

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Optical amplifiers – Test methods –
Part 4-1: Gain transient parameters – Two-wavelength method**

**Amplificateurs optiques – Méthodes d'essai –
Partie 4-1: Paramètres de gain transitoire – Méthode à deux longueurs d'onde**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61290-4-1:2016



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2016 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 l'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

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

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

The stand-alone application for consulting the entire bibliographical information on IEC International Standards, Technical Specifications, Technical Reports and other documents. Available for PC, Mac OS, Android Tablets and iPad.

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 15 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

65 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

IEC Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

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

A propos de l'IEC

La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) 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 IEC

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

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

Application autonome pour consulter tous les renseignements bibliographiques sur les Normes internationales, Spécifications techniques, Rapports techniques et autres documents de l'IEC. Disponible pour PC, Mac OS, tablettes Android et iPad.

Recherche de publications IEC - www.iec.ch/searchpub

La recherche avancée permet de trouver des publications IEC en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Restez informé sur les nouvelles publications IEC. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et aussi une fois par mois par email.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 15 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

65 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



Optical amplifiers – Test methods –

Part 4-1: Gain transient parameters – Two-wavelength method

Amplificateurs optiques – Méthodes d'essai –

Partie 4-1: Paramètres de gain transitoire – Méthode à deux longueurs d'onde

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 33.180.30

ISBN 978-2-8322-3659-8

Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.
Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.

CONTENTS

FOREWORD.....	3
INTRODUCTION.....	5
1 Scope.....	6
2 Normative references.....	6
3 Terms, definitions and abbreviated terms	6
3.1 Terms and definitions	6
3.2 Abbreviated terms	8
4 Measurement apparatus	8
5 Test specimen	11
6 Procedure	11
7 Calculations	12
8 Test results	12
Annex A (informative) Background on transient phenomenon in optical amplifiers	13
Annex B (informative) Slew rate effect on transient gain response	16
B.1 The importance of rise time and fall time of input power	16
B.2 Measured data and explanation	16
Bibliography	19
Figure 1 – Definitions of rise and fall times	9
Figure 2 – OFA transient gain response	10
Figure 3 – Generic transient control measurement setup.....	11
Figure A.1 – OFA pump control for a chain of 5 OFAs and 4-fibre spans	14
Figure A.2 – EDFA spectral hole depth for different gain compression.....	15
Figure A.3 – EDFA spectral hole depth for different wavelengths	15
Figure B.1 – Transient gain response at various slew rates.....	17
Figure B.2 – 16 dB add and drop (rise and fall time = 10 µs).....	18
Figure B.3 – 16 dB add and drop (rise and fall time = 1 000 µs)	18
Table 1 – Examples of add and drop scenarios for transient control measurement	12
Table 2 – Typical results of transient control measurement	12
Table B.1 – Transient gain response for various rise times and fall times (16 dB add or drop)	17

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**OPTICAL AMPLIFIERS –
TEST METHODS –****Part 4-1: Gain transient parameters –
Two-wavelength method**

FOREWORD

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

International Standard IEC 61290-4-1 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 2011. This edition constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition:

- a) extended the applicability from only EDFAs to all OFAs;
- b) updated definitions for consistency with other documents in the IEC 61290-4 series.

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

CDV	Report on voting
86C/1347/CDV	86C/1397/RVC

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

This document 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 stability date indicated on the IEC website under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

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

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

INTRODUCTION

This part of IEC 61290-4 is devoted to optical amplifiers (OAs). The technology of OAs is quite new and still emerging; hence amendments and new editions to this document can be expected.

Background information on the transient phenomenon in erbium-doped fibre amplifiers and the consequences on fibre optic systems is provided in Annex A and on slew rate effects in Annex B.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61290-4-1:2016

OPTICAL AMPLIFIERS – TEST METHODS –

Part 4-1: Gain transient parameters – Two-wavelength method

1 Scope

This part of IEC 61290-4 applies to optical amplifiers (OAs) using active fibres (optical fibre amplifiers (OFAs)) containing rare-earth dopants including erbium-doped fibre amplifiers (EDFAs) and optically amplified elementary sub-systems. These amplifiers are commercially available and widely deployed in service provider networks.

The object of document is to provide the general background for OFA transients and related parameters, and to describe a standard test method for accurate and reliable measurement of the following transient parameters:

- a) channel addition or removal transient gain overshoot and transient net gain overshoot;
- b) channel addition or removal transient gain undershoot and transient net gain undershoot;
- c) channel addition or removal gain offset;
- d) channel addition or removal transient gain response time constant (settling time).

2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements 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 Terms, definitions and abbreviated terms

3.1 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 61291-1 and the following apply.

ISO and IEC maintain terminological databases for use in standardization at the following addresses:

- IEC Electropedia: available at <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: available at <http://www.iso.org/obp>

3.1.1

surviving channel

optical signal that remains after a drop event

3.1.2

rise time

time it takes for the input optical signal to rise from 10 % to 90 % of the total difference between the initial and final signal levels during an add event

Note 1 to entry: See Figure 1(a).

3.1.3

initial gain

gain of the surviving or pre-existing channel before a drop or add event

3.1.4

final gain

steady-state gain of the surviving or pre-existing channel after a long period of time (i.e. once the gain has stabilized) after a drop or add event

3.1.5

gain offset

change of the gain between initial and final state

Note 1 to entry: Gain offset is expressed in dB.

Note 2 to entry: Gain offset = final gain (in dB) – initial gain (in dB).

Note 3 to entry: Gain offset may be positive or negative for both channel addition and removal events.

3.1.6

gain stability

specified peak-to-peak gain fluctuations of the OFA under steady state conditions (i.e. not in response to a transient event)

3.1.7

transient gain response time constant

settling time

amount of time required to bring the gain of the surviving or pre-existing channel to the final gain

Note 1 to entry: This parameter is the measured time from the beginning of the drop or add event that created the transient gain response to the time at which the surviving or pre-existing channel gain first enters within the gain stability band centred on the final gain.

Note 2 to entry: Hereon, this will also be referred to as "settling time".

3.1.8

transient gain overshoot

difference between the maximum surviving or pre-existing channel gain reached during the OFA transient response to a drop or add event, and the lowest of either the initial gain and final gain

Note 1 to entry: Transient gain overshoot is expressed in dB.

Note 2 to entry: Hereon, this will also be referred to as "gain overshoot".

3.1.9

transient net gain overshoot

difference between the maximum surviving or pre-existing channel gain reached during the OFA transient response to a drop or add event, and the highest of either the initial gain and final gain

Note 1 to entry: The transient net gain overshoot is expressed in dB.

Note 2 to entry: The transient net gain overshoot is the transient gain overshoot minus the gain offset, and represents the actual transient response not related to the shift of the amplifier from the initial steady state condition to the final steady state condition.

Note 3 to entry: Hereon, this will also be referred to as "net gain overshoot".

3.1.10

transient gain undershoot

difference between the minimum surviving or pre-existing channel gain reached during the OFA transient response to a drop or add event, and the highest of either the initial gain and final gain

Note 1 to entry: The transient gain undershoot is expressed in dB.

Note 2 to entry: Hereon, this will also be referred to as "gain undershoot".

3.1.11

transient net gain undershoot

difference between the minimum surviving or pre-existing channel gain reached during the OFA transient response to a drop or add event and the lowest of either the initial gain and final gain

Note 1 to entry: The transient net gain undershoot is expressed in dB.

Note 2 to entry: The transient net gain undershoot is the transient gain undershoot minus the gain offset and represents the actual transient response not related to the shift of the amplifier from the initial steady state condition to the final steady state condition.

Note 3 to entry: Hereon this will also be referred to as "net gain undershoot".

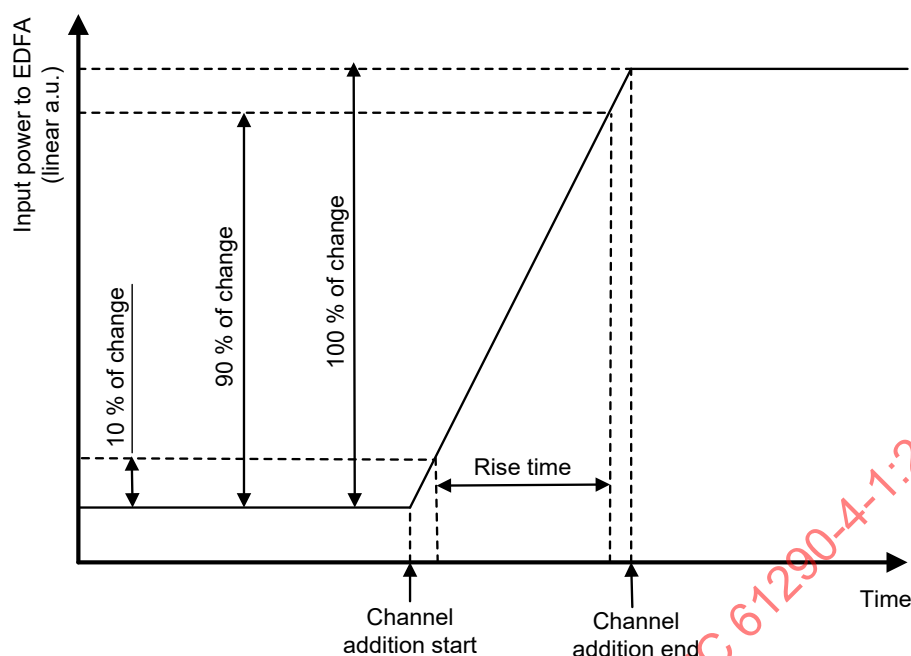
3.2 Abbreviated terms

AGC	automatic gain control
AOM	acousto-optic modulator
BER	bit error rate
DFB	distributed feedback
DWDM	dense wavelength division multiplexing
EDFA	erbium-doped fibre amplifier
FWHM	full-width half-maximum
NEM	network equipment manufacturer
NSP	network service provider
O/E	optical-to-electronic
OA	optical amplifier
OFA	optical fibre amplifier
OSNR	optical signal-to-noise ratio
SHB	spectral-hole-burning
VOA	variable optical attenuator
WDM	wavelength division multiplexing

4 Measurement apparatus

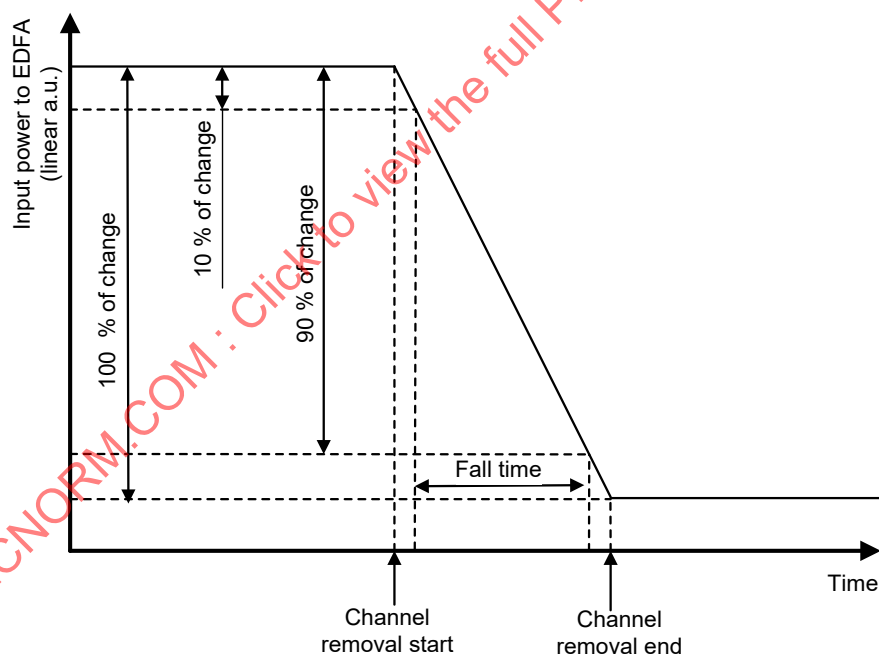
When the input power to an OFA operating in saturation changes sharply, the gain of the amplifier will typically exhibit a transient response before settling back into the required gain. This response is dictated both by the optical characteristics of the active fibre within the OFA as well as the performance of the automatic gain control (AGC) mechanism.

Since a change in input power typically occurs when part of the dense wavelength division multiplexing (DWDM) channels within the specified transmission band are dropped or added, definitions are provided that describe a dynamic event leading to transient response. Rise and fall time definitions are shown in Figure 1.



IEC

(a) Definitions of rise and fall times in the case of a channel addition event



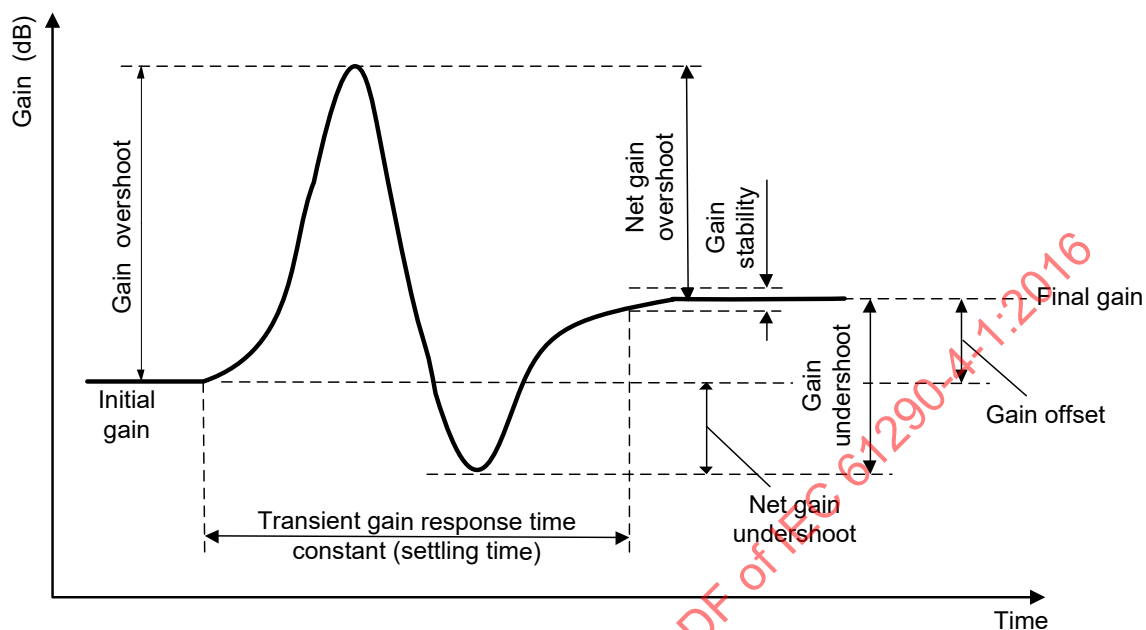
IEC

(b) Definitions of rise and fall times in the case of a channel removal event

Figure 1 – Definitions of rise and fall times

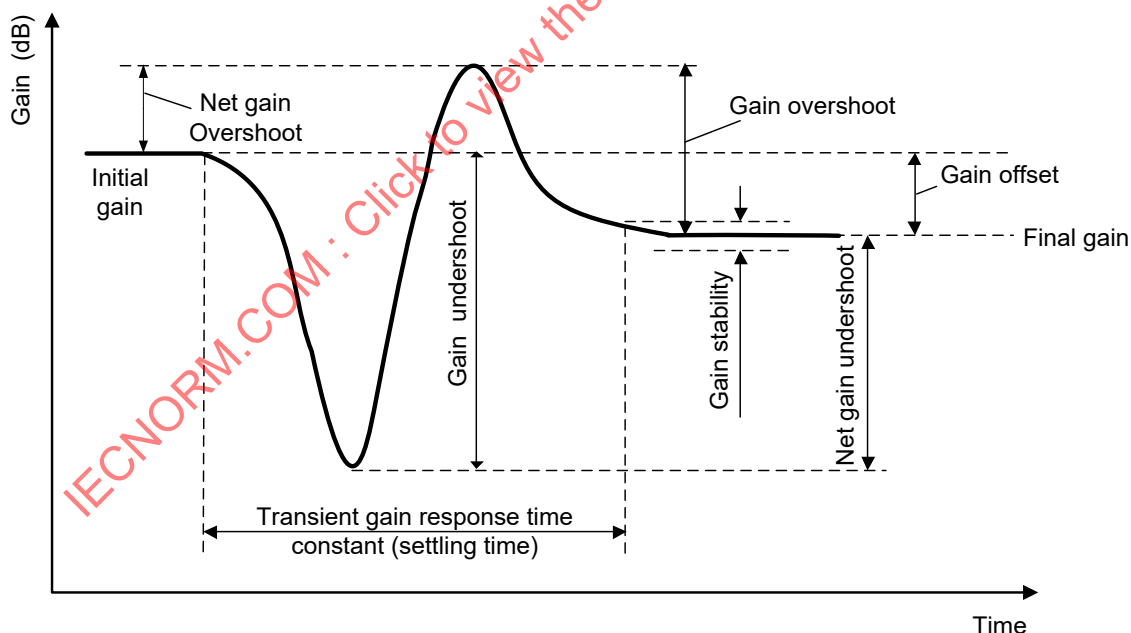
The parameters generally used to characterize the transient gain behaviour of a gain controlled OFA for the case of channel removal are defined in Figure 2(a). The figure specifically represents the time dependence of the gain of one of the surviving channels when channels are removed. Likewise, the transient gain behaviour for the case when channels are added is shown in Figure 2(b). The main transient parameters are: transient gain response time constant (settling time), gain offset, transient net gain overshoot, and transient gain net undershoot. The transient gain overshoot and undershoot are particularly critical to carriers

and network equipment manufacturers (NEMs) given that the speed and amplitude of gain fluctuations compound through the network as the optical signal passes through an increasing number of cascaded amplifiers. Properly designed optical amplifiers have very small values for these transient parameters.



IEC

(a) OFA transient gain response for a channel removal event



IEC

(b) OFA transient gain response for a channel addition event

Figure 2 – OFA transient gain response

Figure 3 shows a typical setup to characterize the transient response properties of OFAs.

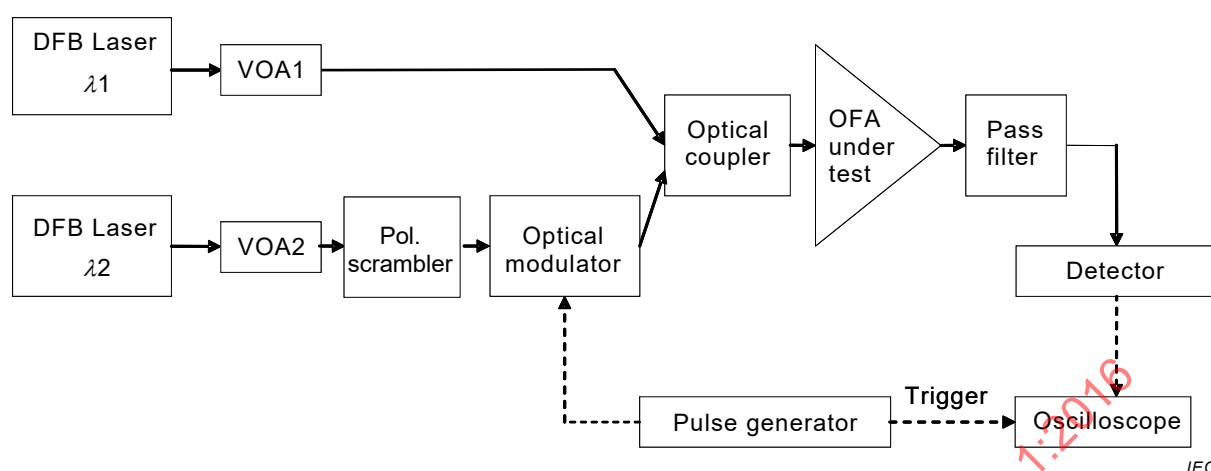


Figure 3 – Generic transient control measurement setup

5 Test specimen

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

6 Procedure

In the setup shown in Figure 3, the input signal power into the amplifier being tested is the combination of two distributed feedback (DFB) lasers with wavelengths approximately 1 nm apart. One of the wavelengths represents add or drop channels while the other represents pre-existing or surviving channels. Each wavelength channel is subsequently adjusted with a variable optical attenuator (VOA) to the desired optical input power levels. One optical modulator driven by a function generator acts as an on/off switch, to simulate add and drop events. The two optical channels are subsequently combined onto the same fibre before the signal is directed to the amplifier being tested. A tuneable filter, an optical-to-electronic (O/E) converter and an oscilloscope are placed in tandem at the output of the amplifier. The pre-existing or surviving channel is selected with the tuneable filter and its transient response is monitored with the O/E converter and oscilloscope. A waveform similar to the one shown in Figure 2 is displayed on the oscilloscope's screen.

To simulate a drop event at the input of the amplifier being tested, the two lasers are set so that their total input power is equal to the amplifier's typical input power (e.g. 1 dBm). Therefore, the two lasers at –2 dBm each represent 20 optical channels having –15 dBm power per channel. When the function generator turns the modulator into the "off" position, the second laser is completely suppressed, changing the system's channel loading. For instance, when one laser is switched off, it simulates a 3 dB "drop" or a change in the system's channel loading from 40 channels to 20 channels. Similarly, when the modulator is changed into an "on" state, the addition of a second laser simulates a 3 dB add in optical power, or a change in the system's channel loading from 20 channels to 40 channels. For other transient control measurements, the VOAs can be adjusted accordingly so that the input power levels will differ by an appropriate value.

Several transient control measurements can be performed, according to the operating conditions and specifications that are provided. Measurements may also be taken for various add and drop scenarios as shown in Table 1. These measurements are typically performed over a broad range of input power levels.

Table 1 – Examples of add and drop scenarios for transient control measurement

Scenario	Total channels	Pre-existing or surviving channels	Channels added or dropped
20 dB add or drop	100	1	99
16 dB add or drop	40	1	39
13 dB add or drop	40	2	38
10 dB add or drop	40	4	36
6 dB add or drop	40	10	30
3 dB add or drop	40	20	20

7 Calculations

The results of the transient measurement are the following parameters:

- Channel addition or removal transient gain overshoot and transient net gain overshoot
- Channel addition or removal transient gain undershoot and transient net gain undershoot
- Channel addition or removal gain offset
- Channel addition or removal transient gain response time constant (settling time)

These parameters can be extracted from the oscilloscope display, as described in Figure 2.

8 Test results

Table 2 shows typical measurement conditions and transient control measurement results of C-band OFAs. The measurement conditions include gain, surviving channel wavelength, input power, transient type (e.g., 3 dB drop, 1 dB add), and different transient parameters. In order to characterize the OFA transient, the user should choose the measurement conditions to adequately characterize the dynamic range of the OFA. The values of amplifier gain, pre-existing or surviving channel wavelength and added or dropped channel wavelength shall be provided by the specifier.

Typical values of transient parameters are listed in the last row of Table 2.

Table 2 – Typical results of transient control measurement

Amplifier gain ^a (__dB)			Pre-existing or surviving channel wavelength ^a (__nm)		
			Added or dropped channel wavelength ^a (__nm)		
Transient event description	Input power	Transient net gain overshoot	Transient net gain undershoot	Transient gain response time constant	Gain offset
	dBm	dB	dB	μs	dB
3 dB add or drop	–4	0,5	0,2	10	–0,2
x dB add or drop					
y dB					
Typical values		< 1	< 0,5	< 100	< 0,5

^a Values of gain and wavelength to be provided by the specifier.

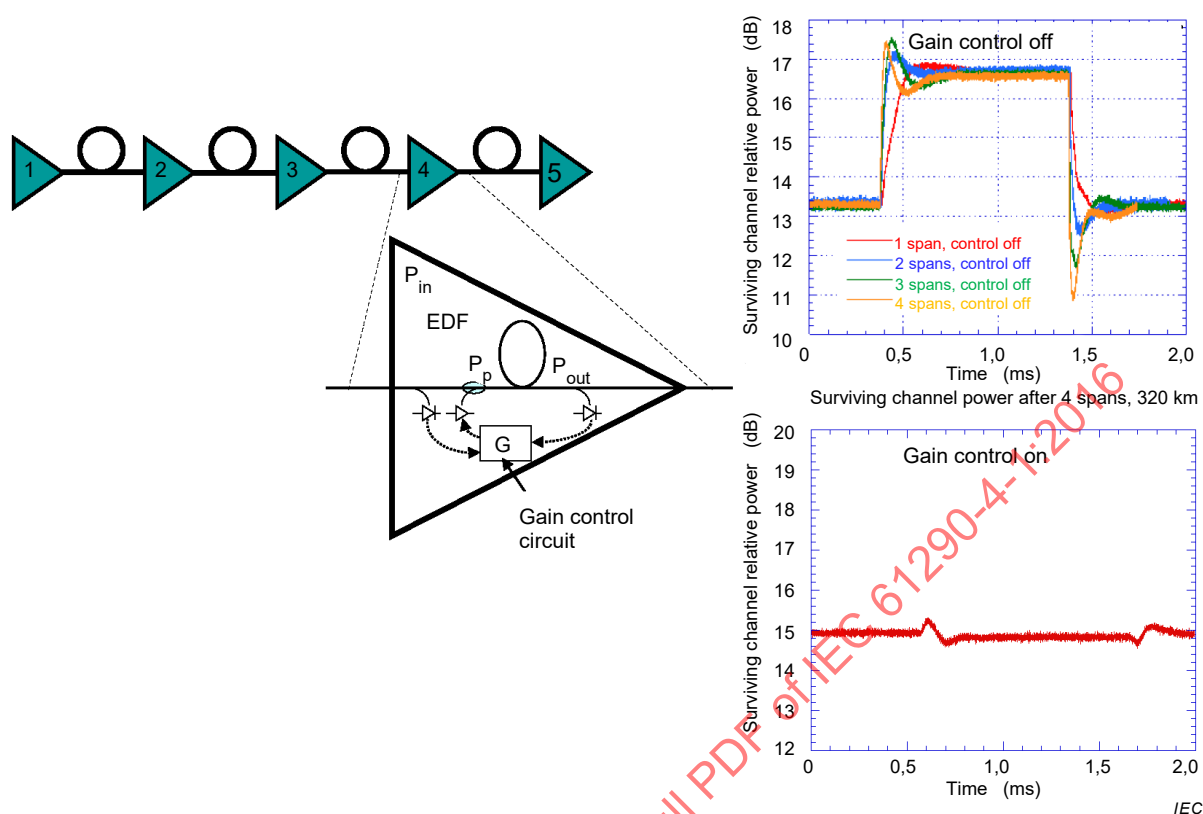
Annex A (informative)

Background on transient phenomenon in optical amplifiers

Optical power transients are sub-millisecond fluctuations in network power levels that are caused by events such as channel loading changes, passive loss variations, and network protection switching. In a dynamic networking environment, optical amplifiers need to be able to compensate for such power variations in order to avoid potential degradation of quality of service. For instance, in a network reconfiguration scenario, the number of DWDM channels at the input of an OFA may suddenly decrease, increasing the amplifier's inversion and therefore its gain, in a matter of microseconds. This gain change is detrimental to network service providers (NSPs) given that their networks will no longer operate in the gain level for which they were optimized, potentially impacting service quality. An increase in bit error rate (BER) is a typical manifestation of quality of service degradation. A reduction in channel power can decrease the optical signal-to-noise ratio (OSNR), while an increase in the power can enhance degradation due to non-linear effects in transmission fibre and increased signal shot noise factor ($F_{\text{shot,sig}}$) from shot noise from amplified input signal.

Three factors determine the gain in OFAs: input optical power, optical pump power, and the inversion level of the optical amplifier. The inversion level of an OFA characterises the fraction of erbium atoms that are available to provide energy to the input optical signal, resulting in optical gain. Typically, the inversion level increases with the increase in optical pump power and decreases with the increase in input optical power. For that reason, if wavelengths are added to an OFA input, increasing its optical input power, the optical power of the pumps will also need to be increased in order to maintain the inversion level and, therefore, a constant gain per channel. Constant gain per channel is important to optimise the performance of optical networks. Similarly, if wavelengths are dropped from an OFA input, the pumps will need to be rapidly decreased in order to maintain a constant gain per channel.

The gain of an OFA can be controlled by adjusting its pump current. The basic scheme for the pump control is shown in Figure A.1 and involves making measurement of input and output power of the OFA through signal taps and monitor photodiodes. Early reported work addressed pump control on time scales of the spontaneous lifetime in OFAs. One of the studies demonstrated low frequency feed forward compensation with a low frequency control loop. The results of pump power control on time scales much shorter than the erbium spontaneous lifetime that were demonstrated to arrest the power excursion in the surviving channels are shown in Figure A.1. The necessary response time was characterised by monitoring the power of the surviving channel as a function of the delay after the cutoff of the dropped channels. The second stage pump power of the amplifier was then decreased by an amount suitable to restore the gain of the surviving channels. This experiment demonstrates that the dynamic timescales for changes in signal power and pump power are comparable and the power excursion of the surviving channels can be arbitrarily limited if the pump power is decreased with sufficiently short delay. For example, in the last trace, negligible power excursion occurs when a correction is applied after a delay of a few microseconds. This shows that with standard pumps, if the decision to take the corrective action can be reached in time, the pump power can be turned down quickly enough to control the excursions of surviving channels. These measurements demonstrate that, for the pump control to minimize the variations in the power of the surviving channels in case of channel loss, the response of the control scheme must be at the most a few tens of microseconds.



NOTE Half of the channels are added and dropped periodically. Surviving channel relative power is shown on the right hand side for both the cases with and without pump control on all the OFAs.

Figure A.1 – OFA pump control for a chain of 5 OFAs and 4-fibre spans

In lightwave transmission applications, OFAs are operated in saturation mode. The gain saturation in OFAs is predominantly homogeneous, which means that in a multi-channel WDM system, once the gain of one of the channels is known, the gain of other channels can be calculated directly. This result comes from the homogeneous property of the OFA model. While the gain spectrum of OFAs is predominantly homogeneous, however, a small amount of inhomogeneity has been observed. The inhomogeneous broadening gives rise to spectral-hole-burning (SHB) in the gain spectra of optical amplifiers. Using an accurate difference measurement technique, the SHB in OFAs has been measured at room temperature. The result of SHB measurement for different saturation levels is shown in Figure A.2, which shows the existence of a spectral hole having a full-width half-maximum (FWHM) of 8 nm. The depth of the hole increases linearly at a rate of 0,027 dB per 1 dB increase in gain compression relative to small signal gain. For 10 dB gain compression, a dip of 0,28 dB in the gain spectra due to SHB is observed. The SHB is strongly dependent upon the wavelength and has been shown to be four times larger at 1 532 nm than at 1 551 nm. The dependence of the spectral hole width on the saturating wavelength is shown in Figure A.3. The FWHM of the hole increases as the saturating wavelength is increased.

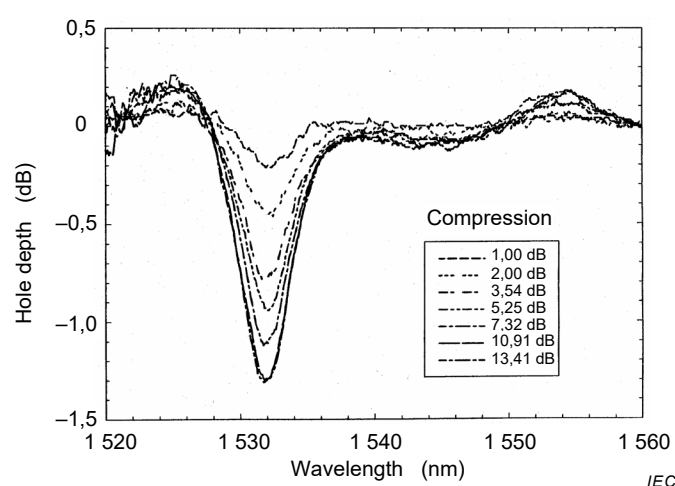


Figure A.2 – EDFA spectral hole depth for different gain compression

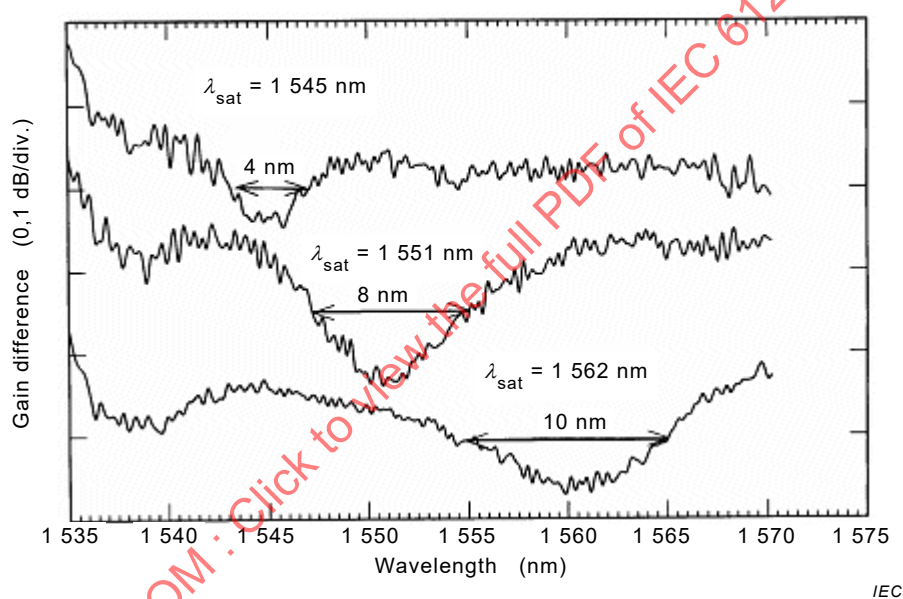


Figure A.3 – EDFA spectral hole depth for different wavelengths

The SHB effect impacts the gain shape of the long-haul optical transmission systems. The effect manifests itself such that each WDM channel in the system reduces the gain of the neighbouring channels within the spectral hole-width but does not significantly affect channels far removed in wavelength. While characterizing the gain spectra of the amplifiers it is therefore important that multi-wavelength input signal with channel separation less than the SHB width be employed. The SHB effect observed in an individual amplifier is small (0,2 dB to 0,3 dB) but in long chain of amplifiers such as in a long haul or submarine system it can add up to produce a significant and observable change in the overall spectrum. The importance of SHB was noted in long-haul transmission over 9 300 km.

Annex B (informative)

Slew rate effect on transient gain response

B.1 The importance of rise time and fall time of input power

When channels are either added at add event or removed at drop event, it must be considered how fast the input power will be changed while measuring transient gain. Gain control of the OFA is generally realized by power monitors of input and output levels and by way of power adjustment method through driving pump laser current. Optical design and control algorithms affect the transient response of gain at add or drop events, as explained in Annex A. Additionally, the input power slew rate of changing conditions also affects transient gain response.

If the input power to the OFA changes slowly, then the gain control mechanism may be able to compensate transient gain phenomena with the fast gain control mechanism of OFA. In addition, the pump power adjustment process can minimize transient gain under the gradual sloped input power variation. Thus, the transient response of the OFA will be suppressed with small transient gain.

If input power to the OFA changes rapidly, such as in the case of a step input, then the gain control mechanism may not be able to suppress transient gain, since the gain control mechanism of the OFA is not fast enough to compensate transient gain under the steep input power variation. In addition, the transient response of the OFA will be increased as a result.

B.2 Measured data and explanation

Measured data for various rise time and fall time conditions are provided with typical experimental data. Transient gain responses at 16 dB add or drop conditions are evaluated for the case of a single stage OFA. Rise times and fall times are varied from 10 μsec to 1 000 μsec to observe effect of various rise time and fall time conditions on transient gain response.

A schematic diagram of the experimental setup is described in Figure 3. In this experiment, the pre-existing or surviving channel wavelength and the add or drop channel wavelength are 1 561 nm and 1 545 nm, respectively. An acousto-optical modulator (AOM) is used as a modulator. Rise time and fall time is adjusted using an arbitrary function generator so that the slew rate will provide rise time and fall time from 10 μs to 1 000 μs . The output of the function generator is connected to the electrical input to the AOM. Transient gain responses are recorded by an oscilloscope to quantify the transient gain response and absolute value of the gain offset. Table B.1 summarizes transient gain response for various rise time and fall time conditions. A positive value means an overshoot of the transient gain response at the drop event, and a negative value means an undershoot of the transient gain response at the add event. The overshoot level and undershoot level of transient gain responses are plotted in Figure B.1.

Transient gain response is mitigated at larger rise and fall times as presumed in Figure B.1. Figure B.2 and Figure B.3 display transient gain responses at 10 μs rise or fall time and 1 000 μs rise or fall time.

Table B.1 – Transient gain response for various rise times and fall times (16 dB add or drop)

Pre-existing or surviving channel wavelength λ_1 nm	Add or drop channel wavelength λ_2 nm	Rise time Fall time μs	Transient gain response		Steady gain response dB
			16 dB add event dB	16 dB drop event dB	
1 561	1 545	10	–0,76	0,74	0,29
		50	–0,76	0,58	
		100	–0,63	0,52	
		1000	–0,56	0,29	

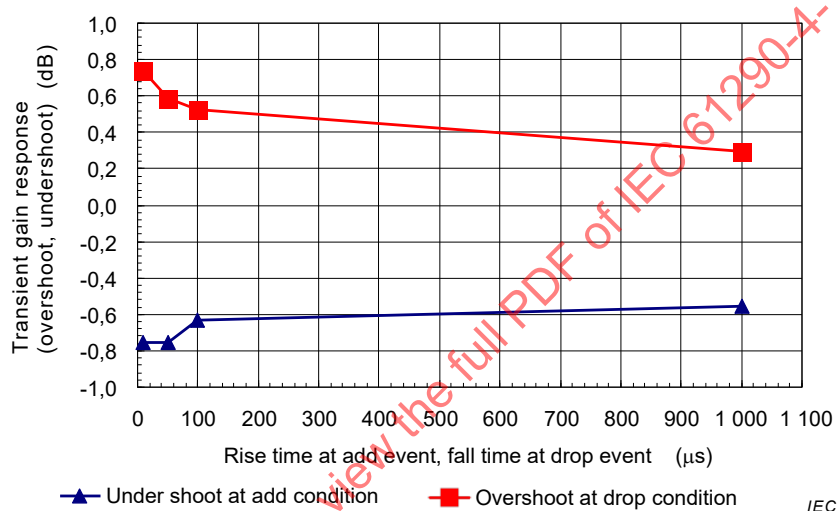
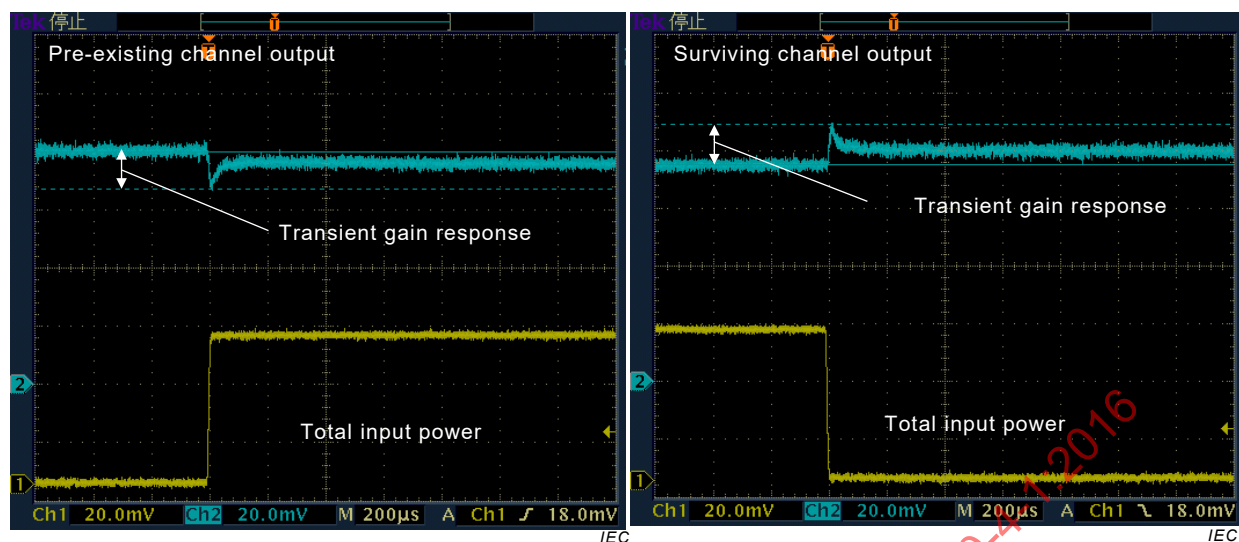


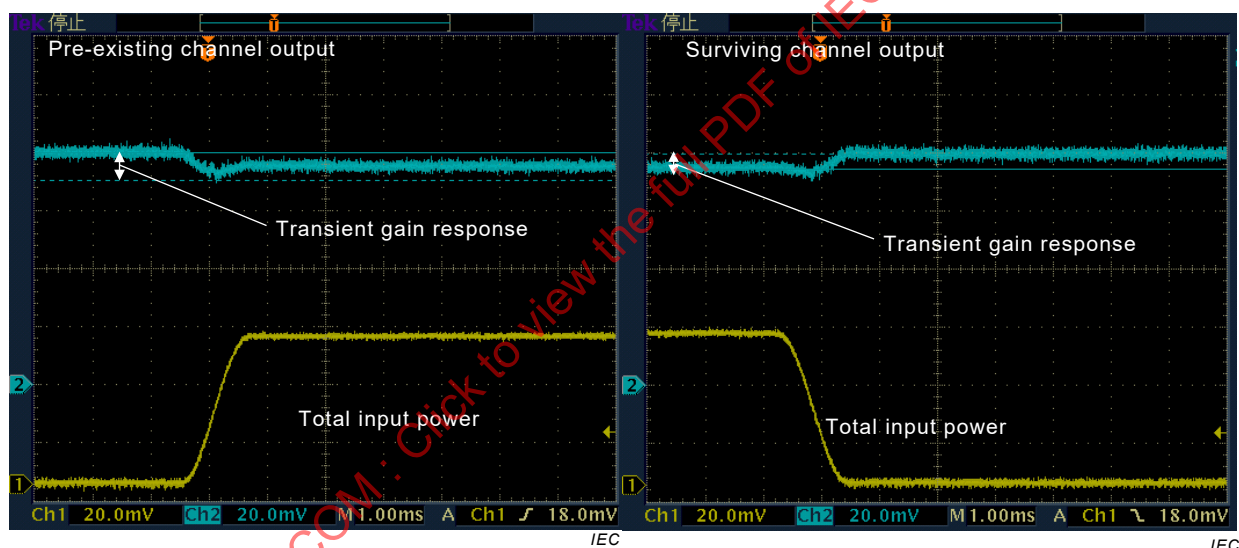
Figure B.1 – Transient gain response at various slew rates



16 dB add case (rise time = 10 µs)

16 dB drop case (fall time = 10 µs)

Figure B.2 – 16 dB add and drop (rise and fall time = 10 µs)



16 dB add case (rise time = 1 000 µs)

16 dB drop case (fall time = 1 000 µs)

Figure B.3 – 16 dB add and drop (rise and fall time = 1 000 µs)

Bibliography

IEC 61290-1 (all parts), *Optical amplifiers – Test methods – Part 1-1: Power and gain parameters*

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

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

IEC 61290-4-2, *Optical amplifiers – Test methods – Part 4-2: Gain transient parameters – Broadband source method*

DESURVIRE, E. *Erbium-Doped Fiber Amplifiers*, John Wiley & Sons, 1994

BECKER, PC., OLSSON, NA. and SIMPSON, JR. *Erbium-Doped Fiber Amplifiers: Fundamentals and Technology*, Academic Press, 1999

DESURVIRE, E., BAYART, D., DESTHIEUX, B. and BIGO, S. *Erbium-Doped Fiber Amplifiers, Device and System Developments*. John Wiley & Sons, 2002

ZYSKIND, JL., NAGEL, JA. and KIDORF, HD. *Erbium-Doped Fiber Amplifiers for Optical Communications*. In KAMINOW, I. and KOCH, T., ed. *Optical Fiber Telecommunications IIIB*. Academic Press, 1997, p.13-68

BANEY, DM. *Characterization of Erbium-Doped Fiber Amplifiers*. In DERICKSON, D., ed. *Fiber Optic Test and Measurement*. New Jersey: Prentice Hall, 1998, chapter 13, p. 519-595

SRIVASTAVA, A. and SUN, Y. *Advances in Erbium-Doped Fiber Amplifiers*. In KAMINOW, I. and LI, T., ed. *Optical Fiber Telecommunications IVA*. San Diego: Academic Press, 2002, chapter 4, p. 174-212

SRIVASTAVA, A. and SUN, Y. *Erbium Doped Fiber Amplifiers for Dynamic Optical Networks*. In PAL, BP., ed. *Guided Wave Optical Components and Devices*. San Diego: Elsevier Academic Press, 2006, chapter 12, p.181-203

MONNARD, R. and LEE, HK. *Suppressing Amplifier Transients in Lightwave Systems*, Proc. LEOS Summer Topical Meeting, Paper WE3, 2002

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	21
INTRODUCTION.....	23
1 Domaine d'application.....	24
2 Références normatives.....	24
3 Termes, définitions et termes abrégés.....	24
3.1 Termes et définitions.....	24
3.2 Termes abrégés.....	26
4 Matériel de mesure.....	26
5 Specimen d'essai.....	30
6 Mode opératoire.....	30
7 Calculs.....	31
8 Résultats d'essai.....	31
Annexe A (informative) Informations de base sur les phénomènes transitoires des amplificateurs optiques.....	33
Annexe B (informative) Effet du taux de variation sur la réponse de gain transitoire.....	36
B.1 Importance du temps de montée et du temps de descente de la puissance d'entrée.....	36
B.2 Données mesurées et explication.....	36
Bibliographie.....	39
Figure 1 – Définitions des temps de montée et de descente.....	27
Figure 2 – Réponse du gain transitoire d'un OFA.....	29
Figure 3 – Montage générique de mesure de commande du gain transitoire.....	30
Figure A.1 – Commande de pompage d'OFA pour une chaîne de 5 OFA et 4 segments de fibre.....	34
Figure A.2 – Profondeur du trou spectral dans l'EDFA pour différentes compressions de gain.....	35
Figure A.3 – Profondeur du trou spectral dans l'EDFA pour différentes longueurs d'onde.....	35
Figure B.1 – Réponse de gain transitoire à divers taux de variation.....	37
Figure B.2 – Ajout et suppression de 16 dB (temps de montée et descente = 10 µs).....	38
Figure B.3 – Ajout et suppression de 16 dB (temps de montée et descente = 1 000 µs).....	38
Tableau 1 – Exemples de scénarios d'ajout et de suppression pour le mesurage du gain transitoire.....	31
Tableau 2 – Résultats typiques de mesure du gain transitoire.....	32
Tableau B.1 – Réponse de gain transitoire pour divers temps de montée et temps de descente (ajout ou suppression de 16 dB).....	37

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**AMPLIFICATEURS OPTIQUES –
MÉTHODES D'ESSAI –****Partie 4-1: Paramètres de gain transitoire –
Méthode à deux longueurs d'onde****AVANT-PROPOS**

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. À cet effet, l'IEC – 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 l'IEC"). 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 l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC 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 l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC 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 l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IEC, 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 l'IEC, 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 l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale IEC 61290-4-1 a été établie par le sous-comité 86C: Systèmes et dispositifs actifs à fibres optiques, du comité d'études 86 de l'IEC: Fibres optiques.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 2011. Cette édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

- a) extension de l'application des seuls EDFA à l'ensemble des OFA;

- b) mise à jour des définitions dans un objectif de cohérence avec les autres documents de la série IEC 61290-4.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

CDV	Rapport de vote
86C/1347/CDV	86C/1397/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/IEC, Partie 2.

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

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. À cette date, la publication sera

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

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

INTRODUCTION

La présente partie de l'IEC 61290-4 est consacrée aux amplificateurs optiques (OA). La technologie relativement récente des OA n'est encore qu'à ses débuts, aussi des amendements et de nouvelles éditions du présent document sont à prévoir.

Des informations de base sur le phénomène transitoire des amplificateurs à fibre dopée à l'erbium et les conséquences sur les systèmes à fibres optiques sont fournies à l'Annexe A et celles sur les effets du taux de variation à l'Annexe B.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61290-4-1:2016

AMPLIFICATEURS OPTIQUES – MÉTHODES D'ESSAI –

Partie 4-1: Paramètres de gain transitoire – Méthode à deux longueurs d'onde

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 61290-4 s'applique aux amplificateurs optiques (OA) utilisant des fibres actives (amplificateurs à fibres optiques (OFA)), dopées aux terres rares. Elle concerne également les amplificateurs à fibre dopée à l'erbium (EDFA) et les sous-systèmes élémentaires à amplification optique. Ces amplificateurs sont disponibles sur le marché et sont largement déployés dans les réseaux de prestataires de service.

La présente partie de l'IEC 61290-4 a pour objet de fournir le contexte général pour les transitoires d'OFA et les paramètres associés, et de décrire une méthode d'essai normalisée de mesure exacte et fiable des paramètres transitoires suivants:

- dépassement positif du gain transitoire lors de l'ajout ou de la suppression de canaux et dépassement positif du gain net transitoire;
- dépassement négatif du gain transitoire lors de l'ajout ou de la suppression de canaux et dépassement négatif du gain net transitoire;
- décalage de gain lors de l'ajout ou de la suppression de canaux;
- constante de temps de réponse du gain transitoire lors de l'ajout ou de la suppression de canaux (temps de stabilisation).

2 Références normatives

Les documents suivants cités dans le texte constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences 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).

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

3 Termes, définitions et termes abrégés

3.1 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans l'IEC 61291-1 ainsi que les suivants s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <http://www.iso.org/obp>

3.1.1

canal conservé

signal optique qui demeure après un événement de suppression

3.1.2

temps de montée

temps nécessaire pour que le signal optique d'entrée augmente de 10 % à 90 % de la différence totale entre les niveaux de signaux initiaux et finaux au cours d'un événement d'ajout

Note 1 à l'article: Voir la Figure 1(a).

3.1.3

gain initial

gain du canal conservé ou préexistant avant un événement de suppression ou d'ajout

3.1.4

gain final

gain en état stable du canal conservé ou préexistant très longtemps (c'est-à-dire une fois le gain stabilisé) après un événement de suppression ou d'ajout

3.1.5

décalage de gain

variation du gain entre l'état initial et l'état final

Note 1 à l'article: Le décalage de gain est exprimé en dB.

Note 2 à l'article: Le décalage de gain final = gain final (en dB) – gain initial (en dB).

Note 3 à l'article: Le décalage de gain peut être positif ou négatif tant pour l'événement d'ajout que pour l'événement de suppression de canaux.

3.1.6

stabilité du gain

fluctuations spécifiées du gain crête à crête de l'OFA dans des conditions d'état stable (c'est-à-dire qu'il ne s'agit pas d'une réponse à un événement transitoire)

3.1.7

constante de temps de réponse du gain transitoire temps de stabilisation

durée nécessaire pour amener le gain du canal conservé ou préexistant au gain final

Note 1 à l'article: Ce paramètre est le temps mesuré à partir du début de l'événement de suppression ou d'ajout qui a créé la réponse du gain transitoire, jusqu'au moment où le gain de canal conservé ou préexistant entre la première fois dans la bande de stabilité du gain centré sur le gain final.

Note 2 à l'article: Par la suite, il est également désigné "temps de stabilisation".

3.1.8

dépassement positif du gain transitoire

différence entre le gain maximal du canal conservé ou préexistant atteint pendant la réponse transitoire de l'OFA à un événement de suppression ou d'ajout, et la valeur la plus faible entre le gain initial et le gain final

Note 1 à l'article: Le dépassement positif du gain transitoire est exprimé en dB.

Note 2 à l'article: Par la suite, il est également désigné "dépassement positif du gain".

3.1.9

dépassement positif du gain net transitoire

différence entre le gain maximal du canal conservé ou préexistant atteint pendant la réponse transitoire de l'OFA à un événement de suppression ou d'ajout, et la valeur la plus élevée entre le gain initial et le gain final

Note 1 à l'article: Le dépassement positif du gain net transitoire est exprimé en dB.

Note 2 à l'article: Le dépassement positif du gain net transitoire est le dépassement positif de gain transitoire moins le décalage de gain, et représente la réponse transitoire réelle non liée au décalage de l'amplificateur, passant de la condition d'état stable initial à la condition d'état stable final.

Note 3 à l'article: Par la suite, il est également désigné «dépassement positif du gain net».

3.1.10

dépassement négatif du gain transitoire

différence entre le gain minimal du canal conservé ou préexistant atteint pendant la réponse transitoire de l'OFA à un événement de suppression ou d'ajout, et la valeur la plus élevée entre le gain initial et le gain final

Note 1 à l'article: Le dépassement négatif du gain transitoire est exprimé en dB.

Note 2 à l'article: Par la suite, il est également désigné "dépassement négatif du gain".

3.1.11

dépassement négatif du gain net transitoire

différence entre le gain minimal du canal conservé ou préexistant atteint pendant la réponse transitoire de l'OFA à un événement de suppression ou d'ajout, et la valeur la plus faible du gain initial et du gain final

Note 1 à l'article: Le dépassement négatif du gain net transitoire est exprimé en dB.

Note 2 à l'article: Le dépassement négatif du gain net transitoire est le dépassement négatif du gain transitoire moins le décalage de gain, et représente la réponse transitoire réelle non liée au décalage de l'amplificateur, passant de la condition d'état stable initial à la condition d'état stable final.

Note 3 à l'article: Par la suite, il est également désigné "dépassement négatif du gain net".

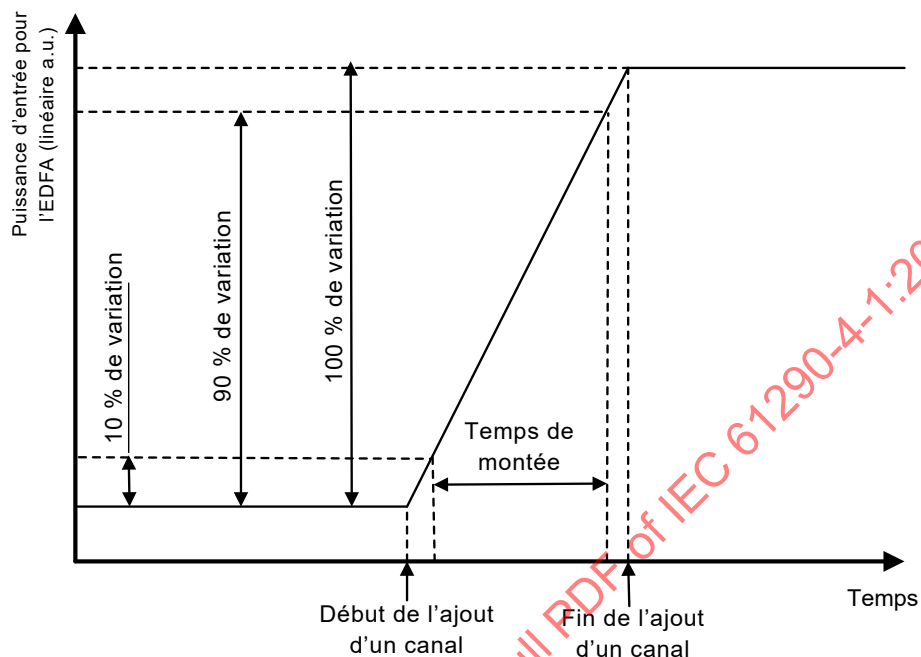
3.2 Termes abrégés

AGC	automatic gain control (commande automatique de gain)
AOM	acousto-optical modulator (modulateur acousto-optique)
TEB	taux d'erreur binaire
DFB	distributed feedback (rétroaction répartie)
DWDM	dense wavelength division multiplexing (multiplexage par répartition en longueur d'onde dense)
EDFA	erbium-doped fibre amplifier (amplificateur à fibre dopée à l'erbium)
FWHM	full-width half-maximum (largeur à mi-crête)
NEM	network equipment manufacturer (fabricant d'équipements de réseaux)
NSP	network service provider (prestataire de services des réseaux)
O/E	optoélectronique
OA	optical amplifier (amplificateur optique)
OFA	optical fibre amplifier (amplificateur à fibres optiques)
OSNR	optical signal-to-noise ratio (rapport signal sur bruit optique)
SHB	spectral-hole-burning (consommation du trou spectral)
VOA	variable optical attenuator (affaiblisseur optique variable)
MRL	multiplexage par répartition en longueur d'onde

4 Matériel de mesure

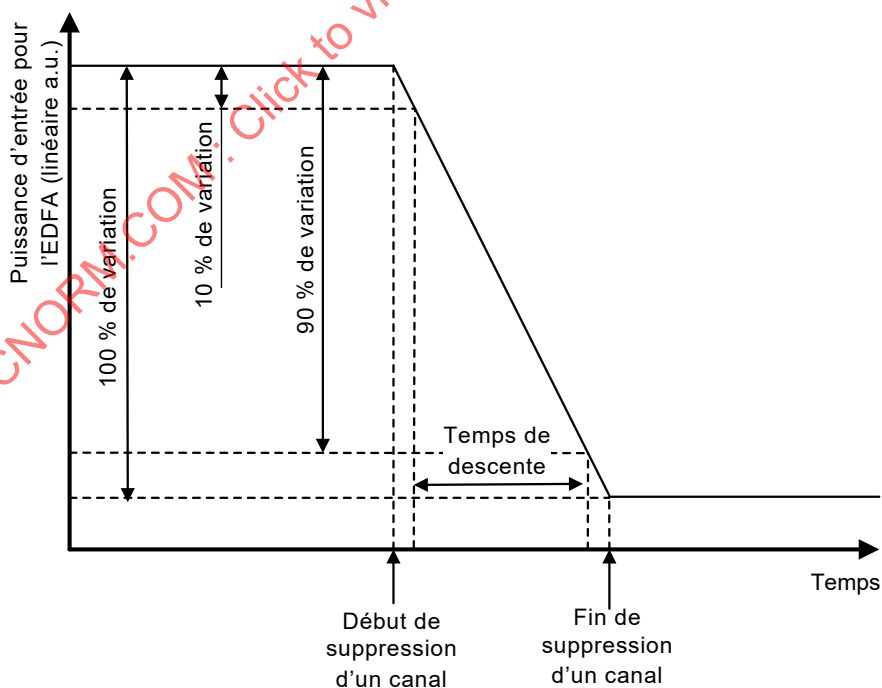
Lorsque la puissance d'entrée pour un OFA fonctionnant en saturation varie brusquement, le gain de l'amplificateur présente généralement une réponse transitoire avant de se stabiliser de nouveau dans le gain exigé. Cette réponse est régie par les caractéristiques optiques de la fibre active dans l'OFA ainsi que par les performances du mécanisme de la commande automatique de gain (AGC).

Étant donné qu'une variation de la puissance d'entrée se produit généralement lorsqu'une partie des canaux DWDM (multiplexage par répartition en longueur d'onde dense) dans la bande de transmission spécifiée est supprimée ou ajoutée, les définitions données décrivent un événement dynamique donnant lieu à une réponse transitoire. Les définitions des temps de montée et de descente sont représentées à la Figure 1.



IEC

(a) Définitions des temps de montée et de descente dans le cas d'un événement d'ajout de canal



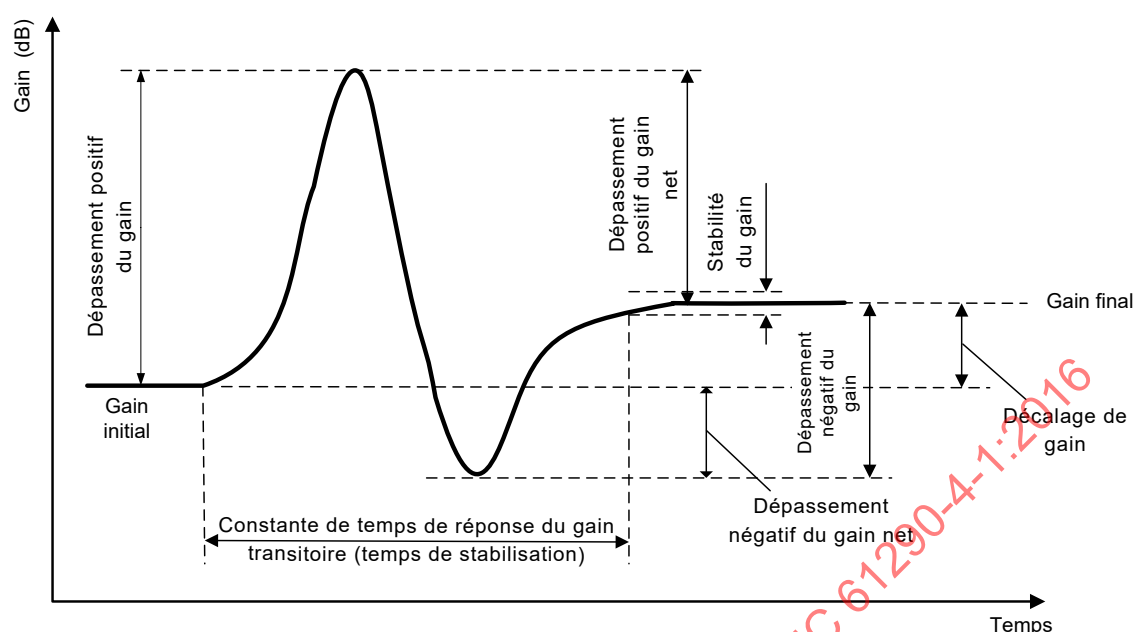
IEC

(b) Définitions des temps de montée et de descente dans le cas d'un événement de suppression de canal

Figure 1 – Définitions des temps de montée et de descente

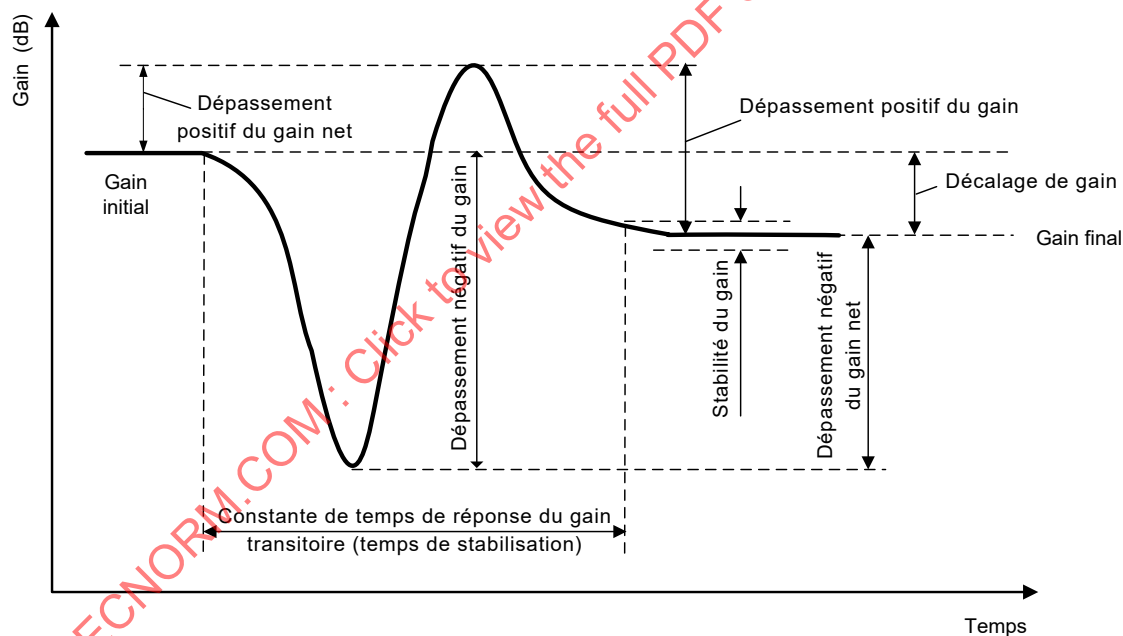
La Figure 2(a) définit les paramètres généralement utilisés pour caractériser le comportement du gain transitoire d'un OFA commandé par le gain en cas de suppression de canal. La Figure représente de manière spécifique la dépendance par rapport au temps du gain d'un des canaux conservés lorsque des canaux sont supprimés. De même, la Figure 2(b) représente le comportement du gain transitoire en cas d'ajout de canaux. Les principaux paramètres de gain transitoire sont les suivants: constante de temps de réponse du gain transitoire (temps de réglage), décalage de gain, dépassement positif du gain net transitoire, et dépassement négatif du gain net transitoire. Le dépassement positif et le dépassement négatif du gain transitoire sont particulièrement critiques pour les porteuses et les fabricants d'équipements de réseaux (NEM), étant donné que la vitesse et l'amplitude des fluctuations du gain se combinent à travers le réseau lorsque le signal optique passe par un nombre croissant d'amplificateurs en cascade. Les amplificateurs optiques conçus de manière appropriée présentent des valeurs très faibles pour ces paramètres transitoires.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61290-4-1:2016



IEC

(a) Réponse du gain transitoire d'un OFA pour un événement de suppression de canal



IEC

(b) Réponse du gain transitoire d'un OFA pour un événement d'ajout de canal

Figure 2 – Réponse du gain transitoire d'un OFA

La Figure 3 représente un montage typique permettant de caractériser les propriétés de réponse transitoire des OFA.

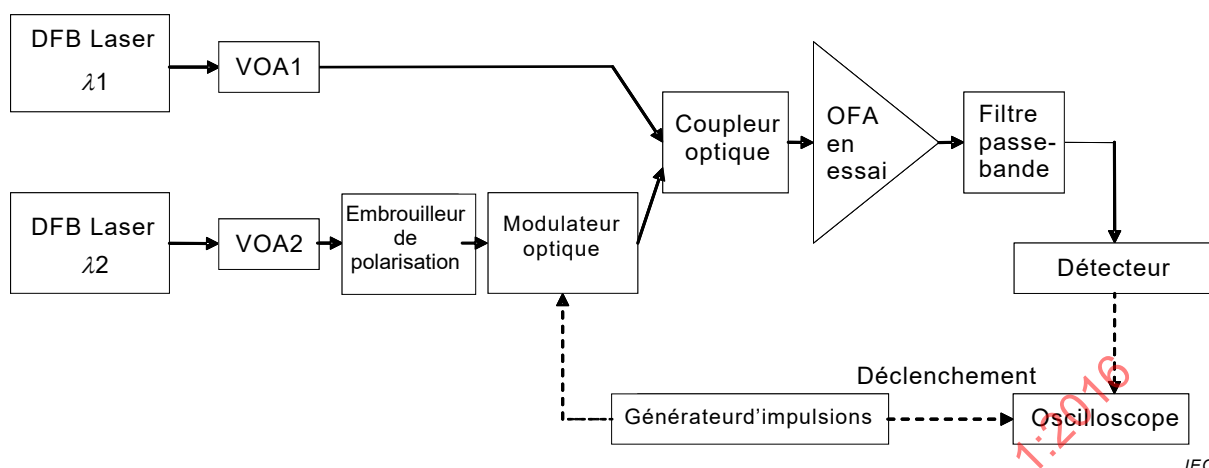


Figure 3 – Montage générique de mesure de commande du gain transitoire

5 Spécimen d'essai

L'OFA doit fonctionner dans des conditions de fonctionnement nominales. Si l'OFA est susceptible de provoquer des oscillations lasers dues à des réflexions parasites, il convient d'utiliser des isolateurs optiques en entrée et en sortie de l'OFA en essai. Cela permet de réduire le plus possible l'instabilité du signal et les inexactitudes de mesure.

6 Mode opératoire

Le montage représenté à la Figure 3 représente la puissance du signal d'entrée dans l'amplificateur en essai provenant de deux diodes lasers à rétroaction répartie (DFB) avec des longueurs d'onde espacées d'environ 1 nm. L'une des longueurs d'onde caractérise des canaux d'ajout ou de suppression tandis que l'autre concerne des canaux préexistants ou conservés. Chaque canal de longueur d'onde est ensuite réglé au moyen d'un affaiblisseur optique variable (VOA) aux niveaux souhaités de puissance d'entrée optique. Un modulateur optique commandé par un générateur de fonction sert d'interrupteur marche/arrêt, en vue de simuler des événements d'ajout et de suppression. Les deux canaux optiques sont ensuite combinés sur la même fibre avant de diriger le signal vers l'amplificateur en essai. Un filtre accordable, un convertisseur optoélectronique (O/E) et un oscilloscope sont placés en tandem à la sortie de l'amplificateur. Le canal préexistant ou conservé est sélectionné avec le filtre accordable et sa réponse transitoire est surveillée au moyen du convertisseur O/E et de l'oscilloscope. Une forme d'onde analogue à celle représentée à la Figure 2 est affichée sur l'écran de l'oscilloscope.

Afin de simuler un événement de suppression à l'entrée de l'amplificateur en essai, les deux lasers sont réglés de sorte que leur puissance d'entrée totale soit égale à la puissance d'entrée typique de l'amplificateur (par exemple 1 dBm). De ce fait, les deux lasers réglés chacun à -2 dBm représentent 20 canaux optiques d'une puissance par canal de -15 dBm. Lorsque le générateur de fonction met le modulateur en position "arrêt", le second laser est complètement désactivé, modifiant ainsi la charge des canaux du système. Par exemple, lorsqu'un laser est désactivé, il simule une "suppression" de 3 dB ou une variation de la charge des canaux du système passant de 40 canaux à 20 canaux. De la même manière, lorsque le modulateur passe à l'état "marche", l'ajout d'un second laser simule un ajout de 3 dB en puissance optique, ou une variation de la charge des canaux du système passant de 20 canaux à 40 canaux. Pour d'autres mesurages du gain transitoire, les VOA peuvent être réglés de manière à faire varier les niveaux de puissance d'entrée d'une valeur appropriée.

Plusieurs mesurages du gain transitoire peuvent être réalisés, selon les conditions de fonctionnement et les spécifications prévues. Des mesurages peuvent également être

effectués pour divers scénarios d'ajout et de suppression comme l'indique le Tableau 1. Ces mesurages sont généralement réalisés sur une large plage de niveaux de puissance d'entrée.

Tableau 1 – Exemples de scénarios d'ajout et de suppression pour le mesurage du gain transitoire

Scénario	Canaux au total	Canaux préexistants ou conservés	Canaux ajoutés ou supprimés
ajout ou suppression de 20 dB	100	1	99
ajout ou suppression de 16 dB	40	1	39
ajout ou suppression de 13 dB	40	2	38
ajout ou suppression de 10 dB	40	4	36
ajout ou suppression de 6 dB	40	10	30
ajout ou suppression de 3 dB	40	20	20

7 Calculs

Les résultats de mesure du gain transitoire correspondent aux paramètres suivants:

- Dépassement positif du gain transitoire lors de l'ajout ou de la suppression de canaux et dépassement positif du gain net transitoire
- Dépassement négatif du gain transitoire lors de l'ajout ou de la suppression de canaux et dépassement négatif du gain net transitoire
- Décalage de gain lors de l'ajout ou de la suppression de canaux
- Constante de temps de réponse du gain transitoire lors de l'ajout ou de la suppression de canaux (temps de stabilisation)

Ces paramètres peuvent être obtenus de l'affichage de l'oscilloscope, comme cela est représenté à la Figure 2.

8 Résultats d'essai

Le Tableau 2 présente les conditions de mesure typiques et les résultats de mesure de commande du gain transitoire des OFA de bande C. Les conditions de mesure comprennent le gain, la longueur d'onde de canaux conservés, la puissance d'entrée, le type de transitoire (par exemple, suppression de 3 dB, ajout de 1 dB) et différents paramètres des transitoires. Afin de caractériser les transitoires d'OFA, il convient que l'utilisateur choisisse les conditions de mesure permettant de caractériser convenablement la plage dynamique de l'OFA. Les valeurs de gain d'amplificateur, la longueur d'onde de canal préexistant ou conservé et la longueur d'onde de canal ajouté ou supprimé doivent être fournis par le responsable des spécifications.

Les valeurs typiques des paramètres des transitoires sont énumérées à la dernière ligne du Tableau 2.

Tableau 2 – Résultats typiques de mesure du gain transitoire

Gain d'amplificateur ^a (__dB)			Longueur d'onde de canal préexistant ou conservé ^a (__nm) Longueur d'onde de canal ajouté ou supprimé ^a (__nm)		
Description de l'événement transitoire	Puissance d'entrée dBm	Dépassement positif du gain net transitoire dB	Dépassement négatif du gain net transitoire dB	Constante de temps de réponse du gain transitoire μs	Décalage de gain dB
ajout ou suppression de 3 dB	–4	0,5	0,2	10	–0,2
ajout ou suppression de x dB					
y dB					
Valeurs typiques		< 1	< 0,5	< 100	< 0,5
^a Valeurs de gain et de longueur d'onde à fournir par le responsable des spécifications					

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61290-4-1:2016

Annexe A (informative)

Informations de base sur les phénomènes transitoires des amplificateurs optiques

Les transitoires de puissance optique sont des fluctuations en fractions de millisecondes des niveaux de puissance dans les réseaux, qui sont provoquées par des événements tels que les variations de charge de canaux, les variations de perte passive et la commutation de protection du réseau. Dans un environnement de mise en réseau dynamique, il est nécessaire que les amplificateurs optiques soient en mesure de compenser de telles variations de puissance, afin d'éviter une dégradation potentielle de la qualité de service. Par exemple, dans un scénario de reconfiguration de réseau, le nombre de canaux DWDM à l'entrée d'un OFA peut soudainement diminuer, augmentant ainsi en quelques microsecondes l'inversion de l'amplificateur et par conséquent son gain. Cette variation de gain est préjudiciable aux prestataires de services des réseaux (NSP), étant donné que leurs réseaux ne fonctionnent plus au niveau de gain pour lequel ils ont été optimisés, ceci influant potentiellement sur la qualité de service. Une augmentation du taux d'erreur binaire (TEB) constitue une manifestation typique de la dégradation de la qualité de service. Une réduction de la puissance des canaux peut diminuer le rapport signal sur bruit optique (OSNR). Par ailleurs une augmentation de la puissance peut accroître la dégradation en raison d'effets non linéaires dans la fibre de transmission et l'augmentation du facteur de bruit de grenaille du signal ($F_{\text{shot,sig}}$) du bruit de grenaille provenant du signal d'entrée amplifié.

Trois facteurs déterminent le gain des OFA: la puissance optique d'entrée, la puissance optique de pompage et le niveau d'inversion de l'amplificateur optique. Le niveau d'inversion d'un OFA caractérise la fraction des atomes d'erbium qui fournissent de l'énergie au signal optique d'entrée, donnant lieu au gain optique. Généralement, le niveau d'inversion augmente en fonction de l'accroissement de la puissance optique de pompage et diminue en fonction de l'accroissement de la puissance optique d'entrée. Par conséquent, si des longueurs d'onde sont ajoutées à l'entrée de l'OFA, augmentant ainsi sa puissance optique d'entrée, la puissance optique de pompage doit également être augmentée afin de maintenir le niveau d'inversion, et, par conséquent, un gain constant par canal. Un gain constant par canal est important pour optimiser les performances des réseaux optiques. De la même manière, si des longueurs d'onde sont supprimées d'une entrée d'OFA, il est nécessaire de diminuer rapidement le pompage, afin de maintenir un gain constant par canal.

Le gain d'un OFA peut être commandé en réglant son courant de pompage. Le schéma de principe relatif à la commande de pompage est représenté à la Figure A.1. Il comprend le mesurage de la puissance d'entrée et de sortie de l'OFA au moyen de prélèvements du signal et de photodiodes de contrôle. Les premiers travaux consignés ont traité de la commande de pompage sur des échelles de temps de la durée de vie spontanée dans les OFA. Une des études a démontré l'efficacité d'une compensation amont à basse fréquence avec une boucle de commande à basse fréquence. Les résultats concernant la commande de puissance de pompage sur des échelles de temps bien plus courtes que la durée de vie spontanée de l'erbium ont démontré la capacité à arrêter l'excursion de puissance dans les canaux conservés et sont représentés à la Figure A.1. Le temps de réponse nécessaire a été caractérisé en contrôlant la puissance du canal conservé en fonction du temps après la suppression des canaux rendus désactivés. Le second étage de la puissance de pompage de l'amplificateur a été ensuite diminué d'une quantité adaptée pour rétablir le gain des canaux conservés. Cette expérience démontre que les échelles de temps dynamiques appliquées pour les variations de la puissance de signal et de la puissance de pompage sont comparables et que l'excursion de puissance des canaux conservés peut être arbitrairement limitée si la puissance de pompage est diminuée dans un délai suffisamment court. Par exemple, dans le dernier tracé, une excursion de puissance négligeable se produit lorsqu'une correction est appliquée après un délai de quelques microsecondes. Ceci indique qu'avec les pompes normalisées si la décision de prendre des mesures correctives peut être menée à bien à temps, la puissance de pompage peut être abaissée suffisamment rapidement pour maîtriser les excursions des canaux conservés. Ces mesurages démontrent que, pour la