IEC 62129-2

Edition 1.0 2011-05

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

colour inside

Calibration of wavelength/optical frequency measurement instruments – Part 2: Michelson interferometer single wavelength meters

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

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

COMMISSION ELECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

X

ICS 33.180.30

ISBN 978-2-88912-523-4

® Registered trademark of the International Electrotechnical Commission
Marque déposée de la Commission Electrotechnique Internationale

CONTENTS

FOREWORD 4
INTRODUCTION 6
1 Scope 7
2 Normative references 7
3 Terms and definitions 7
4 Preparation for calibration 11
4.1 Organization 11
4.2 Traceability 11
4.3 Advice for measurements and calibrations 11
4.4 Recommendations to customers 12
5 Single wavelength calibration 12
5.1 General 12
5.2 Establishing calibration conditions 12
5.3 Calibration procedure 13
5.3.1 General 13
5.3.2 Measurement configuration 13
5.3.3 Detailed procedure 15
5.3.4 Stability test (if necessary) 15
5.3.5 "On/Off repeatability" measurement (optional if a specification is available) 16
5.3.6 Wavelength dependence measurement (optional) 18
5.3.7 Connector repeatability measurement (optional) 19
5.4 Calibration uncertainty 20
5.5 Reporting the results 21
6 Absolute power calibration 21
Annex A (normative) Mathematical basis 22
Annex B (informative) Rejection of outliers 25
Annex C (informative) Example of a single wavelength calibration 27
Annex D (informative) ITU wavelength bands 30
Annex E (informative) Atomic and molecular reference transitions 31
Annex F (informative) Reference locked laser example 42
Annex G (informative) Balance between accuracy and calibration time 44
Bibliography 46

Figure 1 – Example of a traceability chain 10
Figure 2 – Wavelength meter measurement using a lock quality monitor signal 14
Figure 3 – Wavelength meter measurement using a reference wavelength meter 14
Figure F.1 – Typical measurement arrangement to lock laser to gas absorption line 43

Table 1 – Typical parameters to calculate the "On/Off repeatability" measurement duration 17
Table B.1 – Critical values Z_c as a function of sample size N 26
Table C.1 – Type A uncertainty contributions for a stability measurement 27
Table C.2 – Uncertainty contributions for a "On/Off repeatability" measurement 28

Table C.3 – Uncertainty budget for wavelength dependence 28
Table C.4 – Uncertainty budget for the wavelength meter calibration 29
Table D.1 – The ITU-T bands in different units 30
Table E.1 – Helium-neon laser lines 32
Table E.2 – Centre vacuum wavelengths for Acetylene $^{12}C_2H_2$ 33
Table E.3 – Frequency and vacuum wavelength values for the $v_1 + v_3$ and $v_1 + v_2 + v_4 + v_5$ bands of $^{13}C_2H_2$ 35
Table E.4 – List of $H^{13}CN$ transitions 38
Table E.5 – List of $^{12}C^{16}O$ transitions 40
Table E.6 – Excited state optogalvanic transitions 41
Table G.1 – Summary of choices 45

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

CALIBRATION OF WAVELENGTH/OPTICAL FREQUENCY MEASUREMENT INSTRUMENTS –

Part 2: Michelson interferometer single wavelength meters

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 62129-2 has been prepared by IEC technical committee 86: Fibre optics.

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

FDIS	Report on voting
86/395/FDIS	86/399/RVD

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

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

The list of all parts in the IEC 62129 series, published under the general title, *Calibration of wavelength/optical frequency – Measurement 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 web site under "http://webstore.iec.ch" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

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

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

INTRODUCTION

Wavelength meters, often based on the Michelson interferometer, are designed to measure the wavelength of an optical source as accurately as possible. Although the wavelength meters contain an internal absolute reference, typically a Helium-Neon laser, calibration is required to achieve the highest accuracies. The instrument is typically used to measure wavelengths other than that of the internal reference. Corrections are made within the instrument for the refractive index of the surrounding air. A precise description of the calibration conditions must therefore be an integral part of the calibration.

This international standard defines all of the steps involved in the calibration process: establishing the calibration conditions, carrying out the calibration, calculating the uncertainty, and reporting the uncertainty, the calibration conditions and the traceability.

The calibration procedure describes how to determine the ratio between the value of the input reference wavelength (or the optical frequency) and the wavelength meter's result. This ratio is called *correction factor*. The measurement uncertainty of the correction factor is combined following Annex A from uncertainty contributions from the reference meter, the test meter, the setup and the procedure.

The calculations go through detailed characterization of individual uncertainties. It is important to know that:

a) estimations of the individual uncertainties are acceptable;

b) a detailed uncertainty analysis is only necessary once for each wavelength meter type under test, and that all subsequent calibrations can be based on this one-time analysis;

c) some of the individual uncertainties can simply be considered to be part of a checklist, with an actual value which can be neglected.

A number of optical frequency references can be used to provide a traceable optical frequency. These are based on absorption by gas molecules under low pressure and using excited-state opto-galvanic transitions in atoms. Annex E lists the lines.

CALIBRATION OF WAVELENGTH/OPTICAL FREQUENCY MEASUREMENT INSTRUMENTS –

Part 2: Michelson interferometer single wavelength meters

1 Scope

This part of IEC 62129 is applicable to instruments measuring the vacuum wavelength or optical frequency emitted from sources that are typical for the fibre-optic communications industry. These sources include Distributed Feedback (DFB) laser diodes, External Cavity lasers and single longitudinal mode fibre-type sources. It is assumed that the optical radiation will be coupled to the wavelength meter by a single-mode optical fibre. The standard describes the calibration of wavelength meters to be performed by calibration laboratories or by wavelength meter manufacturers. This standard is part of the IEC 62129 series on the calibration of wavelength/optical frequency measurement instruments. Refer to IEC 62129 for the calibration of optical spectrum analyzers.

2 Normative references

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

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

IEC 61315 :2005, *Calibration of fibre-optic power meters*

IEC/TR 61931:1998, *Fibre optic – Terminology*

ISO/IEC 17025:2005, *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*

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

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS 52
INTRODUCTION 54
1 Domaine d'application 55
2 Références normatives 55
3 Termes et définitions 55
4 Préparation pour l'étalonnage 59
4.1 Organisme 59
4.2 Traçabilité 59
4.3 Conseils pour les mesures et les étalonnages 60
4.4 Recommandations aux clients 60
5 Étalonnage de longueur d'onde unique 60
5.1 Généralités 60
5.2 Détermination des conditions d'étalonnage 61
5.3 Mode opératoire d'étalonnage 62
5.3.1 Généralités 62
5.3.2 Configuration de mesure 62
5.3.3 Mode opératoire détaillé 63
5.3.4 Essai de stabilité (si nécessaire) 64
5.3.5 Mesure de « répétabilité marche/arrêt » (facultative si une spécification est disponible) 65
5.3.6 Mesure de dépendance par rapport à la longueur d'onde (facultative) 67
5.3.7 Mesure de répétabilité du connecteur (facultative) 68
5.4 Incertitude d'étalonnage 69
5.5 Rapport des résultats 70
6 Étalonnage de puissance absolue 70
Annexe A (normative) Fondements mathématiques 71
Annexe B (informative) Rejet des aberrations 74
Annexe C (informative) Exemple d'étalonnage d'un appareil de mesure de longueur d'onde unique 76
Annexe D (informative) Bandes de longueurs d'onde UIT (Union Internationale des Télécommunications) 79
Annexe E (informative) Transitions de références atomiques et moléculaires 80
Annexe F (informative) Exemple de laser verrouillé de référence 92
Annexe G (informative) Équilibre entre la précision et le temps d'étalonnage 94
Bibliographie 96

Figure 1 – Exemple de chaîne de traçabilité 59
Figure 2 – Mesure de la longueur d'onde utilisant un signal de surveillance de la qualité du verrouillage 62
Figure 3 – Mesure de la longueur d'onde utilisant un appareil de mesure de longueur d'onde de référence 63
Figure F.1 – Agencement de mesure type pour verrouiller un laser sur une raie d'absorption de gaz 93

Tableau 1 – Paramètres types pour calculer la durée de mesure de « répétabilité marche/arrêt » 66

Tableau B.1 – Valeurs critique Z_c en fonction de la taille de l'échantillon N 75
Tableau C.1 – Contributions d'incertitude de Type A pour une mesure de stabilité 76
Tableau C.2 – Contributions pour une mesure de « répétabilité marche/arrêt » 77
Tableau C.3 – Bilan d'incertitude pour la dépendance par rapport à la longueur d'onde 77
Tableau C.4 – Bilan d'incertitude pour l'étalonnage de l'appareil de mesure de longueur d'onde 78
Tableau D.1 – Bandes UIT-T (Union Internationale des Télécommunications-T) dans différentes unités 79
Tableau E.1 – Raies laser hélium-néon 82
Tableau E.2 – Longueurs d'onde centrales dans le vide pour l'acétylène $^{12}C_2H_2$ 83
Tableau E.3 – Valeurs de fréquence et de longueur d'onde dans le vide pour les bandes $v_1 + v_3$ et $v_1 + v_2 + v_4 + v_5$ de $^{13}C_2H_2$ 85
Tableau E.4 – Liste des transitions $H^{13}CN$ 88
Tableau E.5 – Liste des transitions $^{12}C^{16}O$ 90
Tableau E.6 – Transitions optogalvaniques d'état excité 91
Tableau G.1 – Récapitulatif des choix 95

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

AVANT-PROPOS

1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI 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, la CEI – 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 la CEI"). 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 la CEI, participent également aux travaux. La CEI 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 la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI 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 la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
5) La CEI 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 la CEI. La CEI 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 la CEI, 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 la CEI, 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 la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, 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 la CEI peuvent faire l'objet de droits de brevet. La CEI 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 CEI 62129-2 a été établie par le comité d'études 86 de la CEI: Fibres optiques.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
86/395/FDIS	86/399/RVD

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

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

La liste de toutes les parties de la série 62129, publiées sous le titre général, *Etalonnage des appareils de mesure de longueur d'onde/Appareils de mesure de la fréquence optique*, est disponible sur le site web de la CEI.

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 la CEI 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.

INTRODUCTION

Les appareils de mesure de longueur d'onde, souvent basés sur l'interféromètre de Michelson, sont conçus pour mesurer aussi précisément que possible la longueur d'onde d'une source optique. Bien que les appareils de mesure de longueur d'onde contiennent une référence interne absolue, généralement un laser hélium-néon, un étalonnage est nécessaire pour obtenir les meilleures précisions possibles. L'instrument est généralement utilisé pour mesurer des longueurs d'onde différentes de celle de la référence interne. Des corrections de l'indice de réfraction de l'air environnant sont effectuées dans l'instrument. Il faut donc qu'une description précise des conditions d'étalonnage fasse partie de l'étalonnage.

La présente Norme internationale définit toutes les étapes du processus d'étalonnage: détermination des conditions d'étalonnage, exécution de l'étalonnage, calcul de l'incertitude et rapport de l'incertitude, des conditions de l'étalonnage et de la traçabilité.

La procédure d'étalonnage décrit la façon de déterminer le rapport entre la valeur de la longueur d'onde (ou la fréquence optique) de référence d'entrée et le résultat donné par l'appareil de mesure de longueur d'onde. Ce rapport est appelé *facteur de correction*. L'incertitude de mesure du facteur de correction est combinée selon l'Annexe A d'après les contributions d'incertitude de l'appareil de mesure de référence, l'appareil de mesure d'essai, la mise en place et la procédure.

Les calculs passent par la caractérisation détaillée de chacune des incertitudes. Il est important de savoir que:

a) les estimations de chacune des incertitudes sont acceptables;

b) une analyse d'incertitude détaillée n'est nécessaire qu'une seule fois pour chaque type d'appareil de mesure de longueur d'onde soumis à essai et tous les étalonnages suivants peuvent être fondés sur cette unique analyse;

c) certaines des incertitudes individuelles peuvent simplement être considérées comme faisant partie d'une liste de contrôle avec une valeur réelle pouvant être négligée.

Un certain nombre de références de fréquence optique peuvent être utilisées pour fournir une fréquence optique traçable. Celles-ci sont basées sur l'absorption par des molécules de gaz à basse pression et utilisant des transitions opto-galvaniques dans des atomes à l'état excité. L'Annexe E énumère les raies.

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

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 62129 est applicable aux instruments mesurant la longueur d'onde ou la fréquence optique dans le vide émise par des sources types de l'industrie des communications par fibres optiques. Ces sources comportent des diodes laser DFB (à rétroaction répartie, *Distributed Feedback*), des lasers à cavité externe et des sources du type à fibres unimodales longitudinales. L'hypothèse est faite que le rayonnement optique sera couplé à l'appareil de mesure de longueur d'onde par une fibre optique unimodale. La présente norme décrit l'étalonnage des appareils de mesure de longueur d'onde destiné à être effectué par des laboratoires d'étalonnage ou par des fabricants d'appareils de mesure de longueur d'onde. La présente norme fait partie de la série CEI 62129 relative à l'étalonnage des appareils de mesure de longueur d'onde/appareils de mesure de fréquence optique. Se référer à la CEI 62129 pour l'étalonnage des analyseurs de spectre optique.

2 Références normatives

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

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

CEI 61315 : 2005, *Etalonnage de wattmètres pour dispositifs à fibres optiques*

CEI/TR 61931 :1998, *Fibres optiques – Terminologie*

ISO/CEI 17025:2005, *Exigences générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essais*

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

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