

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Optical amplifiers – Test methods –
Part 4-3: Power transient parameters – Single channel optical amplifiers in
output power control**

**Amplificateurs optiques – Méthodes d'essai –
Partie 4-3: Paramètres de puissance transitoire – Amplificateurs optiques
monocanaux commandés par la puissance de sortie**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2018 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
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 - webstore.iec.ch/advsearchform

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 21 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 16 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

67 000 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: sales@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 - webstore.iec.ch/advsearchform

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 21 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 16 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

67 000 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: sales@iec.ch.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



Optical amplifiers – Test methods –

**Part 4-3: Power transient parameters – Single channel optical amplifiers in
output power control**

Amplificateurs optiques – Méthodes d'essai –

**Partie 4-3: Paramètres de puissance transitoire – Amplificateurs optiques
monocanaux commandés par la puissance de sortie**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 33.180.30

ISBN 978-2-8322-5639-8

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
1 Scope.....	5
2 Normative references	5
3 Terms, definitions and abbreviated terms	6
3.1 Terms and definitions.....	6
3.2 Abbreviated terms.....	7
4 Apparatus.....	8
4.1 Test set-up	8
4.2 Characteristics of test equipment	8
5 Test sample.....	9
6 Procedure.....	9
6.1 Test preparation.....	9
6.2 Test	10
7 Calculations.....	10
8 Test results	11
8.1 Test setting conditions	11
8.2 Test data	12
Annex A (informative) Overview of power transient events in single channel EDFA.....	13
A.1 Background.....	13
A.2 Characteristic input power behaviour	13
A.3 Parameters for characterizing transient behaviour	16
Annex B (informative) Background on power transient phenomena in a single channel EDFA.....	17
B.1 Amplifier chains in optical networks	17
B.2 Typical optical amplifier design	17
B.3 Approaches to address detection errors	19
Annex C (informative) Slew rate effect on transient gain response	23
Bibliography.....	24
Figure 1 – Power transient test set-up.....	8
Figure 2 – OA output power transient response of a) input power increase and b) decrease.....	11
Figure A.1 – Example OA input power transient cases for a receiver application	14
Figure A.2 – Input power measurement parameters	15
Figure A.3 – OA output power transient response	16
Figure B.1 – Transient response to input power drop	21
Figure B.2 – Transient response to input power rise	22
Table 1 – Template for transient control measurement test conditions	10

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

OPTICAL AMPLIFIERS – TEST METHODS –**Part 4-3: Power transient parameters –
Single channel optical amplifiers in output power control**

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 61290-4-3 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 2015. This edition constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical change with respect to the previous edition: alignment of the measure of amplified spontaneous emission (ASE) relative to signal power with the definition in IEC 61290-3-3.

The text of this International Standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
86C/1505/FDIS	86C/1512/RVD

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.

This International Standard is to be used in conjunction with IEC 61291-1:2012.

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

OPTICAL AMPLIFIERS – TEST METHODS –

Part 4-3: Power transient parameters – Single channel optical amplifiers in output power control

1 Scope

This part of IEC 61290 applies to output power controlled optically amplified, elementary sub-systems. It applies to optical fibre amplifiers (OFAs) using active fibres containing rare-earth dopants, presently commercially available, as indicated in IEC 61291-1, as well as alternative optical amplifiers that can be used for single channel output power controlled operation, such as semiconductor optical amplifiers (SOAs).

The object of this document is to provide the general background for optical amplifiers (OAs) power transients and their measurements and to indicate those IEC standard test methods for accurate and reliable measurements of the following transient parameters:

- a) transient power response;
- b) transient power overcompensation response;
- c) steady-state power offset;
- d) transient power response time.

The stimulus and responses behaviours under consideration include the following:

- 1) channel power increase (step transient);
- 2) channel power reduction (inverse step transient);
- 3) channel power increase/reduction (pulse transient);
- 4) channel power reduction/increase (inverse pulse transient);
- 5) channel power increase/reduction/increase (lightning bolt transient);
- 6) channel power reduction/increase/reduction (inverse lightning bolt transient).

These parameters have been included to provide a complete description of the transient behaviour of an output power transient controlled OA. The test definitions defined here are applicable if the amplifier is an OFA or an alternative OA. However, the description in Annex A concentrates on the physical performance of an OFA and provides a detailed description of the behaviour of an OFA; it does not give a similar description of other OA types. Annex B provides a detailed description background of the dynamic phenomenon in output power controlled amplifiers under transient conditions and Annex C details the impact of speed of transient inputs.

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 following terms and definitions 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

input signal

optical signal that is input to the OA

3.1.2

input power excursion

relative input power difference before, during and after the input power stimulus event that causes an OA transient power excursion

Note 1 to entry: Input power excursion is expressed in dB.

3.1.3

input power 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 increasing power excursion event

Note 1 to entry: See Figure A.2 a).

3.1.4

input power fall time

time it takes for the input optical signal to fall from 90 % to 10 % of the total difference between the initial and final signal levels during a decreasing power excursion event

Note 1 to entry: See Figure A.2 b).

3.1.5

slew rate

maximum rate of change of the input optical signal during a power excursion event

Note 1 to entry: See Annex C.

3.1.6

transient power response

maximum or minimum deviation (overshoot or undershoot) between the OA's target power and the observed power excursion induced by a change in an input channel power excursion

Note 1 to entry: Once the output power of an amplified channel deviates from its target power, the control electronics in the OA should attempt to compensate for the power difference or transient power response, bringing the OA output power back to its original target level.

Note 2 to entry: Transient power response is expressed in dB.

3.1.7

transient power response time

amount of time taken to restore the power of the OA to a stable power level close to the target power level

Note 1 to entry: This parameter is measured from the time when the stimulus event created the power fluctuation to the time at which the OA power response is stable and within specification.

3.1.8**transient power overcompensation response**

maximum deviation between the amplifier's target output power and the power resulting from the control electronics' instability

Note 1 to entry: Transient power overcompensation response occurs after a power excursion, when an amplifier's control electronics attempts to bring the power back to the amplifier's target level. The control process is iterative, and control electronics may initially overcompensate for the power excursion until subsequently reaching the desired target power level.

Note 2 to entry: The transient power overcompensation response parameter is generally of lesser magnitude than the transient power response and has the opposite sign.

Note 3 to entry: Transient power overcompensation response is expressed in dB.

3.1.9**steady state power offset**

difference between the final and initial output power of the OA, prior to the power excursion stimulus event

Note 1 to entry: Normally, the steady state power level following a power excursion differs from the OA power before the input power stimulus event. The transient controller attempts to overcome this offset using feedback.

Note 2 to entry: Steady state power offset is expressed in dB.

3.2 Abbreviated terms

AFF	ASE flattening filter
AGC	automatic gain controller
APC	automatic power control
ASE	amplified spontaneous emission
ASEP	amplified spontaneous emission power
BER	bit error ratio
DFB	distributed feedback (laser)
DWDM	dense wavelength division multiplexing
EDF	erbium-doped fibre
EDFA	erbium-doped fibre amplifier
GFF	gain flattening filter
NEM	network equipment manufacturers
NSP	network service providers
O/E	optical-to-electrical
OA	optical amplifier
OD	optical damage
OFA	optical fibre amplifier
OSA	optical spectrum analyser
OSNR	optical signal-to-noise ratio
PDs	photodiodes
PID	proportional integral-derivative
SOA	semiconductor optical amplifier
<i>Sig_{ASE}</i>	signal-to-ASE ratio
<i>SigP</i>	signal power
SOP	state of polarization
VOA	variable optical attenuator
WDM	wavelength division multiplexing

4 Apparatus

4.1 Test set-up

Figure 1 shows a generic set-up to characterise the transient response properties of output power controlled single channel OAs.

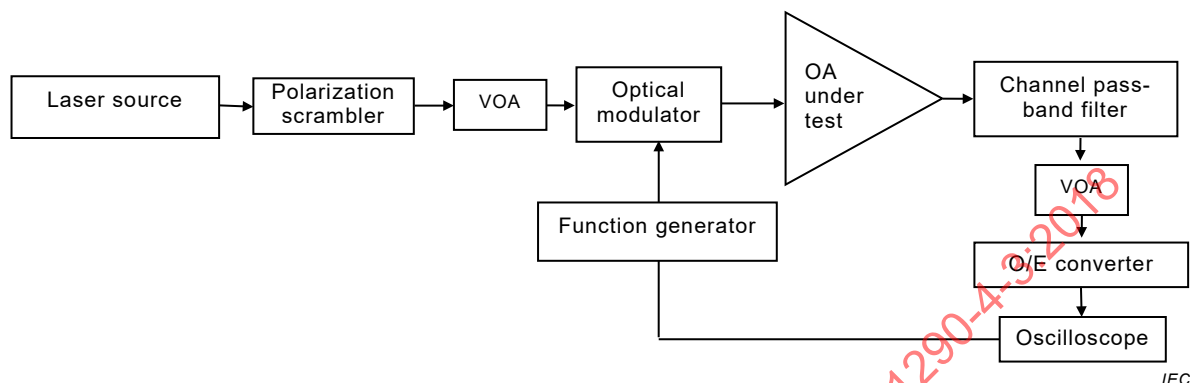


Figure 1 – Power transient test set-up

4.2 Characteristics of test equipment

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

- a) Laser source for supplying the OA input signal with the following characteristics.
 - ability to support the range of signal wavelengths for which the OA under test is to be tested. This could be provided for example by a tuneable laser, or a bank of distributed feedback (DFB) lasers;
 - an achievable average output power such that at the input to the OA under test, the power will be above the maximum specified input power of the OA, including loss of any subsequent test equipment between the laser source and OA under test.
 - b) Polarization scrambler to randomize the incoming polarization state of the laser source, or to control it to a defined state of polarization (SOP). The polarization scrambler is optional.
 - c) Variable optical attenuator (VOA) with a dynamic range sufficient to support the required range of surviving signal levels at which the OA under test is to be tested.
- NOTE If the output power of the laser source can be varied over the required dynamic range, then a VOA is not needed.
- d) Optical modulator to modify the OA input signal to the defined power excursion with the following characteristics;
 - extinction ratio at rewrite without putting a number higher than the maximum drop level for which the OA under test is to be tested;
 - switching time fast enough to support the fastest slew rate for which the OA under test is to be tested.
 - e) Channel pass-band filter: an optical filter designed to distinguish the signal wavelength with the following characteristics. Note that the use of a channel pass-band filter is optional:
 - ability to support the range of signal wavelengths for which the OA under test is to be tested. This could be provided for example by a tuneable filter, or a series of discrete filters;
 - 1-dB passband of at least ± 20 GHz centred around the signal wavelength;

- more than 20 dB attenuation level below the minimum insertion loss across the entire specified transmission band of the OA under test, except within a range of ± 100 GHz centred around the signal wavelength.
- f) VOA before the optical-to-electrical (O/E) converter to ensure the maximum power is within the linear response range.
- g) Optical-to-electrical (O/E) convertor to detect the filtered output of the OA under test with the following characteristics:
 - a sufficiently wide optical and electrical bandwidth to support the fastest slew rate for which the OA is to be tested;
 - a linear response within a ± 5 dB range of all signal levels for which the OA under test is to be tested.
- h) Oscilloscope to measure and capture the transient response of the optically filtered output of the OA under test, with a sufficiently wide electrical bandwidth to support the fastest slew rate for which the OA is to be tested.
- i) Function generator to generate the input power transient waveforms to drive the optical modulator, with electrical pulse width short enough and electrical slew rate high enough to support the fastest slew rate for which the OA under test is to be tested.

5 Test sample

The OA shall operate under nominal operating conditions. If the OA is likely to cause laser oscillations due to unwanted reflections, optical isolators should be used to isolate the OA under test. This will minimize signal instability.

6 Procedure

6.1 Test preparation

In the set-up shown in Figure 1, the input optical signal power injected into the amplifier being tested is generated from a suitable laser source. The optical power is passed through an optional polarization scrambler to allow randomization or control of the signal polarization state and is subsequently adjusted with a VOA to the desired optical input power levels. The signal then passes through an optical modulator driven by a function generator that provides the desired input power test waveform to stimulate the transient input power excursions. The signal is then injected into the amplifier being tested. A channel pass-band filter (such as a tuneable optical filter, fixed optical filter or similar component) may be used to select only the relevant channel wavelength under test, followed by an O/E converter and an oscilloscope at the output of the amplifier. The output channel selected by the optional channel pass-band filter including its transient response is monitored with the O/E converter and oscilloscope. Waveforms similar to those shown in Figure A.3 are captured via the oscilloscope for subsequent computer processing.

Prior to measurement of the transient response, the input power waveform trace shall be recorded. Use the set-up of Figure 1 without the OFA under test. The input optical connector from the optical modulator is connected to the channel pass-band filter.

For this test, to stimulate a power excursion at the input of the OA under test, the source laser power at the OA input is set at some typical power level. The function generator waveform is chosen to increase or decrease the input power to the OA under test with power excursions and slew rate relevant to the defined test condition. For example, for a typical number in the case of an optical receiver, the input power to the OA could be increased by 7 dB in a timeframe of 50 μ s and then held at this power value to simulate a power increase transient power response (step transient) condition as shown in Figure A.1 a). For alternative transient control measurements, the signal generator waveform is controlled appropriately, and the VOA is adjusted accordingly.

6.2 Test

Several sequential transient control measurements can be performed according to the OA's specified operating conditions. Examples of power excursion scenarios are shown in Table 1. These measurements are typically performed over a broad range of input power levels.

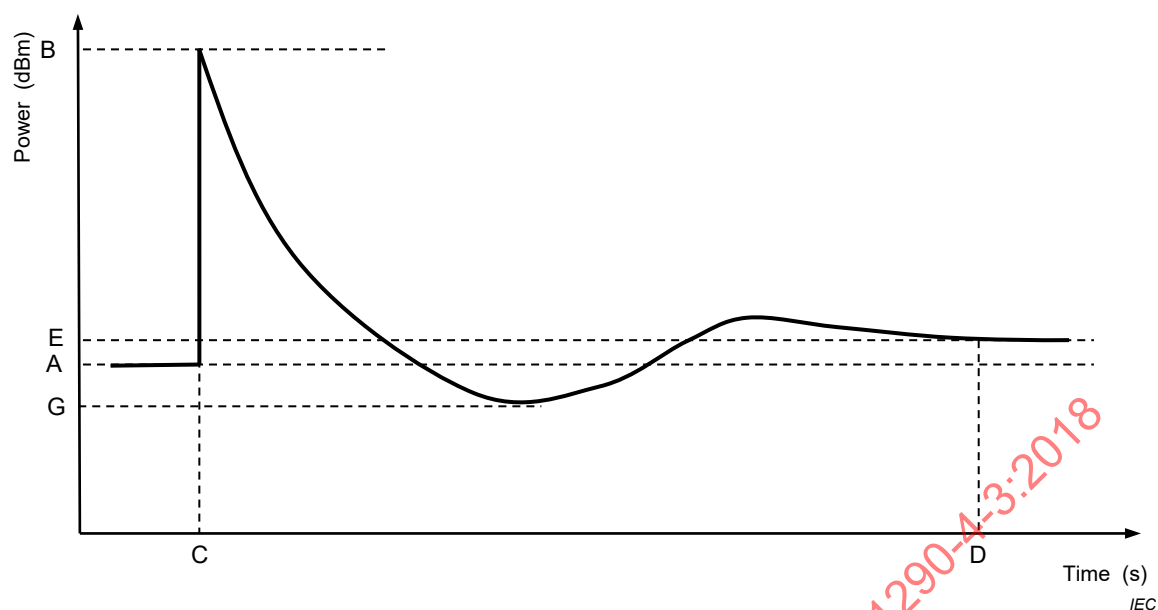
Table 1 – Template for transient control measurement test conditions

Scenario	Power excursion dB	Slew rate μs
Input power step transient increase/reduction	3, 7	500, 200, 50
Input power pulse transient	3, 7	500, 200, 50
Input power lightning bolt transient	± 3, ± 7	500, 200, 50

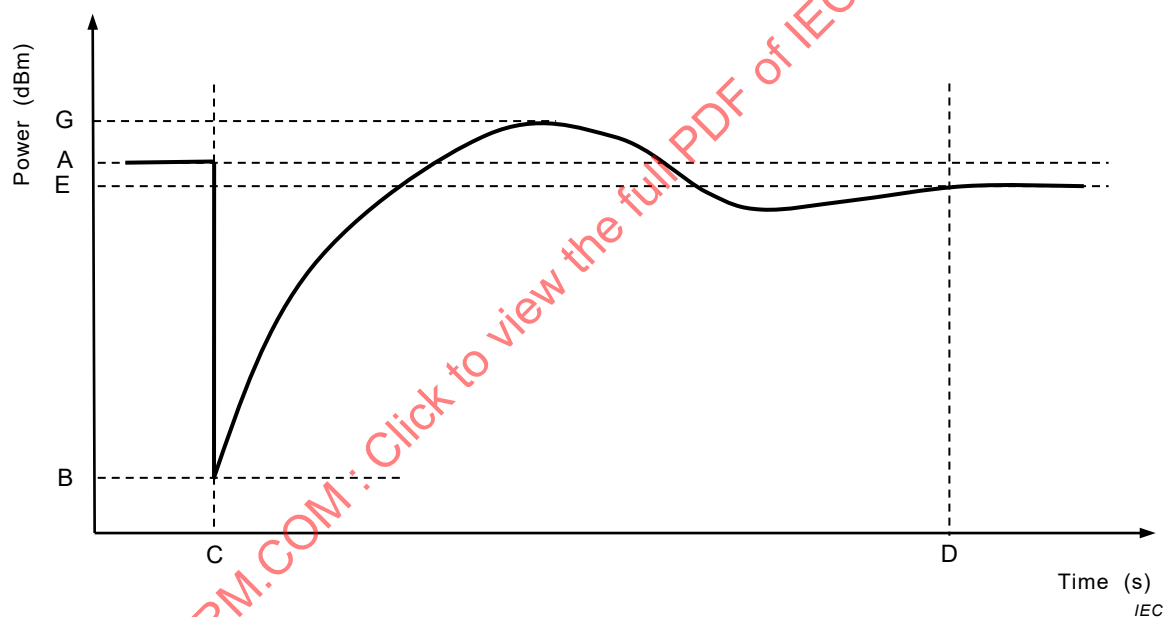
7 Calculations

Transient parameters can be calculated by processing amplifier output power transient waveforms shown in Figure 2 a) and b), using the following criteria:

- transient power response (dB) = $B - A$;
- transient power overcompensation response (dB) = $G - A$;
- steady state power offset (dB) = $E - A$;
- transient power response time (μs) = $D - C$.



a) Channel input power increase



b) Channel input power decrease

**Figure 2 – OA output power transient response
of a) input power increase and b) decrease**

8 Test results

8.1 Test setting conditions

The following test setting conditions shall be recorded:

- arrangement of the test set-up;
- details (make and model) of each piece of test equipment;
- set-up condition of each piece of test equipment (e.g. operating speed of polarization scrambler, resolution bandwidth of optical spectrum analyzer (OSA));
- mounting method of test sample;
- ambient conditions for the test sample;
- input optical wavelength λ_{in} .

8.2 Test data

The following test data shall be recorded:

- a) input optical power, P_{in} trace;
- b) output optical power P_{out} trace;
- c) signal-to-ASE ratio (Sig_ASE) at operating condition before and after excursion;
- d) OFA laser pump power before and after excursion;
- e) OA reported input power before and after input excursion (where available);
- f) OA reported output power before and after input excursion;
- g) OA reported internal temperature (where available);
- h) measurement accuracy of each piece of test equipment;
- i) temperature of test sample;
- j) transient power response;
- k) transient power overcompensation;
- l) steady state power offset;
- m) transient power response time.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61290-4-3:2018

Annex A

(informative)

Overview of power transient events in single channel EDFA

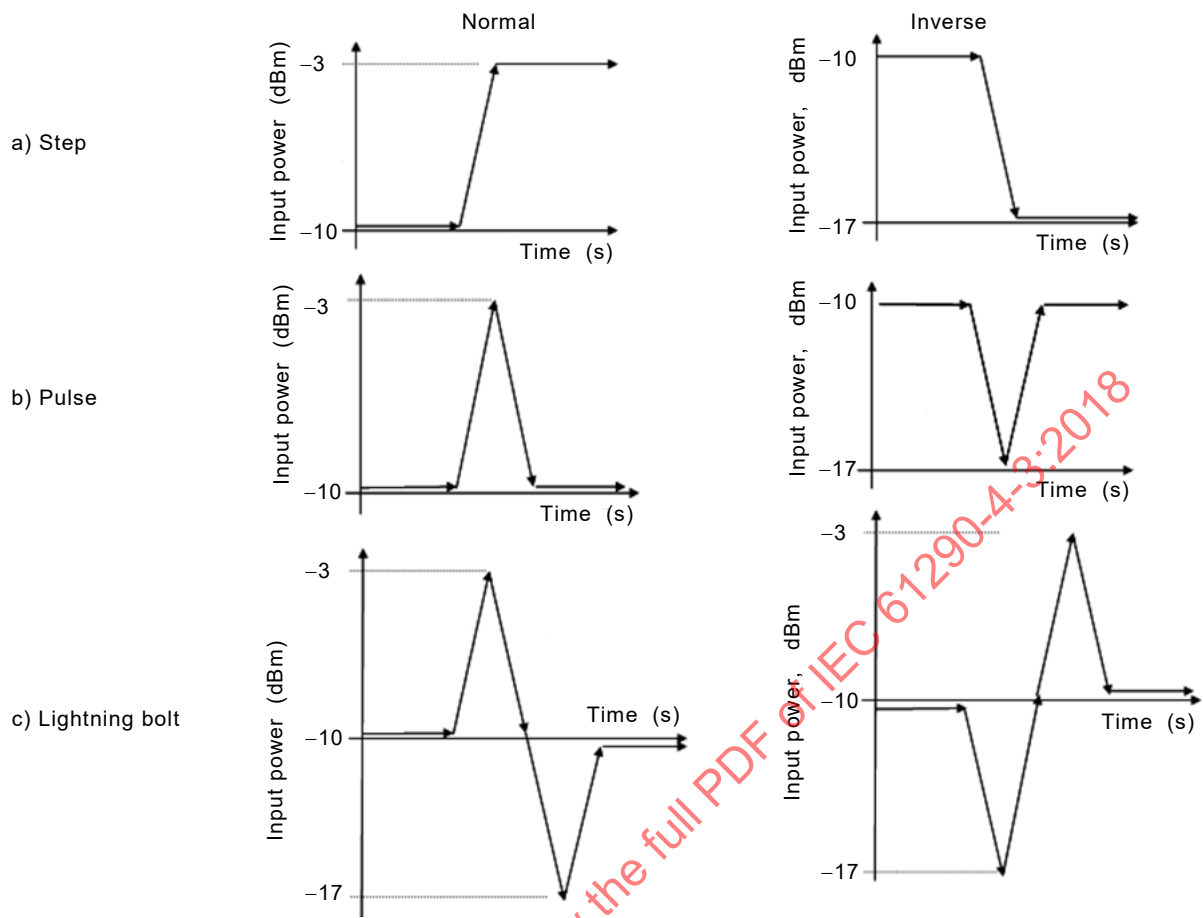
A.1 Background

The input signal to a terminal OFA is normally a single channel erbium-doped fibre amplifier (EDFA) with a wide dynamic range as a result of channel power excursions throughout the network. The input signal will accumulate fast power variations, which are caused by concatenation of transient overshoot/undershoot excursions from the preceding chain of imperfect EDFA that transport channels. Those well-known gain transients arise as a result of add/drop events throughout the network, even though each EDFA is operated in constant gain mode with state-of-the-art gain transient suppression (typically, less than ± 1 dB gain overshoot/undershoot from each EDFA). The temporal steepness and over/undershoot magnitude of those transients will accumulate with the number of EDFAs passed, and eventually a transient event with considerable power variations will arrive at the input of the terminal EDFA. The shape of this single-channel power transient event is directly dependent on the transient output power shape of the preceding inline EDFAs.

A.2 Characteristic input power behaviour

The characteristic input power behaviour of a single channel terminal OFA is shown in Figure A.1 a), b) and c), which is a consequence of add/drop events in the preceding amplifier chain. The figure specifically represents time dependence of the input power changes with example timings. The step, pulse and lightning bolt transient power response, and power offset response are particularly critical to carriers and network equipment manufacturers (NEM), given that the terminal OA is immediately followed by a channel receiver. A properly designed OA will have small values for these transient parameters.

Specific measurement parameters of the input power changes are detailed in Figure A.2 with reference to the lightning bolt scenario.



IEC

NOTE As an example of receivers, these are example numbers.

Figure A.1 – Example OA input power transient cases for a receiver application

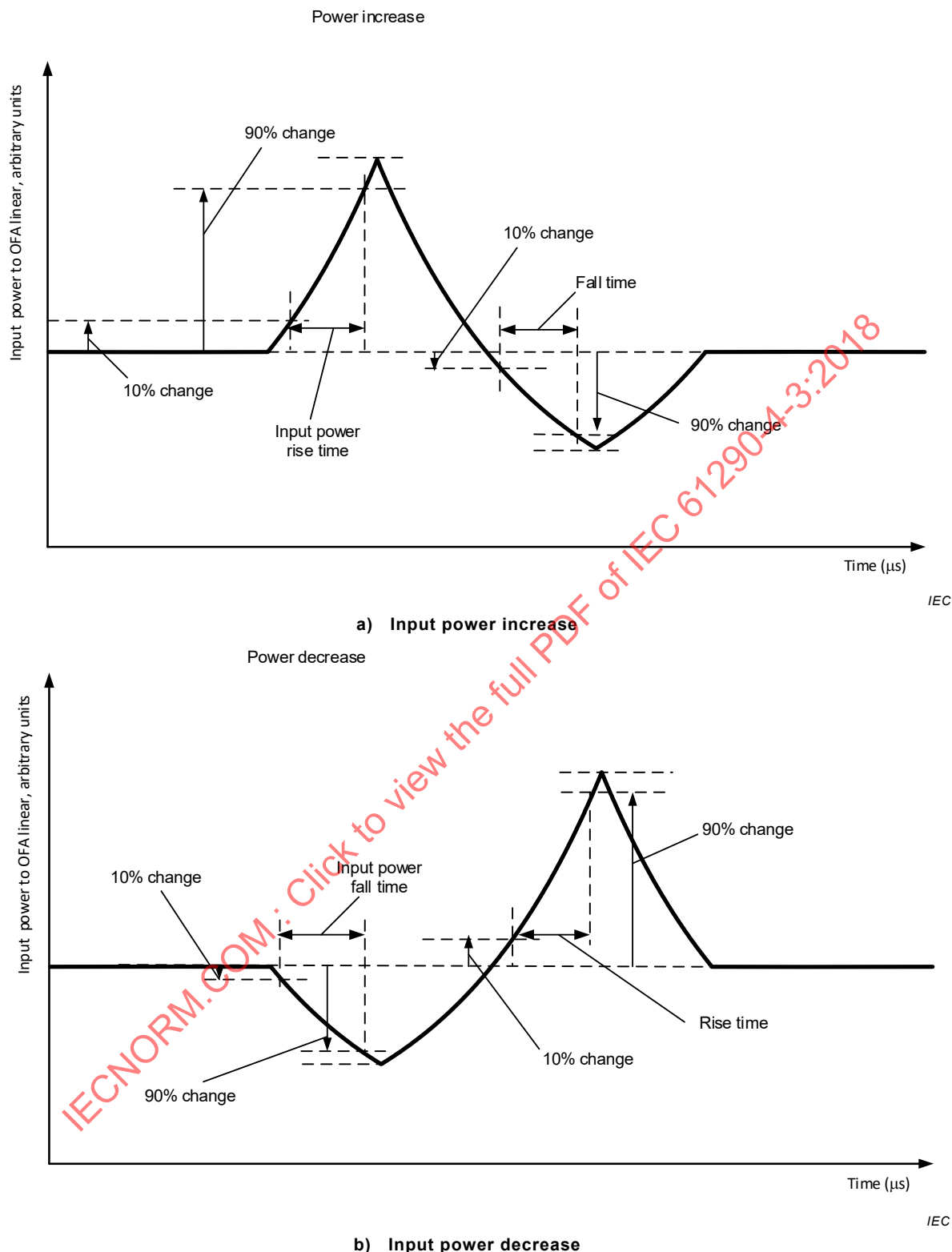


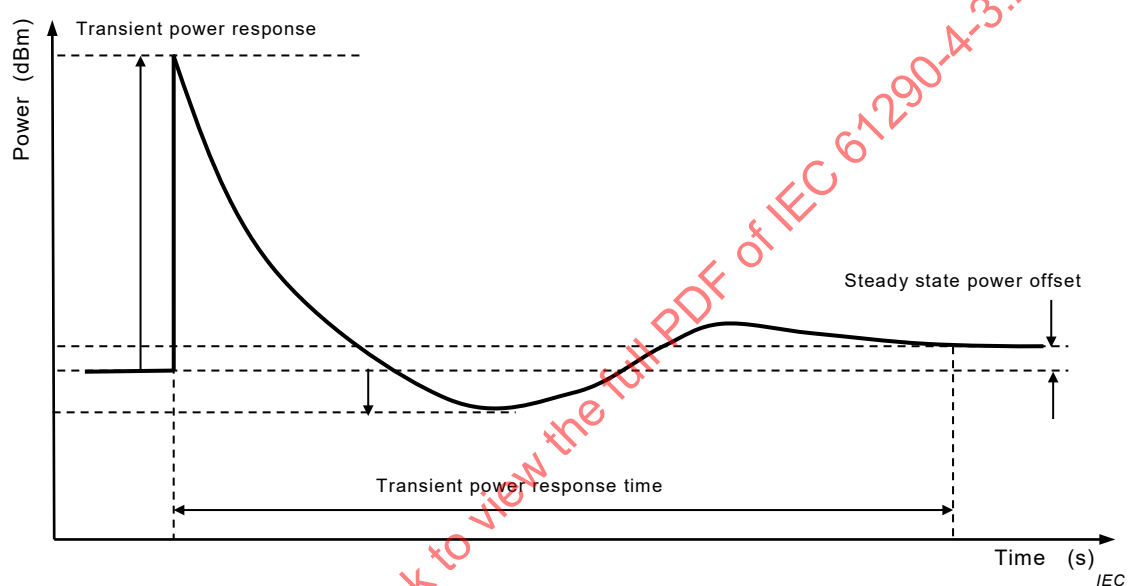
Figure A.2 – Input power measurement parameters

It is important that a single channel OA placed next to a receiver is operated in automatic power control (APC) mode in order to suppress these input power transient excursions. This is referred to as output power transient controlled operation. Moderate transient power excursions incident on the receiver are manageable, depending on the receiver dynamic range and the bandwidth of the receiver AGC. However, excessive optical powers at the receiver either can result in data misreadings giving unwanted bit errors or can permanently damage the receiver.

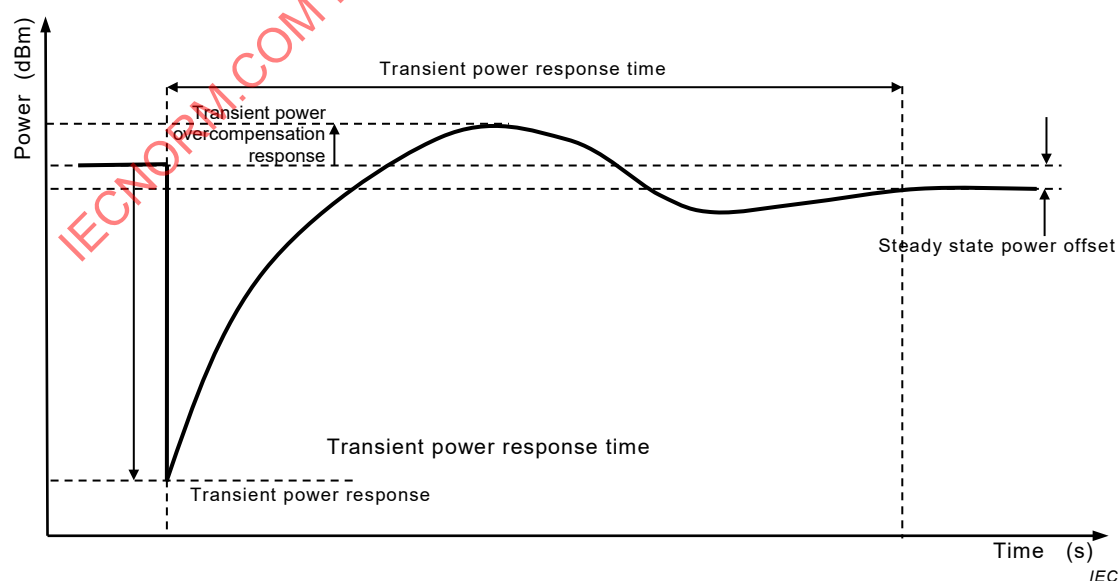
A.3 Parameters for characterizing transient behaviour

The parameters generally used to characterize the transient behaviour of a power controlled OA for the case of channel step increase/reduction are defined in Figure A.3. Figure A.3 a) specifically represents the time dependence of the output power of the OA when the input power is rapidly increased. Likewise, the transient power behaviour for the case when the input power is rapidly decreased is shown in Figure A.3 b).

The important transient parameters are transient power overshoot/undershoot, transient power response settling time and steady state power offset. For a power-controlled amplifier, a reduction in input power results in an output power undershoot, and an increase in output results in an output power overshoot. This is in contrast to a gain-controlled amplifier, where a reduction in input power results in a gain overshoot, and an increase in input power results in a gain undershoot.



a) Channel input power increase



b) Channel input power decrease

Figure A.3 – OA output power transient response

Annex B (informative)

Background on power transient phenomena in a single channel EDFA

B.1 Amplifier chains in optical networks

Optical networks commonly incorporate a chain of optical amplifiers to manage fibre loss as well as losses incurred by optical components providing functions such as dispersion compensation or channel add/drop. As the network is developing into a mesh structure, channels may pass through a number of different optical paths before arriving at a receiver with a consequential impact of unexpected power variations due to compounded compensation of channel add-drops within networks components, especially transient control of in-line optical amplifiers. The resilience of the receiver to these unexpected optical power variations is key to a correctly functioning optical network.

It is common in existing 10 Gb/s systems for the last line amplifier in the WDM link to be a preamplifier with the entire dense wavelength division multiplexing (DWDM) comb being amplified collectively. Nevertheless, there is an increasing need for amplifiers on each channel to pre-amplify further the optical channel prior to the receiver. This single channel OFA is inserted to help meet the stringent optical signal-to-noise ratio (OSNR) requirements of modern modulation formats and overcome the losses of specialized optical components, including optical discriminators or demodulators, polarization demultiplexers, tuneable dispersion compensators, and tuneable filters in the receiver chain. The total output power of this single-channel OFA is composed of signal power and amplified spontaneous emission (ASE) noise. The signal power and ASE power is sometimes unfiltered and not attenuated by an optical band-pass filter, demultiplexer or specialized components downstream of the OFA. This is particularly true for colourless receivers, which are broadband and not wavelength specific.

B.2 Typical optical amplifier design

The typical design of an optically amplified receiver consists of a channel selector, an OFA, a photon detector, a limiting amplifier, and an electrical low pass filter. Pre-amplifier OFAs have become an integral part of optical receivers since their performance boosts the sensitivity of the receiver photon detector. However, noise is generated within a pre-amplifier EDFA as a result of spontaneous de-excitation of the excited erbium ions. As the ions have a finite excited state lifetime, some return spontaneously to the ground state emitting a photon that is incoherent with respect to the incoming optical signal, as opposed to a photon generated by stimulated emission. This background noise is known as ASE, and it is the dominant noise element in pre-amplifier EDFAs.

Optical power transients are sub-millisecond fluctuations in network power levels that are caused by events such as planned or accidental channel loading changes, passive loss variations, or 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 population inversion with a corresponding increase in gain, in a matter of microseconds. This gain change results in channel power overshoot which is detrimental to network service providers (NSPs), given that their networks will no longer operate at the gain level for which they were optimized, potentially impacting service quality. Power fluctuations accumulate with each OFA in the system and, if left unabated, will enter a single channel OFA upstream of a receiver and will be amplified, causing the transient to enter the receiver. This can result in a cumulative transient overshoot or undershoot at the receiver that can grow to exceed the dynamic range of the receiver. The subsequent increase in bit error ratio (BER) results in quality of service degradation or, in some circumstances, can even damage a receiver as a result of excessive optical power.

Line OFA in the optical repeaters along the transmission system typically operate in constant gain mode. An OFA that is operating with constant gain will replicate and amplify channel power transients entering the input at the output, which is detrimental for a single channel amplifier in an amplified receiver.

It is imperative that any single channel OFA situated close to a receiver be operated in constant output power mode in order to suppress transients. This is referred to as power transient controlled operation. Moderate transient power excursions incident on the receiver are manageable, depending on the receiver dynamic range and the bandwidth of the receiver AGC, but an excessively large power excursion can

- a) exceed the absolute maximum optical power rating of the receiver, leading to potential optical damage (OD) (particularly resulting from power overshoot),
- b) exceed the maximum operating optical power rating of the receiver, leading to eye opening penalty and a burst of errors leading to an outage (particularly resulting from power overshoot waveforms),
- c) drop below the minimum operating optical power rating of the receiver, leading to eye opening penalty and a burst of errors, leading to an outage (particularly resulting from power undershoot waveforms), or
- d) rapidly oscillate between cases b) and c) above, causing an outage (particularly resulting from lightning bolt power waveforms).

In addition to amplifying optical channels carrying data, an OFA generates and transmits ASE noise. The optical data signal is typically centred on one or more wavelengths corresponding to the channels standardised by the International Telecommunications Union (ITU). In contrast, the ASE is typically generated across a much broader wavelength range, for example around 40 nm, which is substantially within the gain bandwidth region of the OFA. The level of ASE depends upon the optical signal channel gain, the overall population inversion and temperature of the erbium-doped fibre (EDF). Further, the level of ASE produced by the OFA will also vary due to the loss variability of other optical components within the OFA, since passive losses affect the gain required in the EDF to attain a target gain in the OFA.

A measure of the amount of ASE relative to the signal power entering a single channel receiver is defined as the signal to ASE ratio (Sig_ASE). This is calculated as:

$$Sig_ASE = \frac{P_{out}}{P_{ASE}}$$

where

Sig_ASE is the signal to ASE ratio;

P_{out} is the signal power exiting the OFA;

P_{ASE} is the total ASE power exiting the OFA.

Ideally, the Sig_ASE of an amplifier is always positive because the signal power is greater than the sum of the ASE power exiting the OFA. It is preferred that higher levels of Sig_ASE are achieved as this is beneficial to low bit error rate detection of signal data, and single channel pre-amplifier OFA are designed to maximize Sig_ASE . Since operational conditions affect the amount of ASE, the value of Sig_ASE will also be operational.

Since the OFA is employed as a single channel amplifier, the gain shape with respect to wavelength of the OFA may or may not be gain flattened. Even with ideal gain flattening, the gain of the EDF varies with input channel wavelength. Therefore, ASE generated by the OFA varies widely over operational conditions. Signal wavelength discrimination is not inherently incorporated in the OFA because OFA control PDs are unable to discriminate signal channel power from ASE and are, ideally, relatively wavelength insensitive to ensure the OFA is adapted for operation at a range of ITU channels. The presence of an unpredictable amount

of ASE due to OFA input power or channel wavelength variation leads to transient power gain offset errors, and so the output channel power of the OFA will not have the ideal power level at the receiver, which consequently increases detection errors in an associated optical network.

B.3 Approaches to address detection errors

A number of approaches are known to address this problem. One common method employed in DWDM OFA is to estimate, through calibration, the amount of ASE for any operational condition. Since signal gain, temperature, EDF population inversion, and channel wavelength all impact the amount of ASE, the calibration routine to achieve an accurate estimate is prohibitive in test time and cost. Alternatively, in a fixed, single channel optical amplifier, it is known that inserting a fixed wavelength discriminating filter into the OFA can filter out the ASE at and beyond wavelengths a few nanometres above and below the bandwidth of the optical data signal. However, this approach is inflexible and impractical because the OFA becomes coloured by a fixed filter and can only be used for a fixed, defined channel wavelength matching the filter, requiring a different OFA to be manufactured for each signal channel wavelength. Using a fixed wavelength ASE discriminating filter cannot be applied to OFAs in systems that handle more than one channel over lifetime, for example in optical networks comprising transmitters that use tuneable laser sources. Use of an ASE flattening filter (AFF), similar to a gain-flattening filter (GFF), can increase the OFA Sig_ASE , as it will reduce the wavelength dependence of ASE; but it can only be optimized at a single gain and temperature, and thus does not eliminate the need for ASE calibration. Additionally, the use of an AFF adds cost to the OFA. Insertion of a tuneable optical filter in the OFA can provide ASE suppression with the required flexibility. Although tuneable filters with requisite optical performance are available, they are physically large, costly and require additional controls, making them less attractive for deployment in applications where cost or size is key.

As a result of the limitations of fixed filters and the cost and size of tuneable filters, many single channel OFAs employ no gain flattening, ASE flattening or tuneable filters. Thus, the OFA controller will only have total output power at the output PD available as a control signal parameter, as the output PD is exposed to the total output power comprised of both amplified signal channel and ASE power.

Four factors determine the power output of a single channel erbium-doped optical fibre amplifier: input optical power, input optical channel wavelength, optical pump power, and the population inversion level of the optical amplifier. The inversion level of an OFA 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 channel power increases at the OFA input, the optical power of the pumps will also need to be increased in order to maintain the output power. Similarly, if the channel power drops at the OFA input, the pumps will need to be rapidly decreased in order to maintain a constant power.

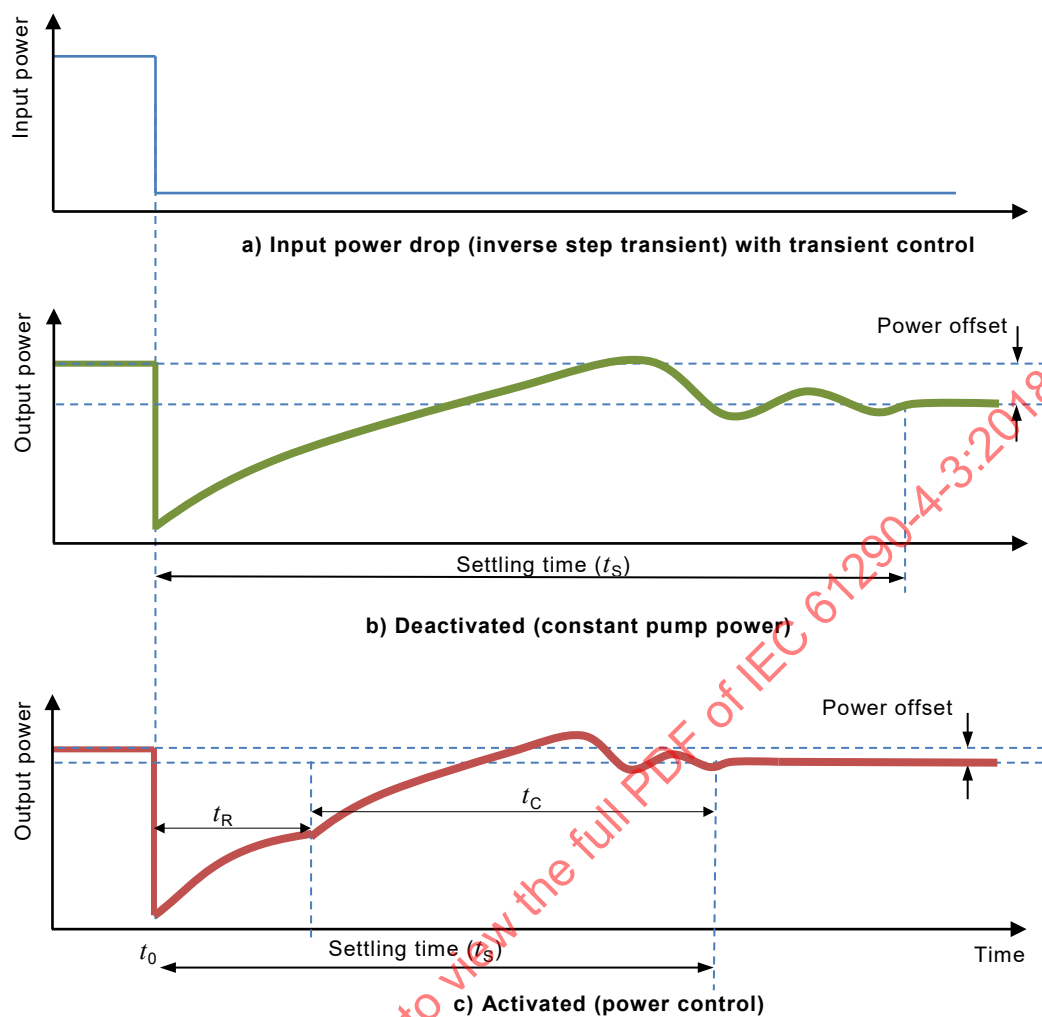
The output power of an OFA can be set by controlling the pump laser output power via pump current adjustments. The basic scheme for the pump control involves making measurement of input and output power of the OFA through signal taps and monitor PDs, computing an error signal from the monitor signals and driving the pump power via a high-speed proportional integral-derivative PID controller that might employ feed forward and feedback control.

Any error in post-transient output power is known as steady state power offset error and is related to the post transient ASE level, the channel wavelength and temperature. The time taken for the OFA to recover to the correct output power (called the power transient settling time) is determined by the time for the pump controller to respond and the pumping rate into the EDF, which is dependent upon the monitoring response, controller bandwidth, algorithm latency, and the erbium recovery and erbium saturation time constants. The output power transient settling time is the sum of these parameters and is dependent upon the output power, channel wavelength and EDF temperature. Generally, a higher output power amplifier will have a faster output power transient response time. Raising the temperature of the EDF and lowering the channel wavelength will also decrease the output transient response time.

The inherent ability for an OFA to respond to input transients depends upon two time constants related to the EDF. First is the erbium recovery time constant, which is the time it takes for pump power to create a change in the population inversion in the EDF. The second is the erbium saturation time constant, which is related to the decay time of the EDF population inversion. Both these time constants decrease with increasing population inversion; however, the saturation rate can be much faster than the erbium recovery rate in an operational OFA. Both recovery and saturation time constants are wavelength and temperature dependent. Longer channel wavelengths and cooler EDF temperatures result in the longest saturation time constant.

Any single channel OFA designed to suppress input power transients shall employ a controller that operates in constant output power mode with a power transient suppression controller algorithm in operation with its own controller time constant. When a single channel input power transient enters the OFA, the controller shall modify the pump power to attempt to set the output power level to the correct state.

Consider the OFA power transient response with no pump power controller, i.e. with the controller deactivated. When an inverse step input power transient excursion (reduced input power, Figure B.1 a)) enters the OFA, the gain of the uncontrolled OFA instantaneously remains constant, and so the output power reduces concomitantly with the drop in input power (Figure B.1 b)). After the input power has dropped at time t_0 , the gain begins to grow as a result of a change in the amplifier saturation condition at the new lower input power, and the output power rises. Eventually, the output power settles at time t_s at a new value corresponding to the new input power level and corresponding gain. Although the post-transient gain is higher, the post-transient output power is lower than that prior to the input power transient excursion/power drop, creating a steady state power offset error. The magnitude of power offset will depend upon the input power value prior to and after the step change, the temperature, ASE level and the relative saturation of the amplifier in these conditions.



IEC

Figure B.1 – Transient response to input power drop

Now consider the OFA transient response with the controller activated (see Figure B.1 c)), where the pump controller is able to respond to changes in output power and thus attempt to maintain the same total output power target (since output *SigP* and *ASEP* cannot be differentiated). When the input power transient step excursion reduces the instantaneous input power at time t_0 , the instantaneous gain of the OFA stays constant, so the output power drops. The magnitude of the output power change before the controller responds is called the output power transient undershoot. However, the OFA controller recognizes the output power has dropped and changes the pump power to increase the level of inversion of the EDF. During the erbium recovery time (t_R), the inversion level is not changed significantly, so the gain rises slowly. After t_R , the controller is able to affect the output power, and the gain rises more quickly than in the uncontrolled case. The post-transient output power then returns to a magnitude close to the pre-transient level, with a smaller steady state power offset error and settling in a time quicker, t_C , than the uncontrolled case. If the control is not well damped, there may be over-compensation of the output power before settling to the correct value, as shown in Figure B.1 c).

In the same manner, consider the case of an increase in input power for the OFA transient response with no pump power control, i.e. with the controller deactivated. When a step increase in input power enters the OFA (see Figure B.2 a)), the gain of the uncontrolled OFA prior to and immediately following the transient event is constant, and so the output power increases in response to the rise in input power, as seen in Figure B.2 b). Immediately following the input power transient, the gain begins to decrease due to increased gain saturation. Eventually, the output power settles at time t_S at a new magnitude corresponding

to the new input power level. Although the post-transient gain is lower, the post-transient output power is higher than that prior to the input power transient excursion, creating a gain offset error. The magnitude of the gain offset error is dependent upon the input power conditions and corresponding gain saturation level.

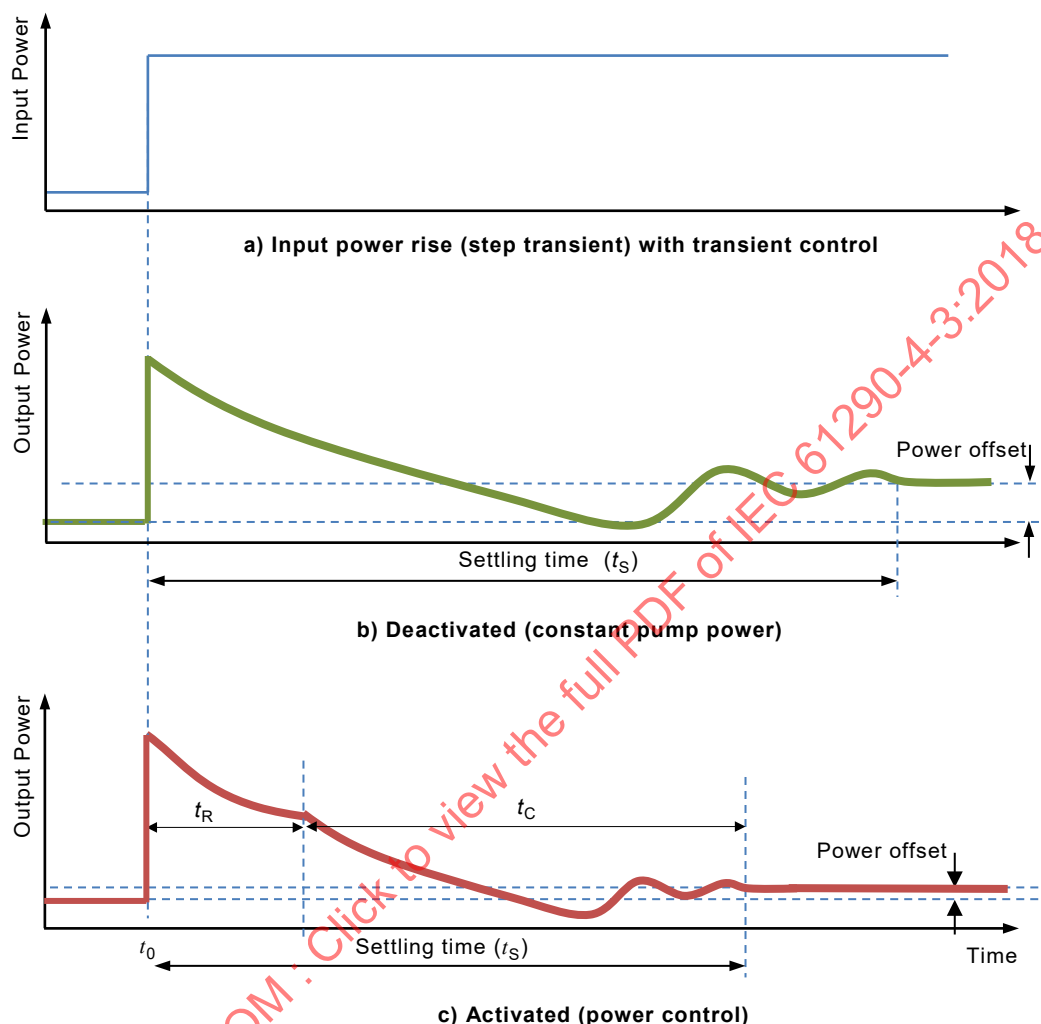


Figure B.2 – Transient response to input power rise

Now consider the OFA transient response with the controller activated (see Figure B.2 c)), where the pump controller responds to changes in output power and attempts to maintain the same total output power target (since output *SigP* and *ASEP* cannot be differentiated). When the input power transient excursion (step transient) at time t_0 enters the controlled OFA, the instantaneous gain of the OFA stays constant so the output power rises. The magnitude of the output power change before the controller responds is called the output power transient overshoot. The OFA controller acts to reduce the output power, and after the saturation recovery time t_R , the output power drops quickly due to a reduced inversion of the EDF. The gain and pump power now fall faster than the uncontrolled case, and the post transient output power returns to a magnitude close to the pre-transient level with a smaller steady state power offset error and settles in a time t_C , more quickly than the uncontrolled case. If the control is not well damped, there may be over-compensation of the output power before settling to the correct value.

Annex C

(informative)

Slew rate effect on transient gain response

When channel powers rise or fall, the speed of the input power transient shall be considered while measuring transient performance. Power transient control of OFA is generally realized by monitoring of input and output levels and through adjustment of the pump laser current. Optical design, monitor and controller bandwidth, and control algorithms affect transient response, as indicated in Annex A. However, the slew rate of the input power transient will also affect the OFA performance. Variation in the slew rate of the input transient waveform results from the speed of the transient event accumulated in the network or the switch speed used in testing apparatus.

If input power variations to the OFA change slowly, the power control system may be able to compensate transient phenomena adequately through pump power adjustment to minimize transient overshoot or undershoot. Thus, the transient response of the OFA will be minimized.

If input power to OFA changes rapidly (a faster slew rate or switch speed), the power control system may not be able to minimize overshoot or undershoot adequately, since the control mechanism of the OFA may not be fast enough to track and compensate the rapid input power variation. The response of the OFA will degrade as a result.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61290-4-3:2018

Bibliography

IEC 61290-3-3, *Optical amplifiers – Test methods – Part 3-3: Noise figure parameters – Signal power to total ASE power ratio*

IEC 61290-4-1, *Optical amplifiers – Test methods – Part 4-1: Gain transient parameters – Two-wavelength method*

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

O. Becker and Simpson, *Erbium-Doped Fibre Amplifiers, Fundamentals and Technology*, Academic Press, NY, 1999

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

Emmanuel Desurvire, *Erbium-Doped Fibre Amplifiers*, John Wiley & Sons, 1994

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

J. Gower, *Optical Communication Systems*, second edition, Prentice Hall Inc, 1993

W. Moench, "Measuring the Optical Signal-to-Noise Ratio in Agile Optical Networks", OFC, 2007

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

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

R. S. Tucker and D. M. Baney, *Optical Noise Figure: Theory and Measurement*, OFC, Anaheim, CA, 2001

R. Tucker and H. Kingston, *Optical Sources Detectors and Systems Fundamentals and Applications*, Academic Press, Inc, 1995

J. T. Verdeyen, *Laser Electronics*, third edition, Prentice Hall, 1995

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61290-4-3:2018

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	27
1 Domaine d'application	29
2 Références normatives	29
3 Termes, définitions et termes abrégés	30
3.1 Termes et définitions	30
3.2 Termes abrégés	31
4 Appareillage	32
4.1 Montage d'essai	32
4.2 Caractéristiques du matériel d'essai	32
5 Echantillon d'essai	33
6 Procédure	33
6.1 Préparation de l'essai	33
6.2 Conditions d'essai	34
7 Calculs	34
8 Résultats d'essai	35
8.1 Réglages d'essai	35
8.2 Données d'essai	36
Annexe A (informative) Présentation des événements de puissance transitoire dans un amplificateur à fibre dopée à l'erbium monocanal	37
A.1 Contexte	37
A.2 Comportement de puissance d'entrée caractéristique	37
A.3 Paramètres pour caractériser le comportement des transitoires	40
Annexe B (informative) Informations contextuelles sur les phénomènes de puissance transitoire dans un amplificateur à fibre dopée à l'erbium monocanal	42
B.1 Chaînes d'amplificateurs dans des réseaux optiques	42
B.2 Conception typique d'un amplificateur optique	42
B.3 Approches pour le traitement des erreurs de détection	44
Annexe C (informative) Effet du taux de variation sur la réponse de gain transitoire	50
Bibliographie	51
Figure 1 – Montage d'essai de puissance transitoire	32
Figure 2 – Réponse de puissance transitoire de sortie d'un amplificateur optique pour a) une augmentation et b) une diminution de puissance d'entrée	35
Figure A.1 – Exemples de cas de puissances transitoires d'entrée d'amplificateur optique pour des applications à récepteurs	38
Figure A.2 – Paramètres de mesure de puissance d'entrée	39
Figure A.3 – Réponse de puissance transitoire de sortie d'un amplificateur optique	41
Figure B.1 – Réponse transitoire à une chute de la puissance d'entrée	47
Figure B.2 – Réponse transitoire à une augmentation de la puissance d'entrée	48
Tableau 1 – Exemples de conditions d'essai de mesure de commande des transitoires	34

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

AMPLIFICATEURS OPTIQUES – MÉTHODES D'ESSAI –

**Partie 4-3: Paramètres de puissance transitoire –
Amplificateurs optiques monocanaux commandés
par la puissance de sortie**

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. A 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 61290-4-3 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 publiée en 2015. Cette édition constitue une révision technique

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente: alignement de la mesure d'une émission spontanée amplifiée sur la puissance d'un signal selon la définition de l'IEC 61290-3-3.

Le texte de cette Norme internationale est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
86C/1505/FDIS	86C/1512/RVD

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

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

La présente Norme internationale doit être utilisée conjointement avec l'IEC 61291-1:2012.

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 ce document 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 au document recherché. A cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

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.

AMPLIFICATEURS OPTIQUES – MÉTHODES D'ESSAI –

Partie 4-3: Paramètres de puissance transitoire – Amplificateurs optiques monocanaux commandés par la puissance de sortie

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 61290 s'applique aux sous-systèmes élémentaires à amplification optique et commandés par la puissance de sortie. Elle applique aux amplificateurs à fibres optiques utilisant des fibres actives dopées aux terres rares disponibles sur le marché, comme indiqué dans l'IEC 61291-1, mais aussi à des amplificateurs optiques alternatifs qui peuvent être utilisés pour un fonctionnement monocanal commandé par la puissance de sortie, tels que des amplificateurs optiques à semiconducteurs.

Le présent document a pour objet de fournir le contexte général pour les puissances transitoires des amplificateurs optiques et leurs mesures, ainsi que de décrire des méthodes d'essai normalisées de l'IEC pour effectuer des mesures précisés et fiables des paramètres des transitoires suivants:

- a) réponse de puissance transitoire;
- b) réponse de surcompensation de puissance transitoire;
- c) décalage de puissance en régime permanent;
- d) temps de réponse de puissance transitoire.

Les comportements des stimuli et des réponses étudiés incluent les éléments suivants:

- 1) augmentation de la puissance d'un canal (transitoire en échelon);
- 2) diminution de la puissance d'un canal (transitoire en échelon inverse);
- 3) augmentation/diminution de la puissance d'un canal (transitoire en impulsion);
- 4) diminution/augmentation de la puissance d'un canal (transitoire en impulsion inverse);
- 5) augmentation/diminution/augmentation de la puissance d'un canal (transitoire en éclair);
- 6) diminution/augmentation/diminution de la puissance d'un canal (transitoire en éclair inverse).

Ces paramètres ont été inclus pour fournir une description complète du comportement des transitoires d'un amplificateur optique commandé par la puissance transitoire de sortie. Les essais définis ici sont applicables si l'amplificateur est un amplificateur à fibres optiques ou un amplificateur optique alternatif. Toutefois, l'Annexe A décrit les performances physiques d'un amplificateur à fibres optiques et fournit une description détaillée du comportement des amplificateurs à fibres optiques, mais ne donne pas de description similaire d'autres types d'amplificateurs optiques. L'Annexe B fournit des informations contextuelles de descriptions détaillées du phénomène dynamique se produisant dans les amplificateurs commandés par la puissance de sortie dans des conditions transitoires et l'Annexe C précise l'effet produit par la vitesse des entrées transitoires.

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 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

signal d'entrée

signal optique délivré à l'amplificateur optique

3.1.2

excursion de puissance d'entrée

différence de puissance d'entrée relative avant, pendant et après l'événement de stimulus de puissance d'entrée qui cause une excursion de la puissance transitoire de l'amplificateur optique

Note 1 à l'article: L'excursion de puissance d'entrée est exprimée en dB.

3.1.3

temps de montée de puissance d'entrée

temps nécessaire pour que le signal optique d'entrée passe de 10 % à 90 % de la différence totale entre le niveau initial et le niveau final du signal pendant un événement d'excursion de puissance croissante

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

3.1.4

temps de descente de puissance d'entrée

temps nécessaire pour que le signal optique d'entrée passe de 90 % à 10 % de la différence totale entre le niveau initial et le niveau final du signal pendant un événement d'excursion de puissance décroissante

Note 1 à l'article: Voir Figure A.2 b).

3.1.5

taux de variation

vitesse maximale de variation du signal optique d'entrée pendant un événement d'excursion de puissance

Note 1 à l'article: Voir l'Annexe C.

3.1.6

réponse de puissance transitoire

écart maximal ou minimal (dépassement positif ou dépassement négatif) entre la puissance cible de l'amplificateur optique et l'excursion de puissance observée induite par une variation de l'excursion de puissance d'un canal d'entrée

Note 1 à l'article: Lorsque la puissance de sortie d'un canal amplifié s'écarte de sa puissance cible, il convient que les circuits électroniques de commande dans l'amplificateur optique compensent la différence de puissance ou la réponse de puissance transitoire, en remettant la puissance de sortie de l'amplificateur optique à son niveau cible d'origine.

Note 2 à l'article: La réponse de puissance transitoire est exprimée en dB.

3.1.7**temps de stabilisation de puissance transitoire**

durée nécessaire pour rétablir la puissance de l'amplificateur optique à un niveau de puissance stable proche du niveau de puissance cible

Note 1 à l'article: Ce paramètre est mesuré entre l'instant où l'événement de stimulus a créé la fluctuation de puissance et l'instant où la réponse de puissance de l'OA est stable et respecte la spécification.

3.1.8**réponse de surcompensation de puissance transitoire**

écart maximal entre la puissance de sortie cible de l'amplificateur et la puissance résultant de l'instabilité des circuits électroniques de commande

Note 1 à l'article: La réponse de surcompensation de puissance transitoire se produit après une excursion de puissance, quand les circuits électroniques de commande d'un amplificateur tentent de remettre la puissance au niveau cible de l'amplificateur. Le processus de commande est itératif et les circuits électroniques de commande peuvent initialement surcompenser l'excursion de puissance jusqu'à ce que le niveau souhaité de puissance cible soit atteint.

Note 2 à l'article: Le paramètre de réponse de surcompensation de puissance transitoire est généralement d'amplitude inférieure à celle de la réponse de puissance transitoire et de signe opposé.

Note 3 à l'article: La réponse de surcompensation de puissance transitoire est exprimée en dB.

3.1.9**décalage de puissance en régime permanent**

différence entre la puissance de sortie finale et la puissance de sortie initiale de l'amplificateur optique, avant l'événement de stimulus d'excursion de puissance

Note 1 à l'article: Normalement, le niveau de puissance en régime permanent suivant une excursion de puissance est différent de la puissance de l'amplificateur optique avant l'événement de stimulus de puissance d'entrée. Le dispositif de commande de transitoires tente d'empêcher ce décalage en utilisant une rétroaction.

Note 2 à l'article: Le décalage de puissance en régime transitoire est exprimé en dB.

3.2 Termes abrégés

AFF	ASE flattening filter (filtre égalisateur d'émission spontanée amplifiée)
CAG	dispositif de commande automatique de gain
APC	automatic power control (commande de puissance automatique)
ASE	amplified spontaneous emission (émission spontanée amplifiée)
ASEP	amplified spontaneous emission power (puissance due à l'émission spontanée amplifiée)
TEB	taux d'erreur binaire
DFB	distributed feedback (laser) (laser à rétroaction répartie)
DWDM	dense wavelength division multiplexing (multiplexage par répartition en longueur d'onde dense)
EDF	erbium doped fibre (fibre dopée à l'Erbium)
EDFA	erbium-doped fibre amplifieur (amplificateur à fibre dopée à l'erbium)
GFF	gain flattening filter (filtre égalisateur de gain)
NEM	network equipment manufacturer (fabricant d'équipements de réseaux)
NSP	network service provider (fournisseur de services de réseau)
O/E	optique vers électrique
OA	optical amplifieur (amplificateur optique)
OD	optical damage (détérioration optique)
OFA	optical fibre amplifieur (amplificateur à fibres optiques)
OSA	optical spectrum analyzer (analyseur de spectre optique)

OSNR	optical signal-to-noise ratio (rapport signal sur bruit optique)
PDs	photodiodes
PID	proportionnel, intégral, dérivé
SOA	semiconductor optical amplifier (amplificateur optique à semiconducteur)
Sig_ASE	signal-to-ase ratio (rapport signal sur émission spontanée amplifiée)
$SigP$	signal power (puissance du signal)
SOP	state of polarization (état de polarisation)
VOA	variable optical attenuator (affaiblisseur optique variable)
WDM	wavelength division multiplexing (multiplexage par répartition en longueur d'onde)

4 Appareillage

4.1 Montage d'essai

La Figure 1 représente un montage générique pour caractériser les propriétés des réponses transitoires d'amplificateurs optiques monocanaux commandés par la puissance de sortie.

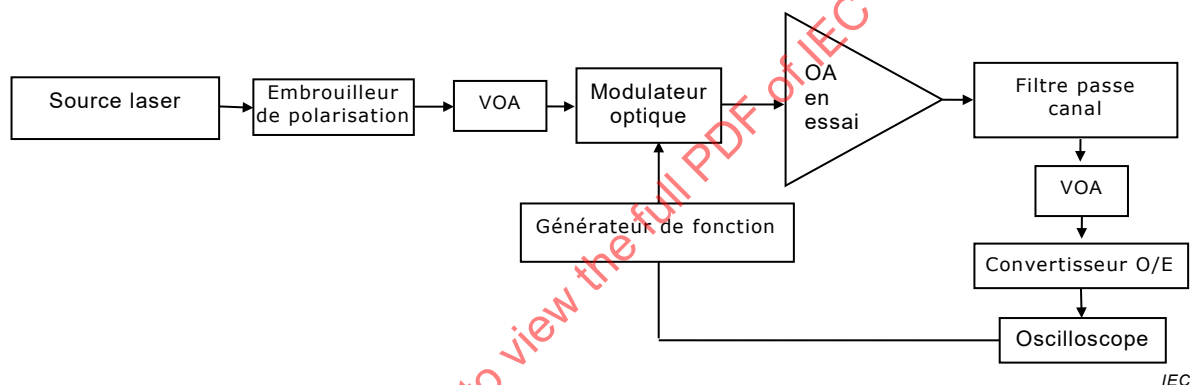


Figure 1 – Montage d'essai de puissance transitoire

4.2 Caractéristiques du matériel d'essai

Les matériels d'essai donnés dans la liste ci-dessous sont nécessaires, avec les caractéristiques exigées.

- Une source laser pour délivrer un signal d'entrée à l'amplificateur optique avec les caractéristiques suivantes:
 - aptitude à supporter la plage des longueurs d'onde de signal auxquelles l'amplificateur optique doit être soumis à essai. A cet effet, un laser accordable ou une batterie de lasers à rétroaction répartie (DFB) pourrait être utilisé;
 - une puissance de sortie moyenne réalisable, telle qu'à l'entrée de l'amplificateur optique en essai, la puissance sera supérieure à la puissance d'entrée maximale spécifiée de l'amplificateur optique, y compris les pertes de n'importe quel équipement d'essai suivant placé entre la source laser et l'amplificateur optique en essai.
- Un embrouilleur de polarisation pour rendre aléatoire l'état de polarisation entrant de la source laser, ou pour la commander à un état de la polarisation (SOP) défini. L'embrouilleur de polarisation est facultatif.
- Un affaiblisseur optique variable (VOA) de plage dynamique suffisante pour supporter la plage exigée de niveaux de signaux de survie auxquels l'amplificateur optique doit être soumis à essai.

NOTE Si la puissance de sortie de la source laser peut être soumise à des variations sur la plage dynamique exigée, alors l'affaiblisseur optique variable n'est pas nécessaire.

- d) Un modulateur optique pour modifier le signal d'entrée de l'amplificateur optique sur l'excursion de puissance définie avec les caractéristiques suivantes:
- taux d'extinction à la réécriture sans mettre une valeur supérieure au niveau de chute maximal auquel l'amplificateur optique doit être soumis à essai;
 - temps de commutation suffisamment rapide pour supporter le taux de variation le plus élevé auquel l'amplificateur optique doit être soumis à essai.
- e) Un filtre passe-bande de canal: filtre optique conçu pour distinguer la longueur d'onde du signal avec les caractéristiques suivantes. Noter que l'utilisation d'un filtre passe-bande de canal est facultative.
- Aptitude à supporter la plage des longueurs d'onde de signal auxquelles l'amplificateur optique doit être soumis à essai. Ceci peut être réalisé par un filtre accordable ou une série de filtres discrets.
 - Bande passante à 1 dB d'au moins ± 20 GHz centrée autour de la longueur d'onde du signal.
 - Niveau d'affaiblissement d'au moins 20 dB au-dessous de la perte d'insertion minimale sur toute la bande de transmission spécifiée de l'amplificateur optique en essai excepté à l'intérieur d'une plage de ± 100 GHz centrée sur la longueur d'onde du signal.
- f) Un affaiblisseur optique variable (VOA) avant le convertisseur optique vers électrique (O/E) en vue de garantir que la puissance maximale se situe dans l'intervalle de réponse linéaire.
- g) Un convertisseur optique vers électrique (O/E) pour détecter la sortie filtrée de l'amplificateur optique en essai avec les caractéristiques suivantes:
- une largeur de bande optique et électrique suffisamment grande pour supporter le taux de variation le plus élevé auquel l'amplificateur optique doit être soumis à essai;
 - une réponse linéaire dans une plage de ± 5 dB de tous les niveaux de signaux auxquels l'amplificateur optique doit être soumis à essai.
- h) Un oscilloscope pour mesurer et capturer la réponse transitoire de la sortie filtrée optiquement de l'amplificateur optique en essai, avec une largeur de bande électrique suffisamment grande pour supporter le taux de variation le plus élevé auquel l'amplificateur optique doit être soumis à essai.
- i) Un générateur de fonction pour générer des formes d'onde de puissance transitoire d'entrée pour exciter le modulateur optique, avec une largeur d'impulsions électriques suffisamment petite et un taux de variation électrique assez grand pour supporter le taux de variation le plus élevé auquel l'amplificateur optique doit être soumis à essai.

5 Echantillon d'essai

L'amplificateur optique doit fonctionner dans des conditions de fonctionnement nominales. Si l'amplificateur optique est susceptible de provoquer des oscillations lasers dues à des réflexions indésirables, il convient d'utiliser des isolateurs optiques pour isoler l'amplificateur optique en essai. Ceci réduira l'instabilité du signal.

6 Procédure

6.1 Préparation de l'essai

Dans le montage représenté à la Figure 1, la puissance du signal optique d'entrée injecté dans l'amplificateur en essai est générée à partir d'une source laser appropriée. La puissance optique est transmise par un embrouilleur de polarisation facultatif pour permettre de rendre aléatoire ou de commander l'état de polarisation du signal. Elle est ensuite ajustée avec un affaiblisseur optique variable sur les niveaux de puissance optique d'entrée désirés. Le signal traverse alors un modulateur optique piloté par un générateur de fonction qui délivre la forme d'onde d'essai de puissance d'entrée souhaitée pour stimuler les excursions de puissance d'entrée transitoire. Le signal est alors injecté dans l'amplificateur en essai. Un filtre

passe-bande de canal (par exemple un filtre optique accordable, un filtre optique fixe ou un composant similaire) peut être utilisé pour sélectionner uniquement la longueur d'onde d'un canal applicable en essai. Ce filtre est suivi d'un convertisseur O/E et d'un oscilloscope placé à la sortie de l'amplificateur. Le canal de sortie sélectionné par le filtre passe-bande de canal facultatif et sa réponse transitoire sont contrôlés par le convertisseur O/E et l'oscilloscope. Des formes d'onde similaires à celles représentées à la Figure A.3 sont capturées par l'oscilloscope pour être traitées par un ordinateur.

Avant de mesurer la réponse transitoire, la trace de la forme d'onde de la puissance d'entrée doit être enregistrée. Utiliser le montage de la Figure 1 sans l'amplificateur à fibres optiques en essai. Le connecteur optique d'entrée du modulateur optique est connecté au filtre passe-bande de canal.

Dans le cadre de cet essai, pour stimuler une excursion de puissance à l'entrée de l'amplificateur optique en essai, la puissance de la source laser à l'entrée de l'amplificateur optique est réglée à un certain niveau de puissance typique. La forme d'onde du générateur de fonction est choisie pour augmenter ou diminuer la puissance d'entrée vers l'amplificateur optique en essai avec des excursions de puissance et un taux de variation adaptés aux conditions d'essai définies. Par exemple, pour une valeur typique dans le cas d'un récepteur optique, la puissance d'entrée vers l'amplificateur optique pourrait être augmentée de 7 dB dans un délai de 50 µs, puis être maintenue à cette valeur de puissance pour simuler une condition de réponse de puissance transitoire à une augmentation de puissance (transitoire en échelon) comme indiqué à la Figure A.1 a). Pour des mesures alternatives de commande des transitoires, la forme d'onde du générateur de signal est commandée de manière appropriée, et l'affaiblisseur optique variable est ajusté en conséquence.

6.2 Conditions d'essai

Plusieurs mesures séquentielles de commande des transitoires peuvent être effectuées conformément aux conditions de fonctionnement spécifiées de l'amplificateur optique. Des exemples de scénarios d'excursion de puissance sont présentés dans le Tableau 1. Ces mesures sont typiquement effectuées sur une large plage de niveaux de puissance d'entrée.

Tableau 1 – Exemples de conditions d'essai de mesure de commande des transitoires

Scénario	Excursion de puissance dB	Taux de variation µs
Augmentation/diminution de puissance transitoire d'entrée en échelon	3, 7	500, 200, 50
Puissance transitoire d'entrée en impulsion	3, 7	500, 200, 50
Puissance transitoire d'entrée en éclair	± 3, ± 7	500, 200, 50

7 Calculs

Les paramètres des transitoires peuvent être calculés par un traitement des formes d'onde de puissance transitoire de sortie de l'amplificateur. Ces formes d'onde sont représentées à la Figure 2, en utilisant les critères suivants:

- réponse de puissance transitoire (dB) = B – A.
- réponse de surcompensation de puissance transitoire (dB) = G – A.
- décalage de puissance en régime permanent (dB) = E – A.
- temps de réponse de puissance transitoire (µs) = D – C.

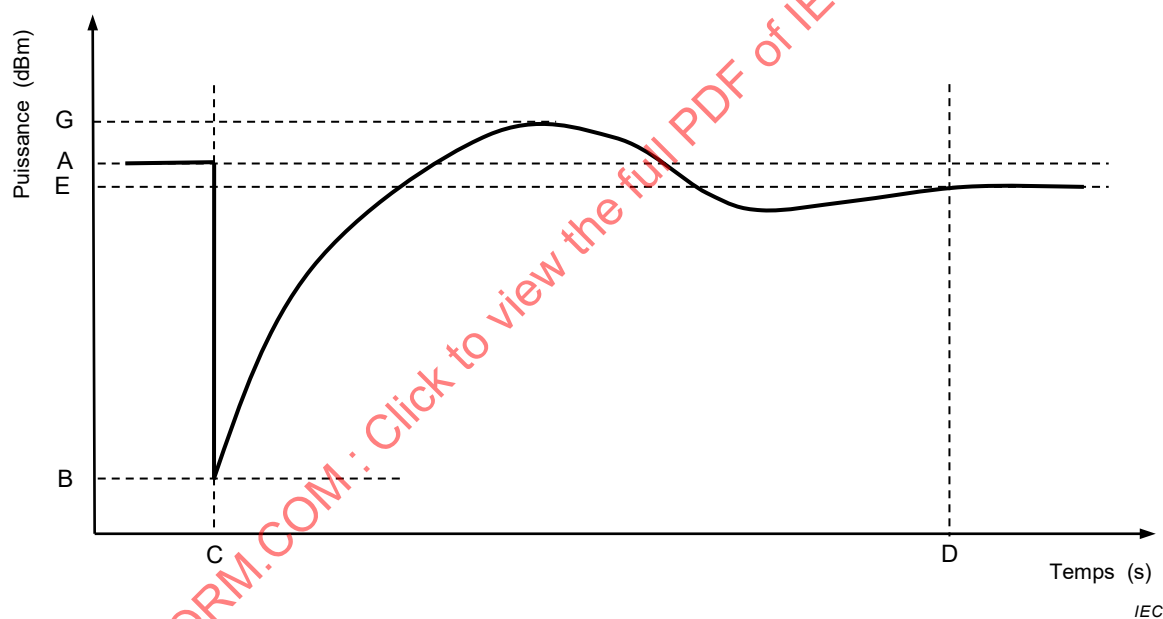
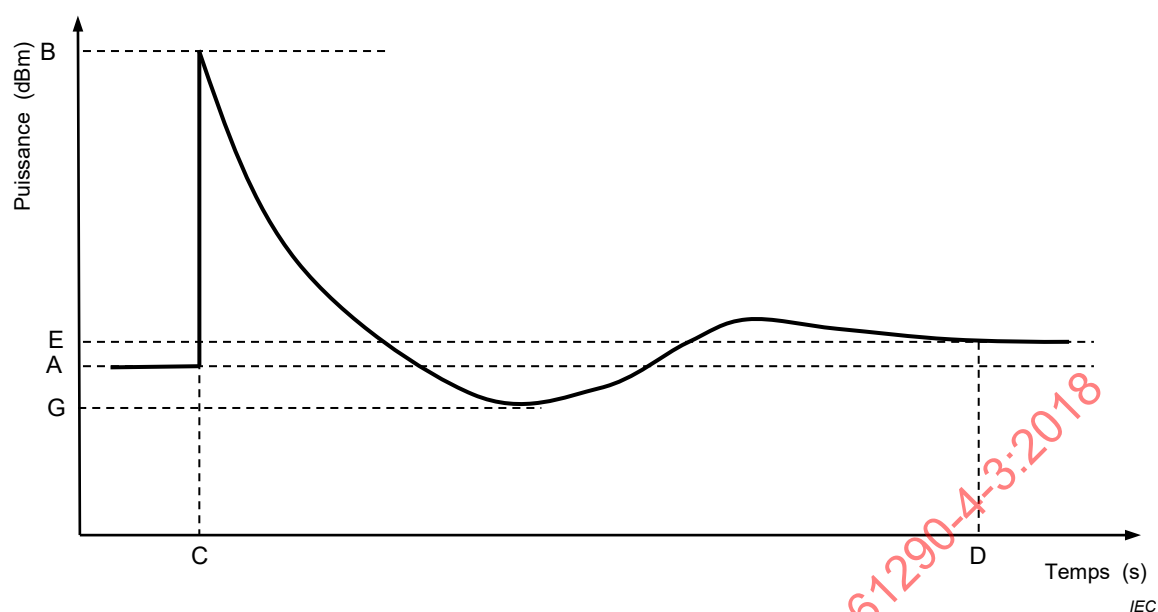


Figure 2 – Réponse de puissance transitoire de sortie d'un amplificateur optique pour a) une augmentation et b) une diminution de puissance d'entrée

8 Résultats d'essai

8.1 Réglages d'essai

Les conditions suivantes de réglages d'essai doivent être consignées:

- disposition du montage d'essai;
- détails (marque et modèle) de chaque matériel d'essai;
- condition de montage de chaque matériel d'essai (par exemple la vitesse de fonctionnement de l'embrouilleur de polarisation, la largeur de bande de résolution de l'analyseur de spectre optique);

- d) méthode de montage de l'échantillon d'essai;
- e) conditions ambiantes de l'échantillon d'essai;
- f) longueur d'onde optique d'entrée λ_{in} .

8.2 Données d'essai

Les données d'essai suivantes doivent être consignées:

- a) puissance optique d'entrée, trace P_{in} ;
- b) puissance optique de sortie, trace P_{out} ;
- c) rapport signal sur émission spontanée amplifiée (Sig_ASE) dans les conditions de fonctionnement avant et après l'excursion;
- d) puissance de pompage laser d'un amplificateur à fibre optique avant et après l'excursion;
- e) puissance d'entrée indiquée de l'amplificateur optique avant et après l'excursion (le cas échéant);
- f) puissance de sortie indiquée de l'amplificateur optique avant et après l'excursion;
- g) température interne indiquée de l'amplificateur optique (le cas échéant);
- h) précision de mesure de chaque matériel d'essai;
- i) température de l'échantillon d'essai;
- j) réponse de puissance transitoire;
- k) surcompensation de puissance transitoire;
- l) décalage de puissance en régime permanent;
- m) temps de réponse de puissance transitoire.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61290-4-3:2018

Annexe A (informative)

Présentation des événements de puissance transitoire dans un amplificateur à fibre dopée à l'erbium monocanal

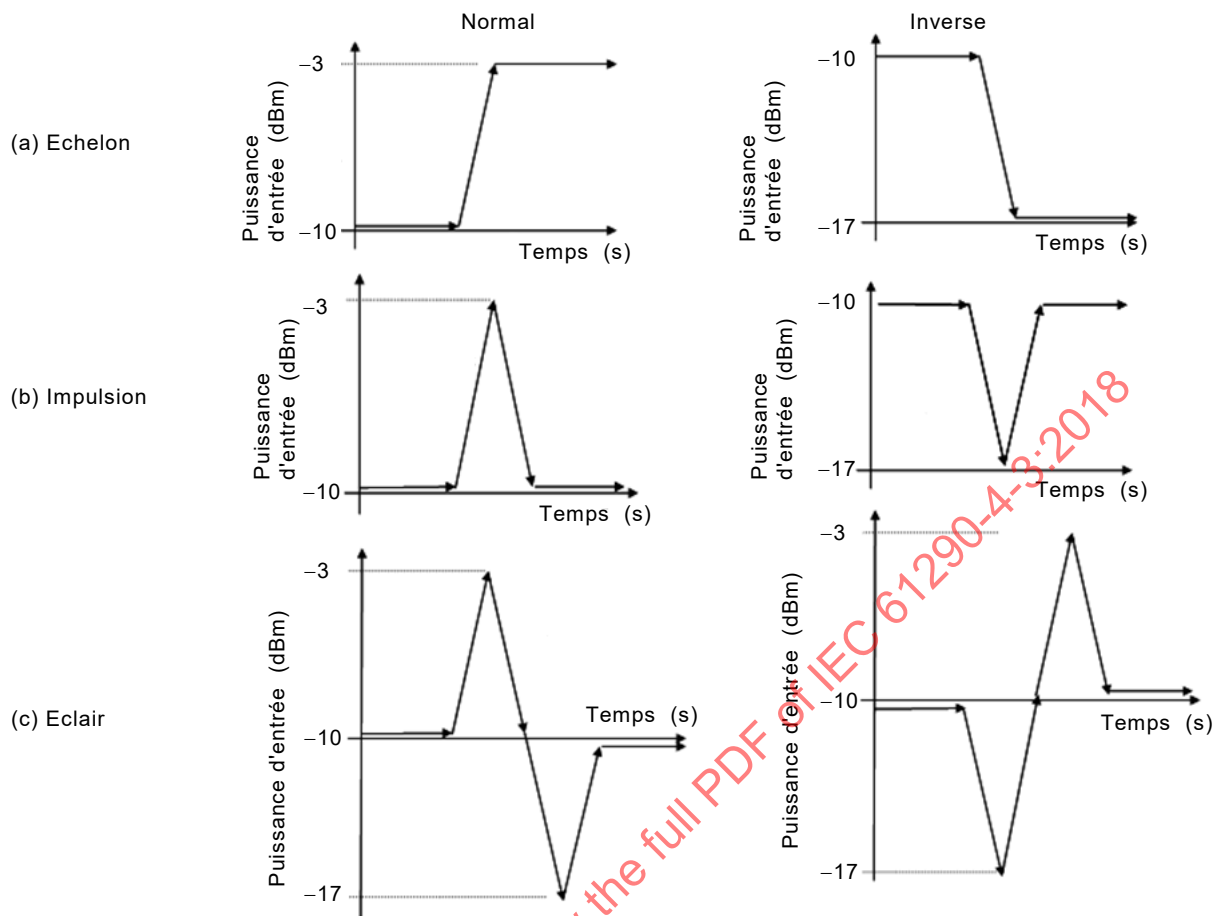
A.1 Contexte

Le signal d'entrée du dernier amplificateur à fibres optiques provient normalement d'un amplificateur à fibre dopée à l'erbium (EDFA) monocanal avec une large plage dynamique en raison des excursions de puissance de canal dans tout le réseau. Le signal d'entrée accumulera des variations rapides de puissance provoquées par l'enchaînement d'excursions de dépassements positifs/dépassements négatifs des transitoires de la chaîne d'amplificateurs à fibre dopée à l'erbium monocanaux imparfaits précédents qui transportent les canaux. Ces gains transitoires bien connus apparaissent en raison des événements d'ajout/de suppression dans tout le réseau, bien que chaque amplificateur à fibre dopée à l'erbium fonctionne en mode de gain constant avec une suppression élaborée des gains transitoires (typiquement, un dépassement positif/dépassement négatif du gain inférieur à ± 1 dB dans chaque amplificateur à fibre dopée à l'erbium). La raideur temporelle et l'amplitude des dépassements positifs et des dépassements négatifs de ces transitoires s'accumuleront avec le nombre d'amplificateurs à fibre dopée à l'erbium traversés, et au final, un événement transitoire comportant de très fortes variations de puissance arrivera à l'entrée du dernier amplificateur à fibre dopée à l'erbium. La forme de cet événement de puissance transitoire d'un seul canal dépend directement de la forme de la puissance transitoire de sortie des amplificateurs à fibre dopée à l'erbium en série précédents.

A.2 Comportement de puissance d'entrée caractéristique

Le comportement d'une puissance d'entrée caractéristique d'un dernier amplificateur à fibres optiques monocanal est représenté à la Figure A.1 a), b) et c). Ce comportement est la conséquence des événements d'ajout/suppression dans la chaîne d'amplificateurs précédents. La figure représente spécifiquement des variations de puissance d'entrée en fonction du temps pour différentes formes de transitoires. La réponse de puissance transitoire en échelon, en impulsion et en éclair, et la réponse du décalage de puissance sont particulièrement critiques pour les opérateurs et les fabricants d'équipements de réseau, parce que le dernier amplificateur optique est immédiatement suivi d'un récepteur de canal. Lorsqu'un amplificateur optique est correctement conçu, les valeurs de ces paramètres des transitoires sont faibles.

Des paramètres de mesure spécifiques des variations de puissance d'entrée sont détaillés à la Figure A.2 pour le cas de transitoires en éclair.



IEC

NOTE Il s'agit d'exemples de valeurs pour des récepteurs.

Figure A.1 – Exemples de cas de puissances transitoires d'entrée d'amplificateur optique pour des applications à récepteurs

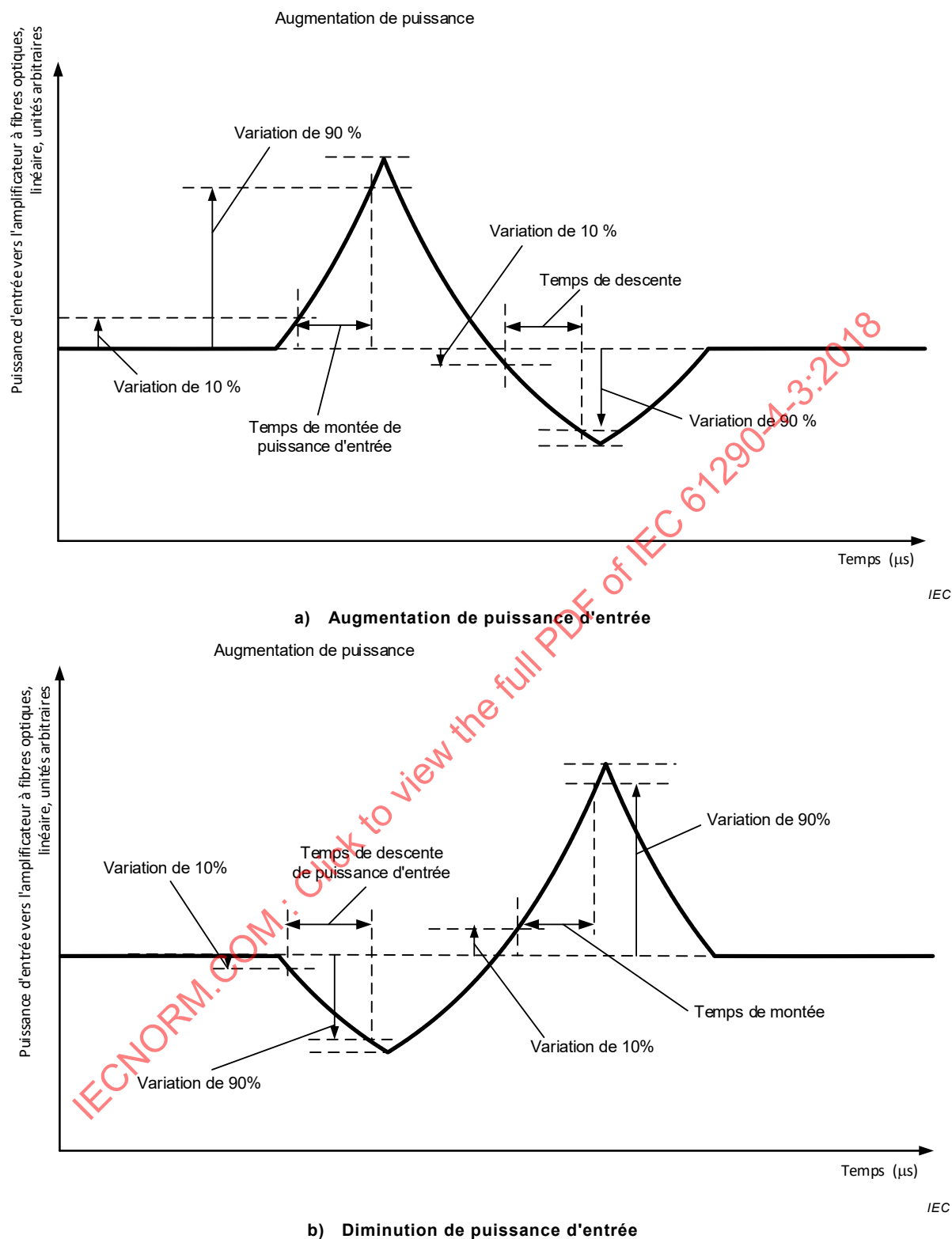


Figure A.2 – Paramètres de mesure de puissance d'entrée

Il est important qu'un amplificateur optique monocanal placé à côté d'un récepteur fonctionne en mode de commande de puissance automatique afin de supprimer ces excursions de puissance transitoire d'entrée. Ce mode de commande est appelé fonctionnement commandé par la puissance transitoire de sortie. Des excursions modérées de puissance transitoire arrivant sur le récepteur peuvent être gérées en fonction de la plage dynamique du récepteur et de la largeur de bande du dispositif de commande automatique de gain (CAG) du récepteur. Toutefois, des puissances optiques excessives au niveau du récepteur peuvent

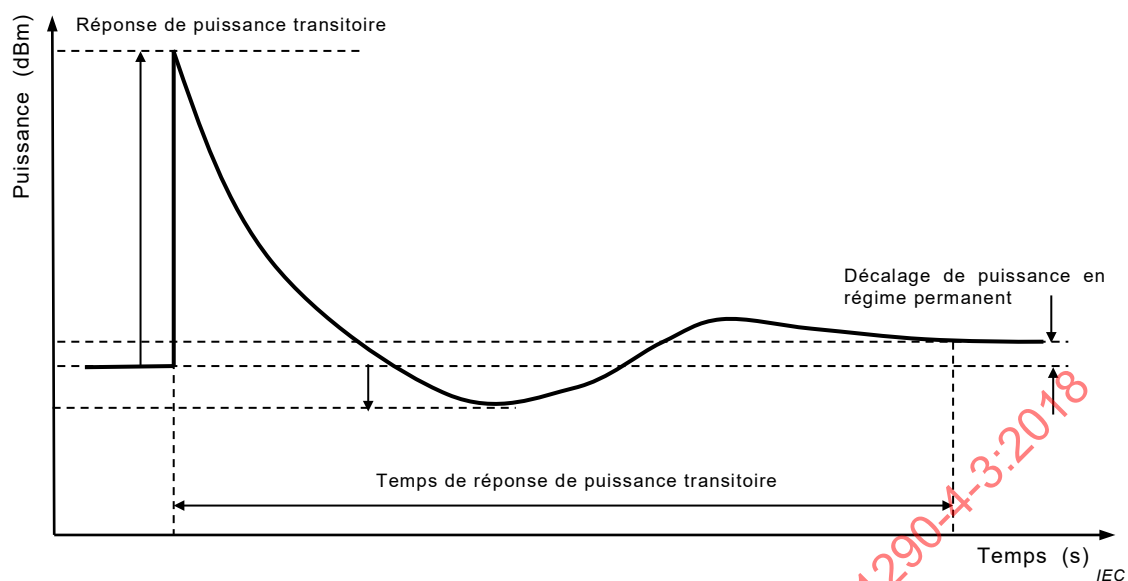
entraîner des erreurs de lecture générant des erreurs de bits indésirables ou une détérioration permanente du récepteur.

A.3 Paramètres pour caractériser le comportement des transitoires

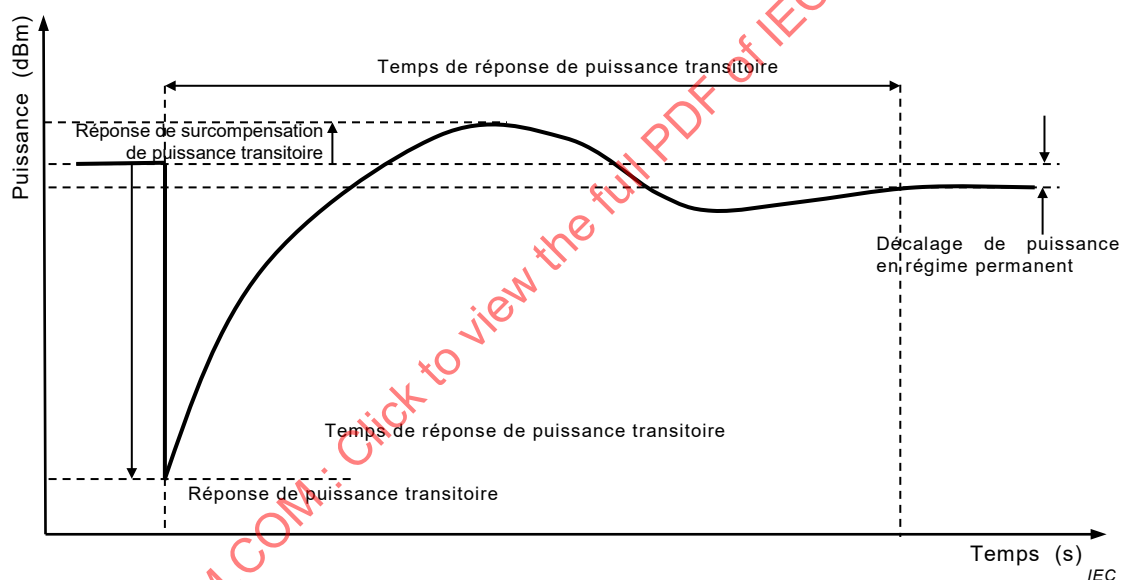
Les paramètres généralement utilisés pour caractériser le comportement des transitoires d'un amplificateur optique commandé par la puissance dans le cas d'une augmentation/diminution d'échelons d'un canal sont définis à la Figure A.3. La Figure A.3 a) représente spécifiquement la dépendance au temps de la puissance de sortie de l'amplificateur optique quand la puissance d'entrée augmente rapidement. De même, le comportement de la puissance transitoire quand la puissance d'entrée diminue rapidement est représenté à la Figure A.3 b).

Les paramètres importants des transitoires sont le dépassement positif/dépassement négatif de la puissance transitoire, le temps de stabilisation de réponse de puissance transitoire et le décalage de puissance en régime permanent. Pour un amplificateur commandé par la puissance, une diminution de la puissance d'entrée entraîne un dépassement négatif de la puissance de sortie, et une augmentation de la puissance de sortie entraîne un dépassement positif de la puissance de sortie. C'est le contraire d'un amplificateur commandé par le gain, dans lequel une diminution de la puissance d'entrée entraîne un dépassement positif du gain, et une augmentation de la puissance d'entrée entraîne un dépassement négatif du gain.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61290-4-3:2018



a) Augmentation de puissance d'entrée d'un canal



b) Diminution de puissance d'entrée d'un canal

Figure A.3 – Réponse de puissance transitoire de sortie d'un amplificateur optique

Annexe B (informative)

Informations contextuelles sur les phénomènes de puissance transitoire dans un amplificateur à fibre dopée à l'erbium monocanal

B.1 Chaînes d'amplificateurs dans des réseaux optiques

Les réseaux optiques intègrent généralement une chaîne d'amplificateurs optiques pour gérer les pertes dans les fibres et les pertes dues aux composants optiques réalisant des fonctions telles que la compensation de dispersion ou l'ajout/la suppression de canaux. Lorsque un réseau se développe en structure maillée, les canaux peuvent traverser un certain nombre de chemins optiques différents avant d'arriver à un récepteur avec des variations de puissance inattendues dues aux compensations des ajouts et des suppressions de canaux à l'intérieur des composants des réseaux, et en particulier la commande des transitoires des amplificateurs optiques en série. La résilience du récepteur à ces variations de puissance optique inattendues est un élément essentiel au bon fonctionnement d'un réseau optique.

Dans les systèmes de 10 Gb/s existants, le dernier amplificateur en série dans une liaison WDM est généralement un préamplificateur dont tout le peigne de multiplexage par répartition en longueur d'onde dense (DWDM) est amplifié collectivement. Néanmoins, les amplificateurs sont de plus en plus nécessaires sur chaque canal pour préamplifier davantage le canal optique avant le récepteur. Cet amplificateur à fibres optiques monocanal est inséré pour aider à satisfaire aux exigences strictes du rapport signal/bruit optique (OSNR) des formats de modulation modernes et pour éviter les pertes des composants optiques spécialisés, notamment les démodulateurs ou les discriminateurs optiques, les démultiplexeurs de polarisation, les compensateurs de dispersion accordables et les filtres accordables dans la chaîne de récepteurs. La puissance totale de sortie de cet amplificateur à fibres optiques monocanal est constituée de la puissance du signal et du bruit d'émission spontanée amplifiée. La puissance du signal et la puissance d'émission spontanée amplifiée ne sont pas toujours filtrées ni atténuées par un filtre passe-bande optique, un démultiplexeur ou des composants spécialisés placés en aval de l'amplificateur à fibres optiques. Ceci est particulièrement vrai pour les récepteurs incolores, qui présentent une bande large et ne sont pas spécifiques à une longueur d'onde.

B.2 Conception typique d'un amplificateur optique

La conception typique d'un récepteur amplifié optiquement comporte un sélecteur de canal, un amplificateur à fibres optiques, un détecteur de photons, un amplificateur limiteur et un filtre électrique passe-bas. Les amplificateurs à fibres optiques à préamplificateur font partie intégrante des récepteurs optiques puisque leurs performances améliorent la sensibilité du détecteur de photons du récepteur. Toutefois, le bruit est généré à l'intérieur d'un amplificateur à fibre dopée à l'erbium à préamplificateur en raison de la désexcitation spontanée des ions d'erbium excités. Puisque la durée de vie de l'état excité des ions est finie, certains ions reviennent spontanément à l'état neutre en émettant un photon qui est incohérent avec le signal optique entrant, par opposition à un photon généré par émission stimulée. Ce bruit de fond est connu sous le nom d'émission spontanée amplifiée. C'est l'élément de bruit dominant dans les amplificateurs à fibre dopée à l'erbium à préamplificateur.

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 des variations de charge de canaux, des variations de perte passive ou une commutation de protection du réseau, qu'elles soient planifiées ou accidentelles. Dans un environnement de gestion de réseau dynamique, les amplificateurs optiques doivent pouvoir compenser de telles variations de puissance afin d'éviter toute dégradation potentielle de la qualité de service. Par exemple, dans un scénario de reconfiguration de réseau, le nombre de canaux de multiplexage par répartition en longueur d'onde dense à l'entrée d'un amplificateur à fibres