

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Optical amplifiers – Test methods –
Part 3: Noise figure parameters**

**Amplificateurs optiques – Méthodes d'essais –
Partie 3: Paramètres du facteur de bruit**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2008 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, 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 either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester.

If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, 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 la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

Si vous avez des questions sur le copyright de la CEI ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de la CEI de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland
Email: inmail@iec.ch
Web: www.iec.ch

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigenda or an amendment might have been published.

- Catalogue of IEC publications: www.iec.ch/searchpub

The IEC on-line Catalogue enables you to search by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...). It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

- IEC Just Published: www.iec.ch/online_news/justpub

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details twice a month all new publications released. Available on-line and also by email.

- Electropedia: www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary online.

- Customer Service Centre: www.iec.ch/webstore/custserv

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please visit the Customer Service Centre FAQ or contact us:

Email: csc@iec.ch

Tel.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

A propos de la CEI

La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

- Catalogue des publications de la CEI: www.iec.ch/searchpub/cur_fut-f.htm

Le Catalogue en-ligne de la CEI vous permet d'effectuer des recherches en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Il donne aussi des informations sur les projets et les publications retirées ou remplacées.

- Just Published CEI: www.iec.ch/online_news/justpub

Restez informé sur les nouvelles publications de la CEI. Just Published détaille deux fois par mois les nouvelles publications parues. Disponible en-ligne et aussi par email.

- Electropedia: www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne au monde de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International en ligne.

- Service Clients: www.iec.ch/webstore/custserv/custserv_entry-f.htm

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions, visitez le FAQ du Service clients ou contactez-nous:

Email: csc@iec.ch

Tél.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00



IEC 61290-3

Edition 2.0 2008-08

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Optical amplifiers – Test methods –
Part 3: Noise figure parameters**

**Amplificateurs optiques – Méthodes d'essais –
Partie 3: Paramètres du facteur de bruit**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX



ICS 33.180.30

ISBN 2-8318-9952-4

CONTENTS

FOREWORD.....	3
INTRODUCTION.....	5
1 Scope and object.....	6
2 Normative references	6
3 Acronyms and abbreviations.....	6
4 Noise figure generalities	7
5 Noise figure contributions	8
6 Noise figure test methods	9
Bibliography.....	11
Table 1 – Parameters measurable with each of the two methods of Clause 5.....	10

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**OPTICAL AMPLIFIERS –
TEST METHODS –****Part 3: Noise figure parameters**

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

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

This second edition cancels and replaces the first edition, published in 2000, and constitutes a technical revision. It includes updates to specifically address additional types of optical amplifiers and to highlight that the IEC 61290-3 series pertains to single-channel amplifiers. References have been added to the documents pertaining to multichannel amplifiers.

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

FDIS	Report on voting
86C/842/FDIS	86C/854/RVD

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

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

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

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

INTRODUCTION

This International Standard is devoted to the subject of optical amplifiers. The technology of optical amplifiers is still evolving, 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 Clause 3.

OPTICAL AMPLIFIERS – TEST METHODS –

Part 3: Noise figure parameters

1 Scope and object

This International Standard applies to all commercially available optical amplifiers (OAs), including OAs using optically pumped fibres (OFAs based on either rare-earth doped fibres or on the Raman effect), semiconductor optical amplifiers (SOAs) and planar waveguide optical amplifiers (PWOAs).

The object of this standard is to provide the general background for OA noise figure parameters measurements and to indicate those IEC standard test methods for accurate and reliable measurements of the following OA parameters, as defined in 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.

This standard addresses measurement of OAs that are to be used for amplifying single channels, that is signals from a single transmitter. Testing of OAs for multichannel use involves additional considerations, such as: the number, wavelengths and relative power of the signals, the ability to measure signals simultaneously and to measure the ASE between channels.

NOTE Methods for measurement of OAs for multichannel use are included in the IEC 61290-10 series.

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 61290-3-1, *Optical amplifiers – Test methods – Part 3-1: Noise figure parameters – Optical spectrum analyzer method*

IEC 61290-3-2, *Optical amplifiers – Part 3-2: Test methods for noise figure parameters – Electrical spectrum analyzer method*

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

3 Acronyms and abbreviations

ASE	amplified spontaneous emission
B_{sp-sp}	(equivalent) spontaneous-spontaneous optical bandwidth

ESA	electrical spectrum analyzer
F	noise factor
FWHM	full width half maximum
MPI	multiple path interference
NF	noise figure
OA	optical amplifiers
OFA	optical fibre amplifier
OSA	optical spectrum analyzer
PWOA	planar waveguide optical amplifiers
SOA	semiconductor optical amplifiers
SNR	signal-to-noise ratio

4 Noise figure generalities

The noise figure is one of the most important parameters of an OA. 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:

- signal shot noise factor, $F_{shot,sig}$, from shot noise from amplified input signal;
- ASE shot noise factor, $F_{shot,ase}$, from shot noise from amplified spontaneous emission;
- signal-spontaneous noise factor, F_{sig-sp} , from signal beating with ASE;
- spontaneous-spontaneous noise factor, F_{sp-sp} , from ASE beating with itself;
- 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:

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

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 OA.

5 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:

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

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. Since ASE in any polarization state contributes to

F_{sp-sp} , this calculation also needs additional information if the ASE is not unpolarized, as is typical for example for SOAs.

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 OA 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 as follows:

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

where

- $G_{cav,i}$ is the cavity gain (gain in the i^{th} parasitic cavity in the OA) = gain in forward direction $\times$ reflectivity in forward direction $\times$ gain in backward direction $\times$ reflectivity in backward direction;
- p_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, $p = 1$ for perfect alignment);
- $p_i G_{cav,i}$ is the effective cavity gain of the i^{th} cavity;
- Σ is meant to collect all possible cavity gains in the OA;
- $\Delta\nu$ is the FWHM of the source linewidth (Lorentzian model);
- f is the baseband frequency.

When two or more light beams are coherent with each other, i.e. generated by closely spaced reflection points, MPI cannot be considered as noise, but rather as slow power fluctuations. In these cases, MPI does not contribute to the NF. 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 but not on the OA. To remove this parameter from the OA 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 OA. I_{mpi} represents the area under the F_{mpi} curve; it does not depend on the linewidth of the source or the baseband frequency:

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

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

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

A special form of MPI known as double-Rayleigh scattering can be a significant factor in Raman fibre amplifiers, where long spans of fibre can provide gain for the small amount of signal that is backscattered by the Rayleigh effect in fibre, rather than due to reflections.

6 Noise figure test methods

Two qualitatively different and commonly practised procedures for quantifying the noise figure of an OA 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 5. Except for the noise contribution from multiple path interference (MPI),

all other noise contributions can be calculated as well according to Clause 5. The noise contribution from MPI can only be determined if the reflection points are accessible, which is usually not the case on a finished OA test device. The MPI contribution of a well designed OA may be negligible, though. The signal-spontaneous noise figure obtained by this first procedure is generally accepted as suitable for digital communication systems.

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 OA "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 OA's suitability for analogue communication systems.

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) NF or F		x
Signal-spontaneous NF or F	x	(x)
Shot NF or F	(x) ^a	(x)
Spontaneous-spontaneous NF or F	(x)	
MPI NF or F 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.		

Bibliography

GIMLETT, J.L. CHEUNG, N.K., *Effects of phase-to-intensity noise conversion by multiple reflections on gigabit-per-second DFB laser transmission systems*, *J. Lightwave Technology*, Vol. 7, No. 6, June 1989, 888-895

IEC 61290-10 (all Parts 10), *Optical amplifiers – Test methods – Part 10: Multichannel parameters*

IEC 61931:1998, *Fibre optics – Terminology*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	13
INTRODUCTION.....	15
1 Domaine d'application et objet.....	16
2 Références normatives.....	16
3 Acronymes et abréviations	17
4 Considérations générales sur le facteur de bruit.....	17
5 Contributions au facteur de bruit.....	18
6 Méthodes d'essai du facteur de bruit	20
Bibliographie.....	21
Tableau 1 – Liste des paramètres pouvant être mesurés par chacune des deux méthodes citées à l'Article 5	20

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**AMPLIFICATEURS OPTIQUES –
MÉTHODES D'ESSAIS –****Partie 3: Paramètres du facteur de bruit****AVANT-PROPOS**

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les publications CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et elles sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toute divergence entre toute Publication de la CEI et toute publication nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses publications.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente publication CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété ou 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 seconde édition annule et remplace la première édition, parue en 2000, dont elle constitue une révision technique. Elle contient des mises à jour concernant particulièrement des types d'amplificateurs optiques supplémentaires, et met en évidence que la série CEI 61290-3 concerne les amplificateurs à un seul canal. Des références ont été ajoutées aux documents concernant les amplificateurs multicanaux.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
86C/842/FDIS	86C/854/RVD

Les rapports de vote indiqués dans le tableau ci-dessus donnent toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette spécification.

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

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date du résultat de la maintenance indiquée sur le site web de la CEI à l'adresse suivante: «<http://webstore.iec.ch>», dans les données liées à la publication spécifique. A cette date, la publication sera:

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

INTRODUCTION

La présente Norme Internationale est consacrée au domaine des amplificateurs optiques. La technologie des amplificateurs optiques évolue encore, de sorte que des amendements et de nouvelles éditions de cette norme sont à prévoir. Chaque abréviation introduite dans cette norme est expliquée dans le texte, au moins lors de sa première apparition. Cependant, pour une meilleure compréhension de l'ensemble, une liste de toutes les abréviations utilisées dans cette norme se trouve dans l'Article 3.

AMPLIFICATEURS OPTIQUES – MÉTHODES D'ESSAIS –

Partie 3: Paramètres du facteur de bruit

1 Domaine d'application et objet

La présente Norme Internationale concerne tous les amplificateurs optiques (AO) disponibles commercialement, y compris les AO utilisant des fibres pompées optiquement (AFO basées soit sur des fibres dopées aux terres rares, soit sur l'effet Raman), les amplificateurs optiques à semiconducteurs (AOS) et les amplificateurs optiques à guide d'onde planaire (PWOA: *planar waveguide optical amplifiers*).

L'objet de cette norme est de fournir le contexte général pour les mesures des paramètres du facteur de bruit des AO et d'indiquer les méthodes d'essai normalisées de la CEI qui permettent la mesure précise et fiable des paramètres suivants des AO, selon les définitions 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.

La présente norme concerne les mesures des AO qui sont à utiliser for les amplifications mono-canaux, c'est-à-dire les signaux issus d'un seul transmetteur. Les essais des AO pour des usages multicanaux nécessite des précautions supplémentaires, telles que: le nombre, les longueurs d'onde, et la puissance relative des signaux, la capacité de mesurer des signaux simultanément et de mesurer l'ESA entre les canaux.

NOTE Des méthodes de mesure des AO pour des utilisations multi-canaux sont comprises dans la série CEI 61290-10.

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 61290-3-1, *Amplificateurs optiques – Méthodes d'essai – Partie 3-1: Paramètres du facteur de bruit – Méthode d'analyseur du spectre optique*

CEI 61290-3-2, *Amplificateurs optiques – Partie 3-2: Méthodes d'essai pour les paramètres du facteur de bruit – Méthode de l'analyseur spectral électrique*

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

3 Acronymes et abréviations

ESA	émission spontanée amplifiée
B_{sp-sp}	largeur de bande optique spontanée-spontanée (équivalente)
ASE	analyseur de spectre électrique
F	facteur de bruit linéaire
FWHM	Pleine largeur à mi-hauteur (<i>full width half maximum</i>)
MPI	interférence à trajectoires multiples (<i>multiple path interference</i>)
NF	facteur de bruit
AO	amplificateurs optiques
AFO	amplificateur à fibres optiques
ASO	analyseur de spectre optique
PWOA	amplificateurs optiques à guide d'onde planaire (<i>planar waveguide optical amplifiers</i>)
AOS	amplificateurs optiques à semiconducteurs
SNR	rapport signal/bruit

4 Considérations générales sur le facteur de bruit

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

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

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

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:

- facteur de bruit linéaire de grenaille du signal, $F_{shot,sig}$, du bruit de grenaille du signal amplifié à l'entrée;
- facteur de bruit linéaire de grenaille de l'ESA, $F_{shot,ase}$, du bruit de grenaille de l'émission spontanée amplifiée;
- facteur de bruit linéaire signal/émission spontanée, F_{sig-sp} , du battement du signal avec l'ESA;
- facteur de bruit linéaire spontané-spontané, F_{sp-sp} , du battement ESA en auto-synchronisation;
- facteur de bruit linéaire des interférences de trajectoires multiples (MPI), F_{mpi} .

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

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

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

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

L'Equation (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 AO.

5 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:

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

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_{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_{sp-sp} est connu, il n'est pas nécessaire de mesurer séparément F_{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. Puisque dans n'importe quel état de polarisation, l'ESA contribue à F_{sp-sp} , ce calcul nécessite des informations supplémentaires si l'ESA n'est pas non-polarisée, ce qui est le cas pour les AOS

Le bruit dû aux interférences à trajectoires multiples (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'AO sont requis pour générer le bruit du MPI. Lorsque tous les points de réflexion sont séparés par une distance plus longue que la longueur de cohérence de la source optique, le facteur de bruit MPI est le suivant:

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

où

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

p_i est le facteur de réglage de la 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 de cavité effectif de la $i^{ème}$ cavité;

Σ représente tous les gains de cavité possibles dans l'AO;

$\Delta\nu$ est la pleine largeur à mi-hauteur (FWHM) de la ligne de la source (modèle Lorentzien);

f est la fréquence de la bande de base.

Lorsque deux ou plusieurs faisceaux de lumière sont cohérents l'un avec l'autre, c'est-à-dire générés par des points de réflexion qui sont très proches l'un de l'autre, les MPI ne peuvent pas être considérées comme du bruit, mais plutôt comme une fluctuation de puissance lente. Dans ces cas, les MPI ne contribuent pas au NF. 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 pas de l'AO. Pour éliminer ce paramètre du facteur de bruit linéaire de l'AO, on suggère d'intégrer le facteur de bruit linéaire MPI et de dénommer le résultat de l'intégration chiffre de mérite, I_{mpi} , pour les caractéristiques MPI de l'AO. 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:

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

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

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

Une forme spéciale de MPI, connue sous la dénomination de diffusion Rayleigh-double peut être un facteur significatif des amplificateurs à fibre Raman, où de longs tronçons de fibre peuvent générer un gain pour une petite quantité de signal qui est rétro-diffusée par effet Rayleigh dans la fibre, plutôt que par réflexions.

6 Méthodes d'essai du facteur de bruit

Deux opérations qualitativement différentes et communément employées pour quantifier le facteur de bruit d'un AO 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 5. A l'exception de la contribution du bruit qui provient des interférences à trajectoires multiples (MPI), toutes les contributions de bruit peuvent être également calculées selon l'Article 5. La contribution du MPI au bruit peut être déterminée seulement si les points de réflexion sont disponibles, ce qui n'est normalement pas le cas d'un appareil d'essai des AO lorsque sa construction est achevée. Cependant, la contribution du MPI d'un AO bien conçu peut être négligeable. Le facteur de bruit signal/émission spontanée calculé par cette première méthode est généralement acceptable pour les systèmes de communication numériques.

Le but de la deuxième méthode (voir la CEI 61290-3-2) est de préciser le facteur de bruit total. Elle est fondée sur la mesure du bruit électrique de «la boîte noire» AO, à l'aide d'un analyseur de spectre électrique. Elle peut être considérée comme la réalisation pratique de l'Equation (1), sans séparer les contributions individuelles au bruit. Ces résultats de mesure comprennent le bruit du MPI. Il est à noter que la contribution du MPI dépend fortement de la fréquence de bande de base, de la largeur de ligne de la source et du réglage de la 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'AO aux systèmes de communication analogiques.

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 citées à l'Article 5

Paramètre	Analyseur de spectre optique (CEI 61290-3-1)	Analyseur de spectre électrique (CEI 61290-3-2)
NF ou F (total)		x
NF ou F signal/émission spontanée	x	(x)
NF ou F de grenaille	(x) ^a	(x)
NF ou F spontané-spontané	(x)	
MPI NF ou F 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.		

Bibliographie

GIMLETT, J.L. CHEUNG, N.K., Effects of phase-to-intensity noise conversion by multiple reflections on gigabit-per-second DFB laser transmission systems, J. Lightwave Technology, Vol. 7, No. 6, June 1989, 888-895

CEI 61290-10 (toutes les Parties 10), *Amplificateurs optiques – Méthodes d'essai – Partie 10: Paramètres à canaux multiples*

CEI 61931:1998, *Fibres optiques – Terminologie*

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

3, rue de Varembé
PO Box 131
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel: + 41 22 919 02 11
Fax: + 41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch