

# INTERNATIONAL STANDARD

## NORME INTERNATIONALE



**Optical amplifiers – Test methods –  
Part 3-3: Noise figure parameters – Signal power to total ASE power ratio**

**Amplificateurs optiques – Méthodes d'essais –  
Partie 3-3: Paramètres du facteur de bruit – Rapport puissance du signal sur  
puissance totale d'ESA**



## THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2013 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

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)

### 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.

#### Useful links:

IEC publications search - [www.iec.ch/searchpub](http://www.iec.ch/searchpub)

The advanced search enables you to find IEC publications by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...).

It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - [webstore.iec.ch/justpublished](http://webstore.iec.ch/justpublished)

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

Electropedia - [www.electropedia.org](http://www.electropedia.org)

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 30 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) on-line.

Customer Service Centre - [webstore.iec.ch/csc](http://webstore.iec.ch/csc)

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: [csc@iec.ch](mailto:csc@iec.ch).

### 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.

#### Liens utiles:

Recherche de publications CEI - [www.iec.ch/searchpub](http://www.iec.ch/searchpub)

La recherche avancée vous permet de trouver des publications CEI en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...).

Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

Just Published CEI - [webstore.iec.ch/justpublished](http://webstore.iec.ch/justpublished)

Restez informé sur les nouvelles publications de la CEI. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et aussi une fois par mois 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 30 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) en ligne.

Service Clients - [webstore.iec.ch/csc](http://webstore.iec.ch/csc)

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: [csc@iec.ch](mailto:csc@iec.ch).

# INTERNATIONAL STANDARD

## NORME INTERNATIONALE



**Optical amplifiers – Test methods –**

**Part 3-3: Noise figure parameters – Signal power to total ASE power ratio**

**Amplificateurs optiques – Méthodes d'essais –**

**Partie 3-3: Paramètres du facteur de bruit – Rapport puissance du signal sur puissance totale d'ESA**

INTERNATIONAL  
ELECTROTECHNICAL  
COMMISSION

COMMISSION  
ELECTROTECHNIQUE  
INTERNATIONALE

PRICE CODE  
CODE PRIX

Q

ICS 33.180.30

ISBN 978-2-8322-1173-1

**Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.**

**Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.**

## CONTENTS

|                                                                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FOREWORD.....                                                                                                                    | 3  |
| 1 Scope and object .....                                                                                                         | 5  |
| 2 Normative references.....                                                                                                      | 5  |
| 3 Terms, definitions and abbreviations .....                                                                                     | 5  |
| 3.1 Terms and definitions .....                                                                                                  | 5  |
| 3.2 Abbreviations .....                                                                                                          | 6  |
| 4 Background .....                                                                                                               | 7  |
| 5 Apparatus .....                                                                                                                | 8  |
| 5.1 Measurement using an OSA .....                                                                                               | 8  |
| 5.2 Measurement using a bandpass filter and an optical power meter .....                                                         | 9  |
| 6 Test sample.....                                                                                                               | 11 |
| 7 Procedure.....                                                                                                                 | 11 |
| 7.1 General.....                                                                                                                 | 11 |
| 7.2 Measurement using an OSA .....                                                                                               | 11 |
| 7.2.1 Calibration .....                                                                                                          | 11 |
| 7.2.2 Measurement.....                                                                                                           | 12 |
| 7.3 Measurement using a bandpass filter and an optical power meter .....                                                         | 13 |
| 7.3.1 General.....                                                                                                               | 13 |
| 7.3.2 Calibration .....                                                                                                          | 13 |
| 7.3.3 Measurement.....                                                                                                           | 13 |
| 8 Calculations.....                                                                                                              | 14 |
| 9 Test results.....                                                                                                              | 14 |
| Annex A (informative) Signal power to total ASE power ratio – Dependence on signal input power, wavelength and output power..... | 15 |
| Bibliography .....                                                                                                               | 17 |
| Figure 1 – Test set-up for OSA calibration and for measuring signal input power and source spontaneous emission power .....      | 8  |
| Figure 2 – Test set-up for measuring signal output power and ASE power using an OSA.....                                         | 8  |
| Figure 3 – Test set-ups for filter calibration and measuring the signal input power.....                                         | 10 |
| Figure 4 – Test set-ups for measuring output signal power and ASE power using a filter and an optical power meter .....          | 10 |
| Figure A.1 – The dependence of $Sig_{ASE}$ on signal input power .....                                                           | 15 |
| Figure A.2 – The ASE spectrum for two different signal wavelengths .....                                                         | 16 |
| Figure A.3 – $Sig_{ASE}$ as a function of output power for different signal wavelength.....                                      | 16 |

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**OPTICAL AMPLIFIERS –  
TEST METHODS –****Part 3-3: Noise figure parameters –  
Signal power to total ASE power ratio**

## 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 itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 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 61290-3-3 has been prepared by subcommittee 86C: Fibre optic systems and active devices, of IEC technical committee 86: Fibre optics.

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

| CDV          | Report on voting |
|--------------|------------------|
| 86C/1121/CDV | 86C/1184/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 in the 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 stability 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.

**IMPORTANT – The 'colour inside' logo on the cover page of this publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61290-3-3:2013

## OPTICAL AMPLIFIERS – TEST METHODS –

### Part 3-3: Noise figure parameters – Signal power to total ASE power ratio

#### 1 Scope and object

This part of IEC 61290-3 applies to all commercially available single channel optical amplifiers (OAs), including OAs using optically pumped fibres (OFAs) based on either rare-earth doped fibres or on the Raman effect, semiconductor optical amplifier modules (SOA modules) and planar optical waveguide amplifiers (POWAs). More specifically, it applies to single channel OAs placed before optical receivers, where there are no optical bandpass filtering elements placed between the OA and the receiver.

The object of this part of IEC 61290-3 is to establish uniform requirements for accurate and reliable measurement of the ratio of the signal output power to the total ASE power generated by the OA in the optical bandwidth of the receiver. This quantity is a measure of the spontaneous-spontaneous beat noise at the receiver, and is correlated to the spontaneous-spontaneous noise factor of the OA,  $F_{\text{sp-sp}}$ , as defined in IEC 61290-3 and IEC 61291-1.

IEC 61290-3-1 describes a measurement method, using an optical spectrum analyzer, OSA, for the signal-spontaneous noise factor  $F_{\text{sig-sp}}$  but does not describe a method for measuring  $F_{\text{sp-sp}}$ . IEC 61290-3-2 describes a measurement method, using an electrical spectrum analyzer (ESA), for the total noise factor  $F_{\text{sp-sp}} + F_{\text{sig-sp}}$ . However, this method does not allow  $F_{\text{sp-sp}}$  to be measured separately, and therefore does not provide a means of directly quantifying the effect of spontaneous-spontaneous beat noise at the receiver. This part of IEC 61290-3 complements IEC 61290-3-1 and IEC 61290-3-2 in that it provides such a means.

Two measurement methods are provided for the ratio of the signal output power to the total ASE power. The first method uses an OSA, while the second method uses a bandpass filter and an optical power meter.

#### 2 Normative references

The following documents, in whole or in part, are normatively referenced in this document and are indispensable for its application. 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, *Optical amplifiers – Test methods – Part 3: Noise figure parameters*

IEC 61291-1:2012, *Optical fibre amplifiers – Part 1: Generic specification*

#### 3 Terms, definitions and abbreviations

##### 3.1 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply.

### 3.1.1

#### signal input power

$P_{in}$

power of the optical signal at the input to the OA

### 3.1.2

#### signal output power

$P_{out}$

power of the optical signal at the output of the OA

### 3.1.3

#### signal wavelength

$\lambda_s$

wavelength of the signal optical carrier

[SOURCE: IEC 61291-1:2012, definition 3.2.2.1.1]

### 3.1.4

#### signal gain

$G$

gain of the OA at the signal wavelength, defined as the ratio of the output signal power to the input signal power

### 3.1.5

#### amplified spontaneous emission band

ASE band

$B_{ASE}$

wavelength band that contains at least 99 % of the total ASE power generated by OA

### 3.1.6

#### ASE centre wavelength

$\lambda_c$

centre wavelength of the ASE band

### 3.1.7

#### ASE power

$P_{ASE}$

ASE power generated by the OA within the ASE band

### 3.1.8

#### signal to total ASE power ratio

$Sig_{ASE}$

ratio of the output signal power to the total ASE power within  $B_{ASE}$

### 3.1.9

#### spontaneous-spontaneous noise factor

$F_{sp-sp}$

ratio of the electrical SNR due to spontaneous-spontaneous beat noise at the OA output to the electrical SNR due to shot noise at the OA input

Note 1 to entry: See also IEC 61290-3 for a detailed formula for  $F_{sp-sp}$ .

## 3.2 Abbreviations

APD avalanche photo diode

AFF ASE flattening filter

ASE amplified spontaneous emission

|      |                                    |
|------|------------------------------------|
| CD   | chromatic dispersion               |
| DFB  | distributed feedback               |
| EDFA | erbium-doped fibre amplifier       |
| ESA  | electrical spectrum analyzer       |
| FWHM | full width half maximum            |
| NF   | noise figure                       |
| OA   | optical amplifier                  |
| OFA  | optical fibre amplifier            |
| OSA  | optical spectrum analyzer          |
| PDG  | polarization dependent gain        |
| PMD  | polarization mode dispersion       |
| POWA | planar optical waveguide amplifier |
| RBW  | resolution band width              |
| SNR  | signal to noise ratio              |
| SOA  | semiconductor optical amplifier    |
| VOA  | variable optical attenuator        |
| WDM  | wavelength division multiplexing   |

#### 4 Background

In recent years, high-speed transmission links beyond 10 Gb/s have been commercially introduced. These links (as well as some high-end 10-Gb/s links, such as submarine links) require high sensitivity receivers, e.g. avalanche photo diode (APD) receivers, which operate in a limited input optical power dynamic range. In addition, specialized optical components such as chromatic dispersion (CD) compensators and polarization mode dispersion (PMD) compensators may be placed on the receiver module, thus introducing considerable optical insertion loss.

In multi-channel wavelength division multiplexed (WDM) links a multi-channel OA is often placed at the end of the link before the WDM signal is demultiplexed into individual channels. The total output power of the multi-channel OA is typically such that the optical power per channel is in the range of 0 dBm to 5 dBm. This power is then attenuated by the demultiplexer, and further attenuated by the specialized optical components mentioned above. Thus, the optical power reaching the receiver may be below the required input optical power dynamic range. In this case, a single channel OA may be placed on the receiver module to boost the optical power reaching the receiver.

In such a situation, there is typically no optical bandpass filter between the single channel OA and the receiver, so that all the amplified spontaneous emission (ASE) noise generated by the amplifier reaches the receiver. This can result in a significant level of spontaneous-spontaneous beat noise at the receiver. One way to characterize this noise is through the spontaneous-spontaneous noise factor,  $F_{sp-sp}$ , as defined in IEC 61290-3 and IEC 61291-1. Another way to characterize the spontaneous-spontaneous beat noise is through the signal to total ASE power ratio,  $Sig\_ASE$ , at the OA output, given by the following:

$$Sig\_ASE = \frac{P_{out}}{P_{ASE}} \quad (1)$$

where  $P_{out}$  is the signal output power of the OA, and  $P_{ASE}$  is the ASE power generated by the OA within the ASE band, given by

$$P_{ASE} = \int_{B_{ASE}} \rho_{ASE}(\lambda) d\lambda \quad (2)$$

where  $B_{ASE}$  is the ASE band of the OA defined as a wavelength band that contains at least 99 % of the total ASE power generated by OA.

Care should be taken to define  $B_{ASE}$  such that it excludes other sources of noise not related to ASE. In particular,  $B_{ASE}$  should exclude possible pump leakage power exiting the OA output port. For example, for a C-band EDFA pumped by a 1 480 nm pump,  $B_{ASE}$  should not include wavelengths below 1 500 nm. This guarantees that  $B_{ASE}$  includes at least 99 % of the ASE generated within the EDFA on the one hand, while excluding possible 1 480 nm pump leakage power on the other.

NOTE 1 In many OAs, and especially in OFAs, the ASE is polarization independent. In some OAs, such as some types of SOA modules, the ASE may be polarization dependent.  $P_{ASE}$  refers to the total power in both polarization directions.

While there is no direct relation between  $Sig_{ASE}$  and  $F_{sp-sp}$ , it is clear that there is a correlation between them, and that both quantities can be used to quantify the effect of spontaneous-spontaneous beat noise at the receiver. The higher is  $Sig_{ASE}$ , the lower is the spontaneous-spontaneous beat noise (and the lower  $F_{sp-sp}$ ), and vice-versa.

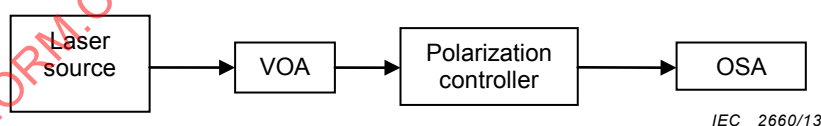
In this standard, a measurement method for  $Sig_{ASE}$  is presented. Annex A provides a brief technical discussion of the various OA parameters that can affect and determine the  $Sig_{ASE}$  value.

NOTE 2 All quantities in this standard are in linear units, unless specifically defined otherwise.

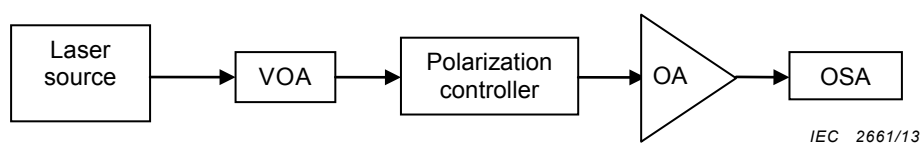
## 5 Apparatus

### 5.1 Measurement using an OSA

This subclause describes the apparatus used for measuring  $Sig_{ASE}$  using an OSA. Figure 1 shows the test set-up used for OSA calibration, as well as for measuring the signal input power and the source spontaneous emission power. Figure 2 shows the test set-up used to measure the signal output power and the ASE power.



**Figure 1 – Test set-up for OSA calibration and for measuring signal input power and source spontaneous emission power**



**Figure 2 – Test set-up for measuring signal output power and ASE power using an OSA**

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

a) A laser source with the following characteristics:

- 1) Either a tuneable laser or a set of discrete lasers able to support the range of signal wavelengths for which the OA under test is to be tested.
- 2) An achievable output power such that the input signal power to the OA under test is above the maximum specified input signal power.
- 3) A single line output with a side mode suppression ratio of at least 40 dB.
- 4) A FWHM linewidth  $<0,01$  nm.
- 5) Output power stability  $<0,05$  dB.

b) VOA – A variable optical attenuator (VOA) with a dynamic range sufficient to support the required range of input signal power levels at which the OA under test is to be tested. The reflectance from each port of the device should be  $<-50$  dB.

NOTE 1 If the output power of the laser source can be varied over the required dynamic range, then the VOA may not be needed.

c) Polarization controller – a device capable of transforming any input polarization state to any output polarization state. The reflectance from each port of the device should be  $<-50$  dB.

NOTE 2 If the polarization dependent gain (PDG) of the an OFA or POWA is  $<0,3$  dB, the polarization controller may not be needed.

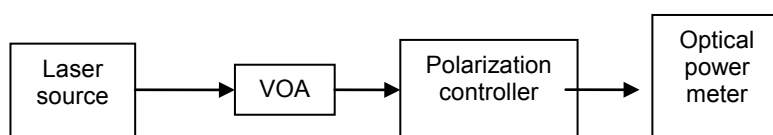
d) OSA – the OSA shall have the following characteristics:

- 1) Polarization sensitivity less than 0,1dB.
- 2) Power stability better than 0,1dB.
- 3) Wavelength accuracy better than 0,05 nm.
- 4) The resolution bandwidth (RBW) of the OSA should be set to a value in the range of 0,2 nm to 1 nm, preferably 0,5 nm.
- 5) Reflectance from the input port of the OSA should be  $<-50$  dB.

## 5.2 Measurement using a bandpass filter and an optical power meter

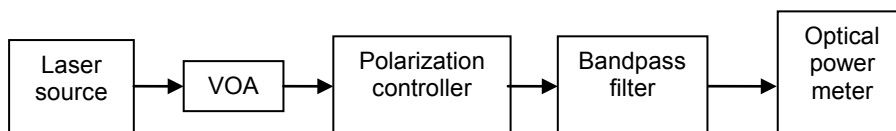
This subclause describes the apparatus used for measuring  $Sig\_ASE$  using a filter and an optical power meter. Figure 3 shows the test set-up used for the filter insertion loss calibration, as well as for measuring the signal input power. Figure 4 shows the test set-up used to measure the signal output power and the ASE power. This measurement method does not allow for the measurement of the laser source spontaneous emission, thus requiring a laser source with low enough spontaneous emission so as not to affect the  $Sig\_ASE$  measurement (see laser source requirements below).

In cases where the OA may emit power outside of  $B_{ASE}$  (for example, pump leakage in the case of an amplifier employing 1 480 nm pumps), then a filter should be placed before the optical power meter to filter out such unwanted components. Such a filter should have an insertion loss ripple of  $<0,5$  dB over  $B_{ASE}$ , and should have an extinction ratio of at least 30 dB (relative to the insertion loss within  $B_{ASE}$ ) for the unwanted wavelength components. This filter should be placed before the optical power meter in Figure 3 and Figure 4.



IEC 2662/13

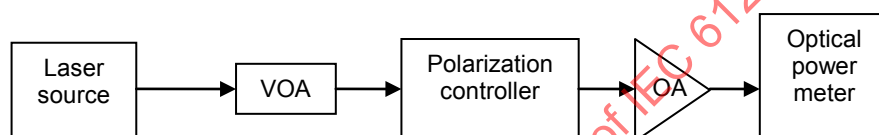
Figure 3a – Test set-up without bandpass filter



IEC 2663/13

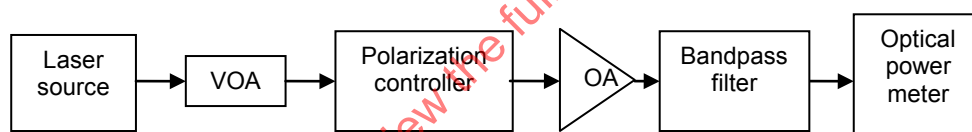
Figure 3b – Test set-up with bandpass filter

Figure 3 – Test set-ups for filter calibration and measuring the signal input power



IEC 2664/13

Figure 4a – Test set-up without bandpass filter



IEC 2665/13

Figure 4b – Test set-up with bandpass filter

Figure 4 – Test set-ups for measuring output signal power and ASE power using a filter and an optical power meter

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

- a) A laser source with the following characteristics:
  - 1) Either a tuneable laser or a set of discrete lasers able to support the range of signal wavelengths for which the OA under test is to be tested.
  - 2) An achievable output power such that the input signal power to the OA under test is above the maximum specified input signal power.
  - 3) A single line output with a side mode suppression ratio of at least 40 dB.
  - 4) A total spontaneous emission power within  $B_{ASE}$  which is at least  $X + 20$  dB less than the laser output power, where  $X$  is the lowest specified  $Sig\_ASE$  ratio of the OA.
  - 5) A FWHM linewidth  $< 0,01$  nm.
  - 6) Output power stability  $< 0,05$  dB.
- b) VOA – A variable optical attenuator (VOA) with a dynamic range sufficient to support the required range of input signal power levels at which the OA under test is to be tested. The reflectance from each port of the device should be  $< -50$  dB.

NOTE 2 If the output power of the laser source can be varied over the required dynamic range, then the VOA may not be needed.

- c) Polarization controller – a device capable of transforming any input polarization state to any output polarization state. The reflectance from each port of the device should be  $< -50$  dB.

NOTE 3 If the polarization dependent gain (PDG) of an OFA or POWA is  $< 0,3$  dB, the polarization controller may not be needed.

- d) A bandpass filter with the following characteristics:
- 1) Either a tuneable filter or a set of discrete filters with centre wavelengths corresponding to the range of signal wavelengths for which the OA under test is to be tested.
  - 2) 1-dB passband of at least  $\pm 20$  GHz around the centre wavelength
  - 3) At least 20 dB attenuation level below the centre wavelength insertion loss for all wavelengths within  $B_{ASE}$  except a range of  $\pm 100$  GHz centred around the centre wavelength.
- e) Optical power meter – should have a measurement accuracy of better than  $\pm 0,2$  dB, irrespective of the signal polarization state.

## 6 Test sample

The OA shall be tested at nominal operating conditions. If the OA is likely to cause laser oscillations due to unwanted reflections, optical isolators should be used to bracket the OA under test. This will minimize the signal instability and the measurement inaccuracy.

Care shall be taken in maintaining the state of polarization of the input signal during the measurement. Changes in the polarization state of the input signal may result in input optical power changes because of the slight polarization dependency expected from all the used optical components, leading to measurement errors.

## 7 Procedure

### 7.1 General

The measurement procedure includes the measurement of the following parameters:

- output signal power –  $P_{out}$
- ASE power –  $P_{ASE}$

In order to measure  $P_{ASE}$ , it may be necessary to measure the source spontaneous emission power,  $P_{SSE}$  of the laser source, as well as the OA gain,  $G$ .  $P_{ASE}$  is then determined by subtracting  $GP_{SSE}$  from the total measured noise power at the OA output. The measurement of  $P_{SSE}$  need not be carried out if care is taken to ensure that it is small enough so as not to affect the measurement of  $Sig_{ASE}$  (see 5.2, a) 4).

### 7.2 Measurement using an OSA

This subclause describes the procedure used for measuring  $Sig_{ASE}$  using an OSA.

#### 7.2.1 Calibration

##### 7.2.1.1 Calibration of optical bandwidth of the OSA

The optical bandwidth  $B_{OSA}$  of the OSA should be accurately calibrated for the RBW at which the measurement is to be performed. This is needed in order to measure the optical power density at each wavelength, and thus the integrated optical power within any desired wavelength band.

NOTE 1 Some OSAs include an automatic function for measuring the integrated optical power in any desired wavelength band. In such cases, it is not necessary to perform this calibration.

To calibrate the optical bandwidth of the OSA, perform the following steps:

- a) Connect the test set-up as shown in Figure 1.
- b) Set the wavelength of the laser source to  $\lambda_c$ , the centre of the ASE band.
- c) Set the OSA centre wavelength to  $\lambda_c$ .
- d) Set the OSA span to zero.
- e) Measure the optical power  $P(\lambda_c)$ .
- f) Set the laser source to a series of wavelengths  $\lambda_i$  to cover the wavelength range  $[\lambda_c - 5 RBW, \lambda_c + 5 RBW]$ , where the interval  $\Delta\lambda_i$  between wavelengths should be smaller than  $RBW/5$ . At each wavelength, measure the optical power,  $P(\lambda_i)$ .
- g) Determine the optical bandwidth of the OSA according to the following formula:

$$B_{OSA} = \frac{1}{P(\lambda_c)} \sum_i P(\lambda_i) \Delta\lambda_i \quad (3)$$

#### 7.2.1.2 Calibration of OSA power calibration factor

Follow the steps listed below to calibrate the OSA power calibration factor,  $P_{Cal}$ . This factor calibrates the OSA for absolute power.

NOTE 2 If the OSA has already been calibrated for absolute power, this calibration step is not required.

- a) Connect the test set-up as shown in Figure 1.
- b) Set the wavelength of the laser source to  $\lambda_c$ , the centre of the ASE band.
- c) Set the OSA centre wavelength to  $\lambda_c$ .
- d) Measure the optical power at  $\lambda_c$ ,  $P_{OSA}$ .
- e) Disconnect the OSA, and connect instead a calibrated power meter.
- f) Measure the optical power  $P_{PM}$ .
- g) Determine the OSA power calibration factor according to the following formula:

$$P_{Cal} = P_{PM}/P_{OSA} \quad (4)$$

#### 7.2.2 Measurement

Follow the steps listed below to perform the measurement:

- a) Connect the test set-up as shown in Figure 1.
- b) Set the wavelength of the laser source to the required signal wavelength,  $\lambda_s$ .
- c) Set the VOA such that the signal input power is at the required level.
- d) Set the span of the OSA to cover the ASE band.
- e) Measure the OSA power at the signal wavelength,  $P(\lambda_s)$ , and determine the signal input power as  $P_{in} = P(\lambda_s) \times P_{Cal}$ .
- f) Measure the optical power at all wavelengths  $\lambda_i$  in the ASE band with a resolution of at least  $RBW/5$ . For each wavelength calculate the optical power density as  $\rho(\lambda_i) = P(\lambda_i)/B_{OSA}$ .
- g) Measure the total optical power in the ASE band according to the following formula:

$$P_{Tot} = \sum_i \rho(\lambda_i) \Delta\lambda_i \quad (5)$$

- h) Determine the source spontaneous emission power as  $P_{SSE} = P_{Tot} \times P_{Cal} - P_{In}$ .

- i) Connect the test set-up as shown in Figure 2.
- j) Operate the OA at the required operating conditions.
- k) Measure the OSA power at the signal wavelength,  $P(\lambda_s)$ , and determine the signal output power as  $P_{out} = P(\lambda_s) \times P_{Cal}$ .
- l) Determine the signal gain as  $G = P_{out}/P_{in}$ .
- m) Measure the optical power at all wavelengths  $\lambda_i$  in the ASE band with a resolution of at least  $RBW/5$ . For each wavelength calculate the optical power density as  $\rho(\lambda_i) = P(\lambda_i)/B_{OSA}$ .
- n) Measure the total optical power in the ASE band according to the following formula:

$$P_{Tot} = \sum_i \rho(\lambda_i) \Delta\lambda_i \quad (6)$$

- o) Determine the ASE power as

$$P_{ASE} = P_{Cal}P_{Tot} - P_{out} - GP_{SSE} \quad (7)$$

NOTE 1 Some OSA may contain an internal integration function that automatically calculates the integrated optical power in a given wavelength band. In this case, steps f), g), m) and n) may be performed using this automatic function.

NOTE 2 The use of the signal gain  $G$  to calculate the amplified source spontaneous emission at the OA output may not be totally accurate, since the amplifier gain may be wavelength dependent. However, there are two factors in favour of using this approximation: 1) When an OA is designed to minimize  $Sig\_ASE$ , the gain is typically quite flat within the wavelength band that contributes the most to  $P_{ASE}$ ; 2) When  $Sig\_ASE$  is at its worst, this usually means that  $G$  is smaller than the gain at most points within the wavelength band that contributes the most to  $P_{ASE}$ . Thus, the amplified source spontaneous emission is slightly under-estimated, and  $P_{ASE}$  slightly over estimated. This means that the worst measured  $Sig\_ASE$  can be viewed as a lower limit to the real  $Sig\_ASE$  over all operating conditions of the OA.

### 7.3 Measurement using a bandpass filter and an optical power meter

#### 7.3.1 General

This subclause describes the procedure used for measuring  $Sig\_ASE$  using a bandpass filter and an optic power meter.

#### 7.3.2 Calibration

Follow the procedure listed below to calibrate the bandpass filter insertion loss:

- a) Connect the test set-up as shown in Figure 3a.
- b) Set the wavelength of the laser source to the required signal wavelength,  $\lambda_s$ .
- c) Measure the optical power without the bandpass filter,  $P_0$ , using the optical power meter.
- d) Insert the bandpass filter as shown in Figure 3b, with the centre wavelength of the filter equal to  $\lambda_s$ .
- e) Measure the optical power with the bandpass filter,  $P_1$ , using the optical power meter.
- f) Determine the filter insertion loss at the signal wavelength as

$$IL_F(\lambda_s) = P_1 / P_0 \quad (8)$$

#### 7.3.3 Measurement

Follow the steps listed below to perform the measurement:

- a) Connect the test set-up as shown in Figure 3(a).
- b) Set the wavelength of the laser source to the required signal wavelength,  $\lambda_s$ .

- c) Set the VOA such that the signal input power is at the required level.
- d) Measure the signal input power  $P_{in}$  using the optical power meter.
- e) Insert the OA as shown in Figure 4a.
- f) Operate the OA at the required operating conditions
- g) Measure the total OA output power,  $P_{Tot}$ , using the optical power meter.
- h) Insert the bandpass filter as shown in Figure 4b, with the centre wavelength of the filter equal to  $\lambda_s$ .
- i) Measure the optical power with the bandpass filter,  $P_2$ , using the optical power meter.
- j) Determine the signal output power as  $P_{out} = P_2/IL_F(\lambda_s)$ .
- k) Determine the ASE power as  $P_{ASE} = P_{Tot} - P_{out}$ .

## 8 Calculations

$Sig\_ASE$  may be calculated from Formula (3) using  $P_{out}$  and  $P_{ASE}$ . Note that as with all values and calculations presented in this standard, the values are calculated in linear units. They may be transferred to dB as required.

## 9 Test results

$Sig\_ASE$  shall be measured for all combinations of signal wavelengths, signal input power levels and OA signal gain levels so as to cover the OA operating range sufficiently, as set in the OA specifications. If the PDG of the OA is above 0,3 dB, then at each operating point a polarization controller should be set to obtain the lowest value of  $Sig\_ASE$ .

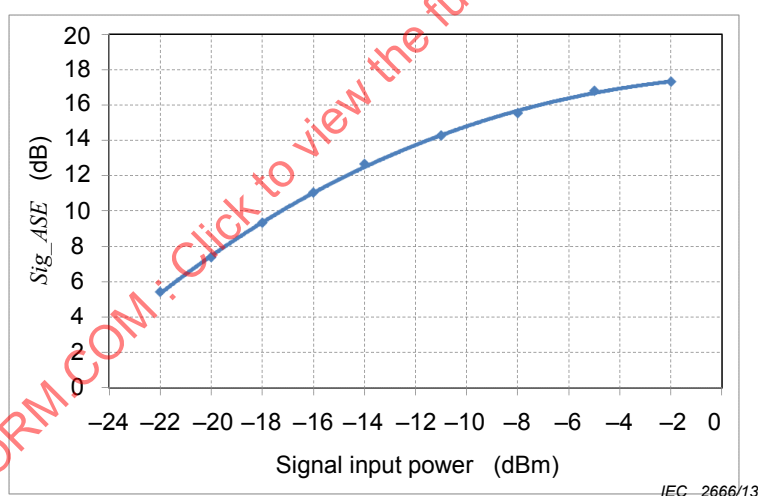
At a minimum, the worst case result for  $Sig\_ASE$  shall be provided, along with the signal wavelength, input power level, and OA gain level at which this result was measured.

## Annex A (informative)

### Signal power to total ASE power ratio – Dependence on signal input power, wavelength and output power

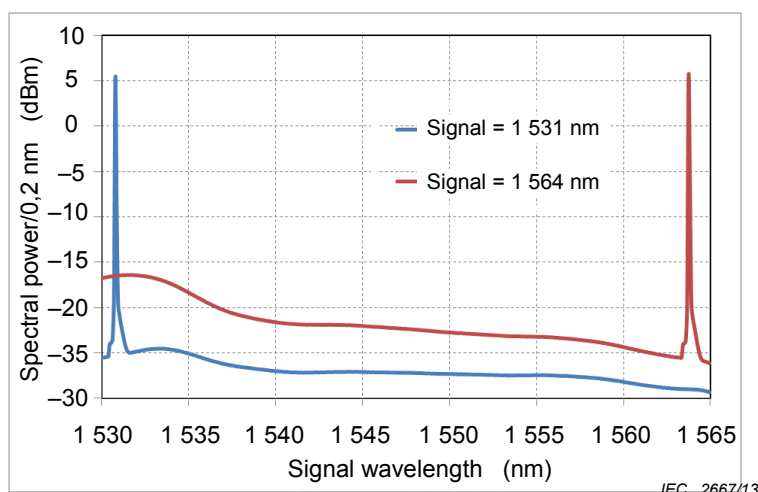
Most OAs are designed to minimize the noise figure (NF), which is related to the ASE in the vicinity of the signal wavelength. However, when designing a single channel OA to be placed on a receiver module, it is desirable to increase the signal power to total ASE power ratio ( $Sig\_ASE$ ) as much as possible in order to improve the receiver performance. This means that the total ASE of the OA should be minimized, and not just the ASE in the vicinity of the signal channel. This annex provides a brief technical discussion of the various OA parameters that can affect and determine  $Sig\_ASE$ .

The main parameter that affects  $Sig\_ASE$  is the signal input power. In a typical application, the OA is designed to operate in automatic power control (APC) mode to provide constant signal output power to the receiver. This means that the gain of the amplifier depends on the signal input power. The higher the signal input power, the lower the required gain in order to achieve the desired operating signal output power. Since the ASE power is approximately proportional to the gain, this means that for a given signal output power,  $Sig\_ASE$  will be increased approximately proportionally with the signal input power. At high signal input power (low gain), the ASE ceases to be proportional to the signal input power, and instead is determined by the signal output power. Thus, at high signal input power the  $Sig\_ASE$  increases at a slower rate. An example of the dependence of  $Sig\_ASE$  on signal input power is shown in Figure A.1



**Figure A.1 – The dependence of  $Sig\_ASE$  on signal input power**

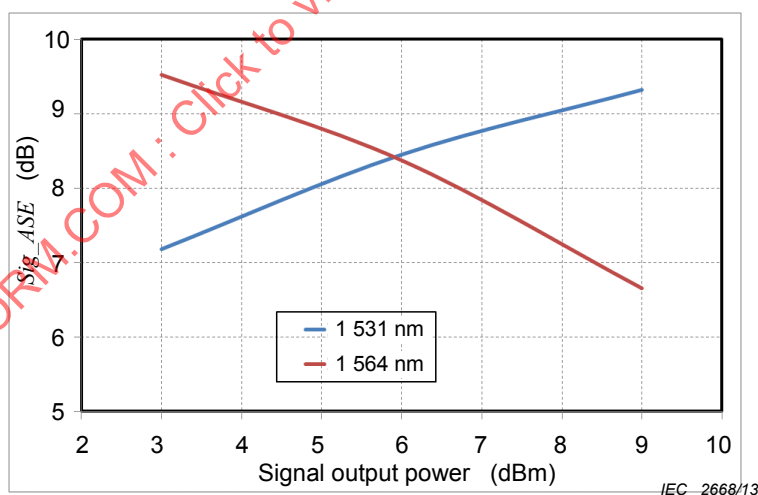
If the single channel OA is specified to operate over a wavelength band, and not just at a specific wavelength, then  $Sig\_ASE$  can also depend on the signal wavelength. For a wider operating wavelength band, the ASE is likely to be less uniform over the band, and wavelength dependence of  $Sig\_ASE$  will be stronger. This is illustrated in Figure A.2, which shows the ASE spectrum for two different signal wavelengths at opposite ends of the C-band. In both cases the signal input and output power are the same, however as can be clearly seen, the  $Sig\_ASE$  ratio is significantly lower in the case of a 1 564 nm signal.



NOTE In both the cases the signal input and output powers are the same.

**Figure A.2 – The ASE spectrum for two different signal wavelengths**

In order to flatten *Sig\_ASE* over the specified operating wavelength band, an ASE flattening filter (AFF) can be used. This filter is typically designed such that at the optimal operating signal input and output power, in other words at the optimal signal gain, the *Sig\_ASE* is substantially flat as a function of signal wavelength. However, when the operating conditions (signal input and/or output power) differ from the optimal values, then the *Sig\_ASE* becomes tilted. This effect is illustrated in Figure A.3, which shows *Sig\_ASE* for a constant signal input power and varying output power for two different signal wavelengths at either end of the C-band. When the signal output power is higher than optimal, *Sig\_ASE* at 1 531 nm increases, and *Sig\_ASE* at 1 564 nm decreases. When the signal output power is lower than optimal, the opposite behaviour occurs.



NOTE A gain-flattening filter, GFF, is used to achieve flat *Sig\_ASE* as a function of wavelength for the optimal signal output power (in this case 6 dBm).

**Figure A.3 – *Sig\_ASE* as a function of output power for different signal wavelength**

## Bibliography

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

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

---

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61290-3-3:2013

## SOMMAIRE

|                                                                                                                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| AVANT-PROPOS .....                                                                                                                                                                                         | 19 |
| 1 Domaine d'application et objet .....                                                                                                                                                                     | 21 |
| 2 Références normatives .....                                                                                                                                                                              | 21 |
| 3 Termes, définitions et abréviations .....                                                                                                                                                                | 22 |
| 3.1 Termes et définitions .....                                                                                                                                                                            | 22 |
| 3.2 Abréviations .....                                                                                                                                                                                     | 23 |
| 4 Contexte .....                                                                                                                                                                                           | 23 |
| 5 Appareillage .....                                                                                                                                                                                       | 24 |
| 5.1 Mesure à l'aide d'un ASO .....                                                                                                                                                                         | 24 |
| 5.2 Mesure à l'aide d'un filtre passe bande et d'un appareil de mesure de<br>puissance optique .....                                                                                                       | 26 |
| 6 Échantillon d'essai .....                                                                                                                                                                                | 27 |
| 7 Mode opératoire .....                                                                                                                                                                                    | 28 |
| 7.1 Généralités .....                                                                                                                                                                                      | 28 |
| 7.2 Mesure à l'aide d'un ASO .....                                                                                                                                                                         | 28 |
| 7.2.1 Étalonnage .....                                                                                                                                                                                     | 28 |
| 7.2.2 Mesure .....                                                                                                                                                                                         | 29 |
| 7.3 Mesure à l'aide d'un filtre passe bande et d'un appareil de mesure de<br>puissance optique .....                                                                                                       | 30 |
| 7.3.1 Généralités .....                                                                                                                                                                                    | 30 |
| 7.3.2 Étalonnage .....                                                                                                                                                                                     | 30 |
| 7.3.3 Mesure .....                                                                                                                                                                                         | 30 |
| 8 Calculs .....                                                                                                                                                                                            | 31 |
| 9 Résultats d'essai .....                                                                                                                                                                                  | 31 |
| Annexe A (informative) Rapport puissance du signal sur puissance totale de l'ESA –<br>Dépendance vis-à-vis de la puissance d'entrée de signal, de la longueur d'onde et de la<br>puissance de sortie ..... | 32 |
| Bibliographie .....                                                                                                                                                                                        | 34 |
| Figure 1 – Montage d'essai pour l'étalonnage de l'ASO et pour mesurer la puissance<br>d'entrée de signal et la puissance d'émission spontanée de source .....                                              | 25 |
| Figure 2 – Montage d'essai pour mesurer la puissance de sortie de signal et la<br>puissance d'ESA à l'aide d'un ASO .....                                                                                  | 25 |
| Figure 3 – Montages d'essai pour l'étalonnage du filtre et la mesure de la puissance<br>d'entrée du signal .....                                                                                           | 26 |
| Figure 4 – Montages d'essai pour la mesure de la puissance de sortie du signal et de la<br>puissance de l'ESA à l'aide d'un filtre et d'un appareil de mesure de puissance optique .....                   | 26 |
| Figure A.1 – Dépendance de $Sig\_ASE$ vis-à-vis de la puissance d'entrée du signal .....                                                                                                                   | 32 |
| Figure A.2 – Spectre de l'ESA pour deux longueurs d'onde de signal différentes .....                                                                                                                       | 33 |
| Figure A.3 – $Sig\_ASE$ en fonction de la puissance de sortie pour une longueur d'onde de<br>signal différente .....                                                                                       | 33 |

## COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

## AMPLIFICATEURS OPTIQUES – MÉTHODES D'ESSAIS –

### Partie 3-3: Paramètres du facteur de bruit – Rapport puissance du signal sur puissance totale d'ESA

#### 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 elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de la CEI. La CEI n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 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 brevet. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 61290-3-3 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.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

| CDV          | Rapport de vote |
|--------------|-----------------|
| 86C/1121/CDV | 86C/1184/RVC    |

Les rapports de vote indiqués dans le tableau ci-dessus donnent 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, publiées sous le titre général *Amplificateurs optiques – Méthodes d'essai*, 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 stabilité indiquée sur le site web de la CEI sous «<http://webstore.iec.ch>» dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera:

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

**IMPORTANT – Le logo "colour inside" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61290-3-3:2013

## AMPLIFICATEURS OPTIQUES – MÉTHODES D'ESSAIS –

### Partie 3-3: Paramètres du facteur de bruit – Rapport puissance du signal sur puissance totale d'ESA

#### 1 Domaine d'application et objet

La présente partie de la CEI 61290-3 s'applique à tous les amplificateurs optiques (AO) monocanaux disponibles commercialement, y compris les AO utilisant des fibres pompées optiquement (OFA) 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 (POWA). Elle s'applique plus particulièrement aux AO monocanaux placés devant des récepteurs optiques, lorsqu'il n'y a pas d'élément de filtrage optique passe bande placé entre l'AO et le récepteur.

L'objet de la présente partie de la CEI 61290-3 est de déterminer des exigences uniformes de mesure précise et fiable du rapport de la puissance de sortie du signal sur la puissance totale d'émission spontanée amplifiée (ESA) générée par l'AO (amplificateur optique) dans la bande passante optique du récepteur. Cette quantité est une mesure du bruit de battement spontané-spontané au niveau du récepteur et elle est corrélée avec le facteur de bruit spontané-spontané de l'AO,  $F_{sp-sp}$ , selon les définitions de la CEI 61290-3 et de la CEI 61291-1.

La CEI 61290-3-1 décrit une méthode de mesure utilisant un analyseur de spectre optique, ASO, pour le facteur de bruit signal-spontané  $F_{sig-sp}$  mais ne décrit pas de méthode de mesure du  $F_{sp-sp}$ . La CEI 61290-3-2 décrit une méthode de mesure utilisant un analyseur de spectre électrique (ASE), pour le facteur de bruit total  $F_{sp-sp} + F_{sig-sp}$ . Cependant, cette méthode ne permet pas de mesurer séparément  $F_{sp-sp}$  et ne fournit donc pas de moyen de quantification directe de l'effet du bruit de battement spontané-spontané au niveau du récepteur. La présente partie de la CEI 61290-3 complète la CEI 61290-3-1 et la CEI 61290-3-2 en ce qu'elle présente un tel moyen.

Deux méthodes de mesure sont proposées pour le rapport de la puissance totale du signal sur la puissance totale d'ESA (émission spontanée amplifiée). La première méthode utilise un AOS (amplificateur optique à semiconducteurs) tandis que la seconde méthode utilise un filtre passe bande et un appareil de mesure de puissance optique.

#### 2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. 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, *Amplificateurs optiques – Méthodes d'essai – Partie 3: Paramètres du facteur de bruit*

CEI 61291-1:2012, *Amplificateurs à fibres optiques – Partie 1: Spécification générique*

### 3 Termes, définitions et abréviations

#### 3.1 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

##### 3.1.1

##### **puissance d'entrée du signal**

$P_{in}$

puissance du signal optique à l'entrée de l'AO

##### 3.1.2

##### **puissance de sortie du signal**

$P_{out}$

puissance du signal optique à la sortie de l'AO

##### 3.1.3

##### **longueur d'onde du signal**

$\lambda_s$

longueur d'onde de la porteuse optique du signal

[SOURCE: CEI 61291-1: 2012, définition 3.2.2.1.1]

##### 3.1.4

##### **gain du signal**

$G$

gain de l'AO à la longueur d'onde du signal, défini comme le rapport de la puissance de sortie de signal sur la puissance d'entrée de signal

##### 3.1.5

##### **bande de l'émission spontanée amplifiée**

bande de l'ESA

$B_{ASE}$

bande de longueurs d'onde contenant au moins 99 % de la puissance de l'ESA générée par l'AO

##### 3.1.6

##### **longueur d'onde centrale de l'ESA**

$\lambda_c$

longueur d'onde centrale de la bande de l'ESA

##### 3.1.7

##### **puissance de l'ESA**

$P_{ASE}$

puissance de l'ESA générée par l'AO à l'intérieur de la bande de l'ESA

##### 3.1.8

##### **rapport signal sur puissance totale de l'ESA**

$Sig_{ASE}$

rapport de la puissance de sortie de signal sur la puissance totale de l'ESA dans  $B_{ASE}$

##### 3.1.9

##### **facteur de bruit spontané-spontané**

$F_{sp-sp}$

rapport du SNR (rapport signal/bruit) électrique dû au bruit de battement spontané-spontané à la sortie de l'AO sur le SNR électrique dû au bruit de grenaille à l'entrée de l'AO

Note 1 à l'article: Voir aussi la CEI 61290-3 concernant une formule détaillée relative à  $F_{sp-sp}$ .

### 3.2 Abréviations

| Terme | Terme en français                               | Equivalent en anglais                 |
|-------|-------------------------------------------------|---------------------------------------|
| APD   | photodiode à avalanche                          | avalanche photo diode                 |
| AFF   | filtre d'aplatissement d'ESA                    | ASE flattening filter                 |
| ESA   | émission spontanée amplifiée                    | amplified spontaneous emission (ASE)  |
| CD    | dispersion chromatique                          | chromatic dispersion                  |
| DFB   | rétroaction distribuée                          | distributed feedback                  |
| ASE   | analyseur de spectre électrique                 | electrical spectrum analyser (ESA)    |
| EDFA  | amplificateur optique à fibre dopée à l'erbium  | erbium-doped fibre amplifier          |
| FWIH  | pleine largeur à mi-hauteur                     | full width half maximum               |
| NF    | facteur de bruit                                | noise figure                          |
| AO    | amplificateur optique                           | optical amplifier (OA)                |
| AFO   | amplificateur à fibres optiques                 | optical fibre amplifier (OFA)         |
| ASO   | analyseur de spectre optique                    | optical spectrum analyzer (OSA)       |
| PDG   | gain dépendant de la polarisation               | polarization dependent gain (PDG)     |
| PMD   | dispersion de mode de polarisation              | polarization mode dispersion          |
| POWA  | amplificateur optique à guide d'onde planaire   | planar optical waveguide amplifier    |
| RBW   | largeur de bande de résolution                  | resolution bandwidth                  |
| SNR   | rapport signal/bruit                            | signal to noise ratio                 |
| AOS   | amplificateur optique à semi-conducteur         | semiconductor optical amplifier (SOA) |
| VOA   | atténuateur optique variable                    | variable optical attenuator           |
| WDM   | multiplexage par répartition en longueur d'onde | wavelength division multiplexing      |

## 4 Contexte

Des liaisons commerciales de transmission à grande vitesse, dépassant 10 Gb/s, sont apparues depuis quelques années. Ces liaisons (ainsi que certaines liaisons haut de gamme à 10 Gb/s, telles que des liaisons sous-marines) nécessitent des récepteurs de haute sensibilité, par exemple des récepteurs à photodiode à avalanche (APD), qui fonctionnent dans une plage dynamique de puissance optique d'entrée limitée. De plus, des composants optiques spécialisés tels que des compensateurs de dispersion chromatique (CD) et des compensateurs de dispersion de mode de polarisation (PMD) peuvent être placés sur le module récepteur, ajoutant ainsi un affaiblissement d'insertion optique considérable.

Dans des liaisons multicanaux multiplexés par répartition en longueur d'onde (WDM), un AO (amplificateur optique) multicanaux est souvent placé à l'extrémité de la liaison avant de démoduler le signal WDM en canaux individuels. La puissance totale de sortie de l'AO multicanaux est généralement telle que la puissance optique par canal se situe dans la plage de 0 dBm à 5 dBm. Cette puissance est ensuite affaiblie par le démultiplexeur et encore affaiblie par les composants optiques spécialisés mentionnés ci-dessus. Ainsi, la puissance optique atteignant le récepteur peut être inférieure à la plage dynamique de puissance optique

d'entrée nécessaire. Dans ce cas, on peut disposer un AO monocal sur le module récepteur pour amplifier la puissance optique atteignant le récepteur.

Dans une telle situation, il n'y a généralement pas de filtre optique passe bande entre l'AO (amplificateur optique) monocal et le récepteur, de sorte que la totalité du bruit d'émission spontanée amplifiée (ESA) généré par l'amplificateur atteint le récepteur. Ceci peut produire un niveau significatif de bruit de battement spontané-spontané au niveau du récepteur. Une façon de caractériser ce bruit est d'utiliser le facteur de bruit spontané-spontané,  $F_{sp-sp}$ , comme le définissent la CEI 61290-3 et la CEI 61291-1. Une autre façon de caractériser le bruit de battement spontané-spontané est d'utiliser le rapport signal sur puissance totale d'émission spontanée amplifiée (ESA),  $Sig\_ASE$ , au niveau de la sortie de l'AO, donné par la formule suivante:

$$Sig\_ASE = \frac{P_{out}}{P_{ASE}} \quad (1)$$

où  $P_{out}$  est la puissance du signal de sortie de l'AO, et  $P_{ASE}$  est la puissance d'ESA générée par l'AO dans la bande d'ESA, donnée par la formule suivante:

$$P_{ASE} = \int_{B_{ASE}} \rho_{ASE}(\lambda) d\lambda \quad (2)$$

où  $B_{ASE}$  est la bande d'ESA de l'AO définie comme la bande de longueurs d'onde contenant au moins 99 % de la puissance d'ESA totale générée par l'AO.

Il convient de définir soigneusement  $B_{ASE}$  de manière à exclure les autres sources de bruit qui ne sont pas liées à l'ESA. En particulier, il convient que  $B_{ASE}$  exclue la puissance de fuite de pompe possible sortant par le port de sortie de l'AO. Par exemple, pour un EDFA en bande C pompé par une pompe à 1 480 nm, il convient que  $B_{ASE}$  n'inclue pas les longueurs d'ondes inférieures à 1 500 nm. Ceci garantit que  $B_{ASE}$  contient au moins 99 % de l'ESA générée dans l'EDFA d'une part, tout en excluant la puissance de fuite de pompe possible à 1 480 nm d'autre part.

NOTE 1 Dans de nombreux AO, et en particulier dans les AFO, l'ESA est indépendante de la polarisation. Dans certains AO, par exemple certains types de modules d'AOS, l'ESA peut dépendre de la polarisation.  $P_{ASE}$  se réfère à la puissance totale dans les deux sens de polarisation.

Bien qu'il n'y ait pas de relation directe entre  $Sig\_ASE$  et  $F_{sp-sp}$ , il est clair qu'il existe une corrélation entre eux et que ces deux quantités peuvent être utilisées pour quantifier l'effet du bruit de battement spontané-spontané au niveau du récepteur. Plus  $Sig\_ASE$  est grand, plus le bruit de battement spontané-spontané est faible (et plus  $F_{sp-sp}$  est faible) et inversement.

Une méthode de mesure de  $Sig\_ASE$  est présentée dans la présente norme. L'Annexe A présente une brève explication technique des divers paramètres de l'AO pouvant avoir une influence sur  $Sig\_ASE$  et déterminer sa valeur.

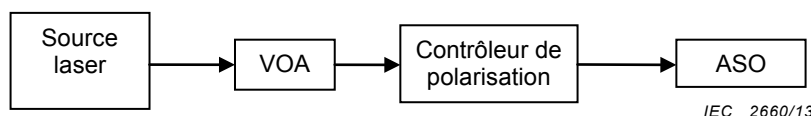
NOTE 2 Toutes les grandeurs figurant dans la présente norme sont en unités linéaires, sauf spécifiquement défini dans le cas contraire.

## 5 Appareillage

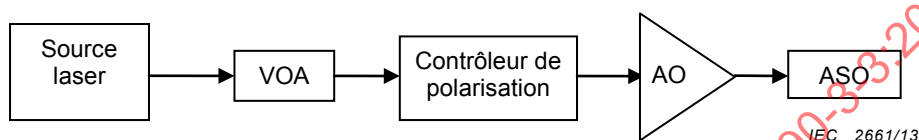
### 5.1 Mesure à l'aide d'un ASO

Ce paragraphe décrit l'appareillage utilisé pour mesurer  $Sig\_ASE$  à l'aide d'un ASO. La Figure 1 représente le montage d'essai utilisé pour l'étalonnage de l'ASO, ainsi que pour mesurer la puissance d'entrée du signal et la puissance d'émission spontanée de la source. La Figure 2

représente le montage d'essai utilisé pour mesurer la puissance de sortie du signal et la puissance de l'ESA.



**Figure 1 – Montage d'essai pour l'étalonnage de l'ASO et pour mesurer la puissance d'entrée de signal et la puissance d'émission spontanée de source**



**Figure 2 – Montage d'essai pour mesurer la puissance de sortie de signal et la puissance d'ESA à l'aide d'un ASO**

Le matériel d'essai dont la liste est donnée ci-dessous, avec les caractéristiques exigées, est nécessaire.

a) Une source laser ayant les caractéristiques suivantes:

- 1) Soit un laser accordable, soit un ensemble de lasers discrets, capable de prendre en charge la bande de longueurs d'onde du signal pour laquelle l'AO soumis à essai doit faire l'objet de l'essai.
- 2) Une puissance de sortie atteignable telle que la puissance d'entrée du signal dans l'AO soumis à essai est supérieure à la puissance d'entrée du signal maximale spécifiée.
- 3) Une sortie à raie unique avec un rapport de suppression de mode latéral supérieur ou égal à 40 dB.
- 4) Une largeur de raie FWHM < 0,01 nm.
- 5) Stabilité de la puissance de sortie < 0,05 dB.

b) VOA – Un atténuateur optique variable (VOA) avec une plage dynamique suffisante pour prendre en charge la plage exigée de niveaux de puissance du signal d'entrée à laquelle l'AO soumis à essai doit faire l'objet de l'essai. Il convient que le facteur de réflexion de chaque port du dispositif soit < –50 dB.

NOTE 1 S'il est possible de faire varier la puissance de sortie de la source laser sur la plage dynamique exigée, le VOA peut alors ne pas être nécessaire.

c) Un contrôleur de polarisation – dispositif capable de transformer n'importe quel état de polarisation en entrée en n'importe quel état de polarisation en sortie. Il convient que le facteur de réflexion de chaque port du dispositif soit < –50 dB.

NOTE 2 Si le gain dépendant de la polarisation (PDG) d'un AFO ou d'un POWA est < 0,3 dB, le contrôleur de polarisation peut ne pas être nécessaire.

d) ASO – l'ASO (analyseur de spectre optique) doit avoir les caractéristiques suivantes:

- 1) Sensibilité de polarisation meilleure que 0,1 dB.
- 2) Stabilité de puissance meilleure que 0,1 dB.
- 3) Exactitude de longueur d'onde meilleure que 0,05 nm.
- 4) Il convient que la largeur de bande de résolution (RBW) de l'ASO soit fixée à une valeur située dans la plage de 0,2 nm à 1 nm, de préférence 0,5 nm.
- 5) Il convient que le facteur de réflexion du port d'entrée de l'ASO soit < –50 dB.

## 5.2 Mesure à l'aide d'un filtre passe bande et d'un appareil de mesure de puissance optique

Ce paragraphe décrit l'appareillage utilisé pour mesurer  $Sig\_ASE$  à l'aide d'un filtre et d'un appareil de mesure de puissance optique. La Figure 3 représente le montage d'essai utilisé pour l'étalonnage de l'affaiblissement d'insertion du filtre, ainsi que pour mesurer la puissance d'entrée du signal. La Figure 4 représente le montage d'essai utilisé pour mesurer la puissance de sortie du signal et la puissance de l'ESA. Cette méthode de mesure ne permet pas de mesurer l'émission spontanée de la source laser; elle nécessite donc une source laser ayant une émission spontanée suffisamment faible pour ne pas avoir d'influence sur la mesure de  $Sig\_ASE$  (voir ci-dessous les exigences relatives à la source laser).

Si l'AO peut émettre de l'énergie en dehors de  $BASE$  (par exemple une fuite de pompe dans le cas d'un amplificateur utilisant des pompes à 1 480 nm), il convient alors de placer un filtre devant l'appareil de mesure de puissance optique pour filtrer ces composantes indésirables. Il convient qu'un tel filtre ait une ondulation d'affaiblissement d'insertion  $< 0,5$  dB sur  $B_{ASE}$  et il convient qu'il ait un rapport d'extinction d'au moins 30 dB (par rapport à l'affaiblissement d'insertion dans  $B_{ASE}$ ) pour les composantes de longueurs d'onde indésirables. Il convient de placer ce filtre devant l'appareil de mesure de puissance optique de la Figure 3 et la Figure 4.

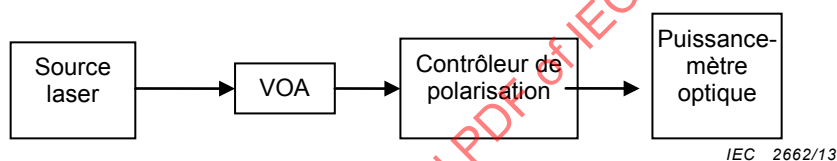


Figure 3a – Montage d'essai sans filtre passe-bande

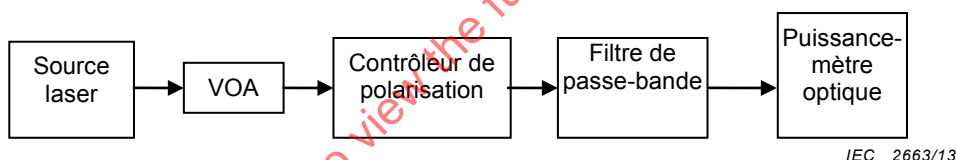


Figure 3b – Montage d'essai avec filtre passe-bande

Figure 3 – Montages d'essai pour l'étalonnage du filtre et la mesure de la puissance d'entrée du signal

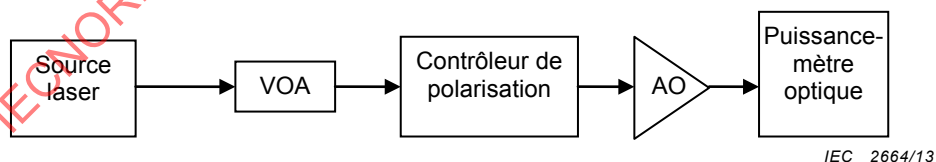


Figure 4a – Montage d'essai sans filtre passe-bande

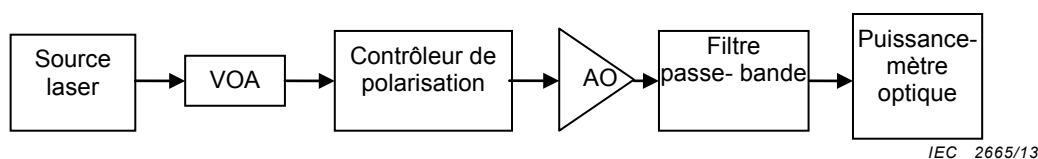


Figure 4b – Montage d'essai avec filtre passe-bande

Figure 4 – Montages d'essai pour la mesure de la puissance de sortie du signal et de la puissance de l'ESA à l'aide d'un filtre et d'un appareil de mesure de puissance optique

Le matériel d'essai dont la liste est donnée ci-dessous, avec les caractéristiques exigées, est nécessaire.

a) Une source laser ayant les caractéristiques suivantes:

- 1) Soit un laser accordable, soit un ensemble de lasers discrets, capable de prendre en charge la bande de longueurs d'onde de signal pour laquelle l'AO soumis à essai doit faire l'objet de l'essai.
- 2) Une puissance de sortie atteignable telle que la puissance d'entrée de signal dans l'AO soumis à essai est supérieure à la puissance d'entrée de signal maximale spécifiée.
- 3) Une sortie à raie unique avec un rapport de suppression de mode latéral supérieur ou égal à 40 dB.
- 4) Une puissance totale d'émission spontanée dans  $B_{ASE}$  inférieure d'au moins  $X + 20$  dB à la puissance de sortie laser, où  $X$  est le rapport  $Sig_{ASE}$  le plus petit spécifié de l'AO.
- 5) Une largeur de raie FWHM  $< 0,01$  nm.
- 6) Stabilité de la puissance de sortie  $< 0,05$  dB.

b) VOA – Un atténuateur optique variable (VOA) avec une plage dynamique suffisante pour prendre en charge la plage exigée de niveaux de puissance de signal d'entrée à laquelle l'AO soumis à essai doit faire l'objet de l'essai. Il convient que le facteur de réflexion de chaque port du dispositif soit  $< -50$  dB.

NOTE 2 S'il est possible de faire varier la puissance de sortie de la source laser sur la plage dynamique exigée, le VOA peut alors ne pas être nécessaire.

c) Un contrôleur de polarisation – dispositif capable de transformer n'importe quel état de polarisation en entrée en n'importe quel état de polarisation en sortie. Il convient que le facteur de réflexion de chaque port du dispositif soit  $< -50$  dB.

NOTE 3 Si le gain dépendant de la polarisation (PDG) d'un AFO ou d'un POWA est  $< 0,3$  dB, le contrôleur de polarisation peut ne pas être nécessaire.

d) Un filtre passe bande ayant les caractéristiques suivantes:

- 1) Soit un filtre accordable, soit un ensemble de filtres discrets, dont les longueurs d'onde centrales correspondent à la bande de longueurs d'onde de signal pour laquelle l'AO soumis à essai doit faire l'objet de l'essai.
- 2) Bande passante à  $1$ -dB d'au moins  $\pm 20$  GHz autour de la longueur d'onde centrale.
- 3) Niveau d'affaiblissement d'au moins 20 dB inférieur à l'affaiblissement d'insertion à la longueur d'onde centrale pour toutes les longueurs d'onde  $B_{ASE}$ , à l'exception d'une plage de  $\pm 100$  GHz centrée autour de la longueur d'onde centrale.

e) Appareil de mesure de puissance optique – il convient qu'il ait une exactitude de mesure meilleure que  $\pm 0,2$  dB, quel que soit l'état de polarisation du signal.

## 6 Échantillon d'essai

L'AO doit être soumis à essai dans les conditions nominales de fonctionnement. Si l'AO risque de provoquer des oscillations laser en raison de réflexions indésirables, il convient d'utiliser des isolateurs optiques pour encadrer l'AO soumis à essai. Ceci réduit à sa valeur minimale l'instabilité du signal et l'inexactitude de la mesure.

On doit prendre soin à maintenir l'état de polarisation du signal d'entrée pendant la mesure. Des changements de l'état de polarisation du signal d'entrée peuvent provoquer des variations de la puissance optique en entrée, en raison de la faible dépendance vis-à-vis de la polarisation attendue de tous les composants optiques utilisés, conduisant à des erreurs de mesure.

## 7 Mode opératoire

### 7.1 Généralités

Le mode opératoire de mesure comporte les mesures des paramètres suivants:

- puissance de sortie du signal –  $P_{out}$
- puissance de l'ESA –  $P_{ASE}$

Pour mesurer  $P_{ASE}$ , il peut s'avérer nécessaire de mesurer la puissance d'émission spontanée de la source,  $P_{SSE}$  de la source laser, ainsi que le gain de l'AOG.  $P_{ASE}$  est alors déterminée en soustrayant  $GP_{SSE}$  de la puissance de bruit totale mesurée à la sortie de l'AO. Il n'est pas nécessaire d'effectuer la mesure de  $P_{SSE}$  si l'on prend soin de s'assurer qu'elle est suffisamment petite pour ne pas avoir d'influence sur la mesure de  $Sig_{ASE}$  (voir 5.2, a) 4).

### 7.2 Mesure à l'aide d'un ASO

Ce paragraphe décrit le mode opératoire utilisé pour mesurer  $Sig_{ASE}$  à l'aide d'un ASO.

#### 7.2.1 Étalonnage

##### 7.2.1.1 Étalonnage de la largeur de bande optique de l'ASO

Il convient d'étalonner précisément la largeur de bande optique  $B_{OSA}$  de l'ASO pour la RBW à laquelle la mesure doit être effectuée. Ceci est nécessaire pour mesurer la densité de puissance optique à chaque longueur d'onde et ainsi, la puissance optique intégrée dans n'importe quelle bande de longueurs d'onde désirée.

NOTE 1 Certains ASO disposent d'une fonction automatique pour mesurer la puissance optique intégrée dans n'importe quelle bande de longueurs d'onde désirée. Dans de tels cas, il n'est pas nécessaire d'effectuer cet étalonnage.

Pour étalonner la largeur de bande optique de l'ASO, exécuter les étapes suivantes:

- Raccorder le montage d'essai comme représenté à la Figure 1.
- Régler la longueur d'onde de la source laser à  $\lambda_c$ , centre de la bande de l'ESA.
- Régler la longueur d'onde centrale de l'ASO à  $\lambda_c$ .
- Régler l'intervalle de mesure de l'ASO à zéro.
- Mesurer la puissance optique  $P(\lambda_c)$ .
- Régler la source laser à une série de longueurs d'onde  $\lambda_i$  de manière à couvrir la plage de longueur d'onde  $[\lambda_c - 5 RBW, \lambda_c + 5 RBW]$ , où il convient que l'intervalle  $\Delta\lambda_i$  entre longueurs d'onde soit inférieur à  $RBW/5$ . À chaque longueur d'onde, mesurer la puissance optique,  $P(\lambda_i)$ .
- Déterminer la largeur de bande optique de l'ASO d'après la formule suivante:

$$B_{OSA} = \frac{1}{P(\lambda_c)} \sum_i P(\lambda_i) \Delta\lambda_i \quad (3)$$

##### 7.2.1.2 Étalonnage du facteur d'étalonnage de puissance de l'ASO

Suivre les étapes dont la liste est donnée ci-dessous pour étalonner le facteur d'étalonnage de puissance de l'ASO  $P_{Cal}$ . Ce facteur étalonne la puissance absolue de l'ASO.

NOTE 2 Si l'ASO a déjà été étalonné en puissance absolue, cette étape d'étalonnage n'est pas nécessaire.

- Raccorder le montage d'essai comme représenté à la Figure 1.