



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)*

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	Incertainces dans des conditions de référence: $u_{D_{\lambda_{ref}}}$	90
B.2.2	Incertaince 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	Incertainces dans des conditions de référence: $u_{D_{Pref}}$	93
B.3.2	Incertaince 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)*