

# INTERNATIONAL STANDARD

# NORME INTERNATIONALE

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

**Amplificateurs optiques – Méthodes d'essais -  
Partie 3-2: Paramètres du facteur de bruit – Méthode de l'analyseur spectral  
électrique**



## 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](mailto:inmail@iec.ch)  
Web: [www.iec.ch](http://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](http://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 It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.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](http://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](http://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](http://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](mailto: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](http://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](http://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](http://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](http://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](mailto:csc@iec.ch)  
Tél.: +41 22 919 02 11  
Fax: +41 22 919 03 00



IEC 61290-3-2

Edition 2.0 2008-07

# INTERNATIONAL STANDARD

## NORME INTERNATIONALE

---

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

**Amplificateurs optiques – Méthodes d'essais -  
Partie 3-2: Paramètres du facteur de bruit – Méthode de l'analyseur spectral  
électrique**

INTERNATIONAL  
ELECTROTECHNICAL  
COMMISSION

COMMISSION  
ELECTROTECHNIQUE  
INTERNATIONALE

PRICE CODE  
CODE PRIX



---

ICS 33.180.30

ISBN 2-8318-9898-6

## CONTENTS

FOREWORD.....	3
INTRODUCTION.....	5
1 Scope and object.....	6
2 Normative references .....	6
3 Symbols, acronyms and abbreviations.....	7
4 Apparatus.....	8
5 Test specimen .....	10
6 Procedure .....	10
6.1 Frequency-scanning technique: calibration.....	11
6.2 Frequency-scanning technique: measurement.....	12
6.3 Selected-frequency technique: calibration and measurement .....	13
6.4 Measurement accuracy limitations.....	13
7 Calculation .....	14
7.1 Calculation of calibration results.....	14
7.2 Calculation of test results for the frequency-scanning technique.....	15
7.3 Calculation of test results for the selected-frequency technique.....	15
8 Test results .....	16
Bibliography.....	17
Figure 1 – Scheme of a measurement set-up.....	9

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

---

**OPTICAL AMPLIFIERS –  
TEST METHODS –****Part 3-2: Noise figure parameters –  
Electrical spectrum analyzer method**

## 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 61290-3-2 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 2003 and constitutes a technical revision. It includes updates to specifically address all types of optical amplifiers – not just optical fibre amplifiers.

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

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

CDV	Report on voting
86C/784/CDV	86C/828/RVC

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.

A list of all parts of IEC 61290 series, published under the general title *Optical amplifiers – Test methods*, can be found on the IEC website.

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 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 in this standard is given in Clause 3.

## OPTICAL AMPLIFIERS – TEST METHODS –

### Part 3-2: Noise figure parameters – Electrical spectrum analyzer method

#### 1 Scope and object

This part of IEC 61290 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 establish uniform requirements for accurate and reliable measurements, by means of the electrical spectrum analyzer (ESA) method, of the noise figure, as defined in IEC 61291-1.

The present test method is based on direct electrical noise measurement and it is directly related to its definition including all relevant noise contributions. Therefore, this method can be used for all types of optical amplifiers, including SOA and Raman amplifiers which can have significant contributions besides amplified spontaneous emission, because it measures the total noise figure. For further details of applicability, see IEC 61290-3. An alternative 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 (‡) 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  $\pm 20$  % (‡), respectively  $\pm 1$  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, *Cable networks for television signals, sound signals and interactive services – Part 6: Optical equipment*

IEC 61290-3: *Optical fibre amplifiers – Basic specification – Part 3: Test methods for noise figure parameters*<sup>1</sup>

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

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

---

<sup>1</sup> The first editions of some of these parts were published under the general title *Optical fibre amplifiers – Basic specification* or *Optical amplifiers – Test methods*. Future editions of these parts will appear under the new general title listed above. The individual titles of Parts 1-1, 3-1, 5-2, 10-1, 10-2, 10-3, 11-1 and 11-2 will be updated in future editions of these parts to reflect the overall structure of the series.

### 3 Symbols, acronyms and abbreviations

For the purposes of this document, the following symbols, acronyms and abbreviations apply.

$B_e$	calibrated, noise equivalent ESA electrical bandwidth (not necessarily the resolution bandwidth)
$c$	speed of light in vacuum
$e$	electron charge
$f$	baseband frequency
$F$	(total) noise factor
$F_{\text{non-mpi}}$	frequency-independent contribution to total noise factor
$F_{\text{mpi}}$	noise factor contribution from multiple path interference noise (OA internal reflections)
$G$	OA optical signal gain
$h$	Planck's constant
$k$	optical power reduction factor (default $k = 0,5$ ); it can be obtained by taking the square root of the electrical power reduction factor
$\nu$	optical frequency = $c/\lambda$
$\Delta\nu$	source FWHM linewidth with modulation on
$H_0, H_0(f)$	$S_{\text{esa}} / \Delta P_{\text{in}}^2 =$ transfer function of receiver in $\text{watts}^{-1}$
$I_{\text{mpi}}$	multi-path interference figure of merit, the noise factor contribution caused by multiple path interference integrated over all baseband frequencies (0 to infinity);
$I_{\text{pd}}$	photodetector current
$\lambda$	wavelength in vacuum
$m$	relative modulation amplitude (the ratio of RMS optical power modulation amplitude to average optical power)
$NF(f)$	(total) noise figure
$N_{\text{rin},0}(f)$	(frequency-dependent) ESA noise contribution caused by the laser relative intensity noise, at calibration conditions
$N_{\text{rin},1}$	(frequency-dependent) noise caused by the laser relative intensity noise (RIN), measured with ESA
$N_{\text{shot},0}$	(frequency-independent) shot noise caused by the optical input power, at calibration conditions, measured with ESA
$N_{\text{thermal}}$	thermal noise level as measured with ESA (optical input port of receiver module closed);
$N_0(f)$	(frequency-dependent) noise power measured with ESA with input and output attenuator set to 0 dB, thermal noise level subtracted, without OA test device
$N_0'(f)$	(frequency-dependent) noise power measured with ESA with input attenuator set to 3 dB (default) and output attenuator set to 0 dB, thermal noise level subtracted, without OA test device
$N_1(f)$	frequency-dependent noise power, with OA inserted, thermal noise level subtracted, measured with ESA
$P_{\text{in}}$	time-averaged optical input power = $T_{\text{in}} P_{\text{in},0}$ (with modulation on); optical power radiated from the end of the input jumper cable
$P_{\text{in},0}$	time-averaged optical input power at 0 dB setting of input attenuator (with modulation on)
$\Delta P_{\text{in}, \text{rms}}$	RMS optical power amplitude
$P_{\text{out}}$	total optical power radiated from the output port of the OA, including the ASE

$r_0, r_0(f)$	effective photodetector responsivity through output attenuator at 0 dB setting
$RIN_{\text{source}}(f)$	source relative intensity noise; generally, the square of the RMS optical power fluctuation divided by the (baseband) bandwidth and the square of the CW power
$S_0$	electrical power of the modulation signal at $T_{\text{in}} = 1$ , measured with ESA, without OA inserted
$S_1$	electrical power of the modulation signal, with OA inserted, measured with ESA
$T_{\text{in}}$	transmission factor of input attenuator relative to transmission at 0 dB setting, expressed in linear form
$T_{\text{out}}$	transmission factor of output attenuator relative to transmission at 0 dB setting, expressed in linear form
$T_x$	voltage amplification between detector output and ESA input; this quantity usually depends on the baseband frequency
CW	continuous wave
DFB	distributed feedback laser
ESA	electrical spectrum analyzer
FWHM	full width at half maximum
MPI	multiple path interference
OA	optical fibre amplifier
RIN	relative intensity noise of the source, expressed in $\text{Hz}^{-1}$
RMS	root mean square

#### 4 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 needed.

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 3 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,  $P_{\text{in}, 0}$ , of not less than 0 dBm is advisable, to be able to generate the desired OA saturation state.

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

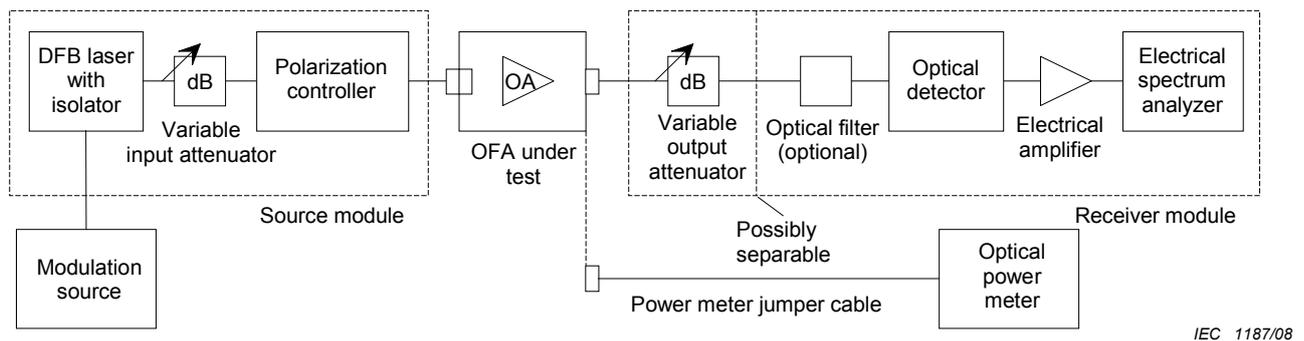
The relative intensity noise (RIN) of the laser source shall be less than  $-150 \text{ dB/Hz}(\pm)$  within the frequency range of interest (for example, 10 MHz to 2 GHz).

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  $\pm 0,05$  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  $\pm 0,01$  dB(±), and reflectances less than  $-50$  dB(±).



IEC 1187/08

**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 OA. The minimum power level is defined by the source power at 0 dB attenuator setting. The highest power level is given by the OA output power at the highest input power;
  - it is advisable to make the output port of the output attenuator accessible, because then the OA 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 (±) 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 OA 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 a photodetector with a reflectance of less than  $-30$  dB( $\pm$ ) and a peak-to-peak polarization dependence better than 0,05 dB( $\pm$ ), and an 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( $\pm$ ) fulfill 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 OA.
  - f) Optical connectors compatible with those used as optical input ports of the OA 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 OA 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.

## 5 Test specimen

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

The OA 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 measurement. Changes in the polarization state may result in changes of the optical input power and in changes in the noise due to multiple path interference. Therefore, it is necessary to adjust the input polarization state in order to maximize the noise figure.

## 6 Procedure

### 6.1 General remark

All signal and noise measurements with the electrical spectrum analyzer are 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 6.2, step 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 OA is unknown or non-monotonic. The selected-frequency technique may be used when the total noise power  $N_1(f)$  (with the OA inserted and excluding the thermal noise) either is essentially 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).

## 6.2 Frequency-scanning technique: calibration

In this procedure, the frequency-dependent shot noise and laser intensity noise shall be separately determined. 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.

It is expected that the setting of the polarization controller will have 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 1 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 3 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 OA input power,  $P_{in,0}$ , with 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

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

$\Delta P_{in,rms}$  is the 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.

Calculate  $m$ , using:

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

where

$\Delta P_{in,rms}$  is the r.m.s. optical power modulation amplitude;

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

NOTE 2 Photodetectors do not necessarily have flat frequency response. Some photodetectors exhibit a drop in frequency response at frequencies much lower than given by the detector parasitic capacitance.

- g) Measure the linewidth of the source,  $\Delta\nu$ . Two methods are commonly used in linewidth measurements:
- heterodyning: 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: 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 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,  $N_{thermal}(f)$ , with the ESA at no optical input power. Subtract  $N_{thermal}(f)$  from all further noise measurements. Be mindful of the need for sufficiently low thermal noise to avoid uncertainty in this subtraction (see 6.5).
- 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 photocurrent,  $I_{pd,0}$ , with optical input power,  $P_{in,0}$ , applied to the input of the receiver module as before.
- l') Measure the frequency-dependent noise level,  $N_0(f)$  (thermal noise subtracted).

### 6.3 Frequency-scanning technique: measurement

The measurement procedure is as follows:

- a) Set the input power using appropriate setting of input attenuator. Use the same laser operation condition and modulation signal as in the previous subclause.  
Record the (linear) attenuator transmission factor,  $T_{in}$ .  
Alternatively, measure the actual input power,  $P_{in}$ , with the power meter.
- b) Insert the OA.

- c) Measure the total optical power at OA output,  $P_{\text{out}}$ , with the optical power meter. A jumper cable may be necessary if the OA 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 OA 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,  $T_{\text{out}}$ .
- 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 utilized for calibration, as in 6.1.
- f) Record the signal power,  $S_1$ .

#### 6.4 Selected-frequency technique: calibration and measurement

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

- a) Select a suitable frequency,  $f_1$  (for example, 100 MHz).
- b) Follow steps b) to l) of 6.1, performing all frequency-dependent noise measurements at  $f_1$  only.
- c) Follow steps a) to f) of 6.2, 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 6.2, performing all frequency-dependent noise measurements at  $f_1$  and  $f_2$  only.
- d') Follow steps a) to f) of 6.3, performing all frequency-dependent noise measurements at  $f_1$  and  $f_2$  only.

#### 6.5 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 OA 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 OA-related noise typically exhibit a much smaller dependence on signal output power.

Good accuracy in the measurement of the OA 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 OA 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 OA 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.

## 7 Calculation

NOTE 1 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 2 The background for the calculations presented in Clause 7 is reported in IEC/TR 61292-2.

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

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

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

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

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

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

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

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

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 Equations 12 and 13 above.

## 7.2 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:  $P_{in,0}$ ,  $m$ ,  $\Delta\nu$ ,  $N_{thermal}(f)$ ,  $S_0$ ,  $N_{shot,0}$ ,  $N_{rin,0}(f)$ ,  $B_e$ .
  - 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

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

$$NF(f) = 10 \log F(f) \quad (14)$$

where

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

$$G = \frac{1}{T_{in} T_{out}} \sqrt{\frac{S_1}{S_0}} \quad (\text{optical gain}), \text{ and}$$

$$P_{in} = T_{in} P_{in,0} \quad (\text{input power})$$

- b) If there is no noise figure decrease with frequency, then use the frequency-averaged noise factor to calculate the noise figure.
- c) If the OA 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) 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,  $F_{non-mpi}$ , by least-square fit of the calculated (frequency-dependent) noise factors and the measured linewidth of the source to the following noise figure model:

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

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

- d) 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  $F_{non-mpi}$  and  $G$  previously determined) as

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

## 7.3 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 7.2.

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 7.2. Thus calculate the MPI figure of merit,  $I_{\text{mpi}}$ , 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 factor at baseband frequency  $f$  (or at different frequencies) as

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

## 8 Test results

The following details shall be presented:

- a) arrangement of the test set-up and measurement method;
- b) wavelength(s) of the measurement;
- c) spectral linewidth (full width at half maximum) of the source;
- d) RIN of the optical source;
- e) modulation amplitude and frequency of the optical source;
- f) indication of the optical pump power (if applicable and required);
- g) ambient temperature (if required);
- h) optical power of input signal;
- i) resolution bandwidth of the electrical spectrum analyzer;
- j) noise figure NF and the corresponding baseband frequency or, alternatively, frequency-dependent noise figure;
- k) frequency-independent contribution to the noise factor,  $F_{\text{non-mpi}}$ , and the MPI figure of merit,  $I_{\text{mpi}}$  (if required);
- l) signal-spontaneous noise figure (if required).

## Bibliography

IEC 60793 (all parts), *Optical fibres*

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

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

IEC 60874-1, *Connectors for optical fibres and cables – 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*

IEC/TR 61931, *Fibre optics – Terminology*

---

## SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	19
INTRODUCTION.....	21
1 Domaine d'application et objet.....	22
2 Références normatives.....	22
3 Symboles, acronymes et abréviations.....	23
4 Appareil.....	24
5 Specimen d'essai .....	26
6 Procédure .....	27
6.1 Technique de balayage de fréquence: étalonnage.....	27
6.2 Technique de balayage de fréquence: mesure.....	29
6.3 Technique de fréquence sélectionnée: étalonnage et mesure.....	29
6.4 Limites de la précision de mesure .....	30
7 Calcul.....	30
7.1 Calcul des résultats d'étalonnage.....	30
7.2 Calcul des résultats pour la technique de balayage de fréquence.....	31
7.3 Calcul des résultats de l'essai pour la technique de fréquence sélectionnée.....	32
8 Résultats d'essai .....	33
Bibliographie.....	34
Figure 1 – Schéma d'un montage de mesure .....	25

## COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**AMPLIFICATEURS OPTIQUES –  
MÉTHODES D'ESSAIS –****Partie 3-2: Paramètres du facteur de bruit –  
Méthode de l'analyseur spectral électrique**

## 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 de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'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. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 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 deuxième édition annule et remplace la première édition, publiée en 2003. Elle constitue une révision technique. Elle inclut des mises à jour permettant de s'adresser à tout type d'amplificateur optique – pas seulement les amplificateurs à fibres optiques.

Il convient que la présente norme soit lue conjointement avec la CEI 61290-3 et la CEI 61291-1.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

CDV	Rapport de vote
86C/784/CDV	86C/828/RVC

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.

Une liste de toutes les parties de la série CEI 61290, présentée sous le titre général *Amplificateurs optiques – Méthodes d'essais*, peut être consultée sur le site web de la CEI.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de maintenance indiquée sur le site web de la CEI sous « <http://webstore.iec.ch> », dans les données relatives à la publication concernée. A cette date, la publication sera

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

## 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'Article 3.

## AMPLIFICATEURS OPTIQUES – MÉTHODES D'ESSAIS –

### Partie 3-2: 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 optiques (AO) disponibles commercialement, y compris les AO qui utilisent des fibres pompées optiquement, (AFO basées soit sur des fibres dopées aux terres rares, soit des fibres à effet Raman), les amplificateurs optiques à semiconducteurs (AOS), ainsi que les amplificateurs optiques à guide d'onde plan (PWOA).

L'objet de cette norme est d'établir des exigences uniformes en vue de mesures précises et fiables du facteur de bruit défini dans 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. En conséquence, cette méthode peut être utilisée pour tout type d'amplificateur optique, y compris les AOS et les amplificateurs Raman qui peuvent avoir des contributions significatives en plus de leurs émissions spontanées amplifiées, parce qu'elle mesure le paramètre bruit en totalité. Pour de plus amples détails concernant son application, voir la CEI 61290-3. 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  $\pm 1$  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, *Cable networks for television signals, sound signals and interactive services – Part 6: Optical equipment* (disponible en anglais seulement)

CEI 61290-3, *Amplificateurs à fibres optiques – Spécification de base – Partie 3 : Méthodes d'essai des paramètres du facteur de bruit*<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Les premières éditions de quelques unes de ces parties ont été publiées sous le titre général *Amplificateurs à fibres optiques – Spécifications de base* ou *Amplificateurs optiques – Méthodes d'essai*. Les futures éditions de ces parties apparaîtront sous le titre général indiqué ci-dessus. Les titres individuels des Parties 1-1, 3-1, 5-2, 10-1, 10-2, 10-3, 11-1 et 11-2 seront mis à jour lors d'une prochaine édition conformément à la structure générale de la série.

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

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

### 3 Symboles, acronymes et abréviations

Pour les besoins du présent document, les symboles, acronymes et abréviations suivants s'appliquent.

$B_e$	largeur de bande électrique ESA équivalente de bruit, étalonnée (pas nécessairement la largeur de bande de résolution)
$c$	vitesse de la lumière dans le vide
$e$	charge de l'électron
$f$	fréquence en bande de base
$F$	facteur de bruit (total)
$F_{\text{non-mpi}}$	contribution au facteur de bruit total, indépendant de la fréquence
$F_{\text{mpi}}$	contribution du facteur de bruit à partir du bruit d'interférence provenant de chemins multiples (réflexions internes d'AO)
$G$	gain du signal optique de l'AO
$h$	constante de Planck
$k$	facteur de réduction de puissance optique (par défaut $k = 0,5$ ); il peut être obtenu en prenant la racine carrée du facteur de réduction de puissance électrique
$\nu$	fréquence optique = $c/\lambda$
$\Delta\nu$	largeur de raie FWHM de la source avec modulation
$H_0, H_0(f)$	$S_{\text{esa}} / \Delta P_{\text{in}}^2 =$ fonction de transfert du récepteur en watts <sup>-1</sup>
$I_{\text{mpi}}$	facteur de mérite du paramètre d'interférence multi-chemins, contribution du facteur de bruit provoquée par un brouillage de trajet multiple intégré sur toutes les fréquences de bande de base (0 à l'infini);
$I_{\text{pd}}$	courant du photodétecteur
$\lambda$	longueur d'onde dans le vide
$m$	amplitude de modulation relative (rapport entre l'amplitude de modulation de la puissance optique efficace, et la puissance optique moyenne)
$NF(f)$	facteur de bruit (total)
$N_{\text{rin},0}(f)$	contribution du bruit de l'ASE (dépendant de la fréquence) provoquée par le bruit relatif en intensité du laser aux conditions d'étalonnage
$N_{\text{rin},1}$	bruit (dépendant de la fréquence) provoqué par le bruit relatif en intensité (BRI) du laser, mesuré avec l'ASE
$N_{\text{shot},0}$	bruit de grenaille (indépendant de la fréquence) provoqué par la puissance d'entrée optique, aux conditions d'étalonnage, mesuré avec l'ASE
$N_{\text{thermal}}$	niveau du bruit thermique mesuré avec l'ASE (accès d'entrée optique du module récepteur fermé);
$N_0(f)$	puissance du bruit (dépendant de la fréquence) mesurée avec l'ASE avec l'affaiblisseur d'entrée et de sortie réglé à 0 dB, niveau du bruit thermique soustrait, sans dispositif d'essai d'AO
$N_0'(f)$	puissance du bruit (dépendant de la fréquence) mesurée avec l'ASE avec l'affaiblisseur d'entrée réglé à 3 dB (valeur par défaut) et l'affaiblisseur de sortie réglé à 0 dB, niveau du bruit thermique soustrait, sans dispositif d'essai d'AO

$N_1(f)$	puissance du bruit dépendant de la fréquence, avec l'insertion d'AO, niveau du bruit thermique soustrait, mesuré avec l'ASE
$P_{in}$	puissance optique en entrée moyennée en temps = $T_{in} P_{in,0}$ (avec modulation); puissance optique rayonnée par l'extrémité du câble de liaison en entrée
$P_{in,0}$	puissance optique en entrée moyennée en temps avec affaiblisseur d'entrée réglé à 0 dB (avec modulation)
$\Delta P_{in, rms}$	amplitude de la puissance optique efficace
$P_{out}$	puissance optique totale rayonnée de l'accès de sortie de l'AO, y compris l'ESA
$r_0, r_0(f)$	sensibilité du photodétecteur efficace à travers l'affaiblisseur de sortie réglé à 0 dB
$RIN_{source}(f)$	bruit d'intensité relative à la source; généralement le carré de la fluctuation de la puissance optique efficace, divisé par la largeur de bande (en bande de base) et le carré de la puissance CW
$S_0$	puissance électrique du signal de modulation à $T_{in} = 1$ , mesurée avec l'ASE, sans l'AO
$S_1$	puissance électrique du signal de modulation, avec l'AO inséré, mesurée avec l'ASE
$T_{in}$	facteur de transmission d'affaiblisseur d'entrée par rapport à la transmission à un réglage à 0 dB, exprimé sous forme linéaire
$T_{out}$	facteur de transmission d'affaiblisseur de sortie par rapport à la transmission à un réglage à 0 dB, exprimé sous forme linéaire
$T_x$	amplification de tension entre la sortie du détecteur et l'entrée d'ASE; cette quantité dépend généralement de la fréquence de la bande de base
CW	onde entretenue
DFB	laser à rétroaction répartie ( <i>distributed feedback laser</i> )
ESA	analyseur de spectre électrique
FWHM	pleine largeur à mi-hauteur ( <i>full width at half maximum</i> )
MPI	interférence à trajectoires multiples
AO	amplificateur à fibres optiques
RIN	bruit relatif en intensité de la source, exprimé en $\text{Hz}^{-1}$
RMS	moyenne quadratique ( <i>root mean value</i> )

#### 4 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, RMS, 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,  $P_{\text{out},0}$ , supérieure ou égale à 0 dBm, est recommandée afin de générer la saturation de l'AO 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 refléchet les largeurs de raies typiques des lasers RR, la source laser typique utilisée en conjonction avec des AO. 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'AO. L'utilisation des largeurs de raies plus étroites mène à la situation indésirable où les réflexions internes de l'AO 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'AO aux fréquences qui sont plus rapides que le bord maximal de la largeur de bande de l'ASE.

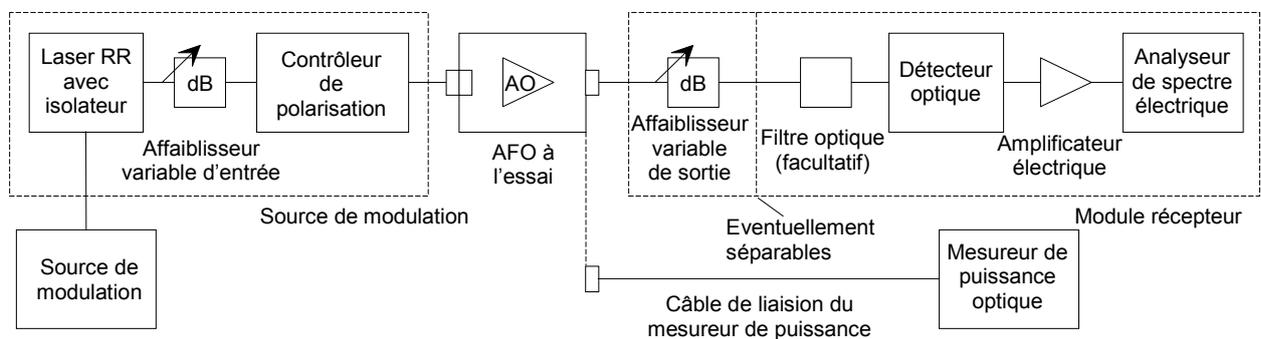
Le bruit d'intensité relative (BIR) de la source laser doit être inférieur à  $-150$  dB/Hz(±) dans la gamme de fréquences d'intérêt (par exemple, 10 MHz à 2 GHz).

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  $\pm 0,05$  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 exigence 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  $\pm 0,01$  dB(±), et des réflectances inférieures à  $-50$  dB(±).



IEC 1187/08

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 longueurs d'onde fonctionnelle de l'AO. 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'AO 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'AO 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( $\pm$ ) 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( $\pm$ ), une dépendance de polarisation crête à crête supérieure à 0,05 dB( $\pm$ ), une réponse de longueur d'onde essentiellement uniforme, des réflectances externes/internes inférieures à  $-50$  dB( $\pm$ ), des capacités de niveau de puissance jusqu'à la puissance de sortie maximale de l'AO. 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 d'un photodétecteur avec une réflectance inférieure à  $-30$  dB( $\pm$ ) et une dépendance de polarisation crête à crête supérieure à 0,05 dB( $\pm$ ), et un amplificateur électrique avec une entrée de grande impédance (pour réaliser un bruit thermique faible);
  - 3) un analyseur de spectre électrique (ASE). Il convient d'avoir une gamme de fréquences dont les contributions de brouillage de trajet multiple (MPI) au facteur de bruit décroissent jusqu'à devenir insignifiante. En général, des gammes de fréquences de 10 MHz à 2 GHz( $\pm$ ) achèvent ce but. Il convient que le bruit de fond de l'ASE soit 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'AO.
- f) Connecteurs optiques compatibles à ceux utilisés comme ports d'entrée optique de l'appareil d'essai de l'AO, 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'AO 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. Le filtre doit avoir les caractéristiques suivantes: largeur de bande du filtre suffisamment étroite pour obtenir la diminution du bruit spontané-spontané prescrite, 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.

## 5 Spécimen d'essai

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

Les accès optiques de l'AO 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.

## 6 Procédure

### 6.1 Remarque générale

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 6.2, 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'AO est inconnue ou non monotonique. La technique de fréquence sélectionnée peut être utilisée lorsque la puissance de bruit totale  $N_1(f)$  (avec l'AO 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).

### 6.2 Technique de balayage de fréquence: étalonnage

Dans cette procédure, le bruit de grenaille dépendant de la fréquence et le bruit d'intensité du laser doivent être déterminés séparément. 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.

Il est attendu que le réglage du contrôleur de polarisation aura 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 1 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'AO,  $P_{in,0}$ , 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

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

$\Delta P_{in,rms}$  est l'amplitude de modulation de la puissance optique RMS 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'un 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.

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 efficace;

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

NOTE 2 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:

- 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;
- 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, dans 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,  $N_{\text{thermal}}(f)$ , avec l'ASE à puissance optique d'entrée nulle. Soustraire  $N_{\text{thermal}}(f)$  de toutes les autres mesures de bruit. Être conscient du besoin d'un bruit thermique suffisamment bas pour éviter de l'incertitude pendant cette soustraction (voir 6.5).
- 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,  $I_{\text{pd},0}$ , avec la puissance optique à l'entrée,  $P_{\text{in},0}$ , 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).

### 6.3 Technique de balayage de fréquence: mesure

La procédure de mesure est la suivante :

- 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 que dans le paragraphe précédent.  
Enregistrer le facteur d'émission de l'affaiblisseur (linéaire),  $T_{\text{in}}$ .  
Comme variante, mesurer la puissance d'entrée réelle,  $P_{\text{in}}$ , avec un mesureur de puissance.
- b) Insérer l'AO.
- c) Mesurer la puissance optique totale à la sortie de l'AO,  $P_{\text{out}}$ , 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'AO 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'AO.  
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,  $T_{\text{out}}$ .
- 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 6.1.
- f) Enregistrer la puissance de signal,  $S_1$ .

### 6.4 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 6.1, en faisant toutes les mesures de bruit dépendant de la fréquence à  $f_1$  seulement.
- c) Suivre les étapes a) à f) de 6.2 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 monotone 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 6.2, 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 6.3, en faisant toutes les mesures de bruit dépendant de la fréquence à  $f_1$  et à  $f_2$  seulement.

### 6.5 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'AO, 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'AO 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'AO 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'AO 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'AO.

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

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

## 7 Calcul

NOTE 1 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 2 Les données de base pour les calculs présentés dans cet Article 7 sont trouvées dans la CEI/TR 61292-2.

### 7.1 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:

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

- 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

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

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

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

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

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

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

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

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).

## 7.2 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:  $P_{\text{in},0}$ ,  $m$ ,  $\Delta v$ ,  $N_{\text{thermal}}(f)$ ,  $S_0$ ,  $N_{\text{shot},0}$ ,  $N_{\text{rin},0}(f)$ ,  $B_e$ .
- résultats obtenus par mesures:  $T_{\text{in}}$ ,  $T_{\text{out}}$ ,  $P_{\text{out}}$ ,  $S_1$ ,  $N_1(f)$ .

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

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

$$NF(f) = 10 \log F(f) \quad (14)$$

où

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

$$G = \frac{1}{T_{in} T_{out}} \sqrt{\frac{S_1}{S_0}} \quad (\text{gain optique}), \text{ et}$$

$$P_{in} = T_{in} P_{in,0} \quad (\text{puissance à l'entrée})$$

- 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'AO 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.
- 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,  $F_{non-mpi}$ , 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:

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

NOTE On peut calculer  $F_{non-mpi}$  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  $F_{non-mpi}$  et  $G$  précisés en avance) comme

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

### 7.3 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 7.2.

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 7.2. Calculer donc le facteur de mérite MPI,  $I_{mpi}$ , et la contribution indépendante de la fréquence au facteur de bruit linéaire total,  $F_{non-mpi}$ , comme

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

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

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

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

## 8 Résultats d'essai

On doit présenter les spécifications suivantes :

- a) disposition du montage de l'essai et méthode de mesure;
- b) longueur(s) d'onde de la mesure;
- c) largeur de raie spectrale (pleine largeur à mi-hauteur) de la source;
- d) BIR de la source optique;
- e) amplitude de modulation et fréquence de la source optique;
- f) indication de la puissance de pompe optique (si applicable et nécessaire) ;
- g) température ambiante (si nécessaire);
- 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,  $I_{\text{mpi}}$  (si nécessaire);
- l) facteur de bruit signal spontané (si nécessaire).

## Bibliographie

CEI 60793 (toutes les parties), *Fibres optiques*

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

CEI 60825-2, *Sécurité des appareils à laser – Partie 2: Sécurité des systèmes de télécommunication par fibres optiques*

CEI 60874-1, *Connecteurs pour fibres et câbles optiques – Partie 1: Spécification générique*

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

CEI/TR 61931, *Fibres optiques – Terminologie*

---

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE  
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

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](mailto:info@iec.ch)  
[www.iec.ch](http://www.iec.ch)