

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

61290-3

Première édition
First edition
2000-05

**Amplificateurs à fibres optiques –
Spécification de base –**

**Partie 3:
Méthodes d'essai des paramètres
du facteur de bruit**

**Optical fibre amplifiers –
Basic specification –**

**Part 3:
Test methods for noise figure parameters**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 61290-3:2000

Numéros des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000.

Publications 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.

Validité de la présente publication

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 la date de reconfirmation de la publication sont disponibles dans le Catalogue de la CEI.

Les renseignements relatifs à des questions à l'étude et des travaux en cours entrepris par le comité technique qui a établi cette publication, ainsi que la liste des publications établies, se trouvent dans les documents ci-dessous:

- **«Site web» de la CEI***
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement
(Catalogue en ligne)*
- **Bulletin de la CEI**
Disponible à la fois au «site web» de la CEI* et comme périodique imprimé

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI).

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60027: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*, la CEI 60417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*, et la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas*.

* Voir adresse «site web» sur la page de titre.

Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series.

Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. 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.

Validity of this publication

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 the date of the reconfirmation of the publication is available in the IEC catalogue.

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 to be found at the following IEC sources:

- **IEC web site***
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates
(On-line catalogue)*
- **IEC Bulletin**
Available both at the IEC web site* and as a printed periodical

Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV).

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams*.

* See web site address on title page.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

61290-3

Première édition
First edition
2000-05

**Amplificateurs à fibres optiques –
Spécification de base –**

**Partie 3:
Méthodes d'essai des paramètres
du facteur de bruit**

**Optical fibre amplifiers –
Basic specification –**

**Part 3:
Test methods for noise figure parameters**

© IEC 2000 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
Telefax: +41 22 919 0300

3, rue de Varembe Geneva, Switzerland
e-mail: inmail@iec.ch IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

L

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

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	4
INTRODUCTION	6
Articles	
1 Domaine d'application et objet.....	8
2 Références normatives.....	8
3 Considérations générales sur le facteur de bruit	10
4 Contributions au facteur de bruit.....	12
5 Méthodes d'essai du facteur de bruit	14
Annexe A (informative) Liste d'abréviations.....	18
Bibliographie	20

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
INTRODUCTION	7
Clause	
1 Scope and object	9
2 Normative references	9
3 Noise figure generalities	11
4 Noise figure contributions	13
5 Noise figure test methods	15
Annex A (informative) List of abbreviations	19
Bibliography	21

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

AMPLIFICATEURS À FIBRES OPTIQUES – SPÉCIFICATION DE BASE –

Partie 3: Méthodes d'essai des paramètres du facteur de bruit

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Électrotechnique 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 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 61291-1.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
86C/271/FDIS	86C/274/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.

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

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 3.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant 2002. A cette date, la publication sera

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

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**OPTICAL FIBRE AMPLIFIERS –
BASIC SPECIFICATION –****Part 3: Test methods for noise figure parameters**

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 has been prepared by subcommittee 86C: Fibre optic systems and active devices, of IEC technical committee 86: Fibre optics.

This standard should be read in conjunction with IEC 61291-1.

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

FDIS	Report on voting
86C/271/FDIS	86C/274/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.

Annex A is for information only.

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 3.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until 2002. At this date, the publication will be

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

INTRODUCTION

Pour autant que l'on puisse en juger, ceci est la première Norme internationale qui traite de ce sujet. La technologie des amplificateurs à fibres optiques est relativement nouvelle et se développe encore, de sorte que des amendements et de nouvelles éditions de cette norme sont à prévoir.

Chaque abréviation introduite dans cette Norme internationale est expliquée dans le texte au moins la première fois qu'elle apparaît. Cependant, pour une meilleure compréhension de l'ensemble, une liste de toutes les abréviations utilisées se trouve dans l'annexe A.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 61290-3:2000

Withdrawn

INTRODUCTION

As far as can be determined, this is the first International Standard on this subject. The technology of optical fibre amplifiers is quite new and still emerging, hence amendments to and new editions of this standard can be expected.

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

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 61290-3:2000

Withd 2000

AMPLIFICATEURS À FIBRES OPTIQUES – SPÉCIFICATION DE BASE –

Partie 3: Méthodes d'essai des paramètres du facteur de bruit

1 Domaine d'application et objet

La présente Norme internationale s'applique aux amplificateurs à fibres optiques (AFO) utilisant les fibres actives dopées aux terres rares et qui sont actuellement disponibles sur le marché.

L'objet de cette Norme internationale est de fournir le contexte général pour les mesures des paramètres du facteur de bruit des OFA et d'indiquer les méthodes d'essai normalisées de la CEI qui permettent la mesure précise et fiable des paramètres suivants des AFO, selon les définitions de l'article 3 de la CEI 61291-1:

- a) facteur de bruit (NF);
- b) facteur de bruit linéaire (F);
- c) chiffre de mérite de l'interférence à trajectoires multiples (MPI);
- d) facteur de bruit signal/émission spontanée;
- e) largeur de bande optique (équivalente) spontanée-spontanée (B_{sp-sp});
- f) niveau de puissance d'émission spontanée amplifiée (ESA) copropagative;
- g) niveau de puissance d'ESA contrapropagative;
- h) largeur de bande de l'ESA.

2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente partie de la CEI 61290. Pour les références datées, les amendements ultérieurs ou les révisions de ces publications ne s'appliquent pas. Toutefois, les parties prenantes aux accords fondés sur la présente partie de la CEI 61290 sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Pour les références non datées, la dernière édition du document normatif en référence s'applique. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 61290-3-1, *Amplificateurs à fibres optiques – Spécification de base – Partie 3-1: Méthodes d'essai pour les paramètres du facteur de bruit – Analyseur de spectre optique* ¹⁾

CEI 61290-3-2, *Amplificateurs à fibres optiques – Spécification de base – Partie 3-2: Méthodes d'essai pour les paramètres du facteur de bruit – Analyseur de spectre électrique* ¹⁾

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

NOTE Une liste de références informatives se trouve dans la bibliographie.

¹⁾ A publier.

OPTICAL FIBRE AMPLIFIERS – BASIC SPECIFICATION –

Part 3: Test methods for noise figure parameters

1 Scope and object

This International Standard applies to optical fibre amplifiers (OFAs) using active fibres, containing rare-earth dopants, presently commercially available.

The object of this standard is to provide the general background for OFA noise figure parameters measurements and to indicate those IEC standard test methods for accurate and reliable measurements of the following OFA parameters, as defined in clause 3 of IEC 61291-1:

- a) noise figure (NF);
- b) noise factor (F);
- c) multiple path interference (MPI) figure of merit;
- d) signal-spontaneous noise figure;
- e) (equivalent) spontaneous-spontaneous optical bandwidth (B_{sp-sp});
- f) forward amplified spontaneous emission (ASE) power level;
- g) reverse ASE power level;
- h) ASE bandwidth.

2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this part of IEC 61290. For dated references, subsequent amendments to, or revisions of, any of these publications do not apply. However, parties to agreements based on this part of IEC 61290 are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. For undated references, the latest edition of the normative document referred to applies. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 61290-3-1, *Optical fibre amplifiers – Basic specification – Part 3-1: Test methods for noise figure parameters – Optical spectrum analyzer* ¹⁾

IEC 61290-3-2, *Optical fibre amplifiers – Basic specification – Part 3-2: Test methods for noise figure parameters – Electrical spectrum analyzer* ¹⁾

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

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

¹⁾ To be published.

3 Considérations générales sur le facteur de bruit

Le facteur de bruit est un des paramètres les plus importants d'un AFO. D'après la définition de la CEI 61291-1, le facteur de bruit en mesure linéaire peut être précisé par:

$$F = \frac{SNR_{input}}{SNR_{output}} = \frac{\langle i_{signal}^2 \rangle_{in}}{\langle i_{noise}^2 \rangle_{in}} \times \frac{\langle i_{noise}^2 \rangle_{out}}{\langle i_{signal}^2 \rangle_{out}} \quad (1)$$

$$F = \frac{1}{G^2} \frac{\langle i_{noise}^2 \rangle_{out}}{\langle i_{noise}^2 \rangle_{in}}$$

où

SNR est le rapport signal-bruit;

i est le courant photoélectrique dans un photodétecteur idéal avec un rendement quantique de 1;

G est le gain du signal optique.

Le courant de bruit à l'entrée est, par définition, le courant de bruit de grenaille émis par le signal optique à l'entrée. Ceci exclut les autres sources de bruit du côté de l'entrée.

Le courant de bruit à la sortie est le résultat de cinq contributions. Chacune de ces contributions peut être exprimée comme un facteur de bruit linéaire partiel:

- a) facteur de bruit linéaire de grenaille du signal, $F_{shot,sig}$, du bruit de grenaille du signal amplifié à l'entrée;
- b) facteur de bruit linéaire de grenaille de l'ESA, $F_{shot,ase}$, du bruit de grenaille de l'émission spontanée amplifiée;
- c) facteur de bruit linéaire signal/émission spontanée, F_{sig-sp} , du battement du signal avec l'ESA;
- d) facteur de bruit linéaire spontané-spontané, F_{sp-sp} , du battement ESA en synchronisation;
- e) facteur de bruit linéaire du brouillage de trajet multiple (MPI), F_{mpi} .

Le facteur de bruit linéaire total (non logarithmique) est:

$$F_{total} = F_{shot,sig} + F_{shot,ase} + F_{sig-sp} + F_{sp-sp} + F_{mpi} \quad (2)$$

Le facteur de bruit peut être calculé de la manière suivante:

$$NF = 10 \log(F_{total}) \quad (3)$$

L'équation (2) peut être utilisée pour les mesures du facteur de bruit optique, aussi bien que pour estimer l'effet de divers paramètres dans les mesures de facteurs de bruit électrique. C'est un modèle complet du facteur de bruit d'un AFO.

3 Noise figure generalities

The noise figure is one of the most important parameters of an OFA. Following the definition in IEC 61291-1, the noise factor, i.e. the linear form of the noise figure, can be expressed by:

$$F = \frac{SNR_{input}}{SNR_{output}} = \frac{\langle i_{signal}^2 \rangle_{in}}{\langle i_{noise}^2 \rangle_{in}} \times \frac{\langle i_{noise}^2 \rangle_{out}}{\langle i_{signal}^2 \rangle_{out}} \quad (1)$$

$$F = \frac{1}{G^2} \frac{\langle i_{noise}^2 \rangle_{out}}{\langle i_{noise}^2 \rangle_{in}}$$

where

SNR denotes signal-to-noise ratios;

i denotes photocurrents in an ideal photodetector with a quantum efficiency of 1;

G denotes the optical signal gain.

The input noise current is, by definition, the shot noise current caused by the optical input signal. This excludes other noise sources on the input side.

The output noise current is the sum of five contributions. Each of these contributions can be expressed by a partial noise factor:

- a) signal shot noise factor, $F_{shot,sig}$, from shot noise from amplified input signal;
- b) ASE shot noise factor, $F_{shot,ase}$, from shot noise from amplified spontaneous emission;
- c) signal-spontaneous noise factor, F_{sig-sp} , from signal beating with ASE;
- d) spontaneous-spontaneous noise factor, F_{sp-sp} , from ASE beating with itself;
- e) noise factor from multiple path interference (MPI), F_{mpi} .

The total noise factor (in linear, not logarithmic units) is:

$$F_{total} = F_{shot,sig} + F_{shot,ase} + F_{sig-sp} + F_{sp-sp} + F_{mpi} \quad (2)$$

The noise figure can be calculated using:

$$NF = 10 \log(F_{total}) \quad (3)$$

Equation (2) can be used for optical noise figure measurements, as well as for estimating the influence of various parameters in electrical noise figure measurements. It represents a complete noise figure model of an OFA.

4 Contributions au facteur de bruit

Le facteur de bruit linéaire de grenaille est:

$$F_{\text{shot,sig}} = \frac{1}{G} \quad (4)$$

où G est le gain à la longueur d'onde du signal.

Le facteur de bruit linéaire de grenaille de l'ESA est:

$$F_{\text{shot,ase}} = \frac{P_{\text{ase}}}{G^2 P_{\text{in}}} \quad (5)$$

où

P_{ase} est la puissance d'ESA intégrée sur la longueur d'onde;

P_{in} est la puissance optique du signal à l'entrée.

Le facteur de bruit linéaire signal/émission spontanée est:

$$F_{\text{sig-sp}} = 2 \frac{\rho_{\text{ase,p}}}{G h \nu_{\text{sig}}} \quad (6)$$

où

$\rho_{\text{ase,p}}$ est la densité de puissance optique d'émission spontanée, dans le même état de polarisation que le signal à la sortie, à la longueur d'onde du signal, en W/Hz;

h est la constante de Planck;

$\nu_{\text{sig}} = c/\lambda_{\text{sig}}$ est la fréquence du signal optique, en Hz.

Le facteur de bruit linéaire spontané-spontané est:

$$F_{\text{sp-sp}} = \frac{\rho_{\text{ase}}^2 B_{\text{sp-sp}}}{2 h \nu_{\text{sig}} G^2 P_{\text{in}}} \quad (7)$$

où

ρ_{ase} est la densité de puissance optique d'émission spontanée totale (non polarisée), à la longueur d'onde du signal, en W/Hz;

$B_{\text{sp-sp}}$ est la largeur de bande optique équivalente spontanée-spontanée définie dans la CEI 61291-1; elle dépend de la puissance et de la longueur d'onde du signal à l'entrée.

NOTE Lorsque $B_{\text{sp-sp}}$ est connu, il n'est pas nécessaire de mesurer séparément $F_{\text{sp-sp}}$, parce qu'on peut le calculer à partir du facteur de bruit linéaire signal/émission spontanée et de la puissance à l'entrée.

Le bruit du brouillage de trajet multiple (MPI) est généré par le battement entre le signal à la sortie et une ou plusieurs répliques doublement réfléchies du signal à la sortie. Deux ou plusieurs points de réflexion dans l'AFO sont requis pour générer le bruit du MPI. Lorsque tous les points de réflexion sont séparés par une distance plus longue que la longueur cohérente de la source optique, le facteur de bruit MPI est [1] ¹⁾:

$$F_{\text{mpi}} = \frac{2P_{\text{in}}}{h\nu\pi} \frac{\Delta\nu}{f^2 + \Delta\nu^2} \sum_i (\rho_i G_{\text{cav},i}) \quad (8)$$

¹⁾ Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie.

4 Noise figure contributions

The signal shot noise factor is:

$$F_{\text{shot,sig}} = \frac{1}{G} \quad (4)$$

where G is the gain at the signal wavelength.

The ASE shot noise factor is:

$$F_{\text{shot,ase}} = \frac{P_{\text{ase}}}{G^2 P_{\text{in}}} \quad (5)$$

where

P_{ase} is the wavelength-integrated ASE power;

P_{in} is the optical input signal power.

The signal-spontaneous noise factor is:

$$F_{\text{sig-sp}} = 2 \frac{\rho_{\text{ase,p}}}{G h \nu_{\text{sig}}} \quad (6)$$

where

$\rho_{\text{ase,p}}$ is the optical power density of spontaneous emission, in the same polarization state as the output signal, at the signal wavelength, in W/Hz;

h is Planck's constant;

$\nu_{\text{sig}} = c/\lambda_{\text{sig}}$ is the optical signal frequency, in Hz.

The spontaneous-spontaneous noise factor is:

$$F_{\text{sp-sp}} = \frac{\rho_{\text{ase}}^2 B_{\text{sp-sp}}}{2 h \nu_{\text{sig}} G^2 P_{\text{in}}} \quad (7)$$

where

ρ_{ase} is the optical power density of total (unpolarized) spontaneous emission, at the signal wavelength, in W/Hz;

$B_{\text{sp-sp}}$ is the equivalent spontaneous-spontaneous optical bandwidth defined in IEC 61291-1; it depends on power and wavelength of input signal.

NOTE When $B_{\text{sp-sp}}$ is known, there is no need for separate measurement of $F_{\text{sp-sp}}$ because it can be calculated from the signal spontaneous noise factor and the input power.

Multiple path interference (MPI) noise is generated by beating between the output signal and one or more doubly reflected replica of the output signal. Two or more reflection points inside the OFA are necessary to generate MPI noise. When all reflection points are separated by more than the coherence length of the optical source, then the MPI noise factor is [1]¹⁾:

$$F_{\text{mpi}} = \frac{2P_{\text{in}}}{h\nu\pi} \frac{\Delta\nu}{f^2 + \Delta\nu^2} \sum_i (\rho_i G_{\text{cav},i}) \quad (8)$$

¹⁾ Figures in square brackets refer to the bibliography.

où

$G_{cav,i}$ est le gain de cavité (gain dans la $i^{ème}$ cavité parasite dans l'AFO) = gain direct $\times$ réflectivité directe $\times$ gain inverse $\times$ réflectivité inverse;

p_i est le facteur de réglage de polarisation et exprime l'appariement des états de polarisation des signaux directs et des signaux doublement réfléchis dans la $i^{ème}$ cavité (entre 0 et 1, $p = 1$ pour un réglage parfait);

$p_i G_{cav,i}$ est le gain équivalent de la $i^{ème}$ cavité;

Σ représente tous les gains de cavité possibles dans l'AFO (il doit être <1 pour éviter les oscillations);

$\Delta\nu$ est le LMHP de la largeur de bande de la source (modèle Lorentzien);

f est la fréquence de la bande de base.

L'équation (6) peut aussi être utilisée lorsque deux ou plusieurs faisceaux de lumière sont cohérents l'un avec l'autre. Les faisceaux de lumière cohérents sont générés par des points de réflexion qui sont très proches l'un de l'autre. Dans ces cas, la dépendance du facteur de bruit linéaire par rapport à la fréquence n'est pas le déclin régulier donné par l'équation (6), mais elle oscille autour de ce déclin.

La contribution du MPI au facteur de bruit linéaire dépend de la largeur de ligne de la source, $\Delta\nu$, un paramètre du système de transmission ou de l'appareil de mesure, mais non pas de l'AFO. Pour éliminer ce paramètre du facteur de bruit linéaire de l'AFO, on suggère d'intégrer le facteur de bruit linéaire MPI et de dénommer le résultat de l'intégration un chiffre de mérite, I_{mpi} , pour les caractéristiques de l'AFO. I_{mpi} représente la zone au-dessous de la courbe F_{mpi} ; il ne dépend pas de la largeur de ligne de la source ou de la fréquence de la bande de base:

$$I_{mpi} = \int_{f=0}^{\infty} F_{mpi} df = \frac{P_{in}}{h\nu} \sum_i (p_i G_{cav,i}) \quad [\text{Hz}] \quad (9)$$

où le facteur de bruit linéaire MPI peut être calculé à partir du chiffre de mérite par l'équation:

$$F_{mpi} = \frac{2 I_{mpi}}{\pi} \frac{\Delta\nu}{f^2 + \Delta\nu^2} \quad (10)$$

5 Méthodes d'essai du facteur de bruit

Deux opérations qualitativement différentes et communément employées pour quantifier le facteur de bruit d'un AFO sont décrites dans cette norme.

Le but de la première méthode (voir la CEI 61290-3-1) est de déterminer le facteur de bruit signal/émission spontanée. Cette méthode utilise un analyseur de spectre optique pour préciser le gain et l'ESA résolue spectralement. Le facteur de bruit signal/émission spontanée est calculé à partir de ces deux quantités telles qu'elles sont exprimées dans l'article 4. A l'exception de la contribution du bruit qui provient du brouillage de trajet multiple (MPI), toutes les contributions de bruit peuvent être également calculées selon l'article 4. La contribution du MPI au bruit peut être déterminée seulement si les points de réflexion sont disponibles, ce qui n'est pas normalement le cas d'un appareil d'essai des AFO lorsque sa construction est achevée. Cependant, la contribution du MPI d'un AFO bien conçu peut être négligeable. Le facteur de bruit signal/émission spontanée calculé par cette méthode est généralement acceptable pour les systèmes de communication numériques.

where

- $G_{\text{cav},i}$ is the cavity gain (gain in the i^{th} parasitic cavity in the OFA) = gain in forward direction $\times$ reflectivity in forward direction $\times$ gain in backward direction $\times$ reflectivity in backward direction;
- ρ_i is the polarization alignment factor, and expresses the matching of polarization states between the direct and doubly reflected signal in the i^{th} cavity (between 0 and 1, $\rho = 1$ for perfect alignment);
- $\rho_i G_{\text{cav},i}$ is the effective cavity gain of the i^{th} cavity;
- Σ is meant to collect all possible cavity gains in the OFA (it shall be < 1 to prevent oscillation);
- $\Delta\nu$ is the FWHM of the source linewidth (Lorentzian model);
- f is the baseband frequency.

Equation (6) can also be used when two or more light beams are coherent with each other. Coherent light beams are generated by closely spaced reflection points. In these cases, the frequency dependence of the noise factor is not the smooth decay given by equation (6), but oscillates around it.

The MPI contribution to the noise factor depends on the linewidth of the source, $\Delta\nu$, a parameter of the transmission system or measurement apparatus, not on the OFA. To remove this parameter from the OFA noise factor, it is suggested to integrate the MPI noise factor and denote the integration result a figure of merit, I_{mpi} , for the MPI characteristics of the OFA. I_{mpi} represents the area under the F_{mpi} curve; it does not depend on the linewidth of the source or the baseband frequency:

$$I_{\text{mpi}} = \int_{f=0}^{\infty} F_{\text{mpi}} df = \frac{P_{\text{in}}}{h\nu} \sum_i (\rho_i G_{\text{cav},i}) \quad [\text{Hz}] \quad (9)$$

where the MPI noise factor can be calculated from the figure of merit using:

$$F_{\text{mpi}} = \frac{2 I_{\text{mpi}}}{\pi} \frac{\Delta\nu}{f^2 + \Delta\nu^2} \quad (10)$$

5 Noise figure test methods

Two qualitatively different and commonly practised procedures for quantifying the noise figure of an OFA are considered in this standard.

The aim of the first procedure (see IEC 61290-3-1) is to determine the signal-spontaneous noise figure. This method uses an optical spectrum analyzer to determine gain and spectrally resolved ASE; the signal-spontaneous noise figure is calculated from these two quantities as outlined in clause 4. Except for the noise contribution from multiple path interference (MPI), all other noise contributions can be calculated as well according to clause 4. The noise contribution from MPI can only be determined if the reflection points are accessible, which is usually not the case on a finished OFA test device. The MPI contribution of a well-designed OFA may be negligible, though. The signal-spontaneous noise figure obtained by this first procedure is generally accepted as suitable for digital communication systems.

Le but de la deuxième méthode (voir la CEI 61290-3-2) est de préciser le facteur de bruit total. Cette méthode est fondée sur la mesure, à l'aide d'un analyseur de spectre électrique, du bruit électrique de "la boîte noire" de l'AFO. Elle peut être considérée comme la réalisation pratique de l'équation (1), sans séparer les contributions individuelles au bruit. Ces résultats de mesure comprennent le bruit du BTM. Il est à noter que la contribution du BTM dépend fortement de la fréquence de bande de base, de la largeur de ligne de la source et du réglage de polarisation entre les réflexions partielles dans l'amplificateur. On considère que le facteur de bruit calculé selon cette deuxième méthode correspond mieux au système, étant donné qu'elle tient compte de toutes les sources de bruit critiques. Elle est généralement utilisée pour décrire l'adaptation de l'AFO aux systèmes de communication analogiques.

Ces deux opérations sont considérées comme des méthodes valables pour quantifier le facteur de bruit d'un AFO unique. On attire toutefois l'attention sur le fait que l'effet des AFO en cascade est encore à l'étude.

Le tableau 1 donne la liste des paramètres qu'on peut mesurer à l'aide de chacune de ces deux méthodes.

Tableau 1 – Liste des paramètres pouvant être mesurés par chacune des deux méthodes d'essai du facteur de bruit citées à l'article 5

Paramètre	Essai à l'aide d'un analyseur de spectre optique (CEI 61290-3-1)	Essai à l'aide d'un analyseur de spectre électrique (CEI 61290-3-2)
(Total) <i>NF</i> ou <i>F</i>		x
<i>NF</i> ou <i>F</i> signal/émission spontanée	x	(x)
<i>NF</i> ou <i>F</i> de grenaille	(x) ^a	(x)
<i>NF</i> ou <i>F</i> spontané-spontané	(x)	
MPI <i>NF</i> ou <i>F</i> ou chiffre de mérite		x
B_{sp-sp}	(x)	
Niveau de puissance de l'ESA copropagative	x	(x)
Niveau de puissance de l'ESA contrapropagative	(x)	
Largeur de bande de l'ESA	(x)	(x)
^a (x) représente la capacité potentielle de la technique, bien qu'aucun texte ne soit disponible dans le document cité.		

The aim of the second procedure (see IEC 61290-3-2) is to determine the total noise figure. It is based on measuring the electrical noise caused by the OFA "black box" with an electrical spectrum analyzer. This can be seen as a direct realization of equation (1), without separating the individual noise contributions. These measurement results include the noise from MPI. Notice that the MPI contribution depends strongly on the baseband frequency, the linewidth of the source and the polarization alignment between the partial reflections in the amplifier. The noise figure obtained by this second procedure is understood as being closer to system realities since it includes all relevant noise sources; it is generally used to describe the OFA's suitability for analogue communication systems.

These two procedures are endorsed as ways of quantifying the noise figure of a single OFA, with the caveat that the effect of cascading OFAs is under consideration.

Table 1 lists the parameters measurable with each of the methods.

Table 1 – Parameters measurable with each of the two methods of clause 5

Parameter	Optical spectrum analyzer (IEC 61290-3-1)	Electrical spectrum analyzer (IEC 61290-3-2)
(Total) <i>NF</i> or <i>F</i>		x
Signal-spontaneous <i>NF</i> or <i>F</i>	x	(x)
Shot <i>NF</i> or <i>F</i>	(x) ^a	(x)
Spontaneous-spontaneous <i>NF</i> or <i>F</i>	(x)	
MPI <i>NF</i> or <i>F</i> or figure of merit		x
B_{sp-sp}	(x)	
Forward ASE power level	x	(x)
Reverse ASE power level	(x)	
ASE bandwidth	(x)	(x)
^a (x) indicates the potential capability of the technique, although no text is available in the quoted document.		