

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Calibration of wavelength/optical frequency measurement instruments –
Part 1: Optical spectrum analyzers**

**Étalonnage des appareils de mesure de longueur d'onde/appareil de mesure de
la fréquence optique –
Partie 1: Analyseurs de spectre optique**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED
Copyright © 2016 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 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 15 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

65 000 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 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 15 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

65 000 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 62129-1

Edition 1.0 2016-01

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Calibration of wavelength/optical frequency measurement instruments –
Part 1: Optical spectrum analyzers**

**Étalonnage des appareils de mesure de longueur d'onde/appareil de mesure de
la fréquence optique –
Partie 1: Analyseurs de spectre optique**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 33.140; 33.180.01

ISBN 978-2-8322-3123-4

**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	5
1 Scope	7
2 Normative references	7
3 Terms and definitions	7
4 Preparation for calibration	12
4.1 Organization	12
4.2 Traceability	12
4.3 Preparation	12
4.4 Reference calibration conditions	12
5 Wavelength calibration	13
5.1 Overview	13
5.2 Wavelength calibration under reference conditions	13
5.2.1 General	13
5.2.2 Equipment for wavelength calibration under reference conditions	14
5.2.3 Procedure for wavelength calibration under reference conditions	14
5.2.4 Calculations of wavelength uncertainty under reference conditions	14
5.3 Wavelength calibration for operating conditions	15
5.3.1 General	15
5.3.2 Wavelength dependence	15
5.3.3 Temperature dependence	16
5.4 Calculation of expanded uncertainty	17
6 Power level calibration	18
6.1 Overview	18
6.2 Power level calibration under reference conditions	19
6.2.1 General	19
6.2.2 Equipment for power level calibration under reference conditions	19
6.2.3 Procedure for power level calibration under reference conditions	19
6.2.4 Calculation of power level uncertainty under reference conditions	20
6.3 Power level calibration for operating conditions	21
6.3.1 General	21
6.3.2 Wavelength dependence	21
6.3.3 Polarization dependence	23
6.3.4 Linearity	24
6.3.5 Temperature dependence	26
6.4 Calculation of expanded uncertainty	27
7 Resolution bandwidth (spectral resolution) test	28
7.1 Overview	28
7.2 Resolution bandwidth (spectral resolution) test	28
7.2.1 General	28
7.2.2 Equipment for resolution bandwidth (spectral resolution) test	28
7.2.3 Test procedure for resolution bandwidth (spectral resolution)	29
8 Documentation	30
8.1 Measurement conditions	30
8.2 Measurement data and uncertainty	30
Annex A (normative) Mathematical basis	31

A.1	General.....	31
A.2	Type A evaluation of uncertainty	31
A.3	Type B evaluation of uncertainty	32
A.4	Determining the combined standard uncertainty.....	32
A.5	Reporting	33
Annex B (informative)	Examples of calculation of calibration uncertainty.....	34
B.1	General.....	34
B.2	Wavelength calibration.....	34
B.2.1	Uncertainty under reference conditions: $u_{D_{\lambda_{ref}}}$	34
B.2.2	Uncertainty under operating conditions	35
B.2.3	Expanded uncertainty calculation	36
B.3	Power level calibration	37
B.3.1	Uncertainty under reference conditions: $u_{D_{Pref}}$	37
B.3.2	Uncertainty under operating conditions	38
B.3.3	Expanded uncertainty calculation	41
Annex C (informative)	Using the calibration results	42
C.1	General.....	42
C.1.1	Overview	42
C.1.2	Parameters	42
C.1.3	Restrictions	42
C.2	Additive corrections	42
C.2.1	Parameters.....	42
C.2.2	Measurements close to a calibration reference wavelength.....	43
C.2.3	Measurements at other wavelengths.....	43
C.3	Multiplicative corrections.....	44
C.3.1	Parameters.....	44
C.3.2	Measurements close to a calibration reference wavelength.....	44
C.3.3	Measurements at other wavelengths.....	44
C.4	OSA calibration results (additive correction)	45
Annex D (informative)	Wavelength references	48
D.1	General.....	48
D.2	Gas laser lines.....	48
D.3	Noble gas reference lines	48
D.4	Molecular absorption lines	49
Bibliography.....		53
Figure 1	– Setup using a gas laser whose wavelength is known.....	13
Figure 2	– Setup using a broadband source with a transmission device	13
Figure 3	– Setup using an LD with an unknown wavelength	13
Figure 4	– Test configuration for determining the temperature dependence of wavelength uncertainty	17
Figure 5	– Setup for calibration of power level under reference conditions	19
Figure 6	– Test configuration for determining the wavelength dependence of power level uncertainty	21
Figure 7	– Test configuration for determining the polarization dependence of power level uncertainty	23
Figure 8	– Configuration for testing linearity error of power level uncertainty	24

Figure 9 – Test configuration for determining the temperature dependence of power level uncertainty	26
Figure C.1 – Calibration of OSA wavelength scale using krypton emission lines; 95 % confidence intervals shown	47
Figure D.1 – Absorption of LED light by acetylene ($^{12}\text{C}_2\text{H}_2$)	50
Figure D.2 – Absorption of LED light by hydrogen cyanide ($\text{H}^{13}\text{C}^{14}\text{N}$)	52
Table 1 – Recommended light sources	29
Table C.1 – OSA calibration results	46
Table C.2 – Summary of OSA calibration parameters.....	46
Table D.1 – Vacuum wavelengths (nm) of selected gas laser lines.....	48
Table D.2 – Vacuum wavelengths (nm) of noble gas reference lines	49
Table D.3 – Vacuum wavelengths (nm) for the $\nu_1+\nu_3$ band of acetylene $^{12}\text{C}_2\text{H}_2$ absorption lines [21-23]	50
Table D.4 – Vacuum wavelengths (nm) for the $\nu_1+\nu_3$ band of acetylene $^{13}\text{C}_2\text{H}_2$ absorption lines [21-23]	51
Table D.5 – Vacuum wavelengths (nm) of selected hydrogen cyanide ($\text{H}^{13}\text{C}^{14}\text{N}$) absorption lines [24]	51

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**CALIBRATION OF WAVELENGTH/OPTICAL
FREQUENCY MEASUREMENT INSTRUMENTS –****Part 1: Optical spectrum analyzers****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 62129-1 has been prepared by IEC technical committee 86: Fibre optics.

This first edition of IEC 62129-1 cancels and replaces the first edition of IEC 62129, published in 2006. This edition constitutes a technical revision.

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

- a) update of term and definitions;
- b) update of calibration conditions;
- c) calculation change of uncertainties related to wavelength temperature dependence, power linearity, power level temperature dependence;
- d) move of Annex E to the bibliography.

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

CDV	Report on voting
86/477/CDV	86/483/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.

A list of all parts in the IEC 62129 series, published under the general title *Calibration of wavelength/optical frequency measurements instruments*, can be found on the IEC website.

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

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

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

CALIBRATION OF WAVELENGTH/OPTICAL FREQUENCY MEASUREMENT INSTRUMENTS –

Part 1: Optical spectrum analyzers

1 Scope

This part of IEC 62129 specifies procedures for calibrating an optical spectrum analyzer that is developed for use in fibre-optic communications and designed to measure the power distribution of an optical spectrum. It does not apply to an optical wavelength meter that measures only centre wavelengths, a Fabry-Perot interferometer or a monochromator that has no display unit.

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 60050-731, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 731: Optical fibre communication* (available at <http://www.electropedia.org>)

IEC 60793-2 (all parts), *Optical fibres – Part 2: Product specifications*

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

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)*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 60050-731 and the following apply.

3.1

accredited calibration laboratory

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

3.2

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 — only the first part of the definition is used]

3.3 calibration under reference conditions

calibration which includes the evaluation of the test analyzer uncertainty under reference conditions (3.18)

3.4 calibration for operating conditions

calibration for operating conditions of an optical spectrum analyzer (3.15) including the evaluation of the test analyzer operational uncertainty

3.5 centre wavelength centroidal wavelength

λ_c
power-weighted mean wavelength of a light source in vacuum

Note 1 to entry: The centre wavelength is expressed in nanometers (nm).

Note 2 to entry: For a continuous spectrum, the centre wavelength is defined as

$$\lambda_c = \frac{\int p(\lambda)\lambda d\lambda}{P_{\text{total}}} \quad (1)$$

For a spectrum consisting of discrete lines, the centre wavelength is defined as

$$\lambda_c = \frac{\sum_i P_i \lambda_i}{\sum_i P_i} \quad (2)$$

where

$p(\lambda)$ is the power spectral density of the source, for example, in W/nm;

λ_i is the vacuum wavelength of the i^{th} discrete line;

P_i is the power of the i^{th} discrete line, for example, in W;

P_{total} is the total power, for example, in W.

Note 3 to entry: The above integrals and summations theoretically extend over the entire spectrum of the light source.

3.6 confidence level confidence interval estimation of the probability that the true value of a measured parameter lies in the given range

Note 1 to entry: See expanded uncertainty (3.8)

3.7 coverage factor

k

factor by which the standard uncertainty (3.22), *u*, is multiplied to calculate the expanded uncertainty (3.8), *U*

Note 1 to entry: See 3.8.

3.8 expanded uncertainty

U

range of values within which the measurement parameter, at the stated confidence level (3.6), can be expected to lie

Note 1 to entry: It is equal to the coverage factor (3.7), *k*, times the combined standard uncertainty (3.22) *u*

$$U = ku \quad (3)$$

Note 2 to entry: When the distribution of uncertainties is assumed to be normal and a large number of measurements are made, then confidence levels (3.6) of 68,3 %, 95,5 % and 99,7 % correspond to *k* values of 1, 2 and 3 respectively.

Note 3 to entry: The measurement uncertainty of an optical spectrum analyzer (3.15) should be specified in the form of expanded uncertainty, *U*.

3.9 instrument state

complete description of the measurement conditions and state of an optical spectrum analyzer (3.15) during the calibration process

Note 1 to entry: Typical parameters of the instrument state are the displayed wavelength range in use, the resolution bandwidth (spectral resolution) (3.19), the display mode (W or dBm), warm-up time and other instrument settings.

3.10 measurement result

displayed or electrical output of any optical spectrum analyzer (3.15) in wavelength, in units of nm or μm , and in power level, in units of mW or dBm, after completing all operations suggested by the operating instructions (for example warm-up)

3.11 measurement range

set of values of measurands for which the error of a measuring instrument is intended to lie within specified limits

3.12 national measurement standard

standard recognized by a national decision to serve, in a country, as the basis for assigning values to other standards of the quantity concerned

[SOURCE: ISO/IEC Guide 99:2007, 5.3, modified]

3.13 national standards laboratory

laboratory which maintains the national standard (3.12)

3.14 operating conditions

all conditions of the measured and influential quantities, and other important requirements which the expanded uncertainty (3.8) of an optical spectrum analyzer (3.15) is intended to meet

[SOURCE: ISO/IEC Guide 99:2007, 4.9, modified]

3.15 optical spectrum analyzer OSA

optical instrument for measuring the power distribution of a spectrum with respect to wavelength (frequency)

Note 1 to entry: An OSA is equipped with an input port for use with a fibre-optic connector, and the spectrum is obtained from light injected into the input port; the instrument also includes a screen-display function.

Note 2 to entry: This note applies to the French language only.

3.16 power level

power level indicated by an optical spectrum analyzer (3.15) undergoing calibration (3.2) at a specified wavelength resolution setting

Note 1 to entry: With an optical spectrum analyzer, the power level for a set resolution is measured and displayed.

3.17 power level deviation

D_p

difference between the power level measured by the test analyzer, P_{OSA} , and the corresponding reference power, P_{REF} , divided by the reference power

$$D_p = \frac{P_{\text{OSA}} - P_{\text{REF}}}{P_{\text{REF}}} = \frac{P_{\text{OSA}}}{P_{\text{REF}}} - 1 \quad (4)$$

3.18 reference conditions

appropriate set of influencing parameters, their nominal values and their tolerance bands, with respect to which the uncertainty at reference conditions is specified

Note 1 to entry: Each tolerance band includes both the possible uncertainty of the condition and the uncertainty in measuring the condition.

Note 2 to entry: The reference conditions normally include the following parameters and, if necessary, their tolerance bands: reference date, reference temperature, reference humidity, reference atmospheric pressure, reference light source, reference power level (3.16), reference fibre, reference connector-adaptor combination, reference wavelength, reference (spectral) bandwidth and resolution bandwidth (spectral resolution) (3.19) set.

[SOURCE: IEC 60359:2001, 3.3.10, modified]

3.19 resolution bandwidth

R

spectral resolution

full width at half maximum (FWHM) of the displayed spectrum obtained by the test analyzer when using a source whose spectral bandwidth (3.21) is sufficiently narrow, that is, very much less than the resolution bandwidth being measured

3.20 SMSR side-mode suppression ratio

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: The side-mode suppression ratio is usually expressed in dB.

Note 2 à l'article: This note applies to the French language only.

3.21 spectral bandwidth

B

FWHM of the spectral width of the source

Note 1 to entry: If the source exhibits a continuous spectrum, then the spectral bandwidth, B , is the FWHM of the spectrum.

Note 2 to entry: If the source is a laser diode with a multiple-longitudinal mode spectrum, then the FWHM spectral bandwidth B is the RMS spectral bandwidth, multiplied by 2,35 (assuming the source has a Gaussian envelope).

$$B = 2,35 \sqrt{\frac{1}{P_{\text{total}}} \sum_i P_i \lambda_i^2 - \lambda_c^2} \quad (5)$$

$$P_{\text{total}} = \sum_i P_i \quad (6)$$

where

λ_c is the centre wavelength (3.5) of the laser diode, in nm;

P_{total} is the total power, in W;

P_i is the power of i^{th} longitudinal mode, in W;

λ_i is the wavelength of i^{th} longitudinal mode, in nm.

3.22 standard uncertainty

u

uncertainty of a measurement result expressed as a standard deviation

Note 1 to entry: For further information, see Annex A and ISO/IEC Guide 98-3.

3.23 uncertainty type A

type of uncertainty obtained by a statistical analysis of a series of observations, such as when evaluating certain random effects of measurement

Note 1 to entry: See ISO/IEC Guide 98-3.

3.24 uncertainty type B

type of uncertainty obtained by means other than a statistical analysis of observations, for example an estimation of probable sources of uncertainty, such as when evaluating systematic effects of measurement

Note 1 to entry: See ISO/IEC Guide 98-3.

Note 2 to entry: Other means may include previous measurement data, experience with or general knowledge of the behaviour and properties of relevant materials, instruments, manufacturers' specifications, data provided in calibration and other certificates, and uncertainties assigned to reference data taken from handbooks.

3.25 wavelength deviation

D_λ

difference between the centre wavelength (3.5) measured by the test analyzer, λ_{OSA} , and the reference wavelength, λ_{REF}

$$D_\lambda = \lambda_{\text{OSA}} - \lambda_{\text{REF}} \quad (7)$$

Note 1 to entry: The wavelength deviation is expressed in nm or μm .

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 programme 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 has a significant influence on the calibration results is calibrated. Upon request, specify this calibration equipment and its calibration chain(s). The re-calibration period(s) shall be defined and documented.

4.3 Preparation

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

- a) the environment shall be clean;
- b) temperature monitoring and control is required;
- c) all laser sources shall be safely operated (refer to IEC 60825-1).

4.4 Reference calibration conditions

The reference calibration conditions usually include the following parameters and, if necessary, their tolerance bands: date, temperature, relative humidity, power level, wavelength, light source, fibre, connector-adaptor combination, (spectral) bandwidth and resolution bandwidth (spectral resolution) set. Unless otherwise specified, use a single-mode optical fibre input pigtail class B, as defined in IEC 60793-2, having a length of at least 2 m.

The calibration should be performed at a temperature of $23\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ and relative humidity of $(50 \pm 20)\%$ unless otherwise specified. Give the test equipment a minimum of two hours prior to testing to reach equilibrium with its environment. Allow the optical spectrum analyzer a warm-up period in accordance with the manufacturer's instructions.

Operate the optical spectrum analyzer in accordance with the manufacturer's specifications and operating procedures. Where practical, select a range of calibration conditions and parameters which emulate the actual field operating conditions of the analyzer under test. Choose these parameters so as to optimize the analyzer's accuracy and resolution capabilities, as specified by the manufacturer's operating procedures.

Document the conditions as specified in Clause 8.

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 test analyzer consist of:

- the intrinsic uncertainty of the test analyzer as found in the test under reference conditions including its resolution, resolution of the wavelength meter and temperature dependence for these conditions, and
- partial uncertainties due to wavelength dependence and temperature dependence as found in the tests under operating conditions.

Calibration under reference conditions described in 5.2 to obtain the intrinsic uncertainty is mandatory. However, calibration under operating conditions described in 5.3 is not mandatory. If the test analyzer is operated beyond the reference conditions, it shall be calibrated within the range of operating conditions. The wavelength is that in vacuum.

5.2 Wavelength calibration under reference conditions

5.2.1 General

Alternative setups for the calibration under reference conditions are shown in Figures 1, 2, and 3. In the Figure 1 setup, a gas laser whose wavelength is known is used for the light source. Figure 2 shows a setup in which a broad band source may be used in conjunction with a transmission device with known (traceable) wavelengths of peak (or null) transmission. Figure 3 shows a setup in which a laser diode (LD) whose wavelength is unknown is used for the light source. This test is performed under reference calibration conditions.

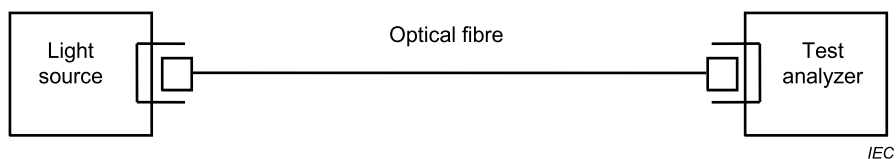


Figure 1 – Setup using a gas laser whose wavelength is known

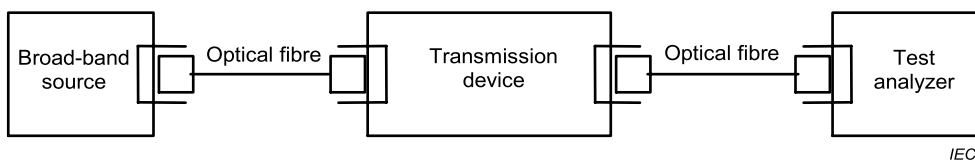


Figure 2 – Setup using a broadband source with a transmission device

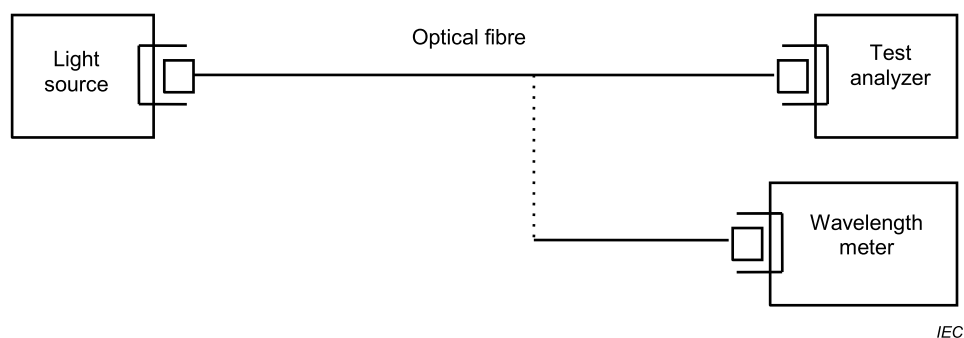


Figure 3 – Setup using an LD with an unknown wavelength

5.2.2 Equipment for wavelength calibration under reference conditions

The equipment for wavelength calibration is as follows.

- a) *Light source*: use the light source prescribed for calibrating the test analyzer; if a light source is not prescribed, use one with a spectral bandwidth and wavelength stability sufficient for the wavelength uncertainty prescribed for the test analyzer.

The recommended light sources are lasers such as those listed in Table 1, a laser diode (LD) or laser (which may be tuneable) which has a single-mode spectrum. In addition, a broadband source may be used in conjunction with a transmission device with known (traceable) wavelengths of peak (or null) transmission. The transmission device may be for example a series of fixed narrowband filters, absorption lines in gaseous media, or Fabry-Perot interferometers.

Annex D tabulates many stable wavelength references. The reference used should have wavelength stability, and a spectral bandwidth and power stability sufficient for the uncertainty of wavelength required for the test analyzer.

- b) *Wavelength meter*: an instrument for measuring the wavelength of the light source. Its precision shall be sufficiently better than the precision required in the wavelength test. This instrument is used when a laser diode (LD) with an unknown wavelength is used as the light source (see Figure 3).

5.2.3 Procedure for wavelength calibration under reference conditions

The procedures for wavelength calibration under reference conditions are as follows.

- a) Using the test setup shown in Figure 1, Figure 2 or Figure 3, set the displayed wavelength range of the test analyzer so that it includes the wavelength of the light source around the centre of the display. In addition, set the wavelength sampling resolution (S/N) of the test analyzer so that it satisfies Equation (8) and is better than the tested wavelength uncertainty.

$$\frac{S}{N} < \frac{R_{\text{set}}}{10} \quad (8)$$

where

S is the displayed wavelength range;

N is the number of display points;

R_{set} is the set resolution bandwidth (spectral resolution) of the optical spectrum analyzer under test. When using the test configuration shown in Figure 1 or Figure 2, let the value of the known wavelength of the light source or transmission artefact be λ_{REF} , and when using the test configuration shown in Figure 3, let λ_{REF} indicate the wavelength of the light source as measured by the wavelength meter.

With respect to λ_{REF} of the light source, let the centre wavelength measured by the test analyzer be $\lambda_{\text{OSA},i}$.

- b) Repeat this measurement at least ten times and calculate the average wavelength:

$$\lambda_{\text{OSA}_{AV}} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \lambda_{\text{OSA},i} \quad (9)$$

where m is the number of measurements used.

5.2.4 Calculations of wavelength uncertainty under reference conditions

From the measured value, calculate the deviation, $D_{\lambda_{\text{ref}}}$:

$$D_{\lambda_{\text{ref}}} = \lambda_{\text{OSA}_{\text{AV}}} - \lambda_{\text{REF}} \quad (10)$$

Calculate the standard uncertainty $u_{\lambda_{\text{OSA}}}$ of the measured $\lambda_{\text{OSA},i}$ values using Equation (11).

$$u_{\lambda_{\text{OSA}}} = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (\lambda_{\text{OSA},i} - \lambda_{\text{OSA}_{\text{AV}}})^2} \quad (11)$$

The uncertainty $u_{D_{\lambda_{\text{ref}}}}$ of the test analyzer with regard to wavelength under the reference calibration conditions is given by Equation (12).

$$u_{D_{\lambda_{\text{ref}}}} = \sqrt{u_{\lambda_{\text{REF}}}^2 + \frac{u_{\lambda_{\text{OSA}}}^2}{m} + u_{\text{res_ref}}^2 + u_{\text{res_OSA}}^2 + u_{D_{\lambda_T}}^2} \quad (12)$$

where

$u_{\lambda_{\text{ref}}} = \frac{U_{\lambda_{\text{ref}}}}{k}$ is the uncertainty of the light source wavelength;

$u_{\lambda_{\text{OSA}}}$ is the standard uncertainty of the values measured during the test;

$u_{\text{res_ref}}$ is the uncertainty given by the display resolution of the wavelength meter (if used);

$u_{\text{res_OSA}}$ is the uncertainty given by the display resolution of the OSA;

$u_{D_{\lambda_T}}$ is the uncertainty given by the dependence on the temperature and can be evaluated as in 5.3.3, except using temperature range reference conditions. It can be neglected if it is about 10 times lower than $u_{D_{\lambda_{\text{ref}}}}$.

The uncertainty of the light source wavelength, $u_{\lambda_{\text{REF}}}$, can be ignored if a laser or transmission device with a stable wavelength is used as the light source and its performance is sufficiently better than the wavelength uncertainty of the test analyzer. When an LD is used for the light source, measure the wavelength several times with the wavelength meter and let the uncertainty of the light source be its standard deviation, $u_{\lambda_{\text{REF}}}$.

5.3 Wavelength calibration for operating conditions

5.3.1 General

The calibration described in 5.3 is not mandatory. Perform the calibration procedure when the test analyzer is used beyond the reference conditions.

Individual factors in wavelength uncertainty for the operating conditions may consist of the following:

- a) wavelength dependence;
- b) temperature dependence.

5.3.2 Wavelength dependence

5.3.2.1 General

Figures 1, 2 and 3 show the test configurations for determining wavelength dependence. These are the same as those used for calibration under the reference conditions. This test is

performed under reference calibration conditions with the exception of the source wavelengths.

5.3.2.2 Equipment for determining wavelength dependence

The equipment for determining wavelength dependence is as follows:

- a) *Light source*: use a light source with 1) a spectral bandwidth sufficiently narrower than the resolution bandwidth (spectral resolution) of the test analyzer, and 2) wavelength and power stability sufficient for the wavelength uncertainty prescribed for the test analyzer.

The recommended light sources are lasers such as those listed in Table 1, and a laser diode (LD) with a single-mode spectrum (for example, tuneable laser diode source). Also, a broadband source may be used in conjunction with a transmission device with known (traceable) wavelengths of peak (or null) transmission. The transmission device may be for example a series of fixed narrowband filters, absorption lines in gaseous media, or Fabry-Perot interferometers.

Annex D tabulates many stable wavelength references. The reference used should have wavelength stability, and a spectral bandwidth and power stability sufficient for the uncertainty of wavelength required for the test analyzer.

- b) *Wavelength meter*: an instrument for measuring the wavelength of the light source. Its precision shall be sufficiently better than the precision required in the wavelength test. This instrument is used when a laser diode (LD) whose wavelength is unknown is used as the light source (see Figure 3).

5.3.2.3 Test procedure for determining wavelength dependence

When using the test configuration shown in Figure 1 or 2, let the value of the known wavelength of the light source(s) or transmission artefact(s) be $\lambda_{\text{REF},j}$, and for the test configuration shown in Figure 3, let $\lambda_{\text{REF},j}$ be the wavelength of the light source(s) as measured by the wavelength meter.

- a) Input light from the light source into the test analyzer and read the indicated value $\lambda_{\text{OSA},j}$. Then determine the wavelength deviation $D_{\lambda_{\lambda_j}}$ with respect to $\lambda_{\text{REF},j}$ using Equation (13).

$$D_{\lambda_{\lambda_j}} = \lambda_{\text{OSA},j} - \lambda_{\text{REF},j} \quad (13)$$

- b) Next, change the source wavelength and perform the same test, again determining the deviation using Equation (13).
- c) Let $D_{\lambda_{\lambda,\text{max}}}$ be the maximum value of the deviation values obtained.

5.3.2.4 Calculations of wavelength uncertainty due to wavelength dependence

By using the deviation of measurement values for several wavelengths, determine the uncertainty, $u_{D_{\lambda_{\lambda}}}$ due to wavelength dependence by using Equation (14).

$$u_{D_{\lambda_{\lambda}}} = \frac{|D_{\lambda_{\lambda}}|_{\text{MAX}}}{\sqrt{3}} \quad (14)$$

5.3.3 Temperature dependence

5.3.3.1 General

Figure 4 shows the test configuration for determining the temperature dependence of wavelength uncertainty. This test is performed under reference calibration conditions with the exception of temperature.

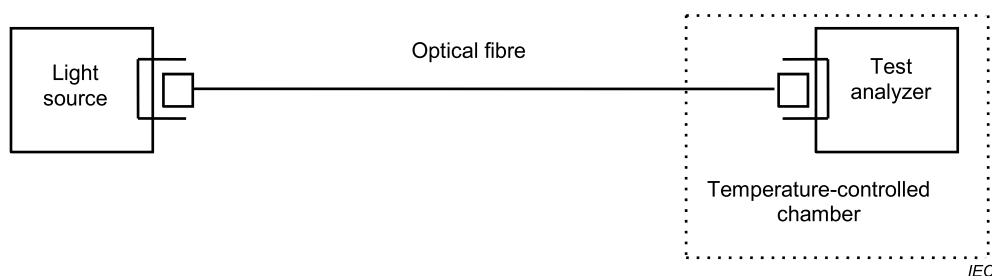


Figure 4 – Test configuration for determining the temperature dependence of wavelength uncertainty

5.3.3.2 Equipment for determining temperature dependence

Light source: use the light source prescribed for calibrating the test analyzer; if a light source is not prescribed, use one with a spectral bandwidth and wavelength stability sufficient for the wavelength uncertainty prescribed for the test analyzer.

The recommended light sources are the gas lasers listed in Table 1, a laser diode (LD) or a laser with a single-mode spectrum and a broad band source with a transmission device. Annex D tabulates many stable wavelength references.

5.3.3.3 Test procedure for determining temperature dependence

Under reference calibration conditions and within the temperature range prescribed for the test analyzer, measure the wavelength of the light input from the light source for at least five temperature points (T_j).

- a) Letting the wavelength of the input light be λ_{REF} and the indicated value on the test analyzer be $\lambda_{\text{OSA},j}$, determine the deviation in wavelength using Equation (15).

$$D_{\lambda_{Tj}} = \lambda_{\text{OSA},j} - \lambda_{\text{REF}} \quad (15)$$

- b) Next, change the temperature and repeat the test and deviation calculation. Sufficient time (for example 2 h) shall be allowed for the OSA undergoing calibration to reach thermal equilibrium at each temperature used.

- c) Let $|D_{\lambda_T}|_{\text{MAX}}$ be the maximum of all absolute values of $D_{\lambda_{Tj}}$ obtained.

5.3.3.4 Calculations of wavelength uncertainty due to temperature dependence

By using the deviations of measurement values at several temperatures, determine the uncertainty $u_{D_{\lambda_T}}$ due to temperature dependence using Equation (16).

$$u_{D_{\lambda_T}} = \frac{|D_{\lambda_T}|_{\text{MAX}}}{\sqrt{3}} \quad (16)$$

5.4 Calculation of expanded uncertainty

When the test analyzer is only used under reference conditions, the expanded uncertainty, $U_{\lambda_{\text{ref}}}$, can be calculated by Equation (17) with a coverage factor k .

$$U_{\lambda_{\text{ref}}} = \pm k u_{D_{\lambda_{\text{ref}}}} \quad (17)$$

The overall wavelength uncertainty is calculated using the uncertainty under reference calibration conditions and the uncertainty under operating conditions which are determined through individual uncertainty tests of the wavelength dependence and temperature dependence, when the test analyzer is used beyond the reference conditions.

The uncertainty at operating conditions of the wavelength is calculated by using Equation (18) and Equations (12), (14) and (16).

$$u_{D\lambda_{op}} = \sqrt{u_{\lambda_{REF}}^2 + u_{\lambda_{OSA}}^2 + u_{res_ref}^2 + u_{res_OSA}^2 + u_{D\lambda\lambda}^2 + u_{D\lambda T}^2} \quad (18)$$

The expanded uncertainty, $U_{\lambda_{op}}$ with a coverage factor k is expressed by Equation (19):

$$U_{\lambda_{op}} = \pm k u_{D\lambda_{op}} \quad (19)$$

If the wavelength needs to be corrected based on the results of the calibration results, this is typically implemented by making software corrections to the instrument, mathematical corrections to the results, or instrument hardware adjustments. Examples of evaluation and calculations of corrections for certain parameters are given in Annex C. Once the adjustments have been made, it is advisable to repeat the test to verify that the correction has operated correctly.

6 Power level calibration

6.1 Overview

The factors making up uncertainty in the power level of the test analyzer consist of:

- a) the intrinsic uncertainty of the test analyzer as found in the test under reference conditions including its resolution, resolution of the reference power meter and temperature dependence for these conditions, and
- b) partial uncertainties due to wavelength dependence, polarization dependence, linearity and temperature dependence as found in tests under operating conditions.

If the test analyzer is used beyond the reference conditions, it is necessary to obtain the partial uncertainties.

The intrinsic uncertainty under the reference conditions is obtained by the calibration procedure described in 6.2. The partial uncertainties are obtained by the calibration procedure described in 6.3.2 to 6.3.5 in compliance with the individual factor, i.e. wavelength, polarization, linearity and temperature. When the test analyzer is only used under reference conditions, the calibration procedures described in 6.3 are not essential, that is, they are not mandatory.

NOTE Since the unit generally used for measurement values, dBm, is not appropriate for uncertainty accumulation, linear units (mW, μ W) are used. Results of such accumulations can be converted back to dB to express overall uncertainty when needed.

A power meter or a reference power meter will be needed to check the light source power each time a new source wavelength is used.

The state of polarization should not be changed during calibration except controlling by an optional polarization controller.

6.2 Power level calibration under reference conditions

6.2.1 General

Figure 5 shows the test configuration for determining the uncertainty in the power level. This test is performed under reference calibration conditions.

The light source used for the power level calibration shall be depolarized, or else a polarization controller shall be used. This will calibrate the test analyzer at the mid-point of its variation due to polarization.

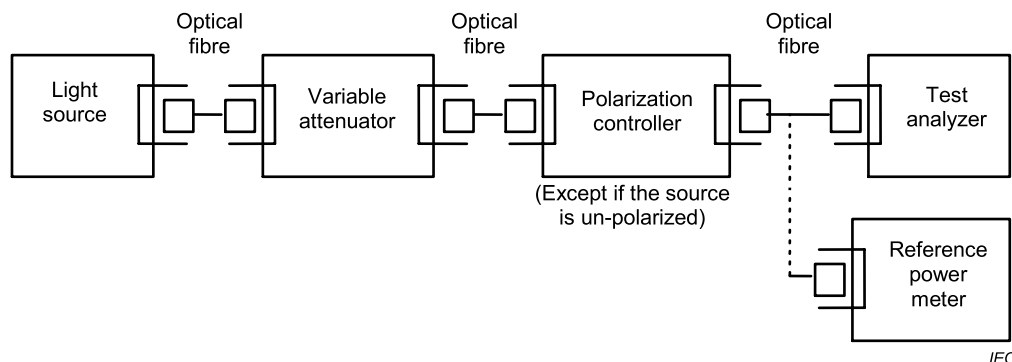


Figure 5 – Setup for calibration of power level under reference conditions

6.2.2 Equipment for power level calibration under reference conditions

The equipment for power level calibration under reference conditions is as follows:

- a) *Light source*: use a light source which can emit stable optical-fibre light with an output from 0,1 mW (–10 dBm) to 1 mW (0 dBm), and which offers good suppression of side-modes and optical noise (> 40 dB, when measured with a resolution bandwidth which is the same as that of the test analyzer) outside its spectral bandwidth. The source spectral bandwidth should be in turn sufficiently narrower than the resolution prescribed for the test analyzer. The light sources shown in Table 1, a laser diode (LD) (SMSR > 40 dB, see 3.20) or a fibre laser (also with SMSR > 40 dB) are recommended.

The wavelength of the light source should be measured in advance by using a wavelength meter if a laser diode (LD) or a fibre laser is used.

- b) *Variable attenuator*: use a variable attenuator that can be adjusted over the optical power range used in the test.
- c) *Reference optical power meter*: use either of the following operated under reference 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 calibrated according to standards specified by such an official institution with a stated uncertainty.

Namely the uncertainty of the reference power meter, U_{PMref} , is already known and is described in its certification.

- d) *Polarization controller*: unless the source is non-polarized, a polarization controller is used.

6.2.3 Procedure for power level calibration under reference conditions

Using the test configuration shown in Figure 5, set the resolution of the test analyzer sufficiently larger than the spectral bandwidth of the light source. Adjust the variable attenuator so that the power level of the outgoing light to the test analyzer is optimized. If the

wavelength of the light source is not already known, it should be measured by using a wavelength meter.

The measurement sequence is as follows.

- a) Measure the value of the outgoing optical-fibre light as P_{REFi} using a reference optical power meter. If a polarization controller is used, measure multiple times at different states of polarization and average these values.
- b) After this, connect the outgoing optical-fibre light to the test analyzer and read the peak power level measured by the test analyzer as P_{OSAi} ; use a linear scale (in units of mW or μ W) to read the value. If a polarization controller is used, measure multiple times at different states of polarization and average these values.
- c) Calculate the difference ratio of the OSA value, as D_{Pi} , from the power meter measurement using Equation (20).

$$D_{Pi} = \frac{P_{OSAi}}{P_{REFi}} - 1 \quad (20)$$

- d) Repeat this measurement at least ten times.

6.2.4 Calculation of power level uncertainty under reference conditions

Calculate the power level deviation, D_P , and standard deviation, u_{D_P} , of the difference ratio using Equations (21) and (22):

$$D_P = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m D_{Pi} \quad (21)$$

$$u_{D_P} = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (D_{Pi} - D_P)^2} \quad (22)$$

where m is the number of measurements used.

The uncertainty $u_{D_{P_{ref}}}$ with respect to the power level for the test analyzer operated under reference calibration conditions is given by Equation (23).

$$u_{D_{P_{ref}}} = \sqrt{u_{PM_{ref}}^2 + \frac{u_{D_P}^2}{m} + u_{res_ref}^2 + u_{res_OSA}^2 + u_{D_{PTMP}}^2} \quad (23)$$

where

$u_{PM_{ref}} = \frac{U_{PM_{ref}}}{k}$ is the uncertainty, at the measured power, of the reference optical power meter described in its certification;

u_{D_P} is the standard deviation of the values measured during the test;

u_{res_ref} is the uncertainty given by the display resolution of the reference power meter;

u_{res_OSA} is the uncertainty given by the display resolution of the OSA;

$u_{D_{P_{TMP}}}$ is the uncertainty given by the dependence on the temperature and can be evaluated as in 6.3.5, except using temperature range reference conditions. It can be neglected if it is about 10 times lower than $u_{D_{P_{ref}}}$.

The power level deviation $D_{P_{ref}}$ is given by Equation (24), which is the same as the mean value of the difference ratio.

$$D_{P_{ref}} = D_P \quad (24)$$

6.3 Power level calibration for operating conditions

6.3.1 General

The calibration described in 6.3 is not mandatory. Perform the calibration procedure when the test analyzer is used beyond the reference conditions.

Individual factors in the power level uncertainty for the operating conditions may consist of the following:

- 1) wavelength dependence;
- 2) polarization dependence;
- 3) linearity;
- 4) temperature dependence.

6.3.2 Wavelength dependence

6.3.2.1 General

Figure 6 shows the test configuration for determining wavelength dependence. This test is performed under reference calibration conditions except for the wavelength.

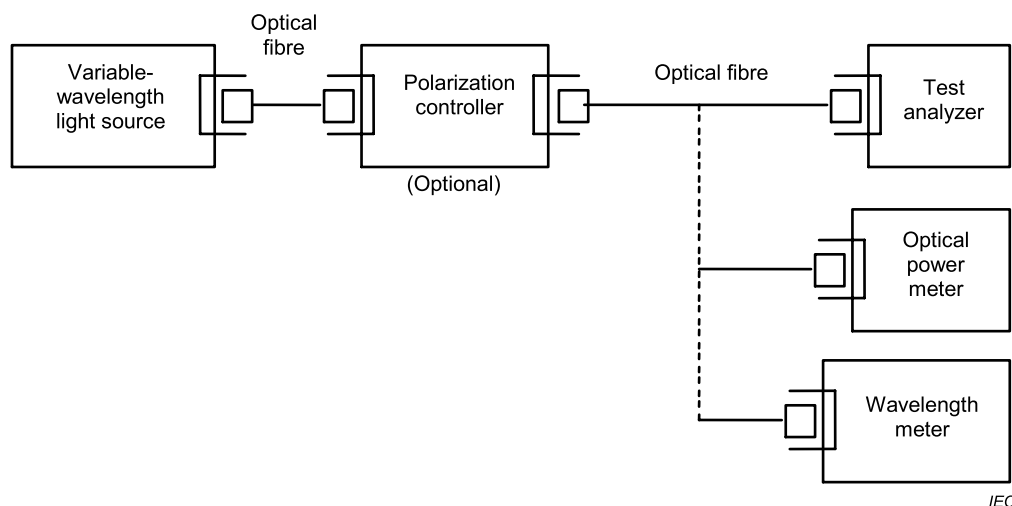


Figure 6 – Test configuration for determining the wavelength dependence of power level uncertainty

6.3.2.2 Equipment for determining wavelength dependence of power level

The equipment for determining the wavelength dependence of power level is as follows.

- a) *Light source*: use a variable-wavelength light source such as a tunable laser. It should supply the needed amount of light power stably within the test wavelength range of the test analyzer, and its spectral bandwidth should be far narrower than the specified resolution bandwidth of the test analyzer.
- b) *Wavelength meter*: use to measure the wavelength of the variable-wavelength light source. It is unnecessary if the light source has been calibrated according to IEC 62522.
- c) *Optical power meter*: use a non-wavelength-dependent optical power meter, or one whose wavelength dependence has been calibrated.
- d) *Optional polarization controller*: a polarization controller is used which controls the state of polarization of incident light to obtain an optical fibre output with an extinction ratio of 20 dB or more. The level variation when the state of polarization is changed should be far smaller than the polarization dependence of the test analyzer. Some polarization controllers are combinations of a polarizer, a half-wavelength plate and a quarter-wavelength plate; some rotate three fibre loops.

6.3.2.3 Test procedure for determining wavelength dependence of power level

Use the test configuration shown in Figure 6.

The test procedure is as follows.

- a) After the environmental temperature is completely stabilized, input light from the light source to the wavelength meter for wavelength measurement. The reading provided by the wavelength meter is defined as λ_j .
- b) Using the optical power meter, measure the optical power of the light source. The reading provided by the optical power meter is defined as P_{REF,λ_j} . If a polarization controller is used, measure multiple times at different states of polarization and average values.
- c) Input light from the light source to the test analyzer. The resolution bandwidth (spectral resolution) of the test analyzer should be preset so as to be wider than the spectral bandwidth of the incident light. The peak power level measured by the test analyzer is defined as P_{OSA,λ_j} . If a polarization controller is used, measure multiple times at different states of polarization and average the values.

The deviation error at wavelength λ_j , $D_{P_{\lambda_j}}$, is given by Equation (25).

$$D_{P_{\lambda_j}} = \frac{P_{OSA,\lambda_j}}{P_{REF,\lambda_j}} - 1 \quad (25)$$

- d) Repeat this procedure with different wavelength settings (change λ_j). If the test analyzer is to be used to measure broad spectrum sources such as surface-emitting light-emitting diodes (LED), especially multimode ones at 1 300 nm, the wavelength dependence of the power level should be measured at several wavelengths within the source spectrum.
- e) Let $|D_{P_{\lambda}}|_{MAX}$ be the maximum of all absolute values of $D_{P_{\lambda_j}}$ obtained.

6.3.2.4 Calculation of power level uncertainty due to wavelength dependence

The standard uncertainty due to wavelength dependence, $u_{D_{P_{\lambda}}}$ is given by Equation (26).

$$u_{D_{P_{\lambda}}} = \frac{|D_{P_{\lambda}}|_{MAX}}{\sqrt{3}} \quad (26)$$

6.3.3 Polarization dependence

6.3.3.1 General

Figure 7 shows the test configuration for determining polarization dependence. This test is performed under reference calibration conditions except for the polarization.

The light source used shall be at the reference wavelength. However, it is recommended that this test be undertaken at several wavelengths at which the test analyzer is used, since the polarization dependence may differ according to the wavelength.

NOTE The extinction ratio of the output from the polarization controller of the measurement system is assumed to be 20 dB at the fibre's output port. The extinction ratio affects the precision of the polarization dependence test results; specifically, it reduces the measurement precision by about 2 % at 20 dB.

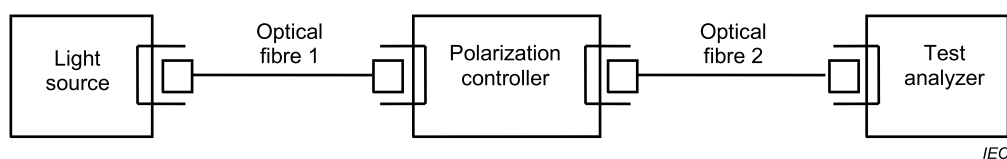


Figure 7 – Test configuration for determining the polarization dependence of power level uncertainty

6.3.3.2 Equipment for determining polarization dependence of power level

The equipment for determining the polarization dependence of power level is as follows:

- Light source*: use a stable light source with an output of 0,1 mW (–10 dBm) to 1 mW (0 dBm) and which has a spectral bandwidth sufficiently narrower than the resolution prescribed for the test analyzer. The light sources shown in Table 1, a laser diode (LD) (SMSR > 40 dB, see 3.20) or a fibre laser (also with SMSR > 40 dB) are recommended.
- Polarization controller*: a polarization controller is used which controls the state of polarization of incident light to obtain an optical fibre output with an extinction ratio of 20 dB or more. The level variation when the state of polarization is changed should be far smaller than the polarization dependence of the test analyzer. Some polarization controllers are combinations of a polarizer, a half-wavelength plate and a quarter-wavelength plate; some rotate three fibre loops.
- Optical fibre*: use a single-mode optical fibre class B as defined in IEC 60793-2 and having a length of 1 m to 2 m. A polarization-maintaining fibre is preferred to the input fibre of some polarization controllers.

6.3.3.3 Test procedure for determining polarization dependence of power level

Using the test configuration shown in Figure 7, set the resolution bandwidth of the test analyzer sufficiently larger than the spectral bandwidth of the light source.

The test procedure performed at many wavelengths is as follows.

- Input the light output from the light source into the polarization controller through optical fibre 1, and input the output from the controller into the test analyzer through optical fibre 2.
- Adjust the polarization controller so that a large number of polarization states are produced which essentially cover the entire Poincaré sphere. Observe the peak-to-peak change in power level caused by changing the polarization state. Record the maximum and minimum readings as $P_{MAX}(\lambda_j)$ and $P_{MIN}(\lambda_j)$, respectively.
- The variations in power level due to polarization with wavelengths of λ_j , $DP_{UL}(\lambda_j)$ and $DP_{LL}(\lambda_j)$ are given by Equations (27) and (28).

$$DP_{UL}(\lambda_j) = \frac{P_{MAX}(\lambda_j)}{P_{AVE}(\lambda_j)} - 1 \quad (27)$$

$$DP_{LL}(\lambda_j) = \frac{P_{MIN}(\lambda_j)}{P_{AVE}(\lambda_j)} - 1 \quad (28)$$

where, $P_{AVE}(\lambda_j)$ is the average power level due to polarization with a wavelength of λ_j , and is given by Equation (29).

$$P_{AVE}(\lambda_j) = \frac{P_{MAX}(\lambda_j) + P_{MIN}(\lambda_j)}{2} \quad (29)$$

- d) Repeat this procedure with different wavelength settings (change λ_j).
- e) Let $D_{P_{POL,MAX}}$ be the maximum value of $DP_{UL}(\lambda_j)$, and $D_{P_{POL,MIN}}$ be the minimum value of $DP_{LL}(\lambda_j)$.

6.3.3.4 Calculation of uncertainty due to polarization dependence

The uncertainty of power level variations due to polarization, $u_{D_{POL}}$, is given by Equation (30).

$$u_{D_{POL}} = \frac{D_{P_{POL,MAX}} - D_{P_{POL,MIN}}}{2\sqrt{3}} \quad (30)$$

6.3.4 Linearity

6.3.4.1 General

Use the superposition method given in IEC 61315 or the method depicted in Figure 8. This test is performed under reference calibration conditions except for the power level.

The light source used shall be at the reference wavelength. If there is more than one reference wavelength and the detector for the test analyzer is in danger of wavelength dependence, the linearity test should be performed at each of the reference wavelengths.

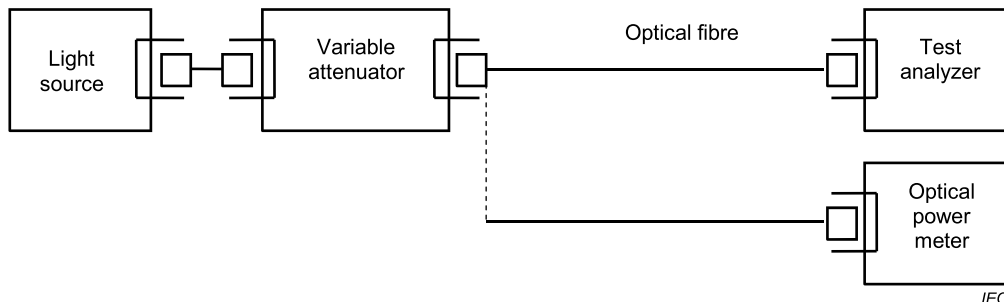


Figure 8 – Configuration for testing linearity error of power level uncertainty

6.3.4.2 Equipment for determining power level linearity error

The equipment for determining the power level linearity error is as follows.

- a) *Light source*: use a stable light source with an output of 0,1 mW (–10 dBm) to 1 mW (0 dBm) and which has a spectral bandwidth sufficiently narrower than the resolution prescribed for the test analyzer. The light sources shown in Table 1, a laser diode (LD) (SMSR > 40 dB, see 3.20) or a fibre laser (also with SMSR > 40 dB) are recommended.
- b) *Variable attenuator*: use a variable attenuator that can be adjusted over the optical power range used in the test.
- c) *Optical power meter*: use an optical power meter that can accurately cover the power, wavelength and temperature ranges measured in the test.

6.3.4.3 Test procedure for determining power level linearity error

The test procedure for determining the power level linearity error is as follows.

- a) With the test setup shown in Figure 8, set the resolution bandwidth of the test analyzer so that it is far larger than the spectral bandwidth of the light source used for the measurement. Adjust the variable attenuator so that the power level of the light sent to the test analyzer is the same as that used for the power level calibration test under reference conditions.

The readings from the test analyzer and the optical power meter at that time are defined as P_{OSA} and P_{REF} , respectively, and the ratio of the two as $P_{\text{LIN,ref}}$.

$$P_{\text{LIN,ref}} = \frac{P_{\text{OSA}}}{P_{\text{REF}}} \quad (31)$$

- b) Then, change the power level of the light sent to the test analyzer, using the variable attenuator. The power level is defined as P_j . The readings from the test analyzer and the power meter are defined as $P_{\text{OSA},j}$ and $P_{\text{REF},j}$, respectively, and the ratio of the two as $P_{\text{LIN},j}$.

$$P_{\text{LIN},j} = \frac{P_{\text{OSA},j}}{P_{\text{REF},j}} \quad (32)$$

The linearity error at a power level of P_j , $DP_{\text{LIN}}(P_j)$, is given by Equation (33).

$$DP_{\text{LIN}}(P_j) = \frac{P_{\text{LIN},j}}{P_{\text{LIN,ref}}} - 1 \quad (33)$$

- c) Repeat this procedure with different light power levels (change P_j) for at least five points within the input power level range specified in the test analyzer.
- d) Let $|DP_{\text{LIN}}|_{\text{MAX}}$ be the maximum of all absolute values of $DP(P_j)$ obtained.

6.3.4.4 Calculation of uncertainty due to power level linearity error

The uncertainty of linearity, $u_{DP_{\text{LIN}}}$, is given by Equation (34).

$$u_{DP_{\text{LIN}}} = \frac{|DP_{\text{LIN}}|_{\text{MAX}}}{\sqrt{3}} \quad (34)$$

6.3.5 Temperature dependence

6.3.5.1 General

Figure 9 shows the test configuration for temperature dependence. This test is performed under reference calibration conditions with the exception of temperature. The light source used shall be at the reference wavelength.

If there is more than one reference wavelength and the detector for the test analyzer is in danger of wavelength dependence and temperature dependence, the temperature dependence test should be performed at each of the reference wavelengths.

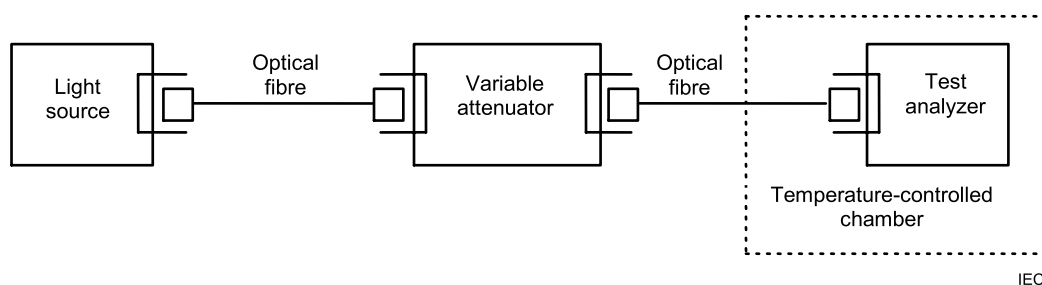


Figure 9 – Test configuration for determining the temperature dependence of power level uncertainty

6.3.5.2 Equipment for determining temperature dependence of power level

The equipment for determining the temperature dependence of power level is as follows.

- a) *Light source*: use a stable light source with an output of 0,1 mW (–10 dBm) to 1 mW (0 dBm) and which has a spectral bandwidth sufficiently narrower than the resolution prescribed for the test analyzer. The light sources shown in Table 1, a laser diode (LD) (SMSR > 40 dB, see 3.20) or a fibre laser (also with SMSR > 40 dB) are recommended.
- b) *Variable attenuator*: use a variable attenuator that can be adjusted over the optical power range used in the test.

6.3.5.3 Test procedure for determining temperature dependence of power level

The test procedure for determining the temperature dependence of power level is as follows.

- a) With the test configuration shown in Figure 9, set the resolution bandwidth of the test analyzer so that it is far larger than the spectral bandwidth of the light source used for the measurement. After the temperature of the test analyzer is stabilized as specified under reference test conditions, adjust the attenuator so that the power level of the light sent to the test analyzer is the same as that used for the calibration under reference conditions. The reading provided by the test analyzer at that time is defined as $P_{OSA, T_{ref}}$.
- b) Then change the temperature of the temperature-controlled chamber. Sufficient time (for example 2 h) shall be allowed for the OSA undergoing calibration to reach thermal equilibrium at each temperature used. The new temperature is defined as T_j , and the test analyzer reading is defined as P_{OSA_j} .

The sensitivity error at temperature T_j , $DP(T_j)$, is given by Equation (35).

$$DP(T_j) = \frac{P_{OSA_j}}{P_{OSA, T_{ref}}} - 1 \quad (35)$$

- c) Repeat this procedure with different temperature settings (change T_j).

d) Let $|D_{P_{\text{TMP}}}|_{\text{MAX}}$ be the maximum of all absolute values of $DP(T_j)$ obtained.

6.3.5.4 Calculation of uncertainty due to temperature dependence of power level

The uncertainty due to temperature dependence, $u_{D_{P_{\text{TMP}}}}$, is given by Equation (36).

$$u_{D_{P_{\text{TMP}}}} = \frac{|D_{P_{\text{TMP}}}|_{\text{MAX}}}{\sqrt{3}} \quad (36)$$

6.4 Calculation of expanded uncertainty

When the test analyzer is only used under reference conditions, the expanded uncertainty, $U_{P_{\text{ref}}}$, can be calculated by Equation (37) with a coverage factor k .

$$U_{P_{\text{ref}}} = \pm k u_{D_{P_{\text{ref}}}} \quad (37)$$

When the test analyzer is operated beyond the reference conditions, the accumulative power level uncertainty of the test analyzer, $u_{D_{P_{\text{OP}}}}$, should be calculated using Equation (38) with the results of Equations (23), (26), (30), (34) and (36) when all the calibration procedures are performed under operating conditions.

$$u_{D_{P_{\text{OP}}}} = \sqrt{u_{P_{\text{Mref}}}^2 + u_{D_P}^2 + u_{\text{res_ref}}^2 + u_{\text{res_OSA}}^2 + u_{D_{P_\lambda}}^2 + u_{D_{P_{\text{POL}}}}^2 + u_{D_{P_{\text{LIN}}}}^2 + u_{D_{P_{\text{TMP}}}}^2} \quad (38)$$

where

$u_{P_{\text{Mref}}} = \frac{U_{P_{\text{Mref}}}}{k}$	is the uncertainty, at the measured power, of the reference optical power meter described in its certification;
u_{D_P}	is the standard deviation of the values measured at reference conditions;
$u_{\text{res_ref}}$	is the uncertainty given by the display resolution of the reference power meter;
$u_{\text{res_OSA}}$	is the uncertainty given by the display resolution of the OSA;
$u_{D_{P_\lambda}}$	is the uncertainty due to wavelength dependence;
$u_{D_{P_{\text{POL}}}}$	is the uncertainty due to polarization dependence;
$u_{D_{P_{\text{LIN}}}}$	is the uncertainty due to linearity;
$u_{D_{P_{\text{TMP}}}}$	is uncertainty due to temperature dependence.

The expanded uncertainty, $U_{P_{\text{OP}}}$, with a coverage factor k is expressed by Equation (39):

$$U_{P_{\text{OP}}} = \pm k u_{D_{P_{\text{OP}}}} \quad (39)$$

The deviation, uncertainty and expanded uncertainty of the power level, D_P , u_P and U_P , at the power level indicated by P (mW) are given by Equations(40) and (41), when the aim is to obtain these values in absolute power units.

$$D_P = D_{P_{\text{ref}}} P \text{ (mW)} \quad (40)$$

$$U_{P_{\text{ref}}} = U_{P_{\text{ref}}} P \text{ (mW)} \quad (41)$$

When the deviation or uncertainty shall be expressed as dB units, use Equation (42) to convert to dB units:

$$U(\text{dB}) = 10 \log_{10}(1 + X) \quad (42)$$

where $X = D_{P_{\text{ref}}}$ or $U_{D_{P_{\text{ref}}}}$

If this is the power level which shall be corrected based on the calibration results, this is typically implemented by making software corrections to the instrument, mathematical corrections to the results, or instrument hardware adjustments. Once the adjustments have been made, it is advisable to repeat the test to verify that the correction has operated correctly (see Annex C).

7 Resolution bandwidth (spectral resolution) test

7.1 Overview

If unknown, the resolution bandwidth (spectral resolution) of the test analyzer should be tested prior to power level and wavelength calibration because the resolution bandwidth influences their calibration. This test is performed under reference calibration conditions. Wavelength is shown in vacuum.

NOTE The result of the resolution bandwidth (spectral resolution) test described here is employed as the optical bandwidth (in wavelength units) for the measurement of optical-amplifier noise-figure. The calibration of optical bandwidth is described in IEC 61290-3-1.

7.2 Resolution bandwidth (spectral resolution) test

7.2.1 General

Alternative setups for resolution bandwidth test are shown in Figures 1, 2, and 3. In the Figure 1 setup, a gas laser whose wavelength is known is used as the light source. Figure 2 shows a setup in which a broadband source is used in conjunction with a transmission device with known (traceable) wavelengths of peak (or null) transmission. Figure 3 shows a setup in which a laser diode (LD) whose wavelength is unknown is used for the light source.

7.2.2 Equipment for resolution bandwidth (spectral resolution) test

The equipment for the resolution bandwidth (spectral resolution) test is as follows.

- a) *Light source*: use the light source prescribed for calibrating the test analyzer; if a light source is not prescribed, use one with a spectral bandwidth and wavelength stability sufficient for the minimum resolution bandwidth prescribed for the test analyzer.

Recommended light sources are lasers such as those listed in Table 1, a laser diode (LD) or other laser (which may be tuneable) having a spectral bandwidth much narrower than the resolution bandwidth of the test analyzer. Also, a broadband source may be used in conjunction with a transmission device with known (traceable) wavelengths of peak (or null) transmission. The transmission device may be, for example, a series of fixed narrowband filters, absorption lines in gaseous media, or Fabry-Perot interferometers. Annex D tabulates many stable wavelength references. The reference used should have a wavelength stability, spectral bandwidth and power stability sufficient for the resolution bandwidth test.

Table 1 – Recommended light sources

Light source	Wavelength (nm) [vac]
Ar laser	488,122
	514,673
He-Ne laser ^a	632,991
	1 152,590
	1 523,488
^a In the He-Ne laser at 1 152 nm wavelength, there may be two modes. Ensure the correct line is used.	

- b) *Wavelength meter*: use an instrument for measuring the wavelength of a light source. The wavelength meter needs to be calibrated and corrected for possible deviations. This instrument is used when a laser diode (LD) with an unknown wavelength is used as the light source. This instrument should be calibrated in accordance with IEC 62129-2.
- c) *Optical fibre*: use a single-mode optical fibre class B as defined in IEC 60793-2.

7.2.3 Test procedure for resolution bandwidth (spectral resolution)

The test procedure for resolution bandwidth (spectral resolution) is as follows.

- a) Using the test setup shown in Figure 1, 2 or 3, set the wavelength measurement range of the test analyzer to a narrow value that includes the entire spectrum of the light source. Set the resolution bandwidth of the test analyzer to its specified value. Let the specified value be R_{set} .
- b) Measure the resolution of the displayed spectral bandwidth, i.e. the wavelength interval 3 dB below the peak value, as $R_{\text{OSA}i}$. Repeat this measurement at least ten times and calculate the average resolution using Equation (43).

$$R_{\text{OSA}} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m R_{\text{OSA}i} \quad (43)$$

where m is the number of measurements.

- c) Calculate the difference ratio of the OSA value from the resolution bandwidth setting using Equation (44).

$$D_R = \frac{R_{\text{OSA}}}{R_{\text{set}}} - 1 \quad (44)$$

- d) If necessary, repeat this procedure with different resolution bandwidth settings.

When the test analyzer has a wavelength span linearity error, it is necessary to tune the light source slightly around the wavelength of interest, while making multiple measurements of the displayed 3 dB bandwidth to obtain an accurate measurement of the true resolution bandwidth at a given wavelength. The required tuning range is of the order of ± 1 nm, so this measurement can be made with a temperature-tuned DFB laser, an external cavity laser or a tuneable fibre laser. By averaging the resolution bandwidth readings, a more accurate measurement of the true resolution bandwidth can be obtained.

8 Documentation

8.1 Measurement 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: calibration date, power level, horizontal and vertical display resolution, temperature, humidity, atmospheric pressure and displayed wavelength range.

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

8.2 Measurement data and uncertainty

Calibration certificates claiming to be in compliance with this document shall include the following data and their uncertainties. 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, $D_{\lambda_{\text{ref}}}$, and its uncertainty, $\pm ku_{D_{\lambda_{\text{ref}}}}$, for example, in nm, in vacuum. See the detailed requirements in Clause 5.
- b) The power level deviation, $D_{P_{\text{ref}}}$, and its uncertainty, $\pm ku_{D_{P_{\text{ref}}}}$, for example, in % or dB. See the detailed requirements in Clause 6.
- c) Resolution bandwidth (spectral resolution) test result, if measured, for example, difference ratio, D_R . The wavelength is that in vacuum. See the detailed requirements in Clause 7.

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 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.

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

If only upper and lower limit X_{\max} and X_{\min} can be estimated for the value of the quantity X , a rectangular probability distribution is assumed, the standard uncertainty is:

$$u(x) = \frac{(|X_{\max}|, |X_{\min}|)_{\text{MAX}}}{\sqrt{3}} \quad (\text{A.5})$$

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

$$u(y) = c u(x) \quad (\text{A.6})$$

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 .

$$c = \frac{\partial y}{\partial x} \quad (\text{A.7})$$

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.7) 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.

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n u_i^2(y)} \quad (\text{A.8})$$

where

i is the current number of individual contributions;

$u_i(y)$ 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.8). 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 .

$$U = k \cdot u_c(y) \quad (\text{A.9})$$

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). If these conditions are not met, larger coverage factors are to be used to reach these levels of confidence.

Annex B (informative)

Examples of calculation of calibration uncertainty

B.1 General

Examples of the calculation of calibration uncertainty related to wavelength and power level are shown in Clauses B.2 and B.3.

B.2 Wavelength calibration

B.2.1 Uncertainty under reference conditions: $u_{D\lambda_{\text{ref}}}$

The uncertainty under reference conditions of the test analyzer, $u_{D\lambda_{\text{ref}}}$, with regard to wavelength is calculated using Equation (12).

Using the following 10 values of centre wavelength λ_{OSA_i} for a He-Ne laser with a wavelength of $\lambda_{\text{REF}} = 633,0$ nm measured by the test analyzer, the uncertainty can be obtained.

$\lambda_{\text{OSA1}} = 632,9$ nm	$\lambda_{\text{OSA6}} = 633,0$ nm
$\lambda_{\text{OSA2}} = 633,0$ nm	$\lambda_{\text{OSA7}} = 632,8$ nm
$\lambda_{\text{OSA3}} = 632,8$ nm	$\lambda_{\text{OSA8}} = 632,7$ nm
$\lambda_{\text{OSA4}} = 632,8$ nm	$\lambda_{\text{OSA9}} = 632,8$ nm
$\lambda_{\text{OSA5}} = 632,9$ nm	$\lambda_{\text{OSA10}} = 632,7$ nm

The standard deviation of the measured values is calculated as follows.

Calculate the standard uncertainty $u_{\lambda_{\text{OSA}}}$ of the measured λ_{OSA_i} values using Equation (11).

$$u_{\lambda_{\text{OSA}}} = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (\lambda_{\text{OSA}_i} - \lambda_{\text{OSA}_{\text{AV}}})^2} =$$

$$\sqrt{\frac{(632,9 - 632,84)^2 + (633,0 - 632,84)^2 + \dots + (632,7 - 632,84)^2}{10-1}} = 0,107 \text{ (nm)} \quad (\text{B.1})$$

The wavelength uncertainty of the light source is $u_{\lambda_{\text{REF}}} = 10^{-5} \sim 10^{-6}$, which is good enough to allow the use of the approximation $u_{\lambda_{\text{REF}}} = 0$. Therefore, the uncertainty under reference conditions, $u_{D\lambda_{\text{ref}}}$, of the test analyzer can be found using simplified Equation (12) if the resolution and the temperature dependence are negligible for the reference conditions.

$$u_{D\lambda_{\text{ref}}} = \sqrt{u_{\lambda_{\text{REF}}}^2 + \frac{u_{\lambda_{\text{OSA}}}^2}{m}} = \sqrt{0,0^2 + \frac{0,107^2}{10}} = 0,034 \text{ (nm)} \quad (\text{B.2})$$

As required in Clause A.5, results of uncertainty calculation shall be reported in the form of expanded uncertainties. If the coverage factor is chosen equal to 2 the expanded uncertainty $U_{D_{\lambda_{\text{ref}}}}$ is:

$$U_{D_{\lambda_{\text{ref}}}} = k \times u_{D_{\lambda_{\text{ref}}}} = 2 \times 0,034 = 0,068 \text{ (nm)} \quad (\text{B.3})$$

The average value of the measured values $\lambda_{\text{OSA}_{\text{AV}}}$ is found from Equation (9).

$$\lambda_{\text{OSA}_{\text{AV}}} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \lambda_{\text{OSA},i} = \frac{6\,328,4}{10} = 632,84 \text{ (nm)} \quad (\text{B.4})$$

The deviation of the measured values, $D_{\lambda_{\text{ref}}}$, is found from Equation (10).

$$D_{\lambda_{\text{ref}}} = \lambda_{\text{OSAAV}} - \lambda_{\text{REF}} = 632,84 - 633,0 = -0,16 \text{ (nm)} \quad (\text{B.5})$$

B.2.2 Uncertainty under operating conditions

B.2.2.1 General

The following example shows the uncertainty calculation when the wavelength and temperature dependence are calibrated.

B.2.2.2 Wavelength dependence

The wavelength dependence will be derived using the following centre wavelength values measured for five light sources having wavelengths other than λ_{ref} .

$\lambda_{\text{OSA1}} = 650,4 \text{ nm}$	$\lambda_{\text{REF1}} = 650,6 \text{ nm}$
$\lambda_{\text{OSA2}} = 780,5 \text{ nm}$	$\lambda_{\text{REF2}} = 780,3 \text{ nm}$
$\lambda_{\text{OSA3}} = 850,2 \text{ nm}$	$\lambda_{\text{REF3}} = 850,1 \text{ nm}$
$\lambda_{\text{OSA4}} = 1\,310,5 \text{ nm}$	$\lambda_{\text{REF4}} = 1\,310,7 \text{ nm}$
$\lambda_{\text{OSA5}} = 1\,552,1 \text{ nm}$	$\lambda_{\text{REF5}} = 1\,552,0 \text{ nm}$

The deviation of the measured value for the individual light source is calculated from Equation (13), for each wavelength.

$$D_{\lambda_{\lambda 1}} = 650,4 - 650,6 = -0,2 \text{ (nm)}$$

$$D_{\lambda_{\lambda 2}} = 780,5 - 780,3 = 0,2 \text{ (nm)}$$

$$D_{\lambda_{\lambda 3}} = 850,2 - 850,1 = 0,1 \text{ (nm)}$$

$$D_{\lambda_{\lambda 4}} = 1\,310,5 - 1\,310,7 = -0,2 \text{ (nm)}$$

$$D_{\lambda_{\lambda 5}} = 1\,552,1 - 1\,552,0 = 0,1 \text{ (nm)}$$

From these values:

$$D_{\lambda_{\lambda, \text{MAX}}} = 0,2 \text{ nm and } D_{\lambda_{\lambda, \text{MIN}}} = -0,2 \text{ nm}$$

$$\text{therefore } |D_{\lambda_{\lambda}}|_{\text{MAX}} = 0,2 \text{ nm.}$$

The uncertainty of the wavelength dependence error, $u_{D\lambda\lambda}$, is given by Equation (14).

$$u_{D\lambda\lambda} = \frac{|D_{\lambda\lambda}|_{\text{MAX}}}{\sqrt{3}} = \frac{0,2}{\sqrt{3}} = 0,115 \quad (\text{B.6})$$

B.2.2.3 Temperature dependence

The following centre wavelength values, measured for various temperatures using a He-Ne laser $\lambda_{\text{REF}} = 633,0$ nm will be used to show the temperature dependence:

$T1 = 10$ °C	$\lambda_{\text{OSA1}} = 632,8$ nm
$T2 = 15$ °C	$\lambda_{\text{OSA2}} = 632,7$ nm
$T3 = 20$ °C	$\lambda_{\text{OSA3}} = 632,8$ nm
$T4 = 25$ °C	$\lambda_{\text{OSA4}} = 632,9$ nm
$T5 = 30$ °C	$\lambda_{\text{OSA5}} = 633,1$ nm
$T6 = 35$ °C	$\lambda_{\text{OSA6}} = 633,2$ nm

$$D_{\lambda T1} = 632,8 - 633,0 = -0,2 \text{ (nm)}$$

$$D_{\lambda T2} = 632,7 - 633,0 = -0,3 \text{ (nm)}$$

$$D_{\lambda T3} = 632,8 - 633,0 = -0,2 \text{ (nm)}$$

$$D_{\lambda T4} = 632,9 - 633,0 = -0,1 \text{ (nm)}$$

$$D_{\lambda T5} = 633,1 - 633,0 = 0,1 \text{ (nm)}$$

$$D_{\lambda T6} = 633,2 - 633,0 = 0,2 \text{ (nm)}$$

From Equation (16):

$$u_{D\lambda T} = \frac{|D_{\lambda T, \text{MAX}}|}{\sqrt{3}} = \frac{0,3}{\sqrt{3}} = 0,173 \text{ (nm)} \quad (\text{B.7})$$

B.2.3 Expanded uncertainty calculation

The following example shows the expanded uncertainty calculation when the calibration is performed under operating conditions.

The accumulated uncertainty can be obtained using Equation (18) and setting resolutions as negligible.

$$\begin{aligned} u_{D\lambda_{\text{op}}} &= \sqrt{0,107^2 + 0,115^2 + 0,173^2} \\ &= \sqrt{0,054} = 0,23 \text{ (nm)} \end{aligned} \quad (\text{B.8})$$

Accordingly, the expanded uncertainty, $U_{\lambda_{op}}$ is obtained with a coverage factor $k = 2$ for a confidence level of 95 %.

$$U_{\lambda_{op}} = \pm k u_{D_{\lambda_{op}}} = \pm 2 \times 0,23 = \pm 0,46 \text{ (nm)} \quad (\text{B.9})$$

B.3 Power level calibration

B.3.1 Uncertainty under reference conditions: $u_{D_{P_{ref}}}$

The uncertainty of the test analyzer, $u_{D_{P_{ref}}}$, with regard to power level under reference calibration conditions is calculated using Equation (23).

Here, the uncertainty of the reference power meter is given as 4,0 % in its certification, with a coverage factor k equal to 2:

$$u_{P_{Mref}} = 0,02 \quad (\text{B.10})$$

Using the next 10 pairs of $P_{ref,i}$ and P_{OSA_i} measured with the reference optical power meter and the test analyzer, the uncertainty of the test analyzer can be obtained.

$P_{ref1} = 0,200 \text{ mW}$	$P_{OSA1} = 0,210 \text{ mW}$
$P_{ref2} = 0,202 \text{ mW}$	$P_{OSA2} = 0,205 \text{ mW}$
$P_{ref3} = 0,201 \text{ mW}$	$P_{OSA3} = 0,203 \text{ mW}$
$P_{ref4} = 0,200 \text{ mW}$	$P_{OSA4} = 0,215 \text{ mW}$
$P_{ref5} = 0,199 \text{ mW}$	$P_{OSA5} = 0,195 \text{ mW}$
$P_{ref6} = 0,199 \text{ mW}$	$P_{OSA6} = 0,190 \text{ mW}$
$P_{ref7} = 0,200 \text{ mW}$	$P_{OSA7} = 0,197 \text{ mW}$
$P_{ref8} = 0,201 \text{ mW}$	$P_{OSA8} = 0,213 \text{ mW}$
$P_{ref9} = 0,201 \text{ mW}$	$P_{OSA9} = 0,215 \text{ mW}$
$P_{ref10} = 0,202 \text{ mW}$	$P_{OSA10} = 0,220 \text{ mW}$

The difference ratio between the OSA result and the power meter result is calculated using Equation (20).

$D_{P1} = 0,05$	$D_{P2} = 0,015$
$D_{P3} = 0,010$	$D_{P4} = 0,075$
$D_{P5} = -0,02$	$D_{P6} = -0,045$
$D_{P7} = -0,015$	$D_{P8} = 0,06$
$D_{P9} = 0,07$	$D_{P10} = 0,089$

The mean and standard deviations of the difference ratio are calculated using Equations (21) and (22).

$$D_P = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m D_{Pi} = 0,289/10 = 0,0289 \quad (\text{B.11})$$

$$u_{D_P} = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (D_{P_i} - D_P)^2} = \sqrt{0,019\ 17/9} = 0,046\ 2 \quad (\text{B.12})$$

The standard deviation of the difference ($u_{D_P} = 0,046\ 2$) is larger than the uncertainty of the power meter ($u_{P_{PM}} = 0,02$).

From Equation (23), if the resolutions and the temperature dependence are negligible for the reference conditions, the uncertainty $u_{D_{P_{ref}}}$ is:

$$u_{D_{P_{ref}}} = \sqrt{u_{P_{M_{ref}}}^2 + \frac{u_{D_P}^2}{m}} = \sqrt{0,02^2 + \frac{0,046\ 2^2}{10}} = 0,024\ 8 \quad (\text{B.13})$$

As required in Clause A.5, results of uncertainty calculation shall be reported in the form of expanded uncertainties. If the coverage factor is chosen equal to 2 the expanded uncertainty $U_{D_{P_{ref}}}$ is:

$$U_{D_{P_{ref}}} = k \times u_{D_{P_{ref}}} = 2 \times 0,024\ 8 = 0,049\ 6 \quad (\text{B.14})$$

The power level deviation is found from Equation (24).

$$D_{P_{ref}} = D_P = 0,028\ 9 \quad (\text{B.15})$$

B.3.2 Uncertainty under operating conditions

B.3.2.1 General

The following example shows the uncertainty calculation when calibrations are performed individually on four factors, that is, wavelength, polarization, linearity and temperature.

B.3.2.2 Wavelength dependence

The wavelength dependence will be derived for the displayed peak power levels (P_{OSA_j}) of the test analyzer and reference values on the optical power meter ($P_{REF,j}$) for the wavelengths shown below.

$\lambda_1 = 488\ \text{nm}$	$P_{OSA1} = 0,122\ 5\ \mu\text{W}$	$P_{REF1} = 0,120\ 2\ \mu\text{W}$
$\lambda_2 = 633\ \text{nm}$	$P_{OSA2} = 0,130\ 7\ \mu\text{W}$	$P_{REF2} = 0,120\ 5\ \mu\text{W}$
$\lambda_3 = 780\ \text{nm}$	$P_{OSA3} = 0,131\ 0\ \mu\text{W}$	$P_{REF3} = 0,123\ 0\ \mu\text{W}$
$\lambda_4 = 850\ \text{nm}$	$P_{OSA4} = 0,153\ 2\ \mu\text{W}$	$P_{REF4} = 0,147\ 0\ \mu\text{W}$
$\lambda_5 = 1\ 500\ \text{nm}$	$P_{OSA5} = 0,160\ 5\ \mu\text{W}$	$P_{REF5} = 0,175\ 8\ \mu\text{W}$
$\lambda_6 = 1\ 550\ \text{nm}$	$P_{OSA6} = 0,152\ 0\ \mu\text{W}$	$P_{REF6} = 0,162\ 0\ \mu\text{W}$
$\lambda_7 = 1\ 600\ \text{nm}$	$P_{OSA7} = 0,120\ 7\ \mu\text{W}$	$P_{REF7} = 0,115\ 5\ \mu\text{W}$

From Equation (25):

$$D_{P_{\lambda 1}} = P_{OSA1} / P_{REF1} - 1 = 0,122\ 5 / 0,120\ 2 - 1 = 0,019\ 13$$

$$D_{P_{\lambda 2}} = P_{OSA2} / P_{REF2} - 1 = 0,130\ 7 / 0,120\ 5 - 1 = 0,084\ 65$$

$$D_{P_{\lambda 3}} = P_{\text{OSA3}} / P_{\text{REF3}} - 1 = 0,131\ 0 / 0,123\ 0 - 1 = 0,065\ 04$$

$$D_{P_{\lambda 4}} = P_{\text{OSA4}} / P_{\text{REF4}} - 1 = 0,153\ 2 / 0,147\ 0 - 1 = 0,042\ 18$$

$$D_{P_{\lambda 5}} = P_{\text{OSA5}} / P_{\text{REF5}} - 1 = 0,160\ 5 / 0,175\ 8 - 1 = -0,087\ 03$$

$$D_{P_{\lambda 6}} = P_{\text{OSA6}} / P_{\text{REF6}} - 1 = 0,152\ 0 / 0,162\ 0 - 1 = -0,061\ 73$$

$$D_{P_{\lambda 7}} = P_{\text{OSA7}} / P_{\text{REF7}} - 1 = 0,120\ 7 / 0,115\ 5 - 1 = 0,045\ 02$$

From these values:

$$D_{P_{\lambda \text{MAX}}} = D_{P_{\lambda 5}} = 0,087\ 03$$

The uncertainty due to wavelength dependence, $u_{D_{P_{\lambda}}}$, is given by Equation (26).

$$u_{D_{P_{\lambda}}} = \frac{|D_{P_{\lambda}}|_{\text{MAX}}}{\sqrt{3}} = \frac{0,087\ 03}{\sqrt{3}} = 0,050\ 2 \quad (\text{B.16})$$

B.3.2.3 Polarization dependence

The polarization dependence will be derived using the following values of $P_{\text{MAX}}(\lambda_j)$ and $P_{\text{MIN}}(\lambda_j)$ measured by rotating a half-wavelength plate to move the light source polarization plane from 0° to 180°.

$\lambda_1 = 850\ \text{nm}$	$P_{\text{MAX}}(\lambda_1) = 0,310\ \text{mW}$	$P_{\text{MIN}}(\lambda_1) = 0,292\ \text{mW}$
$\lambda_2 = 1\ 310\ \text{nm}$	$P_{\text{MAX}}(\lambda_2) = 0,204\ \text{mW}$	$P_{\text{MIN}}(\lambda_2) = 0,194\ \text{mW}$
$\lambda_3 = 1\ 550\ \text{nm}$	$P_{\text{MAX}}(\lambda_3) = 0,206\ \text{mW}$	$P_{\text{MIN}}(\lambda_3) = 0,193\ \text{mW}$

From Equations (27) and (28), variations $DP_{\text{UL}}(\lambda_j)$, $DP_{\text{LL}}(\lambda_j)$ and the average variation $P_{\text{AVE}}(\lambda_j)$ in power level due to polarization with wavelength λ_j , are given as:

$$\begin{aligned} P_{\text{AVE}}(\lambda_1) &= 0,301\ \text{mW} & DP_{\text{UL}}(\lambda_1) &= 0,310 / 0,301 - 1 = 0,029\ 9 \\ & & DP_{\text{LL}}(\lambda_1) &= 0,292 / 0,301 - 1 = -0,029\ 9 \\ P_{\text{AVE}}(\lambda_2) &= 0,199\ \text{mW} & DP_{\text{UL}}(\lambda_2) &= 0,204 / 0,199 - 1 = 0,025\ 1 \\ & & DP_{\text{LL}}(\lambda_2) &= 0,194 / 0,199 - 1 = -0,025\ 1 \\ P_{\text{AVE}}(\lambda_3) &= 0,199\ 5\ \text{mW} & DP_{\text{UL}}(\lambda_3) &= 0,206 / 0,199\ 5 - 1 = 0,032\ 6 \\ & & DP_{\text{LL}}(\lambda_3) &= 0,193 / 0,199\ 5 - 1 = -0,032\ 6 \end{aligned}$$

From these values:

$$D_{P_{\text{POL,MAX}}} = DP_{\text{UL}}(\lambda_3) = 0,032\ 6$$

$$D_{P_{\text{POL,MIN}}} = DP_{\text{LL}}(\lambda_3) = -0,032\ 6$$

The uncertainty of power level variations due to polarization, $u_{D_{P_{\text{POL}}}}$, is given by Equation (30).

$$u_{D_{P_{\text{POL}}}} = \frac{D_{P_{\text{POL,MAX}}} - D_{P_{\text{POL,MIN}}}}{2\sqrt{3}} = \frac{0,032\ 6 + 0,032\ 6}{2\sqrt{3}} = 0,018\ 8 \quad (\text{B.17})$$

B.3.2.4 Linearity

The linearity will be derived using the following values for the ratio $P_{LIN,ref}$ of the value measured by the test analyzer to the value obtained from the power meter, and the ratio $P_{LIN,j}$ of the value measured by the test analyzer to the value obtained from the power meter when the power level is varied using a variable attenuator. The linearity error $DP_{LIN}(P_j)$ at the power level P_j is given by Equation (33).

$P_{LIN,ref} = 1,025$	
$P_{LIN1} = 0,998$	$DP_{LIN}(P_1) = -0,026\ 34$
$P_{LIN2} = 0,985$	$DP_{LIN}(P_2) = -0,039\ 02$
$P_{LIN3} = 1,011$	$DP_{LIN}(P_3) = -0,013\ 66$
$P_{LIN4} = 1,009$	$DP_{LIN}(P_4) = -0,015\ 61$
$P_{LIN5} = 1,055$	$DP_{LIN}(P_5) = 0,029\ 27$

From these values:

$$D_{R_{LIN,MAX}} = 0,029\ 27$$

$$D_{R_{LIN,MIN}} = -0,039\ 02$$

The uncertainty of linearity, $u_{D_{R_{LIN}}}$, is obtained from Equation (34).

$$u_{D_{R_{LIN}}} = \frac{|D_{R_{LIN}}|_{MAX}}{\sqrt{3}} = \frac{0,039\ 02}{\sqrt{3}} = 0,022\ 5 \quad (B.18)$$

B.3.2.5 Temperature dependence

The temperature dependence is obtained from the following values. These are the reference values, $P_{OSA,T_{ref}}$, of the test analyzer at the temperature specified by the reference calibration conditions, and the power level values, $P_{OSA,j}$, measured by the test analyzer at the various temperatures shown, for light input from a semiconductor laser $\lambda = 1\ 310\ \text{nm}$ with an input optical power of 0,200 mW (the value used for the test under reference conditions). The sensitivity error at a temperature of T_j , $DP(T_j)$, is given by Equation (35) as follows:

$P_{OSA,T_{ref}} = 0,200\ \text{mW}$		
$T_1 = 10\ ^\circ\text{C}$	$P_{OSA1} = 0,202\ \text{mW}$	$DP(T_1) = 0,010$
$T_2 = 15\ ^\circ\text{C}$	$P_{OSA2} = 0,204\ \text{mW}$	$DP(T_2) = 0,020$
$T_3 = 20\ ^\circ\text{C}$	$P_{OSA3} = 0,199\ \text{mW}$	$DP(T_3) = -0,005$
$T_4 = 25\ ^\circ\text{C}$	$P_{OSA4} = 0,197\ \text{mW}$	$DP(T_4) = -0,015$
$T_5 = 30\ ^\circ\text{C}$	$P_{OSA5} = 0,200\ \text{mW}$	$DP(T_5) = 0,0$
$T_6 = 35\ ^\circ\text{C}$	$P_{OSA6} = 0,207\ \text{mW}$	$DP(T_6) = 0,035$

From these values:

$$D_{P_{TMP,MAX}} = 0,035$$

$$D_{P_{TMP,MIN}} = -0,015$$

The uncertainty due to temperature dependence, $u_{D_{P_{TMP}}}$, is obtained from Equation (36).

$$u_{D_{P_{\text{TMP}}}} = \frac{|D_{P_{\text{TMP},\text{MAX}}}|}{\sqrt{3}} = \frac{0,035}{\sqrt{3}} = 0,020\ 2 \quad (\text{B.19})$$

B.3.3 Expanded uncertainty calculation

The following example shows the expanded uncertainty calculation when calibration is performed under operating conditions.

The uncertainty of the power level is obtained from Equation (38) and with setting resolutions as negligible.

$$\begin{aligned} u_{D_{\text{Pop}}} &= \sqrt{0,050\ 3^2 + 0,050\ 2^2 + 0,018\ 8^2 + 0,022\ 5^2 + 0,020\ 2^2} \\ &= \sqrt{0,006\ 33} = 0,079\ 5 \end{aligned} \quad (\text{B.20})$$

U_p in dB units is obtained from Equation (42).

$$U_p (\text{dB}) = 10 \log_{10}(1 + 2 \times 0,079\ 5) = 0,64 (\text{dB}) \quad (\text{B.21})$$

Annex C (informative)

Using the calibration results

C.1 General

C.1.1 Overview

Calibrated measurements may be required for conditions that differ from those under which the instrument was calibrated, for example, the measurement of a source at a wavelength that falls between two wavelength calibration points. Therefore, it is necessary to employ the interpolation techniques outlined in Annex C.

Interpolation of calibration results will only be valid for certain parameters and restrictions will apply to the ranges over which the interpolation is valid.

C.1.2 Parameters

The method outlined in Annex C can be applied to the following parameters:

- 1) calibration of the wavelength scale correction as a function of vacuum wavelength;
- 2) calibration of the instrument resolution bandwidth as a function of vacuum wavelength;
- 3) calibration of the instrument power level as a function of vacuum wavelength;
- 4) calibration of the instrument power linearity as a function of vacuum wavelength.

The method outlined in Annex C is not applicable to the following parameter:

- polarization dependence.

C.1.3 Restrictions

The interpolation method outlined in Annex C is subject to certain restrictions.

- 1) The operator shall ensure that sufficient calibration points are available to verify that the interpolation model is valid.
- 2) Prediction of calibration corrections for parameters falling outside the range of the calibration points (extrapolation) is not allowed.
- 3) Certain OSA designs use a diffractive element to select the wavelength and may also use different detectors to cover the wavelength range of the instrument. Interpolation of calibration corrections across such changes in the instrument state is not allowed.
- 4) If a polynomial fit model is used then the degree of the polynomial should be significantly less than the number of calibration points.
- 5) The validity range of any interpolating function shall always be provided.
- 6) If the distribution of calibration points is not uniform then it may be necessary to weigh the calibration values when fitting the interpolation model. A statistician or other suitably qualified staff should certify that the choice of weighting values is justified.

C.2 Additive corrections

C.2.1 Parameters

In Clause C.2 all examples and symbols will relate to the calibration of the wavelength scale of an OSA using a linear fit.

C.2.2 Measurements close to a calibration reference wavelength

If the OSA is used to measure a wavelength sufficiently close to one of the reference wavelengths used in the calibration, then the measured wavelengths can be corrected to give an approximation to the vacuum wavelength λ_{corr} , by rearranging Equation (13) as shown:

$$\lambda_{\text{corr}} = \lambda_{\text{OSA}} - D\lambda_{\lambda} \quad (\text{C.1})$$

where

λ_{OSA} is the wavelength measured by the test analyzer;

$D\lambda_{\lambda}$ is the wavelength deviation obtained from the calibration results.

The uncertainty in the corrected wavelength, $u_{\lambda_{\text{corr}}}$, is found by summing the measurement and correction contributions

$$u_{\lambda_{\text{corr}}} = \sqrt{u_{D\lambda_{\lambda}}^2 + u_{\lambda_{\text{OSA}}}^2} \quad (\text{C.2})$$

where

$u_{D\lambda_{\lambda}}$ is the uncertainty of the test analyzer due to wavelength dependence;

$u_{\lambda_{\text{OSA}}}$ is the standard uncertainty of the values measured during calibration.

C.2.3 Measurements at other wavelengths

In general, only a few reference wavelengths may have been used spread over a wide wavelength range. In this case it may be appropriate to describe the wavelength deviation by:

$$D\lambda_{\text{OSA}}(\lambda_{\text{OSA}}) = DS_{\lambda}\lambda_{\text{OSA}} + D\lambda_0 \quad (\text{C.3})$$

where DS_{λ} is a scale factor which ideally should be zero and $D\lambda_0$ is an offset which again ideally should be zero. The relationship between the measured wavelength and the true vacuum wavelength is given by:

$$\lambda_{\text{vac}}(\lambda_{\text{OSA}}) = \lambda_{\text{OSA}} + D\lambda_{\text{OSA}}(\lambda_{\text{OSA}}) + \varepsilon(\lambda_{\text{OSA}}) \quad (\text{C.4})$$

where $\lambda_{\text{vac}}(\lambda_{\text{OSA}})$ is the vacuum wavelength. The term $\varepsilon(\lambda_{\text{OSA}})$ represents an additional error, the form of which may depend on the particular instrument. For example, in an instrument using a sine-bar mechanism it might represent a periodic sine-bar error. This term also includes type A (random) uncertainty contributions.

Fitting the calibration results to Equation (C.3) using a least squares procedure will give DS_{λ} , and $D\lambda_0$.

Provided sufficient reference wavelengths are used, the wavelength differences can be fitted to an equation of higher order. Systematic or functional features in $\varepsilon(\lambda)$ will emerge as higher order term(s) and can therefore be used to correct the measured wavelengths. Appropriate care shall be taken to choose a fit equation appropriate for the characteristics of $\varepsilon(\lambda)$ and for the number of reference wavelengths used.

The RMS error due to the imperfect fit $u_{\varepsilon\lambda}$ can be calculated from the residual errors at the reference values.

$$u_{\varepsilon\lambda} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D\lambda_{\lambda,i} - D\lambda_{\text{OSA}}(D\lambda_{\text{OSA},i}))^2}{n-2}} \quad (\text{C.5})$$

NOTE Number of data points is $n - 2$ which arises from two parameters, i.e. the slope and intercept being fitted.

The wavelengths measured by the OSA can be corrected by subtracting $D\lambda(\lambda_{\text{OSA}})$ from λ_{OSA} .

$$\lambda_{\text{corr}} = \lambda_{\text{OSA}} - D\lambda(\lambda_{\text{OSA}}) \quad (\text{C.6})$$

The uncertainty in the calculated wavelength error/correction, $u_{D\lambda}$ is given by:

$$u_{D\lambda} = \sqrt{u_{\lambda_{\text{OSA}}}^2 + u_{\lambda_{\text{REF}}}^2 + u_{\varepsilon\lambda}^2} \quad (\text{C.7})$$

where $u_{\lambda_{\text{REF}}}$ is the uncertainty in the reference wavelengths used in the calibration. As several wavelengths are used, $u_{\lambda_{\text{REF}}}^2$ may be taken as the average of the $(u_{\lambda_{\text{REF},i}})^2$ used in the calibration. If laser/gas emission lines are used for the calibration, this term will be negligible.

C.3 Multiplicative corrections

C.3.1 Parameters

In Clause C.3, all examples and symbols will relate to the calibration of the displayed power scale of an OSA as a function of wavelength.

C.3.2 Measurements close to a calibration reference wavelength

If the OSA is used to measure a power close to one of the reference wavelengths used in the power calibration, then the measured power can be corrected to give an approximation of the true power P_C . Equation (20) can be rearranged to give:

$$P_C = \frac{P_{\text{OSA}}}{1 + D_P} \quad (\text{C.8})$$

The uncertainty in the corrected power, u_{P_C} , is determined by combining the uncertainties in the measured power and the displayed power calibration.

NOTE The measured and corrected power uncertainties are additive, whereas the uncertainty in the displayed power is multiplicative.

$$u_{P_C} = P_C \sqrt{u_{D_P}^2 + \frac{u_{P_{\text{OSA}}}^2}{P_{\text{OSA}}^2}} \quad (\text{C.9})$$

C.3.3 Measurements at other wavelengths

In general, only a few display calibrations may have been used spread over a wide wavelength range. In this case it may be appropriate to describe the calibration error by a function.

$$DP_{\text{diff}}(\lambda_{\text{OSA}}) = DS_p \lambda_{\text{OSA}} + DP_o \quad (\text{C.10})$$

where DS_p is a scale factor which ideally should be zero and DP_o is an offset which again ideally should be zero. The relationship between the measured power and the true power is given by:

$$P_{\text{true}}(\lambda_{\text{OSA}}) = \frac{P_{\text{OSA}}}{1 + DP_{\text{diff}}(\lambda_{\text{OSA}}) + \varepsilon_p(\lambda_{\text{OSA}})} \quad (\text{C.11})$$

The term $\varepsilon_p(\lambda_{\text{OSA}})$ represents an additional error, the form of which may depend on the particular instrument. For example, in an instrument using a cooled photodetector this might represent the derivative of the detector response. This term also includes type A (random) uncertainty contributions.

Fitting the calibration results to Equation (C.10) using a least squares procedure will give DS_p and DP_o . The RMS error due to the imperfect fit $u_{\varepsilon p}$ can be calculated from the residual errors at the reference values.

$$u_{\varepsilon p} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (DP_{\text{diff}, \lambda_i} - DP_{\text{diff}}(\Delta \lambda_i))^2}{n-2}} \quad (\text{C.12})$$

NOTE Number of data points is $n - 2$ which arises from two parameters, i.e. the slope and intercept being fitted.

The power measured by the OSA can be corrected as follows:

$$P_c(\lambda_{\text{OSA}}) = \frac{P_{\text{OSA}}}{1 + DP_{\text{diff}}(P_{\text{OSA}})} \quad (\text{C.13})$$

The uncertainty in the calculated power correction is similar to Equation (C.9) with an additional term for the fitting error $u_{\varepsilon p}$.

$$u_{P_c}(\lambda_{\text{OSA}}) = P_c(\lambda_{\text{OSA}}) \sqrt{u_{DP_{\text{diff}}}^2 + u_{\varepsilon p}^2 + \frac{u_{P_{\text{OSA}}}^2}{P_{\text{OSA}}(\lambda_{\text{OSA}})^2}} \quad (\text{C.14})$$

C.4 OSA calibration results (additive correction)

In the following example (see Table C.1, Table C.2 and Figure C.1), the procedure outlined in Clause C.2 is used to calibrate the wavelength scale of an OSA. The reference wavelengths were krypton gas emission lines (see Annex D).

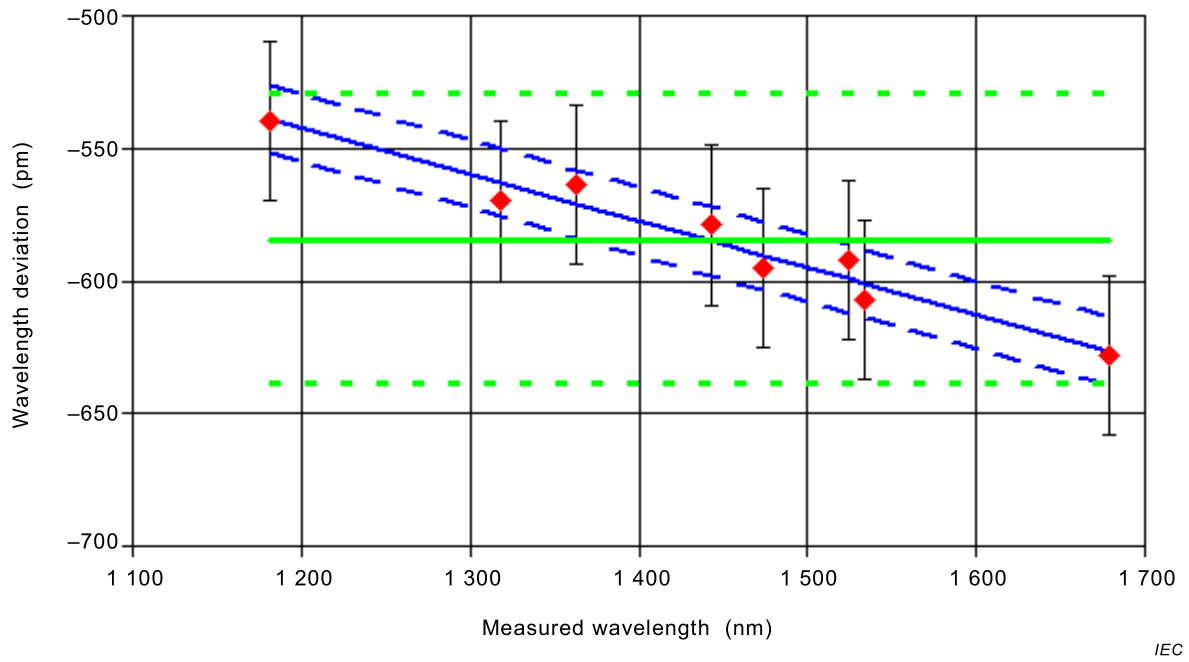
Table C.1 – OSA calibration results

λ_{REF} (nm)	λ_{OSA} (nm)	$\lambda_{OSA} - \lambda_{REF}$ (pm)	$\lambda_{corr} - \lambda_{REF}$ ^a (pm)	$u_{D\lambda}$ (pm)
1 182,261	1 181,721	–540	–0,8	±15
1 318,102	1 317,532	–570	–7,0	±15
1 363,795	1 363,231	–564	7,0	±15
1 443,074	1 442,495	–579	5,9	±15
1 473,846	1 473,251	–595	–4,7	±15
1 524,378	1 523,786	–592	7,1	±15
1 533,915	1 533,308	–607	–6,2	±15
1 678,971	1 678,343	–628	–1,8	±15
		<–584,4> 88 pk–pk	<–0,8> 14,2 pk–pk	

^a $\lambda_{corr} - \lambda_{REF}$ is dominated by the contribution from u_{ϵ} .

Table C.2 – Summary of OSA calibration parameters

Parameter	Symbol	Value	Unit
Minimum wavelength	λ_{MIN}	1 183	nm
Maximum wavelength	λ_{MAX}	1 678	nm
Slope	DS	$-1,753 \times 10^{-4}$	–
Intercept	$D\lambda_0$	–332	pm
Wavelength correction uncertainty	u_{ϵ}	±6,4	pm
Wavelength offset	$D\lambda_{\lambda}$	–584,4	pm
Wavelength uncertainty	$u_{D\lambda_{\lambda}}$	±27,3	pm



IEC

Figure C.1 – Calibration of OSA wavelength scale using krypton emission lines; 95 % confidence intervals shown

Annex D (informative)

Wavelength references

D.1 General

Annex D provides lists of laser and lamp emission lines, absorption features and optogalvanic transitions that are known to have sufficient precision to provide wavelength reference points for OSA calibration. These tables give the vacuum wavelengths of the dominant transitions only.

Gas laser lines provide intense (> 1 mW) and well-defined wavelength (frequency) sources. Lamp emission lines are low intensity features, typically a few nanowatts can be launched into single-mode fibre. At low gas pressures, absorption and optogalvanic transitions are narrow features, typically several hundred megahertz wide. These transitions are normally used to stabilize the wavelength of a semiconductor laser and provide an active reference. At high pressures, absorption transitions are broadened and can be viewed directly by the OSA using a lamp or light-emitting diode as a source. At higher pressures, all of these reference lines can shift slightly due to collisions. This “pressure shift” has not been characterized for all of the references listed in Annex D. Measurements have been made at the National Institute of Standards and Technology (NIST) for the $\nu_1 + \nu_3$ band of acetylene $^{12}\text{C}_2\text{H}_2$ and the $2\nu_3$ band of hydrogen cyanide $\text{H}^{13}\text{C}^{14}\text{N}$ [11,12]¹. These measurements show that the pressure shift can be as large as 2 pm for hydrogen cyanide gas at a pressure of 13 kPa (about 100 Torr). The acetylene pressure shift is less, but can exceed 1 pm at higher pressures. The line centres listed below were measured in the low pressure regime. Although some of these line centres have been measured to higher accuracy, the tables list the wavelengths to a precision of 1 pm due to possible variations of the line centres at this level.

D.2 Gas laser lines

The vacuum wavelengths of selected gas laser lines are given in Table D.1.

Table D.1 – Vacuum wavelengths (nm) of selected gas laser lines

Ar laser	488,122	He-Ne laser ^a	632,991
	514,673		1 152,590
			1 523,488
^a In the He-Ne laser at 1 152 nm wavelength, there may be two modes. Ensure the correct line is used.			

D.3 Noble gas reference lines

The noble gasses He, Ne, Kr, Ar and Xe have transition lines that are well known and can be used as wavelength reference points. Table D.2 lists a number of the stronger lines [13,14].

¹ Numbers in brackets refer to the Bibliography.

Table D.2 – Vacuum wavelengths (nm) of noble gas reference lines

Kr	810,659	Ne	1 114,607	Kr	1 298,884 ^a	Kr	1 496,598 ^a
Kr	811,513	Ne	1 118,059	Ar	1 301,182 ^a	Kr	1 500,941 ^a
Kr	819,231	Ne	1 139,355	Kr	1 318,102 ^a	Kr	1 501,914 ^a
Kr	826,551	Ne	1 141,226	Ne	1 321,761 ^a	Ar	1 505,062 ^a
Kr	830,039	Ne	1 152,590	Ne	1 322,286 ^a	Ar	1 517,694 ^a
Kr	851,121	Ne	1 152,818	Ar	1 323,172	Kr	1 521,368 ^a
Kr	877,916	Ne	1 153,950	Ar	1 327,627	Ne	1 523,488 ^a
Kr	893,114	Ne	1 161,726	Ar	1 331,685	Kr	1 524,378 ^a
Ar	912,547	Ne	1 177,001	Ar	1 337,077	Kr	1 533,067 ^a
Ar	922,703	Ne	1 179,227	Ar	1 350,788	Ar	1 533,353 ^a
Ar	935,679	Kr	1 182,261	Kr	1 362,614	Kr	1 533,915 ^a
Ar	966,044	Ne	1 198,819	Ar	1 362,638	Kr	1 537,624 ^a
Ne	966,807	Ne	1 206,964	Kr	1 363,795	Xe	1 542,261
Kr	975,443	Ne	1 246,280	Xe	1 366,079	Kr	1 543,795 ^a
Ar	978,719	Ar	1 249,108 ^a	Kr	1 366,213	Kr	1 547,825 ^a
Xe	980,239	Xe	1 262,684	Ar	1 372,233	Kr	1 563,978 ^a
Xe	992,591	Ne	1 269,267	Kr	1 374,261	Kr	1 568,533 ^a
Kr	1 022,426	Ar	1 270,576 ^a	Kr	1 404,950	Kr	1 577,614 ^a
Ne	1 029,824	Ar	1 273,690 ^a	Xe	1 414,631	Kr	1 582,441 ^a
Ar	1 047,292	Ar	1 274,972 ^a	Xe	1 424,485	Xe	1 605,767
Ne	1 056,530	Ar	1 280,624 ^a	Kr	1 443,074	Xe	1 673,272
Ne	1 080,103	Kr	1 286,541 ^a	Xe	1 473,680	Kr	1 678,971
He	1 083,322	Ne	1 291,555 ^a	Kr	1 473,846 ^a	Kr	1 685,809
He	1 083,331	Ar	1 293,673 ^a	Kr	1 476,671 ^a	Kr	1 690,137
Ne	1 084,745	Ar	1 296,020 ^a	Kr	1 476,951 ^a	Kr	1 694,043
						Xe	1 733,050
^a Gases which have already been observed using the optogalvanic effect [15–19].							

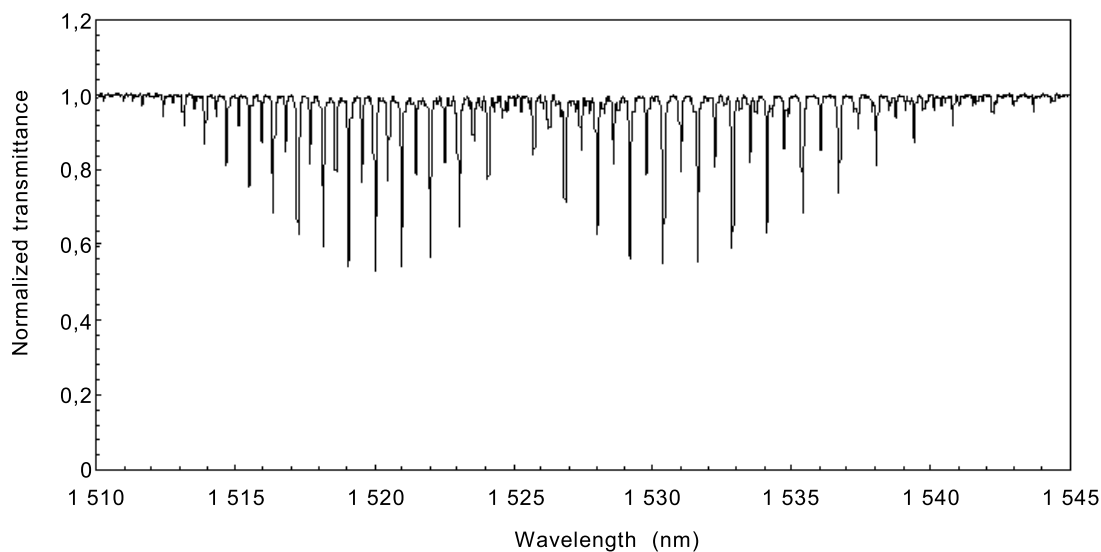
D.4 Molecular absorption lines

Tables D.3, D.4 and D.5 and Figure D.1 and Figure D.2 list a selection of molecular absorption lines in the 1 510 nm to 1 565 nm region for wavelength calibration in this telecommunications window [20].

**Table D.3 – Vacuum wavelengths (nm)
for the $\nu_1+\nu_3$ band of acetylene $^{12}\text{C}_2\text{H}_2$ absorption lines [21-23]**

R31	1 511,033	R15	1 517,314	P1	1 525,760	P17	1 535,393
R30	1 511,378	R14	1 517,760	P2	1 526,314	P18	1 536,049
R29	1 511,730	R13	1 518,213	P3	1 526,874	P19	1 536,713
R28	1 512,088	R12	1 518,672	P4	1 527,441	P20	1 537,382
R27	1 512,452	R11	1 519,137	P5	1 528,014	P21	1 538,058
R26	1 512,823	R10	1 519,608	P6	1 528,594	P22	1 538,741
R25	1 513,200	R9	1 520,086	P7	1 529,180	P23	1 539,430
R24	1 513,583	R8	1 520,570	P8	1 529,772	P24	1 540,125
R23	1 513,972	R7	1 521,060	P9	1 530,371	P25	1 540,827
R22	1 514,368	R6	1 521,557	P10	1 530,976	P26	1 541,536
R21	1 514,770	R5	1 522,060	P11	1 531,588	P27	1 542,251
R20	1 515,178	R4	1 522,570	P12	1 532,206	P28	1 542,972
R19	1 515,593	R3	1 523,085	P13	1 532,830	P29	1 543,700
R18	1 516,014	R2	1 523,608	P14	1 533,461	P30	1 544,435
R17	1 516,441	R1	1 524,136	P15	1 534,099	P31	1 545,176
R16	1 516,875	R0	1 524,671	P16	1 534,742		

NOTE The lines with odd numbers are the stronger lines.



IEC

Figure D.1 – Absorption of LED light by acetylene ($^{12}\text{C}_2\text{H}_2$)

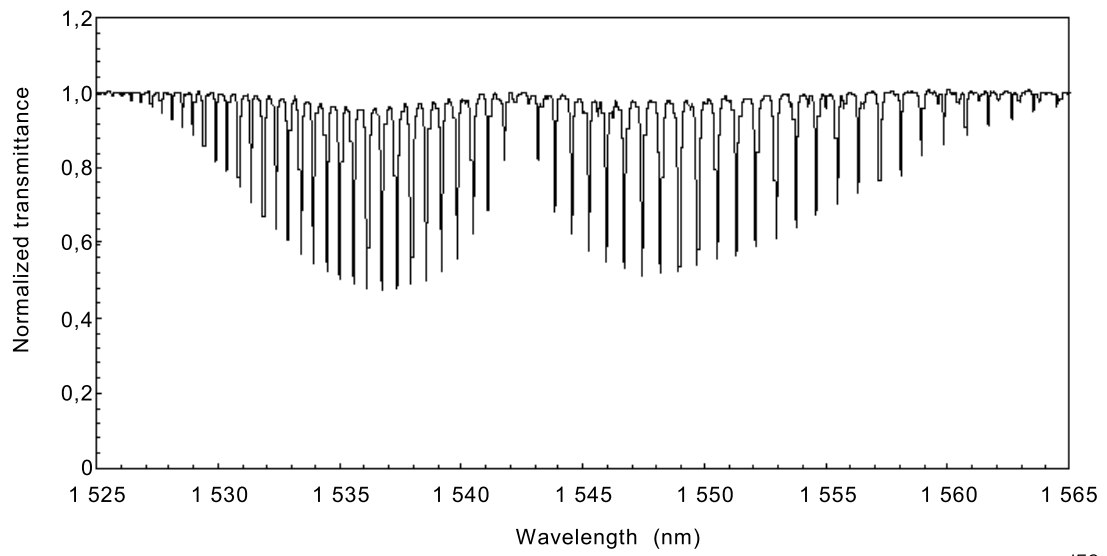
**Table D.4 – Vacuum wavelengths (nm)
for the $\nu_1+\nu_3$ band of acetylene $^{13}\text{C}_2\text{H}_2$ absorption lines [21-23]**

R29	1 520,111	R13	1 526,498	P1	1 533,818	P17	1 543,001
R28	1 520,466	R12	1 526,947	P2	1 534,350	P18	1 543,624
R27	1 520,828	R11	1 527,401	P3	1 534,887	P19	1 544,253
R26	1 521,195	R10	1 527,860	P4	1 535,430	P20	1 544,887
R25	1 521,568	R9	1 528,326	P5	1 535,978	P21	1 545,528
R24	1 521,947	R8	1 528,797	P6	1 536,532	P22	1 546,174
R23	1 522,332	R7	1 529,274	P7	1 537,091	P23	1 546,827
R22	1 522,723	R6	1 529,757	P8	1 537,656	P24	1 547,485
R21	1 523,119	R5	1 530,245	P9	1 538,227	P25	1 548,149
R20	1 523,521	R4	1 530,739	P10	1 538,803	P26	1 548,819
R19	1 523,929	R3	1 531,238	P11	1 539,385	P27	1 549,495
R18	1 524,343	R2	1 531,744	P12	1 539,974	P28	1 550,178
R17	1 524,763	R1	1 532,254	P13	1 540,567	P29	1 550,866
R16	1 525,188	R0	1 532,770	P14	1 541,167	P30	1 551,560
R15	1 525,619			P15	1 541,772	P31	1 552,260
R14	1 526,056			P16	1 542,384		

NOTE The lines with even numbers are the stronger lines.

**Table D.5 – Vacuum wavelengths (nm)
of selected hydrogen cyanide ($\text{H}^{13}\text{C}^{14}\text{N}$) absorption lines [24]**

R25	1 528,054	R12	1 534,415	P1	1 543,114	P14	1 552,931
R24	1 528,485	R11	1 534,972	P2	1 543,809	P15	1 553,756
R23	1 528,926	R10	1 535,540	P3	1 544,515	P16	1 554,591
R22	1 529,376	R9	1 536,117	P4	1 545,230	P17	1 555,436
R21	1 529,836	R8	1 536,704	P5	1 545,955	P18	1 556,292
R20	1 530,306	R7	1 537,300	P6	1 546,690	P19	1 557,157
R19	1 530,786	R6	1 537,907	P7	1 547,435	P20	1 558,033
R18	1 531,275	R5	1 538,523	P8	1 548,190	P21	1 558,919
R17	1 531,774	R4	1 539,149	P9	1 548,955	P22	1 559,814
R16	1 532,283	R3	1 539,786	P10	1 549,731	P23	1 560,720
R15	1 532,801	R2	1 540,431	P11	1 550,516	P24	1 561,636
R14	1 533,329	R1	1 541,087	P12	1 551,311	P25	1 562,563
R13	1 533,867	R0	1 541,753	P13	1 552,116	P26	1 563,499



IEC

Figure D.2 – Absorption of LED light by hydrogen cyanide (H¹³C¹⁴N)

Bibliography

International standards:

- [1] IEC 60050-311, *International Electrotechnical Vocabulary – Electrical and electronic measurements – General terms relating to measurements* (available at <http://www.electropedia.org>)
- [2] IEC 60050-312, *International Electrotechnical Vocabulary – Electrical and electronic measurements – General terms relating to electrical measurements* (available at <http://www.electropedia.org>)
- [3] IEC 60050-313, *International Electrotechnical Vocabulary – Electrical and electronic measurements – Types of electrical measuring instruments* (available at <http://www.electropedia.org>)
- [4] IEC 60050-314, *International Electrotechnical Vocabulary – Electrical and electronic measurements – Specific terms according to the type of instrument* (available at <http://www.electropedia.org>)
- [5] IEC 60793-2-50, *Optical fibres – Part 2-50: Product specifications – Sectional specification for class B single-mode fibres*
- [6] IEC 61315, *Calibration of fibre-optic power meters*
- [7] IEC 62129-2, *Calibration of wavelength/optical frequency measurement instruments – Part 2: Michelson interferometer single wavelength meters*
- [8] IEC 62522, *Calibration of tuneable laser sources*

Operation of an OSA at high altitude may affect the accuracy of the wavelength scale. Such effects may be negligible in some brands of OSAs, but they may be significant in others. This is because the index of refraction of air depends on pressure and humidity as well as temperature. Good references on this subject are:

- [9] EDLEN, B. *The refractive index of air*. Metrologia, 1966, Vol. 2, No. 2.
- [10] PECK, ER. and REEDER, K. *Dispersion of Air*. JOSA, 1972, Vol. 62, No. 8.

Other references:

- [11] GILBERT, SL. and SWANN, WC. *Standard Reference Materials: Acetylene 12C2H2 Absorption Reference for 1510-1540 nm Wavelength Calibration – SRM 2517*. NIST Spec. Publ. 260-133 (1998).
- [12] GILBERT, SL., SWANN, WC. and WANG, CM. *Standard Reference Materials: Hydrogen Cyanide H13C14N Absorption Reference for 1 530–1 560 nm Wavelength Calibration – SRM 251*. NIST Spec. Publ. 260-137, 1998.
- [13] HUMPHREYS, DA. *Accurate wavelength calibration for optical spectrum analyzers, in Technical Digest – Symposium on Optical Fiber Measurements*. NIST Spec. Publ. 905, 1996, p. 97-100.
- [14] KAUFMAN, V. and EDLEN, B. *Reference wavelengths from atomic spectra in the range 15 Å to 25000 Å*. J. Phys. Chem. Ref. Data, 1974, vol. 3, no. 4, p. 825-895

- [15] LUCERO, AJ., Chung, YC. and TKACH, RW. *Survey of optical transitions for absolute frequency locking for lightwave systems*. IEEE Photon. Technol. Lett., 1991, vol. 3, No 5, p. 484-486.
- [16] FISCHER, UP. and VON HELMOLT, C. *Absorption spectra of excited Kr 84 states between 1,5 and 1,58 μm and their use for absolute frequency locking*. J. Lightwave Technol., 1996, vol. 14, No 2, p. 139-142.
- [17] CHUNG, YC. *Frequency-locked 1,3- and 1,5- μm semiconductor lasers for lightwave systems applications*. J. Lightwave Technol., June, 1990, vol. 8, no. 6, p. 869.
- [18] HUMPHREYS, DA. and CAMPBELL, C. *Preliminary results of L-band excited-state optical frequency reference survey, in Conference Digest – 6th Optical Fibre Measurement Conference*. NPL, UK, 2001, p. 179-182.
- [19] HUMPHREYS, DA., CAMPBELL, C., BERNARD, F., and PATEL, P. *Recent developments of excited-state optical frequency standards for telecommunications', in Technical Digest – Symposium on Optical Fiber Measurements*. NIST Spec. Publ. 988, 2002, p. 79-82.
- [20] GILBERT, SL., DRAPELA, TJ. and FRANZEN, DL. *Moderate-Accuracy Wavelength Standards for Optical Communications, in Technical Digest – Symposium on Optical Fiber Measurements*. NIST Spec. Publ. 839, 1992, p. 191-194.
- [21] NAKAGAWA, K., DE LABACHELERIE, M., AWAJI, Y. and KOUROGI, M. *Accurate optical frequency atlas of the 1,5 μm bands of acetylene*. Journal of the Optical Society of America B (JOSA B), December 1996, vol. 13, no. 12, p. 2708-2714.
- [22] MADEJ, A. A., ALCOCK, A. J., CZAJKOWSKI, A., BERNARD, J. E. and CHEPUROV, S. *Accurate absolute reference frequencies from 1511 to 1545 nm of the $\nu_1 - \nu_3$ band of $^{12}\text{C}_2\text{H}_2$ determined with laser frequency comb interval measurements*. Journal of the Optical Society of America B (JOSA B), October 2006, vol. 23, no. 10, p. 2200-2208.
- [23] EDWARDS, C. S., MARGOLIS, H. S., BARWOOD, G. P., LEA, S. N., GILL, P. and ROWLEY, W. R. C. *High-accuracy frequency atlas of $^{13}\text{C}_2\text{H}_2$ in the 1.5 μm region*. Applied Physics B, June 2005, vol. 80, p. 977-983.
- [24] SASADA, H. and YAMADA, K. *Calibration lines of HCN in the 1,5 – μm region*. Appl. Opt., 1990, vol. 29, p. 3535-3547

Unnumbered references:

IEC 60359:2001, *Electrical and electronic measurement equipment – Expression of performance*

IEC 61290-3-1, *Optical amplifiers – Test methods – Part 3-1: Noise figure parameters – Optical spectrum analyzer method*

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	59
1 Domaine d'application	61
2 Références normatives	61
3 Termes et définitions	61
4 Préparation pour l'étalonnage	66
4.1 Organisation	66
4.2 Traçabilité	66
4.3 Préparation	66
4.4 Conditions d'étalonnage de référence	66
5 Etalonnage de la longueur d'onde	67
5.1 Vue d'ensemble	67
5.2 Etalonnage de la longueur d'onde dans des conditions de référence.....	67
5.2.1 Généralités	67
5.2.2 Appareillage pour l'étalonnage de la longueur d'onde dans des conditions de référence	68
5.2.3 Procédure pour l'étalonnage de la longueur d'onde dans des conditions de référence	69
5.2.4 Calculs de l'incertitude de la longueur d'onde dans des conditions de référence	69
5.3 Etalonnage de la longueur d'onde pour des conditions de fonctionnement	70
5.3.1 Généralités	70
5.3.2 Dépendance par rapport à la longueur d'onde	70
5.3.3 Dépendance par rapport à la température	71
5.4 Calcul de l'incertitude étendue	73
6 Etalonnage du niveau de puissance.....	73
6.1 Vue d'ensemble	73
6.2 Etalonnage du niveau de puissance dans des conditions de référence.....	74
6.2.1 Généralités	74
6.2.2 Appareillage pour l'étalonnage du niveau de puissance dans des conditions de référence	74
6.2.3 Procédure pour l'étalonnage du niveau de puissance dans des conditions de référence	75
6.2.4 Calcul de l'incertitude du niveau de puissance dans des conditions de référence	75
6.3 Etalonnage du niveau de puissance pour des conditions de fonctionnement	76
6.3.1 Généralités	76
6.3.2 Dépendance par rapport à la longueur d'onde	76
6.3.3 Dépendance par rapport à la polarisation	78
6.3.4 Linéarité	80
6.3.5 Dépendance par rapport à la température	82
6.4 Calcul de l'incertitude étendue	83
7 Essai de résolution spectrale	84
7.1 Vue d'ensemble	84
7.2 Essai de résolution spectrale	84
7.2.1 Généralités	84
7.2.2 Appareillage pour l'essai de la résolution spectrale.....	85

7.2.3	Procédure d'essai pour la résolution spectrale	85
8	Documentation	86
8.1	Conditions de mesure	86
8.2	Données de mesure et incertitude	86
Annexe A (normative)	Bases mathématiques	87
A.1	Généralités	87
A.2	Évaluation de l'incertitude de type A	87
A.3	Évaluation de l'incertitude de type B	87
A.4	Détermination de l'incertitude-type combinée	88
A.5	Rapport	89
Annexe B (informative)	Exemples de calcul de l'incertitude d'étalonnage	90
B.1	Généralités	90
B.2	Étalonnage de la longueur d'onde	90
B.2.1	Incertitudes dans des conditions de référence: $u_{D_{\lambda_{ref}}}$	90
B.2.2	Incertitude dans des conditions de fonctionnement	91
B.2.3	Calcul de l'incertitude étendue	92
B.3	Étalonnage du niveau de puissance	93
B.3.1	Incertitudes dans des conditions de référence: $u_{D_{Pref}}$	93
B.3.2	Incertitude dans des conditions de fonctionnement	94
B.3.3	Calcul de l'incertitude étendue	97
Annexe C (informative)	Utilisation des résultats d'étalonnage	98
C.1	Généralités	98
C.1.1	Vue d'ensemble	98
C.1.2	Paramètres	98
C.1.3	Restrictions	98
C.2	Corrections additives	99
C.2.1	Paramètres	99
C.2.2	Mesures proches de la longueur d'onde de référence d'étalonnage	99
C.2.3	Mesures à d'autres longueurs d'onde	99
C.3	Corrections multiplicatrices	100
C.3.1	Paramètres	100
C.3.2	Mesures proches de la longueur d'onde de référence d'étalonnage	100
C.3.3	Mesures à d'autres longueurs d'onde	101
C.4	Résultats de l'étalonnage de l'OSA (correction additive)	102
Annexe D (informative)	Références de longueur d'onde	104
D.1	Généralités	104
D.2	Raies laser à gaz	104
D.3	Raies de référence de gaz rares	105
D.4	Raies d'absorption moléculaire	105
Bibliographie	109
Figure 1	– Montage utilisant un laser à gaz de longueur d'onde connue	68
Figure 2	– Montage utilisant une source à large bande avec un dispositif de transmission	68
Figure 3	– Montage utilisant une diode laser de longueur d'onde inconnue	68
Figure 4	– Configuration d'essai pour déterminer la dépendance de l'incertitude de la longueur d'onde vis-à-vis de la température	72

Figure 5 – Montage pour l'étalonnage du niveau de puissance dans des conditions de référence	74
Figure 6 – Configuration d'essai pour déterminer la dépendance de l'incertitude du niveau de puissance vis-à-vis de la longueur d'onde	77
Figure 7 – Configuration d'essai pour déterminer la dépendance de l'incertitude du niveau de puissance vis-à-vis de la polarisation	79
Figure 8 – Configuration pour réaliser les essais d'erreur de linéarité de l'incertitude du niveau de puissance	80
Figure 9 – Configuration d'essai pour déterminer la dépendance de l'incertitude du niveau de puissance vis-à-vis de la température	82
Figure C.1 – Etalonnage de l'échelle de la longueur d'onde de l'OSA utilisant des raies d'émission de krypton; intervalles de confiance de 95 % montrés	103
Figure D.1 – Absorption du rayonnement lumineux d'une LED par l'acétylène ($^{12}\text{C}_2\text{H}_2$)	106
Figure D.2 – Absorption du rayonnement lumineux d'une DEL par l'acide cyanhydrique ($\text{H}^{13}\text{C}^{14}\text{N}$)	108
Tableau 1 – Sources de rayonnement lumineux recommandées	85
Tableau C.1 – Résultats de l'étalonnage de l'OSA	102
Tableau C.2 – Résumé des paramètres d'étalonnage de l'OSA	102
Tableau D.1 – Longueurs d'onde dans le vide (nm) des raies laser à gaz sélectionnées	104
Tableau D.2 – Longueurs d'onde dans le vide (nm) des raies de référence de gaz rares	105
Tableau D.3 – Longueurs d'onde dans le vide (nm) pour les raies d'absorption de la bande $\nu_1+\nu_3$ de l'acétylène $^{12}\text{C}_2\text{H}_2$ [21-23]	106
Tableau D.4 – Longueurs d'onde dans le vide (nm) pour les raies d'absorption de la bande $\nu_1+\nu_3$ de l'acétylène $^{12}\text{C}_2\text{H}_2$ [21-23]	107
Tableau D.5 – Longueurs d'onde dans le vide (nm) pour les raies d'absorption de l'acide cyanhydrique ($\text{H}^{13}\text{C}^{14}\text{N}$) sélectionnées [24]	107

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**ÉTALONNAGE DES APPAREILS DE MESURE DE LONGUEUR
D'ONDE/APPAREIL DE MESURE DE LA FREQUENCE OPTIQUE –****Partie 1: Analyseurs de spectre optique****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 62129-1 a été établie par le comité d'études 86 de l'IEC: Fibres optiques.

Cette première édition de l'IEC 62129-1 annule et remplace la première édition de l'IEC 62129 parue en 2006. Cette édition constitue une révision technique.

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

- a) la mise à jour des termes et définitions;
- b) la mise à jour des conditions d'étalonnage;

- c) la modification du calcul des incertitudes liées à la dépendance de la longueur d'onde vis-à-vis de la température, liées à la linéarité de la puissance, et liées à la dépendance du niveau de puissance vis-à-vis de la température;
- d) l'Annexe E a été déplacée dans la bibliographie.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

CDV	Rapport de vote
86/477/CDV	86/483/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.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 62129, publiées sous le titre général *Étalonnage des appareils de mesure de la longueur d'onde/de la fréquence optique*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

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

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

ÉTALONNAGE DES APPAREILS DE MESURE DE LONGUEUR D'ONDE/APPAREIL DE MESURE DE LA FREQUENCE OPTIQUE –

Partie 1: Analyseurs de spectre optique

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 62129 spécifie des procédures pour étalonner un analyseur de spectre optique développé pour être utilisé dans les communications par fibres optiques et conçu pour mesurer la distribution en puissance d'un spectre optique. Elle ne s'applique pas aux appareils de mesure de longueurs d'onde optique mesurant uniquement les longueurs d'onde centrales, aux interféromètres de type Fabry-Perot, ni aux monochromateurs ne possédant pas d'unité d'affichage.

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 60050-731, *Vocabulaire électrotechnique international – Chapitre 731: Télécommunications par fibres optiques* (disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org>)

IEC 60793-2 (toutes les parties), *Fibres optiques – Partie 2: Spécifications de produits*

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

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

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

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de l'IEC 60050-731, ainsi que les suivants, s'appliquent.

3.1

laboratoire d'étalonnage accrédité

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

3.2

étalonnage

ensemble des opérations qui établissent, dans des conditions spécifiées, la relation entre les valeurs fournies par un appareil de mesure et les valeurs correspondantes fournies par des étalons

Note 1 à l'article: Le résultat d'un étalonnage permet soit l'attribution de valeurs des mesurandes 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: Guide ISO/IEC 99:2007, 2.39, modifié — seule la première partie de la définition est utilisée]

3.3 étalonnage dans les conditions de référence

étalonnage qui inclut l'évaluation de l'incertitude d'essai de l'analyseur dans les conditions de référence (3.18)

3.4 étalonnage pour les conditions de fonctionnement

étalonnage pour les conditions de fonctionnement d'un analyseur de spectre optique (3.15) incluant l'étalonnage de l'incertitude d'essai fonctionnel de l'analyseur

3.5 longueur d'onde centrale longueur d'onde centroïdale

λ_c
longueur d'onde moyenne pondérée en puissance d'une source de rayonnement lumineux dans le vide

Note 1 à l'article: La longueur d'onde centrale est exprimée en nanomètres (nm).

Note 2 à l'article: Pour un spectre continu, la longueur d'onde centrale est définie par:

$$\lambda_c = \frac{\int p(\lambda)\lambda d\lambda}{P_{\text{total}}} \quad (1)$$

Pour un spectre constitué de modes discrets, la longueur d'onde centrale est définie par:

$$\lambda_c = \frac{\sum_i P_i \lambda_i}{\sum_i P_i} \quad (2)$$

où

$p(\lambda)$ est la densité spectrale de puissance de la source, par exemple en W/nm;

λ_i est la longueur d'onde dans le vide du $i^{\text{ème}}$ mode discret;

P_i est la puissance du $i^{\text{ème}}$ mode discret, par exemple en W;

P_{total} est la puissance totale, par exemple en W.

Note 3 à l'article: Les intégrales et les sommes ci-dessus s'étendent théoriquement sur le spectre entier de la source de rayonnement lumineux.

3.6 niveau de confiance

intervalle de confiance

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

Note 1 à l'article: Voir incertitude étendue (3.8).

3.7

facteur de couverture

k

facteur par lequel l'incertitude-type (3.22), *u*, est multipliée pour calculer l'incertitude étendue *U* (3.8)

Note 1 à l'article: Voir 3.8.

3.8

incertitude étendue

U

plage de valeurs à l'intérieur de laquelle le paramètre de mesure, au niveau de confiance indiqué (3.6), est censé se trouver

Note 1 à l'article: Il est égal au produit du facteur de couverture *k* (3.7), par l'incertitude-type combinée, *u* (3.22)

$$U = ku \quad (3)$$

Note 2 à l'article: Lorsque la distribution des incertitudes est considérée comme normale et qu'un grand nombre de mesures ont été effectuées, alors les niveaux de confiance (3.6) de 68,3 %, 95,5 % et 99,7 % correspondent, respectivement, à des valeurs de *k* de 1, 2 et 3.

Note 3 à l'article: Il convient que l'incertitude de mesure d'un analyseur de spectre optique (3.15) soit spécifiée sous la forme d'une incertitude étendue, *U*

3.9

mode de l'appareil

description complète des conditions de mesure et de l'état d'un analyseur de spectre optique (3.15) pendant le processus d'étalonnage

Note 1 à l'article: Les paramètres typiques du mode de l'appareil sont la plage de longueurs d'onde affichée en utilisation, la résolution spectrale (3.19), le mode d'affichage (W ou dBm), le temps de préchauffage et les autres réglages de l'appareil.

3.10

résultat de mesure

sortie affichée ou électrique de tout analyseur de spectre optique (3.15) en longueur d'onde, exprimée en nm ou en μm , et en niveau de puissance, exprimé en mW ou en dBm, après toutes les opérations suggérées par les instructions d'utilisation (par exemple le préchauffage)

3.11

plage de mesure

ensemble de valeurs de mesurandes pour lesquelles on souhaite que l'erreur d'un appareil de mesure se trouve entre des limites spécifiées

3.12

étalon national de mesure

étalon reconnu par une décision nationale pour servir, dans un pays, comme base à l'attribution de valeurs à d'autres étalons de grandeurs de la même nature

[SOURCE: Guide ISO/IEC 99, 2007, 5.3, modifié]

3.13

laboratoire national de métrologie

laboratoire qui conserve l'étalon national (3.12)

3.14**conditions de fonctionnement**

toutes les conditions des grandeurs mesurées et des grandeurs d'influence, et autres exigences importantes que l'incertitude étendue (3.8) d'un analyseur de spectre optique (3.15) est destinée à satisfaire

[SOURCE: Guide ISO/IEC 99, 2007, 4.9, modifié]

3.15**analyseur de spectre optique****OSA**

instrument optique pour mesurer la distribution de puissance d'un spectre en fonction de la longueur d'onde (fréquence)

Note 1 à l'article: Un OSA est équipé d'un port d'entrée à utiliser avec un connecteur à fibres optiques et le spectre est obtenu à partir du rayonnement lumineux injecté à l'intérieur du port d'entrée; l'instrument comporte également une fonction de visualisation à l'écran.

Note 2 à l'article: L'abréviation «OSA» est dérivée du terme anglais développé correspondant «optical spectrum analyzer».

3.16**niveau de puissance**

niveau de puissance indiqué par un analyseur de spectre optique (3.15) soumis à un étalonnage (3.2) à une résolution spécifiée de longueur d'onde réglée

Note 1 à l'article: Avec un analyseur de spectre optique, le niveau de puissance pour une résolution donnée est mesuré et affiché.

3.17**écart du niveau de puissance**

D_p

différence entre le niveau de puissance mesuré par l'analyseur d'essai, P_{OSA} , et la puissance de référence correspondante, P_{REF} , le tout divisé par la puissance de référence

$$D_p = \frac{P_{OSA} - P_{REF}}{P_{REF}} = \frac{P_{OSA}}{P_{REF}} - 1 \quad (4)$$

3.18**conditions de référence**

ensemble approprié de paramètres d'influence, ainsi que leurs valeurs nominales et leurs plages de tolérances, en fonction desquels l'incertitude aux conditions de référence est spécifiée

Note 1 à l'article: Chaque plage de tolérance comporte à la fois l'incertitude possible des conditions et l'incertitude lors de la mesure des conditions.

Note 2 à l'article: Les conditions de référence incluent normalement les paramètres suivants et, si cela est nécessaire, leurs plages de tolérance: la date de référence, la température de référence, l'humidité de référence, la pression atmosphérique de référence, la source de rayonnement lumineux de référence, le niveau de puissance de référence (3.16), la fibre de référence, la combinaison connecteur-raccord de référence, la longueur d'onde de référence, la largeur de bande (spectrale) de référence et le réglage de la résolution spectrale (3.19).

[SOURCE: IEC 60359:2001, 3.3.10, modifié]

3.19**résolution spectrale**

R

largeur totale à mi-hauteur du maximum (FWHM) d'un spectre affiché obtenu par un analyseur d'essai lors de l'utilisation d'une source dont la largeur de bande spectrale (3.21)

est suffisamment étroite, c'est-à-dire beaucoup plus petite que la résolution spectrale mesurée

3.20

rapport 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 comme une diode laser DFB-LD

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

Note 2 à l'article: L'abréviation «SMSR» est dérivée du terme anglais développé correspondant «side-mode suppression ratio».

3.21

largeur de bande spectrale

B

largeur totale à mi-hauteur du maximum (FWHM) de la largeur de la source

Note 1 à l'article: Si la source présente un spectre continu, alors la largeur de bande spectrale B est la FWHM du spectre.

Note 2 à l'article: Si la source est une diode laser avec un spectre à mode longitudinal multiple, alors la largeur de bande spectrale FWHM B est la largeur de bande spectrale efficace (RMS), multipliée par 2,35 (en prenant pour hypothèse que la source possède une enveloppe Gaussienne).

$$B = 2,35 \sqrt{\frac{1}{P_{\text{total}}} \sum_i P_i \lambda_i^2 - \lambda_c^2} \quad (5)$$

$$P_{\text{total}} = \sum_i P_i \quad (6)$$

où

λ_c est la longueur d'onde centrale (3.5) d'une diode laser, exprimée en nm;

P_{total} est la puissance totale, exprimée en W;

P_i est la puissance du $i^{\text{ème}}$ mode longitudinal, exprimée en W;

λ_i est la longueur d'onde du $i^{\text{ème}}$ mode longitudinal, exprimée en nm.

3.22

incertitude-type

u

incertitude d'un résultat de mesure exprimée sous la forme d'un écart-type

Note 1 à l'article: Pour des informations supplémentaires, voir l'Annexe A et le Guide ISO/IEC 98-3.

3.23

incertitude de type A

type d'incertitude obtenu par une analyse statistique d'une série d'observations, comme lors de l'évaluation de certains effets aléatoires de mesure

Note 1 à l'article: Voir le Guide ISO/IEC 98-3.

3.24

incertitude de type B

type d'incertitude obtenu par des moyens autres qu'une analyse statistique des observations, par exemple une estimation des sources probables d'incertitudes, comme lors de l'évaluation des effets systématiques de mesure

Note 1 à l'article: Voir le Guide ISO/IEC 98-3.

Note 2 à l'article: Les autres moyens peuvent inclure des données de mesures précédentes, l'expérience avec ou la connaissance générale du comportement et des propriétés des matériels en question, des instruments, des spécifications fabricants, des données fournies dans l'étalonnage et autres certificats, et des incertitudes assignées aux données de référence prises des manuels.

3.25

écart en longueur d'onde

D_λ

différence entre la longueur d'onde centrale (3.5) mesurée par l'analyseur d'essai, λ_{OSA} , et la longueur d'onde de référence, λ_{REF}

$$D_\lambda = \lambda_{\text{OSA}} - \lambda_{\text{REF}} \quad (7)$$

Note 1 à l'article: L'écart en longueur d'onde est exprimé en nm ou en μm .

4 Préparation pour l'étalonnage

4.1 Organisation

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

Une procédure de mesure documentée doit être établie 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 des laboratoires nationaux de métrologie ou par des 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 sur le même niveau. S'assurer que tout autre appareillage d'étalonnage ayant une influence significative sur les résultats d'étalonnage soit étalonné. Sur demande, spécifier cet appareillage d'étalonnage et ses chaînes d'étalonnage. Les périodes de réétalonnage doivent être définies et documentées.

4.3 Préparation

Les conditions d'environnement doivent répondre au degré d'incertitude exigé pour l'étalonnage:

- a) l'environnement doit être propre;
- b) la surveillance et le contrôle de la température sont exigés;
- c) toutes les sources lasers doivent fonctionner de façon sûre (se référer à l'IEC 60825-1).

4.4 Conditions d'étalonnage de référence

Les conditions d'étalonnage de référence incluent généralement les paramètres suivants et, si nécessaire, leurs plages de tolérance: la date, la température, l'humidité relative, le niveau de puissance, la longueur d'onde, la source de rayonnement lumineux, la fibre, la combinaison connecteur-raccord, le réglage de la largeur de bande (spectrale) et de la résolution spectrale.

Sauf spécification contraire, utiliser une fibre amorce d'entrée de fibre optique unimodale de classe B, comme définie dans l'IEC 60793-2, de longueur supérieure ou égale à 2 m.

Sauf spécification contraire, il convient de réaliser l'étalonnage à une température de $23\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ et une humidité relative de $(50 \pm 20)\%$. Donner au matériel d'essai un minimum de 2 h avant l'essai pour lui permettre d'atteindre l'équilibre avec son environnement. Laisser à l'analyseur de spectre optique une période de préchauffage conformément aux instructions du fabricant.

Faire fonctionner l'analyseur de spectre optique conformément aux spécifications du fabricant et aux procédures de fonctionnement. Lorsque cela est possible, sélectionner une plage de conditions d'étalonnage et des paramètres qui simulent les conditions de fonctionnement réelles de l'analyseur en essai. Choisir ces paramètres de façon à optimiser la précision de l'analyseur et les capacités de résolution, comme spécifié dans les procédures de fonctionnement du fabricant.

Documenter les conditions comme spécifié à l'Article 8.

NOTE Les résultats d'étalonnage s'appliquent uniquement à l'ensemble des conditions d'étalonnage utilisées dans le processus d'étalonnage.

5 Etalonnage de la longueur d'onde

5.1 Vue d'ensemble

Les facteurs composant l'incertitude de la longueur d'onde de l'analyseur d'essai sont constitués:

- a) de l'incertitude intrinsèque de l'analyseur d'essai trouvée dans des conditions de référence, incluant sa résolution, la résolution de l'appareil de mesure de la longueur d'onde et la dépendance par rapport à la température pour ces conditions, et
- b) des incertitudes partielles dues à la dépendance par rapport à la longueur d'onde et à la dépendance par rapport à la température trouvées dans les essais dans des conditions de fonctionnement.

L'étalonnage dans des conditions de référence décrites en 5.2 pour obtenir l'incertitude intrinsèque est obligatoire. Cependant, l'étalonnage dans des conditions de référence décrites en 5.3 n'est pas obligatoire. Si l'analyseur d'essai est utilisé au-delà des conditions de référence, il doit être étalonné dans la plage des conditions de fonctionnement. La longueur d'onde est la longueur d'onde dans le vide.

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

5.2.1 Généralités

Des montages alternatifs pour l'étalonnage dans des conditions de référence sont présentés dans les Figures 1, 2 et 3. Dans le montage de la Figure 1, un laser à gaz, de longueur d'onde connue, est utilisé comme source de rayonnement lumineux. La Figure 2 représente un montage dans lequel une source à large bande peut être utilisée conjointement avec un dispositif de transmission de longueurs d'onde de transmission de crête (ou nulle) connues (traçables). La Figure 3 représente un montage dans lequel une diode laser (LD), de longueur d'onde inconnue, est utilisée comme source de rayonnement lumineux. Cet essai est effectué dans des conditions d'étalonnage de référence.

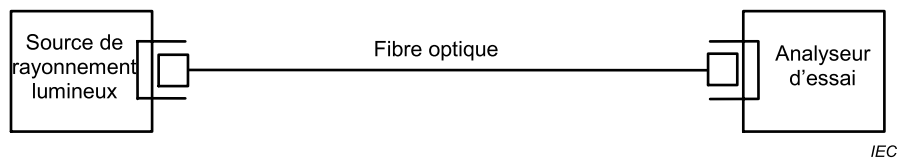


Figure 1 – Montage utilisant un laser à gaz de longueur d'onde connue



Figure 2 – Montage utilisant une source à large bande avec un dispositif de transmission

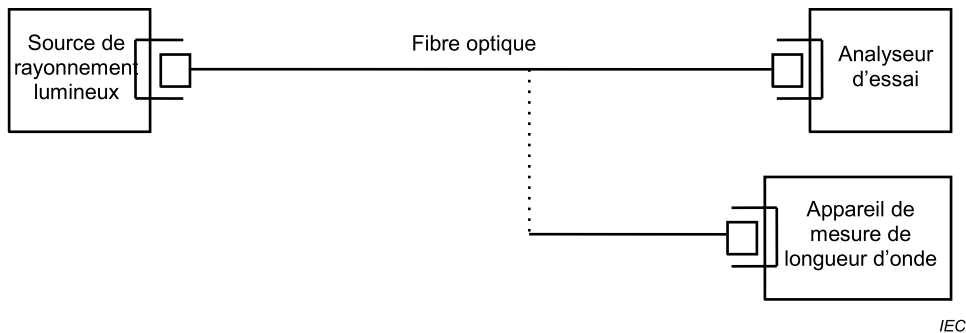


Figure 3 – Montage utilisant une diode laser de longueur d'onde inconnue

5.2.2 Appareillage pour l'étalonnage de la longueur d'onde dans des conditions de référence

L'appareillage pour l'étalonnage de la longueur d'onde est le suivant.

- a) *Source de rayonnement lumineux*: utiliser la source de rayonnement lumineux prescrite pour l'étalonnage de l'analyseur d'essai; si aucune source de rayonnement lumineux n'est prescrite, en utiliser une avec une largeur de bande spectrale et une stabilité de longueur d'onde suffisantes pour l'incertitude de la longueur d'onde prescrite pour l'analyseur d'essai.

Les sources de rayonnement lumineux recommandées sont des lasers, tels que ceux indiqués au Tableau 1, une diode laser (LD) ou un laser (pouvant être accordable) possédant un spectre unimodal. En plus, une source à large bande peut être utilisée conjointement avec un dispositif de transmission de longueurs d'onde de transmission de crête (ou nulle) connues (traçables). Le dispositif de transmission peut être, par exemple, une série de filtres à bandes étroites fixes, des raies d'absorption dans un milieu gazeux ou des interféromètres de type Fabry-Perot.

De nombreuses références de longueurs d'onde stables sont présentées dans des tableaux à l'Annexe D. Il convient que la référence utilisée possède une stabilité de longueur d'onde, une largeur de bande spectrale et une stabilité de puissance suffisantes pour l'incertitude de la longueur d'onde exigée pour l'analyseur d'essai.

- b) *Appareil de mesure de longueur d'onde*: un appareil pour mesurer la longueur d'onde de la source de rayonnement lumineux. La précision de cet appareil doit être suffisamment meilleure que la précision exigée dans l'essai de la longueur d'onde. Cet appareil est

utilisé lorsqu'une diode laser (LD) de longueur d'onde inconnue est utilisée comme source de rayonnement lumineux (voir la Figure 3).

5.2.3 Procédure pour l'étalonnage de la longueur d'onde dans des conditions de référence

Les procédures pour l'étalonnage de la longueur d'onde dans des conditions de référence sont les suivantes.

- a) En utilisant le montage d'essai représenté aux Figures 1, 2 ou 3, régler la plage de longueurs d'onde affichée de l'analyseur d'essai de telle sorte qu'elle inclue la longueur d'onde de la source de rayonnement lumineux autour du centre de l'affichage. En plus, régler la résolution d'échantillonnage de la longueur d'onde (S/N) de l'analyseur d'essai de telle sorte qu'elle satisfasse à l'Equation (8) et qu'elle soit meilleure que l'incertitude de la longueur d'onde soumise aux essais.

$$\frac{S}{N} < \frac{R_{\text{set}}}{10} \quad (8)$$

où

S est la plage de longueurs d'onde affichée;

N est le nombre de points affichés;

R_{set} est le réglage de résolution spectrale de l'analyseur de spectre optique en essai. Lorsque la configuration d'essai représentée à la Figure 1 ou 2 est utilisée, λ_{REF} est la valeur de la longueur d'onde connue de la source de rayonnement lumineux ou de l'artefact de transmission, et, lorsque la configuration d'essai représentée à la Figure 3 est utilisée, λ_{REF} est la longueur d'onde de la source de rayonnement lumineux telle qu'elle est mesurée par l'appareil de mesure de longueur d'onde.

En ce qui concerne λ_{REF} de la source de rayonnement lumineux, $\lambda_{\text{OSA},i}$ est la longueur d'onde centrale mesurée par l'analyseur d'essai.

- b) Répéter cette mesure au moins dix fois et calculer la longueur d'onde moyenne:

$$\lambda_{\text{OSA AV}} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \lambda_{\text{OSA},i} \quad (9)$$

où m est le nombre de mesures effectuées.

5.2.4 Calculs de l'incertitude de la longueur d'onde dans des conditions de référence

A partir de la valeur mesurée, calculer l'écart $D_{\lambda_{\text{ref}}}$:

$$D_{\lambda_{\text{ref}}} = \lambda_{\text{OSA AV}} - \lambda_{\text{REF}} \quad (10)$$

Calculer l'incertitude-type $u_{\lambda_{\text{OSA}}}$ des valeurs $\lambda_{\text{OSA},i}$ mesurées en utilisant l'Equation (11).

$$u_{\lambda_{\text{OSA}}} = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (\lambda_{\text{OSA},i} - \lambda_{\text{OSA AV}})^2} \quad (11)$$

L'incertitude $u_{D_{\lambda_{\text{ref}}}}$ de l'analyseur d'essai par rapport à la longueur d'onde dans les conditions d'étalonnage de référence est donnée par l'Equation (12).

$$u_{D_{\lambda_{\text{ref}}}} = \sqrt{u_{\lambda_{\text{REF}}}^2 + \frac{u_{\lambda_{\text{OSA}}}^2}{m} + u_{\text{res_ref}}^2 + u_{\text{res_OSA}}^2 + u_{D_{\lambda_T}}^2} \quad (12)$$

où

$u_{\lambda_{\text{ref}}} = \frac{U_{\lambda_{\text{ref}}}}{k}$ est l'incertitude de la longueur d'onde de la source de rayonnement lumineux;

$u_{\lambda_{\text{OSA}}}$ est l'incertitude-type des valeurs mesurées pendant l'essai;

$u_{\text{res_ref}}$ est l'incertitude donnée par la résolution de l'affichage de l'appareil de mesure de la longueur d'onde (s'il est utilisé);

$u_{\text{res_OSA}}$ est l'incertitude donnée par la résolution de l'affichage de l'OSA;

$u_{D_{\lambda_T}}$ est l'incertitude donnée par la dépendance par rapport à la température. Elle peut être évaluée comme en 5.3.3, sauf pour des conditions de référence de la plage de températures. Elle peut être négligée si elle est environ 10 fois inférieure à $u_{D_{\lambda_{\text{ref}}}}$.

L'incertitude de la longueur d'onde de la source de rayonnement lumineux, $u_{\lambda_{\text{REF}}}$, peut être ignorée si un laser ou un dispositif de transmission de longueur d'onde stable est utilisé comme source de rayonnement lumineux et si ses performances sont suffisamment meilleures que l'incertitude de la longueur d'onde de l'analyseur d'essai. Lorsqu'une diode laser (LD) est utilisée comme source de rayonnement lumineux, mesurer plusieurs fois la longueur d'onde avec l'appareil de mesure de longueur d'onde et prendre comme incertitude de la source de rayonnement lumineux son écart-type, $u_{\lambda_{\text{REF}}}$.

5.3 Etalonnage de la longueur d'onde pour des conditions de fonctionnement

5.3.1 Généralités

L'étalonnage décrit en 5.3 n'est pas obligatoire. Réaliser la procédure d'étalonnage lorsque l'analyseur d'essai est utilisé au-delà des conditions de référence.

Des facteurs individuels de l'incertitude de la longueur d'onde pour les conditions de fonctionnement peuvent comprendre les éléments suivants:

- a) la dépendance par rapport à la longueur d'onde;
- b) la dépendance par rapport à la température.

5.3.2 Dépendance par rapport à la longueur d'onde

5.3.2.1 Généralités

Les Figures 1, 2 et 3 représentent les configurations d'essai pour déterminer la dépendance par rapport à la longueur d'onde. Ces configurations d'essai sont les mêmes que celles utilisées pour l'étalonnage dans les conditions de référence. Cet essai est effectué dans des conditions d'étalonnage de référence, à l'exception des longueurs d'onde de la source.

5.3.2.2 Appareillage pour déterminer la dépendance par rapport à la longueur d'onde

L'appareillage pour déterminer la dépendance par rapport à la longueur d'onde est le suivant:

- a) *Source de rayonnement lumineux*: utiliser une source de rayonnement lumineux avec:
 - 1) une largeur de bande spectrale suffisamment plus étroite que la résolution spectrale de l'analyseur d'essai, et 2) une stabilité de longueur d'onde et une stabilité de puissance suffisantes pour l'incertitude de la longueur d'onde prescrite pour l'analyseur d'essai.

Les sources de rayonnement lumineux recommandées sont des lasers, tels que ceux indiqués au Tableau 1 et une diode laser (LD) avec un spectre unimodal (par exemple, une source diode laser accordable). Une source à large bande peut également être utilisée conjointement avec un dispositif de transmission de longueurs d'onde de transmission de crête (ou nulle) connues (traçables). Le dispositif de transmission peut être, par exemple, une série de filtres à bandes étroites fixes, des raies d'absorption dans un milieu gazeux ou des interféromètres de type Fabry-Perot.

De nombreuses références de longueurs d'onde stables sont présentées dans des tableaux à l'Annexe D. Il convient que la référence utilisée possède une stabilité de longueur d'onde, une largeur de bande spectrale et une stabilité de puissance suffisantes pour l'incertitude de la longueur d'onde exigée pour l'analyseur d'essai.

- b) *Appareil de mesure de longueur d'onde*: un appareil pour mesurer la longueur d'onde de la source de rayonnement lumineux. La précision de cet appareil doit être suffisamment meilleure que la précision exigée dans l'essai de la longueur d'onde. Cet appareil est utilisé lorsqu'une diode laser (LD), de longueur d'onde inconnue, est utilisée comme source de rayonnement lumineux (voir la Figure 3).

5.3.2.3 Procédure d'essai pour déterminer la dépendance par rapport à la longueur d'onde

Lorsque la configuration d'essai représentée à la Figure 1 ou 2 est utilisée, $\lambda_{REF,j}$ est la valeur de la longueur d'onde connue des sources de rayonnement lumineux ou des artefacts de transmission, et lorsque la configuration d'essai représentée à la Figure 3 est utilisée, $\lambda_{REF,j}$ est la longueur d'onde des sources de rayonnement lumineux telle qu'elle est mesurée par l'appareil de mesure de longueur d'onde.

- a) Faire entrer le rayonnement lumineux de la source de rayonnement lumineux dans l'analyseur d'essai et lire la valeur indiquée $\lambda_{OSA,j}$. Déterminer alors l'écart de longueur d'onde $D_{\lambda_{ij}}$ par rapport à $\lambda_{REF,j}$ en utilisant l'Equation (13).

$$D_{\lambda_{ij}} = \lambda_{OSA,j} - \lambda_{REF,j} \quad (13)$$

- b) Ensuite, faire varier la longueur d'onde de la source et effectuer le même essai, en déterminant de nouveau l'écart en utilisant l'Equation (13).
- c) $D_{\lambda_{\lambda,max}}$ est la valeur maximale des valeurs des écarts obtenus.

5.3.2.4 Calculs de l'incertitude de la longueur d'onde due à la dépendance par rapport à la longueur d'onde

En utilisant l'écart des valeurs mesurées pour plusieurs longueurs d'onde, déterminer l'incertitude $u_{D_{\lambda\lambda}}$ due à la dépendance par rapport à la longueur d'onde en utilisant l'Equation (14).

$$u_{D_{\lambda\lambda}} = \frac{|D_{\lambda\lambda}|_{MAX}}{\sqrt{3}} \quad (14)$$

5.3.3 Dépendance par rapport à la température

5.3.3.1 Généralités

La Figure 4 représente la configuration d'essai pour déterminer la dépendance de l'incertitude de la longueur d'onde vis-à-vis de la température. Cet essai est effectué dans des conditions d'étalonnage de référence excepté la température.

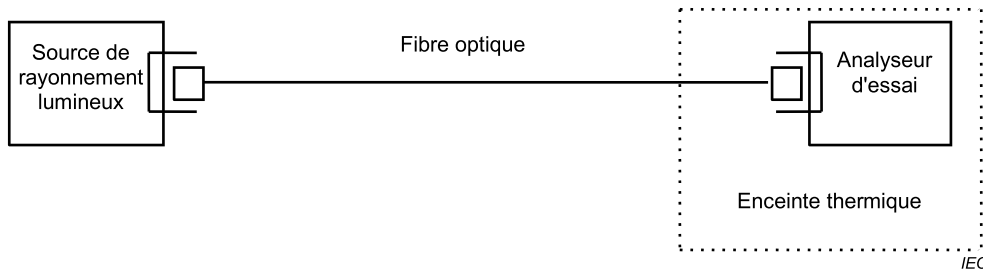


Figure 4 – Configuration d'essai pour déterminer la dépendance de l'incertitude de la longueur d'onde vis-à-vis de la température

5.3.3.2 Appareillage pour déterminer la dépendance par rapport à la température

Source de rayonnement lumineux: utiliser la source de rayonnement lumineux prescrite pour l'étalonnage de l'analyseur d'essai; si aucune source de rayonnement lumineux n'est prescrite, en utiliser une avec une largeur de bande spectrale et une stabilité de longueur d'onde suffisantes pour l'incertitude de la longueur d'onde prescrite pour l'analyseur d'essai.

Les sources de rayonnement lumineux recommandées sont des lasers à gaz indiqués au Tableau 1, une diode laser (LD) ou un laser avec un spectre unimodal et une source à large bande avec un dispositif de transmission. De nombreuses références de longueurs d'onde stables sont présentées dans des tableaux à l'Annexe D.

5.3.3.3 Procédure d'essai pour déterminer la dépendance par rapport à la température

Dans des conditions d'étalonnage de référence et à l'intérieur de la plage de températures prescrite pour l'analyseur d'essai, mesurer la longueur d'onde du rayonnement lumineux émis par la source de rayonnement lumineux pour au moins cinq points de température (T_j).

- a) Avec λ_{REF} la longueur d'onde du rayonnement lumineux d'entrée et $\lambda_{OSA,j}$, la valeur indiquée sur l'analyseur d'essai, déterminer l'écart de la longueur d'onde en utilisant l'Equation (15).

$$D_{\lambda_{Tj}} = \lambda_{OSA,j} - \lambda_{REF} \quad (15)$$

- b) Ensuite, faire varier la température et répéter l'essai et le calcul de l'écart. Suffisamment de temps (par exemple 2 h) doit être laissé à l'OSA soumis à l'étalonnage pour atteindre l'équilibre thermique à chaque température utilisée.

- c) $|D_{\lambda_T}|_{MAX}$ est la valeur maximale des valeurs absolues de $D_{\lambda_{Tj}}$ obtenues.

5.3.3.4 Calculs de l'incertitude de la longueur d'onde due à la dépendance par rapport à la température

En utilisant les écarts des valeurs mesurées pour plusieurs températures, déterminer l'incertitude $u_{D_{\lambda_T}}$ due à la dépendance par rapport à la température en utilisant l'Equation (16).

$$u_{D_{\lambda_T}} = \frac{|D_{\lambda_T}|_{MAX}}{\sqrt{3}} \quad (16)$$

5.4 Calcul de l'incertitude étendue

Lorsque l'analyseur d'essai est uniquement utilisé dans des conditions de référence, l'incertitude étendue $U_{\lambda_{\text{ref}}}$ peut être calculée par l'Equation (17) avec un facteur de couverture k .

$$U_{\lambda_{\text{ref}}} = \pm k u_{D_{\lambda_{\text{ref}}}} \quad (17)$$

L'incertitude totale de la longueur d'onde est calculée en utilisant l'incertitude dans des conditions d'étalonnage de référence et l'incertitude dans des conditions de fonctionnement qui sont déterminées au travers d'essais d'incertitude individuels de la dépendance par rapport à la longueur d'onde et de la dépendance par rapport à la température, lorsque l'analyseur d'essai est utilisé au-delà des conditions de référence.

L'incertitude de la longueur d'onde dans des conditions de fonctionnement est calculée en utilisant l'Equation (18) et les Equations (12), (14) et (16).

$$u_{D_{\lambda_{\text{op}}}} = \sqrt{u_{\lambda_{\text{REF}}}^2 + u_{\lambda_{\text{OSA}}}^2 + u_{\text{res_ref}}^2 + u_{\text{res_OSA}}^2 + u_{D_{\lambda_{\lambda}}}^2 + u_{D_{\lambda_T}}^2} \quad (18)$$

L'incertitude étendue $U_{\lambda_{\text{op}}}$ avec un facteur de couverture k est exprimée par l'Equation (19):

$$U_{\lambda_{\text{op}}} = \pm k u_{D_{\lambda_{\text{op}}}} \quad (19)$$

Si la longueur d'onde doit être corrigée en se basant sur les résultats d'étalonnage, des corrections logicielles sur l'appareil, des corrections mathématiques sur les résultats ou des ajustements matériels de l'appareil sont généralement mis en œuvre. Des exemples d'évaluation et de calculs des corrections pour certains paramètres sont donnés à l'Annexe C. Une fois les ajustements effectués, il est judicieux de répéter l'essai pour vérifier que la correction a fonctionné.

6 Etalonnage du niveau de puissance

6.1 Vue d'ensemble

Les facteurs composant l'incertitude du niveau de puissance de l'analyseur d'essai sont constitués:

- de l'incertitude intrinsèque de l'analyseur d'essai trouvée dans des conditions de référence, incluant sa résolution, la résolution de l'appareil de mesure de la puissance étalonné et la dépendance par rapport à la température pour ces conditions, et
- des incertitudes partielles dues à la dépendance par rapport à la longueur d'onde, à la dépendance par rapport à la polarisation, à la linéarité et à la dépendance par rapport à la température trouvées dans les essais dans des conditions de fonctionnement.

Si l'analyseur d'essai est utilisé au-delà des conditions de référence, il est nécessaire d'obtenir les incertitudes partielles.

L'incertitude intrinsèque dans les conditions de référence est obtenue par la procédure d'étalonnage décrite en 6.2. Les incertitudes partielles sont obtenues par la procédure d'étalonnage décrite en 6.3.2 à 6.3.5 en conformité avec les facteurs individuels, c'est-à-dire la longueur d'onde, la polarisation, la linéarité et la température. Lorsque l'analyseur d'essai est uniquement utilisé dans des conditions de référence, les procédures d'étalonnage décrites en 6.3 ne sont pas essentielles, et donc, elles ne sont pas obligatoires.

NOTE Comme l'unité généralement utilisée pour les valeurs de mesure, dBm, n'est pas adaptée pour l'accumulation d'incertitudes, les unités linéaires (mW, μ W) sont utilisées. Les résultats de telles accumulations peuvent être convertis en retour en dB pour exprimer l'incertitude globale lorsque cela est nécessaire.

Un appareil de mesure de la puissance ou un appareil de mesure de la puissance étalonné seront nécessaires pour vérifier la puissance de la source de rayonnement lumineux, chaque fois qu'une nouvelle longueur d'onde de la source est utilisée.

Il convient que l'état de polarisation ne soit pas modifié pendant l'étalonnage sauf dans le cas du contrôle par un contrôleur de polarisation facultatif.

6.2 Etalonnage du niveau de puissance dans des conditions de référence

6.2.1 Généralités

La Figure 5 représente la configuration d'essai pour déterminer l'incertitude du niveau de puissance. Cet essai est effectué dans des conditions d'étalonnage de référence.

La source de rayonnement lumineux utilisée pour l'étalonnage du niveau de puissance doit être dépolarisée, sinon un contrôleur de polarisation doit être utilisé. Ceci étalonnera l'analyseur d'essai au point milieu de sa variation due à la polarisation.

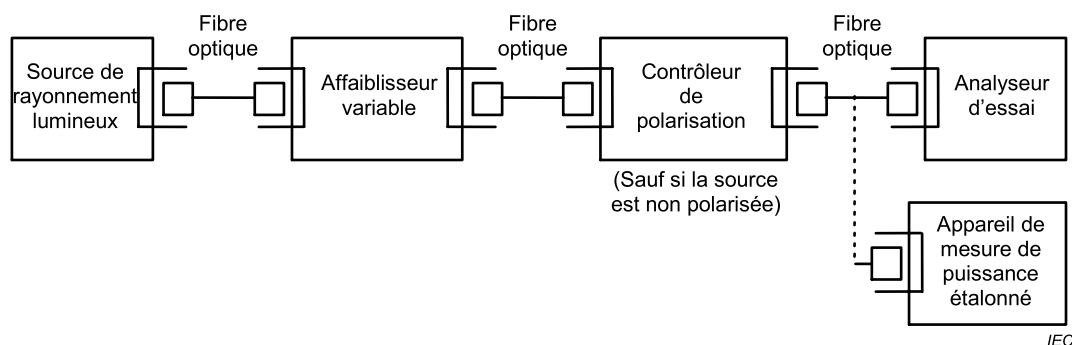


Figure 5 – Montage pour l'étalonnage du niveau de puissance dans des conditions de référence

6.2.2 Appareillage pour l'étalonnage du niveau de puissance dans des conditions de référence

L'appareillage pour l'étalonnage du niveau de puissance dans des conditions de référence est le suivant:

- a) *Source de rayonnement lumineux*: utiliser une source de rayonnement lumineux qui peut émettre un rayonnement lumineux pour fibre optique stable avec une sortie de 0,1 mW (–10 dBm) à 1 mW (0 dBm) et qui présente une bonne suppression des modes latéraux et du bruit optique (> 40 dB, lorsqu'il est mesuré avec une résolution spectrale qui est la même que celle de l'analyseur d'essai) en dehors de sa largeur de bande spectrale. Il convient que la largeur de bande spectrale de la source soit réglée à une valeur suffisamment plus étroite que la résolution prescrite pour l'analyseur d'essai. Il est recommandé d'utiliser les sources de rayonnement lumineux données au Tableau 1, une diode laser (LD) (SMSR > 40 dB, voir 3.20) ou un laser à fibre (aussi avec SMSR > 40 dB).

Il convient que la longueur d'onde de la source de rayonnement lumineux soit mesurée à l'avance en utilisant un appareil de mesure de longueur d'onde si une diode laser (LD) ou un laser à fibre est utilisé.

- b) *Affaiblisseur variable*: utiliser un affaiblisseur variable qui peut être ajusté sur la plage de puissance optique utilisée dans l'essai.

- c) *Appareil de mesure de la puissance optique de référence*: utiliser l'un ou l'autre des appareils suivants fonctionnant dans des conditions d'étalonnage de référence:
- 1) un appareil de mesure de la puissance optique étalonné par un organisme officiel qui réalise des services d'étalonnage avec une incertitude établie; ou
 - 2) un appareil de mesure de la puissance optique étalonné conformément aux normes spécifiées par un organisme officiel avec une incertitude établie.
- A savoir, l'incertitude de l'appareil de mesure de la puissance étalonné, U_{PMref} , est déjà connue et est décrite dans sa certification.
- d) *Contrôleur de polarisation*: un contrôleur de polarisation est utilisé, sauf si la source est non polarisée.

6.2.3 Procédure pour l'étalonnage du niveau de puissance dans des conditions de référence

En utilisant la configuration d'essai représentée à la Figure 5, régler la résolution de l'analyseur d'essai suffisamment plus large que la largeur de bande spectrale de la source de rayonnement lumineux. Ajuster l'affaiblisseur variable de telle sorte que le niveau de puissance du rayonnement lumineux de sortie vers l'analyseur d'essai soit optimisé. Si la longueur d'onde de la source de rayonnement lumineux n'est pas déjà connue, il convient qu'elle soit mesurée en utilisant un appareil de mesure de longueur d'onde.

La séquence de mesure est la suivante.

- a) Mesurer la valeur du rayonnement lumineux en sortie de la fibre optique, P_{REFi} , en utilisant un appareil de mesure de la puissance optique de référence. Si un contrôleur de polarisation est utilisé, mesurer plusieurs fois à des états de polarisation différents et calculer la moyenne de ces valeurs.
- b) Ensuite, connecter le rayonnement lumineux en sortie de la fibre optique à l'analyseur d'essai et lire le niveau de puissance de crête mesuré par l'analyseur d'essai, P_{OSAi} ; utiliser une échelle linéaire (d'unité mW ou μ W) pour lire la valeur. Si un contrôleur de polarisation est utilisé, mesurer plusieurs fois à des états de polarisation différents et calculer la moyenne de ces valeurs.
- c) Calculer le rapport de différence de la valeur de l'OSA, D_{Pi} , à partir de la mesure de l'appareil de mesure de puissance en utilisant l'Equation (20).

$$D_{Pi} = \frac{P_{OSAi}}{P_{REFi}} - 1 \quad (20)$$

- d) Répéter cette mesure au moins dix fois.

6.2.4 Calcul de l'incertitude du niveau de puissance dans des conditions de référence

Calculer l'écart du niveau de puissance D_P et l'écart-type u_{D_P} du rapport de différence en utilisant les Equations (21) et (22):

$$D_P = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m D_{Pi} \quad (21)$$

$$u_{D_P} = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (D_{Pi} - D_P)^2} \quad (22)$$

où m est le nombre de mesures effectuées.

L'incertitude $u_{D_{P_{ref}}}$ par rapport au niveau de puissance pour l'analyseur d'essai fonctionnant dans des conditions d'étalonnage de référence est donnée par l'Equation (23).

$$u_{D_{P_{ref}}} = \sqrt{u_{PM_{ref}}^2 + \frac{u_{DP}^2}{m} + u_{res_ref}^2 + u_{res_OSA}^2 + u_{DP_{TMP}}^2} \quad (23)$$

où

$u_{PM_{ref}} = \frac{U_{PM_{ref}}}{k}$ est l'incertitude, à la puissance mesurée, de l'appareil de mesure de la puissance optique de référence telle qu'indiquée dans son certificat;

u_{DP} est l'écart-type des valeurs mesurées pendant l'essai;

u_{res_ref} est l'incertitude donnée par la résolution de l'affichage de l'appareil de mesure de la puissance étalonné;

u_{res_OSA} est l'incertitude donnée par la résolution de l'affichage de l'OSA;

$u_{DP_{TMP}}$ est l'incertitude donnée par la dépendance par rapport à la température. Elle peut être évaluée comme en 6.3.5, sauf pour des conditions de référence de la plage de températures. Elle peut être négligée si elle est environ 10 fois inférieure à $u_{D_{P_{ref}}}$.

L'écart de niveau de puissance $D_{P_{ref}}$ est donné par l'Equation (24), qui est identique à l'équation de la valeur moyenne du rapport de différence.

$$D_{P_{ref}} = D_P \quad (24)$$

6.3 Etalonnage du niveau de puissance pour des conditions de fonctionnement

6.3.1 Généralités

L'étalonnage décrit en 6.3 n'est pas obligatoire. Réaliser la procédure d'étalonnage lorsque l'analyseur d'essai est utilisé au-delà des conditions de référence.

Des facteurs individuels de l'incertitude du niveau de puissance pour les conditions de fonctionnement peuvent comprendre les éléments suivants:

- 1) la dépendance par rapport à la longueur d'onde;
- 2) la dépendance par rapport à la polarisation;
- 3) la linéarité;
- 4) la dépendance par rapport à la température.

6.3.2 Dépendance par rapport à la longueur d'onde

6.3.2.1 Généralités

La Figure 6 représente la configuration d'essai pour déterminer la dépendance par rapport à la longueur d'onde. Cet essai est effectué dans des conditions d'étalonnage de référence excepté pour la longueur d'onde.

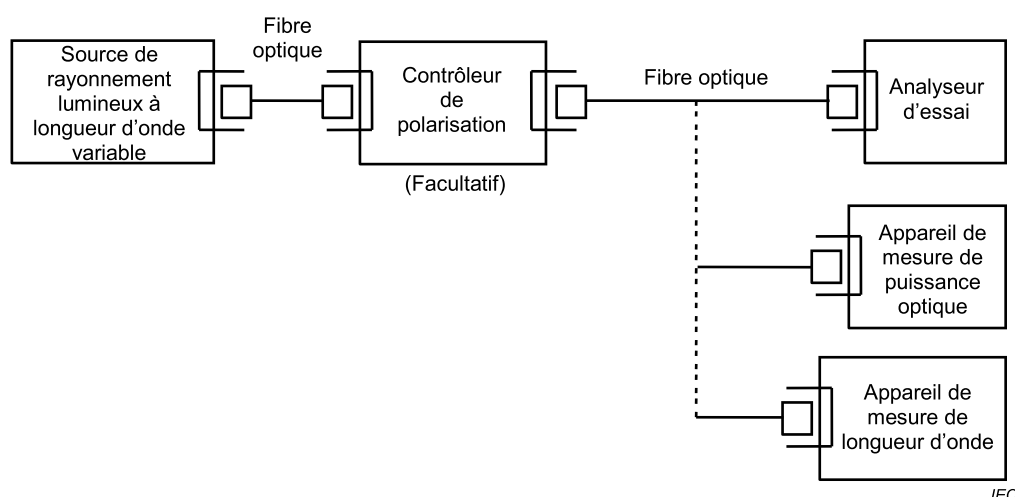


Figure 6 – Configuration d'essai pour déterminer la dépendance de l'incertitude du niveau de puissance vis-à-vis de la longueur d'onde

6.3.2.2 Appareillage pour déterminer la dépendance du niveau de puissance vis-à-vis de la longueur d'onde

L'appareillage pour déterminer la dépendance du niveau de puissance vis-à-vis de la longueur d'onde est le suivant.

- Source de rayonnement lumineux*: utiliser une source de rayonnement lumineux de longueur d'onde variable, telle qu'un laser accordable. Il convient que la source de rayonnement lumineux fournisse la quantité nécessaire de puissance de rayonnement lumineux, de façon stable, à l'intérieur de la plage de longueurs d'onde d'essai de l'analyseur d'essai et il convient que sa largeur de bande spectrale soit beaucoup plus étroite que la résolution spectrale spécifiée de l'analyseur d'essai.
- Appareil de mesure de longueur d'onde*: sert à mesurer la longueur d'onde de la source de rayonnement lumineux de longueur d'onde variable. Ceci n'est pas nécessaire si la source de rayonnement lumineux a été étalonnée conformément à l'IEC 62522.
- Appareil de mesure de la puissance optique*: utiliser un appareil de mesure de la puissance optique indépendant de la longueur d'onde ou un appareil dont la dépendance par rapport à la longueur d'onde a été étalonnée.
- Contrôleur de polarisation facultatif*: utiliser un contrôleur de polarisation qui contrôle l'état de polarisation du rayonnement lumineux incident pour obtenir une sortie sur la fibre optique présentant un taux d'extinction de 20 dB ou plus. Il convient que la variation de niveau lorsque l'état de polarisation est modifié soit beaucoup plus petite que la dépendance de l'analyseur d'essai vis-à-vis de la polarisation. Certains contrôleurs de polarisation sont constitués de combinaisons d'un polariseur, d'une lame demi-onde et d'une lame quart d'onde; certains font tourner trois boucles de fibre.

6.3.2.3 Procédure d'essai pour déterminer la dépendance du niveau de puissance vis-à-vis de la longueur d'onde

Utiliser la configuration d'essai représentée à la Figure 6.

La procédure d'essai est la suivante.

- Après stabilisation complète de la température d'environnement, faire entrer le rayonnement lumineux provenant de la source de rayonnement lumineux dans l'appareil de mesure de longueur d'onde pour mesurer la longueur d'onde. La lecture de la longueur d'onde fournie par l'appareil de mesure est définie comme λ_j .

- b) A l'aide de l'appareil de mesure de la puissance optique, mesurer la puissance optique de la source de rayonnement lumineux. La lecture fournie par l'appareil de mesure de la puissance optique est définie comme P_{REF,λ_j} . Si un contrôleur de polarisation est utilisé, mesurer plusieurs fois à des états de polarisation différents et calculer la moyenne des valeurs.
- c) Faire entrer le rayonnement lumineux provenant de la source de rayonnement lumineux dans l'analyseur d'essai. Il convient que la résolution spectrale de l'analyseur d'essai soit préréglée pour être plus large que la largeur de bande spectrale du rayonnement lumineux incident. Le niveau de puissance de crête mesuré par l'analyseur d'essai est défini comme P_{OSA,λ_j} . Si un contrôleur de polarisation est utilisé, mesurer plusieurs fois à des états de polarisation différents et calculer la moyenne des valeurs.

L'erreur sur l'écart à la longueur d'onde λ_j , $D_{P_{\lambda_j}}$, est donnée par l'Equation (25)

$$D_{P_{\lambda_j}} = \frac{P_{OSA,\lambda_j}}{P_{REF,\lambda_j}} - 1 \quad (25)$$

- d) Répéter cette procédure avec différents réglages de longueur d'onde (faire varier λ_j). Si l'analyseur d'essai doit être utilisé pour mesurer des sources à large spectre telles que des diodes électroluminescentes (LED) à émission par la surface, et particulièrement les LED multimodales à 1 300 nm, il convient de mesurer la dépendance du niveau de puissance vis-à-vis de la longueur d'onde à plusieurs longueurs d'onde dans le spectre de la source.
- e) $|D_{P_{\lambda}}|_{MAX}$ est la valeur maximale des valeurs absolues de $D_{P_{\lambda_j}}$ obtenues.

6.3.2.4 Calcul de l'incertitude du niveau de puissance due à la dépendance par rapport à la longueur d'onde

L'incertitude-type due à la dépendance par rapport à la longueur d'onde, $u_{D_{P_{\lambda}}}$, est donnée par l'Equation (26).

$$u_{D_{P_{\lambda}}} = \frac{|D_{P_{\lambda}}|_{MAX}}{\sqrt{3}} \quad (26)$$

6.3.3 Dépendance par rapport à la polarisation

6.3.3.1 Généralités

La Figure 7 représente la configuration d'essai pour déterminer la dépendance par rapport à la polarisation. Cet essai est effectué dans des conditions d'étalonnage de référence excepté pour la polarisation.

La source de rayonnement lumineux utilisée doit être à la longueur d'onde de référence. Cependant, il est recommandé que cet essai soit réalisé à plusieurs longueurs d'onde auxquelles l'analyseur d'essai est utilisé, puisque la dépendance par rapport à la polarisation peut varier avec la longueur d'onde.

NOTE Par hypothèse, le taux d'extinction de la sortie du contrôleur de polarisation du système de mesure est de 20 dB au port de sortie de la fibre. Le taux d'extinction affecte la précision des résultats d'essai de la dépendance par rapport à la polarisation. Spécifiquement, cela réduit la précision de mesure d'environ 2 % à 20 dB.

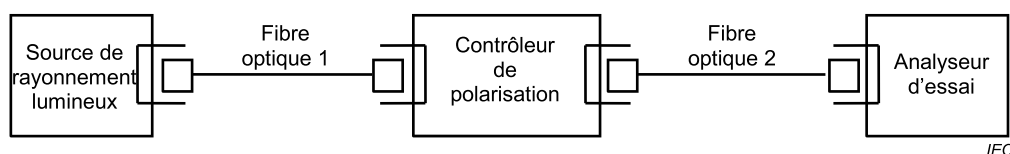


Figure 7 – Configuration d'essai pour déterminer la dépendance de l'incertitude du niveau de puissance vis-à-vis de la polarisation

6.3.3.2 Appareillage pour déterminer la dépendance du niveau de puissance vis-à-vis de la polarisation

L'appareillage pour déterminer la dépendance du niveau de puissance vis-à-vis de la polarisation est le suivant:

- Source de rayonnement lumineux*: utiliser une source de rayonnement lumineux stable avec une sortie de 0,1 mW (–10 dBm) à 1 mW (0 dBm) et qui possède une largeur de bande spectrale suffisamment plus étroite que la résolution prescrite pour l'analyseur d'essai. Il est recommandé d'utiliser les sources de rayonnement lumineux données au Tableau 1, une diode laser (LD) (SMSR > 40 dB, voir 3.20) ou un laser à fibre (aussi avec SMSR > 40 dB).
- Contrôleur de polarisation*: utiliser un contrôleur de polarisation qui contrôle l'état de polarisation du rayonnement lumineux incident pour obtenir une sortie sur la fibre optique présentant un taux d'extinction de 20 dB ou plus. Il convient que la variation de niveau lorsque l'état de polarisation est modifié soit beaucoup plus petite que la dépendance de l'analyseur d'essai vis-à-vis de la polarisation. Certains contrôleurs de polarisation sont constitués de combinaisons d'un polariseur, d'une lame demi-onde et d'une lame quart d'onde; certains font tourner trois boucles de fibre.
- Fibre optique*: utiliser une fibre optique unimodale de classe B comme prescrite par l'IEC 60793-2, et de 1 m à 2 m de long. Il est préférable d'utiliser une fibre à maintien de polarisation à la fibre d'entrée de certains contrôleurs de polarisation.

6.3.3.3 Procédure d'essai pour déterminer la dépendance du niveau de puissance vis-à-vis de la polarisation

En utilisant la configuration d'essai représentée à la Figure 7, régler la résolution spectrale de l'analyseur d'essai à une valeur suffisamment plus large que la largeur de bande spectrale de la source de rayonnement lumineux.

La procédure d'essai effectuée à plusieurs longueurs d'onde est la suivante.

- Faire entrer la sortie de la source de rayonnement lumineux dans le contrôleur de polarisation par la fibre optique 1 et faire entrer la sortie du contrôleur dans l'analyseur d'essai par la fibre optique 2.
- Ajuster le contrôleur de polarisation pour produire un grand nombre d'états de polarisation situés essentiellement sur la totalité de la sphère de Poincaré. Observer la variation crête-à-crête du niveau de puissance provoquée par la modification de l'état de polarisation. Enregistrer les lectures maximales et minimales, $P_{\text{MAX}}(\lambda_j)$ et $P_{\text{MIN}}(\lambda_j)$, respectivement.
- Les variations du niveau de puissance dues à la polarisation avec des longueurs d'onde de λ_j , $DP_{\text{UL}}(\lambda_j)$ et $DP_{\text{LL}}(\lambda_j)$, sont données par les Equations (27) et (28).

$$DP_{\text{UL}}(\lambda_j) = \frac{P_{\text{MAX}}(\lambda_j)}{P_{\text{AVE}}(\lambda_j)} - 1 \quad (27)$$

$$DR_{LL}(\lambda_j) = \frac{P_{MIN}(\lambda_j)}{P_{AVE}(\lambda_j)} - 1 \tag{28}$$

où $P_{AVE}(\lambda_j)$ est le niveau de puissance moyen dû à la polarisation avec une longueur d'onde λ_j et est donné par l'Equation (29).

$$P_{AVE}(\lambda_j) = \frac{P_{MAX}(\lambda_j) + P_{MIN}(\lambda_j)}{2} \tag{29}$$

- d) Répéter cette procédure avec différents réglages de longueur d'onde (faire varier λ_j).
- e) $D_{P_{POL,MAX}}$ est la valeur maximale de $DP_{UL}(\lambda_j)$, et $D_{P_{POL,MIN}}$ est la valeur minimale de $DP_{LL}(\lambda_j)$.

6.3.3.4 Calcul de l'incertitude due à la dépendance par rapport à la polarisation

L'incertitude des variations du niveau de puissance due à la polarisation, $u_{D_{POL}}$, est donnée par l'Equation (30).

$$u_{D_{POL}} = \frac{D_{P_{POL,MAX}} - D_{P_{POL,MIN}}}{2\sqrt{3}} \tag{30}$$

6.3.4 Linéarité

6.3.4.1 Généralités

Utiliser la méthode de la superposition de l'IEC 61315 ou celle décrite à la Figure 8. Cet essai est effectué dans des conditions d'étalonnage de référence excepté pour le niveau de puissance.

La source de rayonnement lumineux utilisée doit être à la longueur d'onde de référence. S'il y a plus d'une longueur d'onde de référence, et si le détecteur pour l'analyseur d'essai est susceptible de dépendre de la longueur d'onde, il convient alors d'effectuer l'essai de linéarité à chaque longueur d'onde de référence.

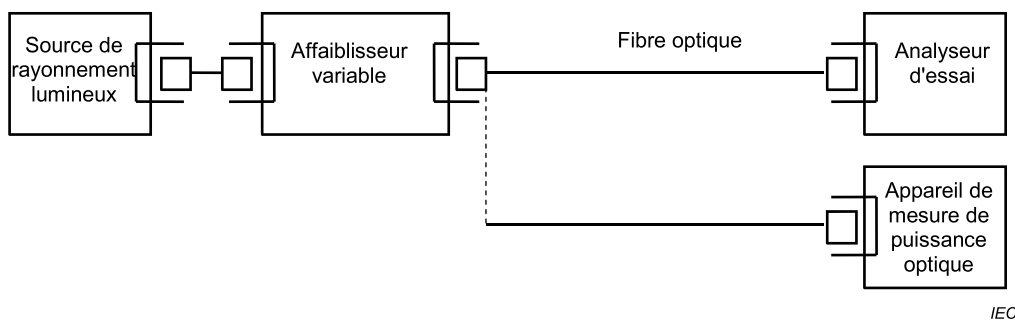


Figure 8 – Configuration pour réaliser les essais d'erreur de linéarité de l'incertitude du niveau de puissance

6.3.4.2 Appareillage pour déterminer l'erreur de linéarité du niveau de puissance

L'appareillage pour déterminer l'erreur de linéarité du niveau de puissance est le suivant.

- a) *Source de rayonnement lumineux*: utiliser une source de rayonnement lumineux stable avec une sortie de 0,1 mW (-10 dBm) à 1 mW (0 dBm) et de largeur de bande spectrale

suffisamment plus étroite que la résolution prescrite pour l'analyseur d'essai. Il est recommandé d'utiliser les sources de rayonnement lumineux données au Tableau 1, une diode laser (LD) (SMSR > 40 dB, voir 3.20) ou un laser à fibre (aussi avec SMSR > 40 dB).

- b) *Affaiblisseur variable*: utiliser un affaiblisseur variable qui peut être ajusté sur la plage de puissance optique utilisée dans l'essai.
- c) *Appareil de mesure de la puissance optique*: utiliser un appareil de mesure de la puissance optique qui peut couvrir avec précision les plages de puissance, de longueurs d'onde et de températures mesurées dans l'essai.

6.3.4.3 Procédure d'essai pour déterminer l'erreur de linéarité du niveau de puissance

La procédure d'essai pour déterminer l'erreur de linéarité du niveau de puissance est la suivante.

- a) Avec le montage d'essai représenté à la Figure 8, régler la largeur de résolution spectrale de l'analyseur d'essai de telle sorte qu'elle soit beaucoup plus grande que la largeur de bande spectrale de la source de rayonnement lumineux utilisée pour la mesure. Ajuster l'affaiblisseur variable de telle sorte que le niveau de puissance du rayonnement lumineux envoyé à l'analyseur d'essai soit le même que celui utilisé pour l'essai d'étalonnage du niveau de puissance dans des conditions de référence.

Les lectures simultanées de l'analyseur d'essai et de l'appareil de mesure de la puissance optique sont définies comme P_{OSA} et P_{REF} , respectivement, et le rapport des deux comme $P_{LIN,ref}$.

$$P_{LIN,ref} = \frac{P_{OSA}}{P_{REF}} \quad (31)$$

- b) Modifier alors le niveau de puissance du rayonnement lumineux envoyé à l'analyseur d'essai en utilisant l'affaiblisseur variable. Le niveau de puissance est défini comme P_j . Les lectures de l'analyseur d'essai et de l'appareil de mesure de la puissance sont définies comme $P_{OSA,j}$ et $P_{REF,j}$, respectivement, et le rapport des deux comme $P_{LIN,j}$.

$$P_{LIN,j} = \frac{P_{OSA,j}}{P_{REF,j}} \quad (32)$$

L'erreur de linéarité à un niveau de puissance P_j , $DP_{LIN}(P_j)$, est donnée par l'Equation (33).

$$DP_{LIN}(P_j) = \frac{P_{LIN,j}}{P_{LIN,ref}} - 1 \quad (33)$$

- c) Répéter cette procédure avec différents niveaux de puissance de rayonnement lumineux (faire varier P_j) pour au moins cinq points à l'intérieur de la plage de niveaux de puissance d'entrée spécifiée pour l'analyseur d'essai.
- d) $|D_{RLIN}|_{MAX}$ est la valeur maximale des valeurs absolues de $DP(P_j)$ obtenues.

6.3.4.4 Calcul de l'incertitude due à l'erreur de linéarité du niveau de puissance

L'incertitude de linéarité $u_{D_{RLIN}}$ est donnée par l'Equation (34).

$$u_{D_{RLIN}} = \frac{|D_{RLIN}|_{MAX}}{\sqrt{3}} \quad (34)$$

6.3.5 Dépendance par rapport à la température

6.3.5.1 Généralités

La Figure 9 représente la configuration d'essai pour déterminer la dépendance par rapport à la température. Cet essai est effectué dans des conditions d'étalonnage de référence excepté la température. La source de rayonnement lumineux utilisée doit être à la longueur d'onde de référence.

S'il y a plus d'une longueur d'onde de référence, et si le détecteur pour l'analyseur d'essai est susceptible de dépendre de la longueur d'onde et de la température, il convient alors d'effectuer l'essai de dépendance par rapport à la température à chaque longueur d'onde de référence.

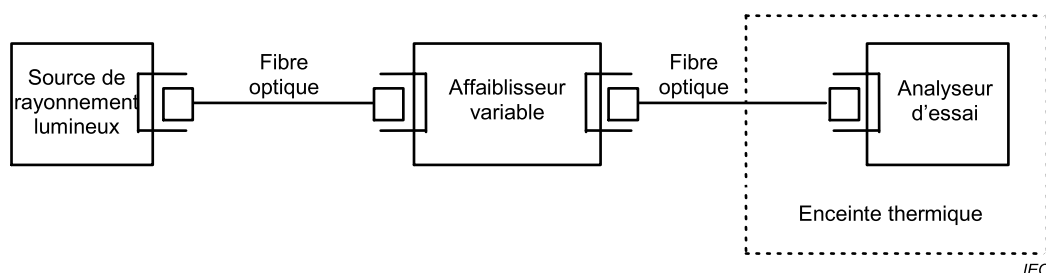


Figure 9 – Configuration d'essai pour déterminer la dépendance de l'incertitude du niveau de puissance vis-à-vis de la température

6.3.5.2 Appareillage pour déterminer la dépendance du niveau de puissance vis-à-vis de la température

L'appareillage pour déterminer la dépendance du niveau de puissance vis-à-vis de la température est le suivant.

- Source de rayonnement lumineux*: utiliser une source de rayonnement lumineux stable avec une sortie de 0,1 mW (–10 dBm) à 1 mW (0 dBm) et qui possède une largeur de bande spectrale suffisamment plus étroite que la résolution prescrite pour l'analyseur d'essai. Il est recommandé d'utiliser les sources de rayonnement lumineux données au Tableau 1, une diode laser (LD) (SMSR > 40 dB, voir 3.20) ou un laser à fibre (aussi avec SMSR > 40 dB).
- Affaiblisseur variable*: utiliser un affaiblisseur variable qui peut être ajusté sur la plage de puissance optique utilisée dans l'essai.

6.3.5.3 Procédure d'essai pour déterminer la dépendance du niveau de puissance vis-à-vis de la température

La procédure d'essai pour déterminer la dépendance du niveau de puissance vis-à-vis de la température est la suivante.

- Avec la configuration d'essai représentée à la Figure 9, régler la résolution spectrale de l'analyseur d'essai de telle sorte qu'elle soit beaucoup plus grande que la largeur de bande spectrale de la source de rayonnement lumineux utilisée pour la mesure. Une fois la température de l'analyseur d'essai stabilisée comme spécifié dans des conditions d'essai de référence, ajuster l'affaiblisseur de telle sorte que le niveau de puissance du rayonnement lumineux envoyé à l'analyseur d'essai soit le même que celui utilisé pour l'étalonnage dans des conditions de référence. La lecture fournie par l'analyseur d'essai à ce moment est définie comme $P_{OSA, Tref}$.
- Modifier alors la température de l'enceinte thermique. Suffisamment de temps (par exemple 2 h) doit être laissé à l'OSA soumis à l'étalonnage pour atteindre l'équilibre

thermique à chaque température utilisée. La nouvelle température est définie comme T_j , et la lecture de l'analyseur d'essai est définie comme P_{OSA_j} .

L'erreur de sensibilité à la température T_j , $DP(T_j)$, est donnée par l'Equation (35).

$$DP(T_j) = \frac{P_{OSA_j}}{P_{OSA,Tref}} - 1 \quad (35)$$

c) Répéter cette procédure avec différents réglages de température (faire varier T_j).

d) $|D_{PTMP}|_{MAX}$ est la valeur maximale des valeurs absolues de $DP(T_j)$ obtenues.

6.3.5.4 Calcul de l'incertitude due à la dépendance du niveau de puissance vis-à-vis de la température

L'incertitude due à la dépendance par rapport à la température, $u_{D_{PTMP}}$, est donnée par l'Equation (36):

$$u_{D_{PTMP}} = \frac{|D_{PTMP}|_{MAX}}{\sqrt{3}} \quad (36)$$

6.4 Calcul de l'incertitude étendue

Lorsque l'analyseur d'essai est uniquement utilisé dans des conditions de référence, l'incertitude étendue $U_{P_{ref}}$, peut être calculée par l'Equation (37) avec un facteur de couverture k .

$$U_{P_{ref}} = \pm k u_{D_{P_{ref}}} \quad (37)$$

Lorsque l'analyseur d'essai est utilisé au-delà des conditions de référence, il convient que l'incertitude du niveau de puissance cumulatif de l'analyseur d'essai, $u_{D_{Pop}}$, soit calculée en utilisant l'Equation (38) avec les résultats des Equations (23), (26), (30), (34) et (36) lorsque toutes les procédures d'étalonnage sont effectuées dans des conditions de fonctionnement.

$$u_{D_{Pop}} = \sqrt{u_{PMref}^2 + u_{DP}^2 + u_{res_ref}^2 + u_{res_OSA}^2 + u_{DP_\lambda}^2 + u_{D_{POL}}^2 + u_{D_{LIN}}^2 + u_{D_{PTMP}}^2} \quad (38)$$

où

$u_{PMref} = \frac{U_{PMref}}{k}$ est l'incertitude, à la puissance mesurée, de l'appareil de mesure de la puissance optique de référence telle qu'indiquée dans son certificat;

u_{DP} est l'écart-type des valeurs mesurées dans des conditions de référence;

u_{res_ref} est l'incertitude donnée par la résolution de l'affichage de l'appareil de mesure de la puissance étalonné;

u_{res_OSA} est l'incertitude donnée par la résolution de l'affichage de l'OSA;

u_{DP_λ} est l'incertitude due à la dépendance par rapport à la longueur d'onde;

$u_{D_{POL}}$ est l'incertitude due à la dépendance par rapport à la polarisation;

$u_{D_{LIN}}$ est l'incertitude due à linéarité;

$u_{D_{TMP}}$ est l'incertitude due à la dépendance par rapport à la température.

L'incertitude étendue U_{Pop} avec un facteur de couverture k est exprimée par l'Equation (39):

$$U_{Pop} = \pm k u_{D_{Pop}} \quad (39)$$

L'écart, l'incertitude et l'incertitude étendue du niveau de puissance D_P , u_P et U_P , au niveau de puissance indiqué par P (mW) sont donnés par les Equations (40) et (41), lorsque l'objectif est d'obtenir ces valeurs en unités de puissance absolues.

$$D_P = D_{P_{ref}} P \text{ (mW)} \quad (40)$$

$$U_{P_{ref}} = U_{P_{ref}} P \text{ (mW)} \quad (41)$$

Lorsque l'écart ou l'incertitude doivent être exprimés en dB, utiliser l'Equation (42) pour convertir le résultat en dB:

$$U(\text{dB}) = 10 \log_{10}(1 + X) \quad (42)$$

où $X = D_{P_{ref}}$ ou $U_{D_{ref}}$

S'il s'agit du niveau de puissance qui doit être corrigé en se basant sur les résultats d'étalonnage, des corrections logicielles sur l'appareil, des corrections mathématiques sur les résultats ou des ajustements matériels de l'appareil sont généralement mis en œuvre. Une fois les ajustements effectués, il est judicieux de répéter l'essai pour vérifier que la correction a fonctionné correctement (voir Annexe C).

7 Essai de résolution spectrale

7.1 Vue d'ensemble

Si elle n'est pas connue, il convient de soumettre aux essais la résolution spectrale de l'analyseur d'essai avant l'étalonnage du niveau de puissance et de la longueur d'onde parce que la résolution spectrale influence leur étalonnage. Cet essai est effectué dans des conditions d'étalonnage de référence. La longueur d'onde est donnée dans le vide.

NOTE Le résultat de l'essai de résolution spectrale décrit ici est utilisé comme la largeur de bande optique (en unité de longueur d'onde) pour la mesure de la figure de bruit d'un amplificateur optique. L'étalonnage de la largeur de bande optique est décrit dans l'IEC 61290-3-1.

7.2 Essai de résolution spectrale

7.2.1 Généralités

Des montages alternatifs pour les essais de résolution spectrale sont présentés aux Figures 1, 2, 3. Dans le montage de la Figure 1, un laser à gaz, de longueur d'onde connue, est utilisé comme source de rayonnement lumineux. La Figure 2 représente un montage dans lequel une source à large bande est utilisée conjointement avec un dispositif de transmission de longueurs d'onde de transmission de crête (ou nulle) connues (traçables). La Figure 3 représente un montage dans lequel une diode laser (LD), de longueur d'onde inconnue, est utilisée comme source de rayonnement lumineux.

7.2.2 Appareillage pour l'essai de la résolution spectrale

L'appareillage pour l'essai de la résolution spectrale est le suivant.

- a) *Source de rayonnement lumineux*: utiliser la source de rayonnement lumineux prescrite pour l'étalonnage de l'analyseur d'essai; si aucune source de rayonnement lumineux n'est prescrite, en utiliser une avec une largeur de bande spectrale et une stabilité de longueur d'onde suffisante pour la résolution spectrale minimale prescrite pour l'analyseur d'essai.

Les sources de rayonnement lumineux recommandées sont des lasers tels que ceux indiqués au Tableau 1, une diode laser (LD) ou un autre laser (pouvant être accordable) possédant une largeur de bande spectrale beaucoup plus étroite que la résolution spectrale de l'analyseur d'essai. Une source à large bande peut également être utilisée conjointement avec un dispositif de transmission de longueurs d'onde de transmission de crête (ou nulle) connues (traçables). Le dispositif de transmission peut être, par exemple, une série de filtres à bandes étroites fixes, des raies d'absorption dans un milieu gazeux, ou des interféromètres de type Fabry-Perot. De nombreuses références de longueurs d'onde stables sont présentées dans des tableaux à l'Annexe D. Il convient que les références utilisées possèdent une stabilité de longueur d'onde, une largeur de bande spectrale et une stabilité de puissance suffisantes pour l'essai de la résolution spectrale.

Tableau 1 – Sources de rayonnement lumineux recommandées

Source de rayonnement lumineux	Longueur d'onde (nm) [vac]
Laser Ar	488,122
	514,673
Laser He-Ne ^{a)}	632,991
	1 152,590
	1 523,488
^a Deux modes peuvent être présents dans le laser He-Ne à une longueur d'onde de 1 152 nm. Il faut donc s'assurer d'utiliser la ligne correcte.	

- b) *Appareil de mesure de longueur d'onde*: utiliser un appareil pour mesurer la longueur d'onde d'une source de rayonnement lumineux. L'appareil de mesure de la longueur d'onde doit être étalonné et les écarts doivent être corrigés. Cet appareil est utilisé lorsqu'une diode laser (LD) de longueur d'onde inconnue est utilisée comme source de rayonnement lumineux. Il convient d'étalonner cet appareil conformément à l'IEC 62129-2.
- c) *Fibre optique*: utiliser une fibre optique unimodale de classe B comme définie dans l'IEC 60793-2.

7.2.3 Procédure d'essai pour la résolution spectrale

La procédure d'essai pour l'essai de la résolution spectrale est la suivante.

- a) En utilisant le montage d'essai représenté aux Figures 1, 2 ou 3, régler la plage de mesure de la longueur d'onde de l'analyseur d'essai sur une plage étroite qui contient tout le spectre de la source de rayonnement lumineux. Régler la résolution spectrale de l'analyseur d'essai à sa valeur spécifiée. La valeur spécifiée est R_{set} .
- b) Mesurer la résolution de la largeur de bande spectrale affichée, $R_{\text{OSA}i}$, c'est-à-dire l'intervalle de longueur d'onde à 3 dB en dessous de la valeur de crête. Répéter cette mesure au moins dix fois et calculer la résolution moyenne en utilisant l'Equation (43).

$$R_{\text{OSA}} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m R_{\text{OSA}i} \quad (43)$$

où m est le nombre de mesures.

- c) Calculer le rapport de différence de la valeur de l'OSA à partir du réglage de résolution spectrale en utilisant l'Equation (44).

$$D_R = \frac{R_{OSA}}{R_{set}} - 1 \quad (44)$$

- d) Si cela est nécessaire, répéter cette procédure avec différents réglages de la résolution spectrale.

Lorsque l'analyseur d'essai présente une erreur de linéarité sur l'intervalle de longueurs d'onde, il est nécessaire d'accorder la source de rayonnement lumineux légèrement autour de la longueur d'onde concernée, tout en effectuant de multiples mesures de largeur de bande affichée à 3 dB pour obtenir une mesure précise de la résolution spectrale réelle à une longueur d'onde donnée. La plage d'accord exigée est de l'ordre de ± 1 nm, de sorte que cette mesure puisse être effectuée avec un laser DFB accordé en température, un laser à cavité externe ou un laser à fibre accordable. En calculant la moyenne des lectures de résolution spectrale, une mesure plus précise de la résolution spectrale réelle peut être obtenue.

8 Documentation

8.1 Conditions de mesure

Les méthodes d'étalonnage et les méthodes pour obtenir les résultats de mesure doivent être indiquées.

Il convient que chaque spécification soit également accompagnée par une indication des états des appareils et les conditions de mesure pour lesquelles ils s'appliquent. Les paramètres les plus importants sont: la date d'étalonnage, le niveau de puissance, la résolution horizontale et verticale de l'affichage, la température, l'humidité, la pression atmosphérique et la plage de longueurs d'onde affichée.

NOTE Les résultats d'étalonnage s'appliquent uniquement à l'ensemble des conditions d'essai utilisées pour le processus d'étalonnage.

8.2 Données de mesure et incertitude

Les certificats d'étalonnage déclarés être en conformité avec ce document doivent inclure les données suivantes et leurs incertitudes. Les incertitudes doivent être indiquées sous la forme d'intervalles de confiance estimés en multipliant l'écart-type applicable par $\pm k$.

- L'écart de longueur d'onde $D_{\lambda_{ref}}$ et son incertitude $\pm ku_{D_{\lambda_{ref}}}$ par exemple, exprimés en nm, dans le vide. Voir le détail des exigences à l'Article 5.
- L'écart du niveau de puissance $D_{P_{ref}}$ et son incertitude $\pm ku_{D_{P_{ref}}}$ par exemple, exprimés en % ou en dB. Voir le détail des exigences à l'Article 6.
- Les résultats d'essai de la résolution spectrale, si elle est mesurée, par exemple, le rapport de différence D_R . La longueur d'onde est la longueur d'onde dans le vide. Voir le détail des exigences à l'Article 7.

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 fondée sur le Guide ISO/IEC 98-3, mais elle ne dispense pas de consulter ce guide pour plus de détails.

La présente norme distingue deux types d'évaluations 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 le même mesurande. Le type B est la méthode d'évaluation de l'incertitude fondée sur d'autres connaissances.

A.2 Évaluation de l'incertitude de type A

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

Pour une grandeur 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 grandeur, 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; par hypothèse 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 Évaluation de l'incertitude de type B

L'évaluation de l'incertitude-type 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 fondée sur un jugement scientifique des informations disponibles sur la variabilité de la grandeur.

Si un certificat d'étalonnage, un manuel technique, des spécifications d'un fabricant ou un autre document donnent l'estimation x d'une grandeur 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.

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

Si seules les limites supérieure et inférieure X_{\max} et X_{\min} peuvent être estimées pour la valeur de la grandeur X , par hypothèse, la distribution des probabilités est rectangulaire et l'incertitude-type est:

$$u(x) = \frac{\left(|X_{\max}|, |X_{\min}| \right)_{\text{MAX}}}{\sqrt{3}} \quad (\text{A.5})$$

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:

$$u(y) = c u(x) \quad (\text{A.6})$$

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 .

$$c = \frac{\partial y}{\partial x} \quad (\text{A.7})$$

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'Equation (A.7) 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 combinée

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

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n u_i^2(y)} \quad (\text{A.8})$$

où

i est le nombre actuel de contributions individuelles;

$u_i(y)$ sont les contributions des incertitudes-types;

n est le nombre d'incertitudes.

NOTE Il est acceptable de négliger les contributions des incertitudes à cette équation qui sont inférieures à 1/10 de la plus grande contribution, car le fait de les élever au carré réduira leur valeur significative de 1/100 par rapport à la plus grande contribution.

Lorsque les grandeurs ci-dessus doivent être utilisées pour d'autres calculs d'incertitude, alors l'incertitude-type combinée u_c peut être réintégrée dans l'Equation (A.8). 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-types combinées doivent être consignées sous la forme d'incertitudes étendues, en association avec le niveau de confiance applicable. Les écarts ou facteurs de correction doivent être consignés. L'incertitude étendue U est obtenue en multipliant l'incertitude-type $u_c(y)$ par un facteur de couverture k .

$$U = k \cdot u_c(y) \quad (\text{A.9})$$

Pour un niveau de confiance d'environ 95 %, le niveau par défaut, alors $k = 2$. Si un niveau de confiance d'environ 99 % est choisi, alors $k = 3$. Les valeurs précédentes de k sont valides dans certaines conditions, (voir le Guide ISO/IEC 98-3). Si ces conditions ne sont pas satisfaites, des facteurs de couverture plus grands doivent être utilisés pour atteindre ces niveaux de confiance.

Annexe B (informative)

Exemples de calcul de l'incertitude d'étalonnage

B.1 Généralités

Des exemples de calcul de l'incertitude d'étalonnage relative à la longueur d'onde et au niveau de puissance sont donnés aux Articles B.2 et B.3.

B.2 Etalonnage de la longueur d'onde

B.2.1 Incertitudes dans des conditions de référence: $u_{D\lambda_{\text{ref}}}$

L'incertitude, dans des conditions de référence de l'analyseur d'essai, $u_{D\lambda_{\text{ref}}}$, par rapport à la longueur d'onde est calculée en utilisant l'Equation (12).

En utilisant les 10 valeurs suivantes de la longueur d'onde centrale $\lambda_{\text{OSA}i}$ pour un laser He-Ne avec une longueur d'onde de $\lambda_{\text{REF}} = 633,0$ nm mesurée par l'analyseur d'essai, l'incertitude peut être trouvée.

$\lambda_{\text{OSA}1} = 632,9$ nm	$\lambda_{\text{OSA}6} = 633,0$ nm
$\lambda_{\text{OSA}2} = 633,0$ nm	$\lambda_{\text{OSA}7} = 632,8$ nm
$\lambda_{\text{OSA}3} = 632,8$ nm	$\lambda_{\text{OSA}8} = 632,7$ nm
$\lambda_{\text{OSA}4} = 632,8$ nm	$\lambda_{\text{OSA}9} = 632,8$ nm
$\lambda_{\text{OSA}5} = 632,9$ nm	$\lambda_{\text{OSA}10} = 632,7$ nm

L'écart-type des valeurs mesurées est calculé comme suit.

Calculer l'incertitude-type $u_{\lambda_{\text{OSA}}}$ des valeurs $\lambda_{\text{OSA}i}$ mesurées en utilisant l'Equation (11).

$$u_{\lambda_{\text{OSA}}} = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (\lambda_{\text{OSA},i} - \lambda_{\text{OSA,AV}})^2} =$$

$$\sqrt{\frac{(632,9 - 632,84)^2 + (633,0 - 632,84)^2 + \dots + (632,7 - 632,84)^2}{10-1}} = 0,107 \text{ (nm)} \quad (\text{B.1})$$

L'incertitude de la longueur d'onde de la source de rayonnement lumineux est $u_{\lambda_{\text{REF}}} = 10^{-5} \sim 10^{-6}$, qui est assez bonne pour permettre l'utilisation de l'approximation $u_{\lambda_{\text{REF}}} = 0$. Alors l'incertitude dans des conditions de référence, $u_{D\lambda_{\text{ref}}}$, de l'analyseur d'essai peut être trouvée en utilisant l'Equation (12) si la résolution et la dépendance par rapport à la température sont négligeables dans les conditions de référence.

$$u_{D\lambda_{\text{ref}}} = \sqrt{u_{\lambda_{\text{REF}}}^2 + \frac{u_{\lambda_{\text{OSA}}}^2}{m}} = \sqrt{0,0^2 + \frac{0,107^2}{10}} = 0,034 \text{ (nm)} \quad (\text{B.2})$$

Comme exigé à l'Article A.5, les résultats du calcul de l'incertitude doivent être consignés sous la forme d'incertitudes étendues. Si le facteur de couverture choisi est 2, l'incertitude étendue $U_{D_{\lambda_{\text{ref}}}}$ est

$$U_{D_{\lambda_{\text{ref}}}} = k \times u_{D_{\lambda_{\text{ref}}}} = 2 \times 0,034 = 0,068 \text{ (nm)}. \quad (\text{B.3})$$

La valeur moyenne des valeurs $\lambda_{\text{OSA}_{\text{AV}}}$ mesurées est obtenue à partir de l'Equation (9).

$$\lambda_{\text{OSA}_{\text{AV}}} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \lambda_{\text{OSA},i} = \frac{6\,328,4}{10} = 632,84 \text{ (nm)} \quad (\text{B.4})$$

L'écart des valeurs mesurées, $D_{\lambda_{\text{ref}}}$, est obtenu à partir de l'Equation (10).

$$D_{\lambda_{\text{ref}}} = \lambda_{\text{OSAAV}} - \lambda_{\text{REF}} = 632,84 - 633,0 = -0,16 \text{ (nm)} \quad (\text{B.5})$$

B.2.2 Incertitude dans des conditions de fonctionnement

B.2.2.1 Généralités

L'exemple suivant montre le calcul de l'incertitude lorsque la dépendance par rapport à la longueur d'onde et la dépendance par rapport à la température sont étalonnées.

B.2.2.2 Dépendance par rapport à la longueur d'onde

La dépendance par rapport à la longueur d'onde sera déduite en utilisant les valeurs de longueurs d'onde centrales suivantes mesurées pour cinq sources de rayonnement lumineux de longueurs d'onde différentes de λ_{ref} .

$\lambda_{\text{OSA1}} = 650,4 \text{ nm}$	$\lambda_{\text{REF1}} = 650,6 \text{ nm}$
$\lambda_{\text{OSA2}} = 780,5 \text{ nm}$	$\lambda_{\text{REF2}} = 780,3 \text{ nm}$
$\lambda_{\text{OSA3}} = 850,2 \text{ nm}$	$\lambda_{\text{REF3}} = 850,1 \text{ nm}$
$\lambda_{\text{OSA4}} = 1\,310,5 \text{ nm}$	$\lambda_{\text{REF4}} = 1\,310,7 \text{ nm}$
$\lambda_{\text{OSA5}} = 1\,552,1 \text{ nm}$	$\lambda_{\text{REF5}} = 1\,552,0 \text{ nm}$

L'écart de la valeur mesurée pour une source de rayonnement lumineux individuelle est calculé à partir de l'Equation (13), pour chaque longueur d'onde.

$$D_{\lambda_{\lambda 1}} = 650,4 - 650,6 = -0,2 \text{ (nm)}$$

$$D_{\lambda_{\lambda 2}} = 780,5 - 780,3 = 0,2 \text{ (nm)}$$

$$D_{\lambda_{\lambda 3}} = 850,2 - 850,1 = 0,1 \text{ (nm)}$$

$$D_{\lambda_{\lambda 4}} = 1\,310,5 - 1\,310,7 = -0,2 \text{ (nm)}$$

$$D_{\lambda_{\lambda 5}} = 1\,552,1 - 1\,552,0 = 0,1 \text{ (nm)}$$

A partir de ces valeurs:

$$D_{\lambda_{\lambda, \text{MAX}}} = 0,2 \text{ nm et } D_{\lambda_{\lambda, \text{MIN}}} = -0,2 \text{ nm}$$

donc $|D_{\lambda_{\lambda}}|_{\text{MAX}} = 0,2 \text{ nm}$.

L'incertitude de l'erreur de dépendance par rapport à la longueur d'onde, $u_{D\lambda\lambda}$, est donnée par l'Equation (14).

$$u_{D\lambda\lambda} = \frac{|D\lambda\lambda|_{\text{MAX}}}{\sqrt{3}} = \frac{0,2}{\sqrt{3}} = 0,115 \quad (\text{B.6})$$

B.2.2.3 Dépendance par rapport à la température

Les valeurs des longueurs d'onde centrales suivantes, mesurées pour diverses températures en utilisant un laser He-Ne $\lambda_{\text{REF}} = 633,0$ nm seront utilisées pour montrer la dépendance par rapport à température:

$T1 = 10$ °C	$\lambda_{\text{OSA1}} = 632,8$ nm
$T2 = 15$ °C	$\lambda_{\text{OSA2}} = 632,7$ nm
$T3 = 20$ °C	$\lambda_{\text{OSA3}} = 632,8$ nm
$T4 = 25$ °C	$\lambda_{\text{OSA4}} = 632,9$ nm
$T5 = 30$ °C	$\lambda_{\text{OSA5}} = 633,1$ nm
$T6 = 35$ °C	$\lambda_{\text{OSA6}} = 633,2$ nm

$$D_{\lambda T1} = 632,8 - 633,0 = -0,2 \text{ (nm)}$$

$$D_{\lambda T2} = 632,7 - 633,0 = -0,3 \text{ (nm)}$$

$$D_{\lambda T3} = 632,8 - 633,0 = -0,2 \text{ (nm)}$$

$$D_{\lambda T4} = 632,9 - 633,0 = -0,1 \text{ (nm)}$$

$$D_{\lambda T5} = 633,1 - 633,0 = 0,1 \text{ (nm)}$$

$$D_{\lambda T6} = 633,2 - 633,0 = 0,2 \text{ (nm)}$$

A partir de l'Equation (16):

$$u_{D\lambda T} = \frac{|D_{\lambda T, \text{MAX}}|}{\sqrt{3}} = \frac{0,3}{\sqrt{3}} = 0,173 \text{ (nm)} \quad (\text{B.7})$$

B.2.3 Calcul de l'incertitude étendue

L'exemple suivant montre le calcul de l'incertitude étendue lorsque l'étalonnage est effectué dans des conditions de fonctionnement.

L'incertitude cumulée peut être obtenue en utilisant l'Equation (18) et avec des résolutions négligeables.

$$\begin{aligned} u_{D\lambda_{\text{op}}} &= \sqrt{0,107^2 + 0,115^2 + 0,173^2} \\ &= \sqrt{0,054} = 0,23 \text{ (nm)} \end{aligned} \quad (\text{B.8})$$

En conséquence, l'incertitude étendue $U_{\lambda_{op}}$ est obtenue avec un facteur de couverture $k = 2$ pour un niveau de confiance de 95 %.

$$U_{\lambda_{op}} = \pm k u_{D_{\lambda_{op}}} = \pm 2 \times 0,23 = \pm 0,46 \text{ (nm)} \quad (\text{B.9})$$

B.3 Etalonnage du niveau de puissance

B.3.1 Incertitudes dans des conditions de référence: $u_{D_{P_{ref}}}$

L'incertitude de l'analyseur, $u_{D_{P_{ref}}}$, concernant le niveau de puissance dans des conditions d'étalonnage de référence est calculée en utilisant l'Equation (23).

Ici, l'incertitude de l'appareil de mesure de la puissance étalonné est donnée comme 4,0 % dans sa certification, avec un facteur de couverture $k = 2$:

$$u_{P_{Mref}} = 0,02 \quad (\text{B.10})$$

En utilisant les 10 paires suivantes de $P_{ref,i}$ et P_{OSA_i} mesurées avec l'appareil de mesure de la puissance optique de référence et l'analyseur d'essai, l'incertitude de l'analyseur d'essai peut être obtenue.

$P_{ref1} = 0,200 \text{ mW}$	$P_{OSA1} = 0,210 \text{ mW}$
$P_{ref2} = 0,202 \text{ mW}$	$P_{OSA2} = 0,205 \text{ mW}$
$P_{ref3} = 0,201 \text{ mW}$	$P_{OSA3} = 0,203 \text{ mW}$
$P_{ref4} = 0,200 \text{ mW}$	$P_{OSA4} = 0,215 \text{ mW}$
$P_{ref5} = 0,199 \text{ mW}$	$P_{OSA5} = 0,195 \text{ mW}$
$P_{ref6} = 0,199 \text{ mW}$	$P_{OSA6} = 0,190 \text{ mW}$
$P_{ref7} = 0,200 \text{ mW}$	$P_{OSA7} = 0,197 \text{ mW}$
$P_{ref8} = 0,201 \text{ mW}$	$P_{OSA8} = 0,213 \text{ mW}$
$P_{ref9} = 0,201 \text{ mW}$	$P_{OSA9} = 0,215 \text{ mW}$
$P_{ref10} = 0,202 \text{ mW}$	$P_{OSA10} = 0,220 \text{ mW}$

Le rapport de différence entre le résultat de l'OSA et le résultat de l'appareil de mesure de la puissance est calculé en utilisant l'Equation (20).

$D_{P1} = 0,05$	$D_{P2} = 0,015$
$D_{P3} = 0,010$	$D_{P4} = 0,075$
$D_{P5} = -0,02$	$D_{P6} = -0,045$
$D_{P7} = -0,015$	$D_{P8} = 0,06$
$D_{P9} = 0,07$	$D_{P10} = 0,089$

La moyenne et les écarts-types du rapport de différence sont calculés en utilisant les Equations (21) et (22).

$$D_P = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m D_{Pi} = 0,289/10 = 0,0289 \quad (\text{B.11})$$

$$u_{D_P} = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (D_{P_i} - D_P)^2} = \sqrt{0,019\ 17/9} = 0,046\ 2 \quad (\text{B.12})$$

L'écart-type de la différence ($u_{D_P} = 0,0462$) est plus grand que l'incertitude de l'appareil de mesure de la puissance ($u_{P_{PM}} = 0,02$).

A partir de l'Equation (23), si les résolutions et la dépendance par rapport à la température sont négligeables dans les conditions de référence, l'incertitude $u_{D_{P_{ref}}}$ est:

$$u_{D_{P_{ref}}} = \sqrt{u_{P_{M_{ref}}}^2 + \frac{u_{D_P}^2}{m}} = \sqrt{0,02^2 + \frac{0,046\ 2^2}{10}} = 0,024\ 8 \quad (\text{B.13})$$

Comme exigé à l'Article A.5, les résultats du calcul de l'incertitude doivent être consignés sous la forme d'incertitudes étendues. Si le facteur de couverture choisi est 2, l'incertitude étendue $U_{D_{P_{ref}}}$ est:

$$U_{D_{P_{ref}}} = k \times u_{D_{P_{ref}}} = 2 \times 0,024\ 8 = 0,049\ 6 \quad (\text{B.14})$$

L'écart du niveau de puissance est obtenu à partir de l'Equation (24).

$$D_{P_{ref}} = D_P = 0,028\ 9 \quad (\text{B.15})$$

B.3.2 Incertitude dans des conditions de fonctionnement

B.3.2.1 Généralités

L'exemple suivant montre le calcul de l'incertitude lorsque les étalonnages sont effectués individuellement sur quatre facteurs, à savoir la longueur d'onde, la polarisation, la linéarité et la température.

B.3.2.2 Dépendance par rapport à la longueur d'onde

La dépendance par rapport à la longueur d'onde sera déduite pour des niveaux de puissance de crête affichés (P_{OSA_j}) de l'analyseur d'essai et les valeurs de référence sur l'appareil de mesure de la puissance optique ($P_{REF,j}$) pour les longueurs d'onde indiquées ci-dessous.

$\lambda_1 = 488\ \text{nm}$	$P_{OSA1} = 0,122\ 5\ \mu\text{W}$	$P_{REF1} = 0,120\ 2\ \mu\text{W}$
$\lambda_2 = 633\ \text{nm}$	$P_{OSA2} = 0,130\ 7\ \mu\text{W}$	$P_{REF2} = 0,120\ 5\ \mu\text{W}$
$\lambda_3 = 780\ \text{nm}$	$P_{OSA3} = 0,131\ 0\ \mu\text{W}$	$P_{REF3} = 0,123\ 0\ \mu\text{W}$
$\lambda_4 = 850\ \text{nm}$	$P_{OSA4} = 0,153\ 2\ \mu\text{W}$	$P_{REF4} = 0,147\ 0\ \mu\text{W}$
$\lambda_5 = 1\ 500\ \text{nm}$	$P_{OSA5} = 0,160\ 5\ \mu\text{W}$	$P_{REF5} = 0,175\ 8\ \mu\text{W}$
$\lambda_6 = 1\ 550\ \text{nm}$	$P_{OSA6} = 0,152\ 0\ \mu\text{W}$	$P_{REF6} = 0,162\ 0\ \mu\text{W}$
$\lambda_7 = 1\ 600\ \text{nm}$	$P_{OSA7} = 0,120\ 7\ \mu\text{W}$	$P_{REF7} = 0,115\ 5\ \mu\text{W}$

A partir de l'Equation (25):

$$D_{P_{\lambda 1}} = P_{OSA1} / P_{REF1} - 1 = 0,122\ 5 / 0,120\ 2 - 1 = 0,019\ 13$$

$$D_{P_{\lambda 2}} = P_{OSA2} / P_{REF2} - 1 = 0,1307 / 0,1205 - 1 = 0,08465$$

$$D_{P_{\lambda 3}} = P_{OSA3} / P_{REF3} - 1 = 0,1310 / 0,1230 - 1 = 0,06504$$

$$D_{P_{\lambda 4}} = P_{OSA4} / P_{REF4} - 1 = 0,1532 / 0,1470 - 1 = 0,04218$$

$$D_{P_{\lambda 5}} = P_{OSA5} / P_{REF5} - 1 = 0,1605 / 0,1758 - 1 = -0,08703$$

$$D_{P_{\lambda 6}} = P_{OSA6} / P_{REF6} - 1 = 0,1520 / 0,1620 - 1 = -0,06173$$

$$D_{P_{\lambda 7}} = P_{OSA7} / P_{REF7} - 1 = 0,1207 / 0,1155 - 1 = 0,04502$$

A partir de ces valeurs:

$$D_{P_{\lambda \text{MAX}}} = D_{P_{\lambda 5}} = 0,08703$$

L'incertitude due à la dépendance par rapport à la longueur d'onde, $u_{DP_{\lambda}}$, est donnée par l'Equation (26).

$$u_{DP_{\lambda}} = \frac{|D_{P_{\lambda}}|_{\text{MAX}}}{\sqrt{3}} = \frac{0,08703}{\sqrt{3}} = 0,0502 \quad (\text{B.16})$$

B.3.2.3 Dépendance par rapport à la polarisation

La dépendance par rapport à la polarisation sera déduite en utilisant les valeurs suivantes de $P_{\text{MAX}}(\lambda_j)$ et $P_{\text{MIN}}(\lambda_j)$ mesurées en faisant tourner une lame demi-onde pour déplacer le plan de polarisation de la source de rayonnement lumineux de 0 ° à 180 °.

$$\lambda_1 = 850 \text{ nm} \quad P_{\text{MAX}}(\lambda_1) = 0,310 \text{ mW} \quad P_{\text{MIN}}(\lambda_1) = 0,292 \text{ mW}$$

$$\lambda_2 = 1310 \text{ nm} \quad P_{\text{MAX}}(\lambda_2) = 0,204 \text{ mW} \quad P_{\text{MIN}}(\lambda_2) = 0,194 \text{ mW}$$

$$\lambda_3 = 1550 \text{ nm} \quad P_{\text{MAX}}(\lambda_3) = 0,206 \text{ mW} \quad P_{\text{MIN}}(\lambda_3) = 0,193 \text{ mW}$$

A partir des Equations (27) et (28), les variations $DP_{\text{UL}}(\lambda_j)$ et $DP_{\text{LL}}(\lambda_j)$ et la variation moyenne $P_{\text{AVE}}(\lambda_j)$ de niveau de puissance due à la polarisation avec la longueur d'onde λ_j , sont données comme suit:

$$P_{\text{AVE}}(\lambda_1) = 0,301 \text{ mW} \quad DP_{\text{UL}}(\lambda_1) = 0,310 / 0,301 - 1 = 0,0299$$

$$DP_{\text{LL}}(\lambda_1) = 0,292 / 0,301 - 1 = -0,0299$$

$$P_{\text{AVE}}(\lambda_2) = 0,199 \text{ mW} \quad DP_{\text{UL}}(\lambda_2) = 0,204 / 0,199 - 1 = 0,0251$$

$$DP_{\text{LL}}(\lambda_2) = 0,194 / 0,199 - 1 = -0,0251$$

$$P_{\text{AVE}}(\lambda_3) = 0,1995 \text{ mW} \quad DP_{\text{UL}}(\lambda_3) = 0,206 / 0,1995 - 1 = 0,0326$$

$$DP_{\text{LL}}(\lambda_3) = 0,193 / 0,1995 - 1 = -0,0326$$

A partir de ces valeurs:

$$D_{P_{\text{POL,MAX}}} = DP_{\text{UL}}(\lambda_3) = 0,0326$$

$$D_{P_{\text{POL,MIN}}} = DP_{\text{LL}}(\lambda_3) = -0,0326$$

L'incertitude des variations du niveau de puissance due à la polarisation, $u_{DP_{\text{POL}}}$, est donnée par l'Equation (30).

$$u_{DP_{POL}} = \frac{D_{P_{POL,MAX}} - D_{P_{POL,MIN}}}{2\sqrt{3}} = \frac{0,032\ 6 + 0,032\ 6}{2\sqrt{3}} = 0,018\ 8 \quad (\text{B.17})$$

B.3.2.4 Linéarité

La linéarité sera déduite, en utilisant les valeurs suivantes, pour le rapport $P_{LIN,ref}$ de la valeur mesurée par l'analyseur d'essai sur la valeur obtenue à partir de l'appareil de mesure de la puissance et pour le rapport $P_{LIN,j}$ de la valeur mesurée par l'analyseur d'essai sur la valeur obtenue à partir de l'appareil de mesure de la puissance lorsque le niveau de puissance a varié en utilisant un affaiblisseur variable. L'erreur de linéarité $DP_{LIN}(P_j)$ au niveau de puissance P_j est donnée par l'Equation (33).

$P_{LIN,ref} = 1,025$	
$P_{LIN1} = 0,998$	$DP_{LIN}(P_1) = -0,026\ 34$
$P_{LIN2} = 0,985$	$DP_{LIN}(P_2) = -0,039\ 02$
$P_{LIN3} = 1,011$	$DP_{LIN}(P_3) = -0,013\ 66$
$P_{LIN4} = 1,009$	$DP_{LIN}(P_4) = -0,015\ 61$
$P_{LIN5} = 1,055$	$DP_{LIN}(P_5) = 0,029\ 27$

A partir de ces valeurs:

$$D_{R_{LIN,MAX}} = 0,029\ 27$$

$$D_{R_{LIN,MIN}} = -0,039\ 02$$

L'incertitude de linéarité, $u_{D_{R_{LIN}}}$, est obtenue à partir de l'Equation (34).

$$u_{D_{R_{LIN}}} = \frac{|D_{R_{LIN}}|_{MAX}}{\sqrt{3}} = \frac{0,039\ 02}{\sqrt{3}} = 0,022\ 5 \quad (\text{B.18})$$

B.3.2.5 Dépendance par rapport à la température

La dépendance par rapport à la température est obtenue à partir des valeurs suivantes. Il s'agit des valeurs de référence $P_{OSA,T_{ref}}$ de l'analyseur d'essai à la température spécifiée par les conditions d'étalonnage de référence et des valeurs du niveau de puissance $P_{OSA,j}$ mesurées par l'analyseur d'essai à diverses températures indiquées, pour un rayonnement lumineux émis par un laser à semiconducteur $\lambda = 1\ 310\ \text{nm}$ avec une puissance optique d'entrée de 0,200 mW (la valeur utilisée pour l'essai dans des conditions de référence). L'erreur de sensibilité à la température T_j , $DP(T_j)$, est donnée par l'Equation (35) comme suit:

$$P_{OSA,T_{ref}} = 0,200\ \text{mW}$$

$T_1 = 10\ ^\circ\text{C}$	$P_{OSA1} = 0,202\ \text{mW}$	$DP(T_1) = 0,010$
$T_2 = 15\ ^\circ\text{C}$	$P_{OSA2} = 0,204\ \text{mW}$	$DP(T_2) = 0,020$
$T_3 = 20\ ^\circ\text{C}$	$P_{OSA3} = 0,199\ \text{mW}$	$DP(T_3) = -0,005$
$T_4 = 25\ ^\circ\text{C}$	$P_{OSA4} = 0,197\ \text{mW}$	$DP(T_4) = -0,015$
$T_5 = 30\ ^\circ\text{C}$	$P_{OSA5} = 0,200\ \text{mW}$	$DP(T_5) = 0,0$
$T_6 = 35\ ^\circ\text{C}$	$P_{OSA6} = 0,207\ \text{mW}$	$DP(T_6) = 0,035$

A partir de ces valeurs:

$$D_{P_{\text{TMP},\text{MAX}}} = 0,035$$

$$D_{P_{\text{TMP},\text{MIN}}} = -0,015$$

L'incertitude due à la dépendance par rapport à la température, $u_{D_{P_{\text{TMP}}}}$, est obtenue à partir l'Equation (36).

$$u_{D_{P_{\text{TMP}}}} = \frac{|D_{P_{\text{TMP},\text{MAX}}}|}{\sqrt{3}} = \frac{0,035}{\sqrt{3}} = 0,0202 \quad (\text{B.19})$$

B.3.3 Calcul de l'incertitude étendue

L'exemple suivant montre le calcul de l'incertitude étendue lorsque l'étalonnage est effectué dans des conditions de fonctionnement.

L'incertitude du niveau de puissance est obtenue à partir de l'Equation (38) et avec des résolutions négligeables.

$$\begin{aligned} u_{D_{\text{Pop}}} &= \sqrt{0,0503^2 + 0,0502^2 + 0,0188^2 + 0,0225^2 + 0,0202^2} \\ &= \sqrt{0,00633} = 0,0795 \end{aligned} \quad (\text{B.20})$$

U_p en dB est obtenue à partir de l'Equation (42).

$$U_p(\text{dB}) = 10 \log_{10}(1 + 2 \times 0,0795) = 0,64(\text{dB}) \quad (\text{B.21})$$

Annexe C (informative)

Utilisation des résultats d'étalonnage

C.1 Généralités

C.1.1 Vue d'ensemble

Des mesures étalonnées peuvent être exigées pour des conditions qui diffèrent de celles dans lesquelles l'appareil a été étalonné, par exemple, la mesure d'une source à une longueur d'onde qui tombe entre deux points d'étalonnage de la longueur d'onde. Ainsi, il est nécessaire d'employer les techniques d'interpolation indiquées dans l'Annexe C.

L'interpolation des résultats de l'étalonnage sera valide uniquement pour certains paramètres et des restrictions seront appliquées aux plages sur lesquelles l'interpolation est valide.

C.1.2 Paramètres

La méthode indiquée dans l'Annexe C peut être appliquée aux paramètres suivants:

- 1) étalonnage de la correction d'échelle de la longueur d'onde comme une fonction de la longueur d'onde dans le vide;
- 2) étalonnage de la résolution spectrale de l'appareil comme une fonction de la longueur d'onde dans le vide;
- 3) étalonnage du niveau de puissance de l'appareil comme une fonction de la longueur d'onde dans le vide;
- 4) étalonnage de la linéarité de puissance de l'appareil comme une fonction de la longueur d'onde dans le vide.

La méthode indiquée dans l'Annexe C n'est pas applicable au paramètre suivant:

- la dépendance par rapport à la polarisation.

C.1.3 Restrictions

La méthode d'interpolation indiquée dans l'Annexe C est sujette à certaines restrictions.

- 1) L'opérateur doit s'assurer que suffisamment de points d'étalonnage sont disponibles pour vérifier que le modèle d'interpolation est valide.
- 2) La prédiction des corrections d'étalonnage pour les paramètres tombant en dehors de la plage des points d'étalonnage (extrapolation) n'est pas permise.
- 3) Certains modèles d'OSA utilisent un élément de diffraction pour sélectionner la longueur d'onde et peuvent également utiliser différents détecteurs pour couvrir la plage de longueurs d'onde de l'appareil. L'interpolation des corrections d'étalonnage à travers de telles variations de l'état de l'appareil n'est pas permise.
- 4) Si un modèle d'ajustement polynomial est utilisé, alors il convient que le degré du polynôme soit significativement plus petit que le nombre de points d'étalonnage.
- 5) La plage de validité de n'importe quelle fonction d'interpolation doit toujours être fournie.
- 6) Si la distribution des points d'étalonnage n'est pas uniforme, alors il peut être nécessaire de pondérer les valeurs d'étalonnage lors de l'ajustement du modèle d'interpolation. Il convient qu'un statisticien ou un personnel dûment qualifié certifie que le choix des valeurs de pondération est justifié.

C.2 Corrections additives

C.2.1 Paramètres

A l'Article C.2, tous les exemples ou symboles seront liés à l'étalonnage de l'échelle de longueur d'onde d'un OSA en utilisant un ajustement linéaire.

C.2.2 Mesures proches de la longueur d'onde de référence d'étalonnage

Si l'OSA est utilisé pour mesurer une longueur d'onde suffisamment proche d'une des longueurs d'onde de référence utilisées dans l'étalonnage, alors les longueurs d'onde mesurées peuvent être corrigées pour donner une approximation de la longueur d'onde dans le vide λ_{corr} en réorganisant l'Equation (13) de la façon suivante:

$$\lambda_{\text{corr}} = \lambda_{\text{OSA}} - D_{\lambda_{\lambda}} \quad (\text{C.1})$$

où

λ_{OSA} est la longueur d'onde mesurée par l'analyseur d'essai;

$D_{\lambda_{\lambda}}$ est l'écart de longueur d'onde obtenu à partir des résultats de l'étalonnage.

L'incertitude de la longueur d'onde corrigée, $u_{\lambda_{\text{corr}}}$, est obtenue en additionnant les contributions de mesure et de correction

$$u_{\lambda_{\text{corr}}} = \sqrt{u_{D_{\lambda_{\lambda}}}^2 + u_{\lambda_{\text{OSA}}}^2} \quad (\text{C.2})$$

où

$u_{D_{\lambda_{\lambda}}}$ est l'incertitude de l'analyseur d'essai due à la dépendance par rapport à la longueur d'onde;

$u_{\lambda_{\text{OSA}}}$ est l'incertitude-type des valeurs mesurées pendant l'étalonnage.

C.2.3 Mesures à d'autres longueurs d'onde

En général, seules quelques longueurs d'onde de référence peuvent être utilisées réparties sur une large plage de longueurs d'onde. Dans ce cas, il peut être approprié de décrire l'écart de longueur d'onde par:

$$D\lambda_{\text{OSA}}(\lambda_{\text{OSA}}) = DS_{\lambda}\lambda_{\text{OSA}} + D\lambda_0 \quad (\text{C.3})$$

où DS_{λ} est un facteur d'échelle qu'il convient idéalement de fixer à zéro, et $D\lambda_0$ est un décalage qu'il convient idéalement de fixer également à zéro. La relation entre la longueur d'onde mesurée et la vraie longueur d'onde dans le vide est donnée par:

$$\lambda_{\text{vac}}(\lambda_{\text{OSA}}) = \lambda_{\text{OSA}} + D\lambda_{\text{OSA}}(\lambda_{\text{OSA}}) + \varepsilon(\lambda_{\text{OSA}}) \quad (\text{C.4})$$

où $\lambda_{\text{vac}}(\lambda_{\text{OSA}})$ est la longueur d'onde dans le vide. Le terme $\varepsilon(\lambda_{\text{OSA}})$ représente une erreur additionnelle dont la forme peut dépendre de l'appareil particulier. Par exemple, dans un appareil utilisant un mécanisme de barre-sinus, il pourrait représenter une erreur périodique de barre-sinus. Ce terme inclut également les contributions de l'incertitude de type A (aléatoire).

Ajuster les résultats d'étalonnage à l'Equation (C.3) en utilisant une procédure des moindres carrés qui donnera DS_λ et $D\lambda_o$.

Si suffisamment de longueurs d'onde de référence sont utilisées, les différences de longueur d'onde peuvent être ajustées à une équation d'ordre plus élevé. Des dispositifs systématiques ou fonctionnels dans $\varepsilon(\lambda)$ émergeront comme un ou plusieurs termes d'ordre plus élevé et peuvent donc être utilisés pour corriger les longueurs d'onde mesurées. L'équation d'ajustement appropriée pour les caractéristiques de $\varepsilon(\lambda)$ et pour le nombre de longueurs d'onde de référence utilisées doit être choisie avec une attention particulière.

L'erreur en valeur efficace, $u_{\varepsilon\lambda}$, due à l'ajustement imparfait peut être calculée à partir des erreurs résiduelles aux valeurs de référence.

$$u_{\varepsilon\lambda} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D\lambda_{\lambda,i} - D\lambda_{OSA}(D\lambda_{OSA,i}))^2}{n-2}} \quad (\text{C.5})$$

NOTE Le nombre de points de donnée est $n-2$ qui provient de deux paramètres, à savoir la pente et l'interception ajustée.

Les longueurs d'onde mesurées par l'OSA peuvent être corrigées en soustrayant $D\lambda(\lambda_{OSA})$ de λ_{OSA} .

$$\lambda_{\text{corr}} = \lambda_{OSA} - D\lambda(\lambda_{OSA}) \quad (\text{C.6})$$

L'incertitude de l'erreur ou de la correction de la longueur d'onde calculée, $u_{D\lambda}$, est donnée par:

$$u_{D\lambda} = \sqrt{u_{\lambda_{OSA}}^2 + u_{\lambda_{REF}}^2 + u_{\varepsilon\lambda}^2} \quad (\text{C.7})$$

où $u_{\lambda_{REF}}$ est l'incertitude des longueurs d'onde de référence utilisées dans l'étalonnage. Comme plusieurs longueurs d'onde sont utilisées, $u_{\lambda_{REF}}^2$ peut être pris comme la moyenne des $(u_{\lambda_{REF,i}})^2$ utilisées dans l'étalonnage. Si des raies d'émission laser/de gaz sont utilisées pour l'étalonnage, alors ce terme sera négligé.

C.3 Corrections multiplicatrices

C.3.1 Paramètres

A l'Article C.3, tous les exemples et symboles seront liés à l'étalonnage de l'échelle de puissance affichée d'un OSA en fonction de la longueur d'onde.

C.3.2 Mesures proches de la longueur d'onde de référence d'étalonnage

Si l'OSA est utilisé pour mesurer une puissance proche d'une des longueurs d'onde de référence utilisée dans l'étalonnage de la puissance, alors la puissance mesurée peut être corrigée pour donner une approximation de la vraie puissance P_c . L'Equation (20) peut être réorganisée pour donner:

$$P_c = \frac{P_{OSA}}{1 + D_p} \quad (\text{C.8})$$

L'incertitude de la puissance corrigée, u_{P_c} , est déterminée en combinant les incertitudes de la puissance mesurée et l'étalonnage de la puissance affichée.

NOTE Les incertitudes de la puissance mesurée et de la puissance corrigée sont additives, alors que l'incertitude de la puissance affichée est multiplicative.

$$u_{P_c} = P_c \sqrt{u_{DP}^2 + \frac{u_{P_{OSA}}^2}{P_{OSA}^2}} \quad (\text{C.9})$$

C.3.3 Mesures à d'autres longueurs d'onde

En général, seuls quelques étalonnages de l'affichage peuvent être utilisés répartis sur une large plage de longueurs d'onde. Dans ce cas, il peut être approprié de décrire l'erreur d'étalonnage par une fonction.

$$DP_{\text{diff}}(\lambda_{OSA}) = DS_p \lambda_{OSA} + DP_o \quad (\text{C.10})$$

où DS_p est un facteur d'échelle qu'il convient idéalement de fixer à zéro, et DP_o est un décalage qu'il convient idéalement de fixer également à zéro. La relation entre la puissance mesurée et la vraie puissance est donnée par:

$$P_{\text{true}}(\lambda_{OSA}) = \frac{P_{OSA}}{1 + DP_{\text{diff}}(\lambda_{OSA}) + \varepsilon_p(\lambda_{OSA})} \quad (\text{C.11})$$

Le terme $\varepsilon_p(\lambda_{OSA})$ représente une erreur additionnelle dont la forme peut dépendre de l'appareil particulier. Par exemple, dans un appareil utilisant un photodétecteur refroidi, il pourrait représenter la dérivée de la réponse du détecteur. Ce terme inclut également les contributions de l'incertitude de type A (aléatoire).

Ajuster les résultats d'étalonnage à l'Equation (C.10) en utilisant une méthode des moindres carrés pour obtenir DS_p et DP_o . L'erreur en valeur efficace, u_{ε_p} , due à l'ajustement imparfait peut être calculée à partir des erreurs résiduelles aux valeurs de référence.

$$u_{\varepsilon_p} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (DP_{\text{diff},\lambda_i} - DP_{\text{diff}}(\lambda_i))^2}{n-2}} \quad (\text{C.12})$$

NOTE Le nombre de points de donnée est $n-2$ qui provient de deux paramètres, à savoir la pente et l'interception ajustée.

La puissance mesurée par l'OSA peut être corrigée comme suit:

$$P_c(\lambda_{OSA}) = \frac{P_{OSA}}{1 + DP_{\text{diff}}(P_{OSA})} \quad (\text{C.13})$$

L'incertitude de la correction de la puissance calculée est similaire à l'Equation (C.9) avec un terme additionnel pour l'erreur d'ajustement u_{ε_p} .

$$u_{P_c}(\lambda_{OSA}) = P_c(\lambda_{OSA}) \sqrt{u_{DPdiff}^2 + u_{ep}^2 + \frac{u_{POSA}^2}{P_{OSA}(\lambda_{OSA})^2}} \quad (C.14)$$

C.4 Résultats de l'étalonnage de l'OSA (correction additive)

Dans l'exemple suivant (voir le Tableau C.1, le Tableau C.2 et la Figure C.1), la procédure indiquée à l'Article C.2 est utilisée pour étalonner l'échelle de longueur d'onde d'un OSA. Les longueurs d'onde de référence sont des lignes d'émission de gaz krypton (voir Annexe D).

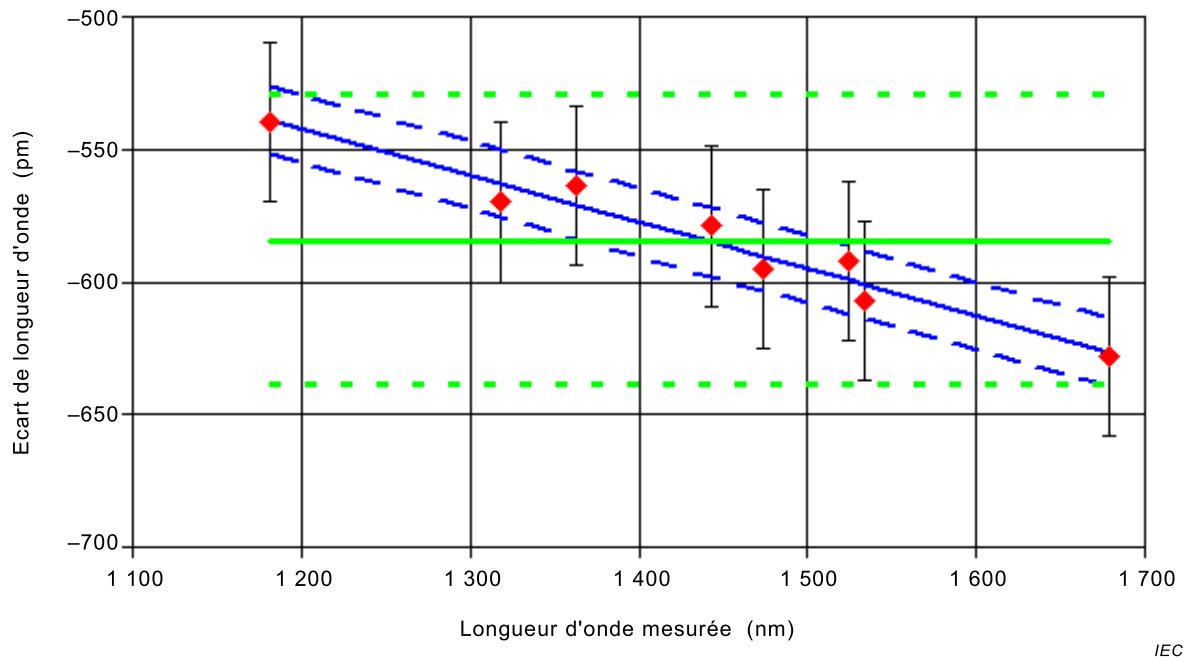
Tableau C.1 – Résultats de l'étalonnage de l'OSA

λ_{REF} (nm)	λ_{OSA} (nm)	$\lambda_{OSA} - \lambda_{REF}$ (pm)	$\lambda_{corr} - \lambda_{REF}^a$ (pm)	$u_{D\lambda}$ (pm)
1 182,261	1 181,721	-540	-0,8	±15
1 318,102	1 317,532	-570	-7,0	±15
1 363,795	1 363,231	-564	7,0	±15
1 443,074	1 442,495	-579	5,9	±15
1 473,846	1 473,251	-595	-4,7	±15
1 524,378	1 523,786	-592	7,1	±15
1 533,915	1 533,308	-607	-6,2	±15
1 678,971	1 678,343	-628	-1,8	±15
		<-584,4> 88 pk-pk	<-0,8> 14,2 pk-pk	

^a $\lambda_{corr} - \lambda_{REF}$ est dominé par la contribution de u_{ϵ} .

Tableau C.2 – Résumé des paramètres d'étalonnage de l'OSA

Paramètre	Symbole	Valeur	Unité
Longueur d'onde minimale	λ_{MIN}	1 183	nm
Longueur d'onde maximale	λ_{MAX}	1 678	nm
Pente	DS	$-1,753 \times 10^{-4}$	–
Interception	$D\lambda_0$	-332	pm
Incertitude de la correction de la longueur d'onde	u_{ϵ}	±6,4	pm
Décalage en longueur d'onde	$D\lambda_{\lambda}$	-584,4	pm
Incertitude de la longueur d'onde	$u_{D\lambda_{\lambda}}$	±27,3	pm



IEC

Figure C.1 – Etalonnage de l'échelle de la longueur d'onde de l'OSA utilisant des raies d'émission de krypton; intervalles de confiance de 95 % montrés

Annexe D (informative)

Références de longueur d'onde

D.1 Généralités

L'Annexe D fournit des listes de raies d'émission de lasers et de lampes dont les transitions d'absorption et les transitions optogalvaniques sont connues pour présenter une précision suffisante pour fournir des points de référence de longueur d'onde pour l'étalonnage de l'OSA. Ces tableaux donnent uniquement les longueurs d'onde dans le vide des transitions dominantes.

Des raies de lasers à gaz fournissent des sources intenses ($> 1\text{mW}$) et de longueur d'onde (fréquence) bien définie. Des raies d'émission de lampes sont des dispositifs d'intensité faible, typiquement quelques nanowatts seulement peuvent être envoyés dans une fibre unimodale. A de faibles pressions de gaz, les transitions d'absorption et les transitions optogalvaniques présentent des caractéristiques étroites, typiquement plusieurs centaines de mégahertz de large. Ces transitions sont normalement utilisées pour stabiliser la longueur d'onde d'un laser à semiconducteur et fournir une référence active. A de hautes pressions, les transitions d'absorption sont plus larges et peuvent être visualisées directement par l'OSA en utilisant comme source une lampe ou une diode électroluminescente. A des pressions plus élevées, toutes ces raies de référence peuvent subir un léger décalage dû aux collisions. Ce "décalage par pression" n'a pas été caractérisé pour toutes les références indiquées dans l'Annexe D. Des mesures ont été effectuées au NIST¹ pour la bande $\nu_1 + \nu_3$ de l'acétylène $^{12}\text{C}_2\text{H}_2$ et la bande $2\nu_3$ de l'acide cyanhydrique $\text{H}^{13}\text{C}^{14}\text{N}$ [11,12]². Ces mesures montrent que le décalage par pression peut atteindre 2 pm pour le gaz acide cyanhydrique à une pression de 13 kPa (environ 100 Torr). Le décalage par pression de l'acétylène est inférieur, mais peut dépasser 1 pm à des pressions plus élevées. Les centres des raies indiquées ci-dessous ont été mesurés dans le régime de faible pression. Bien que certains de ces centres de raies aient été mesurés avec une précision plus élevée, les tableaux indiquent les longueurs d'onde à une précision de 1 pm en raison des variations possibles des centres de raies à ce niveau.

D.2 Raies laser à gaz

Les longueurs d'onde dans le vide des raies laser à gaz sélectionnées sont données dans le Tableau D.1.

Tableau D.1 – Longueurs d'onde dans le vide (nm) des raies laser à gaz sélectionnées

Laser Ar	488,122	Laser He-Ne ^a	632,991
	514,673		1 152,590
			1 523,488

^a Deux modes peuvent être présents dans le laser He-Ne à une longueur d'onde de 1 152 nm. Il faut donc s'assurer d'utiliser la raie correcte.

¹ NIST = *National Institute of Standards and Technology*

² Les nombres entre crochets se réfèrent à la Bibliographie.

D.3 Raies de référence de gaz rares

Les gaz rares, He, Ne, Kr, Ar et Xe, possèdent des raies de transitions bien connues et peuvent être utilisés comme points de référence de longueur d'onde. Le Tableau D.2 présente un certain nombre de raies plus importantes [13,14].

Tableau D.2 – Longueurs d'onde dans le vide (nm) des raies de référence de gaz rares

Kr	810,659	Ne	1 114,607	Kr	1 298,884 ^a	Kr	1 496,598 ^a
Kr	811,513	Ne	1 118,059	Ar	1 301,182 ^a	Kr	1 500,941 ^a
Kr	819,231	Ne	1 139,355	Kr	1 318,102 ^a	Kr	1 501,914 ^a
Kr	826,551	Ne	1 141,226	Ne	1 321,761 ^a	Ar	1 505,062 ^a
Kr	830,039	Ne	1 152,590	Ne	1 322,286 ^a	Ar	1 517,694 ^a
Kr	851,121	Ne	1 152,818	Ar	1 323,172	Kr	1 521,368 ^a
Kr	877,916	Ne	1 153,950	Ar	1 327,627	Ne	1 523,488 ^a
Kr	893,114	Ne	1 161,726	Ar	1 331,685	Kr	1 524,378 ^a
Ar	912,547	Ne	1 177,001	Ar	1 337,077	Kr	1 533,067 ^a
Ar	922,703	Ne	1 179,227	Ar	1 350,788	Ar	1 533,353 ^a
Ar	935,679	Kr	1 182,261	Kr	1 362,614	Kr	1 533,915 ^a
Ar	966,044	Ne	1 198,819	Ar	1 362,638	Kr	1 537,624 ^a
Ne	966,807	Ne	1 206,964	Kr	1 363,795	Xe	1 542,261
Kr	975,443	Ne	1 246,280	Xe	1 366,079	Kr	1 543,795 ^a
Ar	978,719	Ar	1 249,108 ^a	Kr	1 366,213	Kr	1 547,825 ^a
Xe	980,239	Xe	1 262,684	Ar	1 372,233	Kr	1 563,978 ^a
Xe	992,591	Ne	1 269,267	Kr	1 374,261	Kr	1 568,533 ^a
Kr	1 022,426	Ar	1 270,576 ^a	Kr	1 404,950	Kr	1 577,614 ^a
Ne	1 029,824	Ar	1 273,690 ^a	Xe	1 414,631	Kr	1 582,441 ^a
Ar	1 047,292	Ar	1 274,972 ^a	Xe	1 424,485	Xe	1 605,767
Ne	1 056,530	Ar	1 280,624 ^a	Kr	1 443,074	Xe	1 673,272
Ne	1 080,103	Kr	1 286,541 ^a	Xe	1 473,680	Kr	1 678,971
He	1 083,322	Ne	1 291,555 ^a	Kr	1 473,846 ^a	Kr	1 685,809
He	1 083,331	Ar	1 293,673 ^a	Kr	1 476,671 ^a	Kr	1 690,137
Ne	1 084,745	Ar	1 296,020 ^a	Kr	1 476,951 ^a	Kr	1 694,043
						Xe	1 733,050

^a Gaz ayant déjà été observés en utilisant l'effet optogalvanique [15-19]

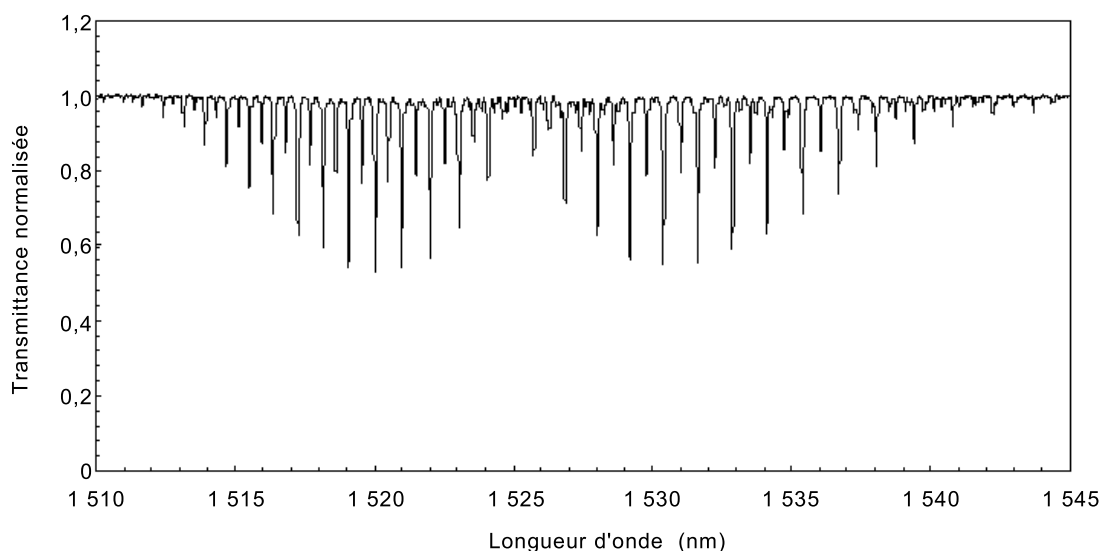
D.4 Raies d'absorption moléculaire

Les Tableaux D.3, D.4 et D.5 et les Figures D.1 et D.2 présentent une sélection de raies d'absorption moléculaire dans la région de 1 510 nm à 1 565 nm pour l'étalonnage de la longueur d'onde dans cette fenêtre des télécommunications [20].

Tableau D.3 – Longueurs d'onde dans le vide (nm) pour les raies d'absorption de la bande $\nu_1+\nu_3$ de l'acétylène $^{12}\text{C}_2\text{H}_2$ [21-23]

R31	1 511,033	R15	1 517,314	P1	1 525,760	P17	1 535,393
R30	1 511,378	R14	1 517,760	P2	1 526,314	P18	1 536,049
R29	1 511,730	R13	1 518,213	P3	1 526,874	P19	1 536,713
R28	1 512,088	R12	1 518,672	P4	1 527,441	P20	1 537,382
R27	1 512,452	R11	1 519,137	P5	1 528,014	P21	1 538,058
R26	1 512,823	R10	1 519,608	P6	1 528,594	P22	1 538,741
R25	1 513,200	R9	1 520,086	P7	1 529,180	P23	1 539,430
R24	1 513,583	R8	1 520,570	P8	1 529,772	P24	1 540,125
R23	1 513,972	R7	1 521,060	P9	1 530,371	P25	1 540,827
R22	1 514,368	R6	1 521,557	P10	1 530,976	P26	1 541,536
R21	1 514,770	R5	1 522,060	P11	1 531,588	P27	1 542,251
R20	1 515,178	R4	1 522,570	P12	1 532,206	P28	1 542,972
R19	1 515,593	R3	1 523,085	P13	1 532,830	P29	1 543,700
R18	1 516,014	R2	1 523,608	P14	1 533,461	P30	1 544,435
R17	1 516,441	R1	1 524,136	P15	1 534,099	P31	1 545,176
R16	1 516,875	R0	1 524,671	P16	1 534,742		

NOTE Les raies avec des numéros pairs sont les raies les plus importantes.



IEC

Figure D.1 – Absorption du rayonnement lumineux d'une LED par l'acétylène ($^{12}\text{C}_2\text{H}_2$)

Tableau D.4 – Longueurs d'onde dans le vide (nm) pour les raies d'absorption de la bande $\nu_1+\nu_3$ de l'acétylène $^{12}\text{C}_2\text{H}_2$ [21-23]

R29	1 520,111	R13	1 526,498	P1	1 533,818	P17	1 543,001
R28	1 520,466	R12	1 526,947	P2	1 534,350	P18	1 543,624
R27	1 520,828	R11	1 527,401	P3	1 534,887	P19	1 544,253
R26	1 521,195	R10	1 527,860	P4	1 535,430	P20	1 544,887
R25	1 521,568	R9	1 528,326	P5	1 535,978	P21	1 545,528
R24	1 521,947	R8	1 528,797	P6	1 536,532	P22	1 546,174
R23	1 522,332	R7	1 529,274	P7	1 537,091	P23	1 546,827
R22	1 522,723	R6	1 529,757	P8	1 537,656	P24	1 547,485
R21	1 523,119	R5	1 530,245	P9	1 538,227	P25	1 548,149
R20	1 523,521	R4	1 530,739	P10	1 538,803	P26	1 548,819
R19	1 523,929	R3	1 531,238	P11	1 539,385	P27	1 549,495
R18	1 524,343	R2	1 531,744	P12	1 539,974	P28	1 550,178
R17	1 524,763	R1	1 532,254	P13	1 540,567	P29	1 550,866
R16	1 525,188	R0	1 532,770	P14	1 541,167	P30	1 551,560
R15	1 525,619			P15	1 541,772	P31	1 552,260
R14	1 526,056			P16	1 542,384		

NOTE Les raies avec des numéros pairs sont les raies les plus importantes.

Tableau D.5 – Longueurs d'onde dans le vide (nm) pour les raies d'absorption de l'acide cyanhydrique ($\text{H}^{13}\text{C}^{14}\text{N}$) sélectionnées [24]

R25	1 528,054	R12	1 534,415	P1	1 543,114	P14	1 552,931
R24	1 528,485	R11	1 534,972	P2	1 543,809	P15	1 553,756
R23	1 528,926	R10	1 535,540	P3	1 544,515	P16	1 554,591
R22	1 529,376	R9	1 536,117	P4	1 545,230	P17	1 555,436
R21	1 529,836	R8	1 536,704	P5	1 545,955	P18	1 556,292
R20	1 530,306	R7	1 537,300	P6	1 546,690	P19	1 557,157
R19	1 530,786	R6	1 537,907	P7	1 547,435	P20	1 558,033
R18	1 531,275	R5	1 538,523	P8	1 548,190	P21	1 558,919
R17	1 531,774	R4	1 539,149	P9	1 548,955	P22	1 559,814
R16	1 532,283	R3	1 539,786	P10	1 549,731	P23	1 560,720
R15	1 532,801	R2	1 540,431	P11	1 550,516	P24	1 561,636
R14	1 533,329	R1	1 541,087	P12	1 551,311	P25	1 562,563
R13	1 533,867	R0	1 541,753	P13	1 552,116	P26	1 563,499

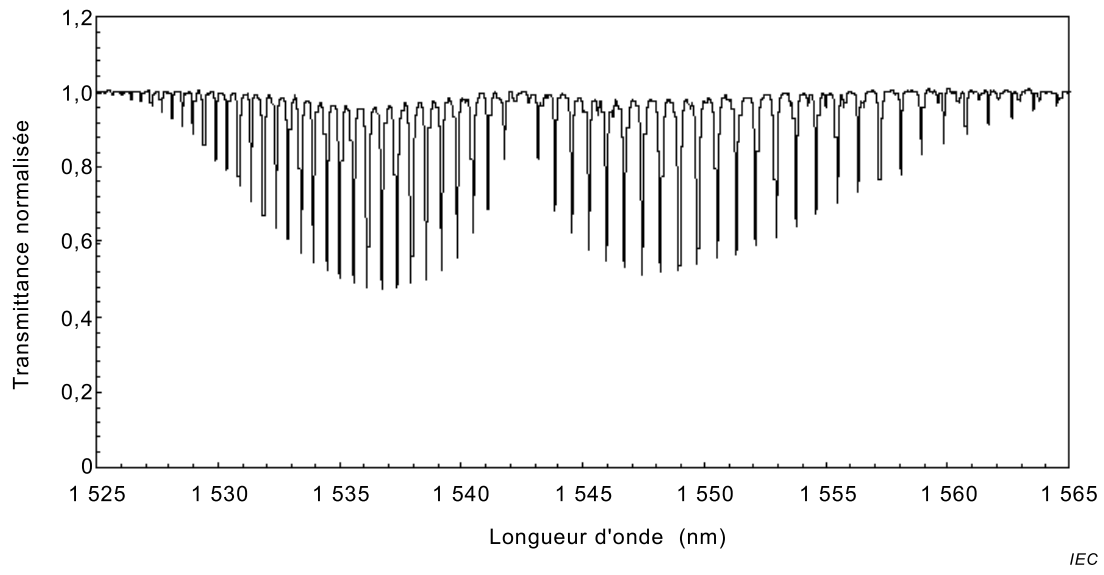


Figure D.2 – Absorption du rayonnement lumineux d'une DEL par l'acide cyanhydrique (H¹³C¹⁴N)

IEC

Bibliographie

Normes internationales:

- [1] IEC 60050-311, *Vocabulaire Electrotechnique International – Mesures et appareils de mesure électriques et électroniques – Partie 311: Termes généraux concernant les mesures* (disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org>)
- [2] IEC 60050-312, *Vocabulaire Electrotechnique International – Mesures et appareils de mesure électriques et électroniques – Partie 312: Termes généraux concernant les mesures électriques* (disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org>)
- [3] IEC 60050-313, *Vocabulaire Electrotechnique International – Mesures et appareils de mesure électriques et électroniques – Partie 313: Types d'appareils de mesure* (disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org>)
- [4] IEC 60050-314, *Vocabulaire Electrotechnique International – Mesures et appareils de mesure électriques et électroniques – Partie 314: Termes spécifiques selon le type d'appareil* (disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org>)
- [5] IEC 60793-2-50, *Optical fibres – Part 2-50: Product specifications - Sectional specification for class B single-mode fibres* (disponible en anglais seulement)
- [6] IEC 61315, *Étalonnage de wattmètres pour dispositifs à fibres optiques*
- [7] IEC 62129-2, *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*
- [8] IEC 62522, *Étalonnage des sources laser accordables*

L'exploitation d'un OSA en haute altitude peut affecter la précision de l'échelle de longueur d'onde. De tels effets peuvent être négligés dans certaines bandes des OSA, mais ils peuvent être importants dans d'autres. Ceci est dû au fait que l'indice de réfraction de l'air dépend aussi bien de la pression et de l'humidité que de la température. De bonnes références sur ce sujet sont:

- [9] EDLEN, B. The refractive index of air. *Metrologia*, 1966, Vol. 2, No. 2.
- [10] PECK, ER. and REEDER, K. *Dispersion of Air*. *JOSA*, 1972, Vol. 62, No. 8.

Autres références:

- [11] GILBERT, SL. and SWANN, WC. *Standard Reference Materials: Acetylene 12C2H2 Absorption Reference for 1510-1540 nm Wavelength Calibration – SRM 2517*. NIST Spec. Publ. 260-133 (1998)
- [12] GILBERT, SL., SWANN, WC. and WANG, CM. *Standard Reference Materials: Hydrogen Cyanide H13C14N Absorption Reference for 1 530–1 560 nm Wavelength Calibration – SRM 251*. NIST Spec. Publ. 260-137, 1998.
- [13] HUMPHREYS, DA *Accurate wavelength calibration for optical spectrum analyzers, in Technical Digest – Symposium on Optical Fiber Measurements*. NIST Spec. Publ. 905, 1996, p. 97-100.

- [14] KAUFMAN, V. and EDLEN, B. *Reference wavelengths from atomic spectra in the range 15 Å to 25000 Å*. J. Phys. Chem. Ref. Data, 1974, vol. 3, no. 4, p. 825-895
- [15] LUCERO, AJ., Chung, YC. and TKACH, RW *Survey of optical transitions for absolute frequency locking for lightwave systems*. IEEE Photon. Technol. Lett., 1991, vol. 3, No 5, p. 484-486.
- [16] FISCHER, UP. and VON HELMOLT, C *Absorption spectra of excited Kr 84 states between 1,5 and 1,58 µm and their use for absolute frequency locking*. J. Lightwave Technol., 1996, vol. 14, No 2, p. 139-142.
- [17] CHUNG, YC *Frequency-locked 1,3- and 1,5- µm semiconductor lasers for lightwave systems applications*. J. Lightwave Technol., June, 1990, vol. 8, no. 6, p. 869.
- [18] HUMPHREYS, DA. and CAMPBELL, C. *Preliminary results of L-band excited-state optical frequency reference survey, in Conference Digest – 6th Optical Fibre Measurement Conference*. NPL, UK, 2001, p. 179-182.
- [19] HUMPHREYS, DA., CAMPBELL, C., BERNARD, F., and PATEL, P. *Recent developments of excited-state optical frequency standards for telecommunications’, in Technical Digest – Symposium on Optical Fiber Measurements*. NIST Spec. Publ. 988, 2002, p. 79-82.
- [20] GILBERT, SL., DRAPELA, TJ. and FRANZEN, DL *Moderate-Accuracy Wavelength Standards for Optical Communications, in Technical Digest – Symposium on Optical Fiber Measurements*. NIST Spec. Publ. 839, 1992, p. 191-194.
- [21] NAKAGAWA, K., DE LABACHELERIE, M., AWAJI, Y. and KOUROGI, M *Accurate optical frequency atlas of the 1,5 µm bands of acetylene*. Journal of the Optical Society of America B (JOSA B), December 1996, vol. 13, no. 12, p. 2708-2714.
- [22] MADEJ, A. A., ALCOCK, A. J., CZAJKOWSKI, A., BERNARD, J. E. and CHEPUROV, S. *Accurate absolute reference frequencies from 1511 to 1545 nm of the $\nu_1 - \nu_3$ band of $^{12}\text{C}_2\text{H}_2$ determined with laser frequency comb interval measurements*. Journal of the Optical Society of America B (JOSA B), October 2006, vol. 23, no. 10, p. 2200-2208.
- [23] EDWARDS, C. S., MARGOLIS, H. S., BARWOOD, G. P., LEA, S. N., GILL, P. and ROWLEY, W. R. C. *High-accuracy frequency atlas of $^{13}\text{C}_2\text{H}_2$ in the 1.5 µm region*. Applied Physics B, June 2005, vol. 80, p. 977-983.
- [24] SASADA, H. and YAMADA, K. *Calibration lines of HCN in the 1,5 – µm region*. Appl. Opt., 1990, vol. 29, p. 3535-3547

Références non numérotées:

IEC 60359:2001, *Appareils de mesure électriques et électroniques – Expression des performances*

IEC 61290-3-1, *Amplificateurs optiques – Méthodes d'essai – Partie 3-1: Paramètres du facteur de bruit – Méthode d'analyseur de spectre optique*

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

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