

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Calibration of wavelength / optical frequency measurement instruments –
Part 3: Optical frequency meters internally referenced to a frequency comb**

**Étalonnage des appareils de mesure de longueur d'onde / appareil de mesure de
la fréquence optique –
Partie 3: Fréquencemètres optiques faisant référence en interne à un peigne de
fréquence**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 33.180.01

ISBN 978-2-8322-6922-0

**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.....	3
INTRODUCTION.....	5
1 Scope.....	6
2 Normative references	6
3 Terms and definitions	6
4 Calibration test requirements	8
4.1 Organization	8
4.2 Traceability	8
4.3 Preparation	8
4.4 Reference calibration conditions	8
5 Optical frequency calibration	8
5.1 Establishing the calibration conditions	8
5.2 Calibration procedure.....	9
5.2.1 General	9
5.2.2 Measurement configuration.....	9
5.2.3 Detailed procedure	10
5.3 Calibration uncertainty	10
5.4 Reporting the results.....	11
6 Absolute power calibration.....	11
Annex A (normative) Mathematical basis for measurement uncertainty calculations	12
A.1 General.....	12
A.2 Type A evaluation of uncertainty.....	12
A.3 Type B evaluation of uncertainty.....	12
A.4 Determining the combined standard uncertainty.....	13
A.5 Reporting.....	14
Annex B (informative) Measurement method for the frequency of a stabilized laser with an optical frequency comb	15
Annex C (informative) Examples of stabilized optical frequency comb source	17
C.1 Method A (pump pulse source and nonlinear optical effect).....	17
C.2 Method B (stabilized laser and electro-optical modulator)	17
Annex D (normative) Frequency-dependence of uncertainty	19
Bibliography.....	20
Figure 1 – Optical frequency meter measurement using a reference source.....	9
Figure 2 – Optical frequency meter measurement using a reference optical frequency meter.....	10
Figure B.1 – Schematic configuration of optical frequency measurement technique using an optical comb	15
Figure B.2 – Optical spectra of lasers and optical frequency combs	16
Figure C.1 – Pump pulse source and nonlinear optical effect	17
Figure C.2 – Electro-optical modulator type comb source.....	18

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

CALIBRATION OF WAVELENGTH / OPTICAL FREQUENCY MEASUREMENT INSTRUMENTS –

Part 3: Optical frequency meters internally referenced to a frequency comb

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 62129-3 has been prepared by IEC technical committee 86: Fibre optics.

This first edition cancels and replaces IEC TS 62129-3, published in 2014.

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

- a) text has been added to 5.2.3 about calibration at a second optical frequency;
- b) Annex D is now normative;
- c) Subclause 4.2 has been improved;
- d) measurement method of frequency has been moved to Annex B;
- e) example of optical frequency comb has been moved to Annex C;
- f) frequency-dependence uncertainty has been moved to Annex D.

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

FDIS	Report on voting
86/551/FDIS	86/554/RVD

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

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

A list of all parts in the IEC 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 document will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific document. At this date, the document will be

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

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

INTRODUCTION

It is essential for realizing fibre optic systems that optical channels are defined in the optical frequency domain, not the wavelength domain. One example: the anchor frequency of the ITU-T grid is 193,1 THz, and the channel spacings of the ITU-T grid are 12,5 GHz, 25 GHz, 50 GHz, and 100 GHz [1]¹.

ITU-T has also discussed λ -interface systems such as "black link" [2]. "Black link" includes WDM MUX/DEMUX and a transmission fibre, and provides λ -interfaces. Especially in DWDM systems (channel spacing < 100 GHz), the uncertainty in specifying optical frequency needs to be minimized.

To implement future telecom systems, it is expected that optical frequency measurements will need to be extremely precise. For example, to achieve the channel spacing of 25 GHz, signal optical frequency uncertainty ($U_{f_{\text{sig}}}$) and required measurement uncertainty ($U_{f_{\text{meas}}}$) need to be 2 GHz to 200 MHz ($U_{f_{\text{sig}}}/f = 10^{-5}$ to 10^{-6}) and 200 MHz to 2 MHz ($U_{f_{\text{meas}}}/f = 10^{-6}$ to 10^{-8}), respectively. Unfortunately, conventional wavelength meters have measurement uncertainties of 10^{-6} to 10^{-7} . The solution is to use optical frequency measurements since measurement uncertainties can be as small as 10^{-9} , which satisfies the above telecom requirement ($U_{f_{\text{meas}}}/f = 10^{-6}$ to 10^{-8}). Therefore, an optical frequency measurement scheme is necessary for the calibration of future telecom systems.

The frequency meter to calibrate with the procedure described in this document is the measurement equipment internally utilizing the optical frequency comb. In Annex A, the mathematical basis for the uncertainty of measurement is described. The measurement procedure of the frequency with the frequency meter utilizing the optical frequency comb is shown in Annex B and the example of the optical frequency comb sources are shown in Annex C. Additionally, the uncertainty depending on the frequency is shown in Annex D.

This document defines all the steps involved in the calibration process of the frequency measuring with the optical frequency meter internally utilizing an optical frequency comb: establishing the calibration conditions, carrying out the calibration, calculating the uncertainty, and reporting the uncertainty, the calibration conditions and the traceability.

¹ Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

CALIBRATION OF WAVELENGTH / OPTICAL FREQUENCY MEASUREMENT INSTRUMENTS –

Part 3: Optical frequency meters internally referenced to a frequency comb

1 Scope

This part of IEC 62129 describes the calibration of optical frequency meters using an optical frequency comb as an internal reference. It is applicable to instruments measuring the optical frequency emitted from sources that are typical for the fibre-optic communications industry. It is assumed that the optical radiation will be coupled to the optical frequency meter by a single-mode optical fibre. This document is part of the IEC 62129 series on the calibration of wavelength/optical frequency measurement instruments. Refer to IEC 62129-1 [3] for the calibration of optical spectrum analyzers, and refer to IEC 62129-2 [4] for calibration of Michelson interferometer single wavelength meters.

2 Normative references

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

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

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

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

IEC TR 61931, *Fibre optic – Terminology*

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	23
INTRODUCTION.....	25
1 Domaine d'application	26
2 Références normatives	26
3 Termes et définitions	26
4 Exigences d'essai d'étalonnage	28
4.1 Organisation	28
4.2 Traçabilité.....	28
4.3 Préparation.....	28
4.4 Conditions d'étalonnage de référence	28
5 Étalonnage de fréquence optique	29
5.1 Établissement des conditions d'étalonnage	29
5.2 Procédure d'étalonnage	29
5.2.1 Généralités.....	29
5.2.2 Configuration de mesure.....	29
5.2.3 Procédure détaillée.....	30
5.3 Incertitude d'étalonnage.....	31
5.4 Consignation des résultats.....	31
6 Étalonnage de puissance absolue	32
Annexe A (normative) Base mathématique pour les calculs de l'incertitude de mesure	33
A.1 Généralités	33
A.2 Évaluation de Type A de l'incertitude	33
A.3 Évaluation de Type B de l'incertitude	33
A.4 Détermination de l'incertitude type composée	34
A.5 Consignation dans un rapport	35
Annexe B (informative) Méthode de mesure de la fréquence d'un laser stabilisé avec un peigne de fréquence optique.....	36
Annexe C (informative) Exemples de source de peigne de fréquence optique stabilisée	38
C.1 Méthode A (source d'impulsion de pompe + effet optique non linéaire.....	38
C.2 Méthode B (laser stabilisé + modulateur électro-optique).....	38
Annexe D (normative) Dépendance à la fréquence de l'incertitude.....	40
Bibliographie.....	41
Figure 1 – Mesurage de fréquencesmètre optique à l'aide d'une source de référence.....	30
Figure 2 – Mesurage de fréquencesmètre optique à l'aide d'un fréquencesmètre optique de référence	30
Figure B.1 – Configuration schématique d'une technique de mesure de la fréquence optique à l'aide d'un peigne de fréquence	36
Figure B.2 – Spectre optique des lasers et des peignes de fréquence optique	37
Figure C.1 – Source d'impulsion de pompe + effet optique non linéaire.....	38
Figure C.2 – Source de peigne de type de modulateur électro-optique.....	39

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

Partie 3: Fréquencemètres optiques faisant référence en interne à un peigne de fréquence

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. À 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 présente Norme internationale IEC 62129-3 a été établie par le comité d'études 86 de l'IEC: Fibres optiques.

Cette première édition annule et remplace l'IEC TS 62129-3, parue en 2014.

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

- a) un texte a été ajouté en 5.2.3 concernant l'étalonnage à une seconde fréquence optique;
- b) l'Annexe D est désormais normative;
- c) Le paragraphe 4.2 a été amélioré;

- d) la méthode de mesure de la fréquence a été déplacée à l'Annexe B;
- e) l'exemple de peigne de fréquence optique a été déplacé à l'Annexe C;
- f) l'incertitude de dépendance à la fréquence a été déplacée à l'Annexe D.

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

FDIS	Rapport de vote
86/551/FDIS	86/554/RVD

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

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

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

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

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

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

INTRODUCTION

Pour concevoir des systèmes à fibres optiques, il est essentiel de définir les voies optiques dans le domaine de fréquence optique, pas dans celui de longueur d'onde. Par exemple: la fréquence d'ancrage du réseau UIT-T est de 193,1 THz et les espacements de voie du réseau UIT-T sont de 12,5 GHz, 25 GHz, 50 GHz et 100 GHz [1]¹.

L'UIT-T a également présenté les systèmes d'interface λ tels que la "liaison noire" [2]. La "liaison noire" inclut un multiplexage en longueur d'onde (WDM) MUX/DEMUX et une fibre de transmission, et fournit les interfaces λ . En particulier, dans les systèmes de multiplexage par répartition en longueurs d'onde dense (DWDM, *Dense Wavelength Division Multiplexing*) (espacement de voie < 100 GHz), il est nécessaire de réduire le plus possible l'incertitude en spécifiant la fréquence optique.

Pour mettre en œuvre les futurs systèmes de télécommunication, il est nécessaire que les mesurages de la fréquence optique soient extrêmement précis. Par exemple, pour obtenir un espacement de voie de 25 GHz, il est nécessaire que l'incertitude de la fréquence optique du signal ($U_{f_{\text{sig}}}$) et l'incertitude de mesure exigée ($U_{f_{\text{meas}}}$) soient respectivement comprises entre 2 GHz et 200 MHz ($U_{f_{\text{sig}}}/f = 10^{-5}$ à 10^{-6}) et entre 200 MHz et 2 MHz ($U_{f_{\text{meas}}}/f = 10^{-6}$ à 10^{-8}). Malheureusement, les appareils de mesure de longueur d'onde conventionnels présentent des incertitudes de mesure comprises entre 10^{-6} et 10^{-7} . La solution consiste à utiliser des mesurages de fréquence optique, étant donné que les incertitudes de mesure peuvent être aussi faibles que 10^{-9} , ce qui satisfait à l'exigence ci-dessus en matière de télécommunication ($U_{f_{\text{meas}}}/f = 10^{-6}$ à 10^{-8}). Par conséquent, un schéma de mesure de fréquence optique est nécessaire pour l'étalonnage des futurs systèmes de télécommunication.

Le fréquencemètre à étalonner selon la procédure décrite dans le présent document est l'appareil de mesure utilisant en interne le peigne de fréquence optique. L'Annexe A décrit la base mathématique de l'incertitude de mesure. La procédure de mesure de la fréquence à l'aide du fréquencemètre utilisant le peigne de fréquence optique est présentée à l'Annexe B. Des exemples de sources de peigne de fréquence optique sont donnés à l'Annexe C. De plus, l'incertitude en fonction de la fréquence est présentée à l'Annexe D.

Le présent document définit toutes les étapes du processus d'étalonnage de la mesure de la fréquence à l'aide du fréquencemètre optique utilisant en interne un peigne de fréquence optique: établissement des conditions d'étalonnage, réalisation de l'étalonnage, calcul de l'incertitude et consignation de l'incertitude, des conditions d'étalonnage et de la traçabilité.

¹ Les numéros entre crochets font référence à la Bibliographie.

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

Partie 3: Fréquencemètres optiques faisant référence en interne à un peigne de fréquence

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 62129 décrit l'étalonnage des fréquencemètres optiques à l'aide d'un peigne de fréquence optique en référence interne. Elle s'applique aux appareils de mesure de la fréquence optique provenant des sources habituelles dans les secteurs des communications à fibres optiques. Il est pris pour hypothèse que le rayonnement optique est couplé au fréquencemètre optique par une fibre optique unimodale. Le présent document fait partie de la série IEC 62129 relative à l'étalonnage des appareils de mesure de longueur d'onde/appareils de mesure de la fréquence optique. Voir l'IEC 62129-1 [3] pour l'étalonnage des analyseurs de spectre optique, et l'IEC 62129-2 [4] pour l'étalonnage des appareils de mesure de longueur d'onde unique à interféromètre de Michelson.

2 Références normatives

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

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

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

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

IEC TR 61931, *Fibres optiques – Terminologie*

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