

**INTERNATIONAL  
STANDARD**

**IEC  
CEI**

**NORME  
INTERNATIONALE**

**61290-10-4**

First edition  
Première édition  
2007-05

---

---

**Optical amplifiers –  
Test methods –**

**Part 10-4:  
Multichannel parameters –  
Interpolated source subtraction method  
using an optical spectrum analyzer**

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

**Partie 10-4:  
Paramètres à canaux multiples –  
Méthode par soustraction de la source interpolée  
en utilisant un analyseur de spectre optique**



Reference number  
Numéro de référence  
IEC/CEI 61290-10-4:2007



## THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2007 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.

- 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.

- 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

INTERNATIONAL  
STANDARD

IEC  
CEI

NORME  
INTERNATIONALE

61290-10-4

First edition  
Première édition  
2007-05

---

---

**Optical amplifiers –  
Test methods –**

**Part 10-4:  
Multichannel parameters –  
Interpolated source subtraction method  
using an optical spectrum analyzer**

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

**Partie 10-4:  
Paramètres à canaux multiples –  
Méthode par soustraction de la source interpolée  
en utilisant un analyseur de spectre optique**



Commission Electrotechnique Internationale  
International Electrotechnical Commission  
Международная Электротехническая Комиссия

PRICE CODE  
CODE PRIX

**Q**

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

## CONTENTS

|                                                                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FOREWORD.....                                                                                                                                       | 3  |
| INTRODUCTION.....                                                                                                                                   | 5  |
| 1 Scope and object.....                                                                                                                             | 6  |
| 2 Normative references .....                                                                                                                        | 6  |
| 3 Abbreviated terms .....                                                                                                                           | 7  |
| 4 Apparatus.....                                                                                                                                    | 7  |
| 5 Test sample.....                                                                                                                                  | 8  |
| 6 Procedure .....                                                                                                                                   | 9  |
| 6.1 Calibration.....                                                                                                                                | 9  |
| 6.1.1 Calibration of optical bandwidth.....                                                                                                         | 9  |
| 6.1.2 Calibration of OSA power correction factor .....                                                                                              | 10 |
| 6.2 Measurement .....                                                                                                                               | 11 |
| 6.3 Calculation .....                                                                                                                               | 12 |
| 7 Test results .....                                                                                                                                | 12 |
| Annex A (normative) Limitations of the interpolated source subtraction technique due to source spontaneous emission .....                           | 13 |
| Bibliography.....                                                                                                                                   | 17 |
| Figure 1 – Apparatus for gain and noise figure measurement.....                                                                                     | 7  |
| Figure A.1 – DI subtraction error as a function of source spontaneous emission level.....                                                           | 14 |
| Figure A.2 – Spectral plot showing additive higher noise level from spontaneous emission of individual laser sources and broadband multiplexer..... | 16 |
| Figure A.3 – Significantly reduced spontaneous emission using wavelength selective multiplexer.....                                                 | 16 |

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**OPTICAL AMPLIFIERS –  
TEST METHODS –****Part 10-4: Multichannel parameters –  
Interpolated source subtraction method using  
an optical spectrum analyzer**

## 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 61290-10-4 has been prepared by subcommittee 86C: Fibre optic systems and active devices, of IEC technical committee 86: Fibre optics.

This standard shall be used in conjunction with IEC 61291-1. It was established on the basis of the second (2006) edition of that standard.

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

| CDV         | Report on voting |
|-------------|------------------|
| 86C/724/CDV | 86C/742/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 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 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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61290-10-4:2007

## INTRODUCTION

This International Standard 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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61290-10-4:2007

## OPTICAL AMPLIFIERS – TEST METHODS –

### Part 10-4: Multichannel parameters – Interpolated source subtraction method using an optical spectrum analyzer

#### 1 Scope and object

This part of IEC 61290 applies to all commercially available optical amplifiers (OAs) and optically amplified subsystems. It applies to OAs using optically pumped fibres (OPFs based on either rare-earth doped fibres or on the Raman effect), semiconductor optical amplifiers (SOAs) and waveguides (POWA).

The object of this standard is to establish uniform requirements for accurate and reliable measurements, by means of the interpolated source subtraction method using an optical spectrum analyzer. The following OA parameters, as defined in Clause 3 of IEC 61291-1, are determined:

- channel gain, and
- channel signal-spontaneous noise figure.

This method is called *interpolated source subtraction* (ISS) because the amplified spontaneous emission (ASE) at each channel is obtained by interpolating from measurements at a small wavelength offset around each channel. To minimize the effect of source spontaneous emission, the effect of source noise is subtracted from the measured noise.

The accuracy of the ISS technique degrades at high input power level due to the spontaneous emission from the laser source(s). Annex A provides guidance on the limits of this technique for high input power.

An additional source of inaccuracy is due to interpolation error. Annex A provides guidance on the magnitude of interpolation error for a typical amplifier ASE versus wavelength characteristic.

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 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 61291-1:2006, *Optical amplifiers – Part 1: Generic specification*

IEC 61291-4: *Optical amplifiers – Part 4: Multichannel applications – Performance specification template*



### 3 Abbreviated terms

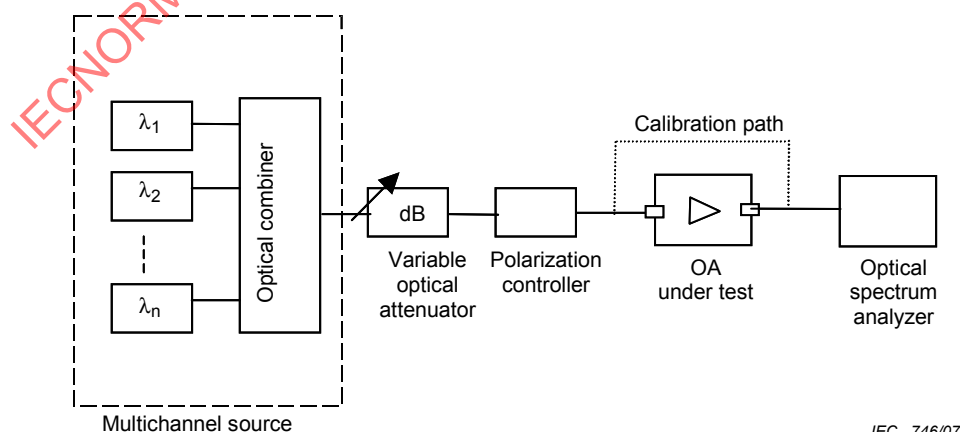
Each abbreviation introduced in this standard is explained in the text at least the first time it appears. However, for an easier understanding of the whole text, the following is a list of all abbreviations used in this standard:

|      |                                    |
|------|------------------------------------|
| ASE  | Amplified spontaneous emission     |
| DI   | Direct interpolation (technique)   |
| FWHM | Full-width half-maximum            |
| ISS  | Interpolated source subtraction    |
| NF   | Noise figure                       |
| RBW  | Resolution bandwidth               |
| OA   | Optical amplifier                  |
| OFA  | Optical fibre amplifier            |
| OSA  | Optical spectrum analyzer          |
| POWA | Planar optical waveguide amplifier |
| PCF  | Power correction factor            |
| SOA  | Semiconductor optical amplifier    |
| SSE  | Source spontaneous emission        |

### 4 Apparatus

#### 4.1 Multichannel source

This optical source consists of  $n$  laser sources where  $n$  is the number of channels for the test configuration. The full width at half maximum (FWHM) of the output spectrum of the laser sources shall be narrower than 0,1 nm ( $\pm$ ) so as not to cause any interference to adjacent channels. The suppression ratio of the side modes of the single-line laser shall be higher than 35 dB ( $\pm$ ). The output power fluctuation shall be less than 0,05 dB ( $\pm$ ), which is more easily attainable with an optical isolator placed at the output port of each source. The wavelength accuracy shall be better than  $\pm 0,1$  nm ( $\pm$ ) with stability better than  $\pm 0,01$  nm ( $\pm$ ). The spontaneous emission level must be less than -43 dB/nm with respect to the total input power for 0 dBm total input power and less than -48 dB/nm with respect to the total input power for 5 dBm total input power ( $\pm$ ). See Annex A for a discussion of the impact of the spontaneous emission level on the accuracy of noise figure measurements.



IEC 746/07

**Figure 1 – Apparatus for gain and noise figure measurement**

#### 4.2 Polarization controller

This device shall be able to convert any state of polarization of a signal to any other state of polarization. The polarization controller may consist of an all-fibre polarization controller or a quarter-wave plate rotatable by a minimum of 90° followed by a half-wave plate rotatable by a minimum of 180°. The reflectance of this device shall be smaller than –50 dB (±) at each port. The insertion loss variation of this device shall be less than 0,2 dB (±). The use of a polarization controller is considered optional, but may be necessary to achieve the desired accuracy for OA devices exhibiting significant polarization dependent gain.

#### 4.3 Variable optical attenuator

The attenuation range and stability shall be over 40 dB (±) and better than 0,1 dB (±), respectively. The reflectance from this device shall be smaller than –50 dB (±) at each port. The wavelength flatness over the full range of attenuation shall be less than 0,2 dB (±).

#### 4.4 Optical spectrum analyzer

The optical spectrum analyzer (OSA) shall have polarization sensitivity less than 0,1 dB (±), stability better than 0,1 dB (±), and wavelength accuracy better than 0,05 nm (±). The linearity should be better than 0,2 dB (±) over the device dynamic range. The reflectance from this device shall be smaller than –50 dB (±) at its input port. The OSA shall have sufficient dynamic range to measure the noise between channels. For 100 GHz (0,8 nm) channel spacing, the dynamic range shall be greater than 55 dB at 50 GHz (0,4 nm) from the signal.

#### 4.5 Optical power meter

This device shall have a measurement accuracy better than 0,2 dB (±), irrespective of the state of polarization, within the operational wavelength bandwidth of the OA and within the power range from –40 dBm to +20 dBm (±).

#### 4.6 Broadband optical source

This device shall provide broadband optical power over the operational wavelength bandwidth of the OA (for example, 1 530 nm to 1 565 nm). The output spectrum shall be flat with less than a 0,1 dB (±) variation over the measurement bandwidth range (typically 10 nm). For example, the ASE generated by an OA with no signal applied could be used.

#### 4.7 Optical connectors

The connection loss repeatability shall be better than 0,1 dB (±). The reflectance from this device shall be smaller than –50 dB (±).

#### 4.8 Optical fibre jumpers

The mode field diameter of the optical fibre jumpers shall be as close as possible to that of the fibres used as input and output ports of the OA. The reflectance from this device shall be smaller than –50 dB (±), and the device length shall be short (< 2m). The jumpers between the source and the device under test should remain undisturbed during the duration of the measurements in order to minimize state of polarization changes.

Subsequently, the combination of the multichannel optical source, the variable optical attenuator, and the input polarization controller shall be referred to as the *source module*. The polarization controller of the source module is optional and is required only when polarization dependent performances are to be measured.

### 5 Test sample

The OA under test shall operate at nominal operating conditions. If the OA is likely to cause laser oscillations due to unwanted reflections, use of optical isolators is recommended 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 light during the measurement. Changes in the polarization state of the input light may result in input optical power changes because of the slight polarization dependency expected from all the used optical components, leading to measurement errors

## 6 Procedure

This method is based on the optical measurement of the following parameters:

- the signal power level for each channel at the input of the OA under test;
- the signal power level for each channel at the output of the OA under test;
- the ASE power level for each channel at the output of the OA under test;
- the SSE power level for each channel at the input of the OA under test; and
- the optical bandwidth of the OSA.

The noise-equivalent bandwidth of the OSA is required for the calculation of ASE power density. If not specified by the manufacturer to sufficient accuracy, it may be calibrated using one of the two methods below. The noise-equivalent bandwidth of a wavelength filter is the bandwidth of a theoretical filter with rectangular pass-band and the same transmission at the centre wavelength that would pass the same total noise power as the actual filter when the source power density is constant versus wavelength.

### 6.1 Calibration

#### 6.1.1 Calibration of optical bandwidth

The noise-equivalent bandwidth,  $B_o$ , can be determined with the following methods. The calibration can be performed using one of the following two methods, based on the use of either a tuneable narrowband or a broadband optical source, respectively.

##### 6.1.1.1 Calibration using a narrowband optical source

The steps listed below shall be followed.

- a) Connect the output of a tuneable narrowband optical source directly to the OSA.
- b) Set the OSA centre wavelength to the signal wavelength to be calibrated,  $\lambda_s$ .
- c) Set the OSA span to zero (fixed wavelength).
- d) Set the OSA resolution bandwidth to the desired value,  $RBW$ .
- e) Set the narrowband optical source wavelength to  $\lambda_i$ , within the range from  $\lambda_s - RBW - \delta$  to  $\lambda_s + RBW + \delta$ , choosing  $\delta$  large enough to ensure that the end wavelengths fall out of the OSA filter pass-band.
- f) Record the OSA signal level,  $P(\lambda_i)$ , in linear units.
- g) Repeat steps e) and f), incrementing the narrowband optical source wavelength through the wavelength range by the tuning interval,  $\Delta\lambda$ , selected according to the accuracy requirements as described below.
- h) Determine the optical bandwidth according to the following equation:

$$\Delta\lambda_{BW}(\lambda_s) = \sum_i \frac{P(\lambda_i)}{P(\lambda_s)} \Delta\lambda \quad (1)$$

The procedure may be repeated for different signal wavelengths, or for each wavelength of the multichannel source.

The accuracy of this measurement is related to the tuning interval of the narrowband optical source ( $\Delta\lambda$ ) and power flatness over the wavelength range. A tuning interval smaller than 0,1 nm is advisable. The optical power should not vary more than 0,4 dB over the wavelength range.

### 6.1.1.2 Calibration using a broadband optical source

This method requires that the OSA have a rectangular shape bandwidth-limiting filter, when the resolution bandwidth is at the maximum value. The steps listed below shall be followed.

- a) Connect the output of a narrowband optical source directly to the OSA. If adjustable, as in the case of a tuneable laser, set the wavelength of the source to a specific wavelength,  $\lambda_s$ .
- b) Set the OSA resolution bandwidth to the maximum value, preferably not larger than 10 nm.
- c) Using the OSA, measure the FWHM by scanning over the narrowband signal,  $\Delta\lambda_{\text{RBWmax}}$ .
- d) Connect the output of a broadband optical source directly to the OSA.
- e) Keep the OSA resolution bandwidth at the maximum value.
- f) Using the OSA, measure the output power level,  $P_{\text{RBWmax}}$  (in linear units), at the given wavelength,  $\lambda_s$ .
- g) Set the OSA resolution bandwidth to the desired value.
- h) Using the OSA, measure the output power level,  $P_{\text{RBW}}$  (in linear units), at the given wavelength,  $\lambda_s$ .
- i) Determine the optical bandwidth according to the following equation:

$$\Delta\lambda_{\text{BW}}(\lambda_s) = \frac{P_{\text{RBW}}}{P_{\text{RBWmax}}} \Delta\lambda_{\text{RBW}}(\lambda_s) \quad (2)$$

- j) The procedure may be repeated for different signal wavelengths, or for each wavelength of the multichannel source.

For both methods, the following approximate equation permits converting the optical bandwidth from the wavelength domain,  $\Delta\lambda_{\text{BW}}(\lambda_s)$ , to the frequency domain,  $B_o(\lambda_s)$ :

$$B_o(\lambda_s) = c \left[ (\lambda_s - \Delta\lambda_{\text{BW}}(\lambda_s)/2)^{-1} - (\lambda_s + \Delta\lambda_{\text{BW}}(\lambda_s)/2)^{-1} \right] \quad (3)$$

where  $c$  is the speed of light in free space.

NOTE 1 Once this value is determined, all OSA measurements are made with the same resolution bandwidth setting as calibrated above, taking into consideration the optical filter in the OSA, if present. A resolution bandwidth must be chosen such that the dynamic range is adequate to measure ASE between channels.

NOTE 2 If a narrow optical filter is included in the OA, then the OA should be included in the path between the source and the OSA when calibrating  $B_o(\lambda_s)$ . The resolution bandwidth setting must be smaller than the optical filter bandwidth.

NOTE 3 It is assumed that the measurement at the maximum resolution bandwidth,  $\Delta\lambda_{\text{RBWmax}}$ , is accurate.

### 6.1.2 Calibration of OSA power correction factor

Follow the steps listed below to calibrate the OSA power correction factor (PCF). The power correction factor calibrates the OSA for absolute power.

- a) Adjust the source module for a single channel at signal wavelength,  $\lambda_s$ . Connect the output of the source module directly to the input of the optical power meter, and measure  $P_{\text{PM}}$  (in dBm).

- b) Disconnect the output of the source module from the optical power meter, and connect the output of the source module directly to the input of the OSA, and measure  $P_{\text{OSA}}$  (in dBm).
- c) Determine the power calibration factor, PCF in dB, according to the following equation:

$$PCF(\lambda_s) = P_{\text{PM}} - P_{\text{OSA}} \quad (4)$$

NOTE For the multichannel source, turn  $\lambda_1$  on and all other lasers off. Follow steps (a) through (c) above. Then turn  $\lambda_2$  on and all other lasers off. Repeat until a power calibration factor is obtained for all  $n$  wavelengths.

## 6.2 Measurement

The measurement procedure is described in these steps.

- a) Set the resolution bandwidth of the OSA to the calibrated value. Do not change this setting throughout this procedure.
- b) Connect the output of the source module directly to the OSA.
- c) Adjust the relative power levels of each laser of the multichannel source to the contour called out in the detail specification. Typically, the lasers would be set to have equal power output. Set the total input power to that specified in the detail specification with the optical attenuator.
- d) Measure the source spontaneous emission power level at wavelengths offset to both sides of each signal wavelength. The wavelength offset should be set to one-half the channel spacing or less. Use linear interpolation to determine the noise power level,  $P_{\text{SSE}}^{\text{OSA}}(\lambda_s)$  in dBm, at each signal wavelength. Determine the calibrated source-spontaneous emission power level,  $P_{\text{SSE}}(\lambda_s)$  in dBm, for each wavelength, according to the following equation:

$$P_{\text{SSE}}(\lambda) = P_{\text{SSE}}^{\text{OSA}}(\lambda) + PCF \quad (5)$$

- e) Measure the power level of each signal,  $P_{\text{IN}}^{\text{OSA}}(\lambda_s)$  in dBm. Determine the calibrated power level of each input signal wavelength using the following equation:

$$P_{\text{IN}}(\lambda) = P_{\text{IN}}^{\text{OSA}}(\lambda) + PCF \quad (6)$$

- f) Connect the source module to the input of the OA and connect the output of the OA to the OSA, as shown in Figure 1.
- g) Measure the uncorrected forward ASE power level at wavelengths offset to both sides of each signal wavelength. The wavelength offset should be set to one-half the channel spacing or less. Use linear interpolation to determine the noise power level,  $P_{\text{ASE}}^{\text{OSA}}(\lambda_s)$  in dBm, at each signal wavelength. Determine the calibrated total forward ASE power level,  $P_{\text{ASE}}(\lambda)$  in dBm, for each channel wavelength, according to the following equation:

$$P_{\text{ASE}}(\lambda) = P_{\text{ASE}}^{\text{OSA}}(\lambda) + PCF \quad (7)$$

- h) Measure the output signal power at each channel,  $P_{\text{OUT}}^{\text{OSA}}(\lambda_s)$  in dBm. Determine the calibrated signal output power at each wavelength,  $P_{\text{OUT}}(\lambda_s)$  in dBm, using the following equation:

$$P_{\text{OUT}}(\lambda) = P_{\text{OUT}}^{\text{OSA}}(\lambda) + PCF \quad (8)$$

- i) Determine the corrected signal output power in dBm at each channel by subtracting the noise power using the following equation:

$$P_{\text{OUT}}^{\text{sig}}(\lambda) = 10 \log \left( 10^{\frac{P_{\text{OUT}}(\lambda)}{10}} - 10^{\frac{P_{\text{ASE}}(\lambda)}{10}} \right) \quad (9)$$

- j) Determine the channel gain,  $G(\lambda)$  in dB, for each channel using the following equation:

$$G(\lambda) = P_{\text{OUT}}^{\text{sig}}(\lambda) - P_{\text{IN}}(\lambda) \quad (10)$$

- k) Determine the amplifier contribution to the total forward ASE power level at each signal wavelength,  $P_{\text{ASE}}^{\text{amp}}(\lambda_s)$  in dBm, by subtracting the source-spontaneous emission power level, which is increased by the gain at the amplifier output, from the calibrated total ASE power level, according to the following equation:

$$P_{\text{ASE}}^{\text{amp}}(\lambda) = 10 \log \left( 10^{\frac{P_{\text{ASE}}(\lambda)}{10}} - 10^{\frac{G(\lambda) + P_{\text{SSE}}(\lambda)}{10}} \right) \quad (11)$$

### 6.3 Calculation

Since the forward ASE power level is directly determined by the measurement procedures, the calculations given below shall be followed for the determination of the channel signal-spontaneous noise figure,  $NF_{\text{sig-sp}}$ .

Starting from the determined values of the OA contribution to the forward ASE power level,  $P_{\text{ASE}}^{\text{amp}}(\lambda_s)$  (in dBm), gain,  $G(\lambda_s)$  (in dB), and optical bandwidth,  $B_o(\lambda_s)$  (in frequency units), calculate the signal-spontaneous noise figure,  $NF_{\text{sig-sp}}$  in dB, for the chosen signal input power,  $P_{\text{in}}$ , and signal wavelengths,  $\lambda_s$ , according to the following equation:

$$NF_{\text{sig-sp}}(P_{\text{in}}, \lambda_s) = P_{\text{ASE}}^{\text{amp}}(\lambda_s) - G(\lambda_s) - 10 \log[h \nu B_o(\lambda_s)] \quad (12)$$

where  $h$  is Planck's constant and  $\nu$  the optical signal frequency.

NOTE The accuracy of this test method is very dependent on the accuracy at which connections can be broken and remade as well as on the polarization dependence of the OSA.

## 7 Test results

The following details shall be presented:

- Arrangement of test set-up (if different from the one specified in Clause 4)
- Measurement technique; here: multichannel interpolation source subtraction
- Wavelength range of the measurement
- Type of optical source used
- Input signal wavelengths,  $\lambda_s$
- Optical bandwidth,  $B_o$
- Indication of the optical pump power (if applicable)
- Ambient temperature (if requested)
- Input signal power and channel distribution,  $P_{\text{in}}(\lambda_s)$
- Channel gain,  $G$  in dB
- Total forward ASE power level,  $P_{\text{ASE}}^{\text{amp}}$
- Channel signal-spontaneous noise figure,  $NF_{\text{sig-sp}}$
- Error due to source spontaneous emission subtraction (from Annex A).

## Annex A (normative)

### Limitations of the interpolated source subtraction technique due to source spontaneous emission

#### A.1 General

This interpolated source subtraction technique requires the subtraction of the amplified source spontaneous emission from the total ASE noise measured on the OSA. This calculation is shown in Step (k) of 6.2:

$$P_{ASE}^{amp}(\lambda) = 10 \log \left( 10^{\frac{P_{ASE}(\lambda)}{10}} - 10^{\frac{G(\lambda) + P_{SSE}(\lambda)}{10}} \right) \quad (A.1)$$

Under certain conditions, the two terms within the brackets can be very close in value. A small measurement error in either term is magnified by the subtraction. The error is largest when measuring low values of noise figure at high input power levels.

The magnitude of this error is to be calculated based on specific values for the measured noise figure, source spontaneous emission level, and the uncertainty of measuring the noise level. The following are noise power levels:

$$P_{ASE}^{amp} = NF_{sig-sp} + G + 10 \log(h \nu B_o) \text{ (dBm)} \quad (A.2)$$

In linear units this is

$$P_{ASE}^{amp} \text{ (linear)} = 10^{\frac{P_{ASE}^{amp}}{10}} \text{ (mW)} \quad (A.3)$$

The total measured uncorrected noise in linear units is

$$P_{ASE} \text{ (linear)} = 10^{\frac{P_{ASE}}{10}} \text{ (mW)} \quad (A.4)$$

The source spontaneous emission in linear units is

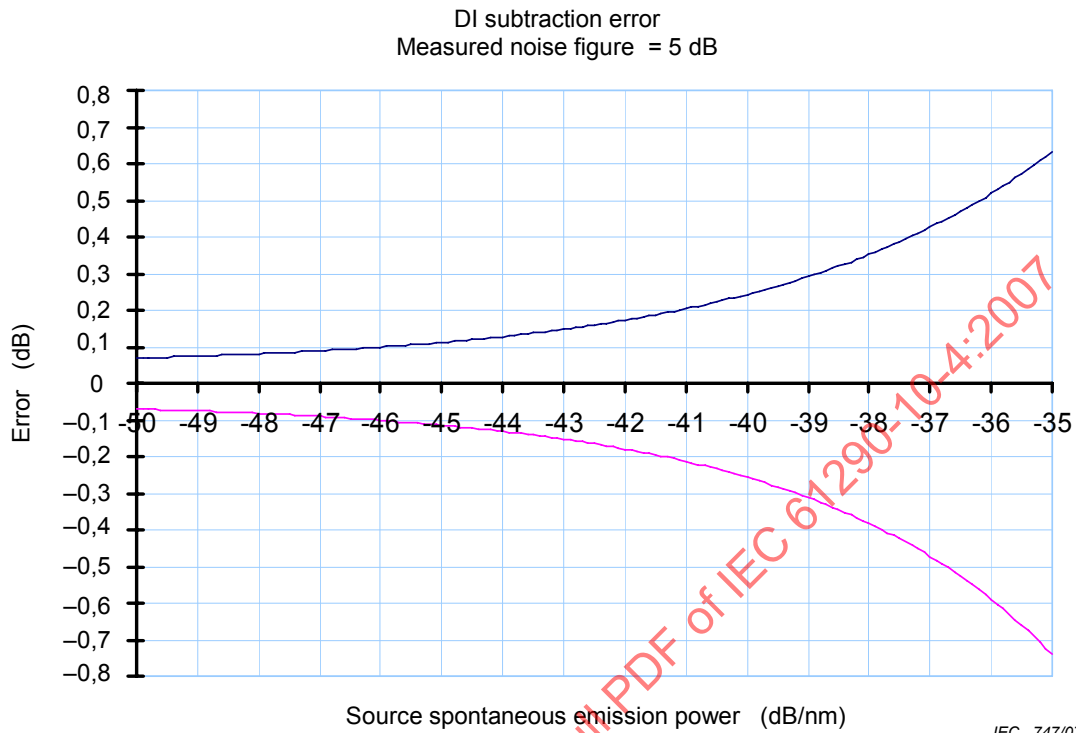
$$P_{SSE} \text{ (linear)} = 10^{\frac{P_{SSE}}{10}} \text{ (mW)} \quad (A.5)$$

For an uncertainty of  $\alpha$  dB in measuring total noise and source spontaneous emission, the error in amplifier noise is calculated as follows:

$$+ \text{ error} = 10 \log \frac{10^{\alpha/10} P_{ASE} \text{ (linear)} - 10^{-\alpha/10} 10^{G/10} P_{SSE} \text{ (linear)}}{P_{ASE}^{amp} \text{ (linear)}} \text{ dB} \quad (A.6)$$

$$- \text{ error} = 10 \log \frac{10^{-\alpha/10} P_{ASE} \text{ (linear)} - 10^{\alpha/10} 10^{G/10} P_{SSE} \text{ (linear)}}{P_{ASE}^{amp} \text{ (linear)}} \text{ dB} \quad (A.7)$$

For a typical  $\alpha$  value of 0,05 dB, the plots in Figure A.1 show the magnitude of the subtraction error as a function of source spontaneous emission level.



NOTE A noise figure of 5 dB is assumed in the calculation.

**Figure A.1 – DI subtraction error as a function of source spontaneous emission level**

## A.2 The effect of multiplexer type

There are two types of multiplexers used for combining the laser outputs for multichannel sources. The selection will have a large impact on the uncertainty due to source spontaneous emission power. The **broadband multiplexer**, which may be based on fused-fibre couplers, has insertion loss for each channel is given by:

$$L_{BB} = 10 \log(1/N) + R_{BB} \text{ dB} \quad (\text{A.8})$$

where  $N$  is the number of inputs and  $R_{BB}$  is the excess insertion loss. A typical value for  $R_{BB}$  is 0,5 dB. The total power,  $P_T$ , from the combined  $N$  sources, with each channel having an identical output power  $P_s$  in dBm, is:

$$P_T = P_s - R_{BB} \quad (\text{A.9})$$

Source spontaneous emission passes through the multiplexer with its spectral characteristics unmodified. At the combined output, the total signal-to-spontaneous-noise ratio will be approximately equal to that of the individual lasers, but the signal-to-spontaneous ratio of individual channels is degraded by about  $L_{BB}$  dB.

The second type of multiplexer is the **wavelength-selective multiplexer**, which uses fibre Bragg grating, array waveguide, or dielectric filter technology. Unlike the broadband device, the insertion loss for each channel,  $R_{WS}$  is not inversely proportional to  $N$ . A typical value



could be 6 dB. Thus, the total power,  $P_T$ , from the combined  $N$  sources, with each channel having an identical output power  $P_s$  in dBm, is:

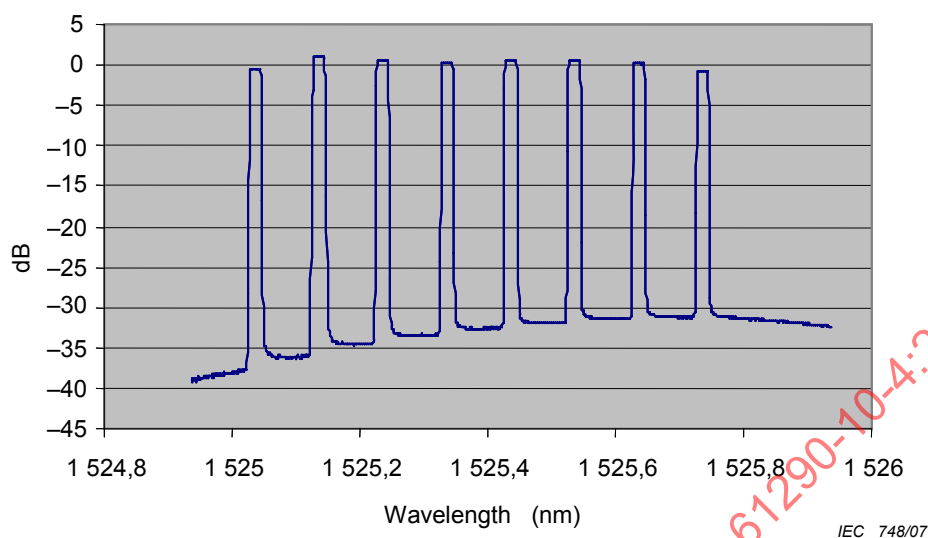
$$P_T = P_s + 10 \log(N) - R_{WS} \quad (\text{A.10})$$

Because the wavelength-selective multiplexer presents a bandpass filter characteristic to each channel, it filters the spontaneous emission from all sources. The individual signal to spontaneous noise ratio is significantly improved on the combined output signal.

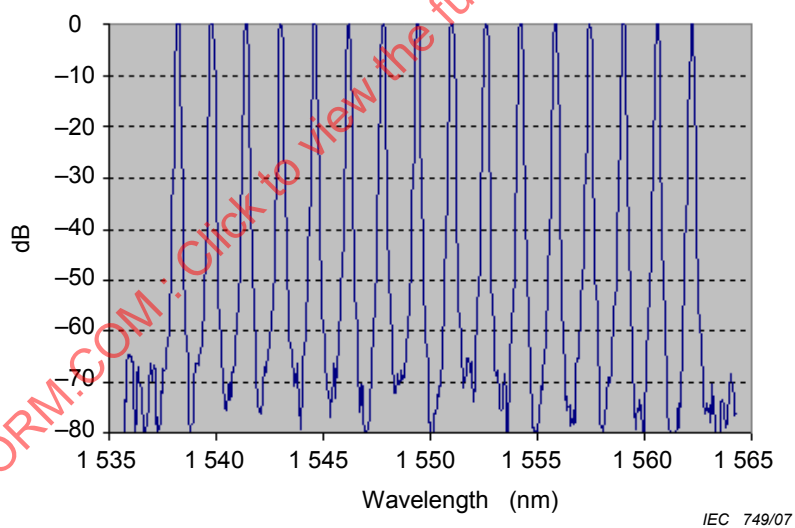
Two examples of multichannel source spectra are shown below. Figure A.2 is the spectrum of eight DFB lasers combined with a broadband multiplexer. Figure A.3 is from sixteen DFB lasers combined with a wavelength selective multiplexer.

The broadband-multiplexed source (Figure A.2) provides a minimum of 31 dB/nm signal-to-spontaneous emission ratio on a per channel basis. It can provide up to –6 dBm total input power to a test OA before ISS subtraction error is excessive (>0,1 dB).

The wavelength-selective multiplexed source (Figure A.3) provides a minimum of 60 dB/nm signal-to-spontaneous emission ratio on a per channel basis. Such a spectrum can be used up to +16 dBm total input power before the subtraction error is excessive.



**Figure A.2 – Spectral plot showing additive higher noise level from spontaneous emission of individual laser sources and broadband multiplexer**



**Figure A.3 – Significantly reduced spontaneous emission using wavelength selective multiplexer**

## Bibliography

IEC 61931: *Fibre optic – Terminology*

IEC 61290-1-1: *Optical amplifiers – Test methods – Part 1-1: Power and gain parameters – Optical spectrum analyzer method*

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

---

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61290-10-4:2007

---

<sup>1</sup> A future edition is in preparation.

## SOMMAIRE

|                                                                                                                                                                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| AVANT-PROPOS.....                                                                                                                                                                                                            | 19 |
| INTRODUCTION.....                                                                                                                                                                                                            | 21 |
| 1 Domaine d'application et objet.....                                                                                                                                                                                        | 22 |
| 2 Références normatives.....                                                                                                                                                                                                 | 22 |
| 3 Termes abrégés .....                                                                                                                                                                                                       | 23 |
| 4 Appareillage .....                                                                                                                                                                                                         | 23 |
| 5 Echantillon d'essai .....                                                                                                                                                                                                  | 25 |
| 6 Procédure .....                                                                                                                                                                                                            | 25 |
| 6.1 Étalonnage.....                                                                                                                                                                                                          | 25 |
| 6.1.1 Étalonnage de la largeur de bande optique.....                                                                                                                                                                         | 25 |
| 6.1.2 Étalonnage du facteur de correction de puissance de l'ASO .....                                                                                                                                                        | 27 |
| 6.2 Mesures .....                                                                                                                                                                                                            | 27 |
| 6.3 Calculs .....                                                                                                                                                                                                            | 28 |
| 7 Résultats de l'essai .....                                                                                                                                                                                                 | 28 |
| Annexe A (normative) Limites de la technique de soustraction de la source interpolée<br>due à l'émission spontanée de la source.....                                                                                         | 30 |
| Bibliographie.....                                                                                                                                                                                                           | 34 |
| Figure 1 – Appareillage de mesure du gain et du facteur de bruit.....                                                                                                                                                        | 23 |
| Figure A.1 – Erreur de soustraction de DI en fonction du niveau d'émission spontanée<br>de la source.....                                                                                                                    | 31 |
| Figure A.2 – Avec un multiplexeur large bande, les émissions spontanées provenant<br>des sources laser individuelles s'additionnent, produisant un niveau de bruit plus<br>élevé, comme présenté sur ce tracé spectral ..... | 32 |
| Figure A.3 – Avec un multiplexeur à sélection de longueur d'onde, l'émission<br>spontanée est significativement réduite .....                                                                                                | 33 |

## COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**AMPLIFICATEURS OPTIQUES –  
MÉTHODES D'ESSAIS –****Partie 10-4: Paramètres à canaux multiples –  
Méthode par soustraction de la source interpolée  
en utilisant un analyseur de spectre optique**

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

La Norme internationale CEI 61290-10-4 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.

La présente norme doit être utilisée conjointement à la CEI 61291-1. Elle a été établie sur la base de la seconde édition (2006) de cette dernière.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

| CDV         | Rapport de vote |
|-------------|-----------------|
| 86C/724/CDV | 86C/742/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, publiée sous le titre général *Amplificateurs optiques – Méthodes d'essais*, peut être consultée sur le site internet de la CEI.

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61290-10-4:2007

## INTRODUCTION

La présente Norme internationale est consacrée au domaine des amplificateurs optiques. La technologie des amplificateurs optiques se développe encore rapidement, de sorte que des amendements et de nouvelles additions à cette norme sont à prévoir.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61290-10-4:2007

## AMPLIFICATEURS OPTIQUES – MÉTHODES D'ESSAIS –

### Partie 10-4: Paramètres à canaux multiples – Méthode par soustraction de la source interpolée en utilisant un analyseur de spectre optique

#### 1 Domaine d'application et objet

La présente partie de la CEI 61290 s'applique à tous les amplificateurs optiques (AO) et sous-systèmes à amplification optique, disponibles sur le marché. Elle s'applique aux AO utilisant des fibres pompées optiquement (AFO basés sur des fibres dopées aux terres rares ou sur l'effet Raman), des amplificateurs optiques à semiconducteurs (SOA), et des guides d'ondes (POWA).

L'objet de la présente norme est d'établir des exigences uniformes afin d'obtenir des mesures précises et fiables, au moyen de la méthode par soustraction de la source interpolée en utilisant un analyseur de spectre optique. Les paramètres de l'AO suivants, tels que définis à l'Article 3 de la CEI 61291-1, sont fixés:

- le gain du canal, et
- le facteur de bruit signal/émission spontanée du canal.

Cette méthode est appelée *soustraction de la source interpolée* (ISS: Interpolated Source Subtraction) parce que l'émission spontanée amplifiée (ASE) à chaque canal est obtenue par interpolation des mesures à un petit décalage de longueur d'onde autour de chaque canal. Afin de minimiser l'effet de l'émission spontanée de la source, l'effet du bruit de la source est soustrait du bruit mesuré.

La précision de la technique ISS se dégrade à un niveau de puissance d'entrée élevé du fait de l'émission spontanée de la ou des sources laser. L'Annexe A fournit des lignes directrices sur les limites de cette technique pour une puissance d'entrée élevée.

Une source supplémentaire d'imprécisions est due aux erreurs d'interpolation. L'Annexe A fournit des lignes directrices sur l'amplitude de l'erreur d'interpolation pour un amplificateur ESA typique en fonction des caractéristiques de longueur d'onde.

NOTE 1 Toutes les valeurs numériques suivies de (‡) sont des valeurs suggérées pour lesquelles la mesure est assurée. D'autres valeurs peuvent être acceptables, mais il convient qu'elles soient vérifiées.

NOTE 2 Les aspects généraux des méthodes d'essai du facteur de bruit sont consignés 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, c'est l'édition la plus récente du document référencé (y compris tous ses amendements) qui s'applique.

CEI 61291-1:2006, *Amplificateurs optiques – Partie 1: Spécification générique*

CEI 61291-4: *Amplificateurs optiques – Partie 4: Applications aux canaux multiples – Modèle de spécifications de fonctionnement*



### 3 Termes abrégés

Chaque abréviation introduite dans la présente norme est expliquée dans le texte, au moins lors de sa première apparition. Cependant, pour une meilleure compréhension de l'ensemble du texte, une liste de toutes les abréviations utilisées dans la présente norme est fournie ci-après.

|      |                                                                                         |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| ESA  | Émission spontanée amplifiée                                                            |
| DI   | (Technique d') interpolation directe                                                    |
| FWHM | Largeur à mi-hauteur ( <i>Full-width half-maximum</i> )                                 |
| ISS  | Soustraction de la source interpolée ( <i>Interpolated source subtraction</i> )         |
| NF   | Facteur de bruit ( <i>Noise Figure</i> )                                                |
| RBW  | Largeur de bande de résolution ( <i>Resolution bandwidth</i> )                          |
| AO   | Amplificateur optique                                                                   |
| AFO  | Amplificateur à fibres optiques                                                         |
| ASO  | Analyseur de spectre optique                                                            |
| POWA | Amplificateur à guide d'onde optique plan ( <i>Planar optical waveguide amplifier</i> ) |
| PCF  | Facteur de correction de puissance ( <i>Power correction factor</i> )                   |
| SOA  | Amplificateur optique à semiconducteurs ( <i>Semiconductor optical amplifier</i> )      |
| SSE  | Emission spontanée de la source ( <i>Source spontaneous emission</i> )                  |

### 4 Appareillage

#### 4.1 Source multicanaux

Cette source optique consiste en  $n$  sources laser, où  $n$  est le nombre de canaux dans la configuration d'essai. La largeur à mi-hauteur (FWHM) du spectre de sortie des sources laser doit être plus étroite que 0,1 nm ( $\pm$ ) afin de ne pas créer d'interférences avec les canaux adjacents. Le taux de suppression des modes latéraux de lasers à raie unique doit être supérieur à 35 dB ( $\pm$ ). La fluctuation de la puissance de sortie doit être inférieure à 0,05 dB ( $\pm$ ), ce qui est plus facilement accessible avec un isolateur optique placé au niveau de l'accès de sortie de chaque source. La précision de la longueur d'onde doit être meilleure que  $\pm 0,1$  nm ( $\pm$ ), avec une stabilité meilleure que  $\pm 0,01$  nm ( $\pm$ ). Le niveau d'émission spontanée doit être inférieur à  $-43$  dB/nm par rapport à une puissance d'entrée totale de 0 dBm, et inférieur à  $-48$  dB/nm par rapport à une puissance d'entrée totale de 5 dBm ( $\pm$ ). Voir l'Annexe A, qui débat de l'impact du niveau d'émission spontanée sur la précision des mesures du facteur de bruit.

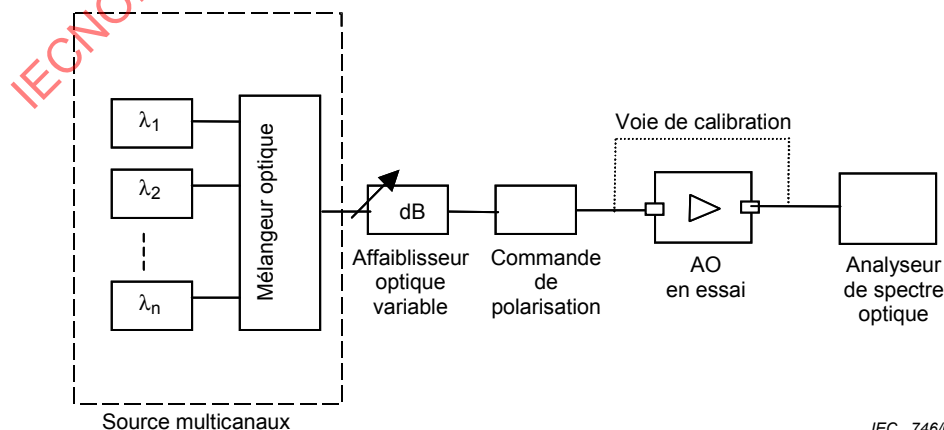


Figure 1 – Appareillage de mesure du gain et du facteur de bruit

## 4.2 Appareil de commande de la polarisation

Cet appareil doit être en mesure de convertir tout état de polarisation d'un signal en n'importe quel autre état de polarisation. Par exemple, le contrôleur de polarisation peut être constitué d'un contrôleur de polarisation toutes fibres ou d'une lame quart d'onde rotative d'un minimum de 90° suivie d'une lame demi-onde rotative d'un minimum de 180°. La réflectance de ce dispositif doit être inférieure à -50 dB ( $\pm$ ) à chaque accès. La variation de perte d'insertion de ce dispositif doit être inférieure à 0,2 dB ( $\pm$ ). L'utilisation d'un appareil de commande de polarisation est considéré comme facultatif, mais peut être nécessaire pour atteindre la précision souhaitée pour des dispositifs AO se révélant avec un gain dépendant de la polarisation de façon significative.

## 4.3 Affaiblisseur optique variable

La plage d'affaiblissement et sa stabilité doivent être, respectivement, supérieure à 40 dB ( $\pm$ ) et être meilleure que 0,1 dB ( $\pm$ ). La réflectance de ce dispositif doit être inférieure à -50 dB ( $\pm$ ) à chaque accès. L'uniformité de la longueur d'onde sur la totalité de la plage d'affaiblissement doit être inférieure à 0,2 dB ( $\pm$ ).

## 4.4 Analyseur de spectre optique

L'analyseur de spectre optique (ASO) doit avoir une sensibilité à la polarisation inférieure à 0,1 dB ( $\pm$ ), une stabilité meilleure que 0,1 dB ( $\pm$ ), et une précision en longueur d'onde meilleure que 0,05 nm ( $\pm$ ). Il convient que la linéarité soit meilleure que 0,2 dB ( $\pm$ ) sur la plage dynamique du dispositif. La réflectance de ce dispositif doit être plus petite que -50 dB ( $\pm$ ) à son accès d'entrée. L'ASO doit avoir une plage dynamique suffisante pour mesurer le bruit entre les canaux. Pour un espacement de canal de 100 GHz (0,8 nm), la plage dynamique doit être supérieure à 55 dB à 50 GHz (0,4 nm) du signal.

## 4.5 Puissance-mètre optique

Ce dispositif doit avoir une précision de mesure meilleure que 0,2 dB ( $\pm$ ), indépendamment de l'état de polarisation, dans la largeur de bande de longueur d'onde opérationnelle de l'AO et dans la plage de puissance comprise entre -40 dBm et +20 dBm ( $\pm$ ).

## 4.6 Source optique à large bande

Ce dispositif doit fournir une puissance optique à large bande sur la largeur de bande de longueur d'onde opérationnelle de l'AO (par exemple, 1 530 nm à 1 565 nm). Le spectre de sortie doit être plat avec une variation de moins de 0,1 dB ( $\pm$ ) sur la plage de largeur de bande de mesure (généralement 10 nm). Par exemple, l'ESA générée par un AO sans signal appliqué pourrait être utilisée.

## 4.7 Connecteurs optiques

La reproductibilité de la perte liée à la connexion doit être meilleure que 0,1 dB ( $\pm$ ). La réflectance de ce dispositif doit être inférieure à -50 dB( $\pm$ ).

## 4.8 Jarretières en fibre optique

Le diamètre du champ de mode des jarretières en fibres optiques doit être aussi proche que possible de celui des fibres utilisées aux accès d'entrée et de sortie de l'AO. La réflectance de ce dispositif doit être inférieure à -50 dB ( $\pm$ ), et la longueur du dispositif doit être courte (< 2m). Il convient que les jarretières entre la source et le dispositif en essai demeurent sans perturbations tout au long des mesures afin de minimiser les variations de l'état de polarisation.

En conséquence, la combinaison de la source optique multicanaux, de l'affaiblisseur optique variable, et de l'appareil de commande de la polarisation en entrée doit être désignée comme le *module source*. L'appareil de commande de la polarisation du module de source est facultatif et n'est exigé que lorsque les performances dépendant de la polarisation doivent être mesurées.

## 5 Echantillon d'essai

L'AO en essai doit fonctionner aux conditions de fonctionnement nominales. Si l'AO est susceptible de provoquer des oscillations laser dues à des réflexions non désirées, il est recommandé d'utiliser des isolateurs optiques en entrée et en sortie de l'AO en essai. Cela permettra de réduire l'instabilité du signal et les imprécisions de mesure.

Des précautions doivent être prises pour maintenir l'état de polarisation de la lumière en entrée pendant la mesure. Des modifications de l'état de polarisation de la lumière d'entrée peuvent entraîner des modifications de puissance optique à l'entrée du fait de la légère dépendance à la polarisation attendue de tous les composants optiques utilisés, conduisant à des erreurs de mesure.

## 6 Procédure

Cette méthode est fondée sur la mesure optique des paramètres suivants:

- le niveau de puissance du signal sur chaque canal à l'entrée de l'AO en essai ;
- le niveau de puissance du signal sur chaque canal à la sortie de l'AO en essai ;
- le niveau de puissance de l'ESA sur chaque canal à la sortie de l'AO en essai ;
- le niveau de puissance en SSE sur chaque canal à l'entrée de l'AO en essai ; et
- la largeur de bande optique de l'ASO.

La largeur de bande de bruit équivalente de l'ASO est nécessaire pour le calcul de la densité de puissance de l'ESA. Si elle n'est pas spécifiée avec une précision suffisante par le fabricant, elle peut être étalonnée au moyen de l'une des deux méthodes indiquées ci-dessous. La largeur de bande de bruit équivalente d'un filtre de longueur d'onde est la largeur de bande d'un filtre théorique passe-bande rectangulaire et la même caractéristique de transmission à la longueur d'onde centrale que celle qui transmettrait la même puissance de bruit totale que le filtre en place, quand la densité de puissance de la source est constante en fonction de la longueur d'onde.

### 6.1 Etalonnage

#### 6.1.1 Etalonnage de la largeur de bande optique

La largeur de bande de bruit équivalente,  $B_o$ , peut être déterminée par les méthodes suivantes. L'étalonnage peut être réalisé en utilisant l'une des deux méthodes suivantes, fondées sur l'utilisation soit d'une source optique à bande étroite ajustable, soit une source optique à large bande, respectivement.

##### 6.1.1.1 Etalonnage utilisant une source optique à bande étroite

Les étapes énumérées ci-dessous doivent être suivies.

- a) Connecter la sortie d'une source optique à bande étroite ajustable directement à l'ASO.
- b) Régler la longueur d'onde centrale de l'ASO à la longueur d'onde du signal à étalonner,  $\lambda_s$ .
- c) Régler la portée de l'ASO à zéro (longueur d'onde fixe).
- d) Régler la largeur de bande de résolution de l'ASO à la valeur désirée,  $RBW$ .
- e) Régler la longueur d'onde de la source optique à bande étroite à  $\lambda_i$ , à l'intérieur de la plage  $\lambda_s - RBW - \delta$  à  $\lambda_s + RBW + \delta$ , en choisissant  $\delta$  suffisamment grand pour s'assurer que les longueurs d'ondes aux extrémités se trouvent en dehors du filtre passe-bande de l'ASO.
- f) Enregistrer le niveau de signal de l'ASO,  $P(\lambda_i)$ , en unités linéaires.

- g) Répéter les étapes e) et f), en incrémentant la longueur d'onde de la source optique à bande étroite dans la plage de longueur d'onde de l'intervalle d'ajustement,  $\Delta\lambda$ , déterminé en fonction des exigences de précision telles que décrites ci-dessous.
- h) Déterminer la largeur de bande optique selon l'équation suivante:

$$\Delta\lambda_{\text{BW}}(\lambda_s) = \sum_i \frac{P(\lambda_i)}{P(\lambda_s)} \Delta\lambda \quad (1)$$

Cette procédure peut être répétée pour différentes longueurs d'onde du signal, ou pour chaque longueur d'onde de la source multicanaux.

La précision de cette mesure est liée à l'intervalle d'accord de la source optique à bande étroite ( $\Delta\lambda$ ) et à l'uniformité de puissance sur la plage de longueurs d'onde. Un intervalle d'accord inférieur à 0,1 nm est recommandé. Il convient que la puissance optique ne varie pas de plus de 0,4 dB sur la plage de longueurs d'onde.

#### 6.1.1.2 Etalonnage utilisant une source optique à large bande

Cette méthode nécessite que l'ASO possède un filtre à limitation de largeur de bande de forme rectangulaire, lorsque la largeur de bande de résolution est à sa valeur maximale. Les étapes énumérées ci-dessous doivent être suivies.

- a) Connecter la sortie d'une source optique à bande étroite directement à l'ASO. Si elle est réglable, comme dans le cas d'un laser réglable, régler la longueur d'onde de la source à une longueur d'onde spécifique,  $\lambda_s$ .
- b) Régler la largeur de bande de résolution d'ASO à la valeur maximale, de préférence à une valeur inférieure à 10 nm.
- c) Au moyen de l'ASO, mesurer la FWHM par balayage du signal à bande étroite,  $\Delta\lambda_{\text{RBWmax}}$ .
- d) Connecter la sortie d'une source optique à large bande directement à l'ASO.
- e) Garder la largeur de bande de résolution de l'ASO à la valeur maximale.
- f) Au moyen de l'ASO, mesurer le niveau de puissance de sortie,  $P_{\text{RBWmax}}$  (en unités linéaires), à la longueur d'onde donnée,  $\lambda_s$ .
- g) Régler la largeur de bande de résolution de l'ASO à la valeur désirée.
- h) Au moyen de l'ASO, mesurer le niveau de puissance de sortie,  $P_{\text{RBW}}$  (en unités linéaires), à la longueur d'onde donnée,  $\lambda_s$ .
- i) Déterminer la largeur de bande optique conformément à l'équation suivante:

$$\Delta\lambda_{\text{BW}}(\lambda_s) = \frac{P_{\text{RBW}}}{P_{\text{RBWmax}}} \Delta\lambda_{\text{RBW}}(\lambda_s) \quad (2)$$

- j) Cette procédure peut être répétée pour différentes longueurs d'onde du signal, ou pour chaque longueur d'onde de la source multicanaux.

Pour les deux méthodes, l'équation approximative suivante permet de convertir la largeur de bande optique du domaine des longueurs d'onde,  $\Delta\lambda_{\text{BW}}(\lambda_s)$ , au domaine des fréquences,  $B_o(\lambda_s)$ :

$$B_o(\lambda_s) = c \left[ (\lambda_s - \Delta\lambda_{\text{BW}}(\lambda_s)/2)^{-1} - (\lambda_s + \Delta\lambda_{\text{BW}}(\lambda_s)/2)^{-1} \right] \quad (3)$$

où  $c$  est la vitesse de la lumière en espace libre.

NOTE 1 Une fois cette mesure déterminée, toutes les mesures d'ASO sont effectuées avec le même réglage de largeur de bande de résolution, étalonné comme ci-dessus, en prenant en considération le filtre optique dans l'ASO, le cas échéant. Il faut choisir une largeur de bande de résolution de sorte que la plage dynamique soit adaptée pour mesurer l'ESA entre les canaux.

NOTE 2 Si un filtre optique étroit est inclus dans l'AO, il convient que l'AO soit inclus dans le chemin entre la source et l'ASO lors de l'étalonnage de  $B_o(\lambda_s)$ . Il faut que le réglage de la largeur de bande de résolution soit inférieur à la largeur de bande du filtre optique.

NOTE 3 On estime que les mesures avec la largeur de bande de résolution maximale,  $\Delta\lambda_{RBWmax}$ , sont précises.

### 6.1.2 Étalonnage du facteur de correction de puissance de l'ASO

Suivre les étapes énumérées ci-dessous pour étalonner le facteur de correction de puissance (PCF) de l'ASO. Le facteur de correction de puissance étalonne l'ASO en vue d'une puissance absolue.

- Régler le module source pour utilisation d'un seul canal à la longueur d'onde du signal,  $\lambda_s$ . Connecter la sortie du module source directement à l'entrée du puissance-mètre optique, et mesurer  $P_{PM}$  (en dBm).
- Déconnecter la sortie du module source du puissance-mètre optique, et connecter la sortie du module de source directement à l'entrée de l'ASO, et mesurer  $P_{OSA}$  (en dBm).
- Déterminer le facteur d'étalonnage de puissance, PCF en dB, conformément à l'équation suivante:

$$PCF(\lambda_s) = P_{PM} - P_{OSA} \quad (4)$$

NOTE Dans le cas d'une source multicanaux, alimenter  $\lambda_1$  et éteindre tous les autres lasers. Suivre les étapes (a) jusqu'à (c) ci-dessus. Puis alimenter  $\lambda_2$  et éteindre tous les autres lasers. Répéter de façon à obtenir le facteur d'étalonnage de puissance pour toutes les  $n$  longueurs d'onde.

## 6.2 Mesures

La procédure de mesure est décrite par ces étapes

- Régler la largeur de bande de résolution de l'ASO à la valeur étalonée. Ne pas changer ce réglage pendant toute la procédure.
- Connecter la sortie du module source directement à l'ASO.
- Ajuster les niveaux de puissance relatifs de chaque laser de la source multicanaux aux niveaux mentionnés dans la spécification particulière. Typiquement, il est recommandé que les lasers soient réglés de sorte que leurs sorties soient de puissance égale. Régler la puissance d'entrée totale à celle spécifiée dans la spécification particulière avec l'affaiblisseur optique.
- Mesurer le niveau de puissance de l'émission spontanée de la source en débordant de chaque côté de la plage de longueur d'onde du signal. Il convient que le décalage de longueur d'onde soit réglé à la moitié de l'espace du canal, ou moins. Déterminer le niveau de puissance du bruit,  $P_{SSE}^{OSA}(\lambda_s)$  en dBm, par interpolation linéaire, à chaque longueur d'onde du signal. Déterminer le niveau de puissance d'émission de source spontanée étalonée,  $P_{SSE}(\lambda_s)$  en dBm, pour chaque longueur d'onde, conformément à l'équation suivante:

$$P_{SSE}(\lambda) = P_{SSE}^{OSA}(\lambda) + PCF \quad (5)$$

- Mesurer le niveau de puissance de chaque signal,  $P_{IN}^{OSA}(\lambda_s)$  en dBm. Déterminer le niveau de puissance étalonée de chaque longueur d'onde du signal d'entrée au moyen de l'équation suivante:

$$P_{IN}(\lambda) = P_{IN}^{OSA}(\lambda) + PCF \quad (6)$$

- Connecter le module source à l'entrée de l'AO et connecter la sortie de l'AO à l'ASO, comme montré à la Figure 1.
- Mesurer le niveau de puissance directe non corrigée de l'ESA en débordant de chaque côté de la plage de longueur d'onde du signal. Il convient que le décalage de longueur d'onde soit réglé à la moitié de l'espace du canal, ou moins. Déterminer le niveau de

puissance du bruit,  $P_{ASE}^{OSA}(\lambda_s)$  en dBm, par interpolation linéaire, à chaque longueur d'onde du signal. Déterminer le niveau de puissance directe total étalonné de l'ESA,  $P_{ASE}(\lambda)$  en dBm, pour chaque longueur d'onde du canal, conformément à l'équation suivante:

$$P_{ASE}(\lambda) = P_{ASE}^{OSA}(\lambda) + PCF \quad (7)$$

- h) Mesurer la puissance du signal de sortie de chaque canal,  $P_{OUT}^{OSA}(\lambda_s)$  en dBm. Déterminer la puissance de sortie du signal étalonné à chaque longueur d'onde,  $P_{OUT}(\lambda_s)$  en dBm, au moyen de l'équation suivante:

$$P_{OUT}(\lambda) = P_{OUT}^{OSA}(\lambda) + PCF \quad (8)$$

- i) Déterminer la puissance de sortie du signal corrigée en dBm pour chaque canal en soustrayant la puissance de bruit au moyen de l'équation suivante:

$$P_{OUT}^{sig}(\lambda) = 10 \log \left( 10^{\frac{P_{OUT}(\lambda)}{10}} - 10^{\frac{P_{ASE}(\lambda)}{10}} \right) \quad (9)$$

- j) Déterminer le gain du canal,  $G(\lambda)$  en dB, pour chaque canal au moyen de l'équation suivante:

$$G(\lambda) = P_{OUT}^{sig}(\lambda) - P_{IN}(\lambda) \quad (10)$$

- k) Déterminer la contribution de l'amplificateur dans le niveau de puissance directe total de l'ESA pour chaque longueur d'onde du signal,  $P_{ASE}^{amp}(\lambda_s)$  en dBm, en soustrayant le niveau de puissance de l'émission spontanée de la source, qui est augmenté par le gain à la sortie de l'amplificateur, du niveau de puissance total calibré de l'ESA, au moyen de l'équation suivante:

$$P_{ASE}^{amp}(\lambda) = 10 \log \left( 10^{\frac{P_{ASE}(\lambda)}{10}} - 10^{\frac{G(\lambda) + P_{SSE}(\lambda)}{10}} \right) \quad (11)$$

### 6.3 Calculs

Etant donné que le niveau de puissance propagé de l'ESA est déterminé directement par les procédures de mesure, les calculs fournis ci-dessous doivent être suivis pour la détermination du facteur de bruit signal/émission spontanée du canal,  $NF_{sig-sp}$ .

En partant des valeurs de la contribution de l'AO déterminées au niveau de puissance propagé de l'ASE,  $P_{ASE}^{amp}(\lambda_s)$  en dBm, du gain,  $G(\lambda_s)$  (en dB), et de la largeur de bande optique,  $B_o(\lambda_s)$  (en unités de fréquence), calculer le facteur de bruit signal/émission spontanée,  $NF_{sig-sp}$  en dB, pour la puissance d'entrée du signal choisie,  $P_{in}$ , et des longueurs d'onde du signal,  $\lambda_s$ , conformément à l'équation suivante:

$$NF_{sig-sp}(P_{in}, \lambda_s) = P_{ASE}^{amp}(\lambda_s) - G(\lambda_s) - 10 \log[h\nu B_o(\lambda_s)] \quad (12)$$

où  $h$  est la constante de Planck et  $\nu$  la fréquence du signal optique.

NOTE La précision de cette méthode d'essai dépend largement de la précision à laquelle les connexions peuvent être interrompues et ré-établies ainsi que de la dépendance à la polarisation de l'ASO.

## 7 Résultats de l'essai

Les précisions suivantes doivent être indiquées: