

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Optical amplifiers – Test methods –
Part 10-1: Multichannel parameters – Pulse method using an optical switch and
optical spectrum analyzer**

**Amplificateurs optiques – Méthodes d'essai
Partie 10-1: Paramètres à canaux multiples – Méthode d'impulsion utilisant un
interrupteur optique et un analyseur de spectre optique**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61290-10-1:2009



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2009 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester.

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

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

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

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 It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

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

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

- Electropedia: www.electropedia.org

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

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

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

Email: csc@iec.ch

Tel.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

A propos de la CEI

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

A propos des publications CEI

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

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

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

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

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

- Electropedia: www.electropedia.org

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

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

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

Email: csc@iec.ch

Tél.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Optical amplifiers – Test methods –

Part 10-1: Multichannel parameters – Pulse method using an optical switch and optical spectrum analyzer

Amplificateurs optiques – Méthodes d'essai

Partie 10-1: Paramètres à canaux multiples – Méthode d'impulsion utilisant un interrupteur optique et un analyseur de spectre optique

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

T

ICS 33.180.30

ISBN 978-2-88910-479-6

CONTENTS

FOREWORD.....	4
INTRODUCTION.....	6
1 Scope and object.....	7
2 Normative references	7
3 Abbreviated terms	7
4 Apparatus.....	8
5 Test sample.....	10
6 Procedure	10
6.1 Calibration.....	11
6.1.1 Calibration of OSA power measurement	11
6.1.2 Calibration of the pulse duty ratio	11
6.1.3 Calibration of the sampling module.....	12
6.1.4 Calibration of dynamic isolation	13
6.2 OA measurement	15
6.2.1 Timing adjustment for ASE and amplified signal power measurement.....	15
6.2.2 ASE measurement.....	16
6.2.3 Amplified signal power measurement.....	16
7 Calculation	17
7.1 General.....	17
7.2 Noise factor calculation	18
7.3 ASE power	18
7.4 Gain calculation	19
7.5 Average output signal power	19
7.6 Noise figure calculation	19
8 Test results	19
Annex A (informative) Output waveforms for various EDFAs at 25 kHz and 500 kHz pulse rates.....	20
Annex B (informative) Measurement accuracy versus pulse rate.....	22
Annex C (informative) Pulse repetition frequency measurements.....	23
Bibliography.....	24
Figure 1 – Typical arrangement of the optical pulse test method	8
Figure 2 – Two arrangements of the optical pulse source.....	9
Figure 3 – Static isolation of an optical switch.....	9
Figure 4 – Definitions of rise time and fall time, t_r and t_f of optical pulses	10
Figure 5 – Measurement flow chart	11
Figure 6 – Arrangement for the sampling switch calibration.....	12
Figure 7 – Arrangement for timing adjustment.....	13
Figure 8 – Timing adjustment of the sampling switch	14
Figure 9 – Timing chart for dynamic isolation calibration	15
Figure 10 – Arrangement for OA measurement	16
Figure 11 – Timing chart for ASE measurement	17
Figure 12 – Timing chart for amplified signal power measurement	17

Figure A.1 – EDFA output waveforms for various EDFAs	21
Figure B.1 – NF measurement accuracy versus pulse rate.....	22
Figure C.1 – Set-up to evaluate gain recovery error versus modulation rate.....	23
Figure C.2 – Gain recovery error versus modulation frequency with pump current as a parameter	23

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61290-10-1:2009

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**OPTICAL AMPLIFIERS –
TEST METHODS –****Part 10-1: Multichannel parameters –
Pulse method using an optical switch
and 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 61290-10-1 has been prepared by subcommittee 86C: Fibre optic systems and active devices, of IEC technical committee 86: Fibre optics.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 2003. It is a technical revision with updated references and cautions on proper use of the procedure.

This International Standard is to be read in conjunction with IEC 61291-1.

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

CDV	Report on voting
86C/778/CDV	86C/809/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*¹⁾ 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 61290-10-1:2009

¹⁾ The first editions of some of these parts were published under the general title *Optical fibre amplifiers – Basic specification* or *Optical amplifier test methods*.

INTRODUCTION

This International Standard is devoted to the subject of optical fibre amplifiers. The technology of optical fibre amplifiers is still rapidly evolving, hence amendments and new editions to this standard can be expected.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61290-10-1:2009

OPTICAL AMPLIFIERS – TEST METHODS –

Part 10-1: Multichannel parameters – Pulse method using an optical switch and optical spectrum analyzer

1 Scope and object

This part of IEC 61290 applies to optical amplifiers (OAs) using active fibres and waveguides, containing rare-earth dopants, currently commercially available.

The object of this standard is to establish uniform requirements for accurate and reliable measurements of the signal-spontaneous noise figure as defined in IEC 61291-1.

The test method independently detects amplified signal power and amplified spontaneous emission (ASE) power by launching optical pulses into the OA under test and synchronously detecting "on" and "off" levels of the output pulses by using an optical sampling switch and an optical spectrum analyzer (OSA).

Such measurement is possible because the gain response of the rare-earth doped OA is relatively slow, particularly in Er-doped OAs. However, since the OA gain dynamics vary with amplifier types, operating conditions and control schemes, the gain dynamics should be carefully considered when applying the present test method to various OA. The manufacturer of the OA should present data validating the required modulation frequency to limit the error to <1 dB. The measurements for obtaining this information are described in Annex C.

The test method is described basically for multichannel applications, which includes single channel applications as a special case of multichannel (wavelength-division multiplexed) applications.

NOTE All numerical values followed by (‡) are currently under study.

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, *Optical amplifiers – Part 1: Generic specification*

3 Abbreviated terms

For the purposes of this document, the following abbreviated terms apply:

AGC	automatic gain control
ALC	automatic level control
AOM	acousto-optic modulator
APC	automatic power control
ASE	amplified spontaneous emission
CW	continuous wave

DBR	distributed Bragg reflector (laser diode)
DC	direct current
DFB	distributed feed-back (laser diode)
ECL	external cavity laser (diode)
EDFA	erbium-doped fibre amplifier
ER	erbium
FWHM	full width at half maximum
LED	light emitting diode
LD	laser diode
NF	noise figure
OA	optical amplifier
OSA	optical spectrum analyzer
SW	switch

4 Apparatus

The basic measurement set-up is given in Figure 1.

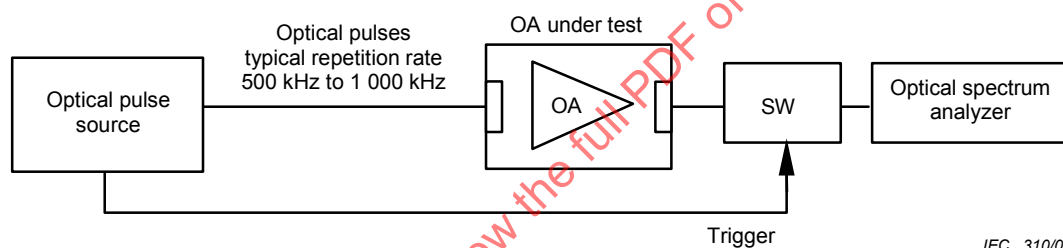


Figure 1 – Typical arrangement of the optical pulse test method

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

- a) *Optical pulse source*: Two arrangements of the optical pulse source are possible as shown in Figure 2. Optical pulse source *a* (Figure 2a) consists of CW optical sources with an external optical switch and attenuator(s). Optical pulse source *b* (Figure 2b) consists of directly modulated optical sources and attenuator(s).

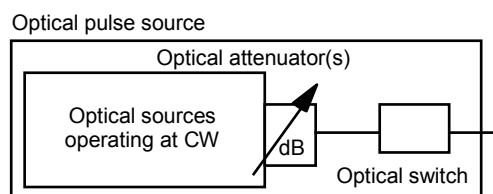


Figure 2a – Arrangement with external optical switch

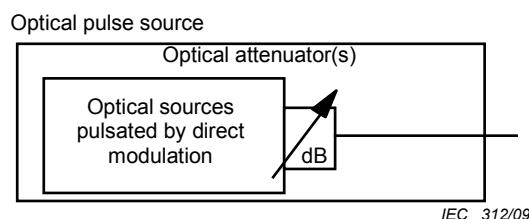


Figure 2b – Arrangement with directly modulated optical source

Figure 2 – Two arrangements of the optical pulse source

Unless otherwise specified, the full width at half maximum (FWHM) of the output spectrum of optical pulse source *a* or *b* shall be narrower than 0,1 nm (±) so as not to cause any interference to adjacent channels. In the case of a single-channel source, it shall be narrower than 1 nm (±). Distributed feedback (DFB) lasers, distributed Bragg reflection (DBR) lasers, and external cavity lasers (ECLs), for example, are applicable. The suppression ratio of the side modes of these DFB lasers shall be higher than 30 dB (±). The output power fluctuation shall be less than 0,05 dB (±), which may be more easily attainable with an optical isolator placed at the output port of each source.

Optical pulse source *a* simultaneously pulsates wavelength-division multiplexed light with an optical switch, where the switching time is common to all the channels; timing adjustment is not needed. Moreover, frequency chirping and spontaneous emission can be minimum; the extinction ratio of the "on" versus "off" stages can be uniquely determined at a high level if a high extinction-ratio switch is used. An acousto-optic modulator (AOM) is typically used as the switch.

For optical pulse source *b*, the leakage power at the off-state should be as small as possible to minimize the measurement error, although calibration is possible by subtracting the leaked power. This may demand a zero-bias operation of laser diode sources. Moreover, care must be taken in synchronizing optical pulses because the pulse timing may differ from one source to another.

- b) *Variable optical attenuator*: The attenuation range and stability shall be over 40 dB (±) and better than $\pm 0,1$ dB (±), respectively. The reflectance from this device shall be smaller than -40 dB (±) at each port. The variable optical attenuator may be incorporated in the optical pulse source.
- c) *Optical switch*: This device shall have a polarization sensitivity less than $\pm 0,1$ dB (±), static isolation better than 65 dB (±), transition time less than 50 ns (±), and switching delay time less than 2 ms (±). The reflectance from this device shall be smaller than -40 dB (±) at each port. Figure 3 defines the optical switch static isolation. The optical switch is not required for optical pulse source *b*.

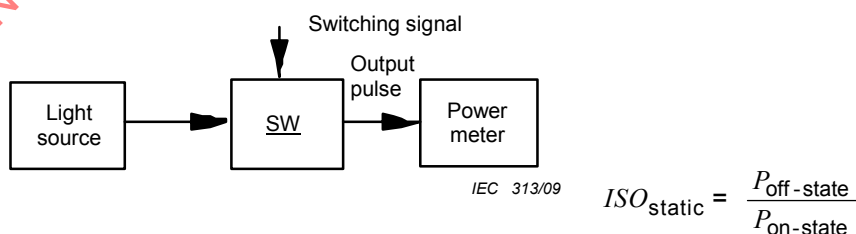


Figure 3 – Static isolation of an optical switch

- d) *Pulse generator*: This device is used to drive optical pulse sources and the optical sampling switch. When using an internally modulated optical pulse source, an independent pulse generator is not required. Pulse train(s) shall be generated with a pulse interval of, typically, 1 μ s to 2 μ s (±). The pulse widths shall be adjustable from 100 ns to 2 ms (±) with a step of 5 ns or finer. The delay shall be adjustable at least from 100 ns to 4 μ s (±) in steps of 5 ns or

finer. The rise time and fall time, t_r and t_f , of the output optical pulse shall be less than 10 ns ($\pm$). Definitions of t_r and t_f are given in Figure 4.

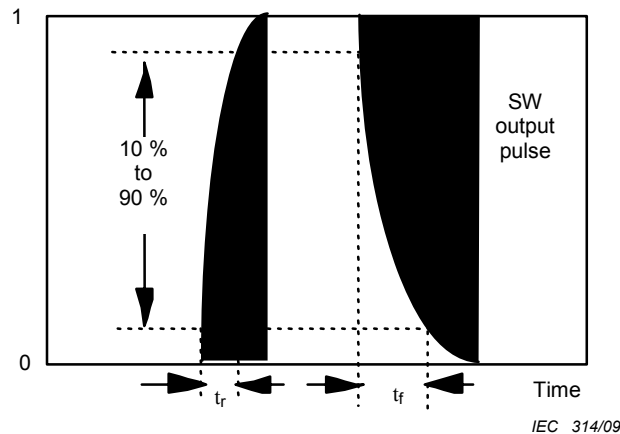


Figure 4 – Definitions of rise time and fall time, t_r and t_f of optical pulses

- e) *Optical spectrum analyzer*: This device shall have polarization sensitivity less than 0,1 dB ($\pm$), stability better than $\pm 0,1$ dB ($\pm$), wavelength accuracy better than $\pm 0,5$ nm ($\pm$), and wavelength reproducibility better than 0,01 nm ($\pm$). The device shall have a measurement range at least from -75 dBm to $+20$ dBm ($\pm$) with a resolution better than 0,1 nm ($\pm$). The reflectance from this device shall be smaller than -40 dB ($\pm$) at its input port.
- f) *Optical power meter*: This device shall have a measurement accuracy better than $\pm 0,2$ dB ($\pm$), irrespective of the state of the input light polarization, within the operational wavelength band of the OA and within a power range from -40 dBm to $+20$ dBm ($\pm$).
- g) *Optical connectors*: The connection loss repeatability shall be better than $\pm 0,1$ dB ($\pm$). The reflectance from this device shall be smaller than -40 dB ($\pm$).
- h) *Optical fibre jumpers*: The mode field diameter of the optical fibre jumpers shall be as close as possible, so as not to cause excessive loss and reflectance, to that of fibres used as input and output ports of the OA. The reflectance from optical fibre jumpers shall be smaller than -40 dB ($\pm$), and the device length shall be short (< 2 m).

5 Test sample

The OA shall operate 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.

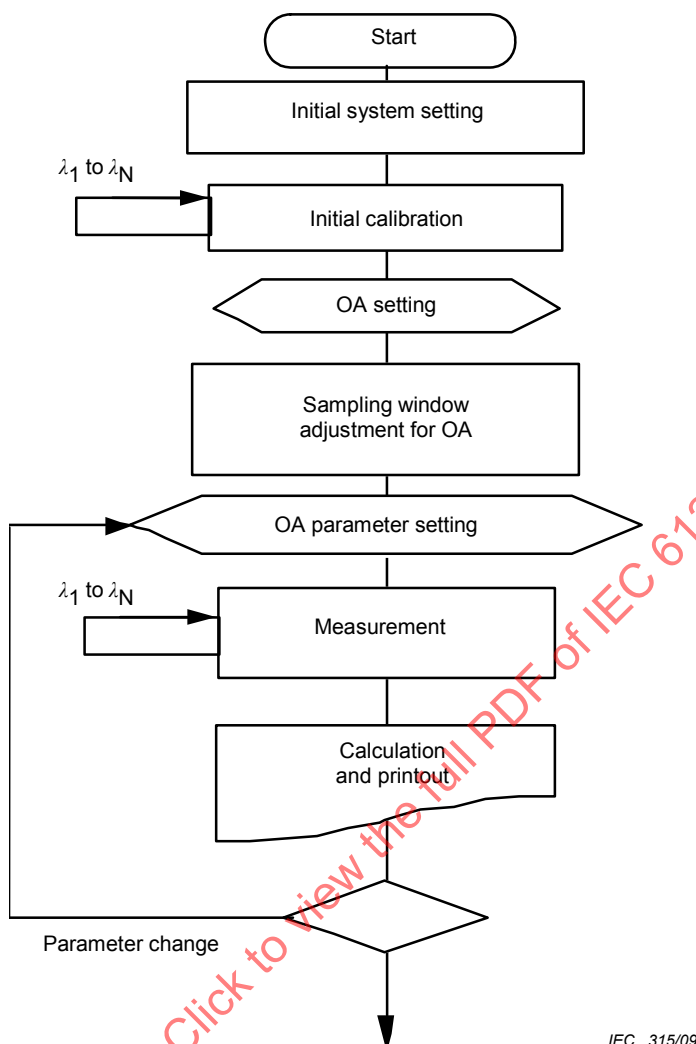
Care shall be taken in the state of polarization of the input light during the measurement. Changes in the polarization state of the input light may result in input optical power changes because of the slight polarization dependency expected from all the optical components used, leading to measurement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

6 Procedure

The test procedure consists of four parts:

- a) initial system setting and calibration;
- b) sampling window adjustment;
- c) OA measurement and
- d) calculation.

The measurement flow is given in Figure 5. This procedure enables self-consistent calculation of not only OA noise factor but also ASE power and signal gain.



IEC 315/09

Figure 5 – Measurement flow chart

6.1 Calibration

6.1.1 Calibration of OSA power measurement

Calibrate the OSA power measurement by using a calibrated power meter.

NOTE The calibrated optical power meter detects all the optical power including source spontaneous emission, whereas the OSA measurement detects just the optical power within the resolution bandwidth of the OSA. Therefore, use of an optical filter with a FWHM passband of 1 nm to 3 nm is recommended at the output of the optical pulse source to increase the calibration accuracy.

6.1.2 Calibration of the pulse duty ratio

Follow the steps below to calibrate the pulse duty ratio.

- Activate any one channel of the optical pulse source at CW and the specified power and wavelength.
- Set the pulse width T_{source} and the pulse interval T of the optical pulse source output as specified in the product specification. T_{source} and T shall be sufficiently shorter than the gain-response time of the OA under test. For EDFAs, T_{source} and T are typically 0,4 μs (†)

and 1 μ s ($\pm$), respectively. These values, however, depend on the amplifier saturation condition.

NOTE Measurement accuracy versus pulse rates is given in informative Annex B. EDFA output waveforms for various EDFAs are given in informative Annex A.

- c) Measure the average output power, $P_{\text{pulse-ave}}$, with a power meter.
- d) Drive the optical pulse source with 100 % duty pulse (DC drive), and measure the output power, P_{DC} , with a power meter.
- e) Calculate the equivalent duty ratio by using Equation (1).

$$DR_{\text{source}} = \frac{P_{\text{pulse-ave}}}{P_{\text{DC}}} \quad (1)$$

NOTE For the optical pulse source using an external optical switch, the calibration result is applicable to the other channels.

For the optical pulse source using direct modulation, the calibration shall be repeated for all the channels, because the optical-pulse shape generated by each source can be different.

6.1.3 Calibration of the sampling module

Follow the steps below to calibrate the sampling module.

- a) Arrange the optical pulse source, sampling SW, OSA and calibrated power meter as shown in Figure 6.

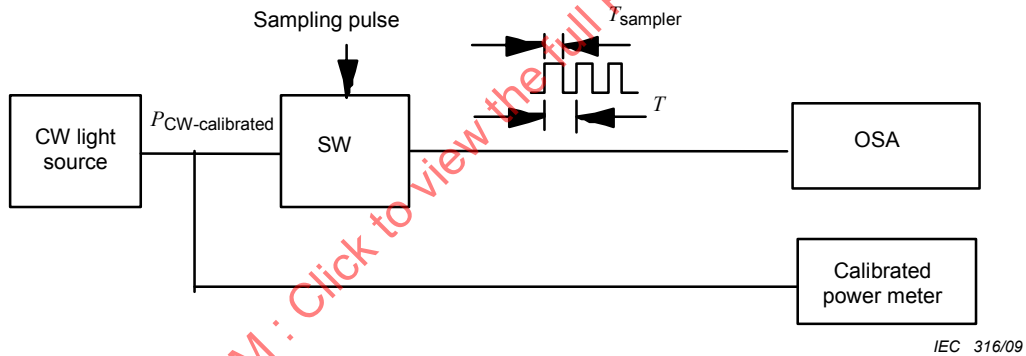


Figure 6 – Arrangement for the sampling switch calibration

- b) Activate the optical pulse source to emit CW light at a channel wavelength to be tested.
- c) Set the OSA optical bandwidth, B_o , in a way to accommodate the spectral bandwidth of the pulse signal.
- d) Adjust the OSA centre wavelength to the wavelength selected at step b).
- e) Set the sampling pulse width, T_{sampler} , as specified in the product specification. The sum of the duty ratios, the source duty ratio plus sampler duty ratio, shall be less than 100 % while still keeping some margin, e.g., 80 % to 90 %. T_{sampler} shall be smaller than T_{source} . Measure the average output power, $P_{\text{OSA-pulse-ave}}$ with the OSA.
- f) Drive the sampling switch with a 100 % duty pulse (DC drive).
- g) Measure $P_{\text{OSA-DC}}$ with the OSA.
- h) Calculate the equivalent sampling switch duty ratio by using Equation (2).

$$DR_{\text{sampler}} = \frac{P_{\text{OSA-pulse-ave}}}{P_{\text{OSA-DC}}} \quad (2)$$

NOTE The value of DR_{sampler} thus obtained at one channel wavelength is applicable to the other channel wavelengths.

- i) Measure the input power to the sampling switch, $P_{\text{CW-calibd}}$, with a calibrated power meter.
- j) Activate the optical pulse source to emit CW light at the next channel wavelength to be tested. Repeat steps g) through i) for the next channel wavelength to be measured.
- k) Calculate the calibration factor, $CAL(\lambda_k)$, of the sampler including the OSA by using Equation (3).

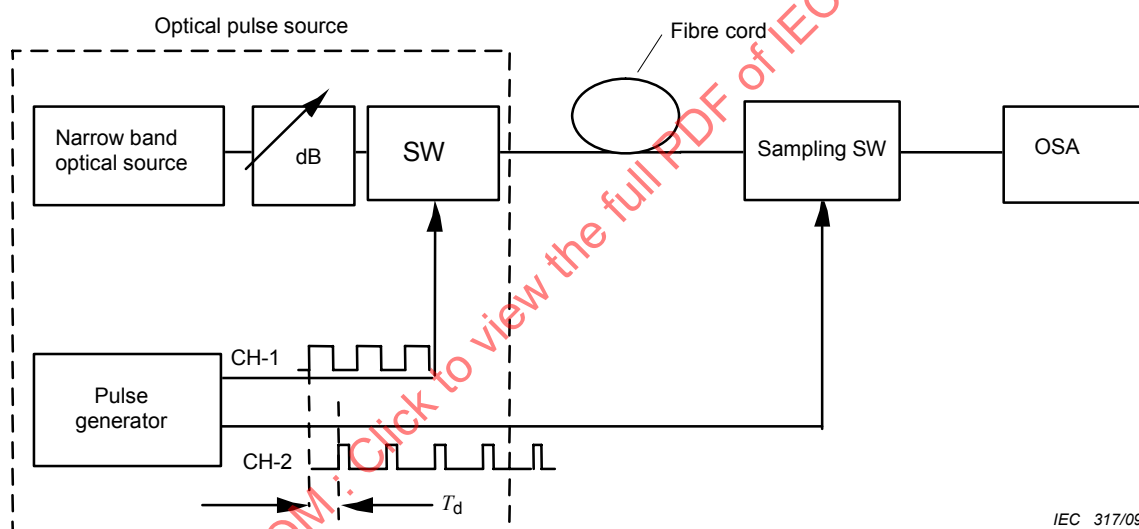
$$CAL(\lambda_k) = \frac{P_{\text{OSA-DC}}}{P_{\text{CW-calibd}}} \quad (3)$$

6.1.4 Calibration of dynamic isolation

6.1.4.1 Timing adjustment of the sampling switch (SW)

Follow the steps below for timing adjustment of the sampling switch.

- a) Connect the optical pulse source and the sampling switch plus OSA with a fibre cord as shown in Figure 7, in which optical pulse source *a* is illustrated as the optical pulse source. Optical pulse source *b* is also applicable here.



IEC 317/09

Figure 7 – Arrangement for timing adjustment

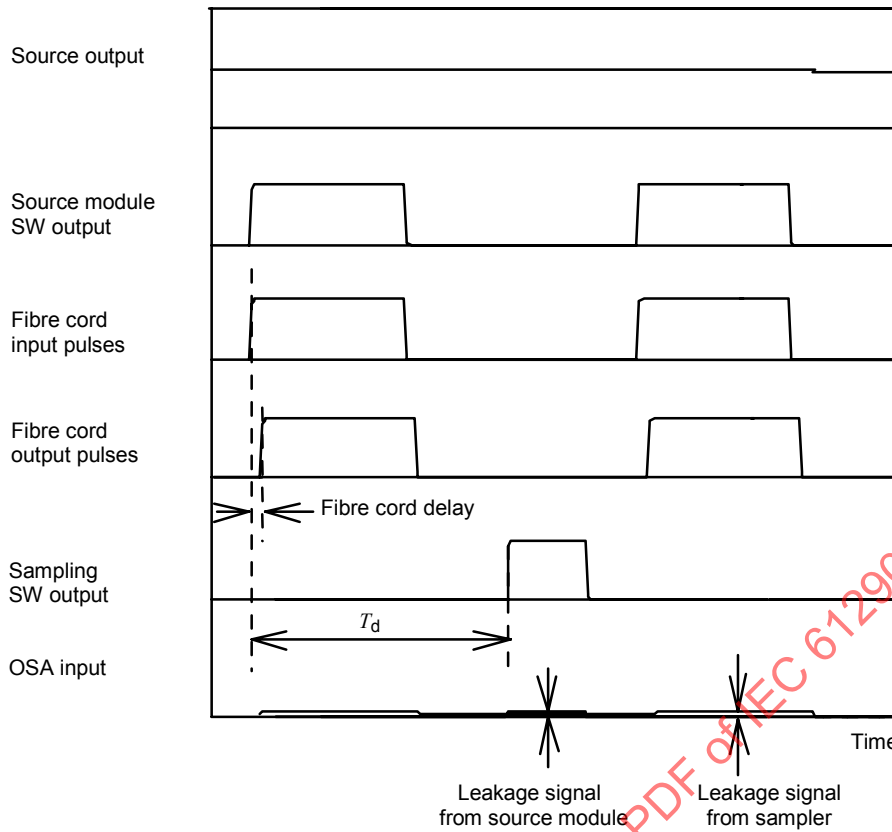
- b) Activate the optical pulse source to emit light at all channel wavelengths.

NOTE Although the delay time can be determined by using just one channel, the present test procedure activates all the channels at this stage so that the multichannel optical pulse source can be better stabilized for later stages of the measuring procedure.

- c) Adjust the OSA centre wavelength to one arbitrary channel wavelength.
- d) Set the drive pulse timing for the optical pulse source and the sampling switch as shown in Figure 8. DR_{sampler} shall be smaller than DR_{source} .
- e) Find the delay time, $T_{\text{d-min}}$, that minimizes the received optical power with the OSA by tuning the CH2 delay time T_{d} .
- f) Calculate the delay time $T_{\text{d-max}}$ that maximizes the received optical power with the OSA by using Equation (4).

$$T_{\text{d-max}} = T_{\text{d-min}} - \frac{T_{\text{p}}}{2} \quad (4)$$

NOTE The delay time thus obtained at one channel wavelength is applicable to the other channel wavelengths.



IEC 318/09

Figure 8 – Timing adjustment of the sampling switch

6.1.4.2 Dynamic isolation

Follow the steps below to calculate the dynamic isolation.

- a) Keep activating the optical pulse source to emit light pulses at all channel wavelengths.

NOTE All the channels need to be active when measuring the dynamic isolation. This is because, although the dynamic isolation is measured by tuning the OSA to one channel, the OSA should receive all the optical powers including those from adjacent channels.

- b) Connect the optical pulse source and the sampling switch plus OSA with a fibre cord as shown in Figure 7.
- c) Set the sampling switch timing as shown in Figure 9a. Measure $p_{\text{OSA-ave}}^{\text{Sig}}$ with the OSA tuned to the channel to be tested.
- d) Set the sampling switch timing as shown in Figure 9b. Measure $p_{\text{OSA-ave}}^{\text{Leak}}$ with the OSA tuned to the same channel as in step c).
- e) Repeat steps c) and d) for the different channels to be tested.
- f) Calculate the average dynamic isolation of each channel, $ISO(\lambda_k)_{\text{dyna-ave}}$, by using Equation (5).

$$ISO(\lambda_k)_{\text{dyna-ave}} = \frac{p_{\text{OSA-ave}}^{\text{Leak}}}{p_{\text{OSA-ave}}^{\text{Sig}}} \quad (5)$$

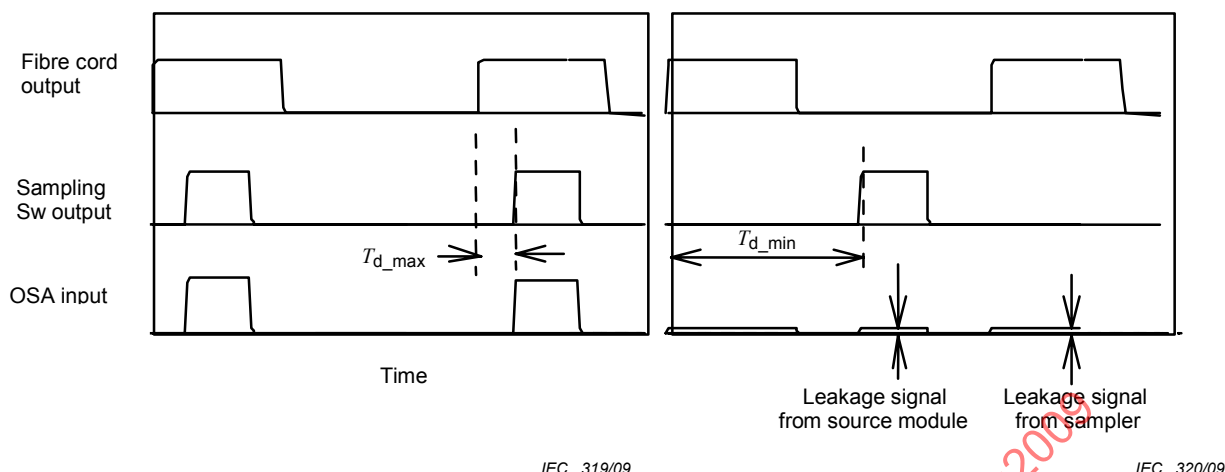
Figure 9a – Measurements of $P_{\text{OSA-ave}}^{\text{Sig}}$ Figure 9b – Measurements of $P_{\text{OSA-ave}}^{\text{Leak}}$

Figure 9 – Timing chart for dynamic isolation calibration

6.2 OA measurement

6.2.1 Timing adjustment for ASE and amplified signal power measurement

Follow the steps below to adjust the timing for ASE and amplified signal power measurement.

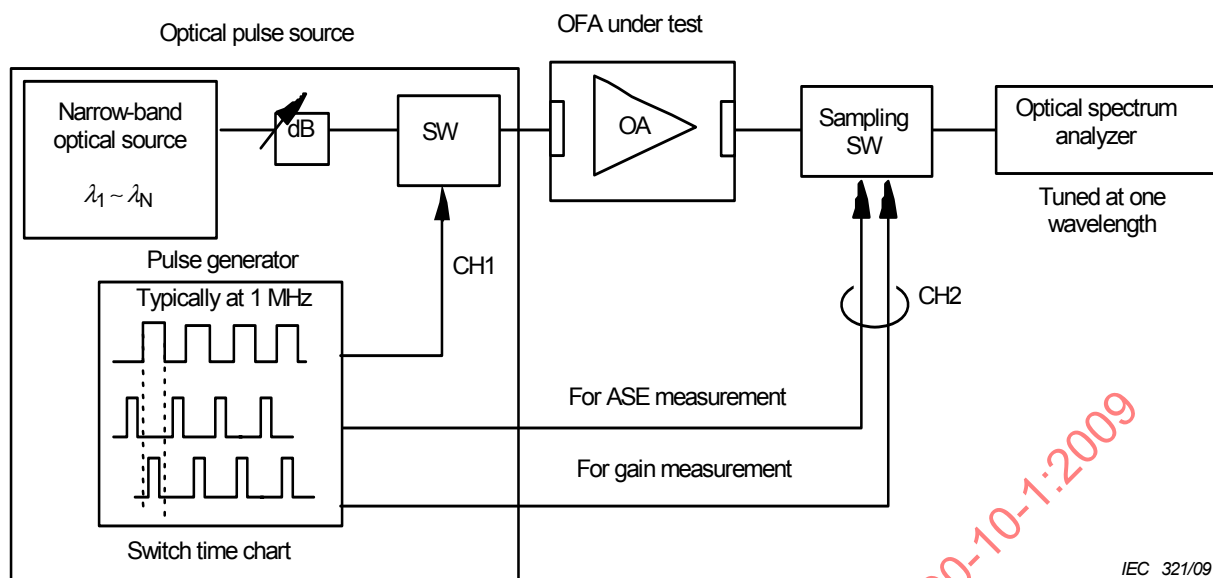
- Keep activating the optical pulse source to emit pulsed light at all channel wavelengths.

NOTE Although the timing can be adjusted by using just one channel, all the channels are kept activated so that the multichannel optical pulse source can be stable.

- Connect the optical pulse source, the OA under test, the sampling switch and the OSA as shown in Figure 10, in which optical pulse source *a* is illustrated. Optical pulse source *b* is also applicable instead.
- Activate the OA under test as specified in the detail specification while avoiding surge generation.
- Tune the OSA to one arbitrary channel wavelength.
- Set the drive pulse timing to the optical pulse source and the sampling switch as shown in Figure 10, in which the sampling switch is driven out of phase with the optical pulse source for ASE measurement.
- Find the delay time of $T_{d\text{-ASE}}$ that minimizes $P_{\text{OSA-ave}}^{\text{ASE}}$ by tuning the CH2 delay time T_d .
- Calculate the delay time $T_{d\text{-sig}}$, that maximizes $P_{\text{OSA-ave}}^{\text{Sig-OA-out}}$ by using Equation (6).

$$T_{d\text{-sig}} = T_{d\text{-ASE}} - \frac{T_p}{2} \quad (6)$$

NOTE The delay time thus obtained at one channel wavelength is applicable to the other channel wavelengths.



IEC 321/09

Figure 10 – Arrangement for OA measurement

6.2.2 ASE measurement

Follow the steps below to measure the ASE.

- Keep activating the optical pulse source to emit pulsed light at all channels.
- Set the average signal power of each channel into the OA, $P_{\text{OA-in-ave}}$, as specified in a detail specification. $P_{\text{OA-in-ave}}$ can be adjusted by using an OSA as follows:
 - Connect the optical pulse source and the sampling switch with a fibre cord.
 - Set the sampling switch timing: $T_{\text{d-max}}$, as given in Equation (4)
 - Measure $P_{\text{Sig OSA-ave}}$ with the OSA at the wavelength under test.
 - $P_{\text{OA-in-ave}}$ is given in Equation (7).

$$P(\lambda_k)_{\text{OA-in-ave}} = \frac{DR_{\text{source}}}{CAL(\lambda_k) \times DR_{\text{sampler}}} P(\lambda_k)_{\text{sig-OA-in OSA-ave}} \quad (7)$$

- For single-channel applications, instead of following the above steps 1) to 4), $P_{\text{OA-in-ave}}$ can be adjusted by using the calibrated power meter.
- Set the sampling module timing, as determined by item e) of 6.2.1, to measure the ASE power. The timing chart is given in Figure 11.
- Measure $P_{\text{ASE OSA-ave}}$ with the OSA at the channel under test.

NOTE This power depends on the resolution bandwidth of the OSA.

- Measure $P_{\text{ASE OSA-ave}}$ with the OSA at the next channel to be tested while keeping other conditions unchanged.

6.2.3 Amplified signal power measurement

- Keep activating the optical pulse source to emit pulsed light at all channels.
- Set the sampling switch timing as determined by step g) of 6.2.1 to measure the signal power. The timing chart is given in Figure 12.
- Keep $P_{\text{OA-in-ave}}$ for all the channels at the same levels as for the ASE measurement.
- Measure $P_{\text{sig-OA-out OSA-ave}}$ with the OSA at the wavelength under test.

- e) Measure $p_{\text{sig-OA-out}}^{\text{OSA-ave}}$ with the OSA at the next channel to be tested while keeping other conditions unchanged.

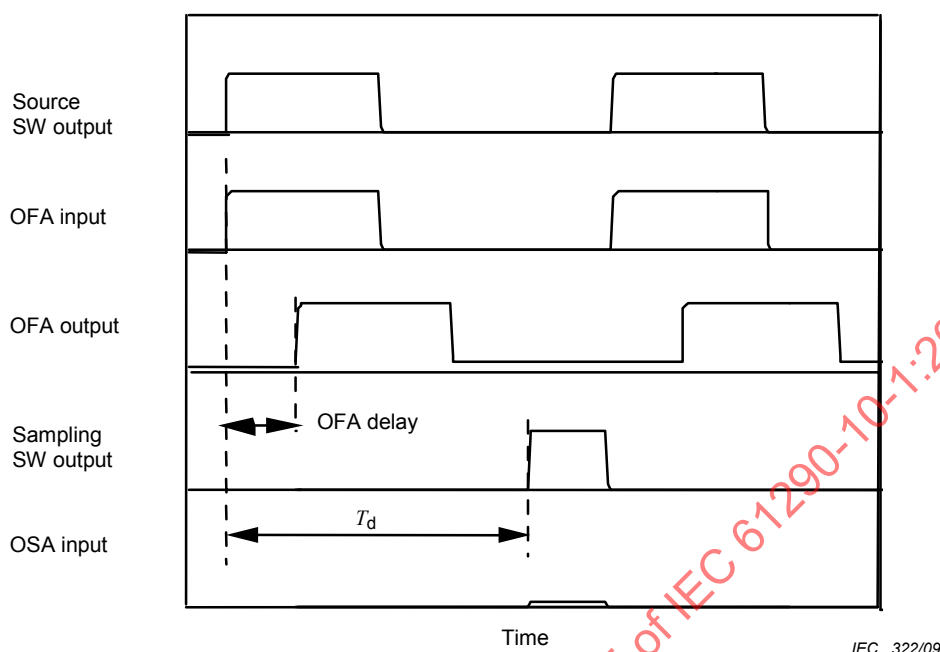


Figure 11 – Timing chart for ASE measurement

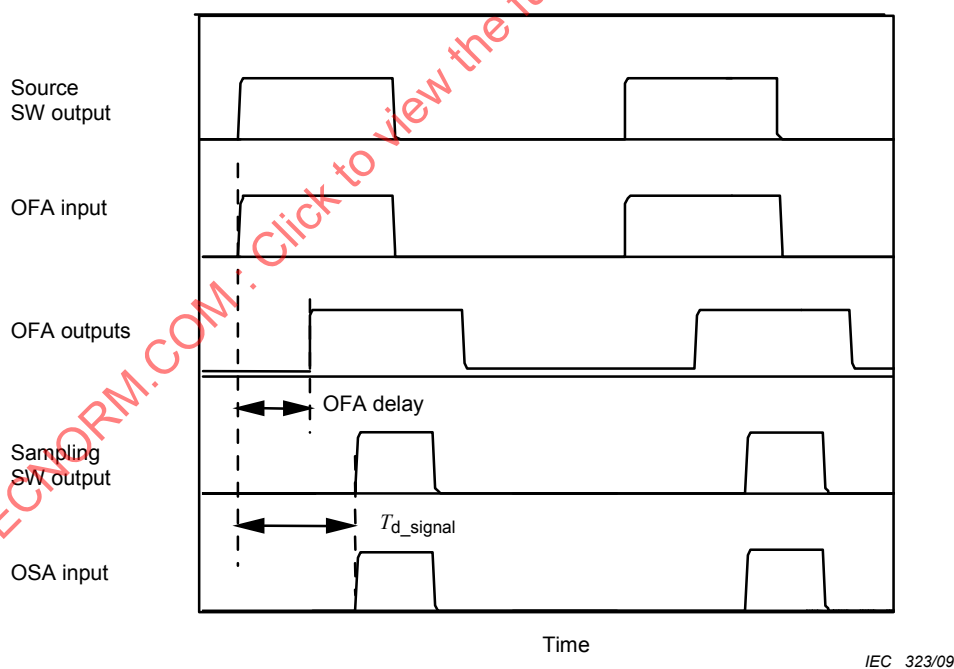


Figure 12 – Timing chart for amplified signal power measurement

7 Calculation

7.1 General

Since the following parameter values differ depending on the channel under test, the calculation needs to be conducted at each channel by using the parameter values specific to each channel.

$P(\lambda_k)_{\text{OA-in-ave}}$	Average input signal power, mW
$P(\lambda_k)_{\text{ASE OSA-ave}}$	Average ASE power measured with the OSA, mW
$P(\lambda_k)_{\text{sig-OA-out OSA-ave}}$	Average output signal power from OA measured with the OSA, mW
$ASE(\lambda_k, B_0)$	ASE power within the optical bandwidth of the OSA, mW
$CAL(\lambda_k)$	Calibration factor of the sampler plus OSA
$ISO(\lambda_k)_{\text{dyna-ave}}$	Average dynamic isolation, dB
$G(\lambda_k)$	Linear gain
$F(\lambda_k)_{\text{sig-sp}}$	Signal-spontaneous noise factor (expressed in linear form)
$NF(\lambda_k)_{\text{sig-sp}}$	Signal-spontaneous noise figure, dB

7.2 Noise factor calculation

Noise factor, $F_{\text{sig-sp}}$, at each channel at a wavelength, λ , is given by using the following equations:

$$F_{\text{sig-sp}} = \frac{P_{\text{OSA-ave}}^{\text{ASE}}}{CAL \times Gh\nu B_0 DR_{\text{sampler}}} - \frac{ISO_{\text{dyna-ave}} \times P_{\text{OA-in-ave}}}{h\nu B_0 DR_{\text{source}}} \quad (8)$$

or

$$F_{\text{sig-sp}} = \frac{1}{CAL \times Gh\nu B_0 DR_{\text{sampler}}} (P_{\text{OSA-ave}}^{\text{ASE}} - ISO_{\text{dyna-ave}} \times P_{\text{sig-OA-out OSA-ave}}) \quad (9)$$

where

B_0 is the OSA resolution bandwidth, in Hz,

h is Planck's constant,

ν is the optical signal frequency, in Hz.

NOTE The second terms in Equations (8) and (9) are used to cancel the effect of the signal leakage in ASE measurement.

By measuring the ASE power distribution around the signal wavelength, the ASE power excluding the signal leakage at the signal wavelength can be estimated by an interpolation technique. $F_{\text{sig-sp}}$ can be given by using Equation (10)

$$F_{\text{sig-sp}} = \frac{P_{\text{OSA-ave - interpolated}}^{\text{ASE}}}{CAL \times Gh\nu B_0 DR_{\text{sampler}}} \quad (10)$$

7.3 ASE power

ASE power at the OA output is given by using Equation (11) or (12).

$$ASE(B_0) = \frac{P_{\text{OSA-ave}}^{\text{ASE}}}{CAL \times DR_{\text{sampler}}} - \frac{ISO_{\text{dyna-ave}}}{DR_{\text{source}}} G \times P_{\text{OA-in-ave}} \quad (11)$$

or

$$ASE(B_o) = \frac{1}{CAL \times DR_{\text{sampler}}} (P_{\text{OSA-ave}}^{\text{ASE}} - ISO_{\text{dyna-ave}} \times P_{\text{OSA-ave}}^{\text{sig-OFA-out}}) \quad (12)$$

7.4 Gain calculation

Signal linear gain is given by using the following equations;

$$G = \frac{\{P_{\text{OSA-ave}}^{\text{sig-OFA-out}} (1 + ISO_{\text{dyna-ave}}) - P_{\text{OSA-ave}}^{\text{ASE}}\} DR_{\text{source}}}{CAL \times P_{\text{OFA-in-ave}} \times DR_{\text{sampler}}} \quad (13)$$

or

$$G = \frac{P_{\text{OSA-ave}}^{\text{sig-OFA-out}} (1 + ISO_{\text{dyna-ave}}) - P_{\text{OSA-ave}}^{\text{ASE}}}{P_{\text{OSA-ave}}^{\text{sig-OFA-IN}}} \quad (14)$$

7.5 Average output signal power

Average output signal power is given by using Equation (15).

$$P_{\text{OA-out-ave}} = \frac{\{P_{\text{OSA-ave}}^{\text{sig-OFA-out}} (1 + ISO_{\text{dyna-ave}}) - P_{\text{OSA-ave}}^{\text{ASE}}\} DR_{\text{source}}}{CAL \times DR_{\text{sampler}}} \quad (15)$$

7.6 Noise figure calculation

Noise figure NF is obtained from noise factor F by using Equation (16).

$$NF = 10 \log(F) \quad (16)$$

8 Test results

The following details shall be presented for each channel:

- Wavelength range of the measurement
- Spectral linewidth (FWHM) of the optical source
- Input signal wavelength: λ_k
- OSA optical bandwidth: B_o
- Indication of the optical pump power (if applicable)
- Ambient temperature
- Pulse interval: T , Signal pulse width: T_{source} , Sampler width: T_{sample}
- Average input signal power: $P_{\text{OA-in-ave}}$
- Average output signal power: $P_{\text{OA-out-ave}}$
- Linear gain, G
- ASE power: $ASE(B_o)$
- Noise factor: $F_{\text{SIG-SP}}$ or Noise figure: $NF_{\text{SIG-SP}}$

Annex A

(informative)

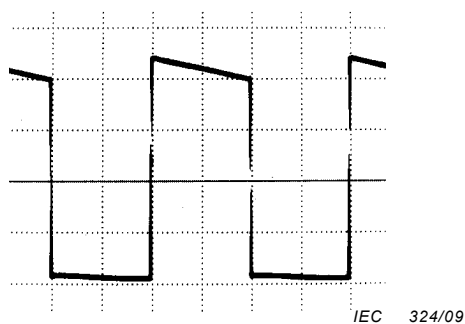
Output waveforms for various EDFAs at 25 kHz and 500 kHz pulse rates

Figure A.1 shows examples of the output waveform for various types of EDFAs (see NOTE). It is seen from a) to c) of Figure A.1, in which the pulse rate is 25 kHz, that the EDFA gain changes within one pulse waveform and also varies with EDFA types of A, B and C.

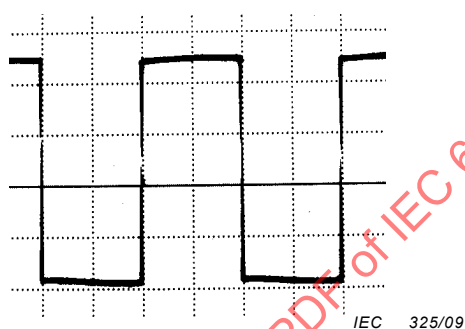
NOTE Type A EDFA is operated at a constant pump power under saturated regime. Type B EDFA has a relatively slow automatic power control (APC), whereas type C EDFA has a quick APC with an operating band >25 kHz.

The gain change disappears for type C EDFA when the pulse rate is increased to 500 kHz as is seen from c) and d) of Figure A.1. Thus, the gain measurement and, accordingly, the NF measurement are accurate at > 500 kHz.

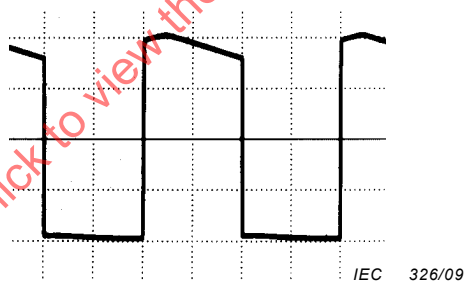
IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61290-10-1:2009



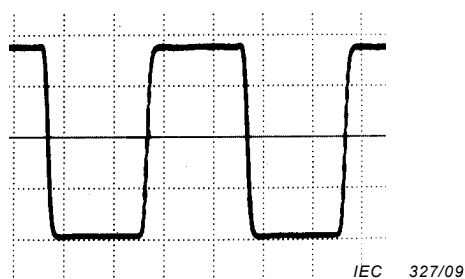
a) EDFA type A at 25 kHz



b) EDFA type B at 25 kHz



c) EDFA type C at 25 kHz



d) EDFA type C at 500 kHz

Figure A.1 – EDFA output waveforms for various EDFAs

Annex B (informative)

Measurement accuracy versus pulse rate

Examples of the NF measurement accuracy versus pulse rate are shown in Figure B.1, where optical pulse source *a* (see Clause 4, Figure 2) was used. The AOM switches were used for source pulsation and sampling, respectively. Measurement conditions were AOM switches: 1 MHz; pulse duty ratios: 0,4 for pulsation and 0,2 for sampling; wavelength-division multiplexed channels: 1 550,4 nm, 1 551,2 nm, 1 552,0 nm and 1 552,8 nm; Total OA input power: 0 dBm; OA gain: 9 dB to 17 dB.

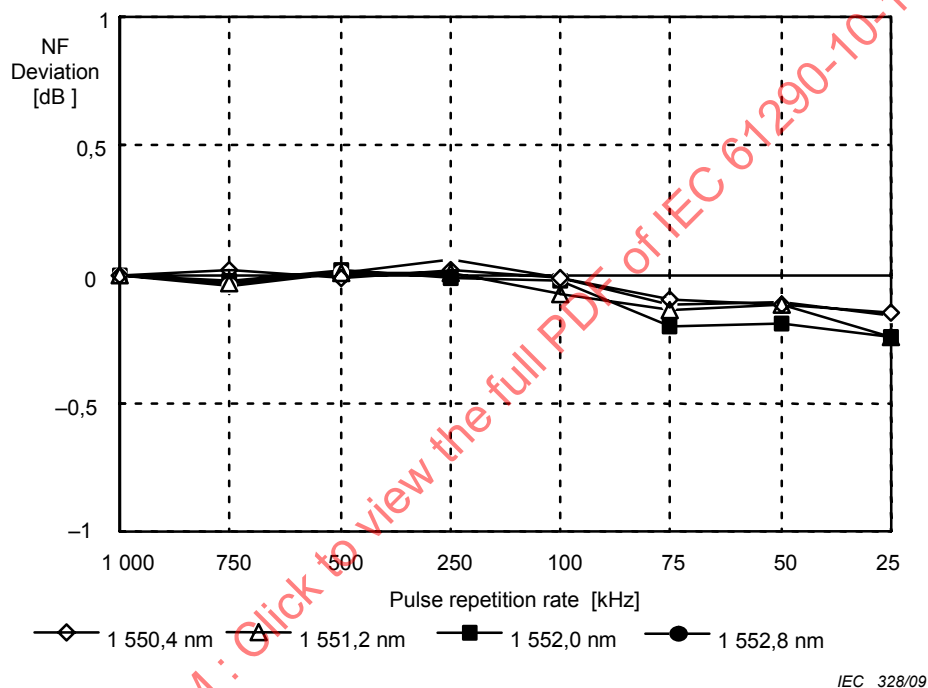


Figure B.1 – NF measurement accuracy versus pulse rate

The NF value was stable for pulse rates higher than about 250 kHz, where the effect of the waveform distortion due to the slow gain dynamics of EDFAs, as seen in Figure A.1, no longer exists. Figure B.1 indicates that high measurement accuracy is achieved at a pulse rate >250 kHz.

Annex C (informative)

Pulse repetition frequency measurements

The measurements described in this annex are possible because the gain response of the rare-earth doped fibre amplifier is relatively slow, that is $>100\ \mu\text{s}$ for Er-doped fibre amplifiers. Currently, the gain recovery times allow pulse repetition rates in the 25 kHz to 100 kHz range. A simple set-up to evaluate OA gain response versus modulation frequency is shown in Figure C.1. An optical source with variable modulation frequency is applied to the OA. The average output power of the OA is measured on an optical power meter. As the modulation frequency is increased, the power meter reading asymptotically approaches a final value. At low modulation frequencies there is an increasing error due to non-linear gain recovery of the OA.

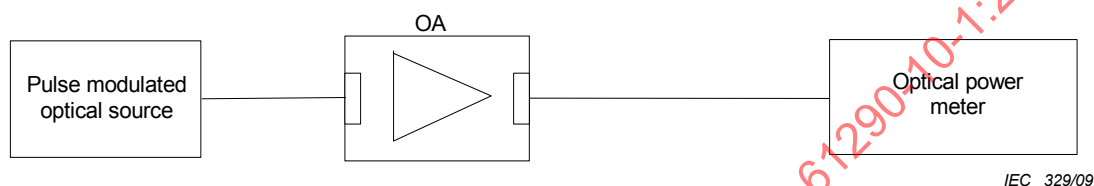
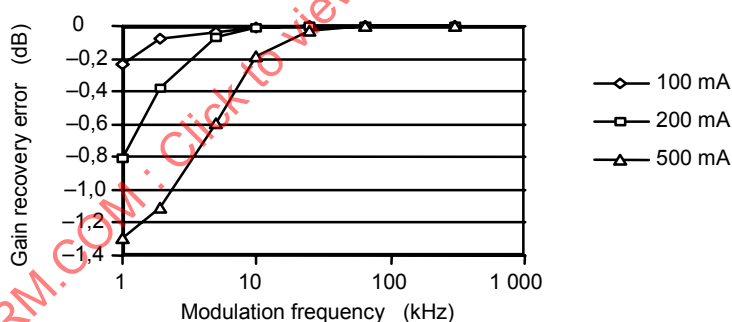


Figure C.1 – Set-up to evaluate gain recovery error versus modulation rate

Figure C.2 shows a measurement on a 980 nm pumped Er-doped fibre amplifier with three values of pump current. As pump power increases, the gain recovery time constant becomes shorter, resulting in a larger deviation from the high-frequency value. For this particular amplifier, a modulation frequency above 20 kHz is required to give $<0,1\ \text{dB}$ error in measured gain at 500 mA pump current.



**Figure C.2 – Gain recovery error versus modulation frequency
with pump current as a parameter**

However, there are two situations that require careful consideration of modulation frequency. First, as indicated in Figure C.2, higher pump current shortens the recovery time. Secondly, in some situations it is necessary to test OAs when automatic gain control (AGC) or automatic level control (ALC) circuitry is operational. The bandwidths of these AGC and ALC control loops will impose limitations on the modulation rate. It is recommended that this test be performed to qualify the appropriate modulation rate for a particular amplifier design.

NOTE In performing the above test, modulation rates below about 10 kHz should not be used. A large output power transient could destroy OA or test system components.

Bibliography

IEC 60793-1 (all parts), *Optical fibres – Part 1: Measurement methods and test procedures*

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

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

IEC 60874-1, *Connectors for optical fibres and cables – Part 1: Generic specification*

IEC 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*

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61290-10-1:2009

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61290-10-1:2009

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	28
INTRODUCTION.....	30
1 Domaine d'application et objet.....	31
2 Références normatives.....	31
3 Termes abrégés	31
4 Appareillage	32
5 Echantillon d'essai	34
6 Procédure	35
6.1 Étalonnage.....	35
6.1.1 Etalonnage de la mesure de puissance de l'ASO	35
6.1.2 Etalonnage du rapport cyclique des impulsions	36
6.1.3 Etalonnage du module d'échantillonnage.....	36
6.1.4 Etalonnage de l'isolation dynamique.....	37
6.2 Mesure de l'AO	39
6.2.1 Ajustement de la temporisation de l'ESA et mesure de la puissance du signal amplifié	39
6.2.2 Mesure de l'ESA.....	40
6.2.3 Mesure de la puissance du signal amplifié.....	41
7 Calculs	42
7.1 Généralités.....	42
7.2 Calcul du facteur de bruit	42
7.3 Puissance d'ESA.....	43
7.4 Calcul du gain	43
7.5 Puissance moyenne du signal en sortie	43
7.6 Calcul du facteur de bruit	44
8 Résultats des essais	44
Annexe A (informative) Formes d'onde en sortie pour différents EDFA à des taux d'impulsions de 25 kHz et 500 kHz	45
Annexe B (informative) Précision de la mesure en fonction de la fréquence de récurrence	47
Annexe C (informative) Mesures de la fréquence de récurrence des impulsions	48
Bibliographie.....	50
Figure 1 – Disposition type de la méthode d'essai par impulsions optiques	32
Figure 2 – Deux dispositions de la source d'impulsions optiques	33
Figure 3 – Isolation statique d'un interrupteur optique.....	33
Figure 4 – Définitions des temps de montée et de descente des impulsions optiques t_r et t_f	34
Figure 5 – Schéma fonctionnel de mesure	35
Figure 6 – Disposition pour l'étalonnage de l'interrupteur d'échantillonnage.....	36
Figure 7 – Disposition pour le réglage de la temporisation	37
Figure 8 – Ajustage de la temporisation de l'interrupteur d'échantillonnage	38
Figure 9 – Schéma du timing pour l'étalonnage de l'isolation dynamique	39
Figure 10 – Disposition pour mesurer l'AO	40
Figure 11 – Schéma du timing pour la mesure de l'ESA.....	41

Figure 12 – Schéma du timing pour la mesure de la puissance du signal amplifié	42
Figure A.1 – Forme d'onde de sortie d'EDFA pour les divers EDFA	46
Figure B.1 – Précision de la mesure de NF par rapport à la fréquence de récurrence	47
Figure C.1 – Montage destiné à évaluer l'erreur de reprise de gain par rapport au taux de modulation	48
Figure C.2 – Erreur de reprise de gain par rapport à la fréquence de modulation avec le courant de pompage en tant que paramètre	48

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61290-10-1:2009

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

AMPLIFICATEURS OPTIQUES – MÉTHODES D'ESSAI

Partie 10-1: Paramètres à canaux multiples – Méthode d'impulsion utilisant un interrupteur optique et 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 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 et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 61290-10-1 a été établie par le sous-comité 86C: Systèmes et dispositifs actifs à fibres optiques, du comité d'études 86 de la CEI: Fibres optiques.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 2003. C'est une révision technique avec des références mises à jour, et des mises en garde concernant la bonne utilisation des procédures.

Cette Norme internationale doit être lue conjointement avec la CEI 61291-1.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

CDV	Rapport de vote
86C/778/CDV	86C/809/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, publiée sous le titre général *Amplificateurs optiques – Méthodes d'essais*¹⁾ 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 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.

¹⁾ Les premières éditions de certaines de ces parties ont été publiées sous le titre général *Amplificateurs à fibres optiques – Spécification de base ou Méthodes d'essai des amplificateurs optiques*.

INTRODUCTION

La présente Norme Internationale est consacrée au domaine des amplificateurs à fibres optiques. La technologie des amplificateurs à fibres optiques évolue encore rapidement, de sorte que des amendements et de nouvelles éditions de cette norme sont à prévoir.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61290-10-1:2009

AMPLIFICATEURS OPTIQUES – MÉTHODES D'ESSAI

Partie 10-1: Paramètres à canaux multiples – Méthode d'impulsion utilisant un interrupteur optique et un analyseur de spectre optique

1 Domaine d'application et objet

La présente partie de la CEI 61290 s'applique aux amplificateurs optiques (AO) utilisant des fibres actives et des guides d'ondes, dopées aux terres rares, actuellement disponibles sur le marché.

L'objet de la présente norme est d'établir des exigences uniformes en vue de mesures précises et fiables du facteur de bruit spontané-signal défini dans la CEI 61291-1.

La méthode d'essai détecte indépendamment la puissance du signal amplifiée et la puissance d'émission spontanée amplifiée (ESA) en lançant des impulsions optiques dans l'AO en essai et en détectant en synchronisme les niveaux «1» et «0» des impulsions de sortie à l'aide d'un interrupteur d'échantillonnage optique et un analyseur de spectre optique (ASO).

Une telle mesure est possible parce que la réponse en gain de l'AO dopé aux terres rares est relativement lente, en particulier les AO dopés à l'Erbium. Cependant, étant donné que les dynamiques de gain de l'AO varient en fonction des types d'amplificateurs, des conditions de fonctionnement et du programme de commande, il convient de prendre soigneusement en considération les dynamiques de gain lorsque l'on applique la présente méthode d'essai aux divers AO. Il convient que le fabricant de l'AO présente des données validant la fréquence de modulation nécessaire pour limiter l'erreur à <1 dB. Les mesures permettant d'obtenir cette information sont décrites dans l'Annexe C.

La méthode d'essai est décrite de manière fondamentale pour les applications à canaux multiples, qui comprennent des applications à canal unique comme cas spécial d'applications à canaux multiples (multiplexées en division de longueur d'onde).

NOTE Toutes les valeurs numériques suivies de (‡) sont actuellement en cours d'études.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

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

3 Termes abrégés

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

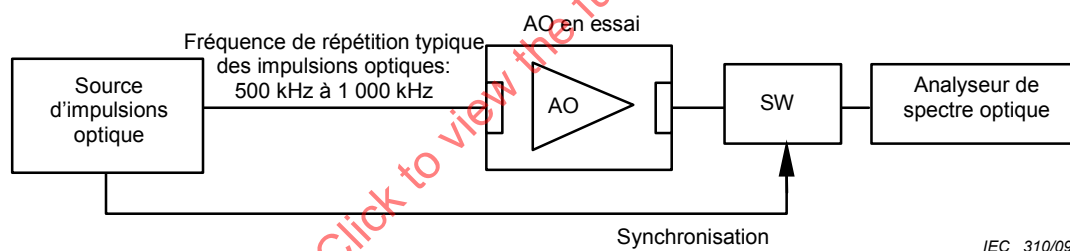
CGA commande de gain automatique

CNA commande de niveau automatique

MAO	modulateur acousto-optique
APC	commande de puissance automatique
ESA	émission spontanée amplifiée
OE	onde entretenue
RBR	réflecteur de Bragg réparti (diode laser)
CC	courant continu
RR	rétroaction répartie (diode laser)
LCE	laser à cavité extérieure
EDFA	amplificateurs à fibre dopée à l'erbium
ER	erbium
FWHM	pleine largeur à mi-hauteur
LED	diode électroluminescente
DL	diode laser
NF	facteur de bruit
AO	amplificateur optique
ASO	analyseur de spectre optique
SW	interrupteur

4 Appareillage

L'installation de mesure de base est illustrée à la Figure 1.

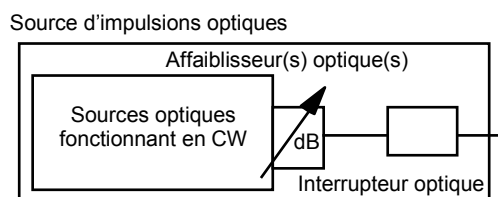


IEC 310/09

Figure 1 – Disposition type de la méthode d'essai par impulsions optiques

L'équipement d'essai nécessaire, avec ses caractéristiques exigées, est énuméré ci-après.

- a) *Source d'impulsions optiques*: Deux dispositions de la source d'impulsions optiques sont possibles comme illustré à la Figure 2. La source d'impulsions optiques *a* (Figure 2a) consiste en sources optiques d'ondes entretenues (OE) avec un interrupteur optique externe et un ou plusieurs affaiblisseurs. La source d'impulsions optiques *b* (Figure 2b) consiste en sources optiques directement modulées et d'affaiblisseurs.



IEC 311/09

Figure 2a – Disposition avec interrupteur optique externe

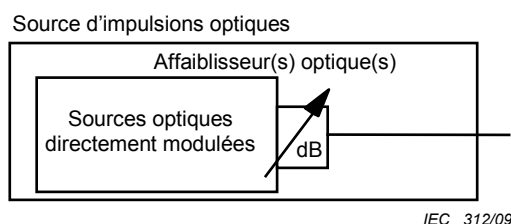


Figure 2a – Disposition avec source optique directement modulée

Figure 2 – Deux dispositions de la source d'impulsions optiques

Sauf spécification différente, la pleine largeur à mi-hauteur (FWHM) du spectre de sortie de la source d'impulsions optiques *a* ou *b* doit être plus étroite que 0,1 nm ($\pm$) de manière à ne pas causer de perturbations avec les canaux adjacents. Dans le cas d'une source à canal unique, elle doit être plus étroite que 1 nm ($\pm$). Les lasers à rétroaction répartie (RR), les lasers réflecteurs de Bragg répartis (RBR), et les lasers à cavité externe (LCE), par exemple, sont applicables. Le taux de suppression des modes latéraux des lasers RR, doit être plus élevé que 30 dB ($\pm$). La fluctuation de la puissance de sortie doit être inférieure à 0,05 dB ($\pm$), ce qui peut être plus facile à obtenir avec un isolateur optique placé au niveau du port de sortie de chaque source.

La source d'impulsions optiques *a* donne des impulsions simultanées MRL (multiplexage à répartition en longueur d'onde) avec un interrupteur optique, où le temps de commutation est commun à tous les canaux; aucun réglage de la temporisation n'est nécessaire. De plus, la modulation de fréquence et l'émission spontanée peuvent être minimales; le rapport d'extinction des étapes «1» par rapport à «0» peut être déterminé seulement à haut niveau si un interrupteur à haut rapport d'extinction est utilisé. Un modulateur acoustique-optique (MAO) est typiquement utilisé comme interrupteur.

Pour la source d'impulsions optiques *b*, il convient que la fuite de puissance en position 0 soit aussi petite que possible pour minimiser l'erreur de mesure, bien que l'étalonnage soit possible en soustrayant la puissance de fuite. Ceci peut exiger un fonctionnement à polarisation nulle des sources DL. De plus, il faut faire attention lors de la synchronisation des impulsions optiques, car la temporisation des impulsions peut être différente entre les sources.

- b) *Affaiblisseur optique variable*: La plage d'affaiblissement et sa stabilité doivent être supérieures à 40 dB ($\pm$) et meilleures que $\pm 0,1$ dB ($\pm$), respectivement. La réflectance de ce dispositif doit être inférieure à -40 dB ($\pm$) à chaque port. L'affaiblisseur optique variable peut être incorporé dans la source d'impulsions optiques.
- c) *Interrupteur optique*: Ce dispositif doit avoir une sensibilité à la polarisation inférieure à $\pm 0,1$ dB ($\pm$), une isolation statique meilleure que 65 dB ($\pm$), un temps de transition inférieur à 50 ns ($\pm$) et un retard de commutation inférieur à 2 ns ($\pm$). La réflectance de ce dispositif doit être inférieure à -40 dB ($\pm$) à chaque port. La Figure 3 définit l'isolation statique de l'interrupteur optique. L'interrupteur optique n'est pas nécessaire pour la source d'impulsions optiques *b*.

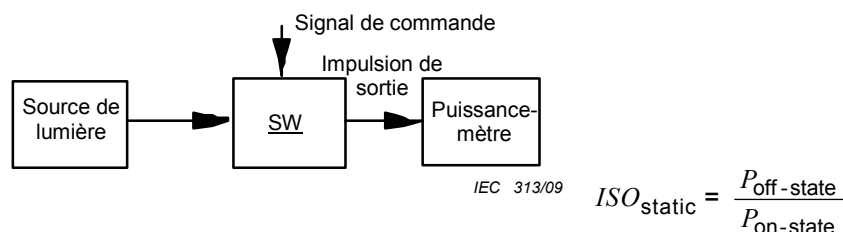


Figure 3 – Isolation statique d'un interrupteur optique

- d) *Générateur d'impulsions*: Ce dispositif est utilisé pour commander les sources d'impulsion optique et l'interrupteur d'échantillonnage optique. Si on utilise une source d'impulsions optiques à modulation interne, un générateur d'impulsions séparé n'est pas nécessaire. Un

ou des trains d'impulsions doivent être générés avec un intervalle entre les impulsions de, typiquement, 1 μ s à 2 μ s ($\pm$). Les largeurs des impulsions doivent être réglables de 100 ns à 2 ms ($\pm$) avec un pas de 5 ns ou moins. Le retard doit être réglable au moins de 100 ns à 4 μ s ($\pm$) par pas de 5 ns ou moins. Le temps de montée et le temps de descente des impulsions optiques de sortie, t_r et t_f , doit être inférieur à 10 ns ($\pm$). Les définitions de t_r et t_f sont données à la Figure 4.

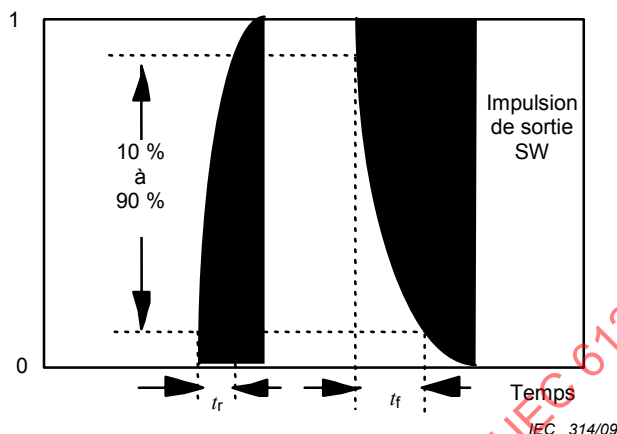


Figure 4 – Définitions des temps de montée et de descente des impulsions optiques t_r et t_f

- e) *Analyseur de spectre optique*: Ce dispositif doit avoir une sensibilité de polarisation inférieure à 0,1 dB ($\pm$), une stabilité meilleure que $\pm 0,1$ dB ($\pm$), une précision de longueur d'ondes meilleure que $\pm 0,5$ nm ($\pm$), et une reproductibilité de longueur d'onde meilleure que 0,01 nm ($\pm$). Le dispositif doit avoir une plage de mesure d'au moins -75 dBm à $+20$ dBm ($\pm$) avec une résolution meilleure que 0,1 nm ($\pm$). La réflectance de ce dispositif doit être inférieure à -40 dB ($\pm$) à son port d'entrée.
- f) *Puissance-mètre optique*: Ce dispositif doit avoir une précision de mesure meilleure que $\pm 0,2$ dB ($\pm$), quel que soit l'état de la polarisation de la lumière d'entrée, dans la bande de longueur d'ondes opérationnelle de l'AO et dans la plage de puissance de -40 dBm à $+20$ dBm ($\pm$).
- g) *Connecteurs optiques*: La reproductibilité de la perte de connexion doit être meilleure que $\pm 0,1$ dB ($\pm$). La réflectance de ce dispositif doit être inférieure à -40 dB ($\pm$).
- h) *Jarretières à fibres optiques*: Le diamètre de champ de mode des jarretières à fibres optiques doit être aussi proche que possible de celui des fibres utilisées comme port d'entrée et de sortie de l'AO, de façon à ne pas créer de pertes et de réflectance excessives. La réflectance des jarretières à fibres optiques doit être inférieure à -40 dB ($\pm$), et la longueur du dispositif doit être courte (< 2 m).

5 Echantillon d'essai

L'AO doit fonctionner dans des conditions de fonctionnement nominales. Si l'AO est susceptible de provoquer des oscillations laser dues à des réflexions parasites, il convient d'utiliser des isolateurs optiques en entrée et en sortie de l'AO en essai. Ceci minimisera l'instabilité des signaux et l'imprécision des mesures.

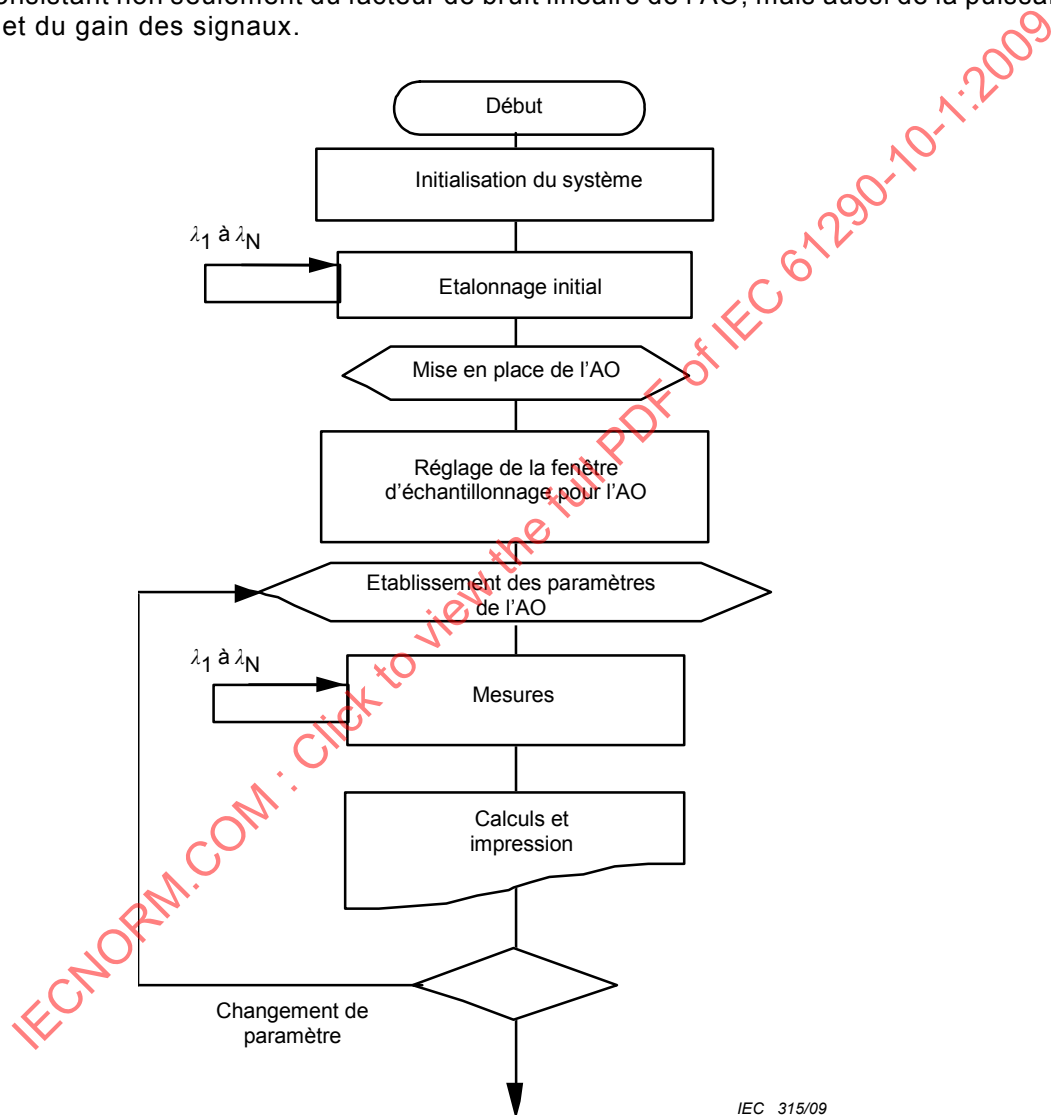
Il est nécessaire de veiller à maintenir l'état de polarisation de la lumière d'entrée pendant la mesure. Des changements dans l'état de polarisation de la lumière d'entrée peuvent entraîner des modifications de la puissance optique d'entrée en raison de la légère dépendance en polarisation qui peut être attendue de tous les composants optiques utilisés, conduisant à des erreurs de mesure.

6 Procédure

La méthode d'essai comprend quatre parties:

- a) réglage et étalonnage initiaux du système;
- b) ajustage de la fenêtre d'échantillonnage;
- c) mesure de l'AO, et
- d) calculs.

Le programme de mesure est donné à la Figure 5. Cette procédure permet un calcul autoconsistant non seulement du facteur de bruit linéaire de l'AO, mais aussi de la puissance de l'ESA et du gain des signaux.



IEC 315/09

Figure 5 – Schéma fonctionnel de mesure

6.1 Étalonnage

6.1.1 Étalonnage de la mesure de puissance de l'ASO

Étalonner la mesure de puissance de l'ASO à l'aide d'un puissance-mètre étalonné.

NOTE Le puissance-mètre optique étalonné détecte toute la puissance optique, y compris l'émission spontanée de la source, alors que la mesure de l'ASO détecte seulement la puissance optique dans la largeur de bande de

résolution de l'ASO. Donc l'usage d'un filtre optique avec bande passante FWHM de 1 nm à 3 nm est conseillé à la sortie de la source d'impulsions optiques pour augmenter la précision de l'étalonnage.

6.1.2 Etalonnage du rapport cyclique des impulsions

Suivre les étapes suivantes pour étalonner le rapport cyclique des impulsions.

- Activer un canal quelconque de la source d'impulsions optiques à OE ainsi que la puissance et la longueur d'onde spécifiée.
- Régler la largeur d'impulsion T_{source} et la période d'impulsion T de la sortie de la source d'impulsions optiques comme spécifié dans la spécification de produit concernée. T_{source} et T doivent être suffisamment plus courts que le temps de réponse en gain de l'AO en essai. Pour les EDFA, T_{source} et T sont typiquement de 0,4 μs ($\pm$) et 1 μs ($\pm$), respectivement. Ces valeurs dépendent toutefois des conditions de saturation de l'amplificateur.

NOTE La précision de mesure par rapport à la fréquence de récurrence des impulsions est donnée dans l'Annexe informative B. Les formes d'onde de sortie des EDFA pour les différents EDFA sont données dans l'Annexe informative A.

- Mesurer la puissance moyenne en sortie, $P_{\text{pulse-ave}}$, avec un puissance-mètre.
- Commander la source d'impulsions optiques avec un rapport cyclique de 100 % (commande CC), et mesurer la puissance de sortie P_{DC} , avec un puissance-mètre.
- Calculer le rapport cyclique équivalent à l'aide de l'Equation (1).

$$DR_{\text{source}} = \frac{P_{\text{pulse-ave}}}{P_{\text{DC}}} \quad (1)$$

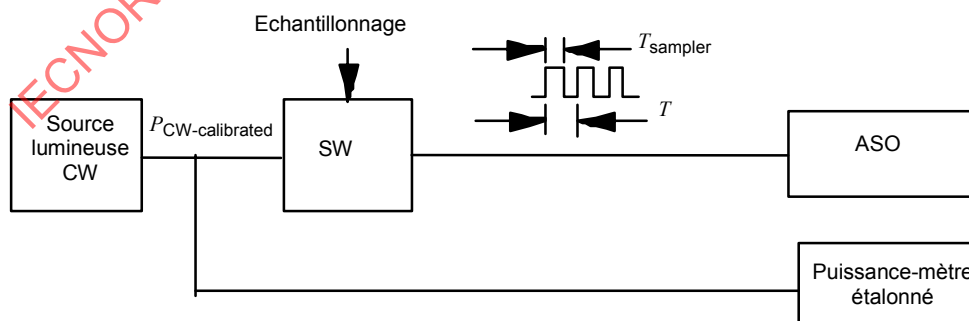
NOTE Pour la source d'impulsions optiques utilisant un interrupteur optique externe, le résultat de l'étalonnage s'applique aux autres canaux.

Pour la source d'impulsions optiques utilisant la modulation directe, l'étalonnage doit être répété pour tous les canaux, parce que la forme des impulsions optiques générées par chaque source peut être différente.

6.1.3 Etalonnage du module d'échantillonnage

Suivre les étapes suivantes pour étalonner le module d'échantillonnage.

- Disposer la source d'impulsions optiques, l'échantillonnage SW, ASO et le puissance-mètre étalonné comme illustré par la Figure 6.



IEC 316/09

Figure 6 – Disposition pour l'étalonnage de l'interrupteur d'échantillonnage

- Activer la source d'impulsions optiques pour émettre de la lumière OE à une longueur d'onde par canal à essayer.
- Régler la largeur de bande optique de l'ASO, B_o , de façon à ce qu'elle soit cohérente avec la largeur de bande spectrale du signal impulsionnel.

- d) Ajuster la longueur d'onde centrale de ASO à la longueur d'onde sélectionnée à l'étape b).
- e) Régler la largeur d'impulsion d'échantillonnage, T_{sampler} , comme spécifié dans la spécification de produit. La somme des rapports cycliques, le rapport cyclique de la source plus le rapport cyclique de l'échantillonneur, doit être inférieure à 100 % tout en gardant une marge, par exemple 80 % à 90 %. T_{sampler} doit être inférieure à T_{source} . Mesurer la puissance moyenne en sortie, $P_{\text{OSA-pulse-ave}}$ avec l'ASO.
- f) Commander l'interrupteur d'échantillonnage avec une impulsion de rapport cyclique de 100 % (commande en courant continu).
- g) Mesurer $P_{\text{OSA-DC}}$ avec l'ASO.
- h) Calculer le rapport cyclique équivalent de l'interrupteur d'échantillonnage à l'aide de l'Equation (2).

$$DR_{\text{sampler}} = \frac{P_{\text{OSA-pulse-ave}}}{P_{\text{OSA-DC}}} \quad (2)$$

NOTE La valeur de DR_{sampler} ainsi obtenue pour une longueur d'onde d'un canal est applicable aux autres longueurs d'onde des autres canaux.

- i) Mesurer la puissance d'entrée de l'interrupteur d'échantillonnage, $P_{\text{CW-calibd}}$, avec un puissance-mètre étalonné.
- j) Activer la source d'impulsions optiques pour émettre de la lumière OE à la longueur d'onde du canal suivant à soumettre à essai. Répéter les étapes g) à i) pour le canal suivant.
- k) Calculer le coefficient d'étalonnage $CAL(\lambda_k)$ de l'échantillonneur y compris l'ASO à l'aide de l'Equation (3).

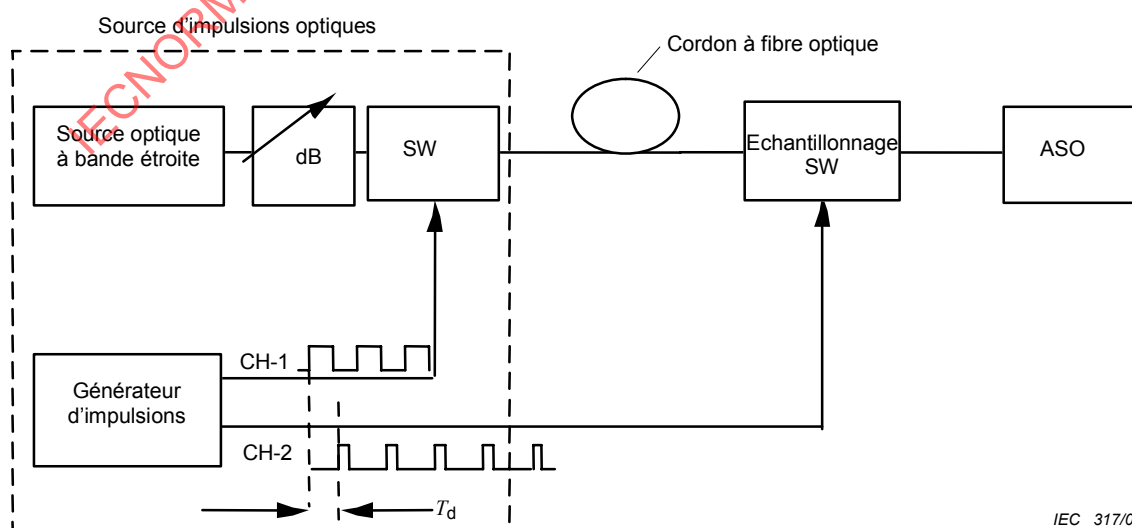
$$CAL(\lambda_k) = \frac{P_{\text{OSA-DC}}}{P_{\text{CW-calibd}}} \quad (3)$$

6.1.4 Etalonnage de l'isolation dynamique

6.1.4.1 Ajustage de la temporisation de l'interrupteur d'échantillonnage (SW)

Suivre les étapes ci-après pour régler la temporisation de l'interrupteur d'échantillonnage.

- a) Relier la source d'impulsions optiques et l'interrupteur d'échantillonnage plus l'ASO avec un cordon à fibres comme illustré à la Figure 7, sur laquelle la source d'impulsions optiques *a* est représentée comme la source d'impulsions optiques. La source d'impulsions optiques *b* est aussi applicable ici.



IEC 317/09

Figure 7 – Disposition pour le réglage de la temporisation

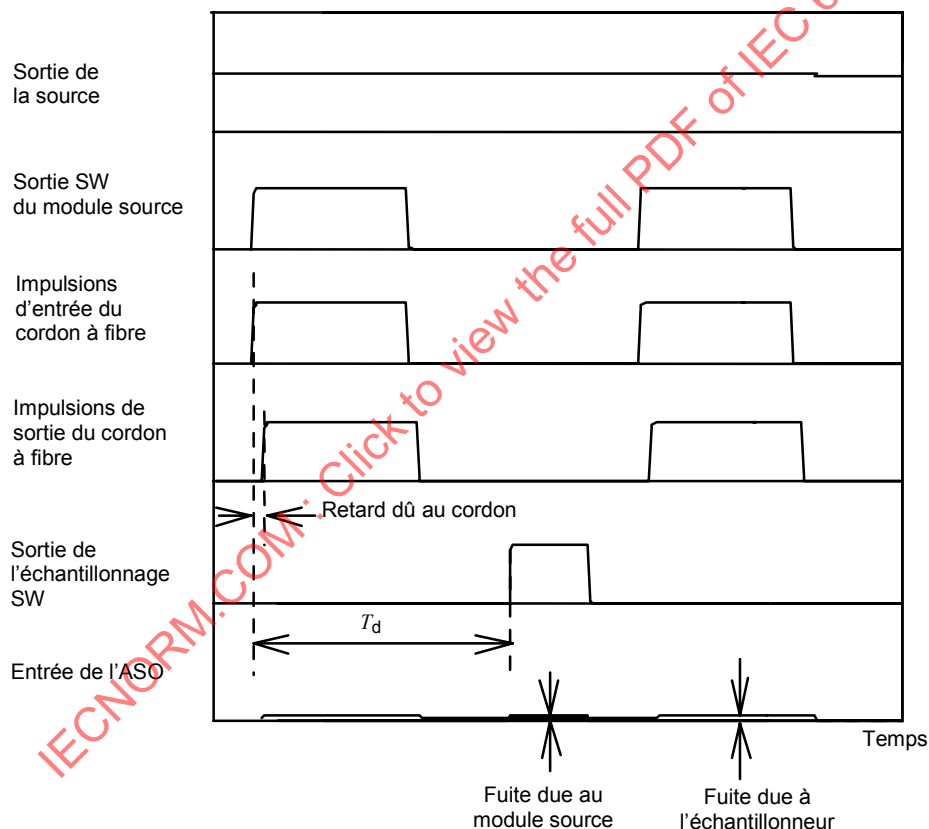
- b) Mettre sous tension la source d'impulsions optiques pour émettre de la lumière à toutes les longueurs d'onde des canaux.

NOTE Bien que le retard puisse être déterminé à l'aide d'un seul canal, la présente méthode d'essai met sous tension tous les canaux à ce stade, si bien que la source d'impulsions optiques multicanaux peut être mieux stabilisée pour les étapes suivantes de la procédure de mesurage.

- c) Ajuster la longueur d'onde centrale de l'ASO à une longueur d'onde d'un canal arbitraire.
d) Régler la temporisation des impulsions de commande pour la source d'impulsions optiques et l'interrupteur d'échantillonnage, comme illustré à la Figure 8. DR_{sampler} doit être inférieure à DR_{source} .
e) Trouver le retard $T_{d-\text{min}}$ qui minimise la puissance optique reçue avec l'ASO en réglant le retard T_d de CH2.
f) Calculer le retard $T_{d-\text{max}}$ qui maximalise la puissance optique reçue avec l'ASO à l'aide de l'Equation (4).

$$T_{d-\text{max}} = T_{d-\text{min}} - \frac{T_p}{2} \quad (4)$$

NOTE Le retard ainsi obtenu pour une longueur d'ondes d'un canal est applicable aux autres longueurs d'onde des autres canaux.



IEC 318/09

Figure 8 – Ajustage de la temporisation de l'interrupteur d'échantillonnage

6.1.4.2 Isolation dynamique

Suivre les étapes ci-après pour calculer l'isolation dynamique.

- a) Garder sous tension la source d'impulsions optiques pour émettre des impulsions de lumière à toutes les longueurs d'onde des canaux.

NOTE Tous les canaux ont besoin d'être sous tension lors de la mesure de l'isolation dynamique. Ceci parce que, bien que l'isolation dynamique soit mesurée par le réglage de l'ASO sur un canal, il convient que l'ASO reçoive toutes les puissances optiques y compris celles des canaux voisins.

- b) Connecter la source d'impulsions optiques et l'interrupteur d'échantillonnage plus l'ASO avec un cordon à fibre comme illustré à la Figure 7.
- c) Régler la temporisation de l'interrupteur d'échantillonnage comme illustré à la Figure 9a. Mesurer $P_{\text{OSA-ave}}^{\text{Sig}}$ avec l'ASO réglé sur le canal soumis à essai.
- d) Régler la temporisation de l'interrupteur d'échantillonnage comme illustré à la Figure 9b. Mesurer $P_{\text{OSA-ave}}^{\text{Leak}}$ avec l'ASO réglé sur le même canal que dans l'étape c).
- e) Répéter les étapes c) et d) pour les différents canaux à mesurer.
- f) Calculer l'isolation dynamique moyenne de chaque canal, $ISO(\lambda_k)_{\text{dyna-ave}}$, à l'aide de l'Equation (5).

$$ISO(\lambda_k)_{\text{dyna-ave}} = \frac{P_{\text{OSA-ave}}^{\text{Leak}}}{P_{\text{OSA-ave}}^{\text{Sig}}} \quad (5)$$

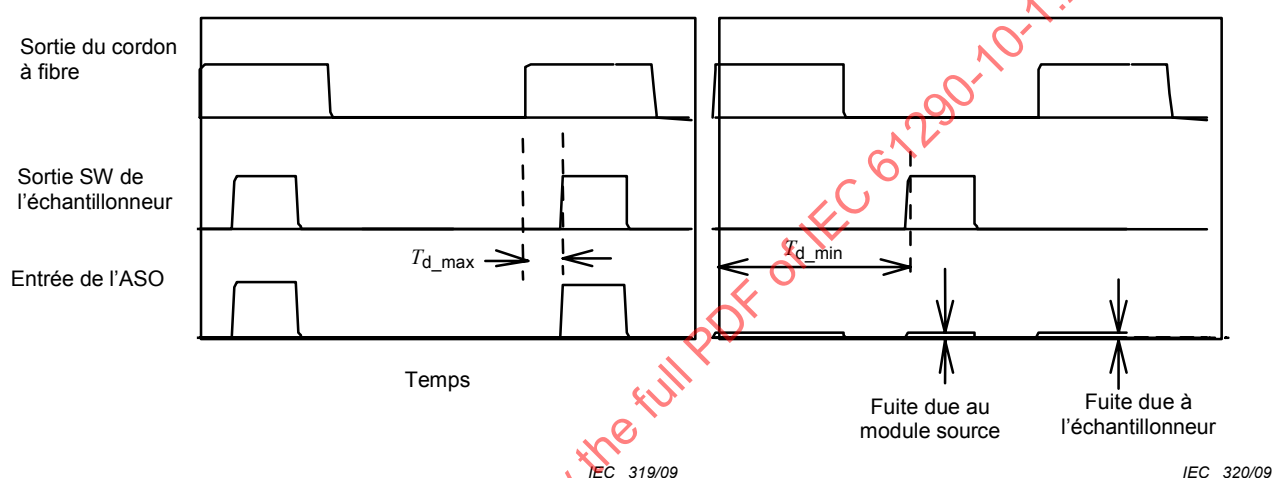
Figure 9a – Mesures de $P_{\text{OSA-ave}}^{\text{Sig}}$ Figure 9b – Mesures de $P_{\text{OSA-ave}}^{\text{Leak}}$

Figure 9 – Schéma du timing pour l'étalonnage de l'isolation dynamique

6.2 Mesure de l'AO

6.2.1 Ajustement de la temporisation de l'ESA et mesure de la puissance du signal amplifié

Suivre les étapes ci-après pour régler la temporisation de l'ESA et mesurer la puissance du signal amplifié.

- a) Garder sous tension la source d'impulsions optiques pour émettre des impulsions de lumière à toutes les longueurs d'onde des canaux.

NOTE Bien que la temporisation puisse être ajustée à l'aide d'un seul canal, tous les canaux sont maintenus sous tension pour que la source d'impulsions optiques multicanaux puisse être stable.

- b) Connecter la source d'impulsions optiques, l'AO en essai, l'interrupteur d'échantillonnage et l'ASO comme illustré à la Figure 10, sur laquelle la source d'impulsions optiques *a* est illustrée. La source d'impulsions optiques *b* est aussi applicable à sa place.
- c) Mettre sous tension l'AO en essai comme spécifié dans la spécification particulière, tout en évitant la génération de surcharge.
- d) Régler l'ASO sur une longueur d'onde d'un canal arbitraire.
- e) Régler la temporisation de l'impulsion de commande à la source d'impulsions optiques et à l'interrupteur d'échantillonnage comme illustré à la Figure 10, sur laquelle l'interrupteur d'échantillonnage est commandé pour sortir déphasée avec la source d'impulsions optiques de mesure d'ESA.

- f) Trouver le retard de T_{d-ASE} qui minimise $P_{OSA-ave}^{ASE}$ en réglant le retard T_d de CH2.
g) Calculer le retard T_{d-sig} , qui maximalise $P_{OSA-ave}^{Sig-OA-out}$ à l'aide de l'Equation (6)

$$T_{d-sig} = T_{d-ASE} - \frac{T_p}{2} \quad (6)$$

NOTE Le retard ainsi obtenu pour une longueur d'ondes d'un canal est applicable aux autres longueurs d'onde des autres canaux.

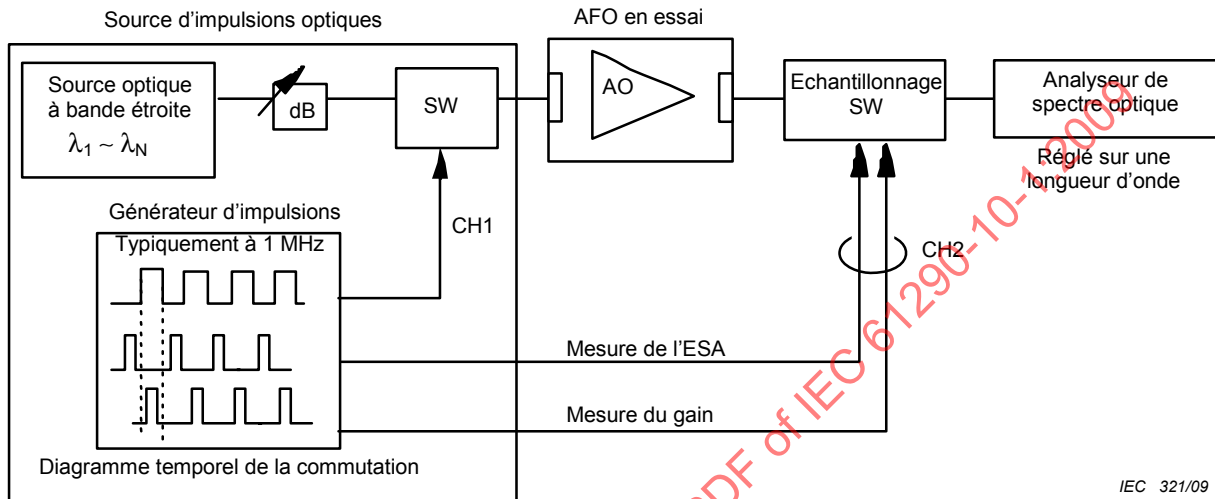


Figure 10 – Disposition pour mesurer l'AO

6.2.2 Mesure de l'ESA

Suivre les étapes ci-après pour mesurer l'ESA.

- Maintenir sous tension la source d'impulsions optiques pour émettre de la lumière pulsée sur tous les canaux.
- Émettre la puissance moyenne du signal de chaque canal vers l'AO, $P_{OA-in-ave}$, comme spécifié sur la spécification particulière. $P_{OA-in-ave}$ peut être ajustée à l'aide d'un ASO comme suit:
 - Connecter la source d'impulsions optiques et l'interrupteur d'échantillonnage avec un cordon à fibre.
 - Régler la temporisation de l'interrupteur d'échantillonnage: T_{d-max} , comme donné dans l'Equation (4).
 - Mesurer $P_{OSA-ave}^{Sig}$ avec l'ASO à la longueur d'onde en essai.
 - $P_{OA-in-ave}$ est donnée par l'Equation (7).

$$P(\lambda_k)_{OA-in-ave} = \frac{DR_{source}}{CAL(\lambda_k) \times DR_{sampler}} P(\lambda_k)_{sig-OA-in} \quad (7)$$

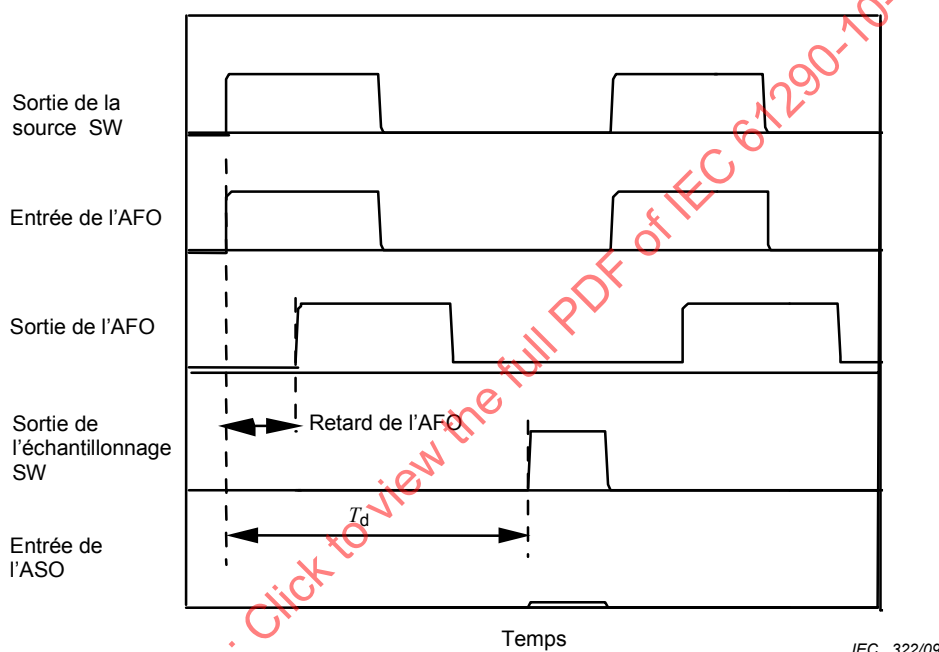
- Pour des applications à un seul canal, au lieu de suivre les étapes 1) à 4) ci-dessus, $P_{OA-in-ave}$ peut être ajustée à l'aide du puissance-mètre étalonné.
- Régler la temporisation du module d'échantillonnage, comme déterminée par le point e) de 6.2.1, pour mesurer la puissance de l'ESA. Le schéma du timing est donné à la Figure 11.
- Mesurer $P_{OSA-ave}^{ASE}$ avec l'ASO sur le canal en essai.

NOTE Cette puissance dépend de la largeur de bande de résolution de l'ASO.

- f) Mesurer $P_{OSA-ave}^{ASE}$ avec l'ASO sur le canal soumis à essai suivant tout en gardant les autres conditions inchangées.

6.2.3 Mesure de la puissance du signal amplifié

- a) Maintenir sous tension la source d'impulsions optiques pour émettre de la lumière pulsée sur tous les canaux.
- b) Régler la temporisation de l'interrupteur d'échantillonnage comme déterminé par l'étape g) de 6.2.1 pour mesurer la puissance du signal. Le schéma du timing est donné à la Figure 12.
- c) Maintenir $P_{OA-in-ave}$ pour tous les canaux aux niveaux semblables à ceux de la mesure de l'ESA.
- d) Mesurer $P_{sig-OA-out}^{OSA-ave}$ avec l'ASO à la longueur d'onde en essai.
- e) Mesurer $P_{sig-OA-out}^{OSA-ave}$ avec l'ASO sur le canal suivant, tout en gardant les autres conditions inchangées.



IEC 322/09

Figure 11 – Schéma du timing pour la mesure de l'ESA