

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

61290-3-2

Première édition
First edition
2003-01

Amplificateurs à fibres optiques

**Partie 3-2:
Méthodes d'essai pour les paramètres
du facteur de bruit –
Méthode de l'analyseur spectral électrique**

Optical amplifiers –

**Part 3-2:
Test methods for noise figure parameters –
Electrical spectrum analyzer method**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 61290-3-2:2003

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/catlg-f.htm) 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/JP.htm) 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/catlg-e.htm) 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/JP.htm) 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**

61290-3-2

Première édition
First edition
2003-01

**Amplificateurs à fibres optiques –
Partie 3-2:
Méthodes d'essai pour les paramètres
du facteur de bruit –
Méthode de l'analyseur spectral électrique**

**Optical amplifiers –
Part 3-2:
Test methods for noise figure parameters –
Electrical spectrum analyzer method**

© IEC 2003 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

Q

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	4
INTRODUCTION	6
1 Domaine d'application et objet	8
2 Références normatives	8
3 Appareil	10
4 Echantillon d'essai	14
5 Procédure	14
5.1 Technique de balayage de fréquence	14
5.1.1 Etalonnage	14
5.1.2 Mesure	20
5.2 Technique de fréquence sélectionnée: étalonnage et mesure	20
5.3 Limites de la précision de mesure	22
6 Calcul	22
6.1 Calcul des résultats d'étalonnage	22
6.2 Calcul des résultats pour la technique de balayage de fréquence	24
6.3 Calcul des résultats de l'essai pour la technique de fréquence sélectionnée	26
7 Résultats d'essai	26
Annexe A (informative) Listes des symboles et des abréviations	30
Bibliographie	34
Figure 1 – Schéma d'un montage de mesure	12

CONTENTS

FOREWORD	5
INTRODUCTION	7
1 Scope and object	9
2 Normative references	9
3 Apparatus	11
4 Test sample	15
5 Procedure	15
5.1 Frequency-scanning technique	15
5.1.1 Calibration	15
5.1.2 Measurement	21
5.2 Selected-frequency technique: calibration and measurement	21
5.3 Measurement accuracy limitations	23
6 Calculation	23
6.1 Calculation of calibration results	23
6.2 Calculation of test results for the frequency-scanning technique	25
6.3 Calculation of test results for the selected-frequency technique	27
7 Test results	27
Annex A (informative) List of symbols and abbreviations	31
Bibliography	35
Figure 1 – Scheme of a measurement set-up	13

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

AMPLIFICATEURS À FIBRES OPTIQUES –

Partie 3-2: Méthodes d'essai pour les paramètres du facteur de bruit – Méthode de l'analyseur spectral électrique

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) 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. 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 documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, spécifications techniques, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
- 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. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Norme internationale 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 61290-3-2 a été établie par le sous-comité 86C: Systèmes et dispositifs actifs à fibres optiques, du comité d'études 86 de la CEI: Fibres optiques.

Cette norme doit être lue conjointement avec la CEI 61290-3 et la CEI 61291-1.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
86C/458/FDIS	86C/482/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.

L'annexe A est donnée uniquement à titre d'information.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant 2007. A cette date, la publication sera

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

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

OPTICAL AMPLIFIERS –

**Part 3-2: Test methods for noise figure parameters –
Electrical spectrum analyzer method**

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the 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, the IEC publishes International Standards. 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. The 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 the 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 National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical specifications, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 61290-3-2 has been prepared by subcommittee 86C: Fibre optic systems and active devices, of IEC technical committee 86: Fibre optics.

This standard shall be read in conjunction with IEC 61290-3 and IEC 61291-1.

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

FDIS	Report on voting
86C/458/FDIS	86C/482/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.

Annex A is for information only.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until 2007. At this date, the publication will be

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

INTRODUCTION

La présente partie de la CEI 61290 est consacrée au domaine des amplificateurs optiques. La technologie des amplificateurs optiques se développe rapidement encore, de sorte que des amendements et de nouvelles éditions de cette norme sont à prévoir.

En général, chaque symbole et chaque abréviation introduits dans cette norme sont expliqués dans le texte au moins la première fois qu'ils apparaissent. Cependant, pour une meilleure compréhension de l'ensemble, une liste de tous les symboles et de toutes les abréviations utilisés se trouve dans l'annexe A.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 61290-3-2:2003

INTRODUCTION

This part of IEC 61290 is devoted to the subject of optical amplifiers. The technology of optical amplifiers is still rapidly evolving, hence amendments and new additions to this standard can be expected.

Each symbol and abbreviation introduced in this standard is generally explained in the text the first time it appears. However, for an easier understanding of the whole text, a list of all symbols and abbreviations used is given in annex A.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 61290-3-2:2003

Withd 2011

AMPLIFICATEURS À FIBRES OPTIQUES –

Partie 3-2: Méthodes d'essai pour les paramètres du facteur de bruit – Méthode de l'analyseur spectral électrique

1 Domaine d'application et objet

La présente partie de la CEI 61290 s'applique aux amplificateurs à fibres optiques (AFO) qui utilisent des fibres actives, dopées aux terres rares, qui sont actuellement disponibles sur le marché.

L'objet de cette Norme internationale est d'établir des prescriptions uniformes en vue de mesures précises et fiables du facteur de bruit défini en 3.1.17 de la CEI 61291-1, en utilisant la méthode d'essai d'analyseur de spectre électrique (ASE).

La méthode d'essai présentée ci-dessous se fonde sur une mesure directe de bruit électrique et se réfère à sa définition en tenant compte de toutes les contributions de bruit correspondantes. On peut utiliser une méthode d'essai différente qui se base sur l'analyseur de spectre optique, particulièrement pour de différents paramètres de bruit (comme le facteur de bruit signal émission spontanée) mais ceci n'est pas compris dans l'objet de cette norme.

NOTE 1 Toutes les valeurs numériques suivies de (±) sont des valeurs suggérées dont la mesure est assurée. D'autres valeurs peuvent être acceptables, mais il convient de les vérifier.

NOTE 2 Il convient de pouvoir obtenir par cette méthode une précision de mesure pour le facteur de bruit moyen de $\pm 20\%$ (±), respectivement ± 1 dB, (voir article 6).

NOTE 3 Des aspects généraux des méthodes d'essai du facteur de bruit sont contenus dans la CEI 61290-3.

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 60728-6:2001, *Cabled distribution systems for television and sound signals – Part 6: Optical equipment* (disponible en anglais seulement)

CEI 61290-3, *Méthodes d'essais des amplificateurs à fibres optiques – Partie 3: Paramètres du facteur de bruit*

CEI 61291-1:1998, *Amplificateurs à fibres optiques – Partie 1: Spécification générique*

IEC/TR 61292-2, *Optical amplifier technical reports – Part 2: Theoretical background for noise figure evaluation using the electrical spectrum analyzer*¹⁾ (disponible en anglais seulement)

NOTE Une liste de références informatives est donnée dans la bibliographie.

¹⁾ A publier.

OPTICAL AMPLIFIERS –

Part 3-2: Test methods for noise figure parameters – Electrical spectrum analyzer method

1 Scope and object

This part of IEC 61290 applies to optical fibre amplifiers (OFA) using active fibres, containing rare-earth dopants, presently commercially available.

The object of this International Standard is to establish uniform requirements for accurate and reliable measurements, of the noise figure, as defined in 3.1.17 of IEC 61291-1, by means of the electrical spectrum analyzer (ESA) method.

The present test method is based on direct electrical noise measurement and it is directly related to its definition including all relevant noise contributions. A different test method based on the optical spectrum analyzer can be used, particularly for different noise parameters (such as the signal-spontaneous noise factor) but it is not included in the object of this standard.

NOTE 1 All numerical values followed by ($\pm$) are suggested values for which the measurement is assured. Other values may be acceptable but should be verified.

NOTE 2 A measurement accuracy for the average noise factor of ± 20 %($\pm$), respectively ± 1 dB, should be attainable with this method (see clause 6).

NOTE 3 General aspects of noise figure test methods are reported in IEC 61290-3.

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 60728-6:2001, *Cabled distribution systems for television and sound signals – Part 6: Optical equipment*

IEC 61290-3, *Optical fibre amplifier test methods – Basic specification – Part 3: Noise figure parameters*

IEC 61291-1:1998, *Optical fibre amplifiers – Part 1: Generic specification*

IEC/TR 61292-2, *Optical amplifier technical reports – Part 2: Theoretical background for noise figure evaluation using the electrical spectrum analyzer*¹⁾

NOTE A list of informative references is given in the bibliography.

¹⁾ To be published.

3 Appareil

Le schéma d'une mise en application possible du montage de mesure est illustré à la figure 1.

L'équipement d'essai décrit ci-dessous, avec des caractéristiques requises, est nécessaire.

a) Un module de source ayant les composants suivants

- 1) Une source laser avec un spectre de raie unique, par exemple: une diode laser à rétroaction répartie (RR). La source laser doit être modulée en amplitude d'onde sinusoïdale avec une seule fréquence qui est suffisamment plus rapide que la largeur de raie de la source. Il est recommandé d'utiliser une fréquence de modulation au minimum trois fois plus rapide que la largeur de raie. L'amplitude relative de modulation, m (cela veut dire, le taux de la valeur moyenne quadratique, VMQ, de la modulation en amplitude de la puissance optique à la puissance optique moyenne) doit être suffisamment petite afin d'assurer son fonctionnement dans le régime linéaire. Une valeur pour m de 2 % à 10 % (±) est considérée comme suffisante. On peut utiliser une modulation directe ou externe.

Une puissance de sortie moyenne réalisable, $P_{out,0}$, supérieure ou égale à 0 dBm, est recommandée afin de générer la saturation de l'AFO désirée.

La largeur de raie FWHM (pleine largeur à mi-hauteur) sous modulation doit être entre 20 MHz(±) et 100 MHz(±). Cette gamme est considérée comme la meilleure pour préciser la contribution du bruit de brouillage de trajet multiple (MPI), parce qu'elle reflète les largeurs de raies typiques des lasers RR, la source laser typique utilisée en conjonction avec des AFO. Une largeur de raie de 20 MHz est suffisante pour un espacement minimal de 7,5 m entre les pointes de réflexions internes de l'AFO. L'utilisation des largeurs de raies plus étroites mène à la situation indésirable où les réflexions internes de l'AFO s'interposent d'une manière cohérente et où l'on précise des résultats de facteur de bruit fortement différents. Une largeur de raie supérieure à 100 MHz provoquera des contributions de bruit de l'AFO aux fréquences qui sont plus rapides que le bord maximal de la largeur de bande de l'ASE.

Le bruit d'intensité relative (BIR) de la source laser doit être inférieur à -150 dB/Hz(±) dans la gamme de fréquences d'intérêt (par exemple, 10 MHz à 2 GHz).

La puissance d'émission spontanée, correspondant à la puissance de signal, doit être inférieure à -40 dB/nm(±) afin d'éviter de grandes contributions de bruit résultant d'un mélange spontané-spontané de l'émission de source spontanée.

- 2) Un isolateur interne ou externe, pour que les réflexions externes n'aient aucune influence sur le spectre de laser et sur le bruit d'intensité relative du laser. L'isolateur doit avoir un isolement optique supérieur à 60 dB(±). La réflectance au port de sortie de l'isolateur doit être inférieure à -50 dB(±).
- 3) Un affaiblisseur d'entrée avec atténuation variable, une gamme d'atténuation >40 dB, linéarité supérieure à ±0,05 dB(±) et de réflectances externes/internes inférieures à -50 dB(±). Cet affaiblisseur sert comme moyen de transformer la puissance de sortie de la source sans changer ni son spectre, ni son bruit d'intensité relative (BIR) ni son état de polarisation. Le but de cet affaiblisseur est de contrôler la puissance d'entrée et de permettre une distinction de bruit de grenaille parmi d'autres sources de bruit pendant l'étalonnage.

NOTE En variante, on peut utiliser un affaiblisseur plus simple sans aucune prescription de linéarité si le changement de perte est mesuré avec l'analyseur de spectre électrique.

- 4) Un contrôleur de polarisation aux capacités suivantes: la génération de tous les états de polarisation de sortie possibles d'un état de polarisation d'entrée arbitraire, une dépendance de puissance optique sur un état de polarisation de sortie inférieure à ±0,01 dB(±), et des réflectances inférieures à -50 dB(±).

3 Apparatus

The scheme of a possible implementation of the measurement set-up is shown in figure 1.

The test equipment listed below, with the required characteristics, is necessary.

a) A source module with the following components

- 1) A laser source with a single-line spectrum, for example, a distributed feedback (DFB) laser diode. The laser source shall be sine-wave amplitude modulated with one single frequency that is sufficiently higher than the linewidth of the source. A modulation frequency at least three times higher than the linewidth is advisable. The relative modulation amplitude, m (that is, the ratio of root mean square, RMS, optical power modulation amplitude to average optical power) shall be sufficiently small to ensure operation in the linear regime. A value for m of 2 % to 10 % (±) is considered adequate. Direct or external modulation can be used.

An achievable average output power, $P_{\text{out},0}$, of not less than 0 dBm is advisable, to be able to generate the desired OFA saturation state.

The FWHM linewidth (full-width half maximum) under modulation shall be comprised between 20 MHz(±) and 100 MHz(±). This is considered the best range for accurate determination of the noise contribution from multiple path interference (MPI), because it closely reflects the typical linewidths of DFB lasers, the typical laser source used in conjunction with OFA. A linewidth of 20 MHz is adequate for a minimum spacing of 7,5 m between the OFA-internal reflection points. Using narrower linewidths will lead to the undesired situation that the OFA-internal reflections interfere in a coherent way and that substantially different noise figure results are obtained. A linewidth of more than 100 MHz will cause OFA noise contributions at frequencies which are higher than the high end of the ESA bandwidth.

The relative intensity noise (RIN) of the laser source shall be less than –150 dB/Hz(±) within the frequency range of interest (for example, 10 MHz to 2 GHz).

The spontaneous emission power, relative to the signal power, shall be less than –40 dB/nm(±) in order to avoid large noise contributions from spontaneous-spontaneous mixing of the source spontaneous emission.

- 2) A built-in or external isolator, so that external reflections have no influence on the laser spectrum and on the laser relative intensity noise. The isolator shall have an optical isolation of better than 60 dB(±). The reflectance at the isolator output port shall be less than –50 dB(±).
- 3) An input attenuator with variable attenuation, >40 dB attenuation range, better than ±0,05 dB(±) linearity and external/internal reflectances of less than –50 dB(±). This attenuator serves as means of changing the source output power without changing its spectrum, relative intensity noise (RIN) or state of polarization. The purpose of this attenuator is to control the input power and to allow a distinction of shot noise from other noise sources during calibration.

NOTE Alternatively, a simpler attenuator with no linearity requirement can be used if the change of loss is measured with the electrical spectrum analyzer.

- 4) A polarization controller with the following capabilities: generation of all possible output polarization states from an arbitrary input polarization state, optical power dependence on output polarization state less than ±0,01 dB(±), and reflectances less than –50 dB(±).

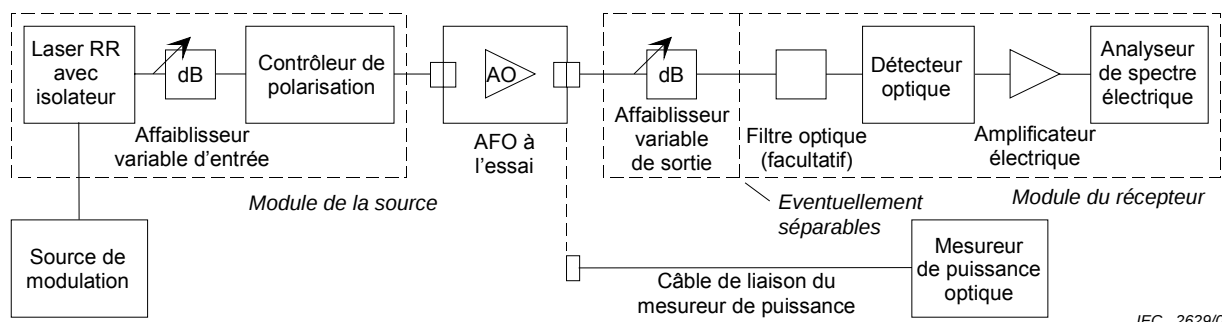


Figure 1 – Schéma d'un montage de mesure

b) Une source de modulation (c'est-à-dire un générateur de signaux) capable de générer la fréquence et l'amplitude indiquées ci-dessus.

c) Un mesureur de puissance optique avec les capacités suivantes.

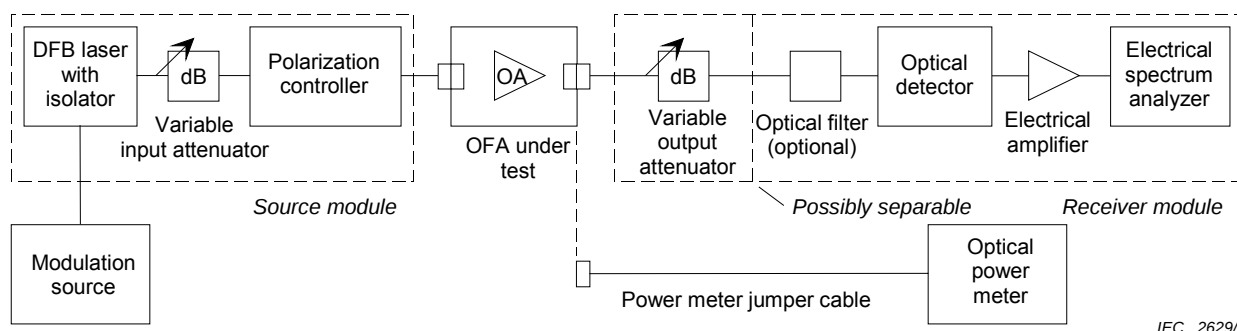
Il doit avoir la capacité de mesurer la puissance rayonnée totale du connecteur de sortie (ou fibre nue) du module de source. Il doit avoir une précision de mesure supérieure à $\pm 0,2$ dB, indépendamment de l'état de polarisation, dans la gamme de la bande de longueur d'onde fonctionnelle de l'AFO. Le niveau de puissance minimal se définit par la puissance de source à un réglage de 0 dB sur l'affaiblisseur. Le niveau maximal de puissance est fourni par la puissance de sortie de l'AFO à la puissance d'entrée la plus élevée.

Il est recommandable de rendre accessible le port de sortie de l'affaiblisseur de sortie, car, en variante, la puissance de sortie de l'AFO peut alors être mesurée par l'affaiblisseur de sortie, on réduit ainsi le besoin de mesurage à une puissance forte.

d) Un module de récepteur avec une puissance de bruit équivalente (en watts optiques/hertz) égale ou inférieure(±) au bruit relatif au BIR à la sortie du module de source au réglage de 0 dB sur l'affaiblisseur d'entrée. Le module de récepteur doit être constitué comme suit:

- 1) un affaiblisseur de sortie avec atténuation variable, avec une gamme d'atténuation supérieure à 40 dB, une linéarité supérieure à $\pm 0,05$ dB(±), une dépendance de polarisation crête à crête supérieure à 0,05 dB(±), une réponse de longueur d'onde essentiellement uniforme, des réflectances externes/internes inférieures à -50 dB(±), des capacités de niveau de puissance jusqu'à la puissance de sortie maximale de l'AFO. Le but de cet affaiblisseur est de fournir une atténuation précise avant l'entrée du détecteur;
- 2) un convertisseur O/E, de préférence une combinaison de photodétecteur avec une réflectance inférieure à -30 dB(±) et une dépendance de polarisation crête à crête supérieure à 0,05 dB(±), et un amplificateur électrique avec une entrée de grande impédance (pour réaliser un bruit thermique faible);
- 3) un analyseur de spectre électrique (ASE). Il doit avoir une gamme de fréquence dont les contributions de brouillage de trajet multiple (MPI) au facteur de bruit se décroissent à insignifiance. En général, des gammes de fréquences de 10 MHz à 2 GHz(±) achèvent ce but. Le bruit de fond de l'ASE doit être plus bas que le bruit de fond à la sortie de l'amplificateur (électrique) quand le module de la source est lié et que l'affaiblisseur d'entrée est réglé à une atténuation de 0 dB (dans ce cas, le bruit de fond de l'amplificateur comprend du bruit BIR de la source, du bruit de grenaille du détecteur et du bruit thermique de l'amplificateur électrique).

e) Câbles de liaison optiques avec diamètres du champ de mode aussi semblables que possible à ceux des fibres utilisées comme ports d'entrée et de sortie de l'AFO.



IEC 2629/02

Figure 1 – Scheme of a measurement set-up

- b) A modulation source (that is, a signal generator) capable of generating the frequency and amplitude stated above.

- c) An optical power meter with the following capabilities.

It shall be capable of measuring the total radiated power from the output connector (or bare fibre) of the source module. It shall have a measurement accuracy of better than $\pm 0,2$ dB, irrespective of the state of polarization, within the operational wavelength band of the OFA. The minimum power level is defined by the source power at 0 dB attenuator setting. The highest power level is given by the OFA output power at the highest input power.

It is advisable to make the output port of the output attenuator accessible, because then the OFA output power can alternatively be measured through the output attenuator, thereby reducing the need for high power measurement.

- d) A receiver module with a noise equivalent power (in optical watts/hertz) not larger ($\pm$) than the RIN-related noise at the output of the source module at the input attenuator 0 dB setting. The receiver module shall consist of the following components:
- 1) an output attenuator with variable attenuation, with attenuation range greater than 40 dB, linearity better than $\pm 0,05$ dB($\pm$), peak-to-peak polarization dependence better than 0,05 dB($\pm$), essentially flat wavelength-response, external/internal reflectances of less than -50 dB($\pm$), power level capabilities up to the maximum OFA output power. The purpose of this attenuator is to provide accurate attenuation before the detector input;
 - 2) an O/E converter, preferably a combination of photodetector with a reflectance of less than -30 dB($\pm$) and a peak-to-peak polarization dependence better than 0,05 dB($\pm$), and electrical amplifier with high-impedance input (to achieve low thermal noise);
 - 3) an electrical spectrum analyzer (ESA). It should have a frequency range in which any multiple path interference (MPI) contribution to the noise figure is decayed to insignificance. Usually frequency ranges from 10 MHz to 2 GHz($\pm$) fulfil this requirement. The ESA noise floor should be lower than the noise floor at the output of the (electrical) amplifier when the source module is connected and the input attenuator is set to 0 dB attenuation (in this case, the amplifier noise floor contains noise from source RIN, detector shot noise and the electrical amplifier thermal noise).
- e) Optical jumper cables with mode field diameters as close as possible to those of the fibres used as input and output ports of the OFA.

- f) Connecteurs optiques compatibles à ceux utilisés comme ports d'entrée optique de l'appareil d'essai de l'AFO, avec une répétabilité de perte supérieure à $\pm 0,1$ dB. Leur réflectance doit être inférieure à -50 dB($\pm$). En variante, on peut utiliser l'épissage optique comme méthode pour lier l'AFO au montage de mesure (on considère que cette méthode est la plus précise).
- g) Facultativement, un filtre optique pour diminuer/exclure la contribution du bruit du mélange spontané-spontané des résultats de mesure. Ce filtre doit avoir les caractéristiques suivantes: largeur de bande du filtre suffisamment étroite pour obtenir la diminution prescrite du bruit spontané-spontané, réflectances d'entrée et de sortie inférieures à -50 dB($\pm$), dépendance de polarisation crête à crête inférieure à $0,05$ dB($\pm$), affaiblissement de bande atténuée supérieure à 30 dB.

4 Echantillon d'essai

L'AFO doit fonctionner aux conditions de fonctionnement nominales. S'il est probable que l'AFO ou l'appareil d'essai présente des risques de brouillage en montage, il convient d'utiliser des isolateurs optiques pour isoler l'AFO à l'essai. Cela réduira au minimum l'instabilité de signal et l'incertitude de mesure.

Les accès optiques de l'AFO peuvent être soit des connecteurs, soit des amorces à fibre nue.

Il convient de prendre des précautions pour maintenir l'état de polarisation de la lumière d'entrée pendant la mesure. Des changements de l'état de polarisation peuvent causer des variations de la puissance optique d'entrée et des changements du bruit causés par le brouillage de trajet multiple. Il est donc nécessaire de régler l'état de polarisation d'entrée afin de maximiser le facteur de bruit.

5 Procédure

Toutes les mesures de signal et de bruit par l'analyseur de spectre électrique sont exprimées en watts électriques. Tous les résultats de la mesure de bruit sont compris comme fonction de fréquence et après la soustraction (peut-être dépendant de la fréquence) du bruit thermique (voir 5.1 point i).

Deux variantes de techniques sont possibles, la technique de balayage de fréquence et la technique de fréquence sélectionnée. La technique de balayage de fréquence est recommandée quand la dépendance de fréquence du bruit produite par l'AFO est inconnue ou non monotonique. La technique de fréquence sélectionnée peut être utilisée lorsque la puissance de bruit totale $N_1(f)$ (avec l'AFO inséré et en excluant le bruit thermique) est approximativement indépendante de la fréquence (c'est-à-dire lorsque la contribution du bruit de brouillages de trajet multiple est négligeable) ou se dégrade monotoniquement par relation à la fréquence (c'est-à-dire lorsque la contribution du bruit de brouillages de trajet multiple est essentiellement incohérente).

5.1 Technique de balayage de fréquence

5.1.1 Etalonnage

Dans cette procédure, le bruit de grenaille dépendant de la fréquence et le bruit d'intensité du laser demandent des précisions uniques. Pour atteindre cet objectif, on doit mesurer le bruit aux différents niveaux de puissance optique, afin de distinguer les deux types de bruit. Cette procédure ne demande accès ni au courant photoélectrique ni à la sortie de l'affaiblisseur de sortie. Il est supposé que les affaiblisseurs sont linéaires, c'est-à-dire que le réglage d'un affaiblissement de 3 dB diminue par 3 dB le niveau de puissance.

- f) Optical connectors compatible with those used as optical input ports of the OFA test device, with a loss repeatability of better than $\pm 0,1$ dB. Their reflectance shall be less than -50 dB($\pm$). Alternatively, optical splicing can be used as a method for connecting the OFA to the measurement set-up (this is considered the most accurate method).
- g) Optionally, an optical filter to reduce/exclude the noise contribution from spontaneous-spontaneous mixing from the measurement results. The filter shall have the following properties: filter bandwidth sufficiently small to obtain the desired reduction of the spontaneous-spontaneous noise, input and output reflectances less than -50 dB($\pm$), peak-to-peak polarization dependence less than $0,05$ dB($\pm$), stop-band attenuation greater than 30 dB.

4 Test sample

The OFA shall operate at nominal operating conditions. If the OFA or the test apparatus is likely to cause optical interference problems in the set-up, optical isolators should be used to bracket the OFA under test. This will minimize the signal instability and the measurement uncertainty.

The OFA optical ports may be optical connectors or bare fibre pigtails.

Care should be taken in maintaining the state of polarization of the input light during the measurement. Changes in the polarization state may result in changes of the optical input power and in changes of the noise due to multiple path interference. Therefore, it is necessary to adjust the input polarization state in order to maximize the noise figure.

5 Procedure

All signal and noise measurements with the electrical spectrum analyzer are expressed in electrical watts. All noise measurement results are to be understood as a function of frequency and after subtraction of the (possibly frequency dependent) thermal noise (see 5.1, item i).

Two alternative techniques are possible, namely the frequency-scanning technique and the selected-frequency technique. The frequency-scanning technique is advisable when the frequency-dependence of the noise produced by the OFA is unknown or non-monotonic. The selected-frequency technique may be used when the total noise power $N_1(f)$ (with the OFA inserted and excluding the thermal noise) either is approximately frequency independent (that is, when the noise contribution from multi-path interference is negligible) or decays monotonically with the frequency (that is, when the noise contribution from multi-path interference is essentially incoherent).

5.1 Frequency-scanning technique

5.1.1 Calibration

In this procedure, the frequency-dependent shot noise and laser intensity noise must be determined separately. To accomplish this, the noise shall be measured at the different optical power levels, in order to distinguish the two kinds of noise. This procedure does not require access to the photocurrent or the output of the output attenuator. It is assumed that the attenuators are linear, that is to say that setting an attenuation of 3 dB reduces the power level by 3 dB.

Il est attendu que le réglage du contrôleur de polarisation a une faible influence sur les résultats d'étalonnage.

Toutes les mesures de bruit énumérées ci-dessous sont à effectuer comme fonction de la fréquence de bande de base, dans la gamme de fréquences spécifiée dans la spécification particulière correspondante. Il convient d'estimer la valeur du bruit à la fréquence de modulation par interpolation.

On doit suivre la procédure d'étalonnage suivante.

- a) Pour l'ASE, choisir une gamme de fréquences de bande de base appropriée et des échelons de mesure dans les bords de cette gamme (par exemple, une gamme de 10 MHz à 2 GHz avec des échelons de 5 MHz).

NOTE Il convient que la gamme de fréquences de bande de base soit au minimum 30(±) fois plus large que la largeur de raie FWHM de la source, $\Delta\nu$ (avec modulation).

- b) Régler les conditions de polarisation du laser appropriées. Ne changer ces conditions ni en étalonnant ni en mesurant.
- c) Régler les affaiblisseurs d'entrée et de sortie à 0 dB (pour une meilleure précision de mesure).
- d) Régler la fréquence de modulation de la source et l'amplitude de modulation, (par exemple, vers 200 MHz et 5 %, respectivement). Il convient de choisir la fréquence de modulation où le BIR et le MPI sont faibles.

Il est recommandé d'utiliser une fréquence de modulation au moins trois fois plus haute que la largeur de raie de la source. Régler la source de modulation par accord. La modulation doit rester constante au cours de l'étalonnage et de la mesure.

- e) Mesurer la puissance d'entrée moyennée du temps de l'AFO, $P_{in,0}$, avec un mesureur de puissance.
- f) Mesurer l'indice de modulation aussi précisément que possible. Il y a deux possibilités qui dépendent de la connaissance de la fonction de transfert du module du récepteur $H(f)$. Si l'on connaît $H(f)$, mesurer la puissance d'entrée moyennée de temps, $P_{in,0}$, et la puissance du signal, S_0 , par un analyseur de spectre électrique. Enfin, faire le calcul de m en utilisant:

$$m = \frac{1}{P_{in,0}} \sqrt{\frac{S_0}{H(f)}} \quad (1)$$

où

$$H(f) = \frac{S_0}{\Delta P_{in,rms}^2}$$

$\Delta P_{in,rms}$ = l'amplitude de modulation de la puissance optique VMQ à l'entrée du module de récepteur.

Si l'on ne connaît pas $H(f)$, on peut mesurer m avec un oscilloscope: connecter la source laser modulée à une combinaison d'une photodétecteur de largeur de bande large, d'une résistance de charge et d'un oscilloscope avec une largeur de bande suffisamment haute. En prenant cette mesure, il est supposé que la réponse de fréquence du photodétecteur et celle de l'oscilloscope sont uniformes jusqu'à la fréquence de modulation. Mesurer l'amplitude de la modulation de puissance optique et la puissance optique moyenne avec l'oscilloscope.

It is expected that the setting of the polarization controller has negligible influence on the calibration results.

All noise measurements listed below are to be made as a function of the baseband frequency, within the frequency range specified in the relevant detail specification. The noise value at the modulation frequency should be estimated by interpolation.

The following calibration procedure shall be followed.

- a) For the ESA, select a suitable baseband frequency range and measurement steps within this range (for example, a range from 10 MHz to 2 GHz with a step of 5 MHz).

NOTE The baseband frequency range should be at least 30(±) times larger than the source FWHM linewidth, $\Delta\nu$ (with modulation on).

- b) Set suitable laser bias conditions. Do not change these conditions during calibration or measurement.
- c) Set input and output attenuators to 0 dB (for best measurement accuracy).
- d) Set the source modulation frequency and modulation amplitude (for example, around 200 MHz and 5 %, respectively). The modulation frequency should be chosen where RIN and MPI are small.

It is advisable to use a modulation frequency at least three times higher than the linewidth of the source. Adjust modulation source accordingly. The modulation shall remain constant during the entire calibration and measurement.

- e) Measure the time-averaged OFA input power, $P_{in,0}$, with a power meter.
- f) Measure the modulation index as accurately as possible. There are two possibilities, depending on whether or not the transfer function of the receiver module $H(f)$ is known. If $H(f)$ is known, then measure the time-averaged input power, $P_{in,0}$, and the signal power, S_0 , with the electrical spectrum analyzer. Then calculate m using:

$$m = \frac{1}{P_{in,0}} \sqrt{\frac{S_0}{H(f)}} \quad (1)$$

where

$$H(f) = \frac{S_0}{\Delta P_{in,rms}^2}$$

$\Delta P_{in,rms}$ = RMS optical power modulation amplitude at input of receiver module.

If $H(f)$ is unknown, then m can be measured with an oscilloscope: connect the modulated laser source to a combination of wide bandwidth photodetector, load resistor and oscilloscope with sufficiently high bandwidth. In this measurement, it is assumed that the frequency response of both the photodetector and the oscilloscope are flat up to the modulation frequency. Measure the optical power modulation amplitude and average optical power with the oscilloscope.

Calculer m en utilisant

$$m = \frac{\Delta P_{in,rms}}{P_{in,0}} \quad (2)$$

où

$\Delta P_{in,rms}$ est l'amplitude de modulation de la puissance optique VMQ;

$P_{in,0}$ est la puissance optique moyennée du temps à l'entrée de l'AFO.

NOTE Les photodétecteurs n'ont pas toujours de réponse de fréquence uniforme. Certains photodétecteurs montrent un décroissement de réponse de fréquence aux fréquences extrêmement moins rapides que celles fournies par la capacité du détecteur parasite.

- g) Mesurer la largeur de raie de la source, $\Delta\nu$. D'habitude, on utilise deux méthodes pour mesurer les largeurs de raies:

- méthode de détection hétérodyne: en utilisant cette méthode, le spectre de source est ajouté au spectre d'un laser accordable pour générer un spectre de battement sur le photodétecteur que l'on peut analyser avec un analyseur de spectre électrique;
- méthode de détection auto-hétérodyne: en utilisant cette méthode, le spectre de source est envoyé par un interféromètre Mach-Zehnder avec deux bras de longueurs suffisamment inégales. Puis le photodétecteur mélange le spectre avec sa variante en délai. On peut analyser le spectre de battement avec un analyseur de spectre électrique.

Il y a une description plus détaillée de cette mesure, utilisant la méthode de détection auto-hétérodyne, en 4.8 de la CEI 60728-6.

- h) Enregistrer la largeur de bande électrique (étalonnée, équivalente en bruit, B_e , de l'ASE.

Se référer à la documentation d'instrument pour savoir comment obtenir/étalonner la largeur de bande électrique.

- i) Mesurer le bruit thermique, $N_{thermal}(f)$, avec l'ASE à puissance optique d'entrée nulle. Soustraire $N_{thermal}(f)$ de toutes les autres mesures de bruit. Être conscient du besoin d'un bruit thermal suffisamment bas pour éviter de l'incertitude pendant cette soustraction (voir 5.3).

- j) Mesurer la puissance électrique du signal de modulation, S_0 .

- k) Mesurer le bruit dépendant de la fréquence, $N_0(f)$ (cette quantité comprend le bruit de grenaille et le bruit BIR du laser; le bruit thermique est déjà soustrait).

- l) Utiliser l'affaiblisseur d'entrée pour réduire la puissance optique d'entrée à 50 % (3 dB). Cela est égal à une réduction de puissance du signal électrique de 6 dB.

Mesurer le niveau de bruit dépendant de la fréquence, $N_0'(f)$.

Comme variante, utiliser un facteur d'atténuation différent pour réduire la puissance d'entrée. Cela est recommandé quand le niveau de bruit thermique de l'ASE est trop haut pour un affaiblissement de 3 dB.

Enregistrer le facteur de réduction de puissance optique, k (par défaut $k = 0,5$).

Mesurer le niveau de bruit dépendant de la fréquence, $N_0'(f)$.

Si le module du récepteur permet l'accès au courant photoélectrique, alors les étapes k) et l) peuvent être remplacées en variante par les étapes suivantes:

- k') Mesurer le courant du photodétecteur, $I_{pd,0}$, avec la puissance optique à l'entrée, $P_{in,0}$, mise en application à l'entrée du module du récepteur comme auparavant.

- l') Mesurer le niveau de bruit dépendant de la fréquence, $N_0(f)$ (bruit thermique soustrait).

Calculate m , using

$$m = \frac{\Delta P_{\text{in,rms}}}{P_{\text{in,0}}} \quad (2)$$

where

$\Delta P_{\text{in,rms}}$ is the RMS optical power modulation amplitude;

$P_{\text{in,0}}$ is the time-averaged optical power at the input of the OFA.

NOTE Photodetectors do not necessarily have flat frequency response. Some photodetectors exhibit a drop in frequency response at frequencies much lower than those given by the detector parasitic capacitance.

- g) Measure the linewidth of the source, $\Delta\nu$. Two methods are commonly used in linewidth measurements:

- heterodyning method: in this method, the source spectrum is added to the spectrum of a tunable laser to create a beat spectrum on the photodetector that can be analyzed with the electrical spectrum analyzer;
- self-heterodyning method: in this method, the source spectrum is sent through a Mach-Zehnder interferometer with two arms of sufficiently unequal length. Then the photodetector mixes the spectrum with its delayed version. The beat spectrum can be analyzed on the electrical spectrum analyzer.

A more detailed description of this measurement, using the self-heterodyning method, is given in 4.8 of IEC 60728-6.

- h) Record the (calibrated, noise equivalent) electrical bandwidth, B_e , of the ESA.

Refer to the instrument documentation on how to obtain/calibrate the electrical bandwidth.

- i) Measure the thermal noise, $N_{\text{thermal}}(f)$, with the ESA at no optical input power. Subtract $N_{\text{thermal}}(f)$ from all further noise measurements. Be mindful of the need for sufficiently low thermal noise to avoid uncertainty in this subtraction (see 5.3).
- j) Measure the electrical power of the modulation signal, S_0 .
- k) Measure the frequency-dependent noise, $N_0(f)$ (this quantity includes shot noise and laser RIN noise; thermal noise is already subtracted).
- l) Use the input attenuator to reduce the optical input power to 50 % (3 dB). This is equivalent to a reduction of the electrical signal power by 6 dB.

Measure the frequency-dependent noise level, $N_0'(f)$.

Alternatively, use a different attenuation factor for reduction of the input power. This may be advisable when the ESA thermal noise level for 3 dB attenuation is too high.

Record the optical power reduction factor, k (default $k = 0,5$).

Measure the frequency-dependent noise level, $N_0'(f)$.

If the receiver module allows access to the photocurrent, then steps k) and l) can alternatively be replaced by the following ones:

- k') Measure the photodetector current, $I_{\text{pd,0}}$, with optical input power, $P_{\text{in,0}}$, applied to the input of the receiver module as before.
- l') Measure the frequency-dependent noise level, $N_0(f)$ (thermal noise subtracted).

5.1.2 Mesure

- a) Régler la puissance d'entrée en utilisant le réglage approprié de l'affaiblisseur d'entrée. Utiliser la même condition de fonctionnement du laser et le même signal de modulation qu'en 5.1.1.

Enregistrer le facteur d'émission de l'affaiblisseur (linéaire), T_{in} .

Comme variante, mesurer la puissance d'entrée réelle, P_{in} , avec un mesureur de puissance.

- b) Insérer l'AFO.

- c) Mesurer la puissance optique totale à la sortie de l'AFO, P_{out} , par un mesureur de puissance optique. Il est possible qu'un câble de liaison soit nécessaire si l'on ne peut pas connecter directement le port de sortie de l'AFO au mesureur de puissance, dans ce cas, on doit estimer la perte d'insertion de la paire de connecteurs supplémentaire et augmenter la puissance mesurée pour obtenir la vraie puissance de sortie de l'AFO.

Si l'on a accès au port de sortie de l'affaiblisseur de sortie, il peut être avantageux de mesurer la puissance de sortie par l'affaiblisseur.

- d) Régler l'affaiblisseur de sortie de façon à pouvoir mesurer avec la meilleure précision la puissance du signal de l'ASE. Enregistrer le facteur d'émission de l'affaiblisseur, T_{out} .
- e) Changer l'état de polarisation d'entrée jusqu'au point où la puissance de bruit totale, $N_1(f)$, arrive au maximum. Mesurer et enregistrer la puissance de bruit totale, $N_1(f)$, avec l'ASE. Utiliser les mêmes fréquences de bande de base utilisées pour l'étalonnage, comme en 5.1.1.
- f) Enregistrer la puissance de signal, S_1 .

5.2 Technique de fréquence sélectionnée: étalonnage et mesure

On doit suivre les étapes a) à c) si $N_1(f)$ est approximativement indépendante de la fréquence.

- a) Choisir une fréquence appropriée, f_1 (par exemple, 100 MHz).
- b) Suivre les étapes b) à l) de 5.1.1, en faisant toutes les mesures de bruit dépendant de la fréquence à f_1 seulement.
- c) Suivre les étapes a) à f) de 5.1.2 en faisant toutes les mesures de bruit dépendant de la fréquence à f_1 seulement.

On doit suivre les étapes a') à d') si $N_1(f)$ se dégrade d'une manière monotonique au rapport de fréquence.

- a') Choisir une première fréquence, f_1 , comme celle pour laquelle la puissance de bruit totale, $N_1(f)$, est suffisamment plus forte que la puissance de bruit totale à la limite supérieure de la gamme de fréquences. Présumer que le brouillage de trajet multiple (non cohérent) a une influence sur la valeur de cette fréquence.
- b') Choisir une deuxième fréquence, f_2 , comme celle pour laquelle la puissance de bruit totale, $N_1(f)$, s'est dégradée à une valeur de régime permanent. Présumer que cette valeur représente un bruit sans aucune contribution le brouillage de trajet multiple.
- c') Suivre les étapes b) à l) de 5.1.1, en faisant toutes les mesures de bruit dépendant de la fréquence à f_1 et à f_2 seulement.
- d') Suivre les étapes a) à f) de 5.1.2, en faisant toutes les mesures de bruit dépendant de la fréquence à f_1 et à f_2 seulement.

5.1.2 Measurement

- a) Set the input power using appropriate setting of input attenuator. Use the same laser operation condition and modulation signal as in 5.1.1.

Record the (linear) attenuator transmission factor, T_{in} .

Alternatively, measure the actual input power, P_{in} , with the power meter.

- b) Insert the OFA.
- c) Measure the total optical power at OFA output, P_{out} , with the optical power meter. A jumper cable may be necessary if the OFA output port cannot be directly connected to the power meter; in this case, the insertion loss of the additional connector pair has to be estimated, and the measured power has to be increased to obtain the true OFA output power.
- If the output port of the output attenuator is accessible, it may be advantageous to measure the output power through the attenuator.
- d) Set the output attenuator so that the ESA signal power can be measured with best accuracy. Record attenuator transmission factor, T_{out} .
- e) Change the input polarization state until the total noise power, $N_1(f)$, reaches a maximum. Measure and record the total noise power, $N_1(f)$, with the ESA. Use the same baseband frequencies used for calibration, as in 5.1.1.
- f) Record the signal power, S_1 .

5.2 Selected-frequency technique: calibration and measurement

The procedure a) through c) shall be followed if $N_1(f)$ is approximately frequency independent.

- a) Select a suitable frequency, f_1 (for example, 100 MHz).
- b) Follow steps b) to l) of 5.1.1, performing all frequency-dependent noise measurements at f_1 only.
- c) Follow steps a) to f) of 5.1.2, performing all frequency-dependent noise measurements at f_1 only.

The procedure a') through d') shall be followed if $N_1(f)$ decays monotonically with frequency.

- a') Select a first frequency, f_1 , as the one at which the total noise power, $N_1(f)$, is sufficiently larger than the total noise power at the upper bound of the frequency range. This value is assumed to be influenced by (non-coherent) multiple path interference.
- b') Select a second frequency, f_2 , as the one at which the total noise power, $N_1(f)$, has decayed to a steady-state value. This value is assumed to represent a noise without any contribution from multiple path interference.
- c') Follow steps b) to l) of 5.1.1, performing all frequency-dependent noise measurements at f_1 and f_2 only.
- d') Follow steps a) to f) of 5.1.2, performing all frequency-dependent noise measurements at f_1 and f_2 only.

5.3 Limites de la précision de mesure

En étalonnage, on prévoit une bonne précision de mesure où le bruit thermique du module de récepteur, mesuré par l'ASE à puissance optique d'entrée nulle, est au minimum 3 dB(±) inférieur au bruit de grenaille du photodétecteur.

$$N_{\text{thermal}} \leq N_{\text{shot},0} - 3 \text{ dB} \quad (3)$$

En mesurant le bruit de l'appareil d'essai de l'AFO, on prévoit la plus forte limitation du bruit fourni par la source BIR, parce que cette contribution de puissance de bruit s'accroît avec la valeur carrée de la puissance du signal de sortie, tandis que le bruit de grenaille et le bruit relatif à l'AFO montrent typiquement une dépendance significativement plus faible sur la puissance du signal de sortie.

On prévoit une bonne précision en mesurant l'appareil d'essai de l'AFO quand la contribution du bruit de la source BIR est inférieure à celui du bruit de grenaille du photodétecteur à la plus haute puissance de l'AFO d'entrée (par exemple, 0 dBm). Ceci repose sur l'hypothèse que l'on augmente la valeur d'atténuation pour supporter de plus hauts niveaux de puissance prévus de la sortie de l'AFO.

$$N_{\text{rin},0} \leq N_{\text{shot},0} \quad (4)$$

Il convient de vérifier que les relations (3) et (4) sont valides aux conditions de mesure.

6 Calcul

Tous les résultats des mesures de bruit sont compris comme fonction de fréquence. Toutes les équations dans cet article sont en forme linéaire, non logarithmique.

NOTE Les données de base pour les calculs présentés dans cet article sont trouvées dans la CEI/TR 61292-2.

6.1 Calcul des résultats d'étalonnage

Utiliser les deux puissances de bruit mesurées de l'ASE afin de séparer les contributions du bruit de grenaille et celles du BIR.

- a) Calculer la contribution du bruit de grenaille à la puissance de bruit de l'ASE (il convient que cette quantité ne dépende pas de la fréquence) comme

$$N_{\text{shot},0} = 4N_0'(f) - N_0(f) \quad (5)$$

Si l'on a choisi un facteur de réduction de puissance différent de $k = 0,5$, utiliser l'équation suivante:

$$N_{\text{shot},0} = \frac{N_0'(f) - k^2 N_0(f)}{k(1-k)} \quad (6)$$

- b) Calculer la contribution de bruit d'intensité relative de la source (BIR) (dépendante de la fréquence) à la puissance de bruit de l'ASE comme

$$N_{\text{rin},0}(f) = 2N_0(f) - 4N_0'(f) \quad (7)$$

Si l'on a choisi un facteur de réduction de puissance différent de $k = 0,5$, utiliser l'équation suivante:

$$N_{\text{rin},0}(f) = \frac{kN_0(f) - N_0'(f)}{k(1-k)} \quad (8)$$

5.3 Measurement accuracy limitations

In the calibration procedure, good measurement accuracy is expected when the thermal noise of the receiver module, as measured with the ESA at zero optical input power, is at least 3 dB(±) smaller than the shot noise from the photodetector.

$$N_{\text{thermal}} \leq N_{\text{shot},0} - 3 \text{ dB} \quad (3)$$

In the noise measurement of the OFA test device, the strongest limitation is expected from the noise caused by source RIN, because this noise power contribution rises with the square of the signal output power; whereas the shot noise and the OFA-related noise typically exhibit a much smaller dependence on signal output power.

Good accuracy in the measurement of the OFA test device is expected when the noise contribution from source RIN is at least smaller than the noise contribution from photodetector shot noise at the highest OFA input power (for example, 0 dBm). This is based on the assumption that the attenuation value will be increased to accommodate the higher power levels expected from the OFA output.

$$N_{\text{rin},0} \leq N_{\text{shot},0} \quad (4)$$

It is advisable to verify that relations (3) and (4) are valid in the measurement conditions.

6 Calculation

All noise measurement results are to be understood as a function of frequency. All equations in this clause are in linear, not logarithmic form.

NOTE The background for the calculations presented in this clause is reported in IEC/TR 61292-2.

6.1 Calculation of calibration results

Use the two measured ESA noise powers in order to separate shot noise and RIN contributions.

- a) Calculate shot noise contribution to the ESA noise power (this quantity should not depend on the frequency) as

$$N_{\text{shot},0} = 4N_0'(f) - N_0(f) \quad (5)$$

If a power reduction factor other than $k = 0,5$ was chosen, then use the following equation:

$$N_{\text{shot},0} = \frac{N_0'(f) - k^2 N_0(f)}{k(1-k)} \quad (6)$$

- b) Calculate the contribution from the (frequency-dependent) source relative intensity noise (RIN) to the ESA noise power as

$$N_{\text{rin},0}(f) = 2N_0(f) - 4N_0'(f) \quad (7)$$

If a power reduction factor other than $k = 0,5$ was chosen, then use the following equation:

$$N_{\text{rin},0}(f) = \frac{kN_0(f) - N_0'(f)}{k(1-k)} \quad (8)$$

- b') Si l'on a choisi la variante de mesure du courant du photodétecteur, calculer la réceptivité du photodétecteur (qui comprend la perte de l'affaiblisseur de sortie à une atténuation de 0 dB) comme

$$r_0 = \frac{I_{pd,0}}{P_{in,0}} \quad (9)$$

et calculer les contributions du bruit de grenaille et du BIR en utilisant les équations suivantes:

$$N_{shot,0} = \frac{2e \times B_e S_0}{r_0 \times m^2 P_{in,0}} \quad (10)$$

$$N_{rin,0}(f) = N_0(f) - N_{shot,0} \quad (11)$$

- c) Calculer le BTR de source (dépendant de la fréquence) (et vérifier qu'il est inférieur à -150 dB/Hz(±)) comme

$$RIN_{source}(f) = \frac{2e \times N_{rin,0}(f)}{r_0 P_{in,0} \times N_{shot,0}} \quad (1/Hz) \quad (12)$$

$$RIN_{source}^{log}(f) = 10 \log [RIN_{source}(f)] \quad (dB/Hz) \quad (13)$$

Dans cette procédure, il suffit de connaître la valeur approximative du BIR. Cette quantité n'est pas nécessaire pour calculer les résultats d'essai. Donc, il peut être suffisant d'estimer la valeur de r_0 dans l'équation (12).

6.2 Calcul des résultats pour la technique de balayage de fréquence

Les équations ci-dessous utilisent les résultats d'étalonnage et de mesure suivants qui sont calculés d'avance:

- résultats obtenus par étalonnage: $P_{in,0}$, m , Δv , $N_{thermal}(f)$, S_0 , $N_{shot,0}$, $N_{rin,0}(f)$, B_e .
- résultats obtenus par mesures: T_{in} , T_{out} , P_{out} , S_1 , $N_1(f)$.

- a) Calculer le facteur de bruit linéaire (dépendant de la fréquence) et le facteur de bruit comme

$$F(f) = \frac{P_{out}}{G^2 P_{in}} + \frac{m^2 P_{in}}{2h\nu B_e} \times \frac{N_{OFA,1}(f)}{S_1} \quad (14)$$

$$NF(f) = 10 \log F(f)$$

où

$$\frac{N_{OFA,1}(f)}{S_1} = \frac{N_1(f)}{S_1} - \frac{N_{rin,0}(f)}{S_0} - \frac{N_{shot,0}}{S_1} \times \frac{T_{out} P_{out}}{P_{in,0}}$$

$$G = \frac{1}{T_{in} T_{out}} \sqrt{\frac{S_1}{S_0}}$$

$$P_{in} = T_{in} P_{in,0}$$

- b) S'il n'y a qu'une légère variation du facteur de bruit par rapport à la fréquence, utiliser le facteur de bruit linéaire pour calculer le facteur de bruit.
- c) Si l'AFO fournit un bruit de brouillage de trajet multiple (MPI), on prévoit que le facteur de bruit linéaire décroît par rapport à la fréquence et se stabilise à une valeur aux hautes fréquences (voir CEI 61290-3). Calculer donc le facteur de bruit pour un nombre suffisamment grand de fréquences de bande de base.

- b') If the photodetector current measurement alternative was chosen, then calculate the effective photodetector responsivity (which includes the loss of the output attenuator at 0 dB attenuation) as

$$r_0 = \frac{I_{pd,0}}{P_{in,0}} \quad (9)$$

and calculate the shot and RIN contributions using the following equations:

$$N_{shot,0} = \frac{2e \times B_e S_0}{r_0 \times m^2 P_{in,0}} \quad (10)$$

$$N_{rin,0}(f) = N_0(f) - N_{shot,0} \quad (11)$$

- c) Calculate the (frequency-dependent) source RIN (and verify that it is less than –150 dB/Hz(†)) as

$$RIN_{source}(f) = \frac{2e \times N_{rin,0}(f)}{r_0 P_{in,0} \times N_{shot,0}} \quad (1/Hz) \quad (12)$$

$$RIN_{source}^{log}(f) = 10 \log [RIN_{source}(f)] \quad (dB/Hz) \quad (13)$$

For the purpose of this procedure, it is sufficient to know the approximate RIN value. This quantity is not needed for the calculation of the test results. Therefore, it may be sufficient to estimate the value of r_0 in equation (12).

6.2 Calculation of test results for the frequency-scanning technique

The equations below make use of the following previously calculated calibration results and measurement results:

- results obtained from calibration: $P_{in,0}$, m , ΔV , $N_{thermal}(f)$, S_0 , $N_{shot,0}$, $N_{rin,0}(f)$, B_e .
- results obtained from measurement: T_{in} , T_{out} , P_{out} , S_1 , $N_1(f)$.

- a) Calculate the (frequency-dependent) noise factor and noise figure as

$$F(f) = \frac{P_{out}}{G^2 P_{in}} + \frac{m^2 P_{in}}{2h\nu B_e} \times \frac{N_{OFA,1}(f)}{S_1} \quad (14)$$

$$NF(f) = 10 \log F(f)$$

where

$$\frac{N_{OFA,1}(f)}{S_1} = \frac{N_1(f)}{S_1} - \frac{N_{rin,0}(f)}{S_0} - \frac{N_{shot,0}}{S_1} \times \frac{T_{out} P_{out}}{P_{in,0}}$$

$$G = \frac{1}{T_{in} T_{out}} \sqrt{\frac{S_1}{S_0}}$$

$$P_{in} = T_{in} P_{in,0}$$

- b) If there is only a small change of noise figure with frequency, then use the frequency-averaged noise factor to calculate the noise figure.
- c) If the OFA produces multiple interference (MPI) noise, then the noise factor is expected to decrease with frequency and to reach a stable value at high frequencies (see IEC 61290-3). Thus calculate the noise figure at a sufficiently large number of baseband frequencies.

- d) Facultativement, si le facteur de bruit se dégrade monotoniquement par rapport à la fréquence de bande de base, calculer le facteur de mérite MPI, I_{mpi} , et la contribution indépendante de la fréquence au facteur de bruit linéaire total, $F_{\text{non-mpi}}$, par l'ajustage de moindre carré des facteurs de bruit (dépendants de la fréquence) calculés et la largeur de raie mesurée de la source au modèle de facteur de bruit suivant:

$$NF(f) = 10 \log \left(F_{\text{non-mpi}} + \frac{2I_{\text{mpi}}}{\pi} \times \frac{\Delta\nu}{f^2 + \Delta\nu^2} \right) \quad (15)$$

NOTE On peut calculer $F_{\text{non-mpi}}$ comme le facteur de bruit linéaire aux hautes fréquences, pour lesquelles la contribution de bruit venant de MPI s'est dégradée à une valeur insignifiante.

- e) Facultativement, si la contribution spontanée-spontanée au facteur de bruit est soit exclue par filtrage optique, soit connue comme étant négligeable, calculer le facteur de bruit signal-spontané (de $F_{\text{non-mpi}}$, et G précisés en avance) comme

$$NF_{\text{sig-sp}} = 10 \log \left(F_{\text{non-mpi}} - \frac{1}{G} \right) \quad (16)$$

6.3 Calcul des résultats de l'essai pour la technique de fréquence sélectionnée

Si le facteur de bruit est essentiellement indépendant de la fréquence, calculer la moyenne du facteur de bruit linéaire et puis le facteur de bruit comme en 6.2.

Si le facteur de bruit se dégrade monotoniquement par rapport à la fréquence de bande de base, ne calculer que les facteurs de bruit, F_1 et F_2 , aux deux fréquences f_1 et f_2 comme en 6.2. Calculer donc le facteur de mérite MPI, I_{mpi} , et la contribution indépendante de la fréquence au facteur de bruit linéaire total, $F_{\text{non-mpi}}$, comme

$$F_{\text{non-mpi}} = F_2 \quad (17)$$

$$I_{\text{mpi}} = (F_1 - F_2) \frac{\pi}{2} \left(\frac{f_1^2 + \Delta\nu^2}{\Delta\nu} \right) \quad (18)$$

Enfin, calculer le facteur de bruit à une fréquence de bande de base f (ou aux différentes fréquences) comme

$$NF(f) = 10 \log \left(F_{\text{non-mpi}} + \frac{2I_{\text{mpi}}}{\pi} \frac{\Delta\nu}{f^2 + \Delta\nu^2} \right) \quad (19)$$

7 Résultats d'essai

On doit présenter les spécifications suivantes.

- Disposition du montage de l'essai et méthode de mesure
- Longueur(s) d'onde de la mesure
- Largeur de raie spectrale (pleine largeur à mi-hauteur) de la source
- BIR de la source optique
- Amplitude de modulation et fréquence de la source optique
- Indication de la puissance de pompe optique (si applicable et nécessaire)
- Température ambiante (si nécessaire)

- d) Optionally, if the noise figure decays monotonically with baseband frequency, calculate the MPI figure of merit, I_{mpi} , and the frequency-independent contribution to total noise factor, $F_{\text{non-mpi}}$, by least-square fit of the calculated (frequency-dependent) noise factors and the measured linewidth of the source to the following noise figure model:

$$NF(f) = 10 \log \left(F_{\text{non-mpi}} + \frac{2I_{\text{mpi}}}{\pi} \times \frac{\Delta\nu}{f^2 + \Delta\nu^2} \right) \quad (15)$$

NOTE $F_{\text{non-mpi}}$ can be calculated as the noise factor at high frequencies, at which the noise contribution from MPI has decayed to insignificance.

- e) Optionally, if the spontaneous-spontaneous contribution to noise figure is either excluded by optical filtering or known to be negligible, calculate the signal-spontaneous noise figure (from $F_{\text{non-mpi}}$ and G previously determined) as

$$NF_{\text{sig-sp}} = 10 \log \left(F_{\text{non-mpi}} - \frac{1}{G} \right) \quad (16)$$

6.3 Calculation of test results for the selected-frequency technique

If the noise figure is essentially frequency-independent, then calculate the average noise factor and then the noise figure as in 6.2.

If the noise figure decays monotonically with the baseband frequency, then calculate only the noise factors, F_1 and F_2 , at the two frequencies f_1 and f_2 as in 6.2. Thus calculate the MPI figure of merit, I_{mpi} , and the frequency-independent contribution to total noise factor, $F_{\text{non-mpi}}$, as

$$F_{\text{non-mpi}} = F_2 \quad (17)$$

$$I_{\text{mpi}} = (F_1 - F_2) \frac{\pi}{2} \left(\frac{f_1^2 + \Delta\nu^2}{\Delta\nu} \right) \quad (18)$$

Finally calculate the noise figure at baseband frequency f (or at different frequencies) as

$$NF(f) = 10 \log \left(F_{\text{non-mpi}} + \frac{2I_{\text{mpi}}}{\pi} \frac{\Delta\nu}{f^2 + \Delta\nu^2} \right) \quad (19)$$

7 Test results

The following details shall be presented.

- Arrangement of the test set-up and measurement method
- Wavelength(s) of the measurement
- Spectral linewidth (full width at half maximum) of the source
- RIN of the optical source
- Modulation amplitude and frequency of the optical source
- Indication of the optical pump power (if applicable and required)
- Ambient temperature (if required)

- h) Puissance optique du signal d'entrée
- i) Résolution en largeur de bande de l'analyseur de spectre électrique
- j) Facteur de bruit NF et la fréquence de bande de base correspondante ou, en variante, facteur de bruit dépendant de la fréquence
- k) Contribution indépendante de la fréquence au facteur de bruit, $F_{\text{non-mpi}}$, et le facteur de mérite, MPI, I_{mpi} (si nécessaire)
- l) Facteur de bruit signal spontané (si nécessaire)

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 61290-3-2:2003