

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**





THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2011 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 It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.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



IEC 61290-4-1

Edition 1.0 2011-08

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

PRICE CODE
CODE PRIX

R

ICS 33.180.30

ISBN 978-2-88912-614-9

CONTENTS

FOREWORD.....	3
INTRODUCTION.....	5
1 Scope and object.....	6
2 Normative references.....	6
3 Terms, definitions and abbreviations	6
3.1 General	6
3.2 Terms and definitions	9
3.3 Abbreviated terms	10
4 Apparatus.....	11
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
Bibliography	19
Figure 1 – Definitions of rise and fall times (a) in the case of a channel addition event, and (b) in the case of a channel removal event.....	7
Figure 2 – OFA transient gain response for (a) a channel removal event, and (b) a channel addition event	8
Figure 3 – Generic transient control measurement setup	11
Figure A.1 – EDFA pump control for a chain of 5 EDFAs 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/drop (rise time = 10 µsec)	18
Figure B.3 – 16 dB add/drop (rise time = 1 000 µsec)	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 time and fall time (16 dB add/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.

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

CDV	Report on voting
86C/956/CDV	86C/1011/RVC

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

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

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

Future standards in this series will carry the new general title as cited above. Titles of existing standards in this series will be updated at the time of the next edition.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

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- withdrawn,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

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

INTRODUCTION

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

Each abbreviation introduced in this standard is explained in the text at least the first time it appears. However, for an easier understanding of the whole text, a list of all abbreviations used in this standard is given in 3.3.

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.

OPTICAL AMPLIFIERS – TEST METHODS –

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

1 Scope and object

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

The object of this part of IEC 61290-4 is to provide the general background for EDFA transients and related parameters, and to describe a standard test method for accurate and reliable measurement of the following transient parameters:

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

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*

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

3 Terms, definitions and abbreviations

3.1 General

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 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.

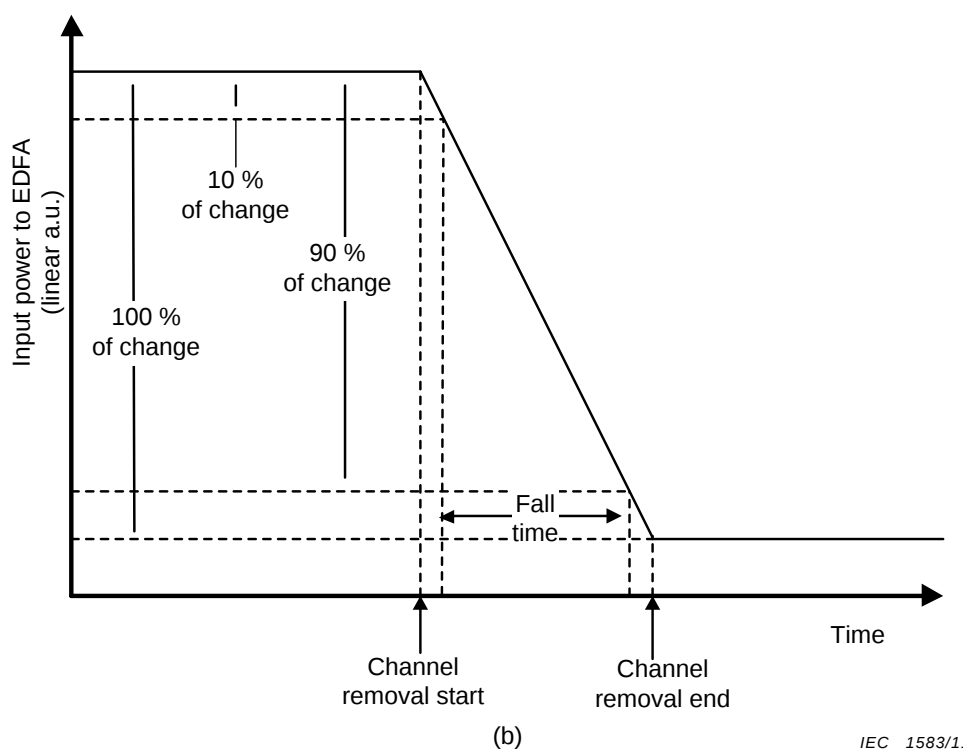
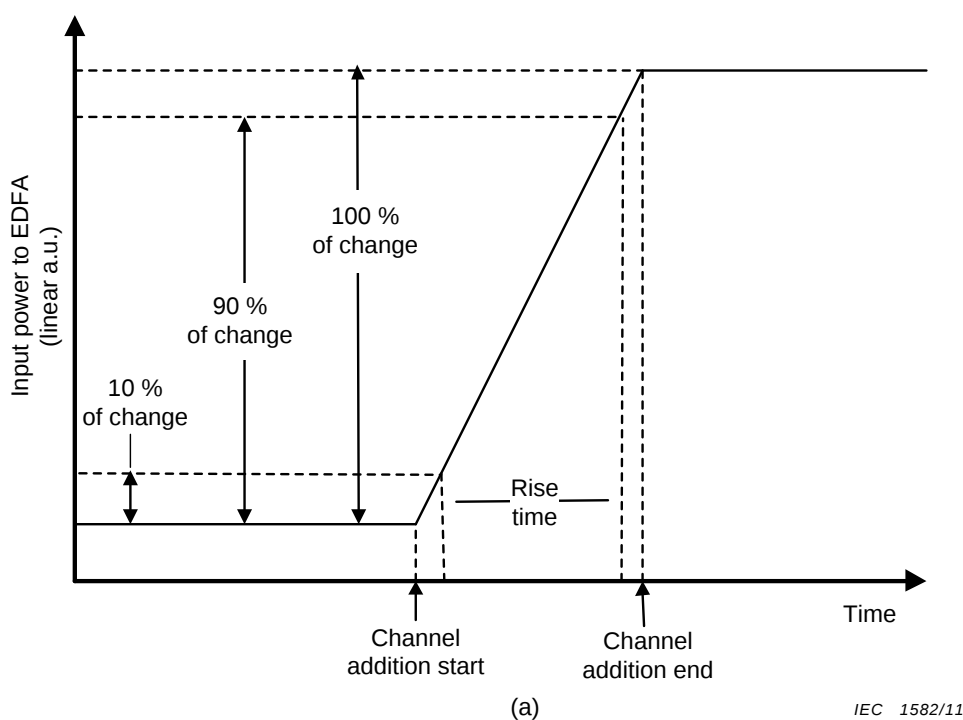


Figure 1 – Definitions of rise and fall times (a) in the case of a channel addition event, and (b) in the case of a channel removal event

The parameters generally used to characterize the transient gain behaviour of a gain controlled EDFA 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.

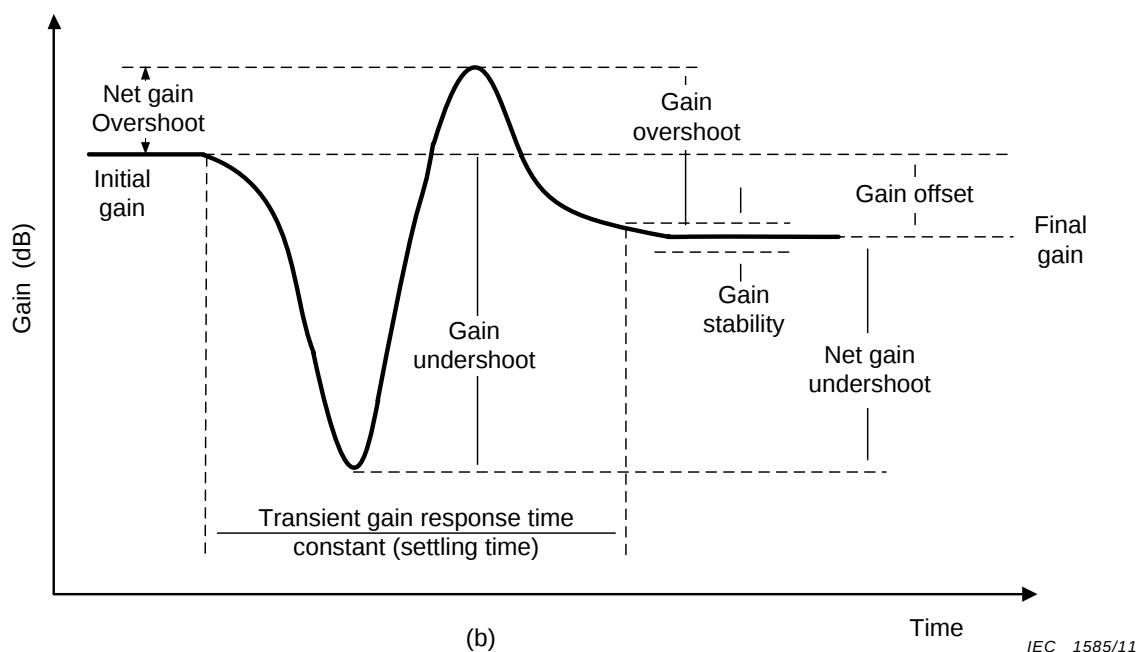
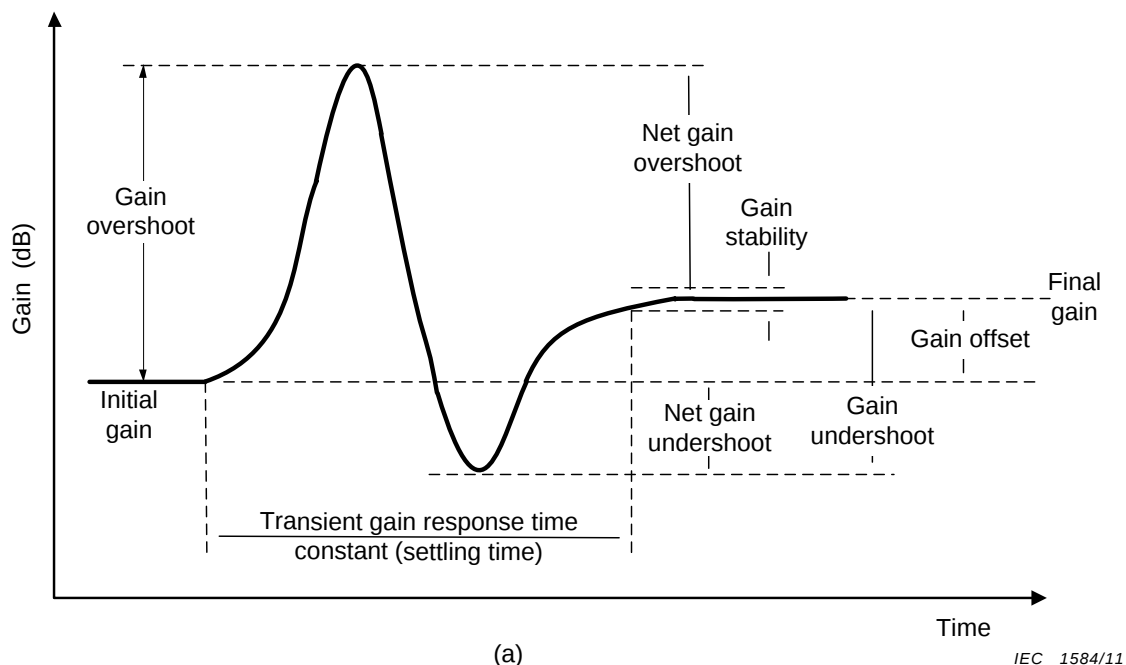


Figure 2 – OFA transient gain response for (a) a channel removal event, and (b) a channel addition event

3.2 Terms and definitions

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

3.2.1

surviving (pre-existing) signal

optical signal that remains (exists) after (before) drop (add) event

3.2.2

saturating signal

optical signal that is switched off (on) by the drop (add) event

3.2.3

drop (add) level

amount in dB by which the input power decreases (increases) due to dropping (adding) of channels

3.2.4

add 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 (see Figure 1(a))

3.2.5

drop fall time

time it takes for the input optical signal to fall from 10 % to 90 % of the total difference between the initial and final signal levels during a drop event (see Figure 1 (b))

3.2.6

initial gain

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

3.2.7

final gain

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

3.2.8

gain offset

Change in dB of the gain between initial and final state, defined as final gain – initial gain

NOTE Gain offset may be positive or negative for both channel addition and removal events

3.2.9

gain stability

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

3.2.10

transient gain response time constant (settling time)

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

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

NOTE 2 Hereon this will also be referred to as settling time

3.2.11

transient gain overshoot

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

NOTE Hereon this will also be referred to as gain overshoot

3.2.12

transient net gain overshoot

difference in dB between the maximum surviving (pre-existing) channel gain reached during the OFA transient response to a drop (add) event, and the highest of either the initial gain and final gain. The transient net gain overshoot is just 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 Hereon this will also be referred to as net gain overshoot

3.2.13

transient gain undershoot

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

NOTE Hereon this will also be referred to as gain undershoot

3.2.14

transient net gain undershoot

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

NOTE 1 The transient net gain undershoot is just 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.

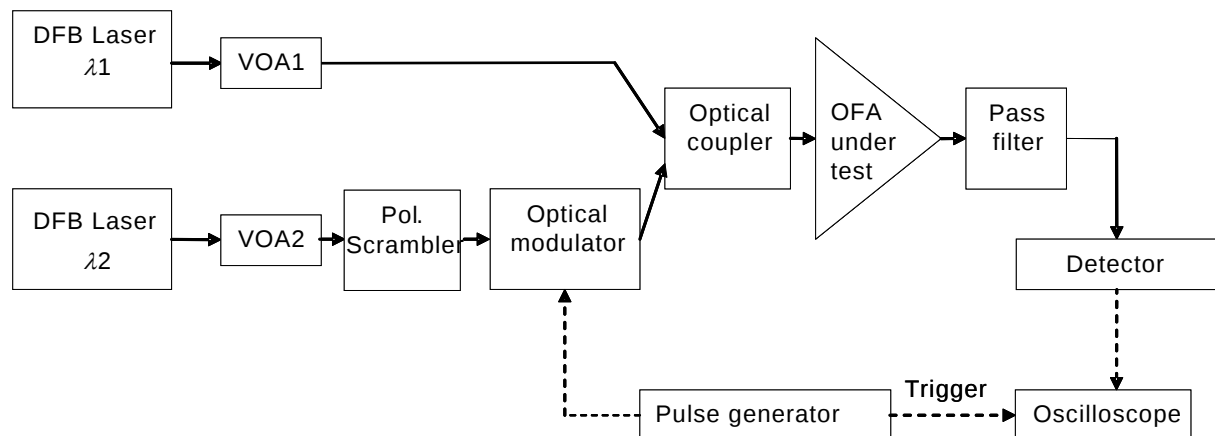
NOTE 2 Hereon this will also be referred to as net gain undershoot

3.3 Abbreviated terms

AGC	automatic gain control
AOM	acousto-optic modulator
BER	bit error ratio
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 Apparatus

Figure 3 shows a generic setup to characterize the transient response properties of OAs.



IEC 1693/11

Figure 3 – Generic transient control measurement setup

5 Test specimen

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 signal instability and measurement inaccuracy.

6 Procedure

In the setup shown, the input signal power into the amplifier being tested is the combination of two distributed feedback (DFB) lasers with wavelengths approximately 1 nm apart. Each 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 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	Surviving channels	Channels added/dropped
20 dB add/drop	100	1	99
16 dB add/drop	40	1	39
13 dB add/drop	40	2	38
10 dB add/drop	40	4	36
6 dB add/drop	40	10	30
3 dB add/drop	40	20	20

7 Calculations

The results of the transient measurement are the following parameters:

- Channel addition/removal transient gain overshoot and transient net gain overshoot
- Channel addition/removal transient gain undershoot and transient net gain undershoot
- Channel addition/removal gain offset
- Channel addition/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 EDFAs. 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 EDFA transient, the user should choose the measurement conditions to adequately characterize the dynamic range of the OA.

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

Table 2 – Typical results of transient control measurement

Amplifier gain (dB)			Surviving channel wavelength (nm)		
Transient event description	Input power (dBm)	Transient net gain overshoot (dB)	Transient net gain undershoot (dB)	Transient gain response time constant (μsec)	Gain offset (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

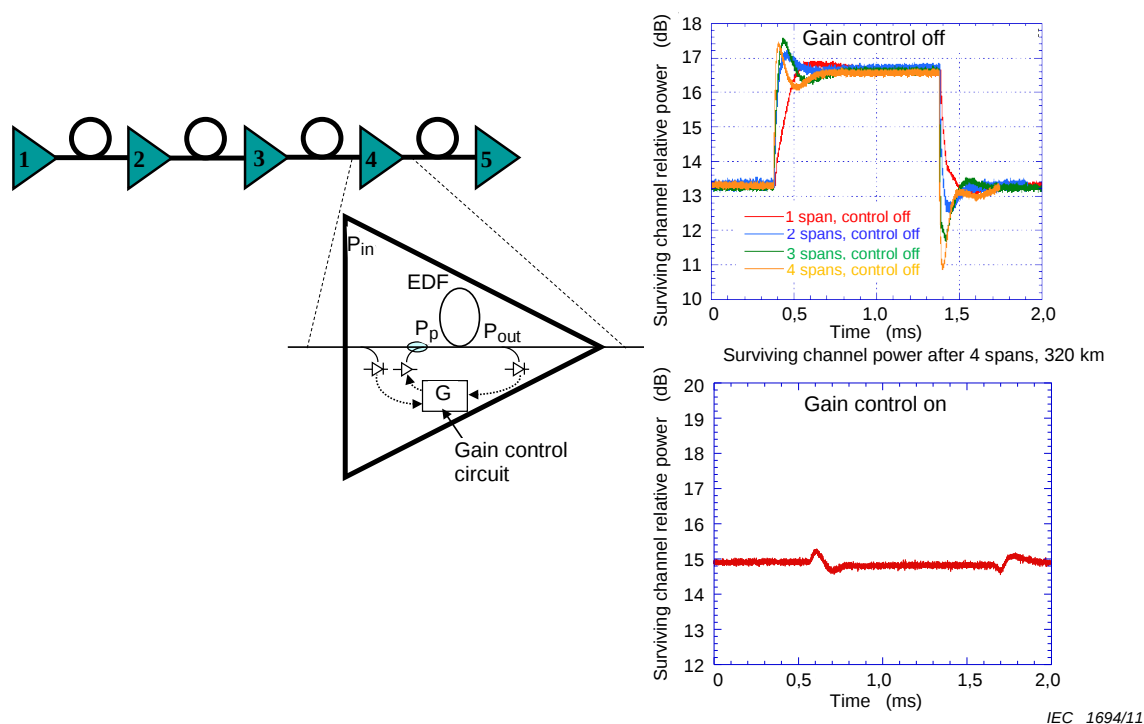
Annex A (informative)

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 EDFA 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 ratio (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 EDFAs: input optical power, optical pump power, and the inversion level of the optical amplifier. The inversion level of an EDFA characterizes 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 EDFA 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 optimize the performance of optical networks. Similarly, if wavelengths are dropped from an EDFA input, the pumps will need to be rapidly decreased in order to maintain a constant gain per channel.

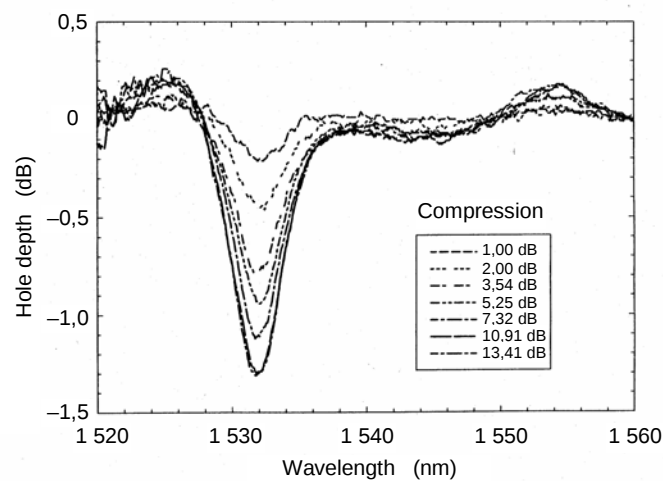
The gain of an EDFA can be controlled by adjusting its pump current. The basic scheme for the pump control is shown in Figure A.1 and involves making measurement of input and output power of the EDFA through signal taps and monitor photodiodes. Early reported work addressed pump control on time scales of the spontaneous lifetime in EDFAs. 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 were demonstrated to arrest the power excursion in the surviving channels are shown in Figure A.1. The necessary response time was characterized 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 is 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 EDFAs.

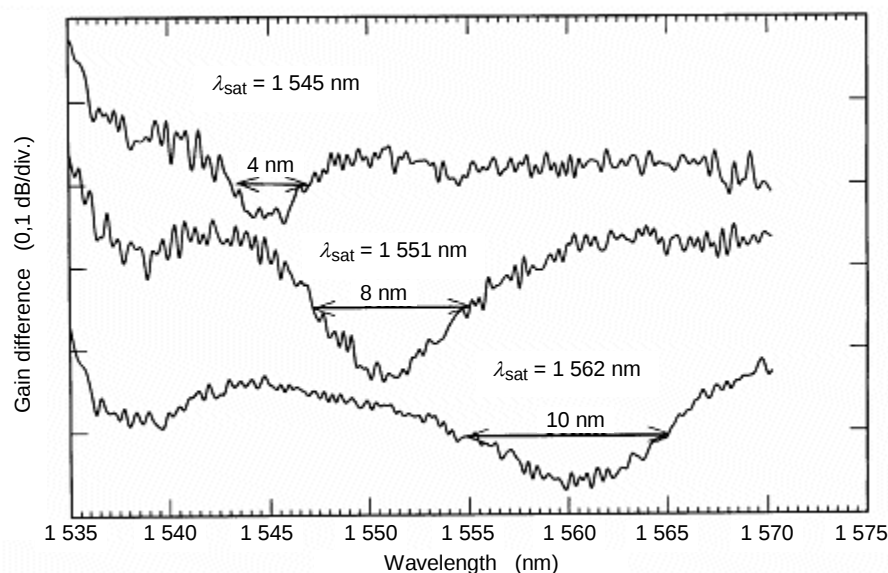
Figure A.1 – EDFA pump control for a chain of 5 EDFAs and 4 fibre spans

In lightwave transmission applications EDFAs are operated in saturation mode. The gain saturation in EDFAs 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 EDFA model. While the gain spectrum of EDFAs 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 EDFAs has been measured at room temperature. The result of SHB measurement for different saturation levels is shown in Figure A.2. The figure shows the existence of a spectral hole having 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.



IEC 1695/11

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



IEC 1696/11

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 (0,2dB 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. The SHB impacts a WDM system in a positive way since it helps in the mitigation of channel power divergence and should be included in the system design.

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

If input power to the EDFA 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 EDFA is not fast enough to compensate transient gain under the steep input power variation. In addition, the transient response of the EDFA will be increased as a result.

B.2 Measured data and explanation

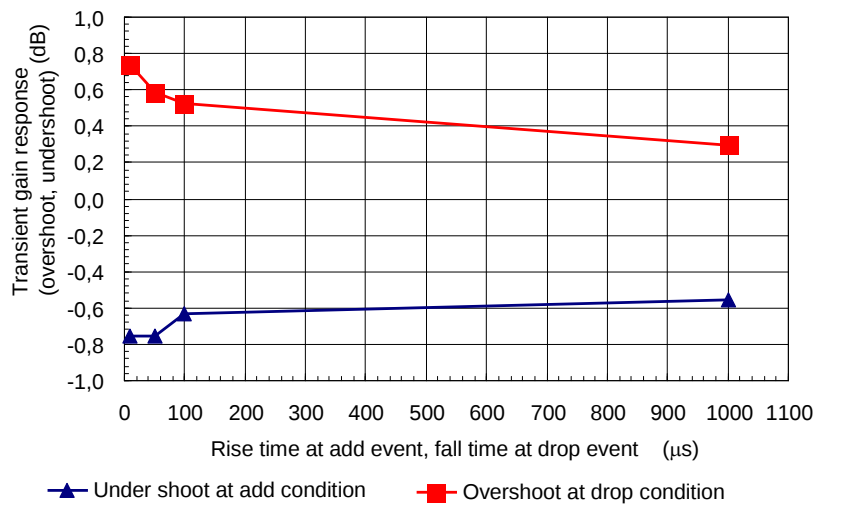
Measured data for various rise time and fall time conditions are provided with typical experimental data. Transient gain responses at 16 dB add/drop conditions are evaluated for the case of a single stage EDFA. Rise times and fall times are varied from 10 μ sec to 1 000 μ sec to observe effect of various 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 surviving channel wavelength and the add/drop channel wavelength are 1 561 nm and 1 545 nm, respectively. An Acoustic 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 μ sec to 1000 μ sec. 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 steady state gain response. 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 μ sec rise/fall time and 1 000- μ sec rise/fall time.

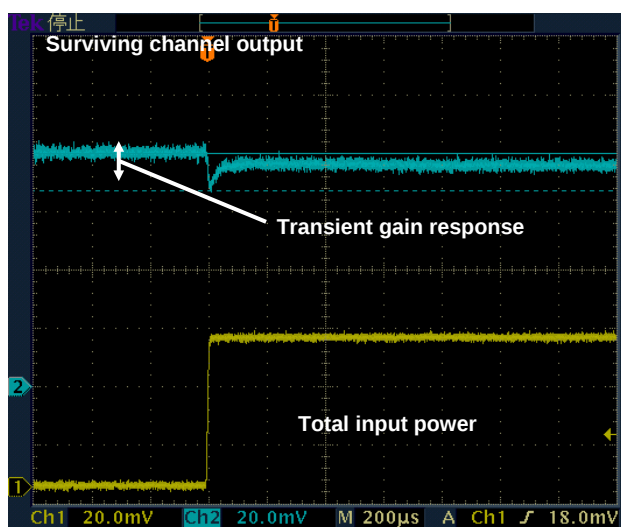
Table B.1 – Transient gain response for various rise time and fall time (16 dB add/drop)

Surviving channel wavelength λ1 (nm)	Add/drop channel wavelength λ2 (nm)	Rise time Fall time (μsec)	Transient gain response		Steady state gain response (dB)
			16dB add event (dB)	16dB drop event (dB)	
1 561	1 545	10	-0,76	0,74	0,29
		50	-0,76	0,58	
		100	-0,63	0,52	
		1 000	-0,56	0,29	

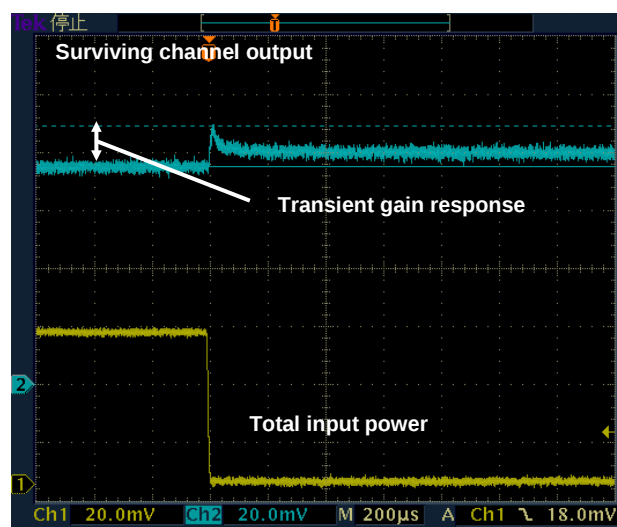


IEC 1697/11

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



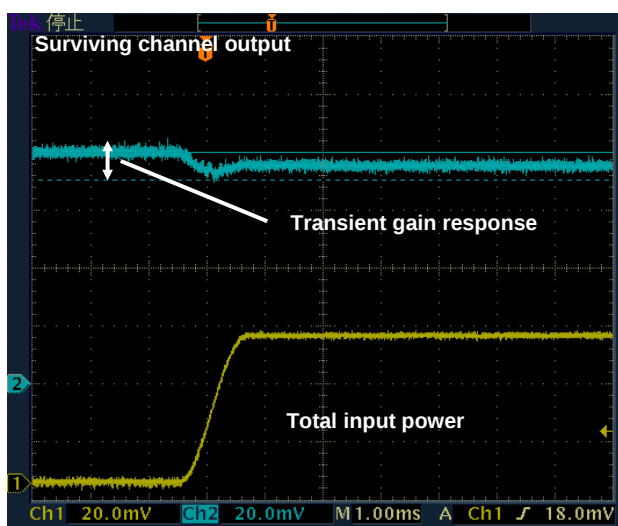
16 dB add case (rise time = 10 μ s)



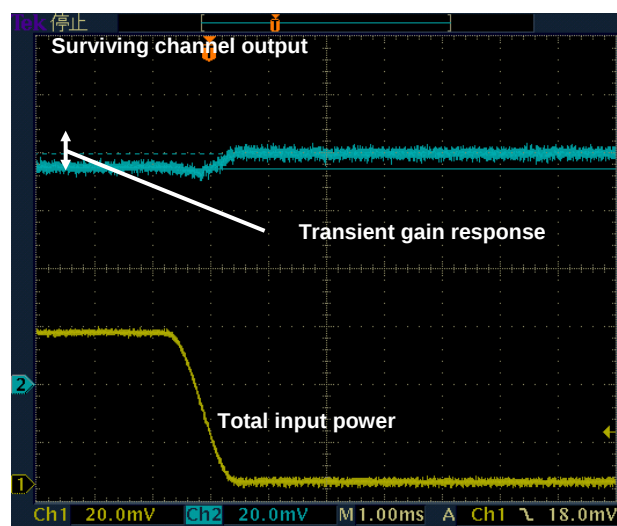
16 dB drop case (rise time = 10 μ s)

IEC 1698/11

Figure B.2 – 16 dB add/drop (rise time = 10 μ s)



16 dB add case (rise time = 1 000 μ s)



16 dB drop case (rise time = 1 000 μ s)

IEC 1699/11

Figure B.3 – 16 dB add/drop (rise time = 1 000 μ s)

Bibliography

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

IEC 61290-1-2, *Optical amplifiers – Test methods – Part 1-1: Power and gain parameters – Electrical spectrum analyzer method*

IEC 61290-1-3, *Optical amplifiers – Test methods – Part 1-1: Power and gain parameters – Optical power meter method*

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

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*

Emmanuel Desurvire, *Erbium-Doped Fiber Amplifiers*, John Wiley & Sons, (1994)

P.C. Becker, N.A. Olsson and J.R. Simpson, *Erbium-Doped Fiber Amplifiers: Fundamentals and Technology*, Academic Press (1999)

Emmanuel Desurvire, Dominique Bayart, Bertrand Desthieux and Sebastien Bigo, *Erbium-Doped Fiber Amplifiers, Device and System Developments*, John Wiley & Sons (2002)

J.L. Zyskind, Jonathan A. Nagel and Howard D. Kidorf, "Erbium-Doped Fiber Amplifiers for Optical Communications", pp. 13-68 in *Optical Fiber Telecommunications IIIB*, edited by Ivan Kaminow and Thomas Koch, Academic Press (1997)

Douglas M. Baney, "Characterization of Erbium-Doped Fiber Amplifiers", Chapter 13, pp. 519-595 in *Fiber Optic Test and Measurement* edited by Dennis Derickson, Prentice Hall, New Jersey (1998)

Atul Srivastava and Yan Sun, "Advances in Erbium-Doped Fiber Amplifiers", Chapter 4, pp. 174-212 in *Optical Fiber Telecommunications IVA* edited by Ivan Kaminow and Tingye Li, Academic Press, San Diego (2002)

Atul Srivastava and Yan Sun, "Erbium Doped Fiber Amplifiers for Dynamic Optical Networks", Chapter 12, pp.181-203 in *Guided Wave Optical Components and Devices* edited by Bishnu P. Pal, Elsevier Academic Press, San Diego (2006)

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	21
INTRODUCTION.....	23
1 Domaine d'application et objet	24
2 Références normatives	24
3 Termes, définitions, et abréviations.....	24
3.1 Généralités.....	24
3.2 Termes et définitions	27
3.3 Abréviations	29
4 Matériel	29
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
Bibliographie	39
Figure 1 – Définitions des temps de montée et de descente (a) dans le cas d'un événement d'ajout de canal, et (b) dans le cas d'un événement de suppression de canal.....	25
Figure 2 – Réponse du gain transitoire d'un AFO pour un événement (a) de suppression de canal, et un événement (b) d'ajout de canal	27
Figure 3 – Montage générique de mesure du gain transitoire	30
Figure A.1 – Commande de pompage d'EDFA pour une chaîne de 5 EDFA et 4 tronçons 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/suppression de 16 dB (temps de montée = 10 µsec).....	38
Figure B.3 – ajout/suppression de 16 dB (temps de montée = 1 000 µsec).....	38
Tableau 1 – Exemples de scénarios d'ajout et de suppression pour la mesure de gain transitoire.....	31
Tableau 2 – Résultats typiques de la mesure de gain transitoire	32
Tableau B.1 – Réponse de gain transitoire pour divers temps de montée et temps de descente (ajout/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 (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de la CEI. La CEI n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de brevet. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 61290-4-1 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.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

CDV	Rapport de vote
86C/956/CDV	86C/1011/RVC

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de la présente norme.

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série CEI 61290, publiées sous le titre général *Amplificateurs optiques – Méthodes d'essai*, est disponible sur le site internet de la CEI.

Les futures normes de cette série porteront le nouveau titre général cité ci-dessus. Les titres des normes existantes dans cette série seront mis à jour lors de leurs prochaines éditions.

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

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

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

INTRODUCTION

La présente section de la CEI 61290-4 est consacrée aux amplificateurs optiques (AO). La technologie des amplificateurs optiques est assez nouvelle et elle est encore émergente; de sorte que des amendements et de nouvelles éditions de la présente norme sont à prévoir.

Chaque abréviation introduite dans la présente norme est expliquée dans le texte, au moins lors de sa première apparition. Cependant, pour une meilleure compréhension de l'ensemble du texte, une liste de toutes les abréviations utilisées dans la présente norme est donnée dans le 3.3.

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.

AMPLIFICATEURS OPTIQUES – MÉTHODES D'ESSAI –

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

1 Domaine d'application et objet

La présente section de la CEI 61290-4 s'applique aux amplificateurs à fibre dopée à l'erbium (EDFA¹) et aux sous-systèmes élémentaires à amplification optique. Elle s'applique aux AO utilisant des fibres actives (amplificateurs à fibres optiques, AFO), contenant des dopants aux terres rares. Ces amplificateurs sont disponibles sur le marché et sont largement déployés dans les réseaux de prestataires de service.

La présente section de la CEI 61290-4 a pour objet de fournir le contexte général pour les transitoires d'EDFA et les paramètres associés, et de décrire une méthode d'essai normalisée de mesure précise et fiable des paramètres transitoires suivants:

- Dépassement positif de gain transitoire lors d'ajout/de suppression de canal et dépassement positif du gain net transitoire
- Dépassement négatif de gain transitoire lors d'ajout/de suppression de canal et dépassement négatif du gain net transitoire
- Décalage de gain lors d'ajout/de suppression de canal
- Constante de temps de réponse du gain transitoire lors d'ajout/de suppression de canal (temps de stabilisation)

2 Références normatives

Les documents référencés ci-après 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 amendements).

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

NOTE Une liste de références informatives figure dans la Bibliographie.

3 Termes, définitions, et abréviations

3.1 Généralités

Lorsque la puissance d'entrée pour un AFO fonctionnant en saturation varie brusquement, le gain de l'amplificateur présente généralement une réponse transitoire avant de se stabiliser de nouveau dans le gain requis. Cette réponse est dictée par les caractéristiques optiques de la fibre active dans l'AFO ainsi que par la performance du mécanisme de la commande automatique de gain (ou AGC²).

Étant donné qu'une variation de la puissance d'entrée se produit généralement lorsqu'une partie des canaux DWDM dans la bande de transmission spécifiée est supprimée ou ajoutée,

¹ EDFA = *Erbium-doped fibre amplifiers*.

² AGC = *Automatic gain control*.

des définitions sont prévues qui 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.

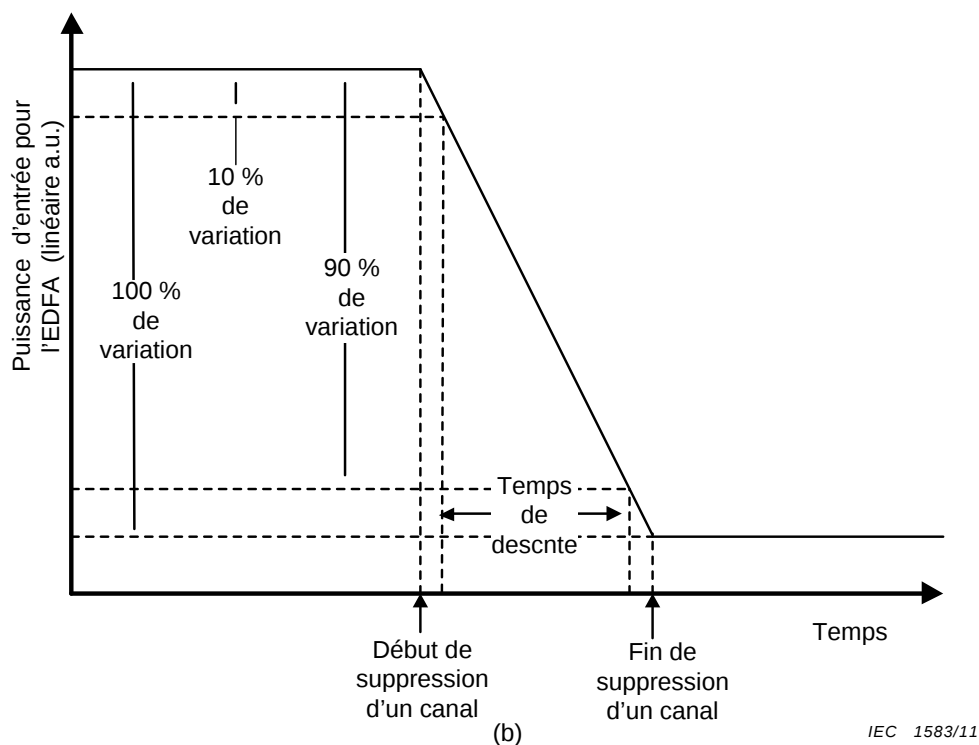
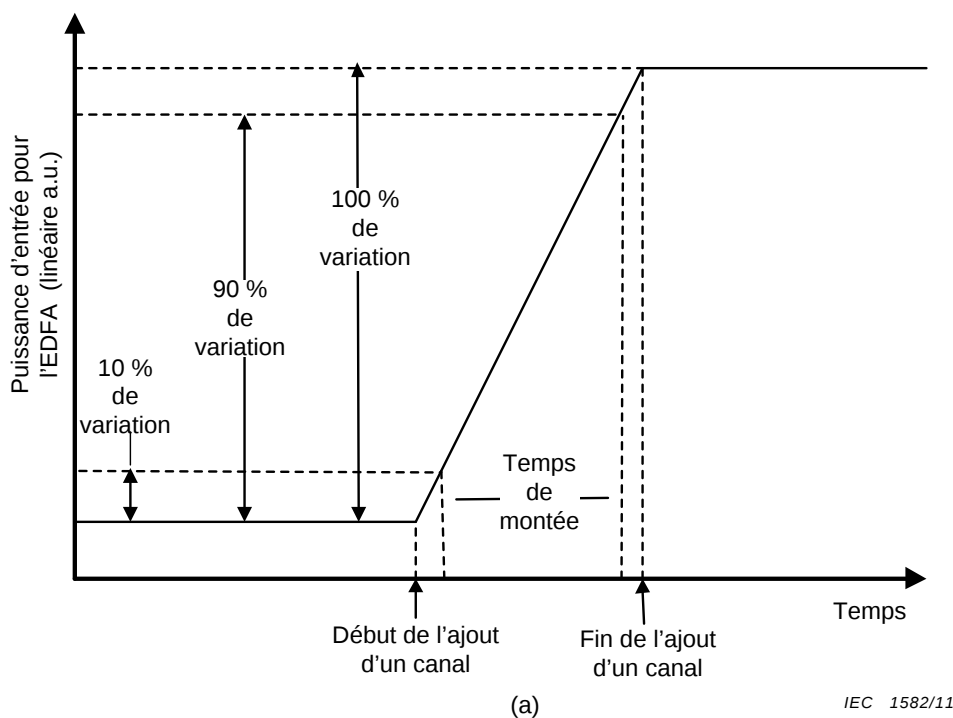


Figure 1 – Définitions des temps de montée et de descente (a) dans le cas d'un événement d'ajout de canal, et (b) dans le cas d'un événement de suppression de canal

Les paramètres généralement utilisés pour caractériser le comportement du gain transitoire d'un EDFA commandé par le gain pour le cas de la suppression de canal sont définis à la Figure 2(a). 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, le comportement du gain transitoire pour le cas où des canaux sont ajoutés est représenté à la Figure 2(b). Les paramètres transitoires principaux 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 (NEM³), 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 comportent des valeurs très faibles pour ces paramètres transitoires.

³ NEM = Network equipment manufacturers.

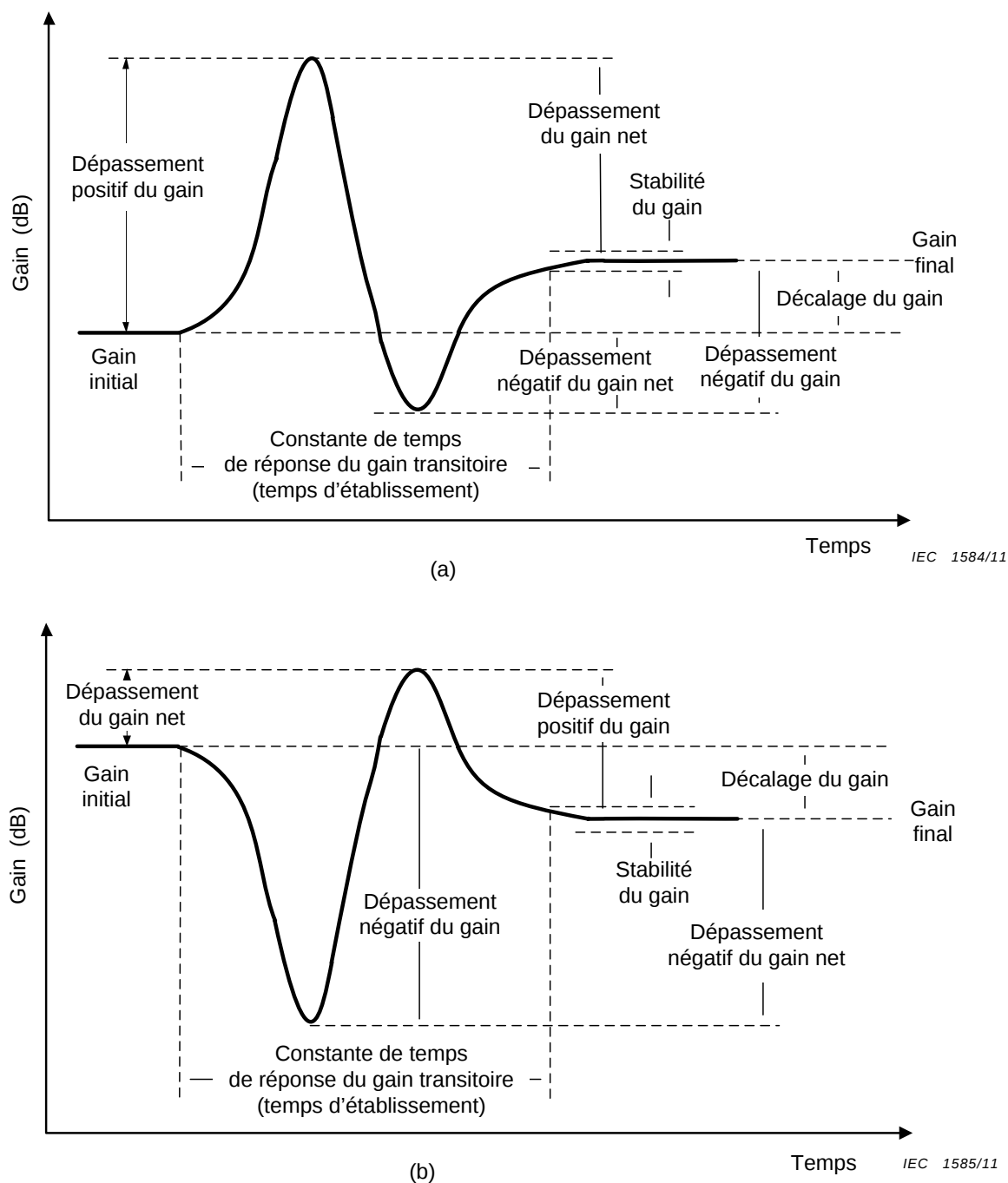


Figure 2 – Réponse du gain transitoire d'un AFO pour un événement (a) de suppression de canal, et un événement (b) d'ajout de canal

3.2 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent en complément de celles de la CEI 61291-1.

3.2.1

signal (préexistant) conservé

signal optique qui demeure (existe) après (avant) l'événement de suppression (d'ajout)

3.2.2

signal de saturation

signal optique désactivé (activé) par l'événement de suppression (d'ajout)

3.2.3

niveau de suppression (d'ajout)

quantité en dB de laquelle la puissance d'entrée diminue (augmente) du fait de la suppression (l'ajout) de canaux

3.2.4

temps de montée pour l'ajout

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 (voir la Figure 1(a))

3.2.5

temps de descente pour la suppression

temps nécessaire pour que le signal optique d'entrée diminue de 90 % à 10 % de la différence totale entre les niveaux de signaux initiaux et finaux au cours d'un événement de suppression (voir la Figure 1(b))

3.2.6

gain initial

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

3.2.7

gain final

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

3.2.8

décalage de gain

Variation en dB du gain entre l'état initial et l'état final, défini comme le gain final – gain initial

NOTE Le décalage de gain peut être positif ou négatif tant pour l'événement d'ajout que pour l'événement de suppression de canaux.

3.2.9

stabilité du gain

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

3.2.10

constante de temps de réponse du gain transitoire (temps de stabilisation)

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

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

NOTE 2 Par la suite, on le désigne également sous le terme de temps de stabilisation.

3.2.11

dépassement positif du gain transitoire

différence exprimée en dB entre le gain maximal du canal conservé (préexistant) atteint pendant la réponse transitoire de l'AFO à un événement de suppression (d'ajout), et la valeur la plus faible entre le gain initial et le gain final

NOTE Par la suite, on le désigne également sous le terme de dépassement positif de gain.

3.2.12**dépassement positif du gain net transitoire**

différence exprimée en dB entre le gain maximal du canal conservé (préexistant) atteint pendant la réponse transitoire de l'AFO à un événement de suppression (d'ajout), et la valeur la plus élevée entre le gain initial et le gain final. Le dépassement positif du gain net transitoire est juste 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 Par la suite, on le désigne également sous le terme de dépassement positif du gain net.

3.2.13**dépassement négatif du gain transitoire**

différence exprimée en dB entre le gain minimal du canal conservé (préexistant) atteint pendant la réponse transitoire de l'AFO à un événement de suppression (d'ajout), et la valeur la plus élevée entre le gain initial et le gain final.

NOTE Par la suite, on le désigne également sous le terme de dépassement négatif de gain.

3.2.14**dépassement négatif du gain net transitoire**

différence exprimée en dB entre le gain minimal du canal conservé (préexistant) atteint pendant la réponse transitoire de l'AFO à un événement de suppression (d'ajout), et la valeur la plus faible du gain initial et du gain final.

NOTE 1 Le dépassement négatif du gain net transitoire est juste le dépassement négatif 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 2 Par la suite, on le désigne également sous le terme de dépassement négatif du gain net.

3.3 Abréviations

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

4 Matériel

La Figure 3 représente un montage générique en vue de caractériser les propriétés de réponse transitoire des amplificateurs optiques (AO).

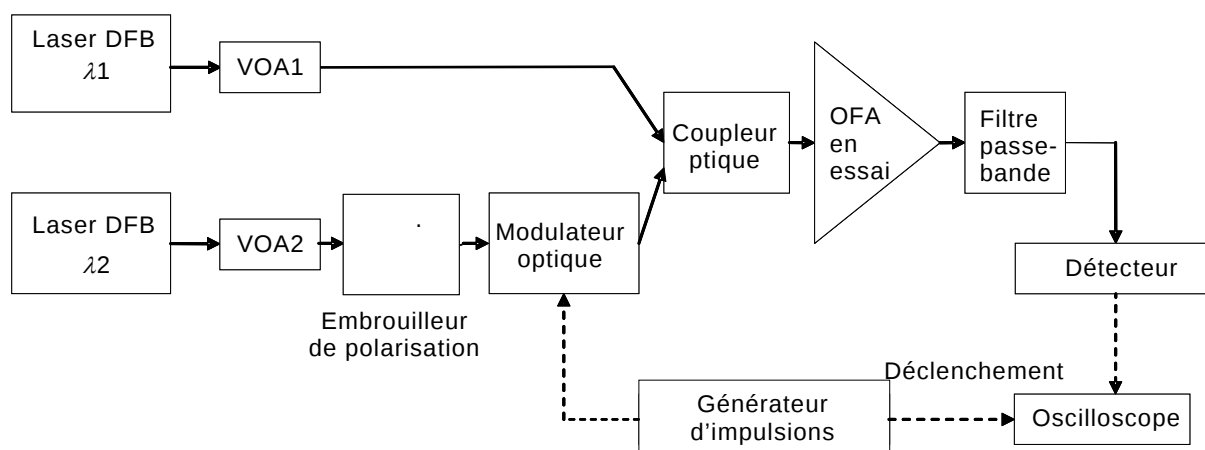


Figure 3 – Montage générique de mesure du gain transitoire

IEC 1693/11

5 Spécimen 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. Cela permettra de réduire l'instabilité du signal et les imprécisions de mesure.

6 Mode opératoire

Dans le montage illustré, la puissance de signal d'entrée dans l'amplificateur en essai est la combinaison de deux lasers à contre-réaction répartie (DFB⁴) avec des longueurs d'onde espacées d'environ 1nm. Chaque canal est réglé ultérieurement avec un affaiblisseur optique variable (VOA⁵) aux niveaux de puissance d'entrée optique désirés. 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 par la suite combinés sur la même fibre avant que le signal ne soit dirigé vers l'amplificateur en essai. Un filtre accordable, un convertisseur opto-électronique (O/E) et un oscilloscope sont placés en tandem à la sortie de l'amplificateur. Le canal conservé est sélectionné avec le filtre accordable et sa réponse transitoire est surveillée avec le convertisseur O/E et l'oscilloscope. Une forme d'onde analogue à celle représentée à la Figure 2 est affichée sur l'écran de l'oscilloscope.

Pour 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 à –2 dBm chacun représentent 20 canaux optiques possédant 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 modification de la charge des canaux du système passant de 20 canaux à 40 canaux. Pour d'autres mesures de gain transitoire, les VOA peuvent être réglés en conséquence de sorte que les niveaux de puissance d'entrée diffèrent d'une valeur appropriée.

⁴ DFB = Distributed feedback.

⁵ VOA = Variable optical attenuator.

Plusieurs mesures de gain transitoire peuvent être réalisées, selon les conditions de fonctionnement et les spécifications prévues. Des mesures peuvent également être prises pour divers scénarios d'ajout et de suppression comme l'indique le Tableau 1. Ces mesures sont typiquement réalisées sur une large gamme de niveaux de puissance d'entrée.

Tableau 1 – Exemples de scénarios d'ajout et de suppression pour la mesure de gain transitoire

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

7 Calculs

Les résultats de la mesure transitoire correspondent aux paramètres suivants:

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

Ces paramètres peuvent être extraits de l'affichage de l'oscilloscope, tel que décrit à la Figure 2.

8 Résultats d'essai

Le Tableau 2 présente des conditions de mesure typiques et les résultats des mesures du gain transitoire des EDFA 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'EDFA, il convient que l'utilisateur choisisse les conditions de mesure pour caractériser convenablement la plage dynamique de l'AO.

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

Tableau 2 – Résultats typiques de la mesure de gain transitoire

Gain d'amplificateur (dB)			Longueur d'onde de canaux conservés (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 (µsec)	Décalage du 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

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 EDFA peut soudainement diminuer, augmentant ainsi l'inversion des amplificateurs et par conséquent son gain, simplement en quelques microsecondes. Cette variation de gain est préjudiciable aux prestataires de services des réseaux (NSP⁶), étant donné que leurs réseaux ne fonctionneront plus dans le niveau de gain pour lequel ils ont été optimisés, ceci influant potentiellement sur la qualité de service. Une augmentation du taux d'erreur binaire (BER) 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 (OSNR⁷), tandis qu'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.

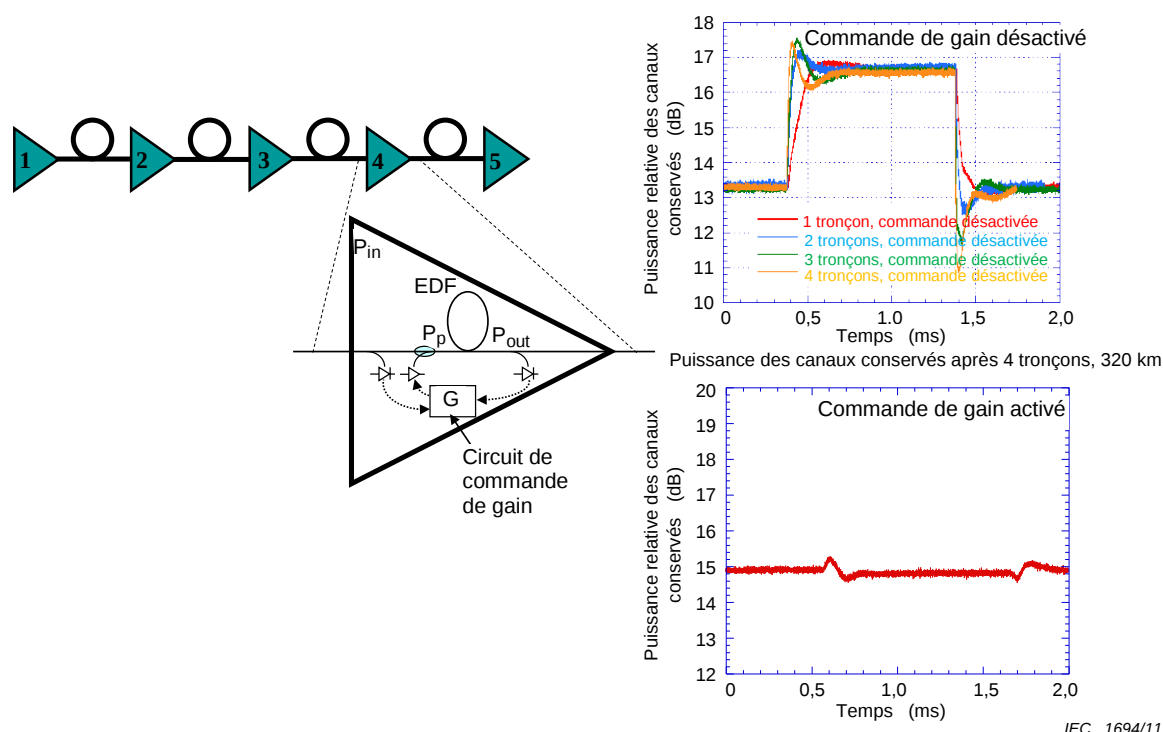
Trois facteurs déterminent le gain des amplificateurs à fibre dopée à l'erbium (EDFA): la puissance optique d'entrée, la puissance optique de pompage, et le niveau d'inversion de l'amplificateur optique. Le niveau d'inversion d'un EDFA caractérise la fraction des atomes d'erbium qui sont disponibles pour fournir de l'énergie au signal optique d'entrée, donnant lieu au gain optique. Généralement, le niveau d'inversion augmente avec l'accroissement de la puissance optique de pompage et diminue avec l'accroissement de la puissance optique d'entrée. C'est pourquoi, si des longueurs d'onde sont ajoutées à l'entrée de l'EDFA, augmentant ainsi sa puissance d'entrée optique, la puissance optique de pompage nécessitera également d'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 la performance des réseaux optiques. De la même manière, si des longueurs d'onde sont supprimées d'une entrée d'EDFA, il sera nécessaire de diminuer rapidement le pompage, afin de maintenir un gain constant par canal.

Le gain d'un EDFA peut être commandé en réglant son courant de pompage. Le schéma de principe relatif à la commande de pompage est illustré à la Figure A.1 et comprend une mesure de la puissance d'entrée et de sortie de l'EDFA au moyen de prélèvement 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 EDFA. Une des études a démontré l'efficacité d'une compensation amont à basse fréquence avec une boucle de commande à basse fréquence. Les résultats de la commande de puissance de pompage sur des échelles de temps bien plus courts 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 est ensuite diminué d'une quantité adaptée pour restaurer le gain des canaux conservés. Cette expérience démontre que les échelles de temps dynamiques 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

⁶ NSP = Network service providers.

⁷ OSNR = Optical signal-to-noise ratio.

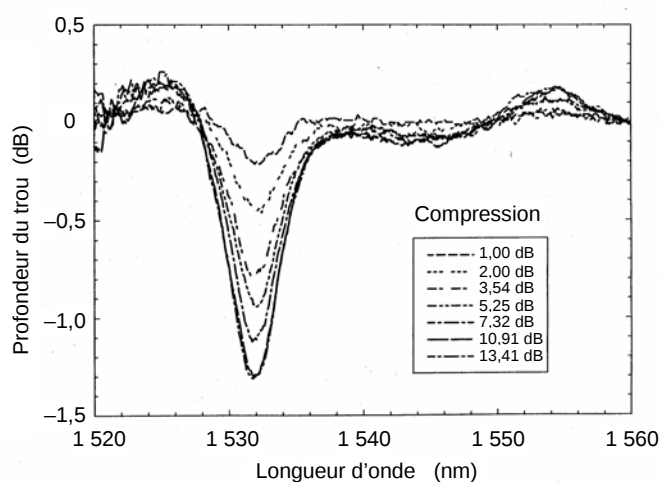
délai suffisamment court. Par exemple, dans le dernier tracé, une excursion de puissance négligeable se produit lorsqu'une correction est appliquée après un délai de quelques microsecondes. Ceci montre qu'avec les pompages normalisés si la décision de prendre des mesures correctives peut être menée à bien à temps, la puissance de pompage peut être abaissée suffisamment rapidement pour maîtriser les excursions des canaux conservés. Ces mesures démontrent que, pour la commande de pompage en vue de réduire les variations de la puissance des canaux conservés en cas de perte de canaux, la réponse du programme de commande peut être tout au plus de quelques dizaines de microsecondes.



NOTE La moitié des canaux est périodiquement ajoutée et supprimée. La puissance relative des canaux conservés est représentée à droite pour les deux cas avec et sans commande de pompage sur tous les EDFA.

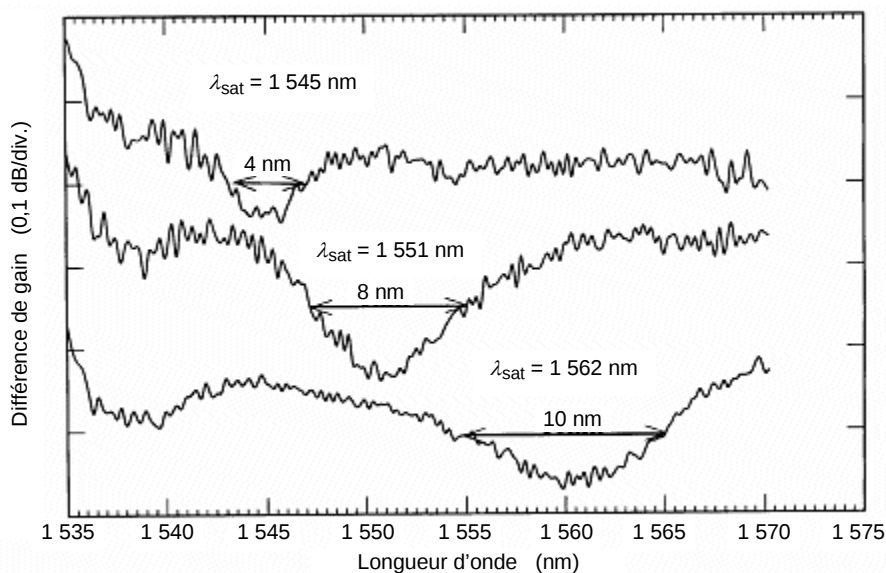
Figure A.1 – Commande de pompage d'EDFA pour une chaîne de 5 EDFA et 4 tronçons de fibre

Dans des applications de transmission des ondes lumineuses, les EDFA fonctionnent en mode saturation. La saturation du gain dans les EDFA présente une homogénéité prédominante, ce qui signifie que dans un système WDM à plusieurs canaux, une fois que le gain d'un des canaux est connu, le gain des autres canaux peut être calculé directement. Ce résultat provient de la propriété homogène du modèle de l'EDFA. Alors que le spectre de gain des EDFA présente une homogénéité prédominante, il a toutefois été observé une petite quantité d'inhomogénéité. L'élargissement non homogène donne lieu à une consommation du trou spectral (SHB, *Spectral-Hole-Burning*) dans les spectres de gain des amplificateurs optiques. Le SHB dans les EDFA a été mesuré à température ambiante, au moyen d'une technique de mesure précise de différence. Le résultat de mesure du SHB pour différents niveaux de saturation est représenté à la Figure A.2. La figure présente l'existence d'un trou spectral comportant une FWHM de 8 nm. La profondeur du trou augmente linéairement à un taux de 0,027 dB par accroissement de 1 dB de la compression de gain par rapport à un gain en petits signaux. Pour une compression de gain de 10 dB, on observe une baisse de 0,28 dB des spectres de gain du fait du SHB. Le SHB est fortement dépendant de la longueur d'onde et s'est avéré être quatre fois plus grand à 1 532 nm plutôt qu'à 1 551 nm. La dépendance entre la largeur du trou spectral et la longueur d'onde de saturation est illustrée à la Figure A.3. La FWHM du trou augmente tandis que la longueur d'onde de saturation est augmentée.



IEC 1695/11

Figure A.2 – Profondeur du trou spectral dans l'EDFA pour différentes compressions de gain



IEC 1696/11

Figure A.3 – Profondeur du trou spectral dans l'EDFA pour différentes longueurs d'onde

L'effet du SHB influe sur la forme du gain des systèmes de liaison par fibres optiques à grande distance. L'effet se manifeste de telle sorte que chaque canal WDM du système réduit le gain des canaux voisins dans la largeur du trou spectral, mais n'affecte pas de manière significative les canaux très éloignés en longueur d'onde. Lorsque l'on caractérise les spectres de gain des amplificateurs, il est de ce fait important d'employer des signaux d'entrée à plusieurs longueurs d'onde avec une séparation des canaux inférieure à la largeur du SHB. L'effet SHB observé dans un amplificateur individuel est peu important (0,2 dB à 0,3 dB) mais dans une longue chaîne d'amplificateurs comme dans un système à grande distance ou sous-marin, il peut s'ajouter pour produire une variation significative et observable du spectre global. L'importance du SHB a été notée dans une liaison à grande distance sur 9 300 km. Le SHB a une influence positive sur les systèmes WDM, étant donné qu'il contribue à l'atténuation de la divergence de puissance des canaux; il convient de l'intégrer dans la conception des systèmes.

Annexe B (informative)

Effet du taux de variation sur la réponse de gain transitoire

B.1 Importance du temps de montée et du temps de descente de la puissance d'entrée

Lorsque les canaux sont soit ajoutés lors de l'événement d'ajout, soit retirés lors de l'événement de suppression, on doit prendre en considération la vitesse de la variation de la puissance d'entrée, lors de la mesure du gain transitoire. La commande de gain de l'EDFA est généralement réalisée par des dispositifs de surveillance de la puissance des niveaux d'entrée et de sortie et par le biais de la méthode de réglage de la puissance, par le courant de commande du laser de pompage. La conception optique et l'algorithme de commande influent sur la réponse transitoire de gain lors des événements d'ajout ou de suppression, comme indiqué à l'Annexe A. De plus, le taux de variation de la puissance d'entrée au moment des changements d'état affecte également la réponse de gain transitoire.

Si la puissance d'entrée de l'EDFA varie lentement, alors le mécanisme de commande de gain peut être en mesure de compenser les phénomènes de gain transitoire avec le mécanisme de commande de gain rapide de l'EDFA. De plus, le processus de réglage de la puissance de pompage peut réduire le gain transitoire à un niveau inférieur à la variation de la puissance d'entrée en pente progressive. Ainsi, la réponse transitoire de l'EDFA sera supprimée avec un petit gain transitoire.

Si la puissance d'entrée pour l'EDFA varie rapidement, comme c'est le cas pour une entrée en échelon, alors le mécanisme de commande de gain peut ne pas être capable de supprimer le gain transitoire, étant donné que le mécanisme de commande de gain de l'EDFA n'est pas assez rapide pour compenser le gain transitoire à un niveau inférieur à une variation de puissance d'entrée rapide. De plus, il en résulte que la réponse transitoire de l'EDFA augmente.

B.2 Données mesurées et explication

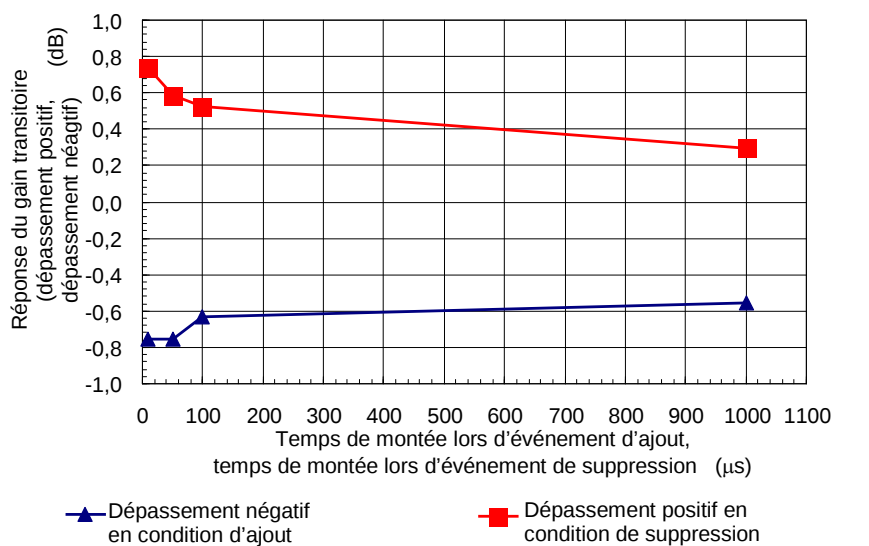
Les données mesurées pour diverses conditions de temps de montée et de temps de descente sont fournies avec des données expérimentales typiques. Les réponses de gain transitoire à des conditions d'ajout/de suppression de 16 dB sont évaluées pour le cas d'un EDFA à un étage. Les temps de montée et les temps de descente sont soumis à des variations de 10 µsec à 1 000 µsec pour observer l'effet des conditions de divers temps de montée et de temps de descente sur la réponse de gain transitoire.

Un schéma du montage expérimental est représenté à la Figure 3. Lors de cette expérience, la longueur d'onde des canaux conservés et la longueur d'onde des canaux soumis à l'ajout/la suppression sont de 1 561 nm et 1 545 nm respectivement. Un modulateur optique acoustique (AOM, *Acoustic Optical Modulator*) sert de modulateur. Le temps de montée et le temps de descente sont réglés au moyen d'un générateur de fonction arbitraire, de sorte que le taux de variation fournisse un temps de montée et de descente compris entre 10 µsec et 1000 µsec. La sortie du générateur de fonction est raccordée à l'entrée électrique de l'AOM. Les réponses de gain transitoire sont enregistrées par un oscilloscope pour quantifier la réponse de gain transitoire et la réponse de gain à l'état stable. Le Tableau B.1 résume la réponse de gain transitoire pour diverses conditions de temps de montée et de temps de descente. Une valeur positive signifie un dépassement positif de la réponse de gain transitoire lors de l'événement de suppression, et une valeur négative signifie dépassement négatif de la réponse de gain transitoire lors de l'événement d'ajout. Le traçage du niveau de dépassement positif et du niveau de dépassement négatif des réponses de gain transitoire est fourni à la Figure B.1.

La réponse de gain transitoire est atténuée lors des temps de montée et de descente plus importants, selon l'hypothèse de la Figure B.1. La Figure B.2 et la Figure B.3 présentent des réponses de gain transitoire lors de temps de montée/de descente de 10 μsec et lors de temps de montée/de descente 1 000- μsec .

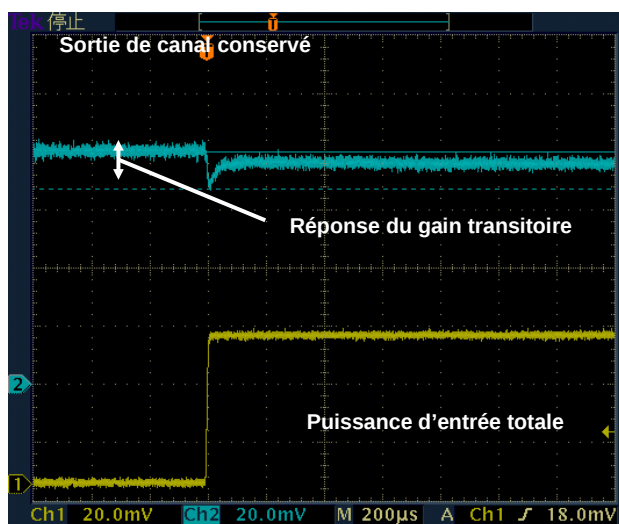
Tableau B.1 – Réponse de gain transitoire pour divers temps de montée et temps de descente (ajout/suppression de 16 dB)

Longueur d'onde des canaux conservés λ_1 (nm)	Longueur d'onde des canaux ajoutés/supprimés λ_2 (nm)	Temps de montée Temps de descente (μsec)	Réponse du gain transitoire		Réponse du gain en état stable (dB)
			Ajout de 16 dB (dB)	Suppression de 16 dB (dB)	
1561	1545	10	-0,76	0,74	0,29
		50	-0,76	0,58	
		100	-0,63	0,52	
		1000	-0,56	0,29	

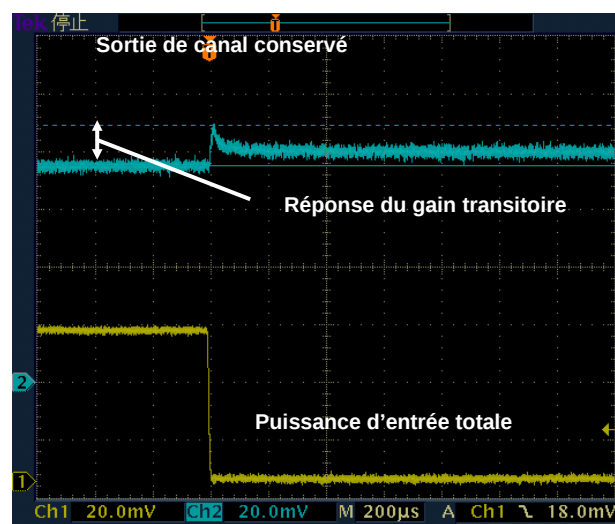


IEC 1697/11

Figure B.1 – Réponse de gain transitoire à divers taux de variation



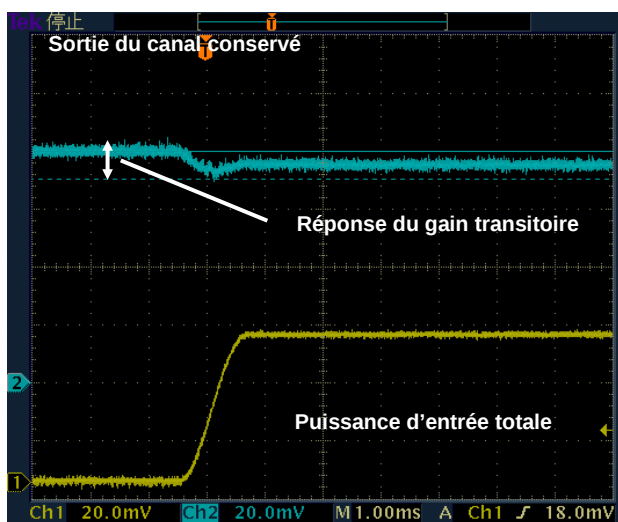
Cas d'ajout de 16 dB (temps de montée = 10 µs)



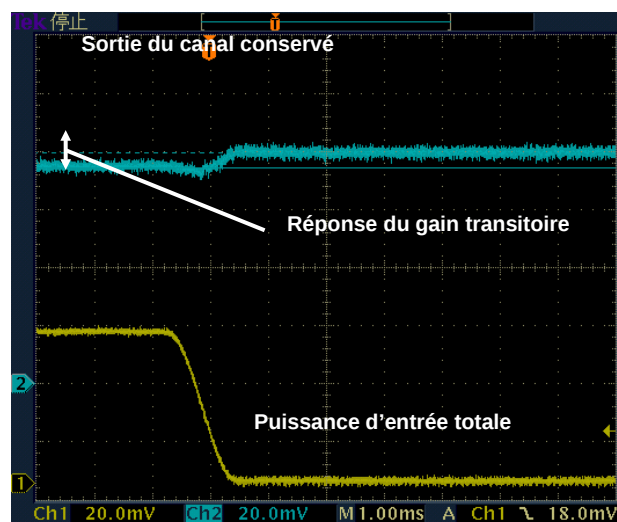
Cas de suppression de 16 dB (temps de montée = 10 µs)

IEC 1698/11

Figure B.2 – ajout/suppression de 16 dB (temps de montée = 10 µs)



Cas d'ajout de 16 dB (temps de montée = 1 000 µs)



Cas de suppression de 16 dB (temps de montée = 1 000 µs)

IEC 1699/11

Figure B.3 – ajout/suppression de 16 dB (temps de montée = 1 000 µs)

Bibliographie

CEI 61290-1-1, *Amplificateurs optiques – Méthodes d'essai – Partie 1-1: Paramètres de puissance et de gain – Méthode de l'analyseur de spectre optique*

CEI 61290-1-2, *Amplificateurs optiques – Méthodes d'essai – Partie 1-1: Paramètres de puissance et de gain – Méthode de l'analyseur de spectre électrique*

CEI 61290-1-3, *Amplificateurs optiques – Méthodes d'essai – Partie 1-1: Paramètres de puissance et de gain – Méthode de l'analyseur du wattmètre optique*

CEI 61290-3-1, *Amplificateurs optiques – Méthodes d'essai – Partie 3-1: Paramètres du facteur de bruit - Méthode d'analyseur du spectre optique*

CEI 61290-3-2, *Amplificateurs optiques – Méthodes d'essais – Partie 3-2: Paramètres du facteur de bruit – Méthode de l'analyseur spectral électrique.*

IEC 61290-4-2, *Optical amplifiers – Test methods – Part 4-2: Gain transient parameters – Broadband source method* (disponible uniquement en anglais)

Emmanuel Desurvire, *Erbium-Doped Fiber Amplifiers*, John Wiley & Sons, (1994)

P.C. Becker, N.A. Olsson and J.R. Simpson, *Erbium-Doped Fiber Amplifiers: Fundamentals and Technology*, Academic Press (1999)

Emmanuel Desurvire, Dominique Bayart, Bertrand Desthieux and Sebastien Bigo, *Erbium-Doped Fiber Amplifiers, Device and System Developments*, John Wiley & Sons (2002)

J.L. Zyskind, Jonathan A. Nagel and Howard D. Kidorf, "Erbium-Doped Fiber Amplifiers for Optical Communications", pp. 13-68 in *Optical Fiber Telecommunications IIIB*, edited by Ivan Kaminow and Thomas Koch, Academic Press (1997)

Douglas M. Baney, "Characterization of Erbium-Doped Fiber Amplifiers", Chapter 13, pp. 519-595 in *Fiber Optic Test and Measurement* edited by Dennis Derickson, Prentice Hall, New Jersey (1998)

Atul Srivastava and Yan Sun, "Advances in Erbium-Doped Fiber Amplifiers", Chapter 4, pp. 174-212 in *Optical Fiber Telecommunications IVA* edited by Ivan Kaminow and Tingye Li, Academic Press, San Diego (2002)

Atul Srivastava and Yan Sun, "Erbium Doped Fiber Amplifiers for Dynamic Optical Networks", Chapter 12, pp.181-203 in *Guided Wave Optical Components and Devices* edited by Bishnu P. Pal, Elsevier Academic Press, San Diego (2006)

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

3, rue de Varembé
PO Box 131
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

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