

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

61315

Deuxième édition
Second edition
2005-10

**Etalonnage de wattmètres
pour dispositifs à fibres optiques**

**Calibration of fibre-optic
power meters**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 61315:2005

Numérotation des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000. Ainsi, la CEI 34-1 devient la CEI 60034-1.

Editions consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique. Des renseignements relatifs à cette publication, y compris sa validité, sont disponibles dans le Catalogue des publications de la CEI (voir ci-dessous) en plus des nouvelles éditions, amendements et corrigenda. Des informations sur les sujets à l'étude et l'avancement des travaux entrepris par le comité d'études qui a élaboré cette publication, ainsi que la liste des publications parues, sont également disponibles par l'intermédiaire de:

- Site web de la CEI (www.iec.ch)
- Catalogue des publications de la CEI

Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI (www.iec.ch/searchpub) vous permet de faire des recherches en utilisant de nombreux critères, comprenant des recherches textuelles, par comité d'études ou date de publication. Des informations en ligne sont également disponibles sur les nouvelles publications, les publications remplacées ou retirées, ainsi que sur les corrigenda.

- IEC Just Published

Ce résumé des dernières publications parues (www.iec.ch/online_news/justpub) est aussi disponible par courrier électronique. Veuillez prendre contact avec le Service client (voir ci-dessous) pour plus d'informations.

- Service clients

Si vous avez des questions au sujet de cette publication ou avez besoin de renseignements supplémentaires, prenez contact avec le Service clients:

Email: custserv@iec.ch
Tél: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

Publication numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series. For example, IEC 34-1 is now referred to as IEC 60034-1.

Consolidated editions

The IEC is now publishing consolidated versions of its publications. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Further information on IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology. Information relating to this publication, including its validity, is available in the IEC Catalogue of publications (see below) in addition to new editions, amendments and corrigenda. Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is also available from the following:

- IEC Web Site (www.iec.ch)
- Catalogue of IEC publications

The on-line catalogue on the IEC web site (www.iec.ch/searchpub) enables you to search by a variety of criteria including text searches, technical committees and date of publication. On-line information is also available on recently issued publications, withdrawn and replaced publications, as well as corrigenda.

- IEC Just Published

This summary of recently issued publications (www.iec.ch/online_news/justpub) is also available by email. Please contact the Customer Service Centre (see below) for further information.

- Customer Service Centre

If you have any questions regarding this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre:

Email: custserv@iec.ch
Tel: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

61315

Deuxième édition
Second edition
2005-10

**Etalonnage de wattmètres
pour dispositifs à fibres optiques**

**Calibration of fibre-optic
power meters**

© IEC 2005 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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'éditeur.

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 the publisher.

International Electrotechnical Commission, 3, rue de Varembé, PO Box 131, CH-1211 Geneva 20, Switzerland
Telephone: +41 22 919 02 11 Telefax: +41 22 919 03 00 E-mail: inmail@iec.ch Web: www.iec.ch



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

X

Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	4
INTRODUCTION	8
1 Domaine d'application	10
2 Références normatives	10
3 Termes et définitions	12
4 Préparation pour l'étalonnage	26
4.1 Organisation	26
4.2 Traçabilité	26
4.3 Conseils pour les mesures et les étalonnages	28
4.4 Recommandations aux clients	30
5 Etalonnage de puissance absolu	30
5.1 Etablissement des conditions d'étalonnage	32
5.2 Procédure d'étalonnage	34
5.3 Incertitude d'étalonnage	36
5.4 Compte-rendu des résultats	50
6 Incertitude de mesure d'un wattmètre étalonné	50
6.1 Incertitude aux conditions de référence	50
6.2 Incertitude aux conditions de fonctionnement	52
7 Etalonnage de non-linéarité	66
7.1 Etalonnage de non-linéarité basé sur la superposition	68
7.2 Etalonnage de non-linéarité basé sur la comparaison avec un wattmètre étalonné	72
7.3 Etalonnage de non-linéarité basé sur la comparaison avec un atténuateur	74
7.4 Etalonnage du wattmètre pour une mesure à puissance élevée	74
Annexe A (normative) Base mathématique	78
Bibliographie	84
Figure 1 – Sensibilité spectrale typique des détecteurs photoélectriques	22
Figure 2 – Exemple d'une chaîne de traçabilité	26
Figure 3 – Montage de mesure pour un étalonnage séquentiel, utilisant le faisceau issu d'une fibre	32
Figure 4 – Modification des conditions et incertitude	42
Figure 5 – Détermination et enregistrement d'une incertitude d'extension	54
Figure 6 – Subdivision possible d'un plan de référence optique en (10 x 10) carrés, pour la mesure de la réponse spatiale	56
Figure 7 – Dépendance en fonction de la longueur d'onde de la réponse due à l'interférence de type Fabry-Perot	64
Figure 8 – Montage de mesure de la réponse dépendant de la polarisation	64
Figure 9 – Etalonnage de la non-linéarité basé sur la superposition	68
Figure 10 – Montage de mesure pour l'étalonnage de non-linéarité par comparaison	72
Tableau 1 – Méthodes d'étalonnage typiques et puissance correspondante	30
Tableau 2 – Non-linéarité	70

CONTENTS

FOREWORD.....	5
INTRODUCTION.....	9
1 Scope.....	11
2 Normative references.....	11
3 Terms and definitions	13
4 Preparation for calibration.....	27
4.1 Organization	27
4.2 Traceability.....	27
4.3 Advice for measurements and calibrations	29
4.4 Recommendations to customers	31
5 Absolute power calibration	31
5.1 Establishing the calibration conditions.....	33
5.2 Calibration procedure	35
5.3 Calibration uncertainty	37
5.4 Reporting the results	51
6 Measurement uncertainty of a calibrated power meter.....	51
6.1 Uncertainty at reference conditions.....	51
6.2 Uncertainty at operating conditions	53
7 Nonlinearity calibration.....	67
7.1 Nonlinearity calibration based on superposition.....	69
7.2 Nonlinearity calibration based on comparison with a calibrated power meter.....	73
7.3 Nonlinearity calibration based on comparison with an attenuator	75
7.4 Calibration of power meter for high power measurement	75
Annex A (normative) Mathematical basis	79
Bibliography.....	85
Figure 1 – Typical spectral responsivity of photoelectric detectors.....	23
Figure 2 – Example of a traceability chain.....	27
Figure 3 – Measurement setup for sequential, fibre-based calibration	33
Figure 4 – Change of conditions and uncertainty.....	43
Figure 5 – Determining and recording an extension uncertainty.....	55
Figure 6 – Possible subdivision of the optical reference plane into 10 x 10 squares, for the measurement of the spatial response	57
Figure 7 – Wavelength dependence of response due to Fabry-Perot type interference	65
Figure 8 – Measurement setup of polarization dependent response	65
Figure 9 – Nonlinearity calibration based on superposition	69
Figure 10 – Measurement setup for nonlinearity calibration by comparison.....	73
Table 1 – Typical calibration methods and correspondent power	31
Table 2 – Nonlinearity	71

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ETALONNAGE DE WATTMÈTRES POUR DISPOSITIFS À FIBRES OPTIQUES

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 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'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les normes internationales de la CEI dans leurs normes 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 n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 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 propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 61315 a été établie par le comité d'études 86 de la CEI: Fibres optiques.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 1995, dont elle constitue une révision technique.

Les modifications par rapport à l'édition antérieure de la présente Norme internationale consistent en l'adaptation des calculs d'incertitude à l'approche adoptée par le Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM), et en l'adaptation de la terminologie et des symboles graphiques au Vocabulaire international des termes fondamentaux et généraux de métrologie (VIM) et aux normes internationales CEI 61931 et CEI 61930.

L'importance de l'étalonnage de non-linéarité est soulignée en donnant davantage de détails et se trouve à présent dans un article séparé.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**CALIBRATION OF FIBRE-OPTIC
POWER 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 provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 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 61315 has been prepared by IEC technical committee 86: Fibre optics.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 1995. It constitutes a technical revision.

Changes from the previous edition of this International Standard consist of adapting the uncertainty calculations to the approach taken by the GUM, and adapting the terminology and graphical symbology to international standards VIM, IEC 61931 and IEC 61930.

The importance of the nonlinearity calibration is emphasized by giving more detail and is now in a separate clause.

Les exigences concernant l'organisation et la traçabilité ont été retirées de la présente norme, dans la mesure où il s'agit d'exigences générales concernant les laboratoires d'étalonnage et où elles sont données dans la CEI/ISO 17025.

L'objectif visant à normaliser le type de spécifications relatives aux wattmètres a été retiré, étant donné qu'il ne fait pas partie d'une norme sur l'étalonnage. Il convient cependant que les spécifications soient toujours basées sur les étalonnages réalisés suivant la présente norme et la CEI 60359.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
86/239/FDIS	86/248/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.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de maintenance 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.

Requirements concerning organization and traceability have been taken out of this standard since they are general requirements concerning calibration laboratories and are given in IEC/ISO 17025.

The goal to standardize the type of power meter specifications has been removed since it does not belong in a standard on calibration. Specifications should, however, still be based on calibrations made following this standard and IEC 60359.

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

FDIS	Report on voting
86/239/FDIS	86/248/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 committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the maintenance result date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

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

INTRODUCTION

Les wattmètres pour dispositifs à fibres optiques sont conçus pour mesurer la puissance optique des sources à fibres optiques de manière aussi précise que possible. Cette capacité dépend surtout de la qualité du processus d'étalonnage. Par opposition à d'autres types d'appareillages de mesure, les résultats de mesure des wattmètres pour dispositifs à fibres optiques dépendent généralement de nombreuses conditions de mesure. Les conditions de mesure au cours du processus d'étalonnage sont appelées *conditions d'étalonnage*. Leur description précise doit par conséquent faire partie intégrante de l'étalonnage.

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

L'étalonnage de puissance absolu décrit la façon de déterminer le rapport entre la valeur de la puissance d'entrée et le résultat du wattmètre. Ce rapport est appelé *facteur de correction*. L'incertitude de mesure du facteur de correction est combinée en suivant l'Annexe A à partir des contributions d'incertitude de l'appareil de référence, de l'appareil de mesure, du montage et de la procédure.

Les calculs font l'objet d'interprétations détaillées d'incertitudes individuelles. Il est important de savoir que:

- a) les estimations des incertitudes individuelles sont acceptables;
- b) une analyse détaillée de l'incertitude n'est nécessaire qu'une seule fois pour chaque type de wattmètre en essai et que tous les étalonnages suivants peuvent être basés sur cette analyse précédente, en utilisant les contributions de mesure de type A appropriées évaluées au moment de l'étalonnage;
- c) certaines incertitudes individuelles peuvent simplement être considérées comme faisant partie d'une liste de contrôle, et possédant une valeur réelle qui peut être négligée.

L'étalonnage selon l'Article 5 est obligatoire pour les rapports faisant référence à la présente norme.

L'Article 6 décrit l'évaluation de l'incertitude de mesure d'un wattmètre étalonné fonctionnant dans les *conditions de référence* ou dans les *conditions de fonctionnement*. Elle dépend de l'incertitude d'étalonnage du wattmètre calculée en 5.3, des conditions et de sa dépendance par rapport à ces conditions. Elle est généralement effectuée par des fabricants, afin d'établir des spécifications, et n'est pas obligatoire pour les rapports faisant référence à la présente norme. L'une de ces variations, la non-linéarité, est déterminée dans un étalonnage séparé (Article 7).

NOTE Les wattmètres pour dispositifs à fibres optiques mesurent et indiquent la puissance optique dans l'air, à l'extrémité d'une fibre optique. Elle est inférieure d'environ 3,6 % à celle présente dans la fibre, en raison de la réflexion de Fresnel à la limite verre-air (avec $N = 1,47$). Il convient de garder cela à l'esprit lorsque la puissance dans la fibre doit être connue.

INTRODUCTION

Fibre-optic power meters are designed to measure optical power from fibre-optic sources as accurately as possible. This capability depends largely on the quality of the calibration process. In contrast to other types of measuring equipment, the measurement results of fibre-optic power meters usually depend on many conditions of measurement. The conditions of measurement during the calibration process are called *calibration conditions*. Their precise description 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 absolute power calibration describes how to determine the ratio between the value of the input power and the power 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 characterizations 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 power meter type under test, and all subsequent calibrations can be based on this one-time analysis, using the appropriate type A measurement contributions evaluated at the time of the calibration;
- c) some of the individual uncertainties can simply be considered to be part of a checklist, with an actual value which can be neglected.

Calibration according to Clause 5 is mandatory for reports referring to this standard.

Clause 6 describes the evaluation of the measurement uncertainty of a calibrated power meter operated within *reference conditions* or within *operating conditions*. It depends on the calibration uncertainty of the power meter as calculated in 5.3, the conditions and its dependence on the conditions. It is usually performed by manufacturers in order to establish specifications and is not mandatory for reports referring to this standard. One of these dependences, the nonlinearity, is determined in a separate calibration (Clause 7).

NOTE Fibre-optic power meters measure and indicate the optical power in the air, at the end of an optical fibre. It is about 3,6 % lower than in the fibre due to Fresnel reflection at the glass-air boundary (with $N = 1,47$). This should be kept in mind when the power in the fibre has to be known.

ETALONNAGE DE WATTMÈTRES POUR DISPOSITIFS À FIBRES OPTIQUES

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale s'applique aux appareils qui mesurent la puissance rayonnante émise par des sources typiques pour l'industrie des communications par fibres optiques. Ces sources comprennent les diodes laser, les diodes émettant de la lumière DEL et les sources fibrées. Le rayonnement peut être divergent ou collimaté. Cette norme décrit l'étalonnage des wattmètres, qui doit être effectué par des laboratoires d'étalonnage ou par des fabricants de wattmètres.

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

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

CEI 61300-3-12, *Dispositifs d'interconnexion et composants passifs à fibres optiques – Méthodes fondamentales d'essais et de mesures – Partie 3-12: Examens et mesures – Sensibilité à la polarisation de l'affaiblissement d'un composant à fibres optiques monomodes: Méthode de calcul matriciel*

CEI 61930, *Symbologie des graphiques de fibres optiques*

CEI 61931, *Fibres optiques – Terminologie*

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

BIPM, CEI, FICC, ISO, UICPA, UIPPA, et OIML:1993, *Vocabulaire international des termes fondamentaux et généraux de métrologie*

BIPM, CEI, FICC, ISO, UICPA, UIPPA, et OIML:1995, *Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM)*

CALIBRATION OF FIBRE-OPTIC POWER METERS

1 Scope

This international standard is applicable to instruments measuring radiant power emitted from sources which are typical for the fibre-optic communications industry. These sources include laser diodes, light emitting diodes (LEDs) and fibre-type sources. The radiation may be divergent or collimated. The standard describes the calibration of power meters to be performed by calibration laboratories or by power meter manufacturers.

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

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

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

IEC 61300-3-12, *Fibre optic interconnecting devices and passive components – Basic test and measurement procedures – Part 3-12: Examinations and measurements – Polarization dependence of attenuation of a single-mode fibre optic component: Matrix calculation method*

IEC 61930, *Fibre optic graphical symbology*

IEC 61931, *Fibre optic – Terminology*

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

BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, and OIML:1993, *International vocabulary of basic terms in metrology (VIM)*

BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, and OIML:1995, *Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM)*

3 Termes et définitions

Dans le cadre de la présente Norme internationale, les définitions de la CEI 61931 et les définitions suivantes s'appliquent.

3.1

laboratoire d'étalonnage accrédité

laboratoire d'étalonnage autorisé par l'organisation nationale compétente à publier des certificats d'étalonnage avec une incertitude minimale spécifiée, qui démontrent la traçabilité aux *étalons nationaux*

3.2

ajustage

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

[VEI 311-03-16. Voir aussi VIM, 4.30].

NOTE Lorsque l'appareil est conçu pour donner une indication égale à zéro correspondant à une valeur égale à zéro de la grandeur à mesurer, l'ensemble des opérations est appelé **réglage du zéro**.

3.3

étalonnage

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

[VIM, 6.11, modifié]

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

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

NOTE 3 Le résultat d'un étalonnage peut être enregistré dans un document, appelé parfois **certificat d'étalonnage** ou **rapport d'étalonnage**.

3.4

conditions d'étalonnage

conditions de mesure dans lesquelles l'étalonnage est réalisé

3.5

longueur d'onde centrale

$\lambda_{\text{centrale}}$

longueur d'onde moyenne pondérée en puissance d'une source de lumière dans le vide

Pour un spectre continu, la longueur d'onde centrale est définie par:

$$\lambda_{\text{centrale}} = \frac{1}{P_{\text{totale}}} \int p(\lambda) \times \lambda \times d\lambda$$

et la puissance totale est:

$$P_{\text{totale}} = \int p(\lambda) \times d\lambda$$

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

3 Terms and definitions

For the purposes of this International Standard, the definitions contained in IEC 61931 and the following definitions apply.

3.1

accredited calibration laboratory

a calibration laboratory authorized by the appropriate national organization to issue calibration certificates with a minimum specified uncertainty, which demonstrate traceability to *national standards*

3.2

adjustment

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

[IEV 311-03-16; see also VIM 4.30]

NOTE When the instrument is made to give a null indication corresponding to a null value of the measurand, the set of operations is called **zero adjustment**

3.3

calibration

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

[VIM, 6.11, modified]

NOTE 1 The result of a calibration permits either the assignment of values of measurands to the indications or the determination of corrections with respect to indications.

NOTE 2 A calibration may also determine other metrological properties such as the effect of influence quantities.

NOTE 3 The result of a calibration may be recorded in a document, sometimes called a **calibration certificate** or a **calibration report**

3.4

calibration conditions

conditions of measurement in which the calibration is performed

3.5

centre wavelength

λ_{centre}

the power-weighted mean wavelength of a light source in vacuum.

For a continuous spectrum the centre wavelength is defined as:

$$\lambda_{\text{centre}} = \frac{1}{P_{\text{total}}} \int p(\lambda) \times \lambda \times d\lambda$$

and the total power is:

$$P_{\text{total}} = \int p(\lambda) \times d\lambda$$

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

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

$$\lambda_{\text{centrale}} = \frac{\sum P_i \times \lambda_i}{\sum P_i}$$

où

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

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

NOTE Les intégrales et sommatoires suivantes s'étendent en théorie sur l'ensemble du spectre de la source de lumière; cependant, il est généralement suffisant de réaliser l'intégrale ou la sommatoire sur le spectre où la densité spectrale $p(\lambda)$ ou la puissance P_i est supérieure à 0,1 % de la densité spectrale maximale $p(\lambda)$ ou de la puissance P_i .

3.6

facteur de correction

FC

facteur numérique par lequel le résultat non corrigé d'une mesure est multiplié pour compenser une erreur systématique

[VIM, 3.16]

3.7

décibel

dB

sous-multiple du bel (1 dB = 0,1 B), unité utilisée pour exprimer des valeurs de niveau de puissance sur une échelle logarithmique. Le **niveau de puissance** est toujours relatif à une puissance de référence P_0 :

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

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

La puissance de référence doit toujours être indiquée, par exemple, le niveau de puissance de 200 μW par rapport à 1 mW peut être noté $L_{P/1 \text{ mW}} = -7 \text{ dB}$ ou $L_P(\text{puissance de référence 1 mW}) = -7 \text{ dB}$.

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

$$\Delta L_P = 10 \log_{10}(R_{\text{lin}}) = 10 \log_{10}(P_1/P_2) = 10 \log_{10}(P_1) - 10 \log_{10}(P_2).$$

De même, les incertitudes relatives, U_{lin} , ou écarts relatifs, peuvent aussi être exprimé(e)s en décibels:

$$U_{\text{dB}} = \frac{10}{\ln 10} U_{\text{lin}} \cong 4,34 \times U_{\text{lin}} \text{ (dB)}$$

NOTE Il convient de consulter l'ISO 31-2 et la CEI 60027-3 pour obtenir des précisions supplémentaires. Les règles de la CEI 60027-3 ne permettent pas de correspondances aux symboles. Cependant, le symbole dBm est largement utilisé pour indiquer les niveaux de puissance par rapport à 1 mW et souvent affiché par des wattmètres pour dispositifs à fibres optiques.

3.8

détecteur

élément du wattmètre qui convertit la puissance rayonnante optique en une grandeur mesurable, normalement électrique. Dans la présente norme, on considère que le détecteur est connecté au port d'entrée optique par un chemin optique

[voir CEI 61931 et VIM, 4.15]

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

$$\lambda_{\text{centre}} = \frac{\sum P_i \times \lambda_i}{\sum P_i}$$

where

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

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

NOTE The above integrals and summations theoretically extend over the entire spectrum of the light source, however it is usually sufficient to perform the integral or summation over the spectrum where the spectral density $p(\lambda)$ or power P_i is higher than 0,1 % of the maximum spectral density $p(\lambda)$ or power P_i .

3.6

correction factor

CF

numerical factor by which the uncorrected result of a measurement is multiplied to compensate for systematic error

[VIM, 3.16]

3.7

decibel

dB

submultiple of the bel (1 dB = 0,1 B), unit used to express values of power level on a logarithmic scale. The **power level** is always relative to a reference power P_0 :

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

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

The reference power must always be reported, for example, the power level of 200 μW relative to 1 mW can be noted $L_{P/1 \text{ mW}} = -7 \text{ dB}$ or $L_P(\text{re } 1 \text{ mW}) = -7 \text{ dB}$.

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

$$\Delta L_P = 10 \log_{10}(R_{\text{lin}}) = 10 \log_{10}(P_1/P_2) = 10 \log_{10}(P_1) - 10 \log_{10}(P_2).$$

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

$$U_{\text{dB}} = \frac{10}{\ln 10} U_{\text{lin}} \cong 4,34 \times U_{\text{lin}} \text{ (dB)}$$

NOTE ISO 31-2 and IEC 60027-3 should be consulted for further details. The rules of IEC 60027-3 do not permit attachments to unit symbols. However, the unit symbol dBm is widely used to indicate power levels relative to 1 mW and often displayed by fibre-optic power meters.

3.8

detector

the element of the power meter that transduces the radiant optical power into a measurable, usually electrical, quantity. In this standard, the detector is assumed to be connected with the optical input port by an optical path

[see IEC 61931 and VIM, 4.15]

3.9

écart

D (en anglais *deviation*)

dans le cadre de la présente norme, différence relative entre la puissance mesurée par l'appareil de mesure P_{DEE} et la puissance de référence $P_{\text{réf}}$

$$D = \frac{P_{\text{DEE}} - P_{\text{réf}}}{P_{\text{réf}}}$$

3.10

excitation (de la fibre)

description de la répartition de la puissance optique entre les modes dans la fibre. Dans le cas des fibres multimodales, l'excitation de la fibre est décrite par:

- a) le *diamètre du spot* à la surface de l'extrémité de la fibre, et
- b) l'*ouverture numérique* du rayonnement émis par la fibre.

L'excitation totale est le rayonnement caractérisé par un diamètre du spot qui est approximativement égal au diamètre du cœur de la fibre et par une ouverture numérique qui est approximativement égale à l'ouverture numérique de la fibre.

Les fibres monomodales sont en général considérées comme étant excitées uniquement par un mode (le mode fondamental).

3.11

mode de l'appareil

ensemble de paramètres qui peuvent être choisis sur un appareil

NOTE Les paramètres typiques du mode de l'appareil sont la gamme de puissance optique, le réglage de longueur d'onde, l'unité de mesure de l'affichage et la sortie où le résultat de mesure est obtenu (par exemple affichage, bus d'interface, sortie analogique).

3.12

éclairage énergétique

quotient de la puissance rayonnante différentielle ∂P incidente sur un élément du plan de référence par la surface différentielle ∂A de cet élément

$$E = \frac{\partial P}{\partial A} \text{ (W/m}^2\text{)}$$

[Définition 2.1.15 de la CEI 61931, modifiée]

3.13

résultat de mesure

y

sortie (affichée ou électrique) d'un wattmètre (ou étalon), après exécution de toutes les actions indiquées dans les instructions de fonctionnement, par exemple préchauffage, réglage du zéro et correction de la longueur d'onde; ce résultat est exprimé en watts (W). Dans le cas de l'analyse de l'incertitude, il convient de convertir en watts les résultats de mesure exprimés dans d'autres unités, par exemple en volts. Il convient aussi de convertir les résultats de mesure exprimés en décibels (dB) en watts, car le cumul de l'incertitude totale est basé sur les résultats de mesure exprimés en watts

3.14

gamme de mesure

ensemble des valeurs de grandeurs à mesurer pour lesquelles l'erreur d'un appareil de mesure doit se trouver dans des limites spécifiées

[VIM, 5.4]

3.9**deviation*****D***

for the purpose of this standard, the relative difference between the power measured by the test meter P_{DUT} and the reference power P_{ref}

$$D = \frac{P_{\text{DUT}} - P_{\text{ref}}}{P_{\text{ref}}}$$

3.10**excitation (fibre)**

a description of the distribution of optical power between the modes in the fibre. In context with multimode fibres, the fibre excitation is described by:

- a) the *spot diameter* on the surface of the fibre end, and
- b) the *numerical aperture* of the radiation emitted from the fibre.

Full excitation means radiation characterized by a spot diameter which is approximately equal to the fibre's core diameter, and by a numerical aperture which is approximately equal to the fibre's numerical aperture.

Single mode fibres are generally assumed to be excited by only one mode (the fundamental mode)

3.11**instrument state**

set of parameters that can be chosen on an instrument

NOTE Typical parameters of the instrument state are the optical power range, the wavelength setting, the display measurement unit and the output from which the measurement result is obtained (for example display, interface bus, analogue output).

3.12**irradiance**

the quotient of the incremental radiant power ∂P incident on an element of the reference plane by the incremental area ∂A of that element:

$$E = \frac{\partial P}{\partial A} \text{ (W/m}^2\text{)}$$

[IEC 61931, definition 2.1.15, modified]

3.13**measurement result**

y

(displayed or electrical) output of a power meter (or standard), after completing all actions suggested by the operating instructions, for example warm-up, zeroing and wavelength-correction, expressed in watts (W). For the purpose of uncertainty analysis, measurement results in other units, for example volts, should be converted to watts. Measurement results in decibels (dB) should also be converted to watts, because the entire uncertainty accumulation is based on measurement results expressed in watts.

3.14**measuring range**

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

[VIM, 5.4]

NOTE Dans la présente norme, la gamme de mesure est la gamme de la puissance rayonnante (partie de la *gamme de fonctionnement*), pour laquelle l'incertitude aux conditions de fonctionnement est spécifiée. Dans ce contexte, il convient d'éviter le terme «gamme dynamique».

3.15

étalon national (de mesure)

étalon reconnu par une décision nationale pour servir, dans un pays, de base pour attribuer des valeurs à tous les autres étalons de la grandeur concernée

[VIM, 6.3]

3.16

laboratoire d'étalon national

laboratoire qui conserve l'*étalon national*

3.17

non-linéarité

NL

différence relative entre la *réponse* à une puissance P donnée et la réponse à une puissance de référence P_0 :

$$nl_{P/P_0} = \frac{r(P)}{r(P_0)} - 1$$

Si elle est exprimée en décibels, la non-linéarité est:

$$NL_{P/P_0} = 10 \times \log_{10} \frac{r(P)}{r(P_0)} \text{ (dB)}$$

NOTE 1 La non-linéarité est égale à zéro à la puissance de référence.

NOTE 2 Le terme «non-linéarité locale» est utilisé pour la différence relative entre les réponses à deux niveaux de puissance différents (séparés par 3,01 dB) obtenues au cours de l'étalonnage de non-linéarité. Le terme «non-linéarité globale» est utilisé pour le résultat de la somme des non-linéarités locales; il est identique à la non-linéarité définie ici.

3.18

ouverture numérique

description de la divergence du faisceau d'une source optique. Dans la présente norme, l'ouverture numérique est le sinus (linéaire) du demi-angle auquel l'éclairement énergétique correspond à 5 % de l'éclairement énergétique maximal

NOTE Cette définition a été adoptée à partir de la définition de l'ouverture numérique pour les fibres multimodales à gradient d'indice adoptée dans la CEI 60793-1-43. Dans la présente norme, la définition décrit la divergence de **tous** les faisceaux divergents.

3.19

conditions de fonctionnement

ensemble approprié de gammes spécifiées de valeurs des grandeurs d'influence généralement supérieures aux conditions de référence pour lesquelles les incertitudes d'un appareil de mesure sont spécifiées (voir VIM, 5.5)

NOTE Les conditions de fonctionnement et l'incertitude aux conditions de fonctionnement sont généralement spécifiées par le fabricant à l'intention de l'utilisateur.

3.20

gamme de fonctionnement

gamme spécifiée de valeurs d'un des ensembles des *conditions de fonctionnement*

NOTE In this standard, the measuring range is the range of radiant power (part of the *operating range*), for which the uncertainty at operating conditions is specified. The term "dynamic range" should be avoided in this context.

3.15

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

[VIM, 6.3]

3.16

national standards laboratory

laboratory which maintains the *national standard*

3.17

nonlinearity

NL

relative difference between the *response* at a given power *P* and the response at a reference power *P*₀:

$$nl_{P/P_0} = \frac{r(P)}{r(P_0)} - 1$$

If expressed in decibels, the nonlinearity is:

$$NL_{P/P_0} = 10 \times \log_{10} \frac{r(P)}{r(P_0)} \text{ (dB)}$$

NOTE 1 The nonlinearity is equal to zero at the reference power.

NOTE 2 The term "local nonlinearity" is used for the relative difference between the responses at two different power levels (separated by 3,01 dB) obtained during the nonlinearity calibration. The term "global nonlinearity" is used for the result of summing up the local nonlinearities; it is identical to the nonlinearity defined here.

3.18

numerical aperture

description of the beam divergence of an optical source. In this standard, the numerical aperture is the sine of the (linear) half-angle at which the irradiance is 5 % of the maximum irradiance.

NOTE This definition was adopted from the definition of the numerical aperture of multimode graded-index fibres in IEC 60793-1-43. In this standard, the definition is used to describe the divergence of **all** divergent beams.

3.19

operating conditions

appropriate set of specified ranges of values of influence quantities usually wider than the reference conditions for which the uncertainties of a measuring instrument are specified (see VIM, 5.5)

NOTE The operating conditions and uncertainty at operating conditions are usually specified by manufacturer for the convenience of the user.

3.20

operating range

specified range of values of one of a set of *operating conditions*

3.21

port d'entrée optique

entrée physique du wattmètre (ou étalon) à laquelle la puissance rayonnante doit être appliquée ou à laquelle l'extrémité de la fibre optique doit être connectée. Un chemin optique (chemin de rayons avec ou sans éléments optiques tels que lentilles, diaphragmes, guides de lumière, etc.) est supposé connecter le port d'entrée optique avec le détecteur du wattmètre

3.22

plan de référence optique

plan sur ou près du *port d'entrée optique* qui sert à définir le *diamètre du spot* du faisceau

NOTE On considère généralement que le plan de référence optique est perpendiculaire à la propagation du faisceau, et il convient de le décrire à l'aide de dimensions mécaniques appropriées se rapportant au port d'entrée optique du wattmètre.

3.23

réponse dépendant de la polarisation

PDR (en anglais *polarization dependent response*)

variation de la réponse d'un wattmètre en fonction de tous les états possibles de polarisation de la lumière d'entrée, exprimée en décibels:

$$PDR = 10 \times \log_{10} \left(\frac{r_{\max}}{r_{\min}} \right) \text{ (dB)}$$

où $r_{\max}$ et $r_{\min}$ sont les réponses maximale et minimale enregistrées sur tous les états de polarisation.

3.24

wattmètre (pour dispositifs à fibres optiques)

dans la présente norme, appareil capable de mesurer la puissance rayonnante des sources typiques pour l'industrie des communications par fibres optiques. Ces sources comprennent les diodes laser, les DEL et les fibres. Le rayonnement peut être divergent ou collimaté. Le rayonnement est supposé être incident sur le plan de référence optique dans le cadre des conditions spécifiées. Un wattmètre peut comporter soit un appareil unique, soit un appareil principal et une tête de détection séparée. Dans le cas d'une tête de détection séparée, la tête peut être étalonnée sans l'appareil principal

NOTE 1 Le résultat de mesure peut être influencé par l'appareil principal, en particulier si des systèmes électroniques analogiques sont utilisés dans l'appareil principal. Dans de tels cas, il est nécessaire d'étalonner la tête de détection avec l'appareil principal.

NOTE 2 Un wattmètre pour dispositifs à fibres optiques est en général capable de mesurer la valeur moyenne temporelle d'une puissance optique **modulée**. On peut observer une incertitude plus importante, qui dépend du cycle de service et de la puissance de crête de la puissance optique modulée.

NOTE 3 Tous les étalons de la présente norme sont des wattmètres.

3.25

puissance rayonnante

P

puissance émise, transférée ou reçue sous la forme de rayonnement optique [1]¹.

Unité: W

3.26

conditions de référence

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

[VIM, 5.7]

¹ Les chiffres entre crochets renvoient à la Bibliographie.

3.21**optical input port**

physical input of the power meter (or standard) to which the radiant power is to be applied or to which the optical fibre end is to be connected. An optical path (path of rays with or without optical elements like lenses, diaphragms, light guides, etc.) is assumed to connect the optical input port with the power meter's detector.

3.22**optical reference plane**

plane on or near the *optical input port* which is used to define the beam's *spot diameter*

NOTE The optical reference plane is usually assumed to be perpendicular to the beam propagation, and it should be described by appropriate mechanical dimensions relative to the power meter's optical input port.

3.23**polarization dependent response****PDR**

variation in response of a power meter with respect to all possible polarization states of the input light, expressed in decibels:

$$PDR = 10 \times \log_{10} \left(\frac{r_{\max}}{r_{\min}} \right) \text{ (dB)}$$

where $r_{\max}$ and $r_{\min}$ are the maximum and minimum response taken over all polarization states.

3.24**power meter (fibre-optic)**

in this standard, instrument capable of measuring radiant power from sources which are typical for the fibre-optic communications industry. These sources include laser diodes, LEDs and fibres. The radiation may be divergent or collimated. The radiation is assumed to be incident on the optical reference plane within the specified conditions. A power meter may consist either of a single instrument or of a main instrument and a separate sensing head. In the case of a separate sensing head, the head may be calibrated without the main instrument.

NOTE 1 The measurement result may be influenced by the main instrument, particularly if any analog electronics is used in the main instrument. In such cases, the sensing head must be calibrated together with the main instrument.

NOTE 2 A fibre-optic power meter is usually capable of measuring the time-average of **modulated** optical power. An increased uncertainty may be observed, which depends on the duty cycle and the peak power of modulated optical power.

NOTE 3 All of the standards in this standard are power meters.

3.25**radiant power****P**

power emitted, transferred, or received in the form of optical radiation [1]¹⁾. Unit: W.

3.26**reference conditions**

conditions of use prescribed for testing the performance of a measuring instrument or for intercomparison of results of measurements

[VIM, 5.7]

¹⁾ Figures in square brackets refer to the Bibliography.

NOTE Les conditions de référence comprennent généralement les **valeurs de référence** ou les **gammes de référence** pour les grandeurs d'influence affectant l'appareil de mesure.

3.27

appareil de référence

étalon qui est utilisé comme référence pour l'étalonnage d'un *appareil de mesure*

3.28

étalon de référence

étalon, en général de la plus haute qualité métrologique disponible à un emplacement donné ou dans un organisme donné, dont les mesures qui y sont effectuées sont dérivées [VIM, 6.6]

3.29

réponse

r

résultat de mesure d'un wattmètre, y , divisé par la puissance rayonnante sur le plan de référence optique du wattmètre, P , à une condition donnée de mesure:

$$r = \frac{y}{P} \text{ (W/W, sans dimension)}$$

NOTE Un wattmètre idéal indique une réponse de 1 pour toutes les conditions de fonctionnement.

3.30

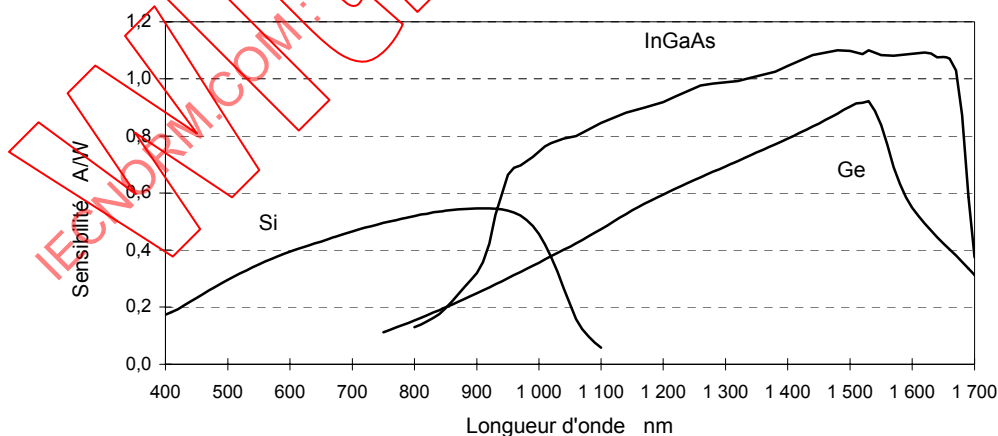
sensibilité (spectrale)

R

quotient du courant de sortie du détecteur I par la puissance optique monochromatique incidente P :

$$R = \frac{I}{P} \text{ (A/W)}$$

NOTE La sensibilité dépend des conditions (longueur d'onde, température, etc.).



IEC 1826/05

Légende

Si: silicium
Ge: germanium
InGaAs: arséniure de gallium indé

Figure 1 – Sensibilité spectrale typique des détecteurs photoélectriques

NOTE The reference conditions generally include **reference values** or **reference ranges** for the influence quantities affecting the measuring instrument.

3.27

reference meter

standard which is used as the reference for the *calibration* of a *test meter*

3.28

reference standard

standard, generally having the highest metrological quality available at a given location or in a given organization, from which measurements made there are derived

[VIM, 6.6]

3.29

response

r

measurement result of a power meter, y , divided by the radiant power on the power meter's optical reference plane, P , at a given condition of measurement:

$$r = \frac{y}{P} \text{ (W/W, dimensionless)}$$

NOTE An ideal power meter exhibits a response of 1 for all operating conditions.

3.30

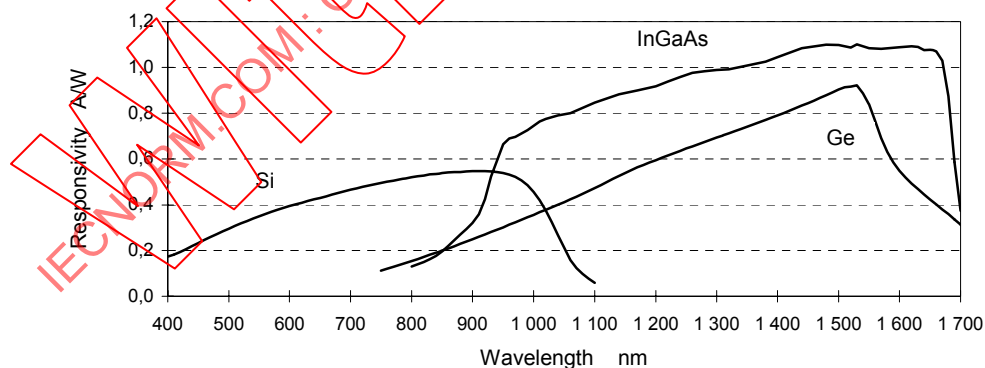
(spectral) responsivity

R

quotient of the detector output current I by the incident monochromatic optical power P :

$$R = \frac{I}{P} \text{ (A/W)}$$

NOTE The responsivity depends on the conditions (wavelength, temperature, etc.).



IEC 1826/05

Key

Si: silicon

Ge: germanium

InGaAs: indium gallium arsenide

Figure 1 – Typical spectral responsivity of photoelectric detectors

3.31

largeur de bande spectrale

B (en anglais *bandwidth*)

dans le cadre de la présente norme, largeur à mi-hauteur (LMH) du spectre

Si le spectre n'est pas continu, par exemple dans le cas d'une diode laser avec un spectre présentant différentes raies longitudinales, la largeur de bande spectrale est alors définie d'après la valeur efficace de la largeur de bande spectrale, B_{rms} :

$$B = M \times B_{\text{rms}} = M \sqrt{\frac{\sum_i P_i \times \lambda_i^2}{\sum_i P_i} - \lambda_{\text{centrale}}^2} = M \sqrt{\frac{\sum_i P_i (\lambda_i - \lambda_{\text{centrale}})^2}{\sum_i P_i}}$$

où

$M = 2\sqrt{2\ln 2} \approx 2,35$ (valeur calculée à l'aide d'un spectre avec une enveloppe gaussienne);

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

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

$\lambda_{\text{centrale}}$ est la *longueur d'onde centrale*.

NOTE 1 Si la source émet uniquement à une longueur d'onde (spectre à une raie), il peut suffire de définir une limite supérieure, par exemple largeur de bande spectrale < 1 nm.

NOTE 2 Il est généralement suffisant de réaliser l'intégrale ou la sommatoire sur le spectre où la puissance est supérieure à 0,1 % de la puissance maximale.

3.32

diamètre du spot

dans la présente norme, le diamètre de la surface éclairée sur le plan de référence optique, défini par le cercle (meilleure approximation) auquel l'*éclairement énergétique* est tombé à 5 % de l'éclairement énergétique de crête

NOTE 1 Le rapport de 5 % a été adopté pour des raisons de compatibilité avec la définition de l'ouverture numérique. D'autres rapports sont souvent utilisés pour décrire les faisceaux laser, par exemple $1/e^2$ ou $1/e$. Dans ce cas, cela sera établi avec la valeur du diamètre du spot.

NOTE 2 Il est nécessaire que le diamètre du *plan de référence optique* soit supérieur au diamètre du spot, afin de mesurer l'ensemble de la puissance optique.

3.33

appareil de mesure

wattmètre (ou étalon) à étalonner, par comparaison avec l'*appareil de référence*

3.34

traçabilité

propriété du résultat d'une mesure ou de la valeur d'un étalon, au moyen duquel (de laquelle) il (elle) peut être lié(e) à des références établies, en général des étalons nationaux ou internationaux, le long d'une chaîne ininterrompue de comparaisons, toutes ayant des incertitudes établies

[VIM, 6.10]

3.35

chaîne de traçabilité

chaîne ininterrompue de comparaisons

(VIM 6.10]

3.31**spectral bandwidth*****B***

for the purpose of this standard, full-width at half-maximum (FWHM) of the spectrum

If the spectrum is non-continuous, for example as in the case of a laser diode with a multi-longitudinal line spectrum, then the spectral bandwidth is defined with the help of the root-mean-square spectral bandwidth, B_{rms} :

$$B = M \times B_{\text{rms}} = M \sqrt{\frac{\sum_i P_i \times \lambda_i^2}{\sum_i P_i} - \lambda_{\text{centre}}^2} = M \sqrt{\frac{\sum_i P_i (\lambda_i - \lambda_{\text{centre}})^2}{\sum_i P_i}}$$

where

$M = 2\sqrt{2\ln 2} \cong 2,35$ (calculated using a spectrum with a Gaussian envelope);

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

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

λ_{centre} is the *centre wavelength*.

NOTE 1 If the source emits at one wavelength only (single-line spectrum), it may be sufficient to specify an upper limit, for example spectral bandwidth < 1 nm.

NOTE 2 It is usually sufficient to perform the integral or summation over the spectrum where the power is higher than 0,1 % of the maximum power.

3.32**spot diameter**

in this standard, diameter of the irradiated area on the optical reference plane, defined by the (best-approximation) circle at which the *irradiance* has dropped to 5 % of the peak irradiance

NOTE 1 The ratio of 5 % was adopted for reasons of compatibility with the definition of the numerical aperture. Other ratios are often used to describe laser beams, for example $1/e^2$ or $1/e$. In that case it shall be stated with the spot diameter value.

NOTE 2 The diameter of the *optical reference plane* must be larger than the spot diameter in order to measure the whole optical power.

3.33**test meter**

power meter (or standard) to be calibrated by comparison with the *reference meter*

3.34**traceability**

property of the result of a measurement or the value of a standard whereby it can be related to stated references, usually national or international standards, through an unbroken chain of comparisons all having stated uncertainties

[VIM, 6.10]

3.35**traceability chain**

unbroken chain of comparison

[VIM 6.10]

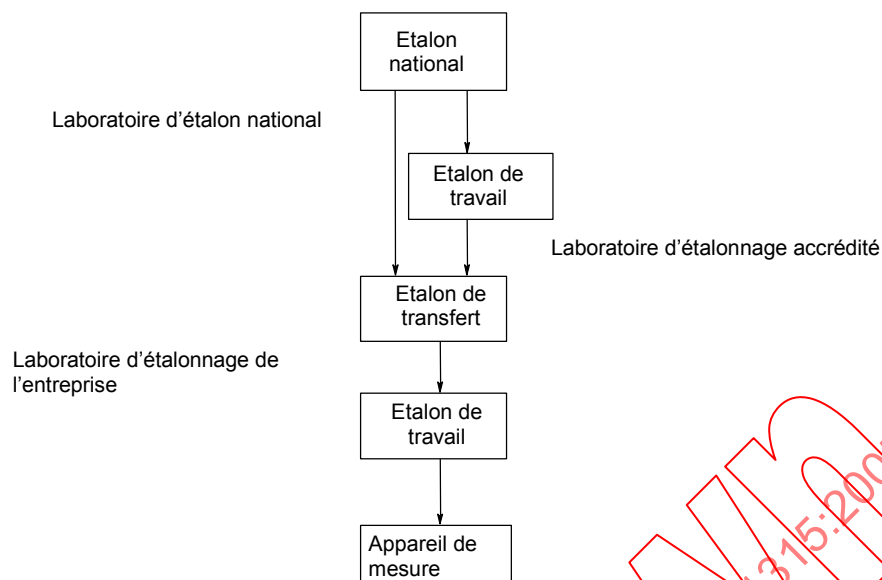


Figure 2 – Exemple d'une chaîne de traçabilité

3.36

étalon de travail

étalon qui sert pour les étalonnages de routine ou à la vérification des appareils de mesure

[VIM, 6.7]

NOTE Un étalon de travail est généralement étalonné par rapport à un étalon de référence.

3.37

erreur sur le zéro

résultat de mesure d'un wattmètre sans éclairage du port d'entrée optique

[VIM, 5.23]

4 Préparation pour l'étalonnage

4.1 Organisation

Il convient que le laboratoire d'étalonnage remplisse les exigences de l'ISO/CEI 17025.

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

4.2 Traçabilité

Les exigences de l'ISO/CEI 17025 doivent être remplies.

Tous les étalons utilisés dans l'étalonnage doivent être étalonnés conformément à un programme détaillé montrant leur *traçabilité* avec les *laboratoires d'étalons nationaux* ou 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 qualités de fonctionnement de l'étalon puissent être vérifiées par comparaison au même niveau. S'assurer que tout autre appareil en essai ayant une influence significative sur les résultats d'étalonnage est étalonné. Sur demande, spécifier cet appareil en essai et sa (ses) *chaîne(s) de traçabilité*. La (les) période(s) de ré-étalonnage doi(ven)t être définie(s) et documentée(s).

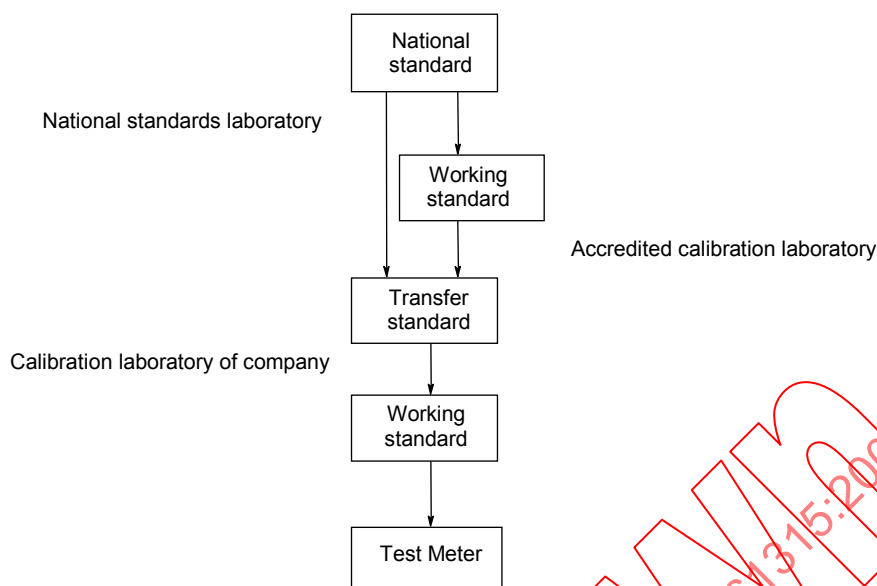


Figure 2 – Example of a traceability chain

3.36

working standard

standard that is used routinely to calibrate or check measuring instruments

[VIM, 6.7]

NOTE A working standard is usually calibrated against a reference standard.

3.37

zero error

measurement result of a power meter without irradiation of the optical input port

(VIM, 5.23)

4 Preparation for calibration

4.1 Organization

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

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

4.2 Traceability

The requirements of ISO/IEC 17025 should be met.

All standards used in the calibration process shall be calibrated according to a documented program with *traceability* to *national standards laboratories* or to *accredited calibration laboratories*. It is advisable to maintain more than one standard on each hierarchical level, so that the performance of the standard can be verified by comparisons on the same level. Make sure that any other test equipment which has a significant influence on the calibration results is calibrated. Upon request, specify this test equipment and its *traceability chain(s)*. The re-calibration period(s) shall be defined and documented.

4.3 Conseils pour les mesures et les étalonnages

Le présent paragraphe donne des conseils d'ordre général pour tous les étalonnages et mesures des wattmètres optiques et pour dispositifs à fibres optiques.

Il convient que l'étalonnage soit effectué dans une pièce à température contrôlée si des détecteurs sans régulation de température sont utilisés. La température recommandée est de 23 °C. Le contrôle de l'humidité peut être nécessaire si l'on utilise des détecteurs optiques sensibles à l'humidité, ou s'il y a possibilité de condensation sur les composants. Une variation de l'humidité du laboratoire peut modifier l'absorption de l'air et par conséquent modifier la puissance. Cet effet est relativement fort entre 1 360 nm et 1 410 nm, en particulier lorsqu'un étalonnage à faisceau en espace libre, de type séquentiel, est utilisé et que l'humidité varie entre les étapes. Dans le cas d'étalonnages de type parallèle avec des chemins à faisceau en espace libre de longueurs approximativement identiques, les résultats de mesure de l'appareil de référence et de l'appareil de mesure changeront à peu près au même moment, avec un effet négligeable sur le résultat de l'étalonnage.

Il convient de maintenir le laboratoire propre. Il est recommandé que les connecteurs et les ports d'entrée optique soient toujours nettoyés avant la mesure. Il convient que la qualité et la propreté du connecteur en face du détecteur soient vérifiées. Il convient de bouger toutes les fibres aussi peu que possible pendant les mesures; elles peuvent être fixées au banc d'essai si nécessaire. Il est recommandé de déplacer les capteurs vers la fibre plutôt que la fibre vers le capteur.

Il est recommandé que la source optique utilisée pour l'excitation du wattmètre soit caractérisée pour la *longueur d'onde centrale* et la *largeur de bande spectrale*. Il convient que la largeur de bande spectrale soit suffisamment étroite afin d'éviter l'intégration sur une gamme étendue de longueurs d'ondes. Il est conseillé de mettre en œuvre des moyens pour assurer la stabilité de la source, par exemple un contrôle de puissance indépendant.

Les diodes laser sont sensibles aux rétroreflexions. Pour améliorer la stabilité, il est conseillé d'utiliser un atténuateur optique ou un isolateur optique entre la diode laser et l'appareil de mesure. En raison de leurs largeurs de bandes spectrales réduites, la combinaison de diodes laser et de fibres multimodales peut aussi générer des figures de speckle sur le plan de référence optique, ce qui a pour résultat une augmentation de l'incertitude de mesure.

Les connecteurs de fibre et les adaptateurs peuvent produire des erreurs dans le résultat de mesure [2], en raison des réflexions multiples entre le *port d'entrée optique* (ou le détecteur) et la combinaison connecteur-adaptateur (comme partie de la source). Par conséquent, les connecteurs et les adaptateurs à faible réflectivité sont recommandés pour l'étalonnage. Autrement, un facteur de correction et une incertitude plus importante peuvent devoir être pris en compte.

Il est conseillé d'utiliser des appareils de référence avec des diamètres de détecteur ≥ 3 mm, car ils peuvent être éclairés facilement avec un faisceau en espace libre et sont moins sujets à la contamination (poussière ou impuretés). Il convient que les réflexions engendrées par la surface de l'appareil de référence soient aussi réduites que possible. Si la source émet un faisceau divergent, il est alors conseillé d'utiliser un appareil de référence à sphère intégrante. Il est aussi possible d'utiliser des appareils à détecteurs «plats» et une correction mathématique, basée sur la multiplication de la répartition du champ lointain émis par la dépendance angulaire mesurée du détecteur de l'appareil de référence et l'intégration sur la gamme des angles de champ lointain.

Il est recommandé d'envisager un contrôle de température des détecteurs pour les étalonnages extrêmement précis car les détecteurs présentent d'importantes dépendances par rapport à la température sur certaines gammes de longueurs d'ondes.

4.3 Advice for measurements and calibrations

This subclause gives general advice for all measurements and calibrations of optical and fibre-optic power meters.

The calibration should be made in a temperature-controlled room if non-temperature-controlled detectors are used. The recommended temperature is 23 °C. Humidity control may be necessary if humidity-sensitive optical detectors are used, or if there is the possibility of condensation on the components. A change of the laboratory's humidity may change the absorption of air and thereby change the power. This effect is relatively strong between 1 360 nm and 1 410 nm, especially when a sequential-type, open-beam calibration is used and the humidity changes between the steps. In parallel-type calibrations with open-beam paths of approximately the same lengths, the measurement results of both the reference meter and the test meter will change at approximately the same time, with negligible effect on the calibration result.

The laboratory should be kept clean. Connectors and optical input ports should always be cleaned before measurement. The quality and cleanness of the connector in front of the detector should be checked. All fibres should be moved as little as possible during the measurements; they can be fixed to the work bench if necessary. Sensors should be moved to the fibre rather than the fibre to the sensor.

The optical source which is used for the excitation of the power meter should be characterized for *centre wavelength* and *spectral bandwidth*. The spectral bandwidth should be narrow enough to avoid averaging over a wide range of wavelengths. Means to ensure the stability of the source, for example with the help of independent power monitoring, may be advisable.

Laser diodes are sensitive to back reflections. To improve the stability, it is advisable to use an optical attenuator or an optical isolator between the laser diode and the test meter. Because of their narrow spectral bandwidths, the combination of laser diode and multimode fibre is also capable of producing speckle patterns on the optical reference plane, with the result of an increased measurement uncertainty.

Fibre connectors and connector adapters are likely to produce errors in the measurement result [2], because of multiple reflections between the *optical input port* (or detector) and the connector-adapter combination (as part of the source). Therefore, connectors and adapters with low reflectivity are recommended for the calibration. Otherwise, a correction factor and an increased uncertainty may have to be taken into account.

It is advisable to use reference meters with detector diameters of ≥ 3 mm, because they can easily be irradiated with an open beam, and they are less susceptible to contamination (dirt and dust). The reference meter's surface reflections should be as small as possible. If the source emits a divergent beam, then a reference meter with an integrating sphere may be advisable. It is also acceptable to use meters with "flat" detectors and mathematical correction, based on multiplying the emitted far field distribution with the measured angle-dependence of the detector of the reference meter, and integrating over the range of far-field angles.

Temperature control of the detectors should be considered for highly accurate calibrations, because detectors exhibit strong temperature dependence over some wavelength ranges.

4.4 Recommandations aux clients

Il est recommandé que le client (l'utilisateur du wattmètre) conserve au moins un wattmètre de référence, qui lui permette de comparer son appareil pour confirmation. Ces comparaisons sont particulièrement importantes avant et après l'envoi de l'appareil en ré-étalonnage, car elles permettront à l'utilisateur de déterminer si son échelle a changé ou non, par exemple en raison du transport, lorsque l'appareil revient. Les changements d'échelle dus à l'*ajustage* (voir VEI 311-03-16 et VIM 4.30) seront reportés sur le certificat d'étalonnage.

Une comparaison régulière des *facteurs de correction* ou des *écarts* permettra à l'utilisateur de faire ressortir l'usure excessive et peut-être d'ajuster les intervalles de ré-étalonnage.

5 Etalonnage de puissance absolu

On effectue en général l'étalonnage d'un wattmètre en exposant à la fois l'appareil en essai et un wattmètre étalonné dont l'incertitude est connue (appareil de référence) à un rayonnement optique, et en transférant le résultat de mesure de l'*appareil de référence* à l'*appareil de mesure*.

La *largeur de bande spectrale* admissible dépend de la *sensibilité spectrale* de l'appareil de mesure; plus forte est sa dépendance en fonction de la longueur d'onde, plus étroite est la *largeur de bande spectrale* admissible. Les largeurs de bandes habituelles sont <15 nm, ce qui exclut la possibilité d'étalonner avec des DEL de plus grande largeur de bande. Par conséquent, on utilise généralement soit des diodes laser, soit des combinaisons de sources «blanches» et de filtres de largeur de bande étroite (par exemple monochromateurs) pour l'étalonnage des wattmètres optiques.

On peut distinguer, selon le type de source et de géométrie du faisceau d'excitation, quatre méthodes plus fréquentes d'étalonnage:

Tableau 1 – Méthodes d'étalonnage typiques et puissance correspondante

Source de rayonnement	Etalonnage à faisceau en espace libre	Etalonnage à faisceau issu d'une fibre
«Blanche» avec filtre	$P \approx 10 \mu\text{W}$	$P \approx 10 \text{ nW}$ à $0,3 \mu\text{W}$ (MM) $P \approx 2 \text{ nW}$ (SM)
Diode laser	$P \approx 10 \mu\text{W}$ à 1 mW	$P \approx 10 \mu\text{W}$ à 1 mW (SM et MM)
MM: fibre multimodale (en anglais <i>multimode fibre</i>) (généralement fibre à gradient d'indice) SM: fibre monomodale (en anglais <i>single-mode fibre</i>)		

On peut distinguer la méthode de mesure **séquentielle** et la méthode de mesure **parallèle**. Lorsque l'appareil de référence et l'appareil de mesure sont exposés séquentiellement à la source, il est recommandé que la puissance rayonnée soit maintenue aussi constante que possible, par exemple par une stabilisation appropriée. Dans le cas de l'étalonnage de type parallèle, on utilise un séparateur de faisceau ou un coupleur optique pour générer deux faisceaux qui excitent simultanément l'appareil de référence et l'appareil de mesure. Dans ce cas, il convient que le rapport du séparateur de faisceau ou du coupleur optique soit déterminé de la manière la plus précise possible et que sa stabilité soit étudiée.

A titre d'exemple, la Figure 3 présente un montage de mesure pour un étalonnage séquentiel utilisant le faisceau issu d'une fibre. Un dispositif d'injection, pour suppression des modes de gaine et création d'une excitation modale appropriée, est compris dans le montage.

4.4 Recommendations to customers

It is recommended that the customer (user of the power meter) maintain at least one reference power meter, which allows comparison of the meters for confidence. These comparisons are particularly important before and after the meter is sent to re-calibration, because they will allow the user to determine whether or not his scale has changed – for example due to transport – after the meter returns. Scale changes due to *adjustment* (see IEC 311-03-16 and VIM 4.30) will be reported on the calibration certificate.

A regular comparison of the *correction factors*, or of the *deviations*, will allow the user to screen out excessive ageing, and to possibly adjust the recalibration intervals.

5 Absolute power calibration

The calibration of a power meter is usually achieved by exposing both the meter under test and a calibrated power meter with known uncertainty (the reference meter) to an optical radiation, and by transferring the *reference meter's* measurement result to the *test meter*.

The allowable *spectral bandwidth* depends on the test meter's *spectral responsivity*; the stronger its wavelength dependence, the narrower the *spectral bandwidth*. Usual bandwidths are <15 nm, which excludes the possibility of calibrating with wider-bandwidth LEDs. Therefore, either laser diodes or combinations of "white" sources and narrow-bandwidth filters (for example monochromators) are typically used in optical power meter calibrations.

Depending on the type of source and the exciting beam geometry, four most frequent calibration methods can be distinguished:

Table 1 – Typical calibration methods and correspondent power

Radiation source	Open-beam calibration	Fibre beam calibration
"White" with filter	$P \approx 10 \mu\text{W}$	$P \approx 10 \text{ nW}$ to $0,3 \mu\text{W}$ (MM) $P \approx 2 \text{ nW}$ (SM)
Laser diode	$P \approx 10 \mu\text{W}$ to 1 mW	$P \approx 10 \mu\text{W}$ to 1 mW (SM and MM)
MM: multimode fibre (usually graded-index fibre) SM: single-mode fibre		

One can distinguish between the **sequential** and the **parallel** measurement method. When reference meter and test meter are sequentially exposed to the source, then the radiated power should be kept as constant as possible, for example by appropriate stabilization. For the parallel-type calibration, a beam splitter or a branching device is used to generate two beams which excite both the reference meter and the test meter simultaneously. In this case, the beam splitter or branching device ratio should be determined as accurately as possible, and its stability should be investigated.

As an example, a measurement setup for sequential, fibre-based calibration is illustrated in Figure 3. A launching device, for removal of the cladding modes and creation of an appropriate modal excitation, is included in the setup.

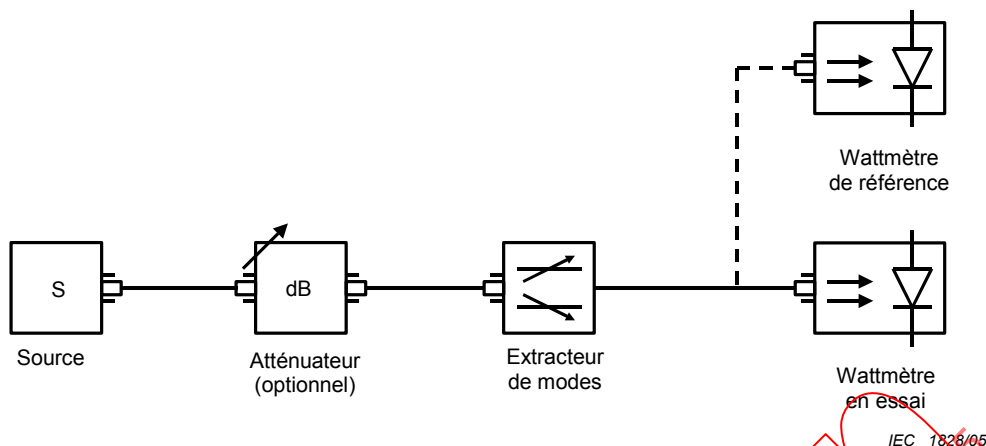


Figure 3 – Montage de mesure pour un étalonnage séquentiel, utilisant le faisceau issu d'une fibre

5.1 Etablissement des conditions d'étalonnage

Les *conditions d'étalonnage* sont les conditions de mesure au cours du processus d'étalonnage. L'établissement et le maintien des conditions d'étalonnage est une partie importante de l'*étalonnage*, car toute modification de ces conditions peut entraîner des résultats de mesure erronés. Il est recommandé que ces conditions d'étalonnage soient une approximation fidèle des *conditions de fonctionnement* voulues. Cela assure que l'incertitude (supplémentaire) dans un environnement de fonctionnement est aussi faible que possible. Il est recommandé que les conditions d'étalonnage soient définies sous la forme de valeurs nominales avec des incertitudes si nécessaire. Afin de répondre aux exigences de la présente norme, les conditions d'étalonnage doivent comprendre au minimum:

- a) La date d'étalonnage.
- b) La température ambiante avec une incertitude, par exemple $23\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$.
- c) L'humidité relative ambiante, si elle a une influence; sinon, on suppose une humidité relative en deçà du point de condensation.
- d) La puissance rayonnante nominale sur le *plan de référence optique*.
- e) La géométrie du faisceau:
 - 1) Un faisceau en espace libre (par exemple collimaté), décrit par le *diamètre du spot* sur le *plan de référence optique*, l'*ouverture numérique* du faisceau et la répartition de l'*éclairement énergétique* dans le faisceau. Les répartitions d'éclairement énergétique typiques sont: uniforme, gaussienne, voire irrégulière (avec des speckles).
 - 2) Le type de fibre et, si applicable, son degré d'excitation (par exemple excitation totale).
- f) La combinaison connecteur-adaptateur: type de connecteur, polissage et adaptateur comme partie de la source d'excitation (si applicable).
- g) La longueur d'onde centrale de la source d'excitation avec son incertitude.
- h) La largeur de bande spectrale de la source d'excitation avec son incertitude.
- i) L'état de polarisation: «lumière non polarisée» ou «lumière polarisée, état non défini». Si ce dernier est choisi, l'incertitude due à la réponse dépendant de la polarisation doit être prise en compte en 5.3.2 et 5.3.4.

Il est à noter que les conditions citées ci-dessus ne sont pas exhaustives. Il peut y avoir d'autres paramètres qui ont une influence significative sur l'incertitude d'étalonnage et ils doivent aussi par conséquent être mentionnés.

Dans le cas d'un étalonnage avec un **faisceau en espace libre**, il est recommandé d'éclairer le *plan de référence optique* du wattmètre au centre avec un diamètre de faisceau inférieur à la surface active du *plan de référence optique*.

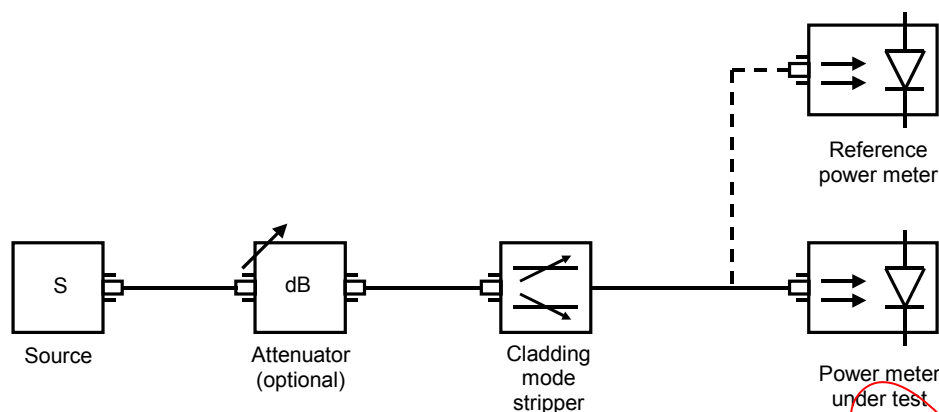


Figure 3 – Measurement setup for sequential, fibre-based calibration

5.1 Establishing the calibration conditions

The *calibration conditions* are the measurement conditions during the calibration process. Establishing and maintaining the calibration conditions is an important part of the *calibration*, because any change of these conditions is capable of producing erroneous measurement results. The calibration conditions should be a close approximation to the intended *operating conditions*. This ensures that the (additional) uncertainty in the operating environment is as small as possible. The calibration conditions should be specified in the form of nominal values with uncertainties when applicable. In order to meet the requirements of this standard, the calibration conditions shall at least consist of:

- a) the date of calibration;
- b) the ambient temperature with uncertainty, for example $23\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$;
- c) the ambient relative humidity, if it has an influence, otherwise a relative humidity below the condensation point is assumed;
- d) the nominal radiant power on the *optical reference plane*;
- e) the beam geometry:
 - 1) an open (for example collimated) beam, described by the *spot diameter* on the *optical reference plane*, the beam's *numerical aperture* and the *irradiance* distribution in the beam. Typical irradiance distributions are: uniform, Gaussian or even irregular (speckled);
 - 2) the type of fibre and, if applicable, its degree of excitation (for example fully excited);
- f) the connector-adapter combination: the connector type, polishing and adapter as part of the exciting source (if applicable);
- g) the *centre wavelength* of the exciting source with its uncertainty;
- h) the *spectral bandwidth* of the exciting source with its uncertainty;
- i) the state of polarization: "unpolarized light" or "polarized light, indefinite state". If the latter is chosen, the uncertainty due to polarization dependent response shall be taken into account in 5.3.2 and 5.3.4.

The above conditions may not be exhaustive. There may be other parameters which have a significant influence on the calibration uncertainty and therefore shall be reported, too.

In the calibration with an **open-beam**, the power meter's *optical reference plane* should be centrally irradiated with a beam diameter smaller than the active area of the *optical reference plane*.

Dans le cas d'un étalonnage avec une **fibre**, on peut utiliser une fibre monomodale ou multimodale. Une fibre monomodale peut être avantageuse en raison de ses caractéristiques de faisceau reproductibles, mais peut ne pas être disponible pour toutes les longueurs d'ondes. Si l'on utilise une fibre multimodale, on préférera alors l'excitation totale, car elle peut être plus facilement reproduite. Un appareil d'injection peut être nécessaire pour créer l'excitation appropriée. Il faut noter que les fibres multimodales émettront des faisceaux aux répartitions irrégulières (figures de speckle), si elles sont pilotées par une diode laser; ceci aura pour résultat une augmentation de l'incertitude d'étalonnage. Il est recommandé de retirer, si nécessaire, la puissance optique de la gaine (modes de gaine) à l'aide d'un extracteur de mode ou d'un appareil d'injection approprié.

Il est recommandé d'utiliser une **combinaison connecteur-adaptateur** uniquement si le wattmètre est étalonné avec une fibre, et non pas avec un faisceau en espace libre. Il est recommandé d'utiliser une combinaison de connecteur et d'adaptateur ayant des réflexions suffisamment faibles vers le wattmètre.

5.2 Procédure d'étalonnage

- (1) Etablir et enregistrer les conditions d'étalonnage appropriées (5.1). Mettre tous les appareils sous tension et attendre suffisamment de temps pour qu'ils se stabilisent.
- (2) Régler le *mode de l'appareil* de l'appareil de référence et de l'appareil de mesure conformément au manuel d'utilisation. Définir la longueur d'onde sur tous les appareils sur la longueur d'onde de la source. Sélectionner les gammes de puissance appropriées. Enregistrer les « modes d'appareil » des deux wattmètres. Régler le zéro des deux appareils, si nécessaire.
- (3) Mesurer la puissance optique avec l'appareil de référence $P_{std,1}$. Multiplier le résultat de mesure par le facteur de correction de l'appareil de référence FC_{std} indiqué dans son certificat d'étalonnage, s'il n'a pas été ajusté. Multiplier par le facteur de correction $FC_{variation}$ calculé en 5.3.3 si nécessaire. Enregistrer le résultat de mesure, $P_{réf,1} = P_{std,1} \times FC_{std} \times FC_{variation}$. Il s'agit de la meilleure estimation de la vraie puissance.
- (4) Mesurer la puissance optique avec l'appareil de mesure. Appliquer les corrections nécessaires, comme le suggèrent les instructions de fonctionnement. Enregistrer le résultat de mesure, $P_{DEE,1}$.
- (5) Calculer le premier d'une série de facteurs de correction:

$$FC_{comparaison,1} = \frac{P_{réf,1}}{P_{DEE,1}} \quad (1)$$

- (6) Répéter les étapes (3) à (5) plusieurs fois dans le but d'obtenir plusieurs facteurs de correction, $FC_{comparaison,1}$ à $FC_{comparaison,n}$.
- (7) Calculer et enregistrer le facteur de correction moyen, FC_{DEE} à partir des facteurs de correction individuels:

$$FC_{DEE} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n FC_{comparaison,i} \quad (2)$$

Si on le souhaite, l'écart D peut être calculé à partir du facteur de correction:

$$D = \frac{1}{FC_{DEE}} - 1 \quad (3)$$

Dans une utilisation ultérieure de l'appareil de mesure, les résultats de mesure doivent être multipliés par FC_{DEE} . Autrement, un *ajustage* de l'appareil de mesure peut être effectué, de telle sorte que le facteur de correction soit modifié à 1. Dans ce cas, il convient de répéter la comparaison pour vérification.

In the calibration with a **fibre**, a single-mode fibre or a multimode fibre may be used. A single-mode fibre may be advantageous because of its reproducible beam characteristics, but may not be available for all wavelengths. If a multimode fibre is used, then full excitation is preferred because this excitation can be more easily reproduced. A launching device may be necessary to create the appropriate excitation. Note that multimode fibres will emit irregular beam patterns (speckle patterns) when driven by a laser diode; this will result in an increased calibration uncertainty. Optical power in the cladding (cladding modes) should be removed with an appropriate mode stripper or launching device, if necessary.

A **connector-adapter combination** should only be reported if the power meter is calibrated with a fibre, that is not with an open beam. It is recommended to use a combination of connector and adapter with sufficiently low reflections back to the power meter.

5.2 Calibration procedure

- (1) Establish and record the appropriate calibration conditions (5.1). Switch on all instrumentation and wait for enough time to stabilize.
- (2) Set up the *instrument state* of the reference meter and test meter according to the instruction manual. Set the wavelength on all instruments for the source wavelength. Select appropriate power ranges. Record the instrument states of both meters. Adjust the zero of both meters if applicable.
- (3) Measure the optical power with the reference meter $P_{\text{std},1}$. Multiply the measurement result by the correction factor of the reference meter CF_{std} reported in its calibration certificate if it has not been adjusted. Multiply by the correction factor CF_{change} calculated in 5.3.3 if necessary. Record the measurement result, $P_{\text{ref},1} = P_{\text{std},1} \times CF_{\text{std}} \times CF_{\text{change}}$. This is the best estimate of the true power.
- (4) Measure the optical power with the test meter. Apply necessary corrections as suggested by the operating instructions. Record the measurement result, $P_{\text{DUT},1}$.
- (5) Calculate the first of a series of correction factors:

$$CF_{\text{comparison},1} = \frac{P_{\text{ref},1}}{P_{\text{DUT},1}} \quad (1)$$

- (6) Repeat steps (3) through (5) several times, with the result of obtaining several correction factors, $CF_{\text{comparison},1}$ to $CF_{\text{comparison},n}$.
- (7) Calculate and record the average correction factor, CF_{DUT} from the individual correction factors:

$$CF_{\text{DUT}} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n CF_{\text{comparison},i} \quad (2)$$

If desired the deviation D can be calculated from the correction factor:

$$D = \frac{1}{CF_{\text{DUT}}} - 1 \quad (3)$$

In later use of the test meter, the measurement results shall be multiplied with CF_{DUT} . Alternatively, an *adjustment* of the test meter can be made so that the correction factor is changed to 1. In this case, the comparison should be repeated for verification.

5.3 Incertitude d'étalonnage

L'incertitude d'étalonnage est l'incertitude de mesure du facteur de correction FC_{DEE} . Calculer l'incertitude type combinée à partir de:

$$u(FC_{DEE}) = \sqrt{u_{\text{montage}}^2 + u_{\text{réf}}^2 + u_{DEE}^2} \quad (4)$$

où

- u_{montage} = incertitude due au montage, (5.3.1);
- $u_{\text{réf}}$ = incertitude de l'appareil de référence, (5.3.2);
- u_{DEE} = incertitude due à l'appareil de mesure, (5.3.4).

NOTE L'équation (4) n'est valable que si les grandeurs d'entrée sont indépendantes ou non corrélées. Si certaines grandeurs d'entrée sont corrélées de façon significative, la corrélation sera prise en compte. Voir le GUM pour plus de précisions.

Calculer ensuite l'incertitude étendue à partir de:

$$U(FC_{DEE}) = k \times u(FC_{DEE}), \quad (5)$$

où k est le facteur de recouvrement. Voir l'Annexe A pour plus de précisions.

5.3.1 Incertitude due au montage

Les incertitudes suivantes peuvent provenir du montage:

- a) Incertitude due à l'instabilité de puissance de la source. En plus de la variation intrinsèque de puissance de sortie par rapport au temps, une source laser peut réagir avec une puissance instable aux variations des rétroreflexions et aux variations de l'état de polarisation de la lumière rétrorefléchie.
- b) Incertitude due au rapport du séparateur de faisceau ou du coupleur optique (pour la méthode parallèle), par exemple en raison de leur dépendance par rapport à la polarisation.
- c) En fonction du montage et de la méthode, d'autres incertitudes peuvent devoir être prises en compte.

L'instabilité de puissance de la source, du rapport du séparateur de faisceau ou du coupleur optique (pour la méthode parallèle) provoquera une diffusion dans la mesure du facteur de correction. L'incertitude due à ces instabilités peut être calculée à partir de l'écart type expérimental des facteurs de correction $FC_{\text{comparaison},1}$ à $FC_{\text{comparaison},n}$ mesuré au cours de l'étalonnage (Equation (1)). Il convient que le nombre de comparaisons soit grand, afin de réduire cette incertitude. Voir l'Annexe A pour plus de précisions sur l'évaluation de l'incertitude de type A.

$$u_{\text{montage,typeA}} = \frac{s(FC_{\text{comparaison}})}{\sqrt{n}} \quad (6)$$

où

- $s(FC_{\text{comparaison}})$ est l'écart type expérimental des facteurs de correction;
- n est le nombre de cycles de mesures au cours du processus d'étalonnage.

5.3 Calibration uncertainty

The calibration uncertainty is the measurement uncertainty of the correction factor CF_{DUT} . Calculate the combined standard uncertainty from:

$$u(CF_{DUT}) = \sqrt{u_{\text{setup}}^2 + u_{\text{ref}}^2 + u_{DUT}^2} \quad (4)$$

where

- u_{setup} = uncertainty due to the setup, (5.3.1);
- u_{ref} = uncertainty of the reference meter, (5.3.2);
- u_{DUT} = uncertainty due to the test meter, (5.3.4).

NOTE Equation (4) is valid only if the input quantities are independent or uncorrelated. If some input quantities are significantly correlated, the correlation must be taken into account. See GUM for more detail.

Then calculate the expanded uncertainty from:

$$U(CF_{DUT}) = k \times u(CF_{DUT}), \quad (5)$$

where k is the coverage factor. See Annexe A for more detail.

5.3.1 Uncertainty due to the setup

The following uncertainties may come from the setup.

- a) Uncertainty due to the source power instability. In addition to the intrinsic variation of output power versus time, a laser source may react with unstable power to variations of back-reflections and variations of the state of polarisation of back-reflected light.
- b) Uncertainty due to the beam splitter or branching device ratio (for parallel method), for example due to their polarization dependence.
- c) Depending on the setup and method, other uncertainties may have to be taken into account.

Instability of the source power, of the beam splitter or branching device ratio (for parallel method) will cause a scatter in the measurement of the correction factor. The uncertainty due to these instabilities can be calculated from the experimental standard deviation of the correction factors $CF_{\text{comparison},1}$ to $CF_{\text{comparison},n}$ measured during the calibration (Equation (1)). The number of comparisons should be large to reduce this uncertainty. See Annex A for more detail on type A evaluation of uncertainty.

$$u_{\text{setup,typeA}} = \frac{s(CF_{\text{comparison}})}{\sqrt{n}} \quad (6)$$

where:

$s(CF_{\text{comparison}})$ is the experimental standard deviation of the correction factors;

n is the number of measurement cycles during the calibration process.

Cette incertitude peut également être calculée à partir d'un écart type évalué une fois à partir des mesures et utilisé pour tous les étalonnages ou à partir d'une évaluation de type B. Il convient par conséquent que l'instabilité ne varie pas trop d'un étalonnage à l'autre et qu'elle ne dépende pas de l'appareil de mesure. Le nombre n dans l'Equation (6) représente toujours le nombre de cycles de mesures au cours du processus d'étalonnage actuel.

Cette incertitude évaluée de type A sera également influencée par la répétabilité de la connexion, en utilisant une méthode de mesure séquentielle ou par de légères modifications dans les conditions de mesure au cours du processus d'étalonnage. Elle peut (partiellement) prendre en compte certaines des incertitudes dues à l'appareil de référence (5.3.2) ou à l'appareil de mesure (5.3.4). Il convient que les composantes de l'incertitude ne soient pas prises en compte deux fois, mais aussi qu'elles ne soient pas oubliées.

Calculer l'incertitude due au montage en combinant toutes les incertitudes partielles décrites dans le présent paragraphe:

$$u_{\text{montage}} = \sqrt{\sum_{i=1}^m u_{\text{montage},i}^2} \quad (7)$$

5.3.2 Incertitude de l'appareil de référence

L'incertitude de l'appareil de référence est principalement due à son étalonnage, aux incertitudes des *conditions d'étalonnage* actuelles et à la dépendance de l'appareil de référence par rapport à ces conditions.

Les incertitudes suivantes doivent être évaluées. L'évaluation peut être réalisée sur la base de mesures ou d'estimations, ou un mélange des deux. Le calcul des incertitudes est décrit à l'Annexe A. La mesure de la dépendance par rapport aux conditions est décrite en 6.2.1.

- a) Incertitude d'étalonnage de l'appareil de référence. Elle doit être obtenue à partir de son certificat d'étalonnage.
- b) Incertitude due à la modification par rapport aux conditions dans lesquelles l'appareil de référence a été étalonné et aux conditions d'étalonnage actuelles u variation calculées en 5.3.3.
- c) Incertitude due à la dépendance par rapport à la température de l'appareil de référence.
- d) Incertitude due à la dépendance par rapport à l'humidité relative de l'appareil de référence. Les wattmètres à sphère intégrante sont particulièrement sensibles aux crêtes d'absorption de l'eau lors de l'utilisation des sources laser étroites.
- e) Incertitude due à la dépendance par rapport à la géométrie du faisceau de l'appareil de référence.
- f) Incertitude due à la dépendance par rapport à des réflexions multiples. Les réflexions multiples peuvent exister entre le port d'entrée optique et la source de rayonnement (par exemple une combinaison connecteur-adaptateur). Différents artifices modifieront la puissance mesurée.
- g) Incertitude due à la dépendance en fonction de la longueur d'onde de l'appareil de référence.
- h) Incertitude due à la dépendance par rapport à la largeur de bande spectrale de la source de l'appareil de référence.
- i) Incertitude due à la dépendance par rapport à l'état de polarisation de l'appareil de référence, sauf si de la lumière non polarisée ou dépolarisée est utilisée pour l'étalonnage.
- j) Incertitude due à l'interférence optique. Des cavités Fabry-Perot peuvent apparaître entre la surface du détecteur, de la fenêtre, et l'extrémité du connecteur, s'il est utilisé.

This uncertainty can also be calculated from a standard deviation evaluated once from measurements and used for all calibrations or from a type B evaluation. The instability should therefore not vary too much from one calibration to the next and not depend on the test meter. The number n in Equation (6) is always the number of measurement cycles during the current calibration process.

This type A evaluated uncertainty will also be influenced by the repeatability of the connection when using a sequential measurement method or by slight changes in the measurement conditions during the calibration process. It can (partially) take into account some of the uncertainties due to the reference meter (5.3.2) or test meter (5.3.4). Uncertainty components should not be taken twice into account but also not be forgotten.

Calculate the uncertainty due to the setup by combining all partial uncertainties described in this subclause:

$$u_{\text{setup}} = \sqrt{\sum_{i=1}^m u_{\text{setup},i}^2} \quad (7)$$

5.3.2 Uncertainty of the reference meter

The uncertainty of the reference meter is mainly due to its calibration, to the uncertainties of the current *calibration conditions* and to the dependence of the reference meter on these conditions.

The following uncertainties shall be evaluated. The evaluation can be made on the basis of measurements or estimations, or a mixture of both. The calculation of uncertainties is described in Annex A. The measurement of dependence on conditions is described in 6.2.1.

- a) calibration uncertainty of the reference meter. It shall be obtained from its calibration certificate;
- b) uncertainty due to the change from the conditions in which the reference meter was calibrated and the current calibration conditions u_{change} as calculated in 5.3.3;
- c) uncertainty due to temperature dependence of the reference meter;
- d) uncertainty due to dependence on relative humidity of the reference meter. Power meters with integrating sphere are particularly sensitive to absorption peaks of water when using narrow laser sources;
- e) uncertainty due to dependence on the beam geometry of the reference meter;
- f) uncertainty due to dependence on multiple reflections. Multiple reflections may exist between the optical input port and the radiation source (for example a connector-adaptor combination). Different artefacts will change the measured power;
- g) uncertainty due to wavelength dependence of the reference meter;
- h) uncertainty due to dependence on source spectral bandwidth of the reference meter;
- i) uncertainty due to dependence on state of polarization of the reference meter, except if unpolarized or depolarized light is used for calibration;
- j) uncertainty due to optical interference. Fabry-Perot cavities can occur between the surface of the detector, of the window and the end of the connector, if used;

- k) Incertitude due à la résolution de l'appareil de référence. Si la résolution de l'appareil de référence est $\delta y_{\text{réf}}$, l'incertitude type est (voir le GUM, F.2.2.1):

$$u_{\text{réf,résolution}} = \frac{1}{2\sqrt{3}} \delta y_{\text{réf}} \quad (8)$$

- l) Incertitudes dues à d'autres dépendances de l'appareil de référence. En fonction du type d'appareil de référence, il peut y avoir d'autres incertitudes de l'appareil de référence. Il convient également de les mesurer ou de les estimer.

Noter que le vieillissement est considéré comme un changement de condition, le temps étant la condition d'influence. L'intervalle de temps Δt entre l'étalonnage de l'appareil de référence et son utilisation dans l'étalonnage de l'appareil de mesure est connu et son incertitude est $u(\Delta t) = 0$. L'incertitude due au vieillissement de l'appareil de référence est calculée en 5.3.3.1 et est prise en compte au point b).

Calculer ensuite l'incertitude type combinée de l'appareil de référence à partir de n incertitudes types ci-dessus:

$$u_{\text{réf}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n u_{\text{réf},i}^2 + u_{\text{variation}}^2} \quad (9)$$

où $u_{\text{variation}}$ est l'incertitude due à la modification des conditions, comme déterminé à partir de 5.3.3.

5.3.3 Facteurs de correction et incertitude provoquée par la modification des conditions

L'appareil de référence peut présenter une réponse différente, parce qu'il a été étalonné dans des conditions différentes des conditions d'étalonnage actuelles. Des exemples de différences entre les deux ensembles de conditions de mesure sont: faisceau parallèle contre faisceau divergent, spectres de sources différents, montage non réfléchissant contre montage à réflexions multiples, ou une longue durée entre les deux dates de référence engendrant un vieillissement de l'étalon.

Si les conditions dans lesquelles l'appareil de référence a été étalonné sont **nominalement** identiques aux conditions d'étalonnage actuelles (leurs incertitudes peuvent être différentes) et si le vieillissement de l'appareil de référence est négligeable, le présent article peut être omis ($FC_{\text{variation}} = 1$).

Comme le montre la Figure 4, chaque modification comprend la modification nominale de la condition et la modification de l'incertitude.

- k) uncertainty due to the resolution of the reference meter. If the resolution of the reference meter is δy_{ref} , the standard uncertainty is (see GUM, F.2.2.1):

$$u_{\text{ref,resolution}} = \frac{1}{2\sqrt{3}} \delta y_{\text{ref}} \quad (8)$$

- l) uncertainties due to other dependences of the reference meter. Depending on the type of reference meter, there may be other uncertainties of the reference meter. These should also be measured or estimated.

Note that ageing is considered as a change of condition, with the time being the influencing condition. The elapsed time Δt between the calibration of the reference meter and its usage in the calibration of the test meter is known and its uncertainty is $u(\Delta t) = 0$. The uncertainty due to ageing of the reference meter is calculated in 5.3.3.1 and is taken into account in point b).

Then calculate the combined standard uncertainty of the reference meter from the n above standard uncertainties:

$$u_{\text{ref}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n u_{\text{ref},i}^2 + u_{\text{change}}^2} \quad (9)$$

where u_{change} is the uncertainty due to the change of conditions, as determined from 5.3.3.

5.3.3 Correction factors and uncertainty caused by the change of conditions

The reference meter may exhibit a different response because it was calibrated under conditions different from the current calibration conditions. Examples for differences between the two sets of measurement conditions are: Parallel beam versus divergent beam, different source spectra, a non-reflecting setup versus a setup with multiple reflections, or a large time span between the two reference dates resulting in ageing of the standard.

If the conditions under which the reference meter was calibrated are **nominally** identical to the current calibration conditions (their uncertainties can be different) and if the ageing of the reference meter is negligible, this clause can be skipped ($CF_{\text{change}} = 1$).

As indicated in Figure 4, each change comprises the nominal change of condition and the change of uncertainty.

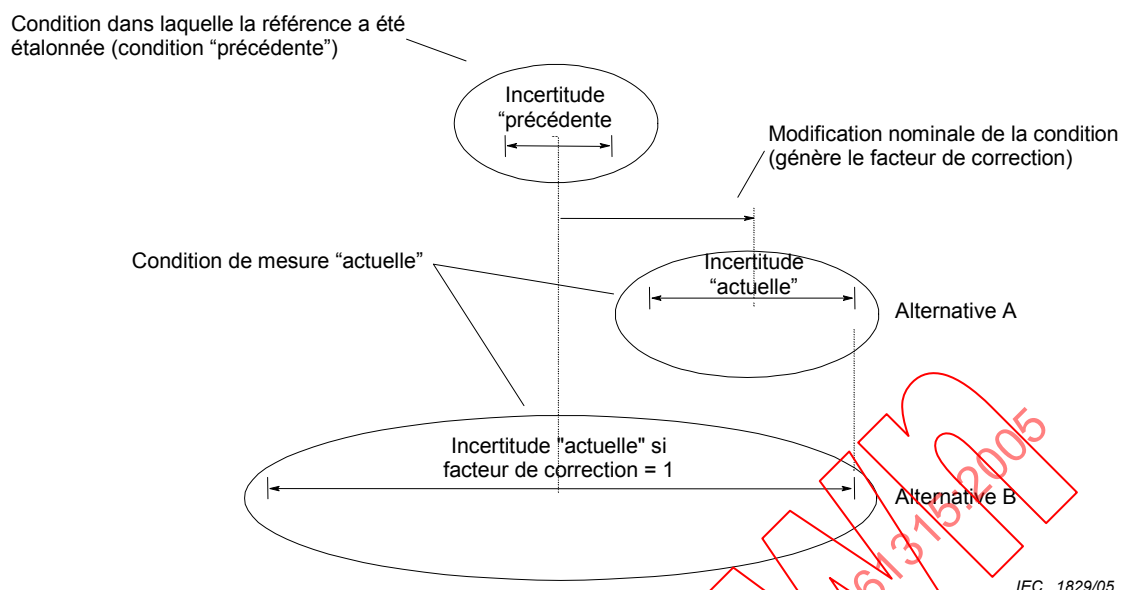


Figure 4 – Modification des conditions et incertitude

Il est recommandé pour chacune des contributions d'erreur potentielle (5.3.3.1 à 5.3.3.8) de décider s'il est sage de calculer un facteur de correction ou non. L'**alternative A** comprend le calcul d'un facteur de correction avec le résultat d'une incertitude relativement faible. L'**alternative B** signifie l'abandon des facteurs de correction (ou $FC_{\text{variation}} = 1$) et la prise en compte d'incertitudes plus grandes pour inclure les conditions du cas le plus défavorable.

Si l'alternative A est choisie, le facteur de correction (cumulé) est:

$$FC_{\text{variation}} = \frac{r_{\text{précédente}}}{r_{\text{actuelle}}} \quad (10)$$

ou
$$FC_{\text{variation}} = 1 - \Delta r \quad (11)$$

où

$r_{\text{précédente}}$ est la réponse de la référence avec excitation aux conditions auxquelles elle a été étalonnée;

r_{actuelle} est la réponse de la référence avec excitation aux conditions d'étalonnage actuelles;

Δr est le changement de réponse relatif $\Delta r = (r_{\text{précédente}} - r_{\text{actuelle}}) / r_{\text{actuelle}}$.

Calculer le facteur de correction (cumulé) relatif au changement de l'appareil de référence en accumulant les facteurs de correction partiels, $FC_{\text{variation},i}$, dont il est question de 5.3.3.1 à 5.3.3.8. Pour chaque grandeur d'influence X_i , commencer avec le calcul du facteur de correction partiel:

$$FC_{\text{variation},i} = 1 - \Delta r_i \quad (12)$$

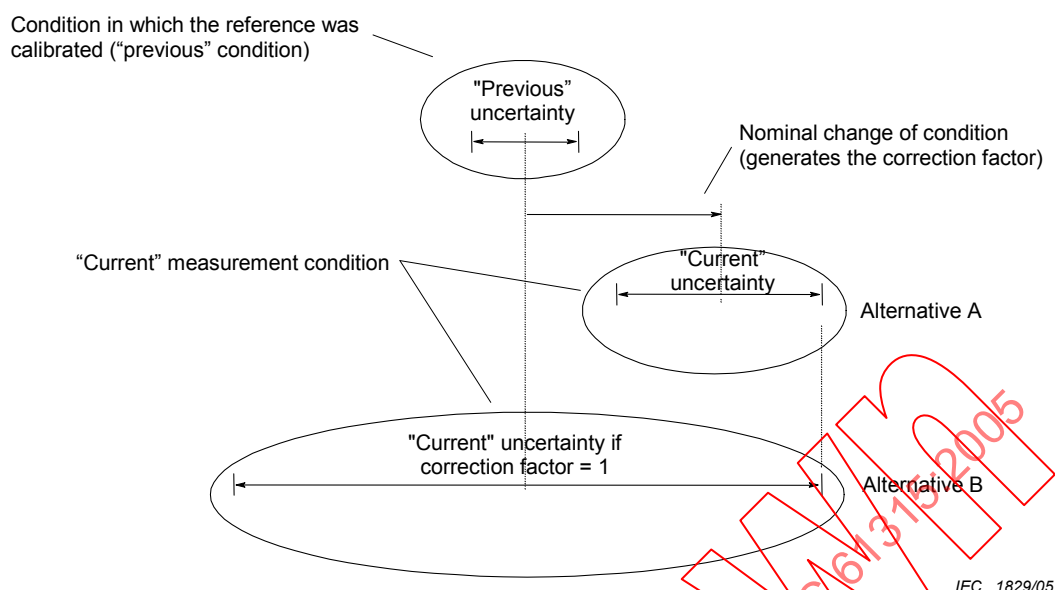


Figure 4 – Change of conditions and uncertainty

For each of the potential error contributions (5.3.3.1 to 5.3.3.8) one should decide if it is sensible to calculate a correction factor or not. **Alternative A** includes the calculation of a correction factor with the result of a relatively small uncertainty. **Alternative B** means waiving the correction factors (or $CF_{\text{change}} = 1$) and taking larger uncertainties into account to embrace the worst-case conditions.

If the alternative A is chosen, the (cumulative) correction factor is:

$$CF_{\text{change}} = \frac{r_{\text{previous}}}{r_{\text{current}}} \quad (10)$$

or
$$CF_{\text{change}} = 1 - \Delta r \quad (11)$$

where

r_{previous} is the response of the reference with excitation at the conditions at which it was calibrated;

r_{current} is the response of the reference with excitation at the current calibration conditions;

Δr is the relative change of response $\Delta r = (r_{\text{previous}} - r_{\text{current}}) / r_{\text{current}}$.

Calculate the (cumulative) reference meter's change-related correction factor by accumulating the partial correction factors, $CF_{\text{change},i}$, outlined in 5.3.3.1 to 5.3.3.8. For each influencing quantity X_i , start with the calculation of the partial correction factor:

$$CF_{\text{change},i} = 1 - \Delta r_i \quad (12)$$

Le changement de réponse relatif Δr_i peut être directement mesuré en modifiant la grandeur d'influence des conditions d'étalonnage «précédentes» aux conditions d'étalonnage «actuelles» ou calculé à partir du changement nominal de la grandeur d'influence Δx_i , et de la dépendance relative nominale de l'appareil de référence par rapport à cette grandeur:

$$FC_{\text{variation},i} = 1 - c_i \times \Delta x_i \quad (13)$$

où c_i est le dérivé partiel de la réponse relative sur la grandeur d'influence X_i , appelé **coefficient de sensibilité**:

$$c_i = \frac{1}{r_0} \frac{\partial r}{\partial x_i} \quad (14)$$

Si le coefficient de sensibilité n'est pas très bien connu, l'incertitude de type B suivante doit être prise en compte:

$$u_{\text{variation},i} = u(c_i) \times \Delta x_i \quad (15)$$

où $u(c_i)$ est l'incertitude type du coefficient de sensibilité. La mesure des dépendances est traitée en 6.2.

Finalement, calculer le facteur de correction cumulé de l'appareil de référence à partir des contributions ci-dessus:

$$FC_{\text{variation}} = \prod_{i=1}^n FC_{\text{variation},i} \quad (16)$$

et l'incertitude type combinée due à la modification des conditions d'étalonnage:

$$u_{\text{variation}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n u_{\text{variation},i}^2} \quad (17)$$

Ce facteur de correction correspond à une variation **connue** de la réponse de l'appareil de référence provoquée par deux ensembles de conditions de mesure différents. Il s'agit d'un facteur de correction à appliquer à la puissance lue par l'appareil de référence (voir 5.2).

5.3.3.1 Vieillessement

Comme mentionné en 5.3.2, le vieillissement est un changement de condition. Un facteur de correction n'est généralement pas calculé ($FC = 1$), sauf si le coefficient de vieillissement de l'appareil de référence est bien connu et stable pendant une longue durée. Il convient de calculer l'incertitude en multipliant l'intervalle de temps Δt entre l'étalonnage de l'appareil de référence et son utilisation dans l'étalonnage de l'appareil de mesure par l'incertitude du coefficient de vieillissement de l'appareil de référence $u(c_t)$.

$$u_{\text{variation},t} = u(c_t) \times \Delta t \quad (18)$$

Exemple: Seules les limites de vieillissement sont connues: $\pm 0,1 \text{ \%/an}$. D'après l'Annexe A, le coefficient de vieillissement est $c_t = 0 \text{ \%/an}$ et son incertitude $u(c_t) = 0,1/\sqrt{3} \text{ \%/an}$.

L'incertitude due au vieillissement de l'appareil de référence un an après son étalonnage est alors

$$u_{\text{variation},t} = u(c_t) \times \Delta t = 0,1/\sqrt{3} \text{ \%/an} \times 1 \text{ an} = 0,06 \text{ \%} \quad (19)$$

The relative change of response Δr_i can be directly measured by changing the influencing quantity from the “previous” to the “current” calibration conditions or calculated from the nominal change of the influencing quantity Δx_i , and the reference meter's nominal relative dependence on this quantity:

$$CF_{\text{change},i} = 1 - c_i \times \Delta x_i \quad (13)$$

where c_i is the partial derivate of the relative response on the influence quantity X_i , called **sensitivity coefficient**:

$$c_i = \frac{1}{r_0} \frac{\partial r}{\partial x_i} \quad (14)$$

If the sensitivity coefficient is not known very well, the following type B uncertainty has to be taken into account:

$$u_{\text{change},i} = u(c_i) \times \Delta x_i \quad (15)$$

where $u(c_i)$ is the standard uncertainty of the sensitivity coefficient. The measurement of the dependences is discussed in 6.2.

Finally, calculate the reference meter's cumulative correction factor from the above contributions:

$$CF_{\text{change}} = \prod_{i=1}^n CF_{\text{change},i} \quad (16)$$

and the combined standard uncertainty due to the change of calibration conditions:

$$u_{\text{change}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n u_{\text{change},i}^2} \quad (17)$$

This correction factor corresponds to a **known** change of response of the reference meter caused by the two different sets of measurement conditions. It is a correction factor to apply to the power read by the reference meter (see 5.2).

5.3.3.1 Ageing

As mentioned in 5.3.2 the ageing is a change of condition. A correction factor is usually not calculated ($CF = 1$) except if the ageing coefficient of the reference meter is well known and stable and over a long time. The uncertainty should be calculated by multiplying the elapsed time Δt between the calibration of the reference meter and its use in the calibration of the test meter with the reference meter's ageing coefficient uncertainty $u(c_t)$.

$$u_{\text{change},t} = u(c_t) \times \Delta t \quad (18)$$

Example: Only limits of ageing are known: $\pm 0,1$ %/year. Following annex A, the ageing coefficient is $c_t = 0$ %/year and its uncertainty $u(c_t) = 0,1/\sqrt{3}$ %/year.

The uncertainty due to ageing of the reference meter one year after its calibration is then

$$u_{\text{change},t} = u(c_t) \times \Delta t = 0,1/\sqrt{3} \text{ \%/year} \times 1 \text{ year} = 0,06 \text{ \%} \quad (19)$$

5.3.3.2 Facteur de correction dû à la variation de température

Il est recommandé de calculer le facteur de correction $FC_{\text{variation},\Theta}$ à l'aide de la variation nominale entre les températures «précédente» et «actuelle» $\Delta\Theta$ et du coefficient de sensibilité de température c_Θ de l'appareil de référence (par exemple en $\%/^\circ\text{C}$).

$$FC_{\text{variation},\Theta} = 1 - c_\Theta \times \Delta\Theta \quad (20)$$

5.3.3.3 Facteur de correction dû à la variation du niveau de puissance

Il est recommandé de calculer l'incertitude à partir de la non-linéarité de l'appareil de référence entre les niveaux de puissance «précédent» et «actuel». Si nécessaire, un facteur de correction peut être calculé à partir de:

$$FC_{\text{variation,NL}} = 10^{\frac{-NL}{10}} \quad (21)$$

où NL est la non-linéarité, exprimée en décibels (dB). La mesure de la non-linéarité est décrite à l'Article 7.

5.3.3.4 Facteur de correction dû à la variation de la géométrie du faisceau

Il est recommandé de calculer le facteur de correction à partir du changement de réponse mesuré en modifiant la géométrie du faisceau.

5.3.3.5 Facteur de correction dû à la dépendance par rapport à des réflexions multiples

Il convient généralement de considérer que le port d'entrée optique de l'appareil de référence est réfléchissant. Cette réflexion revient vers la source de rayonnement, est réfléchi à nouveau et augmente finalement le niveau de puissance optique affiché. Cet effet entraîne un facteur de correction (habituellement < 1) et une incertitude plus importante.

Si, par exemple, la source utilisée dans l'étalonnage de l'appareil de référence est non réfléchissante et la source utilisée dans l'étalonnage de l'appareil de mesure est réfléchissante (provoquée par un connecteur optique), alors la puissance totale indiquée par l'appareil de référence est erronée par la réflexion secondaire. Si l'on considère que la réflexion secondaire contribue à 5 % supplémentaires de la puissance totale, le facteur de correction individuel est 0,95. Ce type d'erreur peut être diminué si l'on utilise des sources avec des compartiments très absorbants, ou des sources avec des combinaisons connecteur-adaptateur à faible pouvoir de réflexion.

5.3.3.6 Facteur de correction dû à la variation de longueur d'onde

Il est recommandé de calculer le facteur de correction à l'aide de la variation nominale de longueur d'onde $\Delta\lambda$ et de la dépendance nominale en fonction de la longueur d'onde de l'appareil de référence c_λ .

$$FC_{\text{variation},\lambda} = 1 - c_\lambda \times \Delta\lambda \quad (22)$$

5.3.3.7 Facteur de correction dû à la variation de largeur de bande spectrale

Il est recommandé de calculer le facteur de correction à l'aide de la variation nominale de largeur de bande spectrale et de la dépendance nominale par rapport à la largeur de bande spectrale de l'appareil de référence. Noter que le facteur de correction reste 1 aussi longtemps que la dépendance en fonction de la longueur d'onde (non corrigée) est **linéaire** dans la

5.3.3.2 Correction factor due to temperature change

The correction factor $CF_{\text{change},\Theta}$ should be calculated with the help of the nominal change between the "previous" and the "current" temperature $\Delta\Theta$ and the temperature sensitivity coefficient c_{Θ} of the reference meter (for example in $\%/^{\circ}\text{C}$).

$$CF_{\text{change},\Theta} = 1 - c_{\Theta} \times \Delta\Theta \quad (20)$$

5.3.3.3 Correction factor due to change of power level

The uncertainty should be calculated from the nonlinearity of the reference meter between the "previous" and the "current" power level. If necessary, a correction factor can be calculated from:

$$CF_{\text{change,NL}} = 10^{\frac{-NL}{10}} \quad (21)$$

where NL is the nonlinearity, expressed in decibels (dB). Measurement of nonlinearity is described in Clause 7.

5.3.3.4 Correction factor due to change of beam geometry

The correction factor should be calculated from the change of response measured when changing the beam geometry.

5.3.3.5 Correction factor due to dependence on multiple reflections

The reference meter's optical input port should generally be assumed to be reflective. Such a reflection will travel back to the radiation source, be reflected again, and finally increase the displayed optical power level. This effect will give rise to a correction factor (usually < 1) and an increased uncertainty.

If, for example, the source used in the calibration of the reference meter was non-reflective and the source used in the calibration of the test meter is reflective (caused by an optical connector), then the total power indicated by the reference meter is erroneous by the secondary reflection. If one assumes that the secondary reflection contributes an additional 5 % of the total power, then the individual correction factor is 0,95. This type of error can be reduced by using sources with highly absorptive enclosures, respectively sources with low-reflectivity connector-adaptor combinations.

5.3.3.6 Correction factor due to wavelength change

The correction factor should be calculated with the help of the nominal change of wavelength $\Delta\lambda$ and the reference meter's nominal wavelength dependence c_{λ} .

$$CF_{\text{change},\lambda} = 1 - c_{\lambda} \times \Delta\lambda \quad (22)$$

5.3.3.7 Correction factor due to spectral bandwidth change

The correction factor should be calculated with the help of the nominal change of spectral bandwidth and the reference meter's nominal dependence on the spectral bandwidth. Note that the correction factor remains 1 as long as the (uncorrected) wavelength-dependence is **linear** within the spectral bandwidth of the source. In the case that the wavelength dependence is

largeur de bande spectrale de la source. Dans le cas où la dépendance en fonction de la longueur d'onde est une courbe, le facteur de correction peut être calculé à l'aide de la dépendance en fonction de la longueur d'onde de l'appareil de référence et des spectres des deux sources utilisées dans l'étalonnage de l'appareil de référence et dans l'étalonnage de l'appareil de mesure.

5.3.3.8 Autres facteurs de correction

Selon le type d'appareil de référence et selon les conditions d'étalonnage, il peut y avoir d'autres facteurs de correction. Il convient également de les mesurer ou de les estimer, de la manière décrite ci-dessus.

5.3.4 Incertitude due à l'appareil de mesure

Les incertitudes provenant de l'appareil de mesure sont principalement dues aux incertitudes des conditions d'étalonnage et à la dépendance de l'appareil de mesure par rapport aux conditions. Les incertitudes suivantes doivent être évaluées. Leur détermination est similaire à 5.3.2. Le calcul des incertitudes est décrit à l'Annexe A, la mesure de la dépendance par rapport aux conditions est décrite en 6.2.1.

- a) Incertitude due à la dépendance par rapport à la température de l'appareil de mesure.
- b) Incertitude due à la dépendance par rapport à l'humidité relative de l'appareil de mesure. Les wattmètres à sphère intégrante sont particulièrement sensibles aux crêtes d'absorption de l'eau en utilisant des sources laser étroites.
- c) Incertitude due à la dépendance par rapport à la géométrie du faisceau. Cette incertitude provient de la non-uniformité et de la dépendance angulaire du port d'entrée optique de l'appareil de mesure.
- d) Incertitude due à la dépendance par rapport à des réflexions multiples. Les réflexions multiples peuvent exister entre le port d'entrée optique et la source de rayonnement (par exemple une combinaison connecteur-adaptateur). Différents artifices modifieront la puissance mesurée.
- e) Incertitude due à la dépendance en fonction de la longueur d'onde de l'appareil de mesure.
- f) Incertitude due à la dépendance par rapport à la largeur de bande spectrale de la source de l'appareil de mesure.
- g) Incertitude due à la dépendance par rapport à l'état de polarisation de l'appareil de mesure, sauf si de la lumière non polarisée ou dépolarisée est utilisée pour l'étalonnage.
- h) Incertitude due à l'interférence optique. Des cavités Fabry-Perot peuvent apparaître entre la surface du détecteur, de la fenêtre et l'extrémité du connecteur, s'il est utilisé.
- i) Incertitude due à la résolution de l'appareil de mesure. Si la résolution de l'appareil de mesure est δ_{DEE} , l'incertitude type est (voir le GUM, F.2.2.1):

$$u_{DEE, \text{résolution}} = \frac{1}{2\sqrt{3}} \delta_{DEE} \quad (23)$$

- j) Incertitudes dues à d'autres dépendances de l'appareil de mesure. Selon le type d'appareil de mesure et selon le processus d'étalonnage, il peut y avoir d'autres conditions provoquant des incertitudes.

Calculer ensuite la contribution d'incertitude type combinée de l'appareil de mesure à partir de n incertitudes types ci-dessus:

$$u_{DEE} = \sqrt{\sum_{i=1}^n u_{DEE,i}^2} \quad (24)$$

curved, the correction factor can be computed with the help of the wavelength-dependence of the reference meter and the spectra of the two sources used in the calibration of the reference meter and in the calibration of the test meter.

5.3.3.8 Other correction factors

Depending on the type of reference meter and the calibration conditions, there may be other correction factors. These should also be measured or estimated as outlined above.

5.3.4 Uncertainty due to the test meter

Uncertainties arising from the test meter are mainly due to the uncertainties of the calibration conditions and the dependence of the test meter on the conditions. The following uncertainties shall be evaluated. Their determination is similar to 5.3.2. The calculation of uncertainties is described in Annex A, the measurement of dependence on conditions is described in 6.2.1.

- a) Uncertainty due to temperature dependence of the test meter.
- b) Uncertainty due to dependence on relative humidity of the test meter. Power meters with integrating sphere are particularly sensitive to absorption peaks of water when using narrow laser sources.
- c) Uncertainty due to dependence on beam geometry. This uncertainty comes from non-uniformity and angle-dependence of the test meter's optical input port.
- d) Uncertainty due to dependence on multiple reflections. Multiple reflections may exist between the optical input port and the radiation source (for example a connector-adapter combination). Different artefacts will change the measured power.
- e) Uncertainty due to wavelength dependence of the test meter.
- f) Uncertainty due to dependence on source spectral bandwidth of the test meter.
- g) Uncertainty due to dependence on state of polarization of the test meter, except if unpolarized or depolarized light is used for calibration.
- h) Uncertainty due to optical interference. Fabry-Perot cavities can occur between the surface of the detector, of the window and the end of the connector, if used.
- i) Uncertainty due to the resolution of the test meter. If the resolution of the test meter is δy_{DUT} , the standard uncertainty is (see GUM, F.2.2.1):

$$u_{\text{DUT, resolution}} = \frac{1}{2\sqrt{3}} \delta y_{\text{DUT}} \quad (23)$$

- j) Uncertainties due to other dependences of the test meter. Depending on the type of test meter and on the calibration process, there may be other conditions causing uncertainties.

Then calculate the combined standard uncertainty contribution of the test meter from the n above standard uncertainties:

$$u_{\text{DUT}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n u_{\text{DUT},i}^2} \quad (24)$$

5.4 Compte-rendu des résultats

Il convient que les résultats de chaque étalonnage soient indiqués, selon ce qui est stipulé par l'ISO/CEI 17025. Les certificats d'étalonnage ou les rapports d'étalonnage faisant référence à la présente norme doivent au moins inclure les informations suivantes.

- Toutes les *conditions d'étalonnage* décrites en 5.1.
- Le(s) *facteur(s) de correction* ou l'(les) *écart(s)* de l'appareil de mesure, si l'appareil de mesure n'a pas été ajusté.
- Les *facteurs de correction* ou *écarts* à réception **et** les facteurs de correction ou écarts après *ajustage*, si un ajustage est effectué.
- L'incertitude d'étalonnage sous forme d'une incertitude étendue, comme décrit en 5.3.
- Le *mode de l'appareil* de l'appareil de mesure au cours de l'étalonnage.
- Preuve que les mesures sont enregistrables (voir la ISO/CEI 17025:1999, 5.10.4.1 c)).

6 Incertitude de mesure d'un wattmètre étalonné

L'incertitude de mesure d'un wattmètre étalonné est supérieure à son incertitude d'étalonnage. Il s'agit de la combinaison de l'incertitude d'étalonnage et des contributions d'incertitude dues à la dépendance du wattmètre par rapport aux conditions de mesure.

La détermination de l'incertitude de mesure d'un wattmètre étalonné utilisé aux conditions de référence ou aux conditions de fonctionnement ne fait pas partie du processus d'étalonnage. Elle est réalisée par exemple par des fabricants de wattmètres, afin d'établir des spécifications. Elle n'est pas obligatoire pour les certificats d'étalonnage ou les rapports d'étalonnage faisant référence à la présente norme.

6.1 Incertitude aux conditions de référence

Les *conditions de référence* sont utilisées pour les essais de performance d'un wattmètre ou pour effectuer des comparaisons. Elles sont généralement définies par les fabricants, afin de spécifier l'incertitude la plus petite d'un appareil de mesure; elles sont par conséquent souvent identiques ou proches de leurs conditions d'étalonnage.

L'incertitude aux *conditions de référence* est l'incertitude sur le résultat d'une mesure prise par le wattmètre étalonné et ajusté lorsqu'il fonctionne aux *conditions de référence*. Elle dépend de l'incertitude d'étalonnage du wattmètre, des *conditions de référence* et de la dépendance du wattmètre par rapport aux conditions de référence. C'est la raison pour laquelle l'incertitude aux conditions de référence est toujours supérieure à l'incertitude d'étalonnage. Même lorsque les conditions de référence sont identiques aux conditions d'étalonnage (aucune incertitude due au changement de conditions), les dépendances du wattmètre en essai par rapport aux conditions de référence doivent être ajoutées une deuxième fois (en quadrature) à l'incertitude d'étalonnage. Le fait de calculer l'incertitude aux *conditions de référence* de l'appareil de mesure étalonné est similaire au fait de calculer l'incertitude de mesure aux conditions d'étalonnage de l'appareil de référence décrit en 5.3.2:

$$u_{\text{DEE, réf_conditions}} = \sqrt{u^2(FC_{\text{DEE}}) + u_{\text{DEE}}^2} \quad (25)$$

où

- $u(FC_{\text{DEE}})$ est l'incertitude d'étalonnage de l'appareil de mesure, déterminée à partir de 5.3,
 u_{DEE} est l'incertitude due à la dépendance de l'appareil de mesure par rapport aux conditions de référence, comme déterminé à partir de 5.3.4.

Il convient que la description des conditions de référence soit effectuée de la même façon que les conditions d'étalonnage décrites en 5.1.

5.4 Reporting the results

The results of each calibration should be reported as required by ISO/IEC 17025. Calibration certificates or calibration reports referring to this standard shall at least include the following information:

- a) all *calibration conditions* as described in 5.1;
- b) the test meter's *correction factor(s)* or *deviation(s)*, if the test meter was not adjusted;
- c) on receipt *correction factors* or *deviations* **and** after *adjustment* correction factors or deviations in the case that an adjustment was carried out;
- d) the calibration uncertainty in the form of an expanded uncertainty as described in 5.3;
- e) the *instrument state* of the test meter during the calibration;
- f) evidence that the measurements are traceable (see ISO/IEC 17025:1999, 5.10.4.1 c)).

6 Measurement uncertainty of a calibrated power meter

The measurement uncertainty of a calibrated power meter is greater than its calibration uncertainty. It is the combination of the calibration uncertainty and of uncertainty contributions due to the dependence of the power meter on the conditions of measurement.

The determination of the measurement uncertainty of a calibrated power meter used at reference conditions or at operating conditions is not part of the calibration process. It is performed for example by manufacturers of power meters in order to establish specifications. It is not mandatory for calibration certificates or calibration reports referring to this standard.

6.1 Uncertainty at reference conditions

Reference conditions are used for testing the performance of a power meter or for intercomparisons. They are usually defined by manufacturers in order to specify the smallest uncertainty of a measuring instrument; therefore they are often identical or close to its calibration conditions.

The uncertainty at *reference conditions* is the uncertainty on the result of a measurement taken by the calibrated and adjusted power meter when operated **at reference conditions**. It depends on the calibration uncertainty of the power meter, the *reference conditions* and the dependence of the power meter on the reference conditions. This is the reason why the uncertainty at reference conditions is always larger than the calibration uncertainty. Even when the reference conditions are identical with the calibration conditions (no uncertainty due to change of conditions), the test (power) meter's dependences on the reference conditions have to be added (in quadrature) to the calibration uncertainty for a second time. Calculating the uncertainty at *reference conditions* of the calibrated test meter is similar to calculating the measurement uncertainty at calibration conditions of the reference meter described in 5.3.2:

$$u_{\text{DUT,ref_conditions}} = \sqrt{u^2(CF_{\text{DUT}}) + u_{\text{DUT}}^2} \quad (25)$$

where

$u(CF_{\text{DUT}})$ is the calibration uncertainty of the test meter, as determined from 5.3, and

u_{DUT} is the uncertainty due to the dependence of the test meter on the reference conditions, as determined from 5.3.4.

The description of the reference conditions should be made in the same way as the calibration conditions described in 5.1.

6.2 Incertitude aux conditions de fonctionnement

L'incertitude aux conditions de fonctionnement (ou incertitude de fonctionnement CEI 60359, 2.2.11) est l'incertitude sur le résultat d'une mesure prise par le wattmètre étalonné et ajusté, lorsqu'il fonctionne **dans une gamme de conditions de fonctionnement**. Elle dépend de l'incertitude d'étalonnage, des conditions de fonctionnement et de la dépendance du wattmètre par rapport aux conditions de fonctionnement:

$$u_{\text{DEE, fonctionnant}} = \sqrt{u^2(FC_{\text{DEE}}) + u_{\text{extension}}^2} \quad (26)$$

où

$u(FC_{\text{DEE}})$ est l'incertitude d'étalonnage de l'appareil de mesure, déterminée à partir de 5.3, et $u_{\text{extension}}$ est l'incertitude d'extension, due à la dépendance de l'appareil par rapport aux conditions de fonctionnement, comme déterminé à partir de l'Equation (27).

Contrairement aux *conditions d'étalonnage* décrites en 5.1, il convient que chaque condition de fonctionnement soit décrite par une gamme si possible. L'ensemble des conditions de fonctionnement est défini par:

- la plage temporelle maximale entre les ré-étalonnages;
- la gamme des températures ambiantes;
- la gamme des niveaux de puissance (*gamme de mesures*);
- la gamme des géométries de faisceau décrites par leur *diamètre du spot* et leur *ouverture numérique*, ou la gamme des types de fibres;
- les combinaisons éventuelles connecteur-adaptateur applicables;
- la gamme des longueurs d'ondes de la source;
- la *largeur de bande spectrale* maximale de la source.

Tous les états de polarisation possibles sont inclus par défaut dans les conditions de fonctionnement. On considère également qu'il y a une humidité relative en dessous du point de condensation.

Les conditions ci-dessus peuvent être définies soit par le fabricant du wattmètre, soit par le centre d'étalonnage en charge de l'étalonnage pour les conditions de fonctionnement.

Pour calculer l'incertitude d'extension, combiner toutes les incertitudes dues aux dépendances par rapport aux conditions:

$$u_{\text{extension}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n u_{\text{extension},i}^2} \quad (27)$$

où

$u_{\text{extension},i}$ sont les contributions à l'incertitude d'extension;
 n est le nombre total de contributions.

6.2.1 Détermination des dépendances par rapport aux conditions

Il est recommandé d'enregistrer chaque dépendance individuelle comme changement relatif de la réponse de l'appareil, provoqué par la modification de la condition correspondante dans sa *gamme de fonctionnement*. Au cours de l'essai, il est recommandé que toutes les autres conditions soient maintenues aux *conditions d'étalonnage*. Le point zéro est défini par la réponse aux conditions d'étalonnage. De cette manière, chaque dépendance peut être spécifiée par une gamme qui est définie par les variations positives et négatives maximales de la réponse. Une gamme asymétrique proche du point zéro est le résultat habituel, comme représenté à la Figure 5.

6.2 Uncertainty at operating conditions

The uncertainty at operating conditions (or operating uncertainty, see 2.2.11 of IEC 60359) is the uncertainty on the result of a measurement taken by the calibrated and adjusted power meter when operated **within a range** of *operating conditions*. It depends on the calibration uncertainty, the operating conditions and the dependence of the power meter on the operating conditions:

$$u_{\text{DUT,operating}} = \sqrt{u^2(CF_{\text{DUT}}) + u_{\text{extension}}^2} \quad (26)$$

where

$u(CF_{\text{DUT}})$ is the calibration uncertainty of the test meter, as determined from 5.3, and

$u_{\text{extension}}$ is the extension uncertainty, due to the dependence of the meter on the operating conditions, as determined from Equation (27).

On the contrary to the *calibration conditions* described in 5.1, each operating condition should be described by a range when possible. The set of operating conditions are specified by:

- the maximum time span between recalibrations;
- the range of ambient temperatures;
- the range of power levels (measuring range);
- the range of beam geometries described by their spot diameter and numerical aperture, or the range of fibre types;
- the applicable connector-adapter combinations, if any;
- the range of wavelengths of the source;
- the maximum *spectral bandwidth* of the source.

All possible polarization states are included in the operating conditions by default. A relative humidity below the condensation point is also assumed.

The above conditions may be defined either by the power meter manufacturer or by the calibration laboratory in charge of the calibration for operating conditions.

To calculate the extension uncertainty, combine all uncertainties due to the dependences on the conditions:

$$u_{\text{extension}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n u_{\text{extension},i}^2} \quad (27)$$

where:

$u_{\text{extension},i}$ are contributions to the extension uncertainty;

n is the total number of contributions.

6.2.1 Determination of dependences on conditions

Each individual dependence should be recorded as relative change of the meter's response, caused by changing the relevant condition within its *operating range*. During the test, all other conditions should be kept at the *calibration conditions*. The zero point is defined by the response at calibration conditions. This way, each dependence can be specified by a range which is defined by the maximum positive and negative changes of the response. An asymmetric range about the zero-point is the usual result as shown in Figure 5.

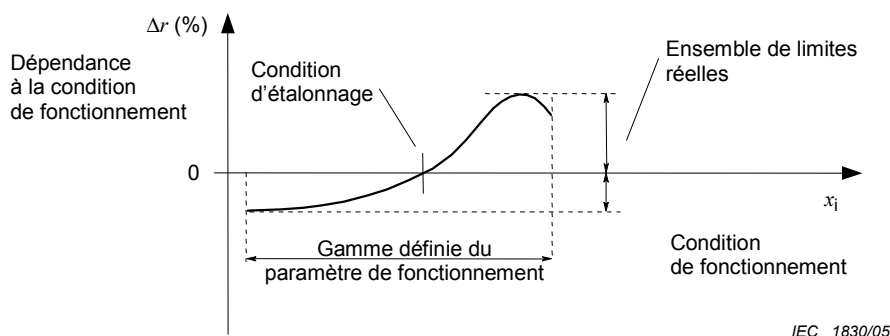


Figure 5 – Détermination et enregistrement d'une incertitude d'extension

Afin d'obtenir une bonne précision de mesure, il est recommandé de suivre les lignes directrices de l'Article 4. Il est recommandé que les incertitudes des mesures soient aussi petites que possible, car les résultats de mesure doivent comprendre ces incertitudes. Il est possible d'utiliser des estimations au lieu des mesures, si ces estimations sont basées sur des relations physiques connues ou sur un nombre de mesures caractéristiques suffisamment important du même type d'appareil de mesure.

Pour la détermination de l'incertitude type combinée de l'appareil de mesure aux conditions de fonctionnement, les limites quantifiant les **dépendances** individuelles doivent être converties en incertitudes types à l'aide de l'Equation (A.6).

On considère en général que les incertitudes individuelles sont indépendantes. Toutefois, dans certains cas, une incertitude peut être fortement dépendante de plus d'une condition. Des exemples sont donnés en 6.2.4, 6.2.6 et 6.2.7. Si l'incertitude d'extension augmente après modification d'autres conditions (avec leurs *gammes de fonctionnement* définies), cette incertitude plus importante doit alors être enregistrée. Le calcul de l'incertitude doit alors être basé sur ces incertitudes plus importantes.

6.2.2 Vieillissement

Le vieillissement est le changement de réponse relatif au cours d'une période. Il peut être déterminé à partir des résultats d'étalonnages successifs de l'appareil aux mêmes conditions ou à partir d'indications du fabricant.

Pour un fabricant, le changement de réponse relatif au cours d'une période doit être déterminé avec l'hypothèse d'une utilisation soigneuse de l'appareil. Il est recommandé d'exposer le wattmètre à ses conditions d'environnement typiques, par exemple température ambiante $(23 \pm 1)^\circ\text{C}$ pour un appareil de type laboratoire, port d'entrée optique non éclairé, cycles répétitifs continus de 12 h de marche, 12 h d'arrêt, avec un temps d'essai total égal à la période. Il est recommandé de mesurer le changement de réponse par comparaison avec un étalon de travail. Un ré-étalonnage régulier et enregistrable de l'étalon de travail sera nécessaire, afin d'éliminer le vieillissement de l'étalon de travail. Comme toujours, l'incertitude de mesure, dans ce cas principalement l'incertitude de l'étalon de travail, doit être prise en compte.

Il est recommandé de calculer l'incertitude de vieillissement à partir d'une répartition rectangulaire obtenue comme décrit ci-dessus (voir Article A.2). Si, par exemple, on sait qu'un détecteur augmente la réponse d'un maximum de 0,1 % par an à une certaine longueur d'onde, l'incertitude de vieillissement est caractérisée par un rectangle qui s'étend de 0 % (à l'instant 0) à +0,1 % (à l'instant 1 an).

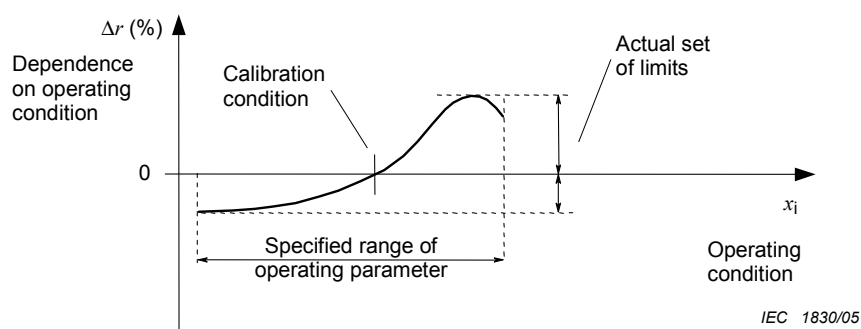


Figure 5 – Determining and recording an extension uncertainty

In order to obtain good measurement accuracy, the guidelines in Clause 4 should be observed. Uncertainties in the measurements should be as small as possible, because the measurement results shall include these uncertainties. It is acceptable to use estimations, instead of measurements, if these estimations are based on known physical relations or on a sufficiently large number of characterizing measurements of the same type of test meter.

For the determination of the combined standard uncertainty of the test meter at operating conditions, the limits quantifying the individual **dependences** shall be converted to standard uncertainties using Equation (A.6).

The individual uncertainties are usually assumed to be independent. However, in some instances an uncertainty may be strongly dependent on more than one condition. Examples are outlined in 6.2.4, 6.2.6 and 6.2.7. If the extension uncertainty is substantially increased by changing the other conditions (within their specified *operating ranges*), then this larger uncertainty shall be recorded. The calculation of the uncertainty shall then be based on these larger uncertainties.

6.2.2 Ageing

Ageing is the relative change of response during a period. It can be determined from the results of successive calibrations of the meter at the same conditions or from indications of the manufacturer.

For a manufacturer, the relative change of response during a period shall be determined with the assumption of careful use of the instrument. It is recommended to expose the power meter to its typical environmental conditions, for example ambient temperature $(23 \pm 1) ^\circ\text{C}$ for a laboratory-type instrument, optical input port non-irradiated, continuously repetitive cycles of power-on 12 hours, power-off 12 hours, with a total test time equal to the period. The change of response should be measured by comparison with a working standard. Regular and traceable recalibration of the working standard will be necessary, in order to exclude ageing of the working standard. As always, the measurement uncertainty, in this case mostly the uncertainty of the working standard, shall be taken into account.

It is recommended to calculate the ageing uncertainty from a rectangular distribution obtained as described above (see Clause A.2). If, for example, a detector is known to increase its response by a maximum of 0,1 % per year at a certain wavelength, then the ageing uncertainty is characterized by a rectangle which extends from 0 % (at time 0) to +0,1 % (at time 1 year).

6.2.3 Dépendance par rapport à la température

Il est recommandé de mesurer le changement de réponse relatif par rapport à la réponse aux conditions d'étalonnage en modifiant la température dans la gamme de températures de fonctionnement. La répartition rectangulaire de l'incertitude est alors définie par le changement de réponse relatif le plus négatif et le plus positif. Seuls sont significatifs les extrêmes de la réponse en fonction de la température, et non les réponses aux extrêmes de température (voir Figure 5).

Noter que la dépendance par rapport à la température de la sensibilité spectrale des détecteurs à semiconducteurs dépend de la longueur d'onde.

6.2.4 Dépendance par rapport au niveau de puissance (non-linéarité)

Il est recommandé de mesurer le changement de réponse relatif par rapport à la réponse au niveau de puissance d'étalonnage d'après l'Article 7.

6.2.5 Dépendance par rapport au type de fibre ou à la géométrie du faisceau

Les wattmètres pour dispositifs à fibres optiques peuvent être conçus pour accepter des fibres ou des faisceaux en espace libre. On suppose que la réponse du wattmètre dépend de la géométrie du faisceau lumineux en raison, par exemple, de la non-uniformité et de la dépendance angulaire du port d'entrée optique de l'appareil.

Il est recommandé de **mesurer** le changement de réponse relatif avec un étalon de travail qui présente:

- une dépendance angulaire d'incidence négligeable,
- des réflexions de surface négligeables, et
- une surface active suffisamment importante pour capter les faisceaux issus de fibres et les faisceaux en espace libre.

Un bon choix d'étalon de travail peut être un wattmètre aux caractéristiques bien définies avec une sphère intégrante.

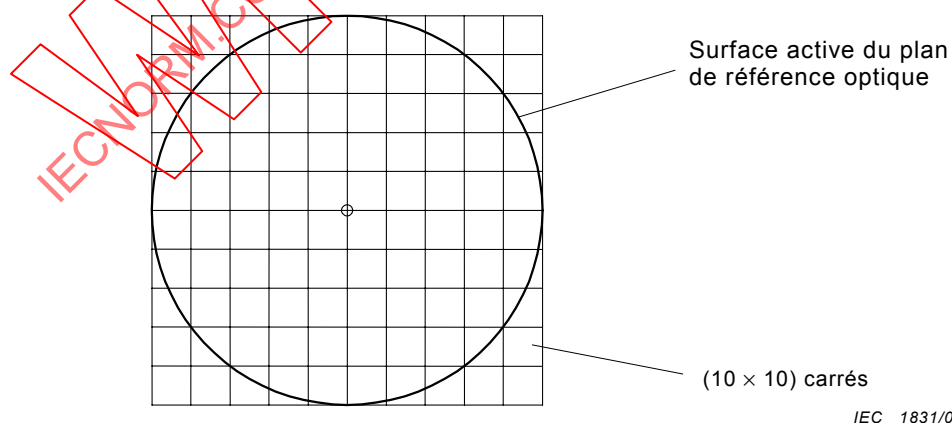


Figure 6 – Subdivision possible d'un plan de référence optique en (10 x 10) carrés, pour la mesure de la réponse spatiale

6.2.3 Dependence on temperature

The relative change of response against the response at the calibration conditions should be measured by changing the temperature within the operating temperature range. The rectangular uncertainty distribution is then defined by the most negative and the most positive relative changes of the response. Only the extremes of the response as function of the temperature are relevant, not the responses at the extremes of the temperature (see Figure 5).

Note that the temperature dependence of the spectral responsivity of semiconductor detectors depends on the wavelength.

6.2.4 Dependence on the power level (nonlinearity)

The relative change of response against the response at the calibration power level should be measured following Clause 7.

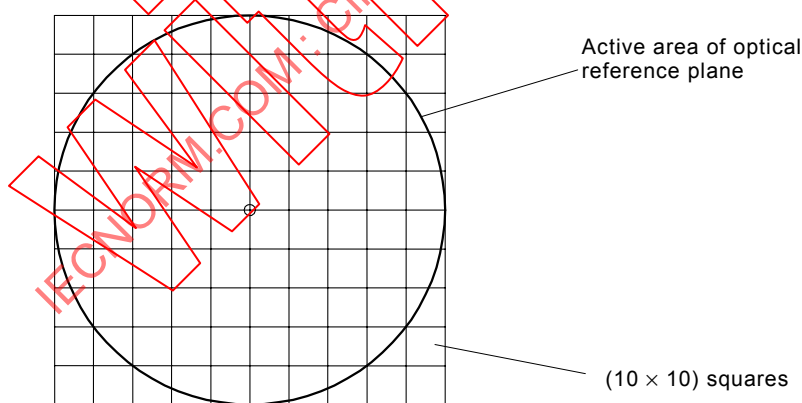
6.2.5 Dependence on the type of fibre or on the beam geometry

Fibre-optic power meters may be designed to accept fibres or open beams. It is assumed that the response of the power meter depends on the geometry of the light beam because, for example, of non-uniformity and angle-dependence of the meter's optical input port.

The relative change of response should be **measured** with a working standard that exhibits:

- negligible angle-dependence,
- negligible surface reflections, and
- a sufficiently large active area to capture the fibre beams or the open beams.

A good choice of working standard may be a well-characterized power meter with an integrating sphere.



IEC 1831/05

Figure 6 – Possible subdivision of the optical reference plane into 10 x 10 squares, for the measurement of the spatial response

Une autre possibilité consiste à évaluer les incertitudes par une analyse **mathématique**, basée sur l'hypothèse que toutes les incertitudes sont provoquées par des réponses spatiales non uniformes du plan de référence de l'appareil de mesure. Pour préparer cette analyse, il convient que la surface active du plan de référence optique soit subdivisée en un tableau de carrés, par exemple (10 x 10) carrés, comme sur la Figure 6.

Il est ensuite recommandé d'effectuer deux types de mesures:

- a) les mesures de la densité de puissance spatiale, ainsi que les angles d'incidence, sur le plan de référence optique tel qu'il est généré par les géométries de faisceau applicables;
- b) les mesures de la réponse spatiale de l'appareil de mesure, pondérées par des multiplicateurs appropriés qui caractérisent la dépendance de l'appareil par rapport à l'incidence oblique (dépendance angulaire) sur le plan de référence de l'appareil de mesure. Il est recommandé de mesurer la réponse spatiale avec un diamètre de faisceau égal au côté du carré.

Le changement de réponse suite à la modification des paramètres de faisceau peut être alors évalué sur la base du **modelage** des résultats de mesure nécessaires, en multipliant les niveaux de puissance (spatiale) par les réponses spatiales et en ajoutant tous les produits. Noter que les réponses spatiales sont en général dépendantes de la longueur d'onde.

6.2.5.1 Mesure de la dépendance par rapport au type de fibre

Dans l'évaluation des incertitudes liées aux fibres, il est recommandé que les fibres en essai soient soumises à une excitation totale, à la fois en termes de diamètre du cœur et d'ouverture numérique. Une longueur de fibre approximative de 2 m est recommandée. Il est recommandé de retirer, si nécessaire, la puissance optique de la gaine (modes de gaine) à l'aide d'extracteurs de mode appropriés. Il est recommandé que les fibres soient terminées par la combinaison connecteur-adaptateur définie aux conditions d'étalonnage. Il est recommandé que le connecteur et l'adaptateur présentent une faible réflectivité, de sorte que des réflexions multiples entre la combinaison connecteur-adaptateur et le détecteur n'influencent pas les résultats de mesure. Il convient que la largeur de bande spectrale de la source soit suffisamment étroite afin d'éviter l'intégration sur une gamme étendue de longueurs d'ondes.

Etape 1: la sortie de la fibre de référence est mesurée avec l'étalon de travail et l'appareil de mesure et la différence est (mathématiquement) réglée sur zéro.

Etape 2: la procédure ci-dessus est appliquée à:

- a) une fibre monomodale standard définie par la CEI 60793-2, et
- b) la fibre (définie) avec le diamètre de cœur le plus important, la fibre ayant l'ouverture numérique la plus importante, ou les deux.

L'objet de l'essai est de mesurer la dépendance de l'appareil de mesure par rapport au type de fibre et au volume de mode. Il est recommandé d'utiliser le changement de réponse relatif le plus important par rapport à l'étape 1 (positif et négatif) pour déterminer l'incertitude liée à la fibre. L'incertitude doit aussi comprendre l'incertitude de la mesure des sorties de fibre avec l'étalon de travail, provoquées par exemple par les effets de non-uniformité, de divergence de faisceau et de réflexions multiples sur l'étalon de travail.

Dans ces mesures, les speckles peuvent provoquer une incertitude de type A significative en conjonction avec la non-uniformité du port d'entrée optique. Les speckles sont des répartitions d'éclairement énergétique irrégulières, provoquées par des interférences entre différents modes dans une fibre multimodale. Cet effet est particulièrement prononcé lorsque la fibre est excitée par le rayonnement (hautement cohérent) d'une diode laser. Cette incertitude peut être réduite par intégration d'une série de résultats de mesure, dans lesquels chaque échantillon est pris après un léger mouvement de la fibre. Le mouvement de la fibre modifiera la répartition des figures de speckle. Noter que cela peut être accompagné d'un changement de la puissance totale rayonnante, à cause d'un changement de la puissance réfléchie et de la sensibilité de la diode laser à la puissance réfléchie.

Another possibility is evaluating the uncertainties with a **mathematical** analysis, based on the assumption that all uncertainties are caused by non-uniform spatial responses of the test meter's reference plane. In preparation of this, the active area of the optical reference plane should be subdivided into an array of squares, for example 10 x 10 squares as in Figure 6.

Then two types of measurements should be carried out:

- a) measurements of the spatial power density, together with the angles of incidence, on the optical reference plane as generated by the applicable beam geometries;
- b) measurements of the test meter's spatial response, weighted with appropriate multipliers which characterize the meter's dependence on oblique incidence (angle dependence), on the test meter's reference plane. The spatial response should be measured with a beam diameter equal to the length of the square.

The change of response upon changing the beam parameters can then be evaluated on the basis of **modelling** the necessary measurement results, by multiplying the (spatial) power levels with the spatial responses and adding all products. Note that the spatial responses are usually wavelength-dependent.

6.2.5.1 Measurement of the fibre dependence

In the test of fibre-related uncertainties, the fibres under test should be fully excited, both in terms of the core diameter and of the numerical aperture. An approximate fibre length of 2 m is recommended. Optical power in the cladding (cladding modes) should be removed with appropriate mode strippers if necessary. The fibres should be terminated by the connector-adaptor combination defined by the calibration conditions. Both the connector and the adaptor should exhibit a low reflectivity, so that multiple reflections between the connector-adaptor combination and the detector do not influence the measurement results. The spectral bandwidth of the source should be narrow enough to avoid averaging over a wide range of wavelengths.

Step 1: the output of the reference fibre is measured with both the working standard and the test meter, and the difference is (mathematically) adjusted to zero.

Step 2: the above procedure is applied to:

- a) a standard single-mode fibre as defined by IEC 60793-2, and
- b) the (specified) fibre with the largest core diameter, the fibre with the largest numerical aperture or both.

The intention of the test is to measure the dependence of the test meter on the type of fibre and on the mode volume. The largest relative change of response against step 1 (positive and negative) should be used to determine the fibre-related uncertainty. The uncertainty shall also include the uncertainty in measuring the fibre outputs with the working standard, caused for example by the effects of non-uniformity, beam divergence and multiple reflections on the working standard.

In these measurements, a significant type A uncertainty may be caused by "speckles", in conjunction with the non-uniformity of the optical input port. Speckles are irregular irradiance distributions which are caused by interference between different modes in a multimode fibre. This effect occurs particularly when the fibre is excited by the (highly coherent) radiation from a laser diode. This uncertainty can be reduced by averaging a series of measurement results, in which each sample is taken after a slight movement of the fibre. Fibre movement will change the speckle pattern. Note this may be accompanied by a change of the total radiant power, because of a change of the reflected power and the laser diode sensitivity to reflected power.

Les speckles n'existent pas avec les fibres monomodales lorsque la longueur d'onde d'excitation est suffisamment plus longue que la longueur d'onde de coupure de la fibre. Une autre possibilité pour éliminer les figures de speckle consiste à utiliser une source moins cohérente, telle qu'une DEL ou une source de rayonnement «blanche» (filtrée).

6.2.5.2 Mesure de la dépendance par rapport aux caractéristiques d'un faisceau en espace libre

Comme pour la mesure de la dépendance par rapport au type de fibre, il est possible d'évaluer la dépendance par rapport au *diamètre du spot* et à l'*ouverture numérique* d'un faisceau en espace libre par comparaison avec l'étalon de travail qui présente un détecteur de grande taille, uniforme et une dépendance angulaire d'incidence négligeable.

Pour aborder le problème de la dépendance combinée par rapport au diamètre du spot et à l'ouverture numérique, il peut suffire d'évaluer:

- a) le changement de réponse relatif (par rapport à la réponse aux conditions d'étalonnage) dû à l'excitation avec le diamètre du spot le plus petit défini – la plus petite ouverture numérique; et
- b) le changement de réponse relatif dû à l'excitation avec le diamètre du spot le plus important défini – l'ouverture numérique la plus importante.

6.2.6 Dépendance par rapport à la combinaison connecteur-adaptateur

Le présent paragraphe traite de la dépendance de l'appareil de mesure par rapport à des réflexions multiples entre le port d'entrée optique et la source de rayonnement (par exemple un connecteur optique ou d'autres parties mécaniques dans le chemin du faisceau entre la source et le port d'entrée optique). Noter que les réflexions peuvent être régulières ou diffuses.

Il est recommandé de mesurer le changement de réponse relatif à l'aide d'un étalon de travail qui présente une dépendance angulaire d'incidence négligeable et une surface de faible réflectivité. Il est recommandé que la fibre soit l'une des conditions d'étalonnage. Il est souhaitable de maintenir en place l'extrémité de la fibre au cours de la mesure afin d'éviter des modifications du niveau de puissance induites par sa flexion.

Etape 1: la géométrie du faisceau de référence (ou la fibre de référence), avec la combinaison connecteur-adaptateur de référence, est mesurée avec à la fois l'étalon de travail et l'appareil de mesure et la différence est (mathématiquement) réglée sur zéro.

Etape 2: la procédure ci-dessus est appliquée à toutes les combinaisons connecteur-adaptateur spécifiées, en répétant chaque connexion plusieurs fois pour réduire les incertitudes de type A. Il est recommandé d'utiliser le changement de réponse relatif le plus important par rapport à l'étape 1 (positif et négatif) pour déterminer l'incertitude. L'incertitude doit aussi comprendre l'incertitude de type B dans la mesure des diverses combinaisons avec l'étalon de travail, causée par exemple par des réflexions multiples sur l'étalon de travail.

Suivant le dernier alinéa du paragraphe 6.2.1, il peut être nécessaire de mesurer en plus la dépendance avec la fibre d'ouverture numérique la plus évoluée, comme indiqué en 6.2.5.1. Une telle fibre crée une image plus grande sur le plan de référence optique, ce qui augmente la précision de positionnement. Dans ce cas, il est recommandé d'enregistrer une dépendance plus importante.

Speckles do not exist in single-mode fibres when the exciting wavelength is sufficiently longer than the fibre's cut-off wavelength. Another possibility of eliminating the speckle pattern is using a less coherent source, such as an LED or (filtered) "white" radiation source.

6.2.5.2 Measurement of open-beam dependence

Similar to measuring the fibre dependence, the dependence on the *spot diameter* and the *numerical aperture* of an open beam can be evaluated by comparison with a working standard which exhibits a uniform large area detector and negligible angle dependence.

To address the problem of combined dependence on spot diameter and numerical aperture, it may be sufficient to evaluate:

- a) the relative change of response (against the response at calibration conditions) due to excitation with the specified smallest spot diameter – smallest numerical aperture; and
- b) the relative change of response due to excitation with the specified largest spot diameter-largest numerical aperture.

6.2.6 Dependence on the connector-adapter combination

This subclause discusses the test meter's dependence on multiple reflections between the optical input port and the radiation source (for example an optical connector or other mechanical parts in the beam path between the source and the optical input port). Note that the reflections may be specular or diffuse.

The relative change of response should be measured with the help of a working standard which exhibits negligible angle-dependence and surface reflections. The fibre should be the one of the calibration conditions. It is advisable to hold the fibre end in place during the measurement, in order to avoid any bending-induced changes of the power level.

Step 1: the reference beam geometry (respectively the reference fibre), together with the reference connector-adapter combination, is measured with both the working standard and the test meter, and the difference is (mathematically) adjusted to zero.

Step 2: the above procedure is applied to all specified connector-adapter combinations, by repeating each connection several times to reduce type A uncertainties. The largest relative change of response against step 1 (positive and negative) should be used to determine the uncertainty. The uncertainty shall also include the type B uncertainty in measuring the various combinations with the working standard, caused for example by multiple reflections on the working standard.

Referring to the last paragraph of 6.2.1, it may be necessary to additionally measure the dependence with the highest-order fibre, as listed in 6.2.5.1. A high-order fibre will create a larger image on the optical reference plane, and therefore make limitations in the positioning accuracy more obvious. In this case, an increased dependence should be recorded.

6.2.7 Dépendance en fonction de la longueur d'onde

Il est recommandé de mesurer le changement relatif de la réponse spectrale par rapport à la réponse à la longueur d'onde d'étalonnage. Ces mesures seront normalement effectuées à l'aide d'une source à spectre continu à travers un instrument capable de mesurer les spectres, par exemple un monochromateur ou un ensemble de filtres spectraux. Il est recommandé d'évaluer la lumière parasite, c'est-à-dire la lumière qui n'est pas à la longueur d'onde sélectionnée, afin d'assurer des résultats de mesure précis. Il est aussi recommandé de mesurer la (les) longueur(s) d'onde(s) centrale(s) et la (les) largeur(s) de bande(s) spectrale(s). Il convient que la largeur de bande soit étroite, car une bande large en conjonction avec une forte non-linéarité de la dépendance en fonction de la longueur d'onde de l'appareil de mesure est capable de produire des résultats de mesure erronés. Noter qu'une largeur de bande spectrale extrêmement étroite peut provoquer des problèmes d'interférences optiques, c'est-à-dire une dépendance en fonction de la longueur d'onde cisailée, lorsque le chemin du faisceau contient un ou plusieurs résonateurs optiques.

Il est recommandé que la géométrie du faisceau soit l'une des conditions d'étalonnage. Il peut être possible de substituer un faisceau issu d'une fibre à l'aide d'une combinaison de lentilles et d'ouvertures. Dans ce cas, il est recommandé de faire en sorte que le diamètre du spot éclairé et la position sur le plan de référence optique correspondent à ceux obtenus avec une fibre en entrée. Il est aussi recommandé de s'assurer que les rétroreflexions du port d'entrée optique n'ajoutent pas d'incertitudes aux résultats de mesure.

Il est recommandé d'effectuer la mesure par comparaison directe avec un étalon de travail à l'aide d'une technique de substitution. Il est recommandé que l'étalon de travail ait été étalonné en réponse spectrale relative.

En raison des niveaux de puissance relativement bas dans ces mesures, le *réglage du zéro* des deux wattmètres est essentiel. Si l'appareil comprend des moyens de correction, par exemple une courbe ou une table d'étalonnage stockée dans une mémoire, le changement de réponse relatif par rapport à la réponse **corrigée** doit être mesuré.

La variation de température peut influencer fortement la dépendance en fonction de la longueur d'onde. Par exemple, la dépendance en fonction de la longueur d'onde d'une photodiode au germanium à 1 550 nm est beaucoup plus importante à 0 °C qu'à température ambiante. En général, l'incertitude due à la longueur d'onde doit être calculée sur la base de la dépendance en fonction de la longueur d'onde **la plus importante**, dans ce cas celle à 0 °C.

6.2.7.1 Dépendance en fonction de la longueur d'onde due à l'interférence de type Fabry-Perot

En utilisant un laser de *largeur de bande spectrale* étroite ($B \ll 1$ nm), la réponse spectrale peut parfois varier rapidement par rapport à la longueur d'onde, comme décrit à la Figure 7. Cela est généralement provoqué par une (des) cavité(s) Fabry-Perot dans le chemin optique vers le détecteur. Les cavités Fabry-Perot peuvent apparaître entre les deux faces de la fenêtre dans la tête du détecteur, entre une face de la fenêtre et le détecteur lui-même ou, si une fibre est utilisée, entre l'extrémité de la fibre et n'importe quelle autre surface.

6.2.7 Dependence on wavelength

The relative change of spectral response against the response at the calibration wavelength should be measured. These measurements will normally be carried out using a spectrally continuous source imaged through a spectrally discriminating instrument, for example a monochromator or a number of spectral filters. The stray light, that is light not at the selected wavelength, should be evaluated, in order to ensure accurate measurement results. The centre wavelength(s) and the spectral bandwidth(s) should also be measured. The bandwidth should be narrow, because a wide bandwidth in conjunction with a strong curvature of the test meter's wavelength dependence is capable of producing erroneous measurement results. Note that extremely narrow spectral bandwidth may cause optical interference problems, that is comb-like wavelength dependence, when the beam path contains one or more optical resonators.

The beam geometry should be one of the calibration conditions. It may be possible to substitute a fibre beam using a combination of lenses and apertures. In this case, care should be taken to match the irradiated spot diameter and position on the optical reference plane with those achieved using a fibre input. Care should also be taken to ensure that back reflections from the optical input port do not add uncertainties to the measurement results.

The measurement should be carried out by direct comparison with a working standard by using the substitution technique. The working standard should have been calibrated for relative spectral response.

Because of the relatively low power levels in these measurements, *zero adjustment* of both power meters is essential. If the instrument comprises means of correction, for example a calibration curve or a table stored in a memory, the relative change of response from the **corrected** response has to be measured.

Changing the temperature may strongly influence the wavelength-dependence. For example, the wavelength-dependence of a germanium photodiode at 1 550 nm is much stronger at 0 °C than at room temperature. In general, the wavelength uncertainty shall be calculated on the basis of the **largest** wavelength-dependence, in this case the one at 0 °C.

6.2.7.1 Dependence on wavelength due to Fabry-Perot type interference

When using a narrow *spectral bandwidth* laser ($B \ll 1$ nm), the spectral response can sometimes vary rapidly with respect with wavelength as depicted in Figure 7. This is usually caused by Fabry-Perot cavity(ies) in the optical path to the detector. Fabry-Perot cavities can occur between the two faces of the window in the detector cap, between one face of the window and the detector itself, or, if a fibre is used, between the end of the fibre and any of the other surfaces.

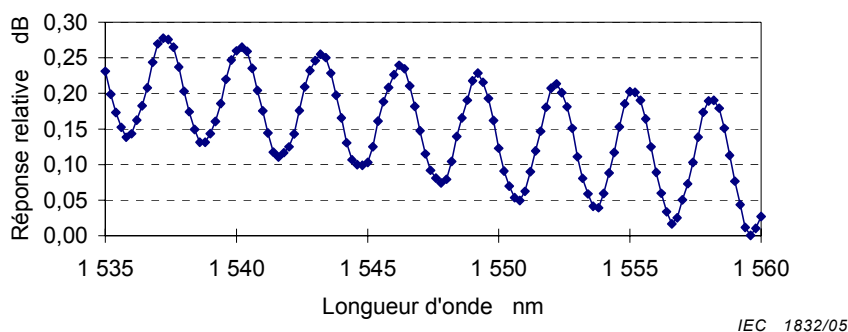


Figure 7 – Dépendance en fonction de la longueur d'onde de la réponse due à l'interférence de type Fabry-Perot

A la Figure 7, la variation crête à crête atteint $\Delta_{dB} = 0,2 \text{ dB}$ ($\Delta_{\%} = 4,6 \%$); ce qui est très important. L'incertitude type due à l'interférence optique est l'écart type du tracé sinusoïdal.

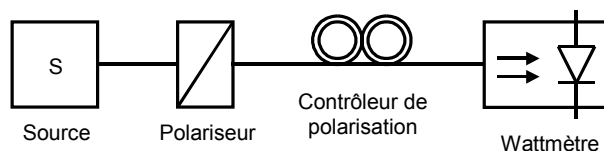
$$u_{\text{int}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \times \frac{\Delta_{\%}}{2} = 1,6 \%$$
(28)

6.2.8 Dépendance par rapport à la largeur de bande spectrale

Cette dépendance augmente avec la non-linéarité de la dépendance en fonction de la longueur d'onde du détecteur. Le changement de réponse relatif en fonction de la largeur de bande spectrale de la source doit être mis en essai dans la gamme spécifiée de largeurs de bandes spectrales. On peut utiliser un monochromateur pour générer une largeur de bande spectrale variable; il est recommandé de mesurer le niveau de puissance réel avec un étalon de travail dont la dépendance en fonction de la longueur d'onde est négligeable. La dépendance par rapport à la largeur de bande spectrale peut aussi être évaluée par analyse mathématique, basée sur la réponse spectrale connue de l'appareil de mesure et sur les caractéristiques spectrales connues de la source.

6.2.9 Dépendance par rapport à la polarisation

Une méthode d'évaluation de la *réponse dépendant de la polarisation* (PDR, *polarization dependent response*) de l'appareil de mesure consiste à mesurer la réponse des divers temps de l'appareil à différents états de polarisation. Il est recommandé d'utiliser une source de lumière stable polarisée à presque 100 %, ou un polariseur après la source, comme représenté à la Figure 8. Un contrôleur de polarisation est utilisé pour convertir l'état de polarisation d'entrée fixe en tous les états éventuels de sortie.



IEC 1833/05

Figure 8 – Montage de mesure de la réponse dépendant de la polarisation

Il convient que l'instabilité de puissance de la source et la variation de perte du contrôleur de polarisation soient bien inférieures à la dépendance par rapport à la polarisation de l'appareil de mesure. Il convient de vérifier cela en remplaçant l'appareil de mesure par un détecteur avec une réponse dépendant de la polarisation très faible.

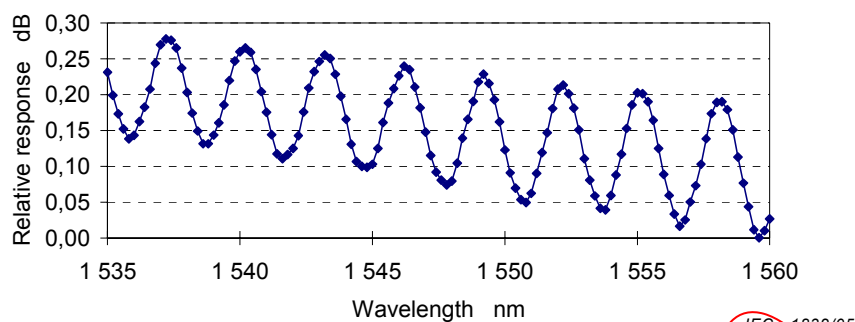


Figure 7 – Wavelength dependence of response due to Fabry-Perot type interference

In Figure 7, the peak-to-peak variation reaches $\Delta_{dB} = 0,2 \text{ dB}$ ($\Delta_{\%} = 4,6 \%$) which is very important. The standard uncertainty due to optical interference is the standard deviation of the sine pattern.

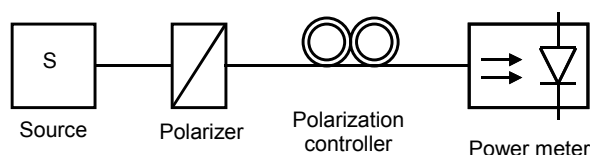
$$u_{\text{int}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \times \frac{\Delta_{\%}}{2} = 1,6 \%$$
(28)

6.2.8 Dependence on spectral bandwidth

This dependence increases with the curvature of the detector's wavelength dependence. The relative change of response as a function of the spectral bandwidth of the source has to be tested within the specified range of spectral bandwidths. A monochromator can be used to generate a variable spectral bandwidth; the actual power level should be measured with a working standard with negligible wavelength-dependence. The spectral-bandwidth dependence can also be evaluated by mathematical analysis, based on the known spectral response of the test meter and on the known spectral characteristics of the source.

6.2.9 Dependence on polarization

A method of evaluation of the *polarization dependent response* (PDR) of the test meter is to measure the response of the meter multiple times at different states of polarization. A stable light source polarized to nearly 100 % should be used, otherwise use a polarizer after the source as shown in Figure 8. A polarization controller is used to convert the fixed input polarization state to all possible output states.



IEC 1833/05

Figure 8 – Measurement setup of polarization dependent response

The source power instability and the loss variation of the polarization controller should be far smaller than the polarization dependence of the test meter. This should be verified by replacing the test meter with a detector with very low polarisation dependent response.

NOTE Les sources laser peuvent réagir avec une puissance instable lorsque la lumière avec un état de polarisation variable est rétro-réfléchi, et un atténuateur ou un isolateur peut par conséquent devoir être inséré entre la source et le contrôleur de polarisation.

Une autre méthode de mesure de PDR, la méthode de la matrice, peut être adaptée à partir de la méthode de mesure de la perte dépendant de la polarisation (PDL, *polarization dependent loss*) de la CEI 61300-3-12, comme décrit en [3].

6.2.10 Autres dépendances

Selon le type d'appareil de mesure, il peut exister d'autres dépendances par rapport à d'autres paramètres. Il est recommandé que ceux-ci soient aussi caractérisés comme des changements relatifs de la réponse par rapport à la réponse aux conditions d'étalonnage.

Un exemple peut consister à inclure des signaux optiques à **intensité modulée** dans les conditions de fonctionnement, en spécifiant une gamme de fréquences de modulation et de cycles de service et en évaluant l'incertitude de type B due à la modulation. Il est important de savoir que des cycles de service extrêmes sont capables de saturer le détecteur, l'électronique ou les deux.

7 Etalonnage de non-linéarité

Il est recommandé d'étalonner la non-linéarité du wattmètre pour assurer des mesures précises à des niveaux de puissance éloignés du niveau d'étalonnage et pour des mesures relatives telles que les mesures de perte et de gain. Il convient de réaliser l'étalonnage en augmentant et en diminuant le niveau de puissance afin de détecter des non-linéarités aux limites de chaque gamme d'amplification ou, dans la mesure du possible, d'inclure les résultats de mesure des deux côtés de chaque limite de gamme, afin d'inclure des non-linéarités au niveau de ces limites. Il est important de savoir que la non-linéarité du détecteur est dépendante de la longueur d'onde. Par exemple, un détecteur InGaAs qui est linéaire à 1 310 nm et 1 550 nm peut être non linéaire à 850 nm.

Plusieurs méthodes sont possibles. La méthode de superposition est la méthode de référence, dans la mesure où il s'agit de la méthode la plus précise et où elle ne nécessite pas d'étalon de référence (méthode d'auto-étalonnage). Cependant, les pas en puissance de 2 utilisés (environ 3 dB) peuvent être trop importants pour détecter des non-linéarités qui peuvent apparaître aux limites de gamme d'amplification. Cette limitation peut être évitée en entreprenant l'étalonnage à partir de plusieurs puissances de référence, ou en prenant des mesures séparées du même niveau de puissance des deux côtés des limites de gamme d'amplification.

Toutes les méthodes utilisent des sources avec un niveau de puissance sélectionnable, par exemple des sources de diodes laser (stabilisées) et des atténuateurs variables. Il est recommandé que les niveaux de puissance générés couvrent la *gamme de mesures* spécifiée.

Au cours de l'essai, il convient que l'éclairement énergétique maximal admissible du port d'entrée soit défini par la puissance optique au niveau de l'extrémité supérieure de la gamme de mesures et par une excitation des fibres monomodales.

Le niveau de puissance saturant le détecteur est dépendant de la géométrie du faisceau. Un petit diamètre du spot peut saturer le détecteur à une puissance plus faible qu'un diamètre du spot plus grand.

NOTE Des températures ambiantes extrêmes peuvent augmenter la non-linéarité. En se rapportant à l'indication sur «la dépendance par rapport à plus d'une condition de fonctionnement» en 6.2, il peut être nécessaire de mesurer en plus la non-linéarité aux extrêmes de la gamme de températures de fonctionnement, et d'enregistrer une incertitude plus importante aux conditions de fonctionnement.

NOTE The laser sources may react with unstable power when light with varying polarization state is back-reflected, therefore an attenuator or isolator may have to be inserted between the source and the polarization controller.

Another PDR measurement method, the matrix method, can be adapted from the polarization dependent loss (PDL) measurement method in IEC 61300-3-12, as described in [3].

6.2.10 Other dependences

Depending on the type of test meter, there may be dependences on other parameters. These should also be characterized as relative changes of response against the response at the calibration conditions.

One example may be including **intensity-modulated** optical signals into the operating conditions, in the form of specifying a range of modulation frequencies and duty cycles, and evaluating the type B uncertainty due to the modulation. Be aware that extreme duty cycles are capable of saturating the detector, the electronics or both.

7 Nonlinearity calibration

The nonlinearity of the power meter should be calibrated to ensure accurate measurements at power levels away from the calibration level and for relative measurements such as loss and gain measurements. The calibration should be made by increasing and decreasing the power level to detect nonlinearities at the boundaries of each amplifier range or, whenever possible, to include measurement results at both sides of each range boundaries, in order to include nonlinearities at these boundaries. Be aware that the detector nonlinearity is dependent on the wavelength. As an example, an InGaAs detector that is linear at 1 310 nm and 1 550 nm may be nonlinear at 850 nm.

Several methods are possible. The superposition method is the reference method, as it is the most accurate and does not require a reference standard (self-calibrating method). However, the used power steps of 2 (about 3 dB) might be too large to detect nonlinearities that might appear at amplifier range boundaries. This limitation may be avoided by starting the calibration from several reference powers, or by taking separate measurements of the same power level on both sides of the amplifier range boundaries.

All methods use sources with selectable power level, for example (stabilized) laser diode sources and variable attenuators. The generated power levels should cover the specified *measuring range*. During the test, the maximum permissible irradiance of the input port should be defined by the optical power at the upper end of the measuring range and by single-mode fibre excitation.

The power level saturating the detector is dependent on the beam geometry. A small spot diameter may saturate the detector at lower power than a larger spot diameter.

NOTE Extreme ambient temperatures may increase the nonlinearity. Referring to the statement on "dependence on more than one operating condition" in 6.2, it may be necessary to additionally measure the nonlinearity at the extremes of the operating temperature range, and to record an increased uncertainty at operating conditions.

7.1 Etalonnage de non-linéarité basé sur la superposition

Un étalonnage de non-linéarité extrêmement précis est possible avec la méthode de superposition (également connue sous le nom de méthode d'addition). Une version «fibrée» de la méthode d'ouverture double du faisceau en espace libre [6] peut être utilisée avec les fibres monomodales. Un montage possible est illustré à la Figure 9. La puissance est divisée en deux chemins différents où sont situés les obturateurs, puis elle est recombinaée sur le wattmètre en essai.

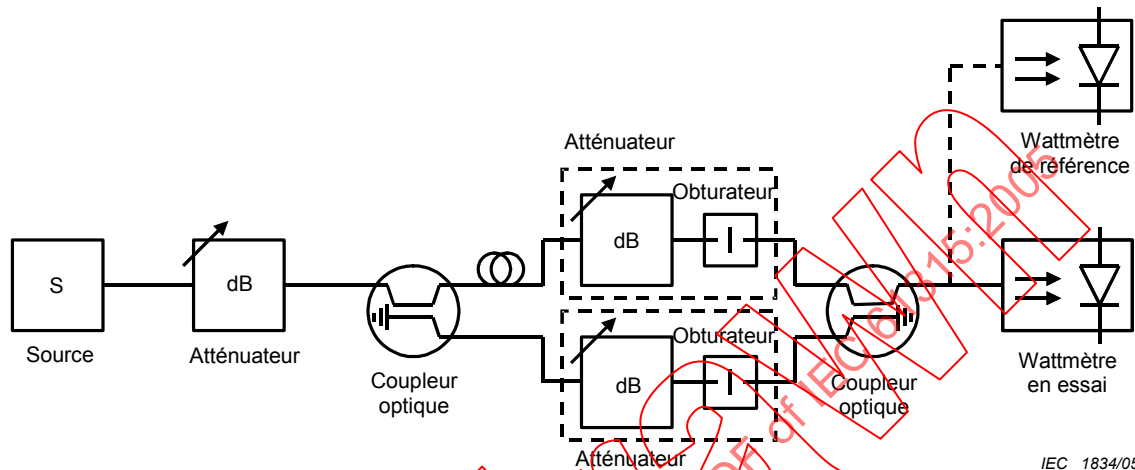


Figure 9 – Etalonnage de la non-linéarité basé sur la superposition

Des lasers DFB stables, isolés optiquement (pour réduire la sensibilité aux réflexions) peuvent être utilisés, à condition que la largeur de raie soit élargie afin d'obtenir une cohérence optimisée, comme avec la procédure pour l'étalonnage absolu. Il convient que les deux chemins du montage aient des longueurs différentes (environ 100 m pour les lasers DFB) afin d'éviter des fluctuations d'interférence (de type Mach-Zehnder) et les branches non utilisées des coupleurs optiques doivent être raccordées. L'inconvénient de cette méthode est sa perte d'insertion plus élevée: généralement égale à environ 1,5 dB pour le premier atténuateur, 0,5 dB pour le premier coupleur optique, 1,5 dB pour le deuxième atténuateur et environ 3,5 dB pour le coupleur optique combiné, ce qui représente un total d'environ 7 dB. Pour des mesures à des puissances plus élevées, un amplificateur optique optionnel (tel un EDFA pour la bande de 1,55 μm) peut être inséré entre la source et le premier atténuateur.

7.1.1 Procédure

- (1) Régler les atténuateurs dans les deux chemins, de telle sorte que la puissance mesurée sur l'appareil soit la même lorsque la lumière vient d'un chemin ou de l'autre chemin.
- (2) Ouvrir les deux obturateurs et mesurer la puissance totale provenant des deux chemins simultanément: $P_{ab,i}$.
- (3) Fermer l'obturateur sur le chemin b et mesurer la puissance provenant du chemin a: $P_{a,i}$.
- (4) Fermer l'obturateur sur le chemin a, ouvrir l'obturateur sur le chemin b et mesurer la puissance provenant du chemin b: $P_{b,i}$.
- (5) Si la somme des puissances individuelles n'est pas égale à la puissance totale, il y a une non-linéarité:

$$NL_i = 10 \times \log_{10} \frac{P_{ab,i}}{P_{a,i} + P_{b,i}} \quad (\text{dB}) \quad (29)$$

- (6) A l'aide du premier atténuateur, atténuer la puissance totale par un facteur 2 ($10 \log_{10} 2 \approx 3,01$ dB) par rapport au niveau des puissances individuelles de l'étape précédente.