is always relative to a reference power P_0

$$L_{P/P_0} = 10 \times \log_{10} \left(\frac{P}{P_0} \right)$$

where P and P_0 are expressed in the same linear units.

The unit symbol dBm is used to indicate power level relative to 1 mW:

$$L_{P/1\text{mW}} = 10 \times \log_{10} \left(\frac{P}{1\text{mW}} \right)$$

The linear ratio, R_{lin} , of two radiant powers, P_1 and P_2 , can alternatively be expressed as an power level difference in decibels (dB):

$$\Delta L_P = 10 \times \log_{10}(R_{\text{lin}}) = 10 \times \log_{10} \left(\frac{P_1}{P_2} \right) = 10 \times \log_{10}(P_1) - 10 \times \log_{10}(P_2)$$

Similarly, relative uncertainties, U_{lin} , or relative deviations, can be alternatively expressed in decibels:

$$U_{\text{dB}} = \left| 10 \times \log_{10} |1 - U_{\text{lin}}| \right|$$

Note 2 to entry: For mathematical treatment all measurement results should be expressed in linear units (e.g. watts) and all uncertainties should be expressed in linear form. This is recommended because the accumulation of uncertainties in logarithmic units is mathematically difficult. The final statement of an uncertainty may be either in the linear or in the dB form.

Note 3 to entry: ISO 80000-3 and IEC 60027-3 should be consulted for further details. The rules of IEC 60027-3 do not permit attachments to unit symbols. However the unit symbol dBm is accepted in this standard because it is widely used and accepted by users of fibre optic instrumentation.

3.1.10 optical power deviation

D_P

difference between the set power of the light source under calibration, P_{TLS} , and the corresponding reference power P_{meas} , measured by the reference power meter

$$D_P = \frac{P_{\text{TLS}} - P_{\text{meas}}}{P_{\text{meas}}}$$

3.1.11 operating conditions

appropriate set of specified ranges of values with influence quantities usually wider than the reference conditions for which the uncertainties of a measuring instrument are specified

Note 1 to entry: Operating conditions and the uncertainty at operating conditions are usually specified by the manufacturer for the convenience of the user.

3.1.12 reference conditions

conditions used for testing the performance of a measuring instrument or for the intercomparison of the measurement results

Note 1 to entry: Reference conditions generally include reference values or reference ranges for the quantities influencing and affecting the measuring instrument.

3.1.13 side-mode suppression ratio

SMSR

peak power ratio between the main mode spectrum and the largest side mode spectrum in a single-mode laser diode such as a DFB-LD

Note 1 to entry: Side-mode suppression ratio is usually expressed in dB.

3.1.14 wavelength

wavelength (in a vacuum) of a light source

3.1.15 wavelength deviation

D_λ

difference between the target wavelength, set on the light source under calibration, λ_{TLS} , and the measured wavelength, λ_{meas} , in nm or μm

$$D_\lambda = \lambda_{\text{TLS}} - \lambda_{\text{meas}}$$

3.2 Abbreviations

APC	Angled physical contact
DFB-LD	Distributed feedback laser diode
FWHM	Full-width/half-maximum
OSA	Optical spectrum analyser
SMSR	Side-mode suppression ration
TLS	Tuneable laser source
WDM	Wavelength-division multiplexing

4 Preparation for calibration

4.1 Organization

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

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

4.2 Traceability

The requirements of ISO/IEC 17025 should be met.

All standards used in the calibration process shall be calibrated according to a documented program with traceability to national standards laboratories or to accredited calibration laboratories.

It is advisable to maintain more than one standard on each hierarchical level, so that the performance of the standard can be verified by comparisons on the same level. Make sure that any other calibration equipment which have a significant influence on the calibration results are calibrated.

4.3 Preparation

The environmental conditions shall be commensurate with the level of uncertainty that is required for calibration:

- calibrations shall be carried out in a clean environment;
- temperature monitoring and control is required;
- all laser sources shall be safely operated (refer to IEC 60825-1 and IEC 60825-2);
- the output of the tuneable laser source should be examined with an optical spectrum analyser (OSA) to check for single mode operation.

The recommended temperature is 23 °C (for example, 23 °C ± 2 °C). Give the calibration equipment a minimum of 2 h prior to testing to reach equilibrium within its environment. Allow the tuneable laser source a warm-up period in accordance to the manufacturer's instructions.

4.4 Reference calibration conditions

The reference calibration conditions usually include the following parameters and, if necessary, their tolerance bands: date, temperature, relative humidity, atmospheric pressure, displayed optical power, displayed wavelength, fibre, connector-adapter combination, (spectral) bandwidth and resolution bandwidth (spectral resolution) set. Unless otherwise specified, use a single-mode optical fibre category B1.1 or B1.3 pigtail as prescribed by IEC 60793-2-50, having a length of at least 2 m. It is desirable to perform all the calibration in a situation where back-reflections are negligible. Thus, angled connectors and isolators should be used wherever the situation permits.

Operate the tuneable laser source in accordance with the manufacturer's specifications and operating procedures. Where practical, select a range of calibration conditions and parameters that emulate the actual field operating conditions of the tuneable laser source under calibration. Choose these parameters so as to optimize the tuneable laser source's accuracy, as specified by the manufacturer's operating procedures.

Document the conditions as specified in Clause 7.

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

5 Wavelength calibration

5.1 Overview

The factors making up the uncertainty in the wavelength of the light source under calibration consist of

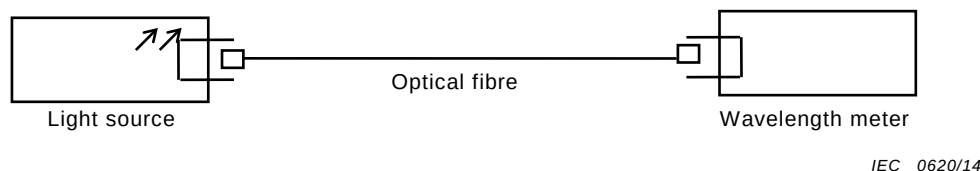
- the intrinsic uncertainty of the light source under calibration as found in the calibration at reference conditions including temperature and time dependences for these tight conditions, and
- the uncertainties due to dependences on optical power, temperature and time as found in the calibrations at broader operating conditions.

The wavelength calibration at reference conditions, for discrete wavelengths, as described in 5.2 is mandatory. The calibration at operating conditions, described in 5.3, is optional.

5.2 Wavelength calibration at reference conditions

5.2.1 Set-up

Figure 1 shows a system for wavelength calibration. The calibration is performed under the given reference conditions.



IEC 0620/14

Figure 1 – Measurement set-up for wavelength calibration

5.2.2 Calibration equipment

A wavelength meter shall be used for the calibration. The wavelength meter should be calibrated using IEC 62129-2.

5.2.3 Procedure for wavelength calibration

The calibration procedure is as follows:

- Regarding the calibration system shown in Figure 1, the set wavelength of the light source is given by $\lambda_{\text{TLS } j}$ and the measured values are given by $\lambda_{\text{meas } i,j}$. The uncertainty of the wavelength measurement takes into account the tuning repeatability and hysteresis of the tuneable laser source (TLS). Hysteresis is defined as the deviation resulting from tuning the desired wavelength from both the shorter and the longer wavelengths.
- Repeat the wavelength measurement $\lambda_{\text{meas } i,j}$ at least 10 times. Ensure that the TLS is tuned to $\lambda_{\text{TLS } j}$ prior to each measurement. The target wavelength (j) should be approached in such a way that tuning occurs from both longer and shorter wavelengths.
- Calculate the average measured wavelength: $\bar{\lambda}_{\text{meas } j}$

$$\bar{\lambda}_{\text{meas}, j} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \lambda_{\text{meas } i,j} \quad (1)$$

where m is the number of measurements performed. Each $\lambda_{\text{meas } i,j}$ is suggested to be an averaged value from the wavelength meter. Calculate the wavelength deviation: D_{λ_j}

$$D_{\lambda_j} = \lambda_{\text{TLS } j} - \bar{\lambda}_{\text{meas } j} \quad (2)$$

where $\lambda_{\text{TLS } j}$ is the tuned wavelength of the TLS.

- Calculate the standard deviation for λ_j from the (m) wavelength measurement results: $\lambda_{\text{meas } i,j}$

$$s_{\lambda_j} = \left[\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (\lambda_{\text{meas } i,j} - \bar{\lambda}_{\text{meas } j})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

- Calculate the wavelength tuning repeatability: $S_{\text{rep}, \lambda_j}$

$$S_{\text{rep}, \lambda_j} = 2 \times s_{\lambda_j} \quad (4)$$

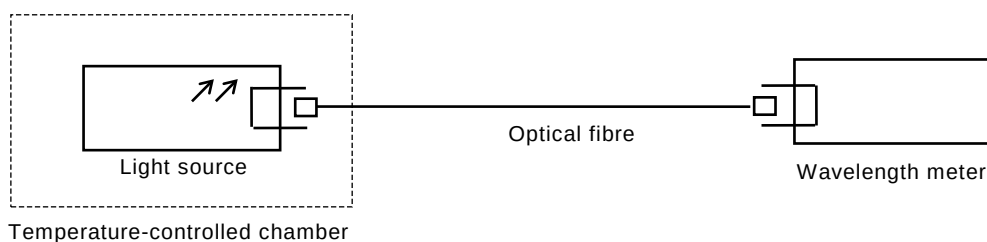
This calibration procedure shall be performed for each calibration wavelength. A minimum of 10 discrete wavelengths or every 10 nm, including the first, the central and the last wavelength of the range shall be measured.

5.2.4 Dependence on conditions

5.2.4.1 Temperature dependence (optional if known)

5.2.4.1.1 Set-up

Figure 2 shows a calibration system for temperature dependence. This calibration is performed under the reference calibration conditions with the exception of temperature.



IEC 0621/14

Figure 2 – Measurement set-up for temperature dependence

5.2.4.1.2 Calibration equipment

The calibration equipment is as follows:

- A wavelength meter capable of detecting wavelength fluctuations at least ten times smaller than the wavelength stability of the TLS.
- Temperature-controlled chamber: make sure that the measurement results are immune to the inner temperature distribution.

5.2.4.1.3 Calibration procedure for determining temperature dependence

The calibration procedure is as follows:

- Regarding the calibration system of Figure 2, measure the nominal wavelength (j) of the TLS at optical power $P_{\text{TLS}j}$ at reference conditions: $\lambda_{j,\text{ref}}$. The wavelength used should possess the maximum response to temperature variations. Otherwise characterization of several output wavelengths should be performed.
- Measure the wavelength of the TLS at temperature (i): λ_{j,Θ_i} . Wavelength readings corresponding to each temperature setting should be averaged to determine λ_{j,Θ_i} .
- Calculate the relative wavelength deviation:

$$D_{\lambda_{j,\Theta_i}} = \lambda_{j,\Theta_i} - \lambda_{j,\text{ref}} \quad (5)$$

- Repeat steps 2 and 3 with (m) different temperature settings Θ_i ensuring that the instrument is allowed the necessary time to eliminate sufficiently any thermal gradients.
- Calculate the maximum $\max(D_{\lambda_{j,\Theta_i}})_{i=1}^{i=m}$ and minimum $\min(D_{\lambda_{j,\Theta_i}})_{i=1}^{i=m}$ wavelength deviations.
- The standard uncertainty for wavelength temperature dependence $u_{\lambda_{j,\Delta\Theta}}$ at the calibration wavelength (j) using a rectangular distribution model is

$$u_{\lambda_{j,\Delta\Theta}} = \frac{1}{2\sqrt{3}} \left[\max(D_{\lambda_{j,\Theta_i}})_{i=1}^{i=m} - \min(D_{\lambda_{j,\Theta_i}})_{i=1}^{i=m} \right] \quad (6)$$

where $\Delta\Theta$ is the temperature variation.

It is recommended that a wavelength acquisition be performed with the optical wavelength meter for the duration of this calibration.

5.2.4.2 Wavelength stability

5.2.4.2.1 Set-up

Figure 3 shows a calibration system for wavelength stability. This calibration is performed under the reference calibration conditions with the exception of time.

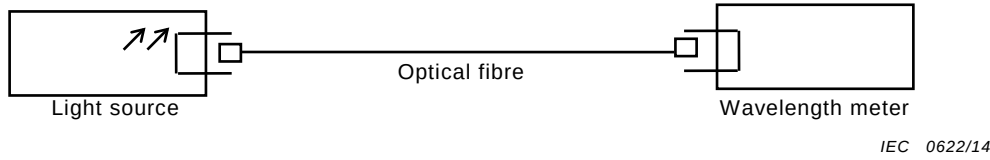


Figure 3 – Measurement set-up for wavelength stability

5.2.4.2.2 Calibration equipment

It is recommended to use a wavelength meter capable of detecting wavelength fluctuations at least ten times smaller than the wavelength stability of the TLS.

5.2.4.2.3 Calibration procedure for wavelength stability

The calibration procedure is as follows:

- Regarding the calibration system in Figure 3, the measurement is performed after the light source is switched on and has been warmed up for some time in accordance with the manufacturer's instructions.
- A specific time period (Δt), for example 10 min, must be chosen that is long enough to permit at least 10 wavelength measurements with the reference wavelength meter (in the case of the example, a stability over 10 min will be measured).
- A continuous wavelength acquisition shall be performed with wavelength data and time stamp saved to a computer compatible format.
- Ensure to correlate (m) measurements per time period where ($m > 10$) and conforms exactly to the desired time period (Δt).
- Calculate the standard deviation of the (m) wavelength measurements corresponding to time period (Δt)

$$u_{\lambda_j, \Delta t} = \left[\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (\lambda_{j, t_i} - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \lambda_{j, t_i})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

- A minimum of 1 time period is required to evaluate the wavelength stability of the TLS source. In this case the wavelength stability uncertainty becomes

$$S_{\text{stab}, \lambda_j, \Delta t} = 2 \times u_{\lambda_j, \Delta t} \quad (8)$$

The wavelength of the light source should be measured more than 10 times (m times) consecutively; at least a few measurements per minute is recommended. The time interval between the repeated measurements should be longer than the response time of the light source. It is preferred to calculate several time periods from the acquisition data using a sliding window and report the maximum value.

5.2.5 Uncertainty at reference conditions

The uncertainty for the calibration wavelength (j) at reference conditions is given by

$$u_{\lambda_{j,ref}} = \left(\frac{s_{\lambda_j}^2}{m} + u_{\lambda_j, \Delta\theta}^2 + u_{\lambda_j, \Delta t}^2 + u_{\lambda_j, res}^2 + u_{WM_{\lambda_j}}^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

where $u_{\lambda_j, \Delta\theta}$ and $u_{\lambda_j, \Delta t}$ are evaluated for the reference conditions as defined in 5.2.4, $u_{\lambda_j, res}$ is the uncertainty of wavelength resolution defined by $u_{\lambda_j, res} = d\lambda_j / 2\sqrt{3}$ ($d\lambda_j$ is wavelength resolution of the wavelength meter) and $u_{WM_{\lambda_j}}$ is the uncertainty of the wavelength meter at wavelength (j) as described in its certification.

The expanded uncertainty for the calibration wavelength (j) at reference conditions: $U_{\lambda_{j,ref}}$ with a coverage factor k is expressed as follows:

$$U_{\lambda_{j,ref}} = \pm k u_{\lambda_{j,ref}} \quad (10)$$

where k corresponds to an appropriate level of confidence as described in Clause A.5.

If the wavelength has to be corrected based on the results of the calibration results, the corrections are normally implemented by making software corrections to the instrument, mathematical corrections to the results or hardware adjustments on the instrument. Once the adjustments are made, it is advisable to repeat the calibrations to verify that the corrections are correct.

5.3 Wavelength calibration at operating conditions

5.3.1 General

Perform the calibration procedure when the light source is used beyond the reference conditions.

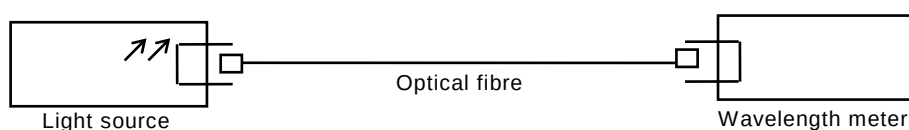
The individual factors in wavelength uncertainty at operating conditions consist of following:

- a) optical power dependence;
- b) temperature dependence;
- c) wavelength stability.

5.3.2 Optical power dependence

5.3.2.1 General

Figure 4 shows a calibration system for optical power dependence. This calibration should be performed under the reference calibration conditions with the exception of the optical power. It shall be performed after the optical power calibration (6.2.3).



IEC 0623/14

Figure 4 – Measurement set-up for optical power dependence

5.3.2.2 Calibration equipment

The calibration equipment is as follows:

- A wavelength meter capable of detecting wavelength fluctuations at least ten times smaller than the wavelength stability of the TLS.

5.3.2.3 Calibration procedures for determining power dependence

The calibration procedures are as follows:

- The wavelength (j) is measured at m optical powers (more than 5) of the light source, $P_{TLS\ i,j}$ including the upper and lower limits of the specified power range. The interval between these neighbouring levels should be smaller than 10 dB.
- Regarding the calibration system of Figure 4, the set wavelength of the light source is given by $\lambda_{TLS\ i,j}$, and the instrument reading of the wavelength meter is given by $\lambda_{P,i,j}$.
- Record the measured wavelength $\lambda_{P,i,j}$ for all (m) output power settings $P_{TLS\ i,j}$ used.
- Calculate the standard uncertainty of wavelength (j) due to TLS output optical power according to

$$u_{\lambda_{j,P}} = \left[\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (\lambda_{P,i,j} - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \lambda_{P,i,j})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (11)$$

5.3.3 Uncertainty at operating conditions

The uncertainty for the calibration wavelength (j) for any operating conditions is given by

$$u_{\lambda_{j,op}} = \left(s_{\lambda_j}^2 + u_{\lambda_{j,P}}^2 + u_{\lambda_{j,\Delta\Theta}}^2 + u_{\lambda_{j,\Delta t}}^2 + u_{\lambda_{j,res}}^2 + u_{WM\lambda_j}^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (12)$$

where $u_{\lambda_{j,P}}$, $u_{\lambda_{j,\Delta\Theta}}$ and $u_{\lambda_{j,\Delta t}}$ are evaluated for the operating conditions, $u_{\lambda_{j,res}}$ is the uncertainty of wavelength resolution defined by $u_{\lambda_{j,res}} = d\lambda_j / 2\sqrt{3}$ ($d\lambda_j$ is wavelength resolution of the wavelength meter) and $u_{WM\lambda_j}$ is the uncertainty of the wavelength meter at wavelength (j) as described in its certification.

The expanded uncertainty for the calibration wavelength (j) under all operating conditions: $U_{\lambda_{j,op}}$ with a coverage factor k is expressed as follows:

$$U_{\lambda_{j,op}} = \pm k u_{\lambda_{j,op}} \quad (13)$$

where k corresponds to an appropriate level of confidence as described in Clause A.5.

6 Optical power calibration

6.1 Overview

The factors making up the uncertainty in the set optical power of the light source under calibration consists of

- a) the intrinsic uncertainty of the light source under calibration as found in the calibration at reference conditions including temperature, time and connection repeatability/reproducibility dependences for these tight conditions, and
- b) the uncertainties due to dependences on wavelength, temperature, time and connection repeatability/reproducibility, as found in the calibrations at broader operating conditions.

The optical power calibration at reference conditions as described in 6.2 is mandatory. The calibration at operating conditions, described in 6.3, is optional.

6.2 Optical power calibration at reference conditions

6.2.1 Set-up

Figure 5 shows a system for the calibration of the optical power. The calibration is performed under the given reference conditions.

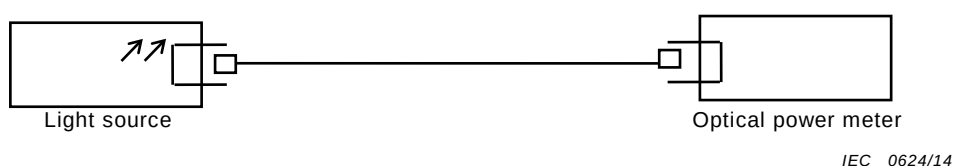


Figure 5 – Measurement set-up for intrinsic optical power calibration

NOTE 1 There may be problems in calibrating the power of a highly coherent laser source, due to parasitic interference effects arising from reflections from fibre connector end faces and also the optical power meter. The use of angled physical contact (APC) connectors, inline optical isolators and engaging of the laser's "coherent control function" (if fitted) may reduce the interference effects to an acceptable level.

The optical power to be calibrated is measured at the end of an optical fibre cable, which may cause some insertion losses. The calibration condition about the used optical fibre cable such as fibre length, connector type, inline isolator if any, should be reported.

6.2.2 Calibration equipment

The calibration equipment is as follows:

- Optical power meter: This is an optical power meter calibrated with the following standard calibration conditions:
 - a) an optical power meter calibrated by an official institution that performs calibration services with a stated uncertainty; or
 - b) an optical power meter traceable to such an official institution with a stated uncertainty.

The uncertainty of the reference power meter is already known and is described in its certification.

6.2.3 Procedure for power calibration at reference conditions

The calibration procedure is as follows:

- a) Connect the light source and the power meter with the optical fibre to be measured.
- b) Set the wavelength of the light source to the required calibration wavelength.
- c) Set the output power of the light source to P_{TLS_i} . The uncertainty of the power measurement takes into account the setting repeatability and hysteresis of the tuneable laser source (TLS). Hysteresis is defined as the deviation resulting from setting the desired power from both the lower and the higher powers.
- d) Read the measured value of optical power meter.

- e) Repeat this measurement at least ten times. Ensure that the TLS is set to $P_{\text{TLS}j}$ prior to each measurement. The target power should be approached in such a way that setting occurs from both lower and higher powers.

$$D_{P_{i,j}} = \frac{P_{\text{TLS}j} - P_{\text{meas } i,j}}{P_{\text{meas } i,j}} \quad (14)$$

where $P_{\text{TLS}j}$ is the set optical power of the TLS. Each $P_{\text{meas } i,j}$ is suggested to be an averaged value from the power meter. Calculate the power deviation: D_{P_j} .

$$D_{P_j} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m D_{P_{i,j}} \quad (15)$$

where m is the number of measurements performed.

- f) Calculate the standard deviation for D_{P_j} from the (m) power measurement results: $P_{\text{meas } i,j}$

$$s_{D_{P_j}} = \left[\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (D_{P_{i,j}} - D_{P_j})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (16)$$

- g) Calculate the optical power setting repeatability: $S_{\text{rep}, D_{P_j}}$

$$S_{\text{rep}, D_{P_j}} = 2 \times s_{D_{P_j}} \quad (17)$$

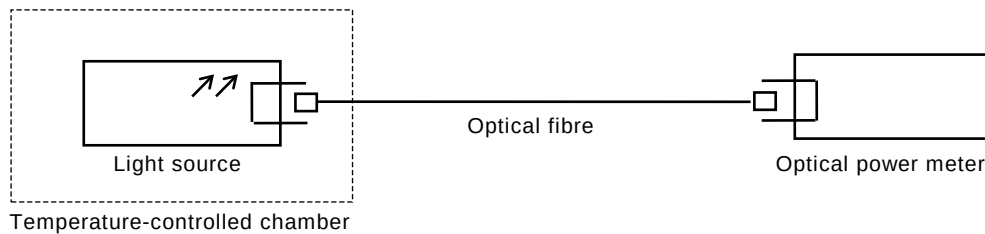
The uncertainty calculations (6.2.3 a) to g)) should be performed for each calibration power.

6.2.4 Dependence on conditions

6.2.4.1 Temperature dependence (optional if known)

6.2.4.1.1 Set-up

Figure 6 shows a calibration system for temperature dependence. This calibration is performed under the reference calibration conditions with the exception of temperature.



IEC 0625/14

Figure 6 – Measurement set-up for temperature dependence

6.2.4.1.2 Calibration equipment

The calibration equipment is as follows:

- a) Optical power meter: This is an optical power meter calibrated with the following standard calibration conditions:

- 1) an optical power meter calibrated by an official institution that performs calibration services with a stated uncertainty; or
 - 2) an optical power meter traceable to such an official institution with a stated uncertainty.
- b) Temperature-controlled chamber: Make sure that the measurement results are immune to the inner temperature distribution.

6.2.4.1.3 Calibration procedure for determining temperature dependence

The calibration procedure is as follows:

- a) Regarding the calibration system of Figure 6, measure the nominal optical power of the TLS at wavelength $\lambda_{\text{TLS}j}$ at reference conditions: $P_{j,\text{ref}}$. The optical power used should possess the maximum response to temperature variations. Otherwise characterization of several output optical powers will be required.
- b) Measure the optical power of the TLS at temperature (i): P_{j,Θ_i} . Optical power readings corresponding to each temperature setting should be averaged to determine P_{j,Θ_i} .
- c) Calculate the relative optical power deviation:

$$D_{P_{j,\Theta_i}} = \frac{P_{j,\Theta_i} - P_{j,\text{ref}}}{P_{j,\text{ref}}} \quad (18)$$

- d) Repeat steps b) and c) with (m) different temperature settings Θ_i ensuring that the instrument is allowed the necessary time to eliminate sufficiently any thermal gradients.
- e) Calculate the maximum $\max(D_{P_{j,\Theta_i}})_{i=1}^{i=m}$ and minimum $\min(D_{P_{j,\Theta_i}})_{i=1}^{i=m}$ optical power deviations.
- f) The standard uncertainty for optical power temperature dependence $u_{P_{j,\Delta\Theta}}$ at the calibration optical power using a rectangular distribution model is

$$u_{D_{P_{j,\Delta\Theta}}} = \frac{1}{2\sqrt{3}} \left[\max(D_{P_{j,\Theta_i}})_{i=1}^{i=m} - \min(D_{P_{j,\Theta_i}})_{i=1}^{i=m} \right] \quad (19)$$

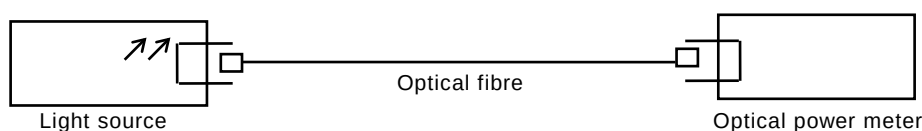
where $\Delta\Theta$ is the temperature variation.

It is recommended that a optical power acquisition be performed with the optical power meter for the duration of this calibration.

6.2.4.2 Optical power stability

6.2.4.2.1 Set-up

Figure 7 shows a calibration system for optical power stability. This calibration is performed under the reference calibration conditions with the exception of time.



IEC 0626/14

Figure 7 – Measurement set-up for optical power stability

6.2.4.2.2 Calibration equipment

- Optical power meter: This is an optical power meter calibrated with the following standard calibration conditions:
 - a) an optical power meter calibrated by an official institution that performs calibration services with a stated uncertainty; or
 - b) an optical power meter traceable to such an official institution with a stated uncertainty.

6.2.4.2.3 Calibration procedure for optical power stability

The calibration procedure is as follows:

- a) Regarding the calibration system in Figure 7, the measurement is performed after the light source is switched on and has been warmed up for some time in accordance to the manufacturer's instructions.
- b) A specific time period (Δt), for example 10 min, shall be chosen that is long enough to permit at least 10 optical power measurements with the reference power meter (in the case of the example, a stability over 10 min will be measured).
- c) A continuous optical power acquisition shall be performed with optical power data and time stamp saved to a computer compatible format.
- d) Ensure to correlate (m) measurements per time period where ($m > 10$) and conforms exactly to the desired time period (Δt).
- e) Calculate the standard deviation of the (m) measurements corresponding to time period (Δt):

$$u_{D_{P_j, \Delta t}} = \left[\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (P_{j, t_i} - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m P_{j, t_i})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \bigg/ \left(\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m P_{j, t_i} \right) \quad (20)$$

- f) A minimum of 1 time period is required to evaluate the optical power stability of the TLS source. In this case, the optical power stability uncertainty becomes

$$S_{\text{stab}, D_{P_j, \Delta t}} = 2 \times u_{D_{P_j, \Delta t}} \quad (21)$$

It is preferred to calculate several time periods from the acquisition data using a sliding window and report the maximum value.

The optical power of the light source should be measured more than 10 times (m times) consecutively, at least a few measurements per minute is recommended. The time interval between the repeated measurements should be longer than the response time of the light source.

6.2.4.3 Connection repeatability/reproducibility

6.2.4.3.1 Set-up

Figure 8 shows a calibration system for optical power stability. This calibration is performed under the reference calibration conditions.

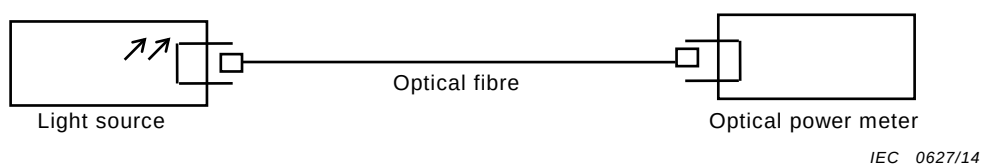


Figure 8 – Measurement set-up for connection repeatability/reproducibility

6.2.4.3.2 Calibration equipment

- Optical power meter: This is an optical power meter calibrated with the following standard calibration conditions
 - a) an optical power meter calibrated by an official institution that performs calibration services with a stated uncertainty; or
 - b) an optical power meter traceable to such an official institution with a stated uncertainty.

6.2.4.3.3 Calibration procedure for connection repeatability/reproducibility

The calibration procedure is as follows:

- a) Regarding the calibration system in Figure 8, connect the light source and the power meter with the optical fibre to be measured.
- b) Read the measured value of optical power meter P_{j,con_i} .
- c) Disconnect the optical fibre from the TLS and reconnect the optical fibre to the TLS.
- d) Repeat b) and c) for (m) times.
- e) Calculate the standard uncertainty of optical power (j) due to TLS connection repeatability/reproducibility according to

$$u_{D_{P_j,con}} = \left[\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (P_{j,con_i} - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m P_{j,con_i})^2 \right]^{\frac{1}{2}} / \left(\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m P_{j,con_i} \right) \quad (22)$$

6.2.5 Uncertainty at reference conditions

The uncertainty for the calibration optical power at reference conditions is given by

$$u_{D_{P_j,ref}} = \left(\frac{s_{D_{P_j}}^2}{m} + u_{D_{P_j,\Delta\Theta}}^2 + u_{D_{P_j,\Delta t}}^2 + u_{D_{P_j,con}}^2 + u_{D_{P_j,res}}^2 + u_{PM_{P_j}}^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (23)$$

where $u_{D_{P_j,\Delta\Theta}}$, $u_{D_{P_j,\Delta t}}$ and $u_{D_{P_j,con}}$ are evaluated for the reference conditions as defined in 6.2.4, $u_{D_{P_j,res}}$ is the relative uncertainty of optical power resolution defined by $u_{D_{P_j,res}} = (dP_{TLS,j} / P_{TLS,j}) / 2\sqrt{3}$ ($dP_{TLS,j}$ is optical power resolution of the optical power meter) and $u_{PM_{P_j}}$ is the uncertainty of the power meter at power P_j as described in its certification.

The expanded uncertainty for the calibration power meter at reference conditions: $U_{D_{P_j,ref}}$ with a coverage factor k is expressed as follows:

$$U_{D_{P_j,ref}} = \pm k u_{D_{P_j,ref}} \quad (24)$$

where k corresponds to an appropriate level of confidence as described in Clause A.5.

If the optical power needs to be corrected based on the results of the calibration results, the corrections are normally implemented by making software corrections to the instrument, mathematical corrections to the results, or hardware adjustments on the instrument. Once the adjustments are made, it is advisable to repeat the calibrations to verify that the corrections are correct.

6.3 Optical power calibration at operating conditions

6.3.1 General

Perform the calibration procedure when the light source is used beyond the reference conditions.

The individual factors in optical power uncertainty at operating conditions consist of following

- wavelength dependence;
- temperature dependence;
- optical power stability;
- connection repeatability/reproducibility.

6.3.2 Wavelength dependence

6.3.2.1 Set-up

Figure 9 shows a calibration system for wavelength dependence. This calibration should be performed under the reference calibration conditions with the exception of the wavelength. It has to be performed after the wavelength calibration (5.2.3).

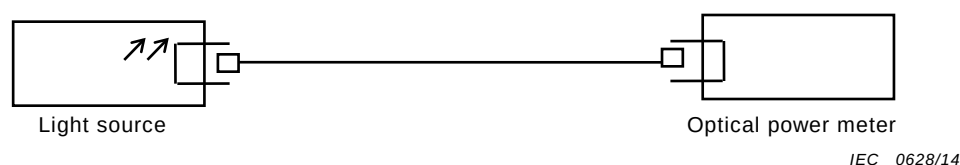


Figure 9 – Measurement set-up for wavelength dependence

6.3.2.2 Calibration equipment

The calibration equipment is as follows:

- Optical power meter: this is an optical power meter calibrated with the following standard calibration conditions:
 - an optical power meter calibrated by an official institution that performs calibration services with a stated uncertainty; or
 - an optical power meter traceable to such an official institution with a stated uncertainty.

6.3.2.3 Calibration procedure for determining wavelength dependence

The calibration procedure is as follows:

- The optical power is measured at m wavelengths (more than 5) of the light source, $\lambda_{TLS i,j}$ including the upper and lower limits of the specified wavelength range.

- b) Regarding the calibration system of Figure 9, the set optical power of the light source is given by $P_{TLS\ i,j}$, and the instrument reading of the power meter is given by $P_{\lambda_i,j}$.
- c) Record the measured optical power $P_{\lambda_i,j}$ for all (m) wavelength settings $P_{TLS\ i,j}$ used.
- d) Calculate the standard uncertainty of optical power (j) due to TLS output wavelength according to

$$u_{D_{P_j,\lambda}} = \left[\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (P_{\lambda_i,j} - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m P_{\lambda_i,j})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \left/ \left(\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m P_{\lambda_i,j} \right) \right. \quad (25)$$

6.3.3 Uncertainty at operating conditions

The uncertainty for the calibration optical power for any operating condition is given by

$$u_{D_{P_j,op}} = \left(s_{D_{P_j}}^2 + u_{D_{P_j,\lambda}}^2 + u_{D_{P_j,\Delta\Theta}}^2 + u_{D_{P_j,\Delta t}}^2 + u_{D_{P_j,con}}^2 + u_{D_{P_j,res}}^2 + u_{PM_{P_j}}^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (26)$$

where $u_{D_{P_j,\lambda}}$, $u_{D_{P_j,\Delta\Theta}}$, $u_{D_{P_j,\Delta t}}$ and $u_{D_{P_j,con}}$ are evaluated for the operating conditions, $u_{D_{P_j,res}}$ is the relative uncertainty of optical power resolution defined by $u_{D_{P_j,res}} = (dP_{TLS,j} / P_{TLS,j}) / 2\sqrt{3}$ ($dP_{TLS,j}$ is optical power resolution of the optical power meter) and $u_{PM_{P_j}}$ is the uncertainty of the power meter at optical power P_j as described in its certification.

The expanded uncertainty for the calibration optical power under all operating conditions: $U_{D_{P_j,op}}$ with a coverage factor k is expressed as follows:

$$U_{D_{P_j,op}} = \pm k u_{D_{P_j,op}} \quad (27)$$

where k corresponds to an appropriate level of confidence as described in Clause A.5.

7 Documentation

7.1 Calibration data and uncertainty

Calibration certificates claiming to be in compliance with this standard shall include the following data and their uncertainties, and the uncertainties shall be stated in the form of estimated confidence intervals by multiplying the relevant standard uncertainty by $\pm k$:

- a) the wavelength deviation, D_{λ_j} , and its uncertainty, $\pm k u_{\lambda_j,ref}$, for example, is in nm, in a vacuum – see the detailed requirements in Clause 5;
- b) the optical power deviation, D_{P_j} , and its uncertainty, $\pm k u_{D_{P_j,ref}}$, for example, is in % or dB – see the detailed requirements in Clause 6.

7.2 Calibration conditions

The calibration method(s) and the method(s) of obtaining the measurement results shall be stated.

Each specification should also be accompanied by a statement of the instrument state(s) and the measurement conditions to which they apply. The most important parameters are: the calibration date, displayed optical power, displayed wavelength, temperature, humidity, atmospheric pressure.

NOTE The calibration results only apply to the set of calibration conditions used for the calibration process.

Annex A (normative)

Mathematical basis

A.1 General

Annex A summarizes the form of evaluating, combining and reporting the uncertainty of measurement. It is based on ISO/IEC Guide 98-3 but does not relieve the need to consult this guide for more advice.

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

A.2 Type A evaluation of uncertainty

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

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

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

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

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

where

- $\bar{X}$ is the arithmetic mean of the observed values;
- X_k are the measurement samples of a series of measurements;
- n is the number of measurements; it is assumed to be large, for example, $n \geq 10$.

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

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

A.3 Type B evaluation of uncertainty

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

If the estimate x of a quantity X is taken from a manufacturer's specification, calibration certificate, handbook, or other source and its quoted uncertainty $U(x)$ is stated to be a multiple k of a standard deviation, the standard uncertainty $u(x)$ is simply the quoted value divided by the multiplier.

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

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

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

and the standard uncertainty is

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

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

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

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

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

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

A.4 Determining the combined standard uncertainty

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

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

where

i is the current number of individual contribution;

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

n is the number of uncertainties.

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

When the quantities above are to be used as the basis for further uncertainty computations, then the combined standard uncertainty, u_c , can be re-inserted into Equation (A.9). Despite its partially type A origin, u_c should be considered as describing an uncertainty of type B.

A.5 Reporting

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

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

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

Annex B (informative)

Averaged wavelength (or power) deviation over a certain range

Annex B summarizes how to determine a single mean wavelength (or power) deviation over a certain wavelength (or power) range in wavelength (or power) calibration for convenience in correction.

Averaging over a range of wavelengths (or powers) should not be done if part of this range has a very different behaviour.

According to Guide ISO/IEC 98-3 (GUM), a single mean correction $\bar{b}$ can be computed as

$$\bar{b} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} b(t) dt \quad (\text{B.1})$$

where t_1 and t_2 define the range of interest of the parameter t , and take the best estimate of the measurand $Y(t)$ to be $y'(t) = y(t) + \bar{b}$, where $y(t)$ is the best uncorrected estimate of $Y(t)$.

The variance associated with the mean correction $\bar{b}$ over the range of interest is given by

$$u^2(\bar{b}) = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} [b(t) - \bar{b}]^2 dt \quad (\text{B.2})$$

not taking into account the uncertainty of the actual determination of the correction $b(t)$. The mean variance of the correction $b(t)$ due to its actual determination is given by

$$\overline{u^2[b(t)]} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} u^2[b(t)] dt \quad (\text{B.3})$$

where $u^2[b(t)]$ is the variance of the correction $b(t)$. Similarly, the mean variance of $y(t)$ arising from all sources of uncertainty other than the correction $b(t)$ is obtained from

$$\overline{u^2[y(t)]} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} u^2[y(t)] dt \quad (\text{B.4})$$

where $u^2[y(t)]$ is the variance of $y(t)$ due to all uncertainty sources other than $b(t)$. The single value of standard uncertainty to be used for all estimates $y'(t) = y(t) + \bar{b}$ of the measurand $Y(t)$ is then the positive square root of

$$u_c^2(y') = \overline{u^2[y(t)]} + \overline{u^2[b(t)]} + u^2(\bar{b}) \quad (\text{B.5})$$

In wavelength calibration of a tuneable laser source, for example, with assuming that the correction is a constant function, b and t correspond to wavelength deviation D_{λ_j} and wavelength setting λ_j , respectively. The single mean wavelength deviation D_λ is given by Equation (B.6) (from Equation (B.1)).

$$D_{\lambda} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n D_{\lambda_j} \quad (\text{B.6})$$

In Equation (B.6) the mean wavelength deviation is calculated using summation over all discrete wavelength settings, instead of integration as shown in Equation (B.1), where n is the number of the wavelength settings.

The variance of D_{λ} , $u^2(D_{\lambda})$ can be calculated from Equation (B.7) (from Equation (B.2)):

$$u^2(D_{\lambda}) = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (D_{\lambda_j} - D_{\lambda})^2 \quad (\text{B.7})$$

In Equation (B.7) summation is also used instead of integration.

The standard uncertainty of the overall wavelength calibration at reference conditions is given by Equation (B.8) (from Equation (B.5)).

$$u_{\lambda_{ref}} = \left[\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left(\frac{s_{\lambda_j}^2}{m} + u_{\lambda_j, \Delta\Theta}^2 + u_{\lambda_j, \Delta t}^2 + u_{\lambda_j, res}^2 + u_{WM_{\lambda_j}}^2 \right) + u^2(D_{\lambda}) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{B.8})$$

In Equation (B.8) the first term corresponds to $\overline{u^2[b(t)]}$ and the second ~ fifth terms correspond to $u^2[y(t)]$.

The standard uncertainty of overall wavelength calibration at operating conditions is

$$u_{\lambda_{op}} = \left[\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left(s_{\lambda_j}^2 + u_{\lambda_j, P}^2 + u_{\lambda_j, \Delta\Theta}^2 + u_{\lambda_j, \Delta t}^2 + u_{\lambda_j, res}^2 + u_{WM_{\lambda_j}}^2 \right) + u^2(D_{\lambda}) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{B.9})$$

In Equation (B.9) the first term corresponds to $\overline{u^2[b(t)]}$ and the second ~ sixth terms correspond to $u^2[y(t)]$.

The single mean power deviation can be derived in the same fashion.

Annex C (informative)

Other testing

C.1 General

Annex C explains the testing methods not applied to the general items or to the precision examinations although they do apply to the performances of tuneable laser sources.

C.2 Wavelength resolution

C.2.1 Set-up

Figure C.1 shows the test set-up for a wavelength resolution test under standard test conditions.

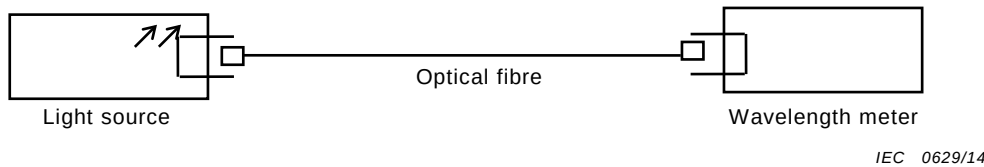


Figure C.1 – Measurement set-up for wavelength resolution

C.2.2 Testing equipment

Testing equipment is as follows.

A wavelength meter which has a better wavelength measurement resolution than the wavelength resolution of test light source should be used.

C.2.3 Testing procedure for determining wavelength resolution

The testing procedure is as follows:

- Set the wavelength of the test light source to λ_{TLS} . Set the optical output power of the test light source to a suitable value.
- Inject the optical output of the light source into the wavelength meter. The wavelength for λ_{meas} is measured with the wavelength meter.
- The wavelength of the light source is set only $qd\lambda$ to the long (or short) wavelength side for λ_{TLS} . Here, $d\lambda$ is the minimum variable width that can be set to λ_{TLS} , and q are integers.
- Inject the optical output of the light source into the wavelength meter. The wavelength for λ_{meas+1} is measured with the wavelength meter.
- After the wavelength of the light source is returned to λ_{TLS} , the measurements are repeated over ten times (m times).
- Calculate the wavelength setting resolution $d\lambda_{TLS,j}$ with Equation (C.1).

$$d\lambda_{TLS,j} = \sum_{i=1}^m \frac{|\lambda_{meas+1,i} - \lambda_{meas,i}|}{m \times q} \quad (C.1)$$

- g) Repeat the measurements for a few (j) wavelengths covering the desired wavelength range. Calculate the wavelength setting resolution with Equation (C.2).

$$d\lambda_{TLS} = \max(d\lambda_{TLS,j}) \quad (C.2)$$

C.3 Optical power resolution

C.3.1 Set-up

Figure C.2 shows the test set-up for optical power resolution setting tests under standard test conditions.

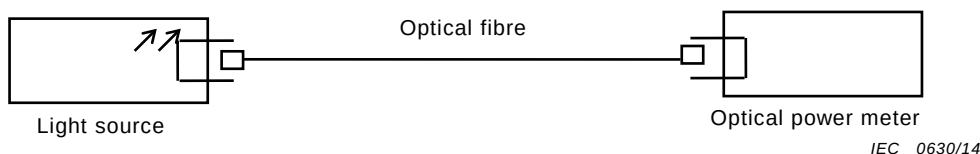


Figure C.2 – Measurement set-up for optical power resolution setting test

C.3.2 Testing equipment

Use an optical power meter with high resolution.

C.3.3 Testing procedure for optical power resolution

Testing procedure is as follows

- Set the optical output power of the test light source to P_{TLS} . Set the wavelength of the light source to a suitable value.
- Inject the optical output into the optical power meter. Measure the optical power P_{meas} with the optical power meter.
- Only set the minimum variable width dP as a higher (or lower) output power under P_{TLS} settings for optical output power of test light source.
- Inject the optical output into the optical power meter. Measure the optical power P_{meas+1} with optical power meter.
- After the optical output power of test light source is returned to P_{TLS} , the measurements are repeated over ten times (m times).
- Calculate the optical output power setting resolution dP_{TLS} / P_{TLS} with Equation (C.3).

$$\frac{dP_{TLS,j}}{P_{TLS,j}} = \sum_{i=1}^m \frac{|P_{meas+1,i} - P_{meas,i}|}{m} / \sum_{i=1}^m \frac{P_{meas,i}}{m} \quad (C.3)$$

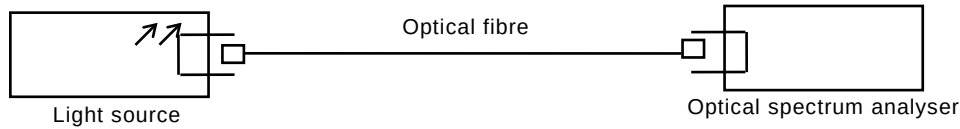
- g) Repeat the measurements for a few (j) optical powers covering the desired power range. Calculate the power setting resolutions with Equation (C.4).

$$\frac{dP_{TLS}}{P_{TLS}} = \max \left(\frac{dP_{TLS,j}}{P_{TLS,j}} \right) \quad (C.4)$$

C.4 Signal to source spontaneous emission ratio

C.4.1 Set-up

Figure C.3 shows the test set-up for a signal to source spontaneous emission ratio under standard test conditions.



IEC 0631/14

Figure C.3 – Measurement set-up for signal to total source spontaneous emission ratio

C.4.2 Testing equipment

The optical spectrum analyser is used to measure the optical signal power and the spontaneous emission light.

C.4.3 Testing procedure for determining signal to source spontaneous emission ratio

The testing procedure is as follows:

- Set the wavelength of the test light source to λ_{TLS} . Set the optical output power to a suitable value. Usually, the optical power is set to the maximum optical output power defined by the specifications of the test light source.
- Set the wavelength, the wavelength sweep range, and the resolution bandwidth of an optical spectrum analyser to λ_{TLS} , λ_{span} , and λ_{res} respectively. Usually, λ_{span} is approximately 100 nm, and the λ_{res} is approximately 1 nm.
- Inject the optical output of the light source into the optical spectrum analyser. Measure the optical signal optical power for P_1 . Measure the maximum value P_2 of a spontaneous emission optical level in $\lambda_{TLS} \pm \Delta\lambda$. However, the $\lambda_{TLS} \pm \Delta\lambda_{exc}$ range will not be included as the measurement range of the spontaneous emission light. (Refer to Figure C.4.) Usually, $\Delta\lambda$ is approximately 50 nm, $\Delta\lambda_{exc}$ is approximately 1 nm.
- Calculate the SSER (signal to source spontaneous emission ratio) with Equation (C.5).

$$SSER(dB/nm) = -10 \log \frac{P_2 \times 1(nm) / \lambda_{res}}{P_1} (dB/nm) \quad (C.5)$$

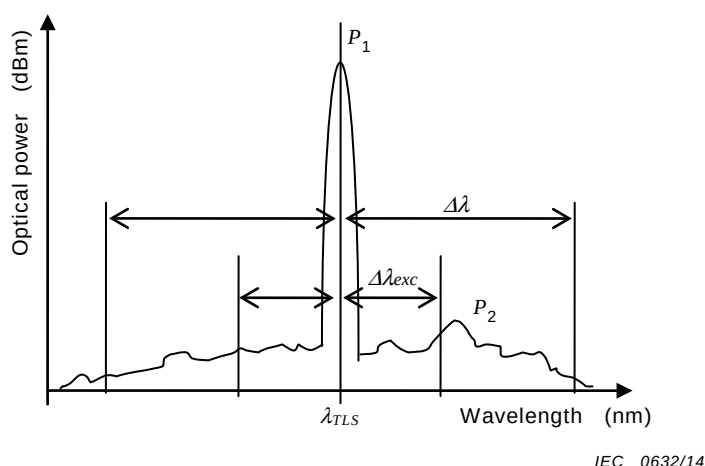


Figure C.4 – Measurement of the signal to spontaneous emission ratio

NOTE 1 For a TLS with a high SSER, the optical rejection ratio of the optical spectrum analyser can limit the measured value.

NOTE 2 Record the ratio of signal optical power and the spontaneous emission light as well as the measurement results.

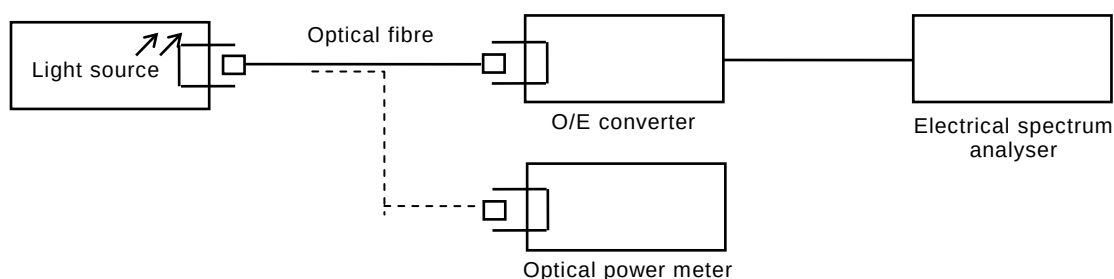
C.5 Side mode suppression ratio

C.5.1 General

In general, side mode suppression ratio of a laser source can be measured with an optical spectrum analyser as described in 8.8 of IEC 61280-1-3:2010. In the case of narrow line width laser sources such as an external cavity laser, however, the quite close interval between the main and side mode may cause difficulty to distinguish them with an optical spectrum analyser. This clause describes how to determine the side mode suppression ratio of such a narrow line width laser source.

C.5.2 Set-up

This needs a special testing system although it is performed by the tuneable laser source. For example, Figure C.5 shows the diagram of the test system of the side mode suppression ratio test under standard test conditions.



IEC 0633/14

Figure C.5 – Measurement set-up for the side mode suppression ratio test

C.5.3 Testing equipment

Testing equipment is as follows:

- O/E (optical – electrical) converter: this is used for heterodyne detection of the intermode beat spectrum between the signal light and the side mode light, converting the optical signal to an electric signal. The frequency band should be several times wider than its mode spacing. The optic-electric conversion efficiency should be calibrated beforehand.
- Electrical spectrum analyser: this is used to measure the beat signal level combined with the signal light and the side mode light.
- Optical power meter: this is used to measure the optical signal power.

C.5.4 Testing procedure

The testing procedure is as follows:

- Set the wavelength of the light source to λ_{TLS} . Set the optical output power to a suitable value.
- Inject the optical output of the light source into to the O/E converter, and set the largest signal of the displayed beat signals measured by the spectrum analyser to $P_{beat,max}$ (dBm).
- Next, inject the optical output of the light source into a optical power meter to measure the signal power. Set this value to P_0 (dBm).
- Calculate the side mode suppression ratio SMSR in wavelength λ_{TLS} with Equation (C.6).

$$\begin{aligned} SMSR(dB) &= 10\log \frac{P_0}{P_{s,max}} \\ &= 2P_0 - P_{beat,max} + R(dB) + 10\log(8R_i) - 30 \end{aligned} \quad (C.6)$$

where

$P_{s,max}$ is a maximum side mode optical power (dBm);

R is the conversion efficiency of O/E converter;

$$R_{dB} = 20\log \frac{R(A/W)}{1(A/W)} \quad (C.7)$$

R_i is input impedance of optical spectrum analyser (Ω).

The following explains the measurement principle and the Formula (C.6) for the side mode suppression ratio.

It is assumed that the optical output spectrum of the test light source is composed with the side mode (P_s) that is away from $\Delta\omega$ and the signal light (P_0) – see Figure C.6.

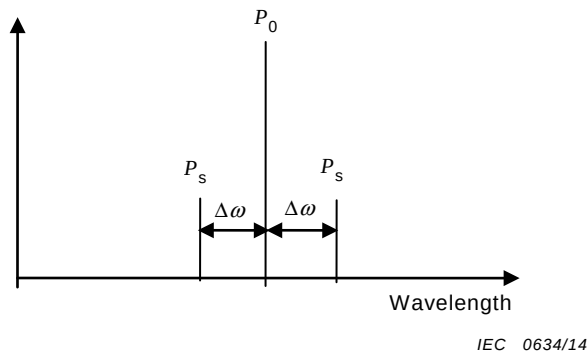


Figure C.6 – Optical spectrum of tuneable laser source

When the signal enters the measurement system shown in Figure C.7, the output current i_E of the O/E converter is calculated with Equation (C.8):

$$i_E = R \{ P_0 + 2P_s + 4\sqrt{P_0 P_s} \cos(\Delta\omega) \} \quad (C.8)$$

where

R is a conversion efficiency of the O/E converter (A/W).

From Equation (C.8) when the beat current emerging from the signal light and the side mode is i_b , the beat signal power(electric) P_b , which is measured with the spectrum analyser, will be calculated with Equations (C.9) and (C.10).

$$i_b = 4R\sqrt{P_0 P_s} \cos(\Delta\omega) \quad (C.9)$$

$$P_b = 8R_i P_0 P_s R^2 \quad (C.10)$$

where

R_i is the input impedance of the spectrum analyser (Ω).

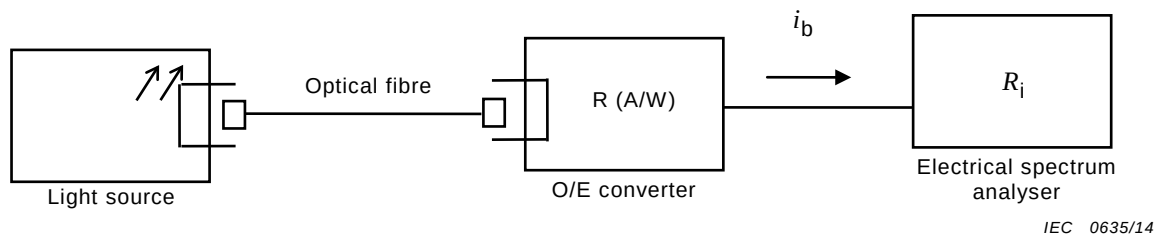


Figure C.7 – Measurement set-up for SMSR

The side mode suppression ratio SMSR, derived from Equation (C.10), is calculated with Equation (C.11):

$$SMSR = \frac{P_0}{P_s} = 8R_i R^2 \frac{P_0^2}{P_b} \quad (C.11)$$

If the SMSR is in dB, it will be calculated with Equation (C.12):

$$\begin{aligned}
 SMSR_{dB} &= 10 \log \left(8R_i R^2 \frac{P_0^2}{P_b} \right) \\
 &= 2P_{0,dBm} - P_{b,dBm} + R_{dB} + 10 \log(8R_i) - 30
 \end{aligned} \tag{C.12}$$

where

$$P_{0,dBm} = 10 \log \frac{P_0}{10^{-3}};$$

$$P_{b,dBm} = 10 \log \frac{P_b}{10^{-3}};$$

$$R_{dB} = 20 \log \frac{R(A/W)}{1(A/W)}.$$

NOTE The testing approach adopted here is suitable for external cavity lasers only.

Bibliography

IEC 60027-3, *Letter symbols to be used in electrical technology – Part 3: Logarithmic and related quantities, and their units*

IEC 60050-300:2001, *International Electrotechnical Vocabulary – Electrical and electronic measurements and measuring instruments – Part 311: General terms relating to measurements – Part 312: General terms relating to electrical measurements – Part 313: Types of electrical measuring instruments – Part 314: Specific terms according to the type of instrument*

IEC 60050-731, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 731: Optical fibre communication*

IEC 60359, *Electrical and electronic measuring equipment – Expression of performance*

IEC 60793-1 (all parts), *Optical fibres – Part 1: Measurement methods and test procedures*

IEC 60793-2, *Optical fibres – Part 2: Product specifications – General*

IEC 61280-1-3:2010, *Fibre optic communication subsystem test procedures – Part 1-3: General communication subsystems – Central wavelength and spectral width measurement*

IEC 61300-3-2, *Fibre optic interconnecting devices and passive components – Basic test and measurement procedures – Part 3-2: Examination and measurements – Polarization dependent loss in a single-mode fibre optic device*

IEC 61315, *Calibration of fibre-optic power meters*

IEC/TR 61930, *Fibre optic graphical symbology*

IEC/TR 61931, *Fibre optic – Terminology*

ISO 80000-3, *Quantities and units – Part 3: Space and time*

ITU-T G.694 (all parts), *Spectral grids for WDM applications*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	40
INTRODUCTION.....	42
1 Domaine d'application.....	43
2 Références normatives	43
3 Termes, définitions et abréviations.....	43
3.1 Termes et définitions.....	43
3.2 Abréviations	46
4 Préparation pour l'étalonnage	46
4.1 Organisation	46
4.2 Traçabilité	46
4.3 Préparation	47
4.4 Conditions d'étalonnage de référence.....	47
5 Etalonnage de la longueur d'onde	47
5.1 Présentation.....	47
5.2 Etalonnage de la longueur d'onde dans des conditions de référence	48
5.2.1 Montage	48
5.2.2 Equipement d'étalonnage.....	48
5.2.3 Procédure d'étalonnage de la longueur d'onde	48
5.2.4 Dépendance par rapport aux conditions.....	49
5.2.5 Incertitude dans les conditions de référence.....	51
5.3 Etalonnage de la longueur d'onde dans les conditions de fonctionnement	52
5.3.1 Généralités	52
5.3.2 Dépendance par rapport à la puissance optique	52
5.3.3 Incertitude dans les conditions de fonctionnement.....	53
6 Etalonnage de la puissance optique	53
6.1 Présentation.....	53
6.2 Etalonnage de la puissance optique dans les conditions de référence	54
6.2.1 Montage	54
6.2.2 Equipement d'étalonnage.....	54
6.2.3 Procédure d'étalonnage de la puissance optique dans des conditions de référence	54
6.2.4 Dépendance par rapport aux conditions.....	55
6.2.5 Incertitude relative aux conditions de référence	59
6.3 Etalonnage de la puissance optique dans les conditions de fonctionnement	59
6.3.1 Généralités	59
6.3.2 Dépendance par rapport à la longueur d'onde	59
6.3.3 Incertitude relative aux conditions de fonctionnement	60
7 Documentation.....	61
7.1 Données d'étalonnage et incertitude	61
7.2 Conditions d'étalonnage	61
Annexe A (normative) Bases mathématiques.....	62
A.1 Généralités	62
A.2 Evaluation de l'incertitude de type A	62
A.3 Evaluation de l'incertitude de type B	62
A.4 Détermination de l'incertitude type cumulée.....	63
A.5 Rapport.....	64

Annexe B (informative) Ecart de longueur d'onde (ou de puissance) moyen sur une certaine plage	65
Annexe C (informative) Autres essais	67
C.1 Généralités	67
C.2 Résolution de longueur d'onde	67
C.2.1 Montage	67
C.2.2 Equipement d'essai.....	67
C.2.3 Procédure d'essai concernant la détermination de la résolution de la longueur d'onde	67
C.3 Résolution de la puissance optique.....	68
C.3.1 Montage	68
C.3.2 Equipement d'essai.....	68
C.3.3 Procédure d'essai de la résolution de la puissance optique.....	68
C.4 Taux d'émission spontanée entre signal et source	69
C.4.1 Montage	69
C.4.2 Equipement d'essai.....	69
C.4.3 Procédure d'essai pour déterminer le taux d'émission spontanée entre signal et source	69
C.5 Taux de suppression des modes latéraux	70
C.5.1 Généralités	70
C.5.2 Montage	70
C.5.3 Equipement d'essai.....	71
C.5.4 Procédure d'essai	71
Bibliographie	74
Figure 1 – Montage de mesure pour l'étalonnage de la longueur d'onde.....	48
Figure 2 – Montage de mesure concernant la dépendance par rapport à la température.....	49
Figure 3 – Montage de mesure concernant la stabilité de la longueur d'onde.....	50
Figure 4 – Montage de mesure concernant la dépendance par rapport à la puissance optique.....	52
Figure 5 – Montage de mesure pour l'étalonnage de la puissance optique intrinsèque.....	54
Figure 6 – Montage de mesure concernant la dépendance par rapport à la température.....	56
Figure 7 – Montage de mesure de la stabilité de la puissance optique.....	57
Figure 8 – Montage de mesure de la répétabilité/reproductibilité des connexions	58
Figure 9 – Montage de mesure de la dépendance à la longueur d'onde	60
Figure C.1 – Montage de mesure de la résolution de la longueur d'onde	67
Figure C.2 – Montage de mesure concernant l'essai de réglage de résolution de la puissance optique	68
Figure C.3 – Montage de mesure du taux d'émission spontanée entre signal et source	69
Figure C.4 – Mesure du taux d'émission spontanée entre signal et source	70
Figure C.5 – Montage de mesure de l'essai du taux de suppression des modes latéraux.....	70
Figure C.6 – Spectre optique de la source laser accordable	72
Figure C.7 – Montage de mesure pour le SMSR	72

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ÉTALONNAGE DES SOURCES LASER ACCORDABLES

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 62522 a été établie par le comité d'études 86 de l'IEC: Fibres optiques.

Le texte de cette norme est basé sur les documents suivants:

CDV	Rapport de vote
86/443/CDV	86/459/RVC

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

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

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.

INTRODUCTION

Les systèmes de transmission par multiplexage par répartition en longueur d'onde (WDM) ont été déployés dans les lignes optiques principales. Les recommandations UIT-T de la série G.694 décrivent des grilles de fréquences et de longueurs d'onde pour des applications WDM. Par exemple, la grille de fréquence de la G.694.1 prend en charge une variété d'espacements entre les canaux sur une plage allant de 12,5 GHz à 100 GHz et sur une plage plus large. Des dispositifs WDM, tels qu'un réseau de guide d'onde (AWG: arrayed waveguide grating), des multiplexeurs (MUX) et des démultiplexeurs (DMUX) basés sur un filtre à couche mince ou sur des réseaux, avec un espacement étroit entre les canaux, sont intégrés dans les systèmes de transmission WDM. Lors de la mesure des caractéristiques de tels dispositifs, on utilise communément des sources laser accordables en longueur d'onde, nécessaires pour obtenir des performances bien étalonnées. L'incertitude sur les longueurs d'onde, la répétabilité du caractère accordable des longueurs d'onde, la stabilité de la longueur d'onde et la stabilité de la puissance optique de sortie sont des paramètres importants.

Une source laser accordable (TLS) présente généralement les fonctionnalités suivantes:

- a) la longueur d'onde de sortie est accordable de manière continue dans une plage de longueurs d'onde comprise entre 1 260 nm ou plus et 1 675 nm ou moins (il convient que la sortie n'excite que le mode fondamental LP01 de la fibre);
- b) un port de sortie pour connecteurs de fibres optiques.

L'enveloppe du spectre représente un mode longitudinal unique avec une largeur à mi-hauteur (FWHM) de 0,1 nm au plus. Tout mode adjacent est inférieur d'au moins 20 dB par rapport au mode spectral principal (par exemple, une diode laser à rétroaction répartie (DFB-LD), un laser à cavité externe, etc.)

ÉTALONNAGE DES SOURCES LASER ACCORDABLES

1 Domaine d'application

La présente norme internationale fournit une procédure stable et reproductible pour étalonner la longueur d'onde et la puissance de sortie d'un laser accordable en fonction des instruments de référence tels que des appareils de mesure de la puissance optique et des appareils de mesure de longueur d'onde optique (y compris des fréquencesmètres optiques) dont la traçabilité a été préalablement étalonnée.

2 Références normatives

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

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

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

IEC 60825-2, *Sécurité des appareils à laser – Partie 2: Sécurité des systèmes de télécommunication par fibres optiques (STFO)*

IEC 62192-2, *Étalonnage des appareils de mesure de longueur d'onde/appareil de mesure de la fréquence optique – Partie 2: Appareils de mesure de longueur d'onde unique à interféromètre de Michelson*

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

ISO/IEC Guide 98-3:2008, *Incertitude de mesure – Partie 3: Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM:1995)*

ISO/IEC Guide 99:2007, *Vocabulaire international de métrologie – Concepts fondamentaux et généraux et termes associés (VIM)*

3 Termes, définitions et abréviations

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

3.1 Termes et définitions

3.1.1

laboratoire d'étalonnage accrédité

laboratoire d'étalonnage autorisé par l'organisation nationale compétente à publier des certificats d'étalonnage qui démontrent la traçabilité aux étalons nationaux

3.1.2

ajustage

ensemble des opérations réalisées sur un appareil pour qu'il fournisse des indications données correspondant à des valeurs données de la grandeur à mesurer

[SOURCE: IEC 60050-300:2001, 311-03-16 – modifiée, changement éditorial mineur, la NOTE est omise].

[Voir aussi l'ISO/IEC Guide 99:2007, 3.11, modifié – les 3 NOTES sont omises]

3.1.3

étalonnage

ensemble des opérations qui établissent, dans des conditions spécifiées, le rapport entre les valeurs des grandeurs indiquées par un appareil de mesure et les valeurs correspondantes réalisées par les étalons

Note 1 à l'article: Le résultat d'un étalonnage permet soit l'affectation des valeurs des grandeurs à mesurer aux indications, soit la détermination de corrections par rapport aux indications.

Note 2 à l'article: Un étalonnage peut également déterminer d'autres propriétés métrologiques, telles que l'effet des grandeurs d'influence.

Note 3 à l'article: Le résultat d'un étalonnage peut être enregistré dans un document, appelé certificat d'étalonnage ou rapport d'étalonnage.

[SOURCE: ISO/IEC Guide 99:2007, 2.39, modifié – la définition est abrégé; les 2 NOTES sont remplacées par ces 3 nouvelles NOTES]

3.1.4

conditions d'étalonnage

conditions de mesure dans lesquelles l'étalonnage est réalisé

3.1.5

étalonnage dans les conditions de référence

étalonnage qui inclut l'évaluation de l'incertitude dans les conditions de référence de la source de rayonnement lumineux soumise à l'étalonnage

3.1.6

étalonnage dans les conditions de fonctionnement

étalonnage qui inclut l'évaluation de l'incertitude dans les conditions de fonctionnement de la source de rayonnement lumineux soumise à l'étalonnage

3.1.7

niveau de confiance

estimation de la probabilité selon laquelle la valeur réelle d'un paramètre mesuré se trouve dans la plage donnée

3.1.8

facteur d'élargissement

k

facteur utilisé pour calculer l'incertitude élargie U à partir de l'incertitude type, u

3.1.9

décibel

dB, dBm

sous-multiple du bel, B, unité utilisée pour exprimer des valeurs de la puissance optique sur une échelle logarithmique

Note 1 à l'article: Le niveau de puissance est toujours relatif à une puissance de référence P_0

$$L_{P/P_0} = 10 \times \log_{10} \left(\frac{P}{P_0} \right)$$

où P et P_0 sont exprimées dans les mêmes unités linéaires.

Le symbole d'unité dBm est utilisé pour indiquer un niveau de puissance par rapport à 1 mW:

$$L_{P/1mW} = 10 \times \log_{10} \left(\frac{P}{1mW} \right)$$

Le rapport linéaire, R_{lin} , de deux puissances rayonnantes, P_1 et P_2 , peut aussi être exprimé comme une différence de niveau de puissance en décibels (dB):

$$\Delta L_P = 10 \times \log_{10}(R_{lin}) = 10 \times \log_{10} \left(\frac{P_1}{P_2} \right) = 10 \times \log_{10}(P_1) - 10 \times \log_{10}(P_2)$$

De même, les incertitudes relatives, U_{lin} , ou écarts relatifs, peuvent aussi être exprimées en décibels:

$$U_{dB} = \left| 10 \times \log_{10} (1 - U_{lin}) \right|$$

Note 2 à l'article: Pour le traitement mathématique, il convient d'exprimer tous les résultats des mesures en unités linéaires (par exemple en Watt) et il convient d'exprimer toutes les incertitudes sous forme linéaire. Cette recommandation est due au fait que l'accumulation des incertitudes en unités logarithmiques est compliquée à traiter sous forme mathématique. La déclaration finale d'une incertitude peut être présentée sous forme linéaire ou en décibels.

Note 3 à l'article: Il convient de consulter l'ISO 80000-3 et l'IEC 60027-3 pour obtenir des précisions supplémentaires. Les règles de l'IEC 60027-3 ne permettent pas de correspondances avec des symboles d'unité. Cependant, le symbole dBm est accepté dans la présente norme parce qu'il est largement utilisé et accepté par les utilisateurs d'instruments à fibres optiques.

3.1.10

écart de puissance optique

D_P

différence entre la puissance définie sur la source de rayonnement soumise à l'étalonnage, P_{TLS} , et la puissance de référence correspondante P_{meas} , mesurée par l'appareil de mesure de la puissance de référence

$$D_P = \frac{P_{TLS} - P_{meas}}{P_{meas}}$$

3.1.11

conditions de fonctionnement

ensemble approprié de plages spécifiées de valeurs des grandeurs d'influence, généralement supérieures aux conditions de référence pour lesquelles les incertitudes d'un appareil de mesure sont spécifiées

Note 1 à l'article: Les conditions de fonctionnement et l'incertitude dans les conditions de fonctionnement sont généralement spécifiées par le fabricant à l'intention de l'utilisateur.

3.1.12

conditions de référence

conditions utilisées pour les essais de performance d'un appareil de mesure ou pour la comparaison entre les résultats des mesures

Note 1 à l'article: Les conditions de référence comprennent généralement les valeurs de référence ou les plages de référence pour les grandeurs d'influence affectant l'appareil de mesure.

3.1.13

taux de suppression des modes latéraux

SMSR

rapport de la puissance de crête entre le spectre du mode principal et le spectre du mode latéral le plus large, ceci dans une diode laser unimodale telle qu'une diode laser DFB-LD

Note 1 à l'article: Le taux de suppression des modes latéraux est généralement exprimé en dB.

3.1.14

longueur d'onde

longueur d'onde (dans le vide) d'une source de rayonnement lumineux

3.1.15

écart en longueur d'onde

D_λ

différence entre la longueur d'onde cible, définie sur la source de rayonnement lumineux soumise à l'étalonnage, λ_{TLS} , et la longueur d'onde mesurée, λ_{meas} , en nm ou en μm

$$D_\lambda = \lambda_{\text{TLS}} - \lambda_{\text{meas}}$$

3.2 Abréviations

Abr.	Français	Anglais
APC	Contact physique à angles	Angled physical contact
DFB-LD	Diode laser à rétroaction répartie	Distributed feedback laser diode
FWHM	Largeur à mi hauteur	Full-width/half-maximum
OSA	Analyseur de spectre optique	Optical spectrum analyser
SMSR	Taux de suppression des modes latéraux	Side-mode suppression ration
TLS	Source laser accordable	Tuneable laser source
WDM	multiplexage par répartition en longueur d'onde	Wavelength-division multiplexing

4 Préparation pour l'étalonnage

4.1 Organisation

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

On doit établir une procédure de mesure documentée pour chaque type d'étalonnage effectué, donnant des instructions de fonctionnement étape par étape et l'appareillage à utiliser.

4.2 Traçabilité

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

Tous les étalons utilisés dans le processus d'étalonnage doivent être étalonnés conformément à un programme documenté avec une traçabilité reconnue par les laboratoires d'étalons nationaux ou par les laboratoires d'étalonnage accrédités.

Il est conseillé de conserver plus d'un étalon à chaque niveau de la hiérarchie, de telle sorte que les performances de l'étalon puissent être vérifiées par comparaison au même niveau. S'assurer que tout autre appareil d'étalonnage ayant une influence significative sur les résultats d'étalonnage est étalonné.

4.3 Préparation

Les conditions d'environnement doivent être compatibles avec le niveau d'incertitude exigé pour l'étalonnage:

- a) les étalonnages doivent être réalisés dans un environnement propre;
- b) le contrôle et la commande de la température sont exigés;
- c) toutes les sources laser doivent fonctionner en toute sécurité (se référer à l'IEC 60825-1 et à l'IEC 60825-2);
- d) il convient d'examiner la sortie de la source laser accordable avec un analyseur de spectre optique (OSA) pour vérifier le fonctionnement en unimodal.

La température recommandée est de 23 °C (par exemple $23\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$). Mettre les appareils d'étalonnage en place au minimum 2 h avant les essais, de manière à atteindre l'équilibre avec leur environnement. Faire subir à la source laser un temps de mise en température conforme aux instructions du fabricant.

4.4 Conditions d'étalonnage de référence

Les conditions d'étalonnage de référence incluent généralement les paramètres suivants et, si nécessaire, leurs bandes de tolérance: date, température, humidité relative, pression atmosphérique, puissance optique affichée, longueur d'onde affichée, fibre, combinaison connecteur-raccord, largeur de bande (spectrale) et largeur de bande de résolution (résolution spectrale) définies. Sauf spécification contraire, utiliser une fibre amorce pour fibre optique unimodale de catégorie B1.1 ou B1.3 comme indiqué dans l'IEC 60793-2-50, ayant une longueur d'au moins 2 m. Il est souhaitable d'effectuer tout l'étalonnage dans une situation où les rétro-réflexions sont négligeables. Ainsi, il convient d'utiliser des isolateurs et des connecteurs à angles chaque fois que la situation le permet.

Utiliser la source laser accordable conformément aux spécifications et aux modes opératoires du constructeur. Lorsque cela est possible, sélectionner un ensemble de conditions et de paramètres d'étalonnage de manière à simuler les conditions de fonctionnement réelles de la source laser accordable soumise à l'étalonnage. Sélectionner ces paramètres afin d'optimiser la précision de la source laser accordable, comme indiqué dans les modes opératoires du fabricant.

Documenter les conditions comme spécifié à l'Article 7.

NOTE Les résultats d'étalonnage ne sont valables que pour l'ensemble des conditions d'étalonnage utilisées dans le processus d'étalonnage.

5 Etalonnage de la longueur d'onde

5.1 Présentation

Les facteurs ayant une influence sur l'incertitude sur la longueur d'onde de la source de rayonnement lumineux soumise à l'étalonnage sont les suivants:

- a) l'incertitude intrinsèque de la source de rayonnement lumineux soumise à l'étalonnage telle qu'on la trouve dans des conditions de référence, incluant les dépendances à la température et à la durée pour ces conditions strictes; et
- b) les incertitudes dues aux dépendances à la puissance optique, la température et la durée telles qu'on les trouve dans les étalonnages dans des conditions de fonctionnement élargies.

L'étalonnage de la longueur d'onde dans des conditions de référence, pour des longueurs d'onde discrètes, décrit en 5.2, est obligatoire. L'étalonnage dans des conditions de fonctionnement, décrit en 5.3, est facultatif.

5.2 Etalonnage de la longueur d'onde dans des conditions de référence

5.2.1 Montage

La Figure 1 représente un système d'étalonnage de la longueur d'onde. L'étalonnage est réalisé dans les conditions de référence données.

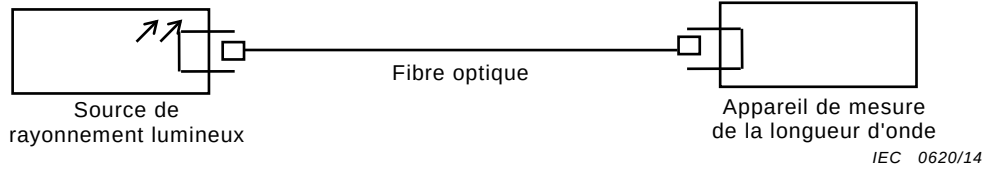


Figure 1 – Montage de mesure pour l'étalonnage de la longueur d'onde

5.2.2 Equipement d'étalonnage

Un appareil de mesure de la longueur d'onde doit être utilisé pour l'étalonnage. Il convient d'étalonner l'appareil de mesure de la longueur d'onde selon l'IEC 62129-2.

5.2.3 Procédure d'étalonnage de la longueur d'onde

La procédure d'étalonnage est la suivante:

- En utilisant le système d'étalonnage représenté sur la Figure 1, la longueur d'onde définie de la source de rayonnement lumineux est donnée par $\lambda_{\text{TLS } j}$, et les valeurs mesurées sont données par $\lambda_{\text{meas } i,j}$. L'incertitude de la mesure de la longueur d'onde tient compte de la répétabilité de l'ajustage et de l'hystérésis de la source laser accordable (TLS). L'hystérésis est définie comme l'écart résultant de l'ajustage de la longueur d'onde souhaitée à partir à la fois de la longueur d'onde plus petite et de la longueur d'onde plus grande.
- Répéter la mesure de la longueur d'onde $\lambda_{\text{meas } i,j}$ au moins 10 fois. S'assurer que la TLS est accordée sur $\lambda_{\text{TLS } j}$ avant chaque mesure. Il convient que la longueur d'onde cible (j) soit approchée d'une manière telle que l'accord se fasse à la fois depuis la longueur d'onde plus petite et depuis la longueur d'onde plus grande.
- Calculer la longueur d'onde mesurée moyenne: $\bar{\lambda}_{\text{meas } j}$

$$\bar{\lambda}_{\text{meas}, j} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \lambda_{\text{meas } i,j} \quad (1)$$

où m est le nombre de mesures réalisées. On suppose que chaque $\lambda_{\text{meas } i,j}$ est une valeur moyenne de l'appareil de mesure de la longueur d'onde. Calculer l'écart de longueur d'onde: D_{λ_j}

$$D_{\lambda_j} = \lambda_{\text{TLS } j} - \bar{\lambda}_{\text{meas } j} \quad (2)$$

où $\lambda_{\text{TLS } j}$ est la longueur d'onde accordée de la TLS.

- Calculer l'écart type pour λ_j à partir des (m) résultats de mesure de la longueur d'onde: $\lambda_{\text{meas } i,j}$

$$s_{\lambda_j} = \left[\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (\lambda_{meas\ i,j} - \bar{\lambda}_{meas\ j})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

e) Calculer la répétabilité de l'accord de la longueur d'onde: S_{rep,λ_j}

$$S_{rep,\lambda_j} = 2 \times s_{\lambda_j} \quad (4)$$

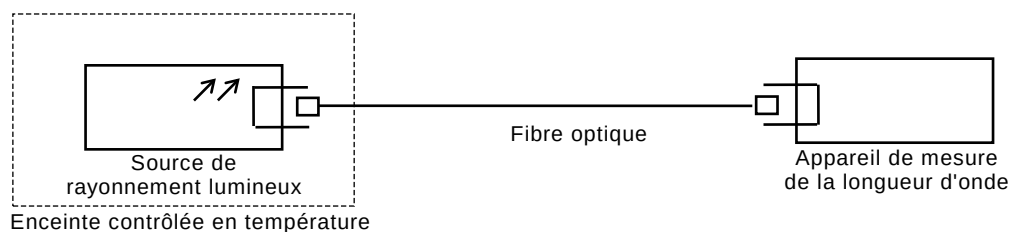
Cette procédure d'étalonnage doit être réalisée pour chaque longueur d'onde d'étalonnage. Un minimum de 10 longueurs d'onde discrètes, ou tous les 10 nm, y compris la première longueur d'onde, la longueur d'onde centrale et la dernière longueur d'onde de la plage doivent être mesurées.

5.2.4 Dépendance par rapport aux conditions

5.2.4.1 Dépendance par rapport à la température (facultative, si connue)

5.2.4.1.1 Montage

La Figure 2 représente un système d'étalonnage pour la dépendance par rapport à la température. Cet étalonnage est réalisé dans les conditions d'étalonnage de référence à l'exception de la température.



IEC 0621/14

Figure 2 – Montage de mesure concernant la dépendance par rapport à la température

5.2.4.1.2 Equipement d'étalonnage

L'équipement d'étalonnage est le suivant:

- Un appareil de mesure de la longueur d'onde capable de détecter des fluctuations de la longueur d'onde au moins dix fois plus petites que la stabilité de la longueur d'onde de la TLS.
- Enceinte contrôlée en température: s'assurer que les résultats de mesure ne sont pas affectés par la répartition de la température interne.

5.2.4.1.3 Procédure d'étalonnage concernant la détermination de la dépendance par rapport à la température

La procédure d'étalonnage est la suivante:

- En utilisant le système d'étalonnage de la Figure 2, mesurer la longueur d'onde nominale (j) de la TLS à la puissance optique P_{TLSj} dans les conditions de référence: $\lambda_{j,ref}$. Il convient que la longueur d'onde utilisée possède la réponse maximale aux variations de température. Sinon, il convient de caractériser plusieurs longueurs d'onde de sortie.

- b) Mesurer la longueur d'onde de la TLS à la température (i): λ_{j,Θ_i} . Il convient de prendre la moyenne des longueurs d'onde lues correspondant à chaque réglage de température pour déterminer λ_{j,Θ_i} .
- c) Calculer l'écart de longueur d'onde relatif:

$$D_{\lambda_{j,\Theta_i}} = \lambda_{j,\Theta_i} - \lambda_{j,\text{ref}} \quad (5)$$

- d) Répéter les étapes 2 et 3 avec (m) différents réglages de température Θ_i en s'assurant que l'appareil dispose du temps nécessaire pour s'affranchir suffisamment de tout gradient thermique.
- e) Calculer les écarts de longueur d'onde maximum: $\max(D_{\lambda_{j,\Theta_i}})_{i=1}^{i=m}$, et minimum: $\min(D_{\lambda_{j,\Theta_i}})_{i=1}^{i=m}$.
- f) L'incertitude type concernant la dépendance de la longueur d'onde par rapport à la température $u_{\lambda_{j,\Delta\Theta}}$, à la longueur d'onde d'étalonnage (j), en utilisant un modèle de distribution rectangulaire est

$$u_{\lambda_{j,\Delta\Theta}} = \frac{1}{2\sqrt{3}} \left[\max(D_{\lambda_{j,\Theta_i}})_{i=1}^{i=m} - \min(D_{\lambda_{j,\Theta_i}})_{i=1}^{i=m} \right] \quad (6)$$

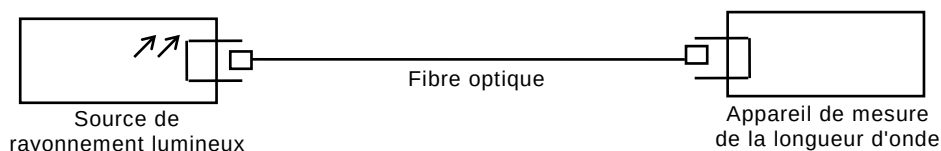
où $\Delta\Theta$ est la variation de température.

Il est recommandé qu'une acquisition de longueur d'onde soit effectuée avec l'appareil de mesure de la longueur d'onde optique pour la durée de cet étalonnage.

5.2.4.2 Stabilité de la longueur d'onde

5.2.4.2.1 Montage

La Figure 3 représente un système d'étalonnage concernant la stabilité de la longueur d'onde. Cet étalonnage est réalisé dans les conditions d'étalonnage de référence à l'exception du temps.



IEC 0622/14

Figure 3 – Montage de mesure concernant la stabilité de la longueur d'onde

5.2.4.2.2 Equipement d'étalonnage

Il est recommandé d'utiliser un appareil de mesure de la longueur d'onde capable de détecter des fluctuations de la longueur d'onde au moins dix fois plus petites que la stabilité de la longueur d'onde de la TLS.

5.2.4.2.3 Procédure d'étalonnage concernant la stabilité de la longueur d'onde

La procédure d'étalonnage est la suivante:

- En utilisant le système d'étalonnage de la Figure 3, la mesure est effectuée après avoir allumé la source de rayonnement lumineux et après un préchauffage de durée conforme aux instructions du fabricant.
- On doit choisir une période de temps spécifique (Δt), par exemple 10 min, assez longue pour permettre au moins 10 mesures de la longueur d'onde avec l'appareil de mesure de la longueur d'onde de référence (dans le cas de l'exemple, la stabilité sera mesurée sur 10 min).
- Une acquisition continue de la longueur d'onde doit être effectuée avec les données de la longueur d'onde et d'horodatage, et doit être enregistrée dans un format informatique compatible.
- S'assurer que (m) mesures sont corrélées par période de temps, avec ($m > 10$) et se rapportent exactement à la période de temps souhaitée (Δt).
- Calculer l'écart type pour les (m) mesures de la longueur d'onde correspondant à la période de temps (Δt)

$$u_{\lambda_j, \Delta t} = \left[\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (\lambda_{j, t_i} - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \lambda_{j, t_i})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

- Au minimum, une période de temps est nécessaire pour évaluer la stabilité de la longueur d'onde de la TLS. Dans ce cas, l'incertitude sur la stabilité de la longueur d'onde devient

$$S_{\text{stab}, \lambda_j, \Delta t} = 2 \times u_{\lambda_j, \Delta t} \quad (8)$$

Il convient de mesurer la longueur d'onde de la source de rayonnement lumineux plus de 10 fois (m fois) consécutivement. Il est recommandé d'effectuer au moins quelques mesures par minute. Il convient que l'intervalle de temps entre les mesures répétées soit plus long que le temps de réponse de la source de rayonnement lumineux. Il est préférable de calculer plusieurs périodes de temps à partir des données acquises en utilisant une fenêtre glissante, et la valeur maximale est consignée.

5.2.5 Incertitude dans les conditions de référence

L'incertitude sur la longueur d'onde d'étalonnage (j) dans les conditions de référence est donnée par

$$u_{\lambda_{j, \text{ref}}} = \left(\frac{s_{\lambda_j}^2}{m} + u_{\lambda_j, \Delta \theta}^2 + u_{\lambda_j, \Delta t}^2 + u_{\lambda_j, \text{res}}^2 + u_{WM \lambda_j}^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

où $u_{\lambda_j, \Delta \theta}$ et $u_{\lambda_j, \Delta t}$ sont évalués pour les conditions de référence telles qu'elles sont définies en 5.2.4, $u_{\lambda_j, \text{res}}$ est l'incertitude sur la résolution de la longueur d'onde définie par $u_{\lambda_j, \text{res}} = d\lambda_j / 2\sqrt{3}$ ($d\lambda_j$ est la résolution de la longueur d'onde de l'appareil de mesure de la longueur d'onde) et $u_{WM \lambda_j}$ est l'incertitude de l'appareil de mesure de la longueur d'onde à la longueur d'onde (j) comme cela est décrit dans sa certification.

L'incertitude élargie sur la longueur d'onde d'étalonnage (j) dans les conditions de référence: $U_{\lambda_{j, \text{ref}}}$ avec un facteur d'élargissement k s'exprime comme suit:

$$U_{\lambda_{j,ref}} = \pm k u_{\lambda_{j,ref}} \quad (10)$$

où k correspond à un niveau de confiance approprié comme cela est décrit à l'Article A.5.

Si la longueur d'onde doit être corrigée en se basant sur les résultats d'étalonnage, les corrections sont normalement mises en œuvre en apportant des corrections logicielles à l'appareil, des corrections mathématiques aux résultats ou des ajustements matériels à l'appareil. Une fois les ajustements effectués, il est conseillé de répéter les étalonnages pour vérifier que les corrections sont bonnes.

5.3 Etalonnage de la longueur d'onde dans les conditions de fonctionnement

5.3.1 Généralités

Effectuer la procédure d'étalonnage quand la source de rayonnement lumineux est utilisée au-delà des conditions de référence.

Les différents facteurs de l'incertitude sur la longueur d'onde dans les conditions de fonctionnement sont les suivants:

- a) dépendance par rapport à la puissance optique;
- b) dépendance par rapport à la température;
- c) stabilité de la longueur d'onde.

5.3.2 Dépendance par rapport à la puissance optique

5.3.2.1 Généralités

La Figure 4 représente un système d'étalonnage concernant la dépendance par rapport à la puissance optique. Il convient de réaliser cet étalonnage dans les conditions d'étalonnage de référence à l'exception de la puissance optique. Il doit être réalisé après l'étalonnage de la puissance optique (6.2.3).

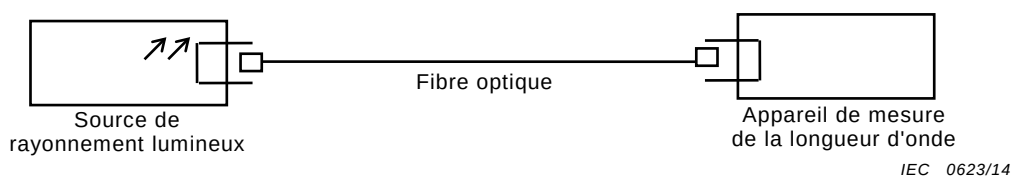


Figure 4 – Montage de mesure concernant la dépendance par rapport à la puissance optique

5.3.2.2 Equipement d'étalonnage

L'équipement d'étalonnage est le suivant:

- Un appareil de mesure de la longueur d'onde capable de détecter des fluctuations de la longueur d'onde au moins dix fois plus petites que la stabilité de la longueur d'onde de la TLS.

5.3.2.3 Procédures d'étalonnage concernant la détermination de la dépendance par rapport à la puissance

Les procédures d'étalonnage sont les suivantes:

- a) La longueur d'onde (λ_j) est mesurée à m puissances optiques (plus de 5) de la source de rayonnement lumineux, $P_{TLSi,j}$, y compris les limites supérieures et inférieures de la plage

de puissances spécifiée. Il convient que l'intervalle entre ces niveaux voisins soit inférieur à 10 dB.

- b) En utilisant le système d'étalonnage représenté sur la Figure 4, la longueur d'onde définie de la source de rayonnement lumineux est donnée par $\lambda_{TLS\ i,j}$, et les valeurs de l'appareil de mesure de la longueur d'onde sont données par $\lambda_{P_{i,j}}$.
- c) Enregistrer la longueur d'onde mesurée $\lambda_{P_{i,j}}$ pour tous les réglages (m) de la puissance de sortie $P_{TLS\ i,j}$ utilisés.
- d) Calculer l'incertitude type sur la longueur d'onde (j) due à la puissance optique de sortie de la TLS selon l'équation

$$u_{\lambda_{j,P}} = \left[\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (\lambda_{P_{i,j}} - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \lambda_{P_{i,j}})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (11)$$

5.3.3 Incertitude dans les conditions de fonctionnement

L'incertitude sur la longueur d'onde d'étalonnage (j) dans n'importe quelle condition de fonctionnement est donnée par

$$u_{\lambda_{j,op}} = \left(s_{\lambda_j}^2 + u_{\lambda_{j,P}}^2 + u_{\lambda_{j,\Delta\Theta}}^2 + u_{\lambda_{j,\Delta t}}^2 + u_{\lambda_{j,res}}^2 + u_{WM_{\lambda_j}}^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (12)$$

où $u_{\lambda_{j,P}}$, $u_{\lambda_{j,\Delta\Theta}}$ et $u_{\lambda_{j,\Delta t}}$ sont évalués pour les conditions de fonctionnement, $u_{\lambda_{j,res}}$ est l'incertitude sur la résolution de la longueur d'onde définie par $u_{\lambda_{j,res}} = d\lambda_j / 2\sqrt{3}$ ($d\lambda_j$ est la résolution de la longueur d'onde de l'appareil de mesure) et $u_{WM_{\lambda_j}}$ est l'incertitude de l'appareil de mesure de la longueur d'onde à la longueur d'onde (j) comme cela est décrit dans sa certification.

L'incertitude élargie sur la longueur d'onde d'étalonnage (j) dans toutes les conditions de fonctionnement: $U_{\lambda_{j,op}}$ avec un facteur d'élargissement k s'exprime comme suit

$$U_{\lambda_{j,op}} = \pm k u_{\lambda_{j,op}} \quad (13)$$

où k correspond à un niveau de confiance approprié comme cela est décrit à l'Article A.5.

6 Etalonnage de la puissance optique

6.1 Présentation

Les facteurs ayant une influence sur l'incertitude sur la puissance optique définie de la source de rayonnement lumineux soumise à l'étalonnage sont les suivants:

- a) l'incertitude intrinsèque de la source de rayonnement lumineux soumise à l'étalonnage telle qu'on la trouve dans des conditions de référence incluant les dépendances par rapport à la température, à la durée et à la répétabilité/reproductibilité des connexions pour ces conditions strictes; et

- b) les incertitudes dues aux dépendances sur la longueur d'onde, la température, la durée et la répétabilité/reproductibilité des connexions, telles qu'on les trouve dans les étalonnages dans des conditions de fonctionnement élargies.

L'étalonnage de la puissance optique dans des conditions de référence, comme décrit en 6.2 est obligatoire. L'étalonnage dans des conditions de fonctionnement, décrit en 6.3, est facultatif.

6.2 Etalonnage de la puissance optique dans les conditions de référence

6.2.1 Montage

La Figure 5 représente un système pour l'étalonnage de la puissance optique. L'étalonnage est réalisé dans les conditions de référence données.

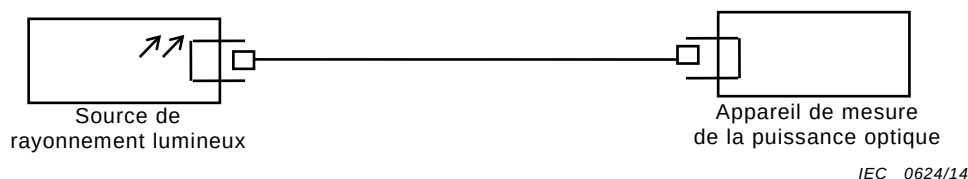


Figure 5 – Montage de mesure pour l'étalonnage de la puissance optique intrinsèque

NOTE 1 On peut rencontrer des problèmes pour étalonner la puissance d'une source laser à cohérence élevée, en raison des effets des interférences parasites résultant des réflexions sur les faces d'extrémité des connecteurs de fibre et sur l'appareil de mesure de la puissance optique. L'utilisation de connecteurs à contact physique à angles (APC), d'isolateurs optiques intégrés et de la fonction de contrôle de cohérence des lasers (le cas échéant) peut réduire les effets des interférences à un niveau acceptable.

La puissance optique à étalonner est mesurée à l'extrémité d'un câble à fibre optique, ce qui peut provoquer des pertes d'insertion. Il convient de consigner les conditions d'étalonnage relatives au câble à fibre optique utilisé telles que la longueur de fibre, le type de connecteur, l'isolateur intégré (le cas échéant).

6.2.2 Equipement d'étalonnage

L'équipement d'étalonnage est le suivant:

- Appareil de mesure de la puissance optique: il s'agit d'un appareil de mesure de la puissance optique étalonné dans les conditions d'étalonnage normalisées suivantes:
 - a) un appareil de mesure de la puissance optique étalonné par un organisme officiel qui fournit des services d'étalonnage avec une incertitude indiquée; ou
 - b) un appareil de mesure de la puissance optique offrant une traçabilité à un tel organisme officiel avec une incertitude indiquée.

L'incertitude de l'appareil de mesure de la puissance de référence est déjà connue et est décrite dans sa certification.

6.2.3 Procédure d'étalonnage de la puissance optique dans des conditions de référence

La procédure d'étalonnage est la suivante:

- a) Raccorder la source de rayonnement lumineux et l'appareil de mesure de la puissance à la fibre optique à mesurer;
- b) Régler la longueur d'onde de la source de rayonnement lumineux à la longueur d'onde d'étalonnage exigée;
- c) Régler la puissance de sortie de la source de rayonnement lumineux à $P_{T_{LSj}}$. L'incertitude de la mesure de la puissance tient compte de la répétabilité du réglage et de l'hystérésis

de la source laser accordable (TLS). L'hystérésis est définie comme l'écart résultant du réglage de la puissance souhaitée à partir à la fois de la puissance inférieure et de la puissance supérieure;

- d) Lire la valeur mesurée par l'appareil de mesure de la puissance optique;
- e) Répéter cette mesure au moins 10 fois. S'assurer que la TLS est réglée sur $P_{\text{TLS } j}$ avant chaque mesure. Il convient que la puissance cible soit approchée d'une manière telle que le réglage se fasse à la fois depuis la puissance inférieure et depuis la puissance supérieure.

$$D_{P_{i,j}} = \frac{P_{\text{TLS } j} - P_{\text{meas } i,j}}{P_{\text{meas } i,j}} \quad (14)$$

où $P_{\text{TLS } j}$ est puissance optique appliquée à la TLS. On suppose que chaque $P_{\text{meas } i,j}$ est une valeur moyenne de l'appareil de mesure de la puissance. Calculer l'écart de puissance: D_{P_j} .

$$D_{P_j} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m D_{P_{i,j}} \quad (15)$$

où m est le nombre de mesures réalisées.

- f) Calculer l'écart type pour D_{P_j} à partir des (m) résultats de mesure de la puissance: $P_{\text{meas } i,j}$

$$s_{D_{P_j}} = \left[\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (D_{P_{i,j}} - D_{P_j})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (16)$$

- g) Calculer la répétabilité du réglage de la puissance: $S_{\text{rep}, D_{P_j}}$

$$S_{\text{rep}, D_{P_j}} = 2 \times s_{D_{P_j}} \quad (17)$$

Il convient d'effectuer les calculs d'incertitude (6.2.3 a) à g)) pour chaque puissance d'étalonnage.

6.2.4 Dépendance par rapport aux conditions

6.2.4.1 Dépendance par rapport à la température (facultative, si connue)

6.2.4.1.1 Montage

La Figure 6 représente un système d'étalonnage concernant la dépendance par rapport à la température. Cet étalonnage est réalisé dans les conditions d'étalonnage de référence à l'exception de la température.

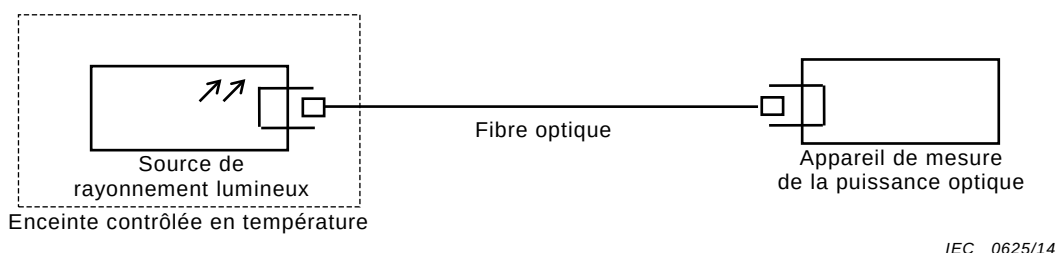


Figure 6 – Montage de mesure concernant la dépendance par rapport à la température

6.2.4.1.2 Équipement d'étalonnage

L'équipement d'étalonnage est le suivant:

- a) Appareil de mesure de la puissance optique: il s'agit d'un appareil de mesure de la puissance optique étalonné dans les conditions d'étalonnage normalisées suivantes:
 - 1) un appareil de mesure de la puissance optique étalonné par un organisme officiel qui fournit des services d'étalonnage avec une incertitude indiquée; ou
 - 2) un appareil de mesure de la puissance optique offrant une traçabilité à un tel organisme officiel avec une incertitude indiquée.
- b) Enceinte contrôlée en température: s'assurer que les résultats de mesure ne sont pas affectés par la distribution de la température interne.

6.2.4.1.3 Procédure d'étalonnage concernant la détermination de la dépendance par rapport à la température

La procédure d'étalonnage est la suivante:

- a) En utilisant le système d'étalonnage de la Figure 6, mesurer la puissance optique nominale de la TLS à la longueur d'onde λ_{TLSj} dans les conditions de référence: $P_{j,ref}$. Il convient que la puissance optique utilisée possède la réponse maximale par rapport aux variations de température. Sinon, il sera nécessaire de caractériser plusieurs puissances optiques.
- b) Mesurer la puissance optique de la TLS à la température (i): P_{j,Θ_i} . Il convient de prendre la moyenne des puissances optiques lues correspondant à chaque réglage de température pour déterminer P_{j,Θ_i} .
- c) Calculer l'écart de puissance optique relative:

$$D_{P_{j,\Theta_i}} = \frac{P_{j,\Theta_i} - P_{j,ref}}{P_{j,ref}} \quad (18)$$

- d) Répéter les étapes b) et c) avec (m) différents réglages de température Θ_i en s'assurant que l'appareil dispose du temps nécessaire pour s'affranchir suffisamment de tout gradient thermique.
- e) Calculer les écarts de puissance optique maximum: $\max(D_{P_{j,\Theta_i}})_{i=1}^{i=m}$, et minimum: $\min(D_{P_{j,\Theta_i}})_{i=1}^{i=m}$.
- f) L'incertitude type concernant la dépendance par rapport à la température de la puissance optique $u_{P_{j,\Delta\Theta}}$ à la puissance optique d'étalonnage en utilisant un modèle de distribution rectangulaire est

$$u_{D_{P_j, \Delta\Theta}} = \frac{1}{2\sqrt{3}} \left[\max(D_{P_j, \Theta_i})_{i=1}^{i=m} - \min(D_{P_j, \Theta_i})_{i=1}^{i=m} \right] \quad (19)$$

où $\Delta\Theta$ est la variation de température.

Il est recommandé qu'une acquisition de la puissance optique soit effectuée avec l'appareil de mesure de la puissance optique pour la durée de cet étalonnage.

6.2.4.2 Stabilité de la puissance optique

6.2.4.2.1 Montage

La Figure 7 représente un système d'étalonnage pour la stabilité de la puissance optique. Cet étalonnage est réalisé dans les conditions d'étalonnage de référence à l'exception du temps.

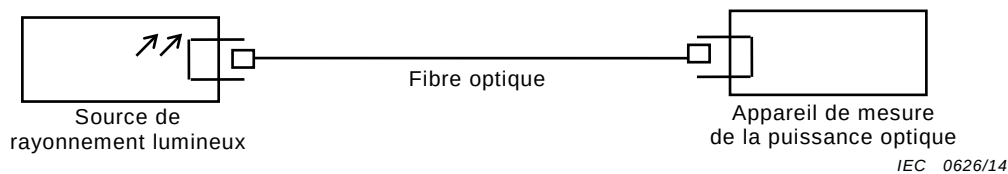


Figure 7 – Montage de mesure de la stabilité de la puissance optique

6.2.4.2.2 Equipement d'étalonnage

- Appareil de mesure de la puissance optique: il s'agit d'un appareil de mesure de la puissance optique étalonné dans les conditions d'étalonnage normalisées suivantes:
 - a) un appareil de mesure de la puissance optique étalonné par un organisme officiel qui fournit des services d'étalonnage avec une incertitude indiquée; ou
 - b) un appareil de mesure de la puissance optique offrant une traçabilité à un tel organisme officiel avec une incertitude indiquée.

6.2.4.2.3 Procédure d'étalonnage concernant la stabilité de la puissance optique

La procédure d'étalonnage est la suivante:

- a) En utilisant le système d'étalonnage de la Figure 7, la mesure est effectuée après avoir allumé la source de rayonnement lumineux et après un préchauffage de durée conforme aux instructions du fabricant.
- b) On doit choisir une période de temps spécifique (Δt), par exemple 10 min, assez longue pour permettre au moins 10 mesures de la puissance optique avec l'appareil de mesure de la puissance de référence (dans le cas de l'exemple, la stabilité sera mesurée sur 10 min).
- c) Une acquisition continue de la puissance optique doit être effectuée avec des données de puissance optique et l'horodatage doit être enregistré dans un format informatique compatible.
- d) S'assurer que (m) mesures sont corrélées par période de temps, avec ($m > 10$) et exactement conforme à la période de temps souhaitée (Δt).
- e) Calculer l'écart type pour les (m) mesures correspondant à la période de temps (Δt):

$$u_{D_{P_j, \Delta t}} = \left[\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (P_{j, t_i} - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m P_{j, t_i})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \left/ \left(\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m P_{j, t_i} \right) \right. \quad (20)$$

- f) Au minimum, une période de temps est nécessaire pour évaluer la stabilité de la puissance optique de la TLS. Dans ce cas, l'incertitude sur la stabilité de la puissance optique devient

$$S_{stab,D_{P_j,\Delta t}} = 2 \times u_{D_{P_j,\Delta t}} \quad (21)$$

Il est préférable de calculer plusieurs périodes de temps à partir des données d'acquisition en utilisant une fenêtre glissante et la valeur maximale est consignée.

Il convient de mesurer la puissance optique de la source de rayonnement lumineux plus de 10 fois (m fois) consécutivement. Il est recommandé d'effectuer au moins quelques mesures par minute. Il convient que l'intervalle de temps entre les mesures répétées soit plus long que le temps de réponse de la source de rayonnement lumineux.

6.2.4.3 Répétabilité/reproductibilité des connexions

6.2.4.3.1 Montage

La Figure 8 représente un système d'étalonnage pour la stabilité de la puissance optique. Cet étalonnage est réalisé dans les conditions d'étalonnage de référence.

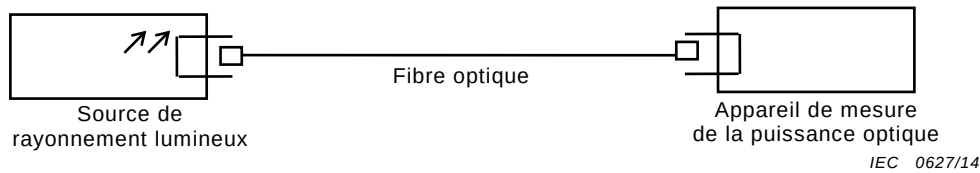


Figure 8 – Montage de mesure de la répétabilité/reproductibilité des connexions

6.2.4.3.2 Equipement d'étalonnage

- Appareil de mesure de la puissance optique: il s'agit d'un appareil de mesure de la puissance optique étalonné dans les conditions d'étalonnage normalisées suivantes:
 - a) un appareil de mesure de la puissance optique étalonné par un organisme officiel qui fournit des services d'étalonnage avec une incertitude indiquée; ou
 - b) un appareil de mesure de la puissance optique offrant une traçabilité à un tel organisme officiel avec une incertitude indiquée.

6.2.4.3.3 Procédure d'étalonnage concernant la répétabilité/reproductibilité des connexions

La procédure d'étalonnage est la suivante:

- a) En utilisant le système d'étalonnage de la Figure 8, raccorder la source de rayonnement lumineux et l'appareil de mesure de la puissance à la fibre optique à mesurer.
- b) Lire la valeur mesurée par l'appareil de mesure de la puissance optique P_{j,con_i} .
- c) Déconnecter la fibre optique de la TLS et reconnecter la fibre optique à la TLS.
- d) Répéter les étapes b) et c) (m) fois.
- e) Calculer l'incertitude type sur la puissance optique (j) due à la répétabilité/reproductibilité des connexions selon l'équation

$$u_{D_{P_j,con}} = \left[\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (P_{j,con_i} - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m P_{j,con_i})^2 \right]^{\frac{1}{2}} / \left(\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m P_{j,con_i} \right) \quad (22)$$

6.2.5 Incertitude relative aux conditions de référence

L'incertitude sur la puissance optique d'étalonnage dans les conditions de référence est donnée par

$$u_{D_{P_j,ref}} = \left(\frac{S_{D_{P_j}}^2}{m} + u_{D_{P_j,\Delta\Theta}}^2 + u_{D_{P_j,\Delta t}}^2 + u_{D_{P_j,con}}^2 + u_{D_{P_j,res}}^2 + u_{PM_{P_j}}^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (23)$$

où $u_{D_{P_j,\Delta\Theta}}$, $u_{D_{P_j,\Delta t}}$ et $u_{D_{P_j,con}}$ sont évalués pour les conditions de référence telles qu'elles sont définies en 6.2.4, $u_{D_{P_j,res}}$ est l'incertitude relative sur la résolution de la puissance optique définie par $u_{D_{P_j,res}} = (dP_{TLS,j} / P_{TLS,j}) / 2\sqrt{3}$ ($dP_{TLS,j}$ est la résolution de la puissance optique de l'appareil de mesure de la puissance optique) et $u_{PM_{P_j}}$ est l'incertitude de l'appareil de mesure de la puissance optique à la puissance P_j comme cela est décrit dans sa certification.

L'incertitude élargie pour l'appareil de mesure de la puissance d'étalonnage dans les conditions de référence: $U_{D_{P_j,ref}}$ avec un facteur d'élargissement k s'exprime comme suit:

$$U_{D_{P_j,ref}} = \pm k u_{D_{P_j,ref}} \quad (24)$$

où k correspond à un niveau de confiance approprié comme cela est décrit à l'Article A.5.

S'il est nécessaire de corriger la puissance optique en se basant sur les résultats d'étalonnage, les corrections sont normalement mises en œuvre en apportant des corrections logicielles à l'appareil, des corrections mathématiques aux résultats ou des ajustements matériels à l'appareil. Une fois les ajustements effectués, il est conseillé de répéter les étalonnages pour vérifier que les corrections sont bonnes.

6.3 Etalonnage de la puissance optique dans les conditions de fonctionnement

6.3.1 Généralités

Effectuer la procédure d'étalonnage quand la source de rayonnement lumineux est utilisée au-delà des conditions de référence.

Les différents facteurs de l'incertitude sur la puissance optique dans les conditions de fonctionnement sont les suivants:

- a) dépendance par rapport à la longueur d'onde;
- b) dépendance par rapport à la température;
- c) stabilité de la puissance optique;
- d) répétabilité/reproductibilité des connexions.

6.3.2 Dépendance par rapport à la longueur d'onde

6.3.2.1 Montage

La Figure 9 représente un système d'étalonnage relatif à la dépendance par rapport à la longueur d'onde. Il convient de réaliser cet étalonnage dans les conditions d'étalonnage de

référence à l'exception de la longueur d'onde. Il doit être réalisé après l'étalonnage de la longueur d'onde (5.2.3)

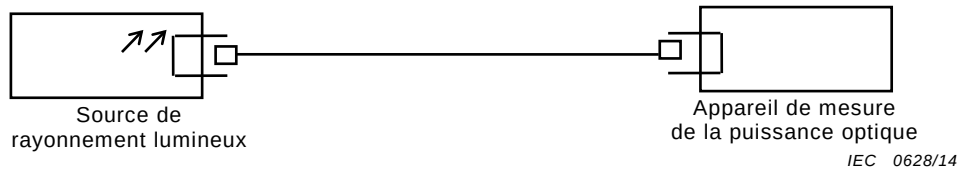


Figure 9 – Montage de mesure de la dépendance à la longueur d'onde

6.3.2.2 Équipement d'étalonnage

L'équipement d'étalonnage est le suivant:

- Appareil de mesure de la puissance optique: il s'agit d'un appareil de mesure de la puissance optique étalonné dans les conditions d'étalonnage normalisées suivantes:
 - a) un appareil de mesure de la puissance optique étalonné par un organisme officiel qui fournit des services d'étalonnage avec une incertitude indiquée; ou
 - b) un appareil de mesure de la puissance optique offrant une traçabilité à un tel organisme officiel avec une incertitude indiquée.

6.3.2.3 Procédure d'étalonnage concernant la détermination de la dépendance par rapport à la longueur d'onde

La procédure d'étalonnage est la suivante:

- a) La puissance optique est mesurée à m longueurs d'onde (plus de 5) de la source de rayonnement lumineux, $\lambda_{TLS\ i,j}$ y compris les limites supérieures et inférieures de la plage de longueurs d'onde spécifiée.
- b) En utilisant le système d'étalonnage représenté sur la Figure 9, la puissance optique définie de la source de rayonnement lumineux est donnée par $P_{TLS\ i,j}$, et les valeurs de l'appareil de mesure de la puissance optique sont données par $P_{\lambda_i,j}$.
- c) Enregistrer la puissance optique mesurée $P_{\lambda_i,j}$ pour tous les réglages (m réglages) de la longueur d'onde $P_{TLS\ i,j}$ utilisés.
- d) Calculer l'incertitude type sur la puissance optique (j) due à la longueur d'onde de sortie de la TLS selon l'Équation (25):

$$u_{D_{P_j,\lambda}} = \left[\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (P_{\lambda_i,j} - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m P_{\lambda_i,j})^2 \right]^{\frac{1}{2}} / \left(\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m P_{\lambda_i,j} \right) \quad (25)$$

6.3.3 Incertitude relative aux conditions de fonctionnement

L'incertitude sur la puissance optique d'étalonnage dans n'importe quelle condition de fonctionnement est donnée par

$$u_{D_{P_j,op}} = \left(S_{D_{P_j}}^2 + u_{D_{P_j,\lambda}}^2 + u_{D_{P_j,\Delta\theta}}^2 + u_{D_{P_j,\Delta t}}^2 + u_{D_{P_j,con}}^2 + u_{D_{P_j,res}}^2 + u_{PM_{P_j}}^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (26)$$

où $u_{D_{P_j,\lambda}}$, $u_{D_{P_j,\Delta\theta}}$, $u_{D_{P_j,\Delta t}}$ et $u_{D_{P_j,con}}$ sont évalués pour les conditions de fonctionnement, $u_{D_{P_j,res}}$ est l'incertitude relative sur la résolution de la puissance optique définie par $u_{D_{P_j,res}} = (dP_{TLS,j} / P_{TLS,j}) / 2\sqrt{3}$ ($dP_{TLS,j}$ est la résolution de la puissance optique de l'appareil de mesure de la puissance optique) et $u_{PM_{P_j}}$ est l'incertitude de l'appareil de mesure de la puissance optique à la puissance P_j comme cela est décrit dans sa certification.

L'incertitude élargie sur la puissance optique d'étalonnage dans toutes les conditions de fonctionnement: $U_{D_{P_j,op}}$ avec un facteur d'élargissement k s'exprime comme suit:

$$U_{D_{P_j,op}} = \pm k u_{D_{P_j,op}} \quad (27)$$

où k correspond à un niveau de confiance approprié comme cela est décrit à l'Article A.5.

7 Documentation

7.1 Données d'étalonnage et incertitude

Les certificats d'étalonnage qui revendiquent une conformité à la présente norme doivent inclure les données suivantes et leurs incertitudes, et les incertitudes doivent être énoncées sous forme d'intervalles de confiance estimés en multipliant l'incertitude type appropriée par $\pm k$:

- l'écart de longueur d'onde, D_{λ_j} , et son incertitude, $\pm k u_{\lambda_j,ref}$, par exemple, est donné en nm, dans le vide – voir le détail des exigences à l'Article 5;
- l'écart de puissance optique, D_{P_j} , et son incertitude, $\pm k u_{D_{P_j,ref}}$, par exemple, est donné en % ou en dB – voir le détail des exigences à l'Article 6.

7.2 Conditions d'étalonnage

La ou les méthodes d'étalonnage et la ou les méthodes d'obtention des résultats de mesure doivent être définies.

Il convient également que chaque spécification soit accompagnée d'une déclaration des états de l'appareil et des conditions de mesure. Les paramètres les plus importants sont: la date d'étalonnage, la puissance optique affichée, la longueur d'onde affichée, la température, l'humidité, la pression atmosphérique.

NOTE Les résultats d'étalonnage ne sont valables que pour l'ensemble des conditions d'étalonnage utilisées dans le processus d'étalonnage.

Annexe A (normative)

Bases mathématiques

A.1 Généralités

L'Annexe A résume le moyen pour évaluer, combiner et consigner les incertitudes de mesure. Elle est basée sur l'ISO/IEC Guide 98-3, mais elle ne dispense pas de consulter ce guide pour plus de détails.

La présente norme distingue deux types d'évaluation de l'incertitude de mesure. Le type A est la méthode d'évaluation de l'incertitude par une analyse statistique d'une série de mesures sur la même grandeur à mesurer. Le type B est la méthode d'évaluation de l'incertitude basée sur d'autres connaissances.

A.2 Evaluation de l'incertitude de type A

L'évaluation de l'incertitude typique de type A peut être appliquée lorsque plusieurs observations indépendantes ont été faites pour une quantité dans les mêmes conditions de mesure.

Pour une quantité X estimée à partir de n observations indépendantes répétées X_k , la moyenne arithmétique est

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

Cette moyenne est utilisée comme l'estimation de la quantité, c'est à dire $x = \bar{X}$. L'écart type expérimental des observations est donné par

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

où

$\bar{X}$ est la moyenne arithmétique des valeurs observées;

X_k sont les échantillons de mesure d'une série de mesures;

n est le nombre de mesures; on considère qu'il est élevé, par exemple, $n \geq 10$.

L'incertitude type de type A $u_{\text{typeA}}(x)$ associée à l'estimation x constitue l'écart type expérimental de la moyenne

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

A.3 Evaluation de l'incertitude de type B

L'évaluation de l'incertitude typique de type B est la méthode permettant d'évaluer l'incertitude par des moyens autres que l'analyse statistique d'une série d'observations. Cette évaluation

est basée sur un jugement scientifique des informations disponibles sur la variabilité de la quantité.

Si un certificat d'étalonnage, un manuel technique, des spécifications d'un fabricant ou un autre document donnent l'estimation x d'une quantité X et son incertitude indiquée $U(x)$ est un multiple k d'un écart type, l'incertitude type $u(x)$ est simplement la valeur indiquée divisée par le facteur multiplicateur.

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

Si seules les limites supérieure et inférieure $X_{\max}$ et $X_{\min}$ peuvent être estimées pour la valeur de la quantité X (par exemple les spécifications d'un fabricant ou une plage de températures), on suppose que la distribution des probabilités est rectangulaire et la valeur estimée est

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

et l'incertitude type est

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

La contribution à l'incertitude type associée à l'estimation de sortie y résultant de l'incertitude type associée à l'estimation d'entrée x est

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

où c est le coefficient de sensibilité associé à l'estimation d'entrée x , qui est la dérivée partielle de la fonction du modèle $y(x)$, évaluée pour l'estimation d'entrée x .

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

Le coefficient de sensibilité c décrit le degré jusqu'auquel l'estimation de sortie y est influencée par des variations de l'estimation d'entrée x . Il peut être évalué par l'Équation (A.8) ou en utilisant des méthodes numériques, c'est-à-dire en calculant la variation de l'estimation de sortie y engendrée par une variation de l'estimation d'entrée x à partir d'une fonction du modèle. Il est parfois préférable de chercher la variation dans l'estimation de sortie y engendrée par la variation de x à partir d'une expérience.

A.4 Détermination de l'incertitude type cumulée

L'incertitude type cumulée permet de rassembler plusieurs incertitudes individuelles en un seul nombre. L'incertitude type cumulée est basée sur l'indépendance statistique des incertitudes individuelles. Elle est calculée par sommation quadratique de toutes les incertitudes types obtenues à partir des évaluations de type A et de type B:

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

où

i est l'indice d'une contribution individuelle;

$u_i(y)$ sont les contributions d'incertitude typique;

n est le nombre d'incertitudes.

NOTE Il est acceptable de négliger les contributions d'incertitude à cette équation qui sont inférieures à 1/10 de la plus grande contribution, car le fait de les élever au carré modifiera leur poids à 1/100 de la contribution la plus importante.

Lorsque les grandeurs précédentes doivent être utilisées pour d'autres calculs d'incertitude, alors l'incertitude typique cumulée u_c peut être réintégrée dans l'Équation (A.9). En dépit de son origine partiellement de type A, il convient de considérer u_c comme décrivant une incertitude de type B.

A.5 Rapport

Dans les rapports d'étalonnage et les feuilles de données techniques, les incertitudes typiques cumulées doivent être consignées sous la forme d'incertitudes élargies, en association avec le niveau de confiance applicable. Les écarts ou facteurs de correction doivent être consignés. L'incertitude élargie U est obtenue en multipliant l'incertitude typique $u_c(y)$ par un facteur de couverture k :

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

Pour un niveau de confiance d'environ 95 %, le niveau par défaut, alors $k = 2$. Si on choisit un niveau de confiance d'environ 99 %, alors $k = 3$. Les valeurs précédentes de k sont valides dans certaines conditions, voir l'ISO/IEC Guide 98-3 (GUM); si ces conditions ne sont pas satisfaites, on doit utiliser des facteurs de couverture plus grands pour obtenir ces niveaux de confiance.

Annexe B (informative)

Ecart de longueur d'onde (ou de puissance) moyen sur une certaine plage

L'Annexe B présente la façon de déterminer un écart de longueur d'onde (ou de puissance) moyen unique sur une certaine plage de longueurs d'onde (ou de puissances) dans l'étalonnage de la longueur d'onde (ou de la puissance) pour faciliter la correction.

Il convient de calculer la moyenne sur une plage de longueurs d'onde (ou de puissances) si une partie de cette plage a un comportement très différent.

Conformément à l'ISO/IEC Guide 98-3 (GUM), une correction moyenne unique $\bar{b}$ peut être calculée comme suit

$$\bar{b} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} b(t) dt \quad (\text{B.1})$$

où t_1 et t_2 définissent la plage considérée du paramètre t , et on prend la meilleure estimation de la grandeur à mesurer $Y(t)$ comme $y'(t) = y(t) + \bar{b}$, où $y(t)$ est la meilleure estimation non corrigée de $Y(t)$. La variance associée avec la correction moyenne $\bar{b}$ sur la plage considérée est donnée par

$$u^2(\bar{b}) = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} [b(t) - \bar{b}]^2 dt \quad (\text{B.2})$$

sans tenir compte de l'incertitude de la détermination réelle de la correction $b(t)$. La variance moyenne de la correction $b(t)$ due à sa détermination réelle est donnée par

$$\overline{u^2[b(t)]} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} u^2[b(t)] dt \quad (\text{B.3})$$

où $u^2[b(t)]$ est la variance de la correction $b(t)$. De manière similaire, la variance moyenne de $y(t)$ provenant de toutes les sources d'incertitude autres que la correction $b(t)$ est obtenue à partir de l'équation

$$\overline{u^2[y(t)]} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} u^2[y(t)] dt \quad (\text{B.4})$$

où $u^2[y(t)]$ est la variance de $y(t)$ due à toutes les sources d'incertitudes autres que $b(t)$. Ainsi, l'unique valeur d'incertitude type à utiliser pour toutes les estimations $y'(t) = y(t) + \bar{b}$ de la grandeur à mesurer $Y(t)$ est la racine carrée positive de

$$u_c^2(y') = \overline{u^2[y(t)]} + \overline{u^2[b(t)]} + u^2(\bar{b}) \quad (\text{B.5})$$

Dans l'étalonnage de longueur d'onde d'une source laser accordable, par exemple, en supposant que la correction est une fonction constante, b et t correspondent à l'écart de longueur d'onde D_{λ_j} et au réglage de longueur d'onde λ_j , respectivement. L'écart de longueur d'onde moyen unique D_λ est donné par l'Équation (B.6) (à partir de l'Équation (B.1)).

$$D_\lambda = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n D_{\lambda_j} \quad (\text{B.6})$$

Dans l'Équation (B.6), l'écart de longueur d'onde moyen est calculé en utilisant une somme sur tous les réglages de longueur d'onde discrets, au lieu de l'intégration comme cela est représenté dans l'Équation (B.1), où n est le nombre de réglages de longueur d'onde.

La variance de D_λ , $u^2(D_\lambda)$ peut être calculée à partir de l'Équation (B.7) (à partir de l'Équation (B.2)):

$$u^2(D_\lambda) = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (D_{\lambda_j} - D_\lambda)^2 \quad (\text{B.7})$$

Dans l'Équation (B.7), la somme est également utilisée au lieu de l'intégration.

L'incertitude type de l'étalonnage de longueur d'onde global dans les conditions de référence est donnée par l'Équation (B.8) (à partir de l'Équation (B.5)).

$$u_{\lambda_{ref}} = \left[\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left(\frac{s_{\lambda_j}^2}{m} + u_{\lambda_j, \Delta\Theta}^2 + u_{\lambda_j, \Delta t}^2 + u_{\lambda_j, res}^2 + u_{WM_{\lambda_j}}^2 \right) + u^2(D_\lambda) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{B.8})$$

Dans l'Équation (B.8), le premier terme correspond à $\overline{u^2[b(t)]}$ et les second au cinquième termes correspondent à $u^2[y(t)]$.

L'incertitude type de l'étalonnage de longueur d'onde global dans les conditions de fonctionnement est

$$u_{\lambda_{op}} = \left[\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left(s_{\lambda_j}^2 + u_{\lambda_j, P}^2 + u_{\lambda_j, \Delta\Theta}^2 + u_{\lambda_j, \Delta t}^2 + u_{\lambda_j, res}^2 + u_{WM_{\lambda_j}}^2 \right) + u^2(D_\lambda) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{B.9})$$

Dans l'Équation (B.9), le premier terme correspond à $\overline{u^2[b(t)]}$ et les second au sixième termes correspondent à $u^2[y(t)]$.

L'écart de puissance moyen unique peut être dérivé de la même manière.

Annexe C (informative)

Autres essais

C.1 Généralités

L'Annexe C explique les méthodes d'essai non appliquées aux éléments généraux ou aux examens de précision bien qu'elles s'appliquent aux performances des sources laser accordables.

C.2 Résolution de longueur d'onde

C.2.1 Montage

La Figure C.1 représente le montage d'essai d'un essai de résolution en longueur d'onde dans des conditions d'essai normalisées.

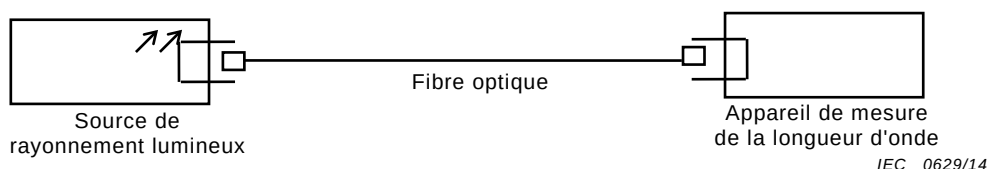


Figure C.1 – Montage de mesure de la résolution de la longueur d'onde

C.2.2 Equipement d'essai

L'équipement d'essai est le suivant.

Il convient d'utiliser un appareil de mesure de longueur d'onde dont la résolution de mesure de la longueur d'onde est meilleure que la résolution de la longueur d'onde de la source de rayonnement lumineux d'essai.

C.2.3 Procédure d'essai concernant la détermination de la résolution de la longueur d'onde

La procédure d'essai est la suivante:

- Régler la longueur d'onde de la source de rayonnement lumineux d'essai à λ_{TLS} . Régler la puissance de sortie optique de la source de rayonnement lumineux d'essai à une valeur appropriée.
- Injecter la sortie optique de la source de rayonnement lumineux dans l'appareil de mesure de longueur d'onde. La longueur d'onde pour λ_{meas} est mesurée avec l'appareil de mesure de longueur d'onde.
- La longueur d'onde de la source de rayonnement lumineux est réglée uniquement $qd\lambda$ sur le côté de la grande (ou de la petite) longueur d'onde pour λ_{TLS} . Ici, $d\lambda$ est la largeur variable minimale qui peut être réglée à λ_{TLS} , et q sont des nombres entiers.
- Injecter la sortie optique de la source de rayonnement lumineux dans l'appareil de mesure de longueur d'onde. La longueur d'onde pour λ_{meas+1} est mesurée avec l'appareil de mesure de longueur d'onde.

- e) Lorsque la longueur d'onde de la source de rayonnement lumineux est revenue à λ_{TLS} , les mesures sont répétées plus de dix fois (m fois).
- f) Calculer la résolution de réglage de longueur d'onde $d\lambda_{TLS,j}$ à l'aide de l'Équation (C.1).

$$d\lambda_{TLS,j} = \sum_{i=1}^m \frac{|\lambda_{meas+1,i} - \lambda_{meas,i}|}{m \times q} \quad (C.1)$$

- g) Répéter les mesures pour quelques longueurs d'onde (j) couvrant la plage de longueurs d'onde souhaitée. Calculer la résolution de réglage de longueur d'onde à l'aide de l'Équation (C.2).

$$d\lambda_{TLS} = \max(d\lambda_{TLS,j}) \quad (C.2)$$

C.3 Résolution de la puissance optique

C.3.1 Montage

La Figure C.2 représente le montage d'essai pour des essais de réglage de résolution de la puissance optique dans des conditions d'essai normalisées.

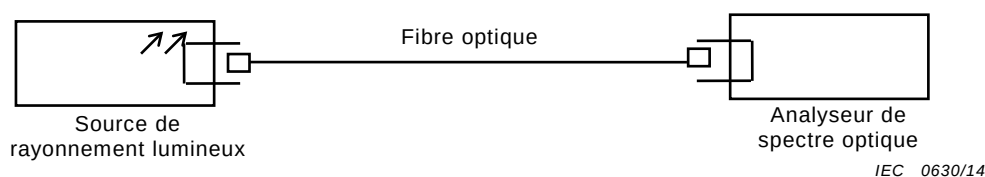


Figure C.2 – Montage de mesure concernant l'essai de réglage de résolution de la puissance optique

C.3.2 Equipement d'essai

Utiliser un appareil de mesure de la puissance optique de haute résolution.

C.3.3 Procédure d'essai de la résolution de la puissance optique

La procédure d'essai est comme suit:

- a) Régler la puissance de sortie optique de la source de rayonnement lumineux d'essai à P_{TLS} . Régler la longueur d'onde de la source de rayonnement lumineux à une valeur appropriée.
- b) Injecter la sortie optique dans l'appareil de mesure de la puissance optique. Mesurer la puissance optique P_{meas} à l'aide de l'appareil de mesure de la puissance optique.
- c) Régler uniquement la largeur variable minimale dP comme une puissance de sortie supérieure (ou inférieure) dans les réglages de P_{TLS} pour la puissance de sortie optique de la source de rayonnement lumineux d'essai.
- d) Injecter la sortie optique dans l'appareil de mesure de la puissance optique. Mesurer la puissance optique P_{meas+1} à l'aide de l'appareil de mesure de la puissance optique.
- e) Lorsque la puissance de sortie optique de la source de rayonnement lumineux est revenue à P_{TLS} , les mesures sont répétées plus de dix fois (m fois).
- f) Calculer la résolution de réglage de la puissance de sortie optique dP_{TLS} / P_{TLS} à l'aide de l'Équation (C.3).

$$\frac{dP_{TLS,j}}{P_{TLS,j}} = \sum_{i=1}^m \frac{|P_{meas,i+1} - P_{meas,i}|}{m} / \sum_{i=1}^m \frac{P_{meas,i}}{m} \quad (C.3)$$

- g) Répéter les mesures pour quelques puissances optiques (j) couvrant la plage de puissances souhaitée. Calculer les résolutions de réglage de la puissance à l'aide de l'Équation (C.4).

$$\frac{dP_{TLS}}{P_{TLS}} = \max \left(\frac{dP_{TLS,j}}{P_{TLS,j}} \right) \quad (C.4)$$

C.4 Taux d'émission spontanée entre signal et source

C.4.1 Montage

La Figure C.3 représente le montage d'essai pour un taux d'émission spontanée entre signal et source dans des conditions d'essai normalisées.

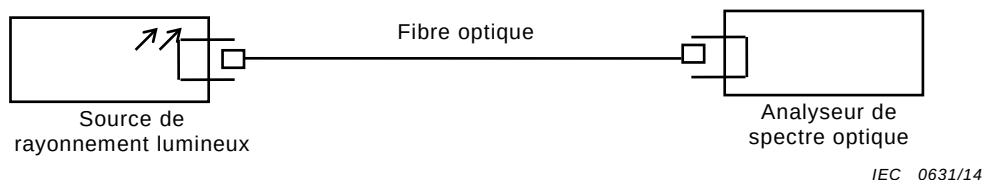


Figure C.3 – Montage de mesure du taux d'émission spontanée entre signal et source

C.4.2 Equipement d'essai

L'analyseur de spectre optique est utilisé pour mesurer la puissance du signal optique et le rayonnement lumineux d'émission spontanée.

C.4.3 Procédure d'essai pour déterminer le taux d'émission spontanée entre signal et source

La procédure d'essai est la suivante:

- Régler la longueur d'onde de la source de rayonnement lumineux d'essai à λ_{TLS} . Régler la puissance de sortie optique à une valeur appropriée. Généralement, la puissance optique est réglée à la puissance de sortie optique maximale définie par les spécifications de la source de rayonnement lumineux d'essai.
- Régler la longueur d'onde, la plage de balayage de longueur d'onde et la largeur de bande de résolution d'un analyseur de spectre optique à λ_{TLS} , λ_{span} et λ_{res} respectivement. Généralement, λ_{span} vaut environ 100 nm, et λ_{res} vaut environ 1 nm.
- Injecter la sortie optique de la source de rayonnement lumineux dans l'analyseur de spectre optique. Mesurer la puissance optique du signal optique pour P_1 . Mesurer la valeur maximale P_2 d'un niveau optique d'émission spontanée dans la plage $\lambda_{TLS} \pm \Delta\lambda$. Toutefois, la plage $\lambda_{TLS} \pm \Delta\lambda_{exc}$ ne fera pas partie de la plage de mesure du rayonnement lumineux d'émission spontanée. (Se reporter à la Figure C.4). Généralement, $\Delta\lambda$ vaut environ 50 nm et $\Delta\lambda_{exc}$ vaut environ 1 nm.
- Calculer le taux d'émission spontanée entre signal et source (SSER: signal to source spontaneous emission ratio) avec l'Équation (C.5).

$$SSER(dB/nm) = -10 \log \frac{P_2 \times 1(nm) / \lambda_{res}}{P_1} (dB/nm) \quad (C.5)$$

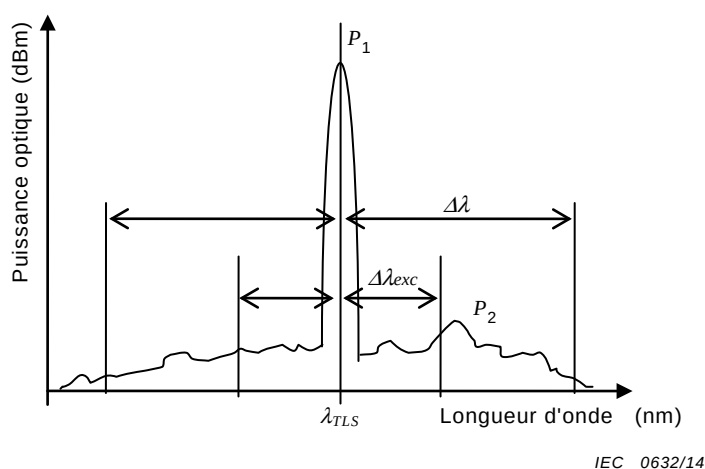


Figure C.4 – Mesure du taux d'émission spontanée entre signal et source

NOTE 1 Pour une source laser accordable de SSER élevé, le taux de réjection optique de l'analyseur de spectre optique peut limiter la valeur mesurée.

NOTE 2 Enregistrer le rapport de la puissance optique du signal et le rayonnement lumineux d'émission spontanée ainsi que les résultats des mesures.

C.5 Taux de suppression des modes latéraux

C.5.1 Généralités

En général, le taux de suppression des modes latéraux d'une source laser peut être mesuré à l'aide d'un analyseur de spectre optique comme cela est décrit en 8.8 de l'IEC 61280-1-3:2010. Toutefois, dans le cas des sources laser à raie étroite, comme les lasers à cavité externe, l'intervalle assez étroit entre le mode principal et le mode latéral peut gêner la distinction des modes avec un analyseur de spectre optique. Cet article présente la façon permettant de déterminer le taux de suppression des modes latéraux d'une telle source laser à raie étroite.

C.5.2 Montage

Un système d'essai spécial est nécessaire bien qu'une source laser accordable soit utilisée. Par exemple, la Figure C.5 représente un schéma de système d'essai du taux de suppression des modes latéraux dans des conditions d'essai normalisée.

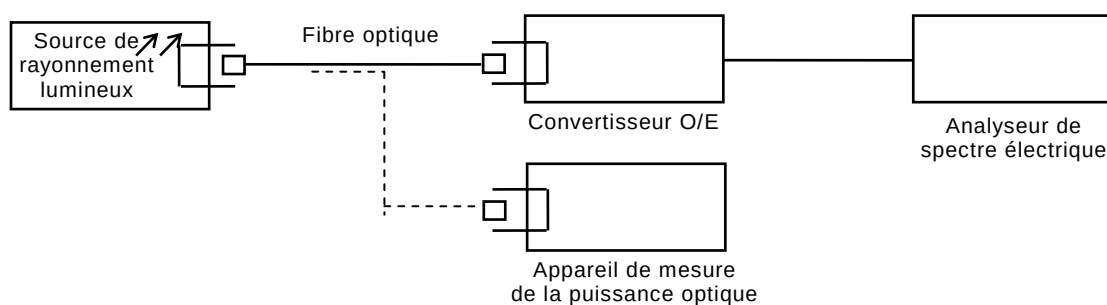


Figure C.5 – Montage de mesure de l'essai du taux de suppression des modes latéraux

C.5.3 Equipement d'essai

L'équipement d'essai est le suivant:

- Un convertisseur O/E (optique/électrique): il est utilisé pour la détection hétérodyne du spectre des battements intermodaux entre le rayonnement lumineux du signal et le rayonnement lumineux du mode latéral, en convertissant le signal optique en signal électrique. Il convient que la bande de fréquence soit plusieurs fois plus large que l'espacement de son mode. Il convient que l'efficacité de la conversion optique/électrique soit étalonnée au préalable.
- Un analyseur de spectre électrique: il est utilisé pour mesurer le niveau du signal de battement combiné au rayonnement lumineux du signal et au rayonnement lumineux du mode latéral.
- Un appareil de mesure de la puissance optique: il est utilisé pour mesurer la puissance du signal optique.

C.5.4 Procédure d'essai

La procédure d'essai est la suivante:

- Régler la longueur d'onde de la source de rayonnement lumineux à λ_{TLS} . Régler la puissance de sortie optique à une valeur appropriée.
- Injecter la sortie optique de la source de rayonnement lumineux dans le convertisseur O/E, et régler le signal le plus large des signaux de battement affichés par l'analyseur de spectre à $P_{beat,max}$ (dBm).
- Ensuite, injecter la sortie optique de la source de rayonnement lumineux dans un appareil de mesure de puissance optique pour mesurer la puissance du signal. Régler cette valeur P_0 (dBm).
- Calculer le taux de suppression des modes latéraux (SMSR) en longueur d'onde λ_{TLS} avec l'Équation (C.6).

$$\begin{aligned} SMSR(dB) &= 10 \log \frac{P_0}{P_{s,max}} \\ &= 2P_0 - P_{beat,max} + R(dB) + 10 \log(8R_i) - 30 \end{aligned} \quad (C.6)$$

où

$P_{s,max}$ est une puissance optique de mode latéral maximale (dBm);

R est l'efficacité de conversion du convertisseur O/E;

$$R_{dB} = 20 \log \frac{R(A/W)}{1(A/W)}; \quad (C.7)$$

R_i est l'impédance d'entrée de l'analyseur de spectre optique (Ω).

Le texte qui suit explique le principe de mesure et la Formule (C.6) pour le taux de suppression des modes latéraux.

On suppose que le spectre de sortie optique de la source de rayonnement lumineux d'essai est composé du mode latéral (P_s) éloignée de $\Delta\omega$ et de la lumière du signal (P_0) – voir la Figure C.6.

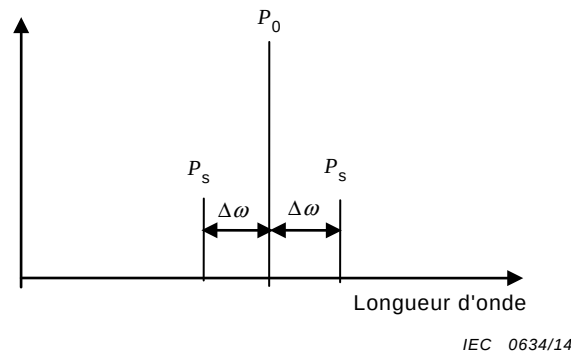


Figure C.6 – Spectre optique de la source laser accordable

Lorsque le signal entre dans le système de mesure représenté à la Figure C.7, le courant de sortie i_E du convertisseur O/E est calculé à l'aide de l'Équation (C.8):

$$i_E = R \{ P_0 + 2P_s + 4\sqrt{P_0 P_s} \cos(\Delta\omega) \} \quad (C.8)$$

où

R est l'efficacité de conversion du convertisseur O/E (A/W).

A partir de l'Équation (C.8), lorsque le courant de battement provenant du rayonnement lumineux du signal et le mode latéral est i_b , la puissance du signal de battement (électrique) P_b , qui est mesurée à l'aide de l'analyseur de spectre, sera calculée à l'aide des Équations (C.9) et (C.10).

$$i_b = 4R\sqrt{P_0 P_s} \cos(\Delta\omega) \quad (C.9)$$

$$P_b = 8R_i P_0 P_s R^2 \quad (C.10)$$

où

R_i est l'impédance d'entrée de l'analyseur de spectre (Ω).

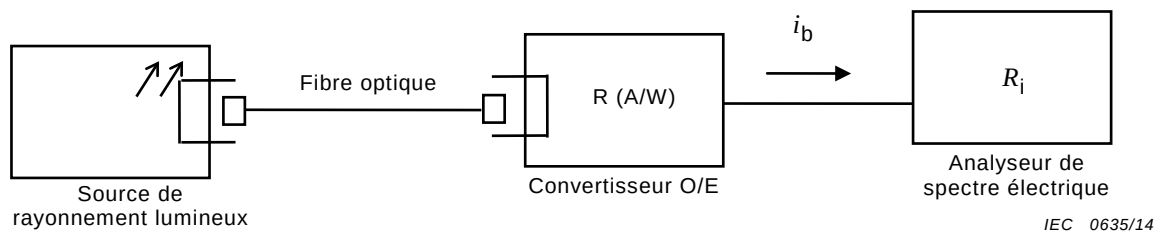


Figure C.7 – Montage de mesure pour le SMSR

Le taux de suppression des modes latéraux (SMSR), dérivé de l'Equation (C.10) est calculé à l'aide de l'Équation (C.11):

$$SMSR = \frac{P_0}{P_s} = 8R_i R^2 \frac{P_0^2}{P_b} \quad (C.11)$$

Si le SMSR est en dB, il sera calculé à l'aide de l'Équation (C.12):

$$\begin{aligned} SMSR_{dB} &= 10 \log \left(8R_i R^2 \frac{P_0^2}{P_b} \right) \\ &= 2P_{0,dBm} - P_{b,dBm} + R_{dB} + 10 \log(8R_i) - 30 \end{aligned} \quad (C.12)$$

où

$$P_{0,dBm} = 10 \log \frac{P_0}{10^{-3}};$$

$$P_{b,dBm} = 10 \log \frac{P_b}{10^{-3}};$$

$$R_{dB} = 20 \log \frac{R(A/W)}{1(A/W)}.$$

NOTE L'approche d'essai adoptée ici convient uniquement aux lasers à cavité externe.

Bibliographie

IEC 60027-3, *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique – Partie 3: Grandeurs logarithmiques et connexes, et leurs unités*

IEC 60050-300:2001, *Vocabulaire Electrotechnique International – Mesures et appareils de mesure électriques et électroniques – Part 311: Termes généraux concernant les mesures – Partie 312: Termes généraux concernant les mesures électriques – Partie 313: Types d'appareils électriques de mesure – Partie 314: Termes spécifiques selon le type d'appareil*

IEC 60050-731, *Vocabulaire Electrotechnique International – Chapitre 731: Télécommunications par fibres optiques*

IEC 60359, *Appareils de mesure électriques et électroniques – Expression des performances*

IEC 60793-1 (toutes les parties), *Fibres optiques – Partie 1: Méthodes de mesure et procédures d'essai*

IEC 60793-2, *Fibres optiques – Partie 2: Spécifications de produits – Généralités*

IEC 61280-1-3:2010, *Fibre optic communication subsystem test procedures – Part 1-3: General communication subsystems – Central wavelength and spectral width measurement* (disponible en anglais seulement)

IEC 61300-3-2, *Dispositifs d'interconnexion et composants passifs à fibres optiques – Méthodes fondamentales d'essais et de mesures – Partie 3-2: Examens et mesures – Dépendance à la polarisation de l'affaiblissement dans un dispositif pour fibres optiques monomodes*

IEC 61315, *Etalonnage de wattmètres pour dispositifs à fibres optiques*

IEC/TR 61930, *Symbologie des graphiques de fibres optiques*

IEC/TR 61931, *Fibres optiques – Terminologie*

ISO 80000-3, *Grandeurs et unités – Partie 3: Espace et temps*

ITU-T G.694 (toutes les parties), *Grilles spectrales pour les applications de multiplexage par répartition en longueur d'onde*

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

3, rue de Varembé
PO Box 131
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

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