

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Transmitting equipment for radiocommunication – Frequency response of optical-to-electric conversion device in high-frequency radio over fibre systems – Measurement method

Matériels émetteurs pour les radiocommunications – Réponse en fréquence des dispositifs de conversion optique-electrique dans des systèmes de transmission radio sur fibre haute fréquence – Méthode de mesure



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2016 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester. If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

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

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

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

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

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

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

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

A propos de l'IEC

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

A propos des publications IEC

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

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

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

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

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

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

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

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

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Transmitting equipment for radiocommunication – Frequency response of optical-to-electric conversion device in high-frequency radio over fibre systems – Measurement method

Matériels émetteurs pour les radiocommunications – Réponse en fréquence des dispositifs de conversion optique-electrique dans des systèmes de transmission radio sur fibre haute fréquence – Méthode de mesure

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 33.060.20

ISBN 978-2-8322-3392-4

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.....	4
INTRODUCTION.....	6
1 Scope.....	7
2 Normative references.....	7
3 Terms, definitions and abbreviations	7
3.1 Terms and definitions	7
3.2 Abbreviations	9
4 Optical-to-electrical (O/E) conversion device	9
4.1 Photo diode (PD)	9
4.1.1 General	9
4.1.2 Component parts	9
4.1.3 Structure.....	9
4.1.4 Requirements for PD	10
4.2 DFG device.....	10
4.2.1 General	10
4.2.2 Component parts	10
4.2.3 Structure.....	10
4.2.4 Requirements for DFG device.....	10
5 Sampling for quality control.....	11
5.1 Sampling.....	11
5.2 Sampling frequency.....	11
6 Measurement method of frequency response	11
6.1 Circuit diagram.....	11
6.2 Measurement condition	12
6.2.1 Temperature and environment.....	12
6.2.2 Warming up of measurement equipment.....	12
6.3 Principle of measurement method.....	12
6.4 Measurement procedure.....	13
Annex A (normative) Power balanced two-tone signal generation by using a high extinction-ratio MZM [2]	15
Annex B (informative) Requirements for the optical amplifier with automatic level control.....	17
B.1 Introductory remark	17
B.2 Block diagram	17
B.2.1 Optical amplifier.....	17
B.2.2 Automatic level control.....	18
B.3 Function and capabilities.....	18
B.4 Requirements.....	19
B.4.1 Optical amplifier.....	19
B.4.2 Automatic level control (ALC)	20
Annex C (informative) Frequency-response measurement system and automatic level control EDFA	21
C.1 Frequency response measurement system for optical-to-electric conversion devices with a two-tone generator	21
C.2 Automatic level control EDFA (ALC-EDFA)	22
Bibliography	24

Figure 1 – Definition of "conversion efficiency "	8
Figure 2 – Optical-to-electrical conversion by photo diode	10
Figure 3 – DFG device	10
Figure 4 – Circuit diagram.....	11
Figure B.1 – Block diagram of the optical amplifier	17
Figure B.2 – Block diagram of the automatic level control	18
Figure B.3 – Frequency characteristics.....	19
Figure C.1 – System configuration for the frequency response measurement system.....	21
Figure C.2 – ALC-EDFA system configuration.....	22
Figure C.3 – Frequency response measurement examples	23
Table C.1 – Typical specifications of the frequency response measurement system	22
Table C.2 – Typical specifications of the ALC-EDFA system	23

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**TRANSMITTING EQUIPMENT FOR RADIOCOMMUNICATION –
FREQUENCY RESPONSE OF OPTICAL-TO-ELECTRIC CONVERSION
DEVICE IN HIGH-FREQUENCY RADIO OVER FIBRE SYSTEMS –
MEASUREMENT METHOD**

FOREWORD

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

International Standard IEC 62803 has been prepared by IEC technical committee 103: Transmitting equipment for radiocommunication.

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

FDIS	Report on voting
103/147/FDIS	103/148/RVD

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

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

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

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

INTRODUCTION

A variety of microwave-photonics devices are used in wireless communication and broadcasting systems. A photo-receiver is an interface which converts an optical signal to an electronic signal. This International Standard has been prepared to provide methods for evaluating and calibrating high speed photo-receivers to be used in Radio over Fibre systems.

The method utilizes a Mach-Zehnder modulator for generating two-tone lightwaves as stimulus signals, to provide simpler and easier methods than the conventional method utilizing a complex two-laser system phase-locked with each other.

The International Electrotechnical Commission (IEC) draws attention to the fact that it is claimed that compliance with this document may involve the use of a patent concerning a calibration method and device for light intensity measuring instrument, as it relates to Clause 6.

Related part	Patent holder	Patent number
Clause 6	National Institute of Information and Communications Technology	JP 4753137B EP1956353A US7864330B

IEC takes no position concerning the evidence, validity and scope of this patent right.

The holder of this patent right has assured the IEC that he/she is willing to negotiate licences either free of charge or under reasonable and non-discriminatory terms and conditions with applicants throughout the world. In this respect, the statement of the holder of this patent right is registered with IEC. Information may be obtained from:

National Institute of Information and Communications Technology
4-2-1 Nukui-Kitamachi, Koganei, Tokyo 184-8795, Japan

Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this document may be the subject of patent rights other than those identified above. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

ISO (www.iso.org/patents) and IEC (<http://patents.iec.ch>) maintain on-line data bases of patents relevant to their standards. Users are encouraged to consult the data bases for the most up to date information concerning patents.

TRANSMITTING EQUIPMENT FOR RADIOCOMMUNICATION – FREQUENCY RESPONSE OF OPTICAL-TO-ELECTRIC CONVERSION DEVICE IN HIGH-FREQUENCY RADIO OVER FIBRE SYSTEMS – MEASUREMENT METHOD

1 Scope

This International Standard provides a method for measuring the frequency response of optical-to-electric conversion devices in wireless communication and broadcasting systems.

The frequency range covered by this standard goes up to 100 GHz (practically limited up to 110 GHz by precise RF power measurement) and the wavelength band concerned is 0,8 µm to 2,0 µm.

2 Normative references

The following documents, in whole or in part, are normatively referenced in this document and are indispensable for its application. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

There are no normative references in this document.

3 Terms, definitions and abbreviations

3.1 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply.

3.1.1

conversion efficiency

ratio of the output current to the input optical power defined by

$$k = \frac{\Delta I_{\text{out}}}{\Delta P_{\text{in}}} \quad (1)$$

Note 1 to entry: See Figure 1.

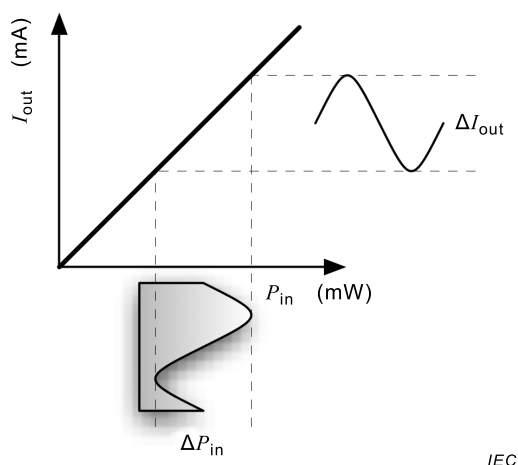


Figure 1 – Definition of "conversion efficiency "

Note 2 to entry: Conversion efficiency k , which depends on modulating signal frequency, is often expressed in dB as the ratio to the reference conversion efficiency of 1 (ampere per watt). It is well known, however, that dB has two definitions. One is the optical conversion efficiency k_o [dB_o] calculated from $10 \times \log_{10}(\Delta I_{out}/\Delta P_{in})$, and the other is the electrical conversion efficiency k_e [dB_e] calculated from $20 \times \log_{10}(\Delta I_{out}/\Delta P_{in})$. As for the conversion efficiency k , the numerator is the amplitude of the electrical output signal, and the denominator is the power of optical input signal. Therefore, both definitions of dB for conversion efficiency k_o and k_e are shown as follows:

$$k_o = k_o [\text{dB}_o] = 10 * \log_{10} \frac{\Delta I_{out}}{\Delta P_{in}} \quad (2)$$

$$k_e = k_e [\text{dB}_e] = 20 * \log_{10} \frac{\Delta I_{out}}{\Delta P_{in}} \quad (3)$$

3.1.2 two-tone lightwave

lightwave that contains two dominant spectral components whose power difference is relatively small and frequency separation is stable

Note 1 to entry: Undesired spectral components are suppressed significantly. The measurement methods described in this standard utilize a Mach-Zehnder modulator (MZM) for two-tone signal generation, where the MZM is biased at maximum or minimum transmission points (null or full bias) [1]¹. The suppression ratio of undesired components depends on the on-off extinction ratio and chirp parameter of the MZM. By using active trimming, high extinction-ratio and low chirp modulation can be achieved for ideal two-tone generation (see Annex A).

3.1.3 carrier-suppressed

situation when an MZM is biased at its minimum transmission point, the non-modulated carrier lightwave transmitted through and the two arms of the MZM are cancelled with each other at the output coupler

Note 1 to entry: The suppression ratio is related to how the two lightwaves in the two arms have the same power and to their anti-phase at the output coupler.

¹ Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

3.2 Abbreviations

AGC-EDFA	Automatic gain controlled-EDF amplifier
ALC	Automatic level control
DFG	Difference frequency generation
DUT	Device under test
E/O	Electrical-to-optical
EDFA	Er-doped fibre amplifier
FPGA	Field programmable gate array
LD	Laser diode.
MZM	Mach-Zehnder modulator
O/E	Optical-to-electrical
OMI	Optical modulation index
PD	Photo diode
PN	Positive-negative
RF	Radio frequency
RoF	Radio over fibre
VOA	Variable optical attenuator

4 Optical-to-electrical (O/E) conversion device

4.1 Photo diode (PD)

4.1.1 General

A PD has a positive-negative (PN) junction which can be illuminated by an optical signal. When a photon is incident to the PN junction, an electron is excited and an electron-hole pair is generated. The electron and hole drift to the opposite direction because of the built-in and reverse-biased voltage at the PN junction, and can be used as an output electric current.

4.1.2 Component parts

The O/E conversion devices consist of basic parts as follows:

- PD;
- input fibre pigtail (where appropriate);
- input receptacle (where appropriate);
- output RF port (where appropriate);
- bias electrode (where appropriate);
- transimpedance amplifier (where appropriate);
- impedance matching resistor (where appropriate).

4.1.3 Structure

The structure consists of the following (see Figure 2):

- optical input: fibre pigtail or receptacle;
- RF output: coaxial connector, microstrip line, coplanar waveguide, antenna, etc.;
- options: bias electrode, transimpedance amplifier, impedance-matching resistor.

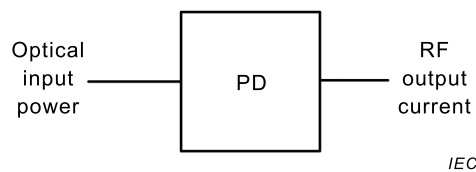


Figure 2 – Optical-to-electrical conversion by photo diode

4.1.4 Requirements for PD

4.1.4.1 General

This method is based on a heterodyne principle. Requirements for the PD of this measurement method are as follows.

4.1.4.2 Material of PD

Main materials of the PDs should be Si, GaAs, and InGaAs.

4.2 DFG device

4.2.1 General

When two coherent lightwaves are incident to a DFG device fabricated from a second order nonlinear optical material, an RF signal with the difference frequency between the incident lightwaves is generated.

4.2.2 Component parts

The component parts are as follows:

- DFG device;
- input optical lens (where appropriate);
- output RF antenna (where appropriate).

4.2.3 Structure

See Figure 3.

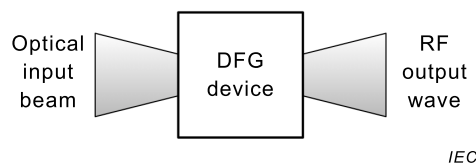


Figure 3 – DFG device

4.2.4 Requirements for DFG device

4.2.4.1 General

This method is based on the heterodyne principle. Requirements for the DFG device of this measurement method are as follows.

4.2.4.2 Material

The main substrate materials of the DFG device should be materials such as LiNbO₃, LiTaO₃, KH₂PO₄, PZT (Pb (Zr, Ti) O₃), PLZT ((Pb, La) (Zr, Ti) O₃), InP, GaAs, InGaAs, InAlAs, InGaAsP, Chromophore containing polymer, etc., which realize second order, nonlinear optical effect.

4.2.4.3 Device design

In general, the efficiency of the DFG is rather low. In order to enhance the conversion efficiency, the device length tends to be long, and phase matching conditions must be satisfied. Moreover, in order to avoid undesired RF wave radiation, an RF cavity or guiding structure is also required.

5 Sampling for quality control

5.1 Sampling

A statistically significant sampling plan shall be agreed upon by user and supplier. Sampled devices shall be randomly selected and representative of production population, and shall satisfy the quality assurance criteria using the proposed test methods.

5.2 Sampling frequency

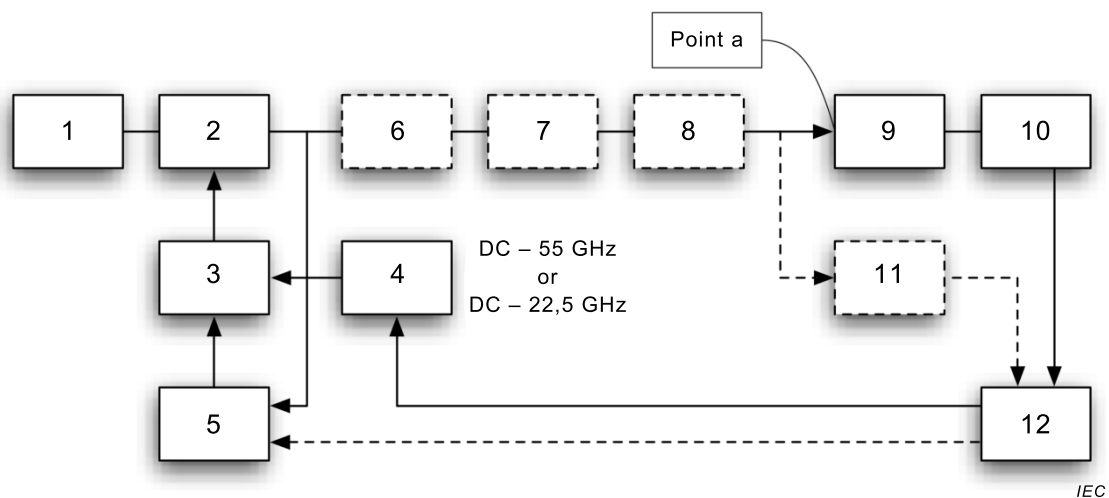
Appropriate statistical methods shall be applied to determine adequate sample size and acceptance criteria for the considered lot size. In the absence of more detailed statistical analysis, the following sampling plan can be employed.

Sampling frequency for evaluation of frequency response: two units at least per manufacturing lot.

6 Measurement method of frequency response

6.1 Circuit diagram

See Figure 4.



Key

1	Laser diode	7	Optical amplifier (optional)
2	MZM	8	Automatic level control (optional)
3	Bias tree	9	DUT
4	Microwave signal source (SC)	10	RF power meter or spectrum analyser
5	DC voltage source	11	Optical power meter (optional)
6	Optical band rejection filter (optional)	12	Personal computer

Figure 4 – Circuit diagram

6.2 Measurement condition

6.2.1 Temperature and environment

The measurement should be carried out in a room at a temperature ranging from 5 °C to 35 °C. If the operation temperature ranges of the measurement apparatuses are narrower than the above range, the specifications of the measurement apparatuses should be followed. It is desirable to control the measurement temperature within ± 5 °C in order to suppress the influence of temperature drift of measurement apparatuses to a minimum. The temperature of the DUT can be changed using a temperature controller, as necessary.

6.2.2 Warming up of measurement equipment

The warming-up time shall be kept to typically 60 min, or the time written in the specifications of the measurement equipment or systems.

6.3 Principle of measurement method

The method described here is based on the heterodyne principle. A two-tone lightwave illuminates the DUT as a stimulus signal. The two-tone stimulus lightwave is generated by using an MZM at null bias or an MZM at full bias with an optical band rejection filter. The average powers of the input two-tone lightwave and that of the output monotone RF signal are measured, and the conversion efficiency at the frequency is calculated from them. By changing the frequency difference between the two tones, the frequency response of O/E conversion efficiency of the DUT is obtained.

As is well known, an MZM optical output modulated by a monotone RF signal can be expressed by

$$E_{\text{opt}} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} E_n e^{i(\omega_n t + \phi_n)}, P_{\text{opt}} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} P_n, P_n = [E_n]^2, \text{ and } \omega_{\text{RF}} = \omega_{n+1} - \omega_n \quad (4)$$

where P_{opt} is the total average power, and ω_{RF} is the angular frequency of the modulating RF signal that corresponds to the angular frequency difference between adjacent optical tones. As an example, two-tone signal generation by an MZM with null-bias is described in 6.4. When

$$|E_{-1}| = |E_{+1}| \gg |E_n| (n \neq -1, +1), \text{ and } P_{\text{opt}} \cong |E_{-1}|^2 + |E_{+1}|^2 = 2|E_{-1}|^2 \quad (5)$$

an ideal well-balanced optical two-tone consisting of $P_{\pm 1}$ (see 6.4) can be generated, where the following conditions should be satisfied:

- a) suppression of optical carrier and higher order sidebands should be large enough;
- b) frequency difference between the two desired components should be stable;
- c) polarizations of the two spectral components should be well aligned;
- d) power difference of the two spectral components should be small enough.

The instantaneous optical power P_{opt} illuminating the PD is calculated as

$$\begin{aligned} p_{\text{opt}} &= \left| E_{-1} e^{i(\omega_{-1} t + \phi_{-1})} + E_{+1} e^{i(\omega_{+1} t + \phi_{+1})} + \sum_{n=-\infty}^{\infty} E_n e^{i(\omega_n t + \phi_n)} \right|^2 (n \neq -1, +1) \\ &\cong P_{\text{opt}} + P_{\text{opt}} \times \cos(2\omega_{\text{RF}} t + \phi) \end{aligned} \quad (6)$$

where $\phi = \phi_{-1} - \phi_{+1}$, and $|E_n|(n \neq -1, +1)$ related terms are neglected from Equation (5). The PD under test outputs a DC and an RF photocurrent as a response. The RF photocurrent i_{RF} induced by the ideal well-balanced optical two-tone consisting of $P_{\pm 1}$ or $P_{\pm 2}$ is expressed as

$$i_{\text{RF}} = k_e \times P_{\text{opt}} \times \cos(2\omega_{\text{RF}}t + \phi) = I_{\text{RF}} \cos(2\omega_{\text{RF}}t + \phi) \quad (7)$$

where k_e is the conversion efficiency of the PD under test at $2\omega_{\text{RF}}$, and i_{RF} is the peak photocurrent. ΔP_{in} is equal to P_{opt} giving 100% OMI (optical modulation index) and ΔI_{out} is nearly equal to I_{RF} , k_e is described as

$$k_e = \frac{\Delta I_{\text{out}}}{\Delta P_{\text{in}}} \cong \frac{I_{\text{RF}}}{P_{\text{opt}}} \quad (8)$$

where I_{RF} is the amplitude of RF photocurrent induced by the ideal optical two tone.

The average RF power P_{RF} driving a load Z_L is expressed as

$$P_{\text{RF}} = \frac{I_{\text{RF}}}{\sqrt{2}} \times \frac{I_{\text{RF}}}{\sqrt{2}} Z_L = \frac{I_{\text{RF}}^2 Z_L}{2} \quad (9)$$

From Equations (7), (8) and (9), the squared k_e which corresponds to the responsivity of the PD at the measurement frequency, is calculated as

$$k_e^2 = \frac{I_{\text{RF}}^2}{P_{\text{opt}}^2} = \frac{2P_{\text{RF}}}{Z_L P_{\text{opt}}^2} \quad (10)$$

Note that the squared k_e can be calculated only from the input optical and the output RF average powers of the PD under test, if the ideal well-balanced optical two tone is launched, which are traceable to the national standards with relatively short traceability chain. In this method, the squared k_e does not depend on the frequency response of the MZM used for two-tone generation.

6.4 Measurement procedure

Two types of measurement methods are described here. In Method A, a two-tone signal is generated by an MZM with null bias, where the signal is composed of the first upper and lower modulation side bands $P_{\pm 1}$. The frequency separation of the two-tone signal is equal to double the frequency of the signal fed to the MZM. In Method B, a two-tone signal is generated by an MZM with full bias, where the modulator output is composed of the carrier P_0 and the second upper and lower modulation sideband $P_{\pm 2}$. By using an optical band rejection filter, the P_0 component is eliminated to generate a two-tone signal consisting of $P_{\pm 2}$. The frequency separation of the two-tone signal is equal to quadruple the frequency of the signal fed to the MZM. The optical amplifier and auto level control in Figures B.1 and B.2 can enhance the frequency range of the measurement as described in Annexes B and C.

Method A

STEP 1) The measurement set-up is prepared as shown in Figures B.1 and B.2, where no optical band rejection filter is needed.

STEP 2) The output signal of SG is set as follows.

Frequency: the half of the responsivity measurement frequency.

Output power: when the unwanted third-order harmonic distortions should be suppressed lower than –30 dB from the desired components, the signal power fed to the MZM should be smaller than

$$\left\{ \frac{0,085 \times V_{\pi}(f)}{\pi} \right\}^2 \quad (11)$$

where, $V_{\pi}(f)$ is the half-wavelength voltage at the modulating frequency.

- STEP 3) The DC voltage applied to the MZM should be controlled to maintain the null bias.
- STEP 4) The optical power meter measures the input average optical power P_{opt} to the DUT at point “A”. When P_{opt} is stabilized by ALC, it is not necessary to use the power meter.
- STEP 5) The RF power meter measures the output average RF power P_{RF} from the DUT.
- STEP 6) The conversion efficiency, k_e , at the measurement frequency is calculated by using the following formula:

$$k_e = \frac{\sqrt{P_{\text{RF}}}}{5P_{\text{opt}}} \quad (12)$$

- STEP 7) Repeat from STEP 2 to STEP 6 with a different frequency.

Method B

- STEP 1) The measurement set-up is prepared as shown in Figures B.1 and B.2, where the centre wavelength of the optical band rejection filter should be set to be the optical output wavelength of the laser diode.
- STEP 2) The output signal of SG is set as follows:
Frequency: 25 % of the conversion efficiency measurement frequency.
- STEP 3) The DC voltage applied to the MZM should be controlled to maintain the full bias, where the P_0 component is eliminated by the optical band rejection filter.
- STEP 4) The optical power meter measures the input average optical power P_{opt} to the DUT at point “A”. When P_{opt} is stabilized by ALC, it is not necessary to use the power meter.
- STEP 5) The RF power meter measures the output average RF power PRF from the DUT.
- STEP 6) The conversion efficiency, k , at the measurement frequency is calculated by using Equation (12).
- STEP 7) Repeat from STEP 2 to STEP 6 with a different frequency.

Annex A (normative)

Power balanced two-tone signal generation by using a high extinction-ratio MZM [2]

Annex A describes an example of two-tone signal generation using an MZM at null bias with high extinction ratio. The bias point can be precisely controlled, when the extinction ratio is very high. At the null bias condition, the power difference between the two desired spectral components goes to the minimum.

Assuming a push-pull type MZM driven by a monotone RF signal of ω_{RF} , its output lightwave can be expressed as

$$\begin{aligned}
 E &= L \frac{E_{\text{input}} e^{i\omega_0 t}}{2} \left[\left(1 + \frac{\eta}{2} \right) e^{i\{A_1 \sin(\omega_{RF} t + \phi_1) + \phi_{B1}\}} + \left(1 - \frac{\eta}{2} \right) e^{i\{A_2 \sin(\omega_{RF} t + \phi_2) + \phi_{B2}\}} \right] \\
 &= L \frac{E_{\text{input}} e^{i(\omega_0 t + \phi_{B1})}}{2} \sum_{n=-\infty}^{\infty} e^{in(\omega_{RF} t + \phi_1)} \left[\left(1 + \frac{\eta}{2} \right) J_n(A + \alpha_A) + \left(1 - \frac{\eta}{2} \right) J_n(-A + \alpha_A) e^{i(n\phi + \phi_B)} \right]
 \end{aligned} \tag{A.1}$$

where L is the loss factor inside the MZM, and $J_n(x)$ is the Bessel function of the first kind of order n . The values of ϕ_{B1} , ϕ_{B2} , ϕ_B are the bias phases, η is the optical intensity imbalance, ϕ_1 , ϕ_2 , ϕ are the skews, and A_1 , A_2 , A , α_A are the chirp related parameters defined as

$$\begin{aligned}
 \phi_B &= \phi_{B2} - \phi_{B1}, (P_1, P_2) = \frac{|L \times E_{\text{input}}|^2}{4} \left(\left(1 + \frac{\eta}{2} \right)^2, \left(1 - \frac{\eta}{2} \right)^2 \right), |\eta| < 1 \\
 \phi &= \phi_2 - \phi_1, (A_1, A_2) = (A + \alpha_A, -A + \alpha_A), |A| > |\alpha_A|
 \end{aligned} \tag{A.2}$$

Equations (A.1) and (A.2) are well known for showing good agreements with the actual performance of MZMs, because four major error parameters of MZMs are all included [3, 4]. The powers of the carrier, the upper sideband, and the lower sideband, (named “0”, “+1” and “-1”, respectively) are derived as

$$\begin{aligned}
 P_0 &= |E_0|^2 = \frac{|L \times E_{\text{input}}|^2}{4} \{ R^2 + S^2 + 2RS \cos \phi_B \} \\
 P_{+1} &= |E_{+1}|^2 = \frac{|L \times E_{\text{input}}|^2}{4} \{ T^2 + U^2 - 2TU \cos(\phi_B + \phi) \} \\
 P_{-1} &= |E_{-1}|^2 = \frac{|L \times E_{\text{input}}|^2}{4} \{ T^2 + U^2 - 2TU \cos(\phi_B - \phi) \} \\
 R &= \left(1 + \frac{\eta}{2} \right) J_0(A + \alpha_A), S = \left(1 - \frac{\eta}{2} \right) J_0(A - \alpha_A) \\
 T &= \left(1 + \frac{\eta}{2} \right) J_1(A + \alpha_A), U = \left(1 - \frac{\eta}{2} \right) J_1(A - \alpha_A)
 \end{aligned} \tag{A.3}$$

In the case of the MZM being biased at its minimum transmission point, which corresponds to the case of $\phi_B = \pi$, the powers of P_0 , P_{+1} , and P_{-1} are calculated as

$$\begin{aligned}
 P_0 &= \frac{|L \times E_{\text{input}}|^2}{4} (R - S)^2 \\
 P_{+1} &= P_{-1} = \frac{|L \times E_{\text{input}}|^2}{4} \{T^2 + U^2 + 2TU \cos \phi\}
 \end{aligned}
 \tag{A.4}$$

Equation (A.4) means that when the MZM is biased at a minimum transmission point, the carrier power P_0 becomes the minimum. Simultaneously, the upper and the lower sideband powers of P_{+1} and P_{-1} become equal. Therefore, by adjusting the bias voltages of the high-ER MZM to maintain the carrier power at minimum, the powers of the two tones automatically become equal. Note that Equation (A.4) is satisfied independently from the other parameters of η , α_A , and ϕ . Further, this technique is consistent with that of suppressing the carrier power. Monitoring the carrier power is easier than measuring each power of the two-tone signal. In the frequency response measurement, two different techniques are employed for the optical and RF method, according to the measurement frequency range. For a frequency range higher than 10 GHz, a narrow-band optical band-pass filter directly extracts the carrier lightwave and its optical power is monitored. For a frequency range lower than 10 GHz, an RF spectrum analyser monitors the RF signal from the reference PD, which has a practically flat frequency response from DC to 10 GHz.

Annex B (informative)

Requirements for the optical amplifier with automatic level control

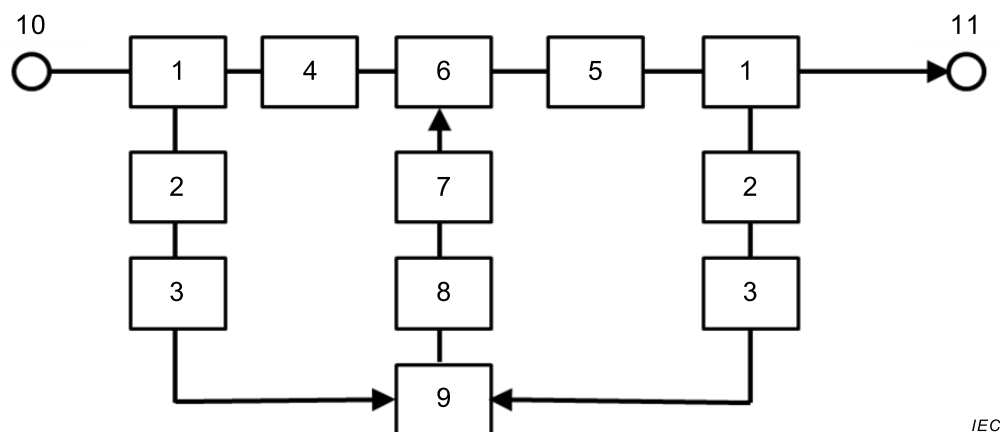
B.1 Introductory remark

Annex B describes the optical amplifier and the automatic level control system function and the general requirements needed to realize these functions.

B.2 Block diagram

B.2.1 Optical amplifier

See Figure B.1.



IEC

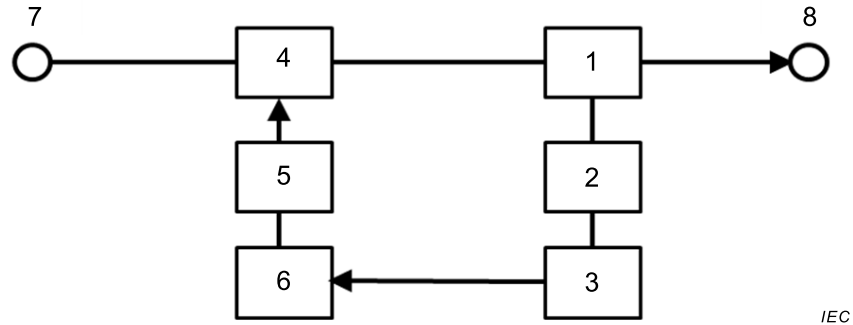
Key

1	Optical coupler	7	Pump-LD
2	Photodiode	8	Driver for the pump-LD
3	Trans-impedance amplifier	9	FPGA (field programmable gate array)
4	Optical delay line	10	Optical input
5	EDF (er-doped fibre)	11	Optical output
6	Wavelength multiplexer		

Figure B.1 – Block diagram of the optical amplifier

B.2.2 Automatic level control

See Figure B.2.



Key

- | | |
|-------------------------------------|--|
| 1 Optical coupler | 5 Driver for the VOA |
| 2 Photodiode | 6 FPGA (field programmable gate array) |
| 3 Trans-impedance amplifier | 7 Optical input |
| 4 VOA (variable optical attenuator) | 8 Optical output |

Figure B.2 – Block diagram of the automatic level control

B.3 Function and capabilities

The combination of an optical amplifier and an automatic level control (ALC) system can offer enlarged frequency bandwidth as described in Figure B.3.

The output swept signals from an MZM are amplified by an AGC-EDFA (automatic gain controlled-EDF amplifier). The VOA's loss incorporated in the ALC system is set to an appropriate value in advance. The frequency bandwidth can be enlarged by adjusting the loss of the VOA. Therefore, a two-tone system with an optical amplifier and an ALC system allows wider frequency bandwidth compared to an MZM.

If the power roll-off of the MZM approaches 6 dB per octave and the pre-set loss of the VOA is set to 6 dB, the frequency bandwidth of the two-tone system can be doubled. If the power roll-off of the MZM approaches 6 dB per octave and the pre-set loss of the VOA is set to 6 dB, the frequency bandwidth of the two-tone system can be doubled.

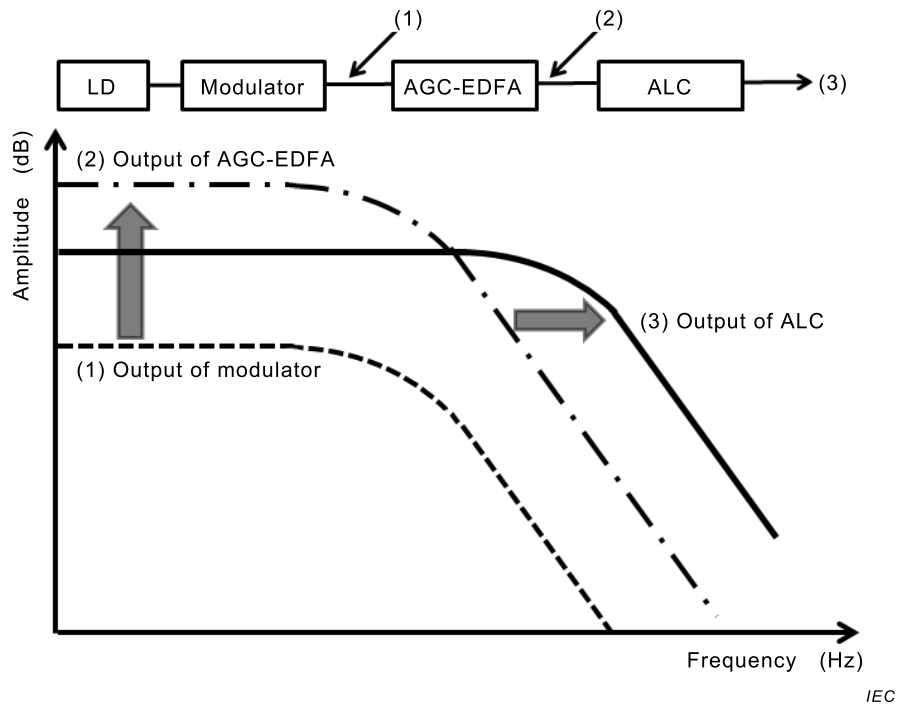


Figure B.3 – Frequency characteristics

B.4 Requirements

B.4.1 Optical amplifier

Typical requirements for the combination system of AGC-EDFA and ALC as a measurement system are a high-speed frequency-sweep with less than 1 ms and a low error measurement with less than 0,2 dB.

The following list describes the AGC-EDFA requirements:

- function: AGC (automatic gain control);
- wavelength range: 1 530 nm to 1 562 nm;
- input power range: –24 dBm to –4 dBm;
- gain: 18 dB to 23 dB;
- gain error: 0,1 dB max.;
- noise figure: 6 dB max.

The transfer function of the AGC-EDFA feedback (FB) control system is given by:

$$T_{\text{AGC-EDFA}} = \frac{G_1(s) \times G_2(s) \times G_3(s) \times G_4(s)}{1 + G_1(s) \times G_2(s) \times G_3(s) \times G_4(s) \times G_5(s)} \quad (\text{B.1})$$

where

- $G_1(s)$ is the transfer function of the input-side PD and TIA;
- $G_2(s)$ is the transfer function of the driver for the pump-LD;
- $G_3(s)$ is the transfer function of the pump-LD;
- $G_4(s)$ is the transfer function of the EDF;
- $G_5(s)$ is the transfer function of the output-side PD and TIA.

High-speed is not required for the FB control because an EDF has a sub-ms physical response-speed. However, the loop gain should be of an appropriate large value to offer a small gain error.

B.4.2 Automatic level control (ALC)

To realize a high-speed sweep-time, the VOA incorporated in the ALC system has to be a high-speed type VOA, such as E/O (electro-optic)-type or A/O (acousto-optic)-type.

The main requirements are described hereunder:

- response speed: < 100 μ s;
- insertion loss: < 0,3 dB;
- gain error: 0,1 dB max.

Here is a transfer function of the ALC FB-control system:

$$T_{\text{AGC-EDFA}} = \frac{G_1(s) \times G_2(s) \times G_3(s)}{1 + G_1(s) \times G_2(s) \times G_3(s) \times G_4(s)} \quad (\text{B.2})$$

where

- $G_1(s)$ is the transfer function of the driver for the VOA;
- $G_2(s)$ is the transfer function of the VOA;
- $G_3(s)$ is the transfer function of the EDF;
- $G_4(s)$ is the transfer function of the output-side PD and TIA.

An optimum design for frequency characteristics of the transfer function is needed in order to have a high-speed response without instability and the loop gain should be of an appropriate large value to offer a small gain error.

Annex C

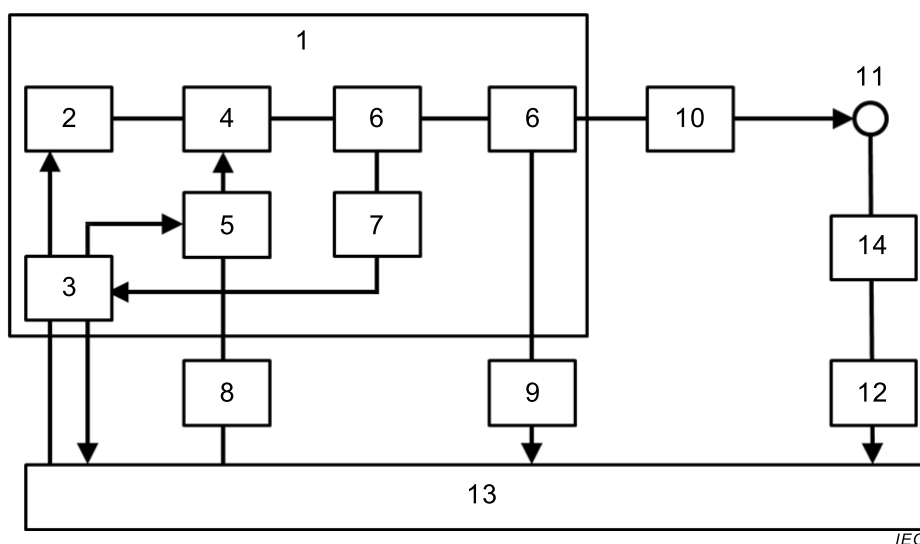
(informative)

Frequency-response measurement system and automatic level control EDFA

C.1 Frequency response measurement system for optical-to-electric conversion devices with a two-tone generator

Figure C.1 shows the system configuration for the frequency response measurement system. The system consists of a two-tone generator, an EDFA, an RF signal generator, an optical power meter and an RF power meter. The frequency sweep measurement is executed by the RF signal generator sweeping. The efficiency of O/E conversion devices can be calculated by optical and RF power levels for each frequency.

The two-tone generator consists of a laser diode (LD), an external modulator, a monitor, a drive circuit for the external modulator and a control circuit. To suppress the spurious of the output two-tone signal, the external modulator should be controlled for maintaining an optimum bias voltage.



IEC

Key

- | | | | | | |
|---|--------------------|----|---------------------------------|----|-------------------------|
| 1 | Two-tone generator | 6 | Optical coupler | 11 | Optical output |
| 2 | LD (laser diode) | 7 | Monitor | 12 | RF power meter |
| 3 | Control circuit | 8 | RF signal generator | 13 | PC (personal computer) |
| 4 | External modulator | 9 | Optical power meter | 14 | DUT (device under test) |
| 5 | Drive circuit | 10 | EDFA (Er-doped fibre amplifier) | | |

Figure C.1 – System configuration for the frequency response measurement system

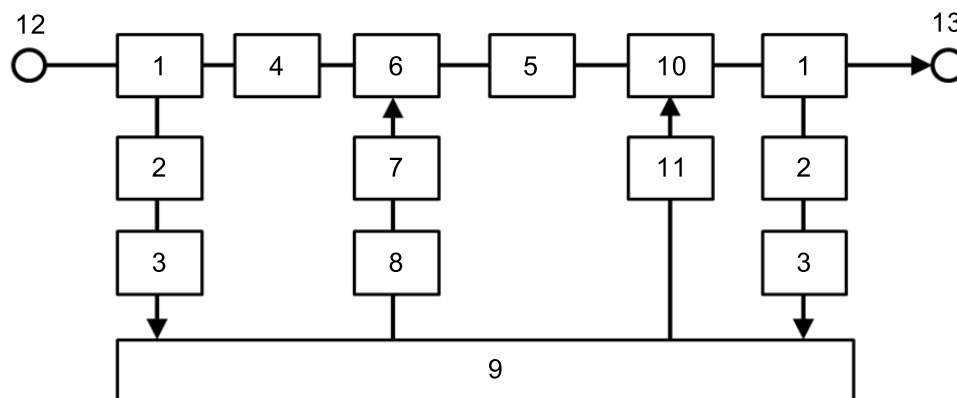
Table C.1 shows a specification example of the frequency response measurement system. Less than -30 dB spurious performance can be obtained by an optimum bias control. The RF frequency range mainly depends on the RF signal generator. A range of more than 20 GHz can be realized by using a wider range RF signal generator.

Table C.1 – Typical specifications of the frequency response measurement system

Item	Specifications	Comments
Wavelength range	1 550 nm $\pm$ 1 nm	DFB laser diode
RF frequency range	20 MHz to 20 GHz	
Output level	> –30 dBm	Two-tone signal
Spurious	> –30 dBm	Carrier suppression ratio
Relative gain accuracy	< $\pm 0,6$ dB	
Absolute gain accuracy	< $\pm 0,8$ dB	
Frequency step	> 10 MHz	RF signal generator
Frequency accuracy	< 10 MHz	RF signal generator

C.2 Automatic level control EDFA (ALC-EDFA)

Figure C.2 shows an ALC-EDFA system configuration. The ALC-EDFA consists of an EDF, a VOA, a pump-LD, two monitors, two drive circuits and a FPGA. The EDF is gain-constant controlled by the input power monitor and the pump LD. The output level-constant control is realized by the VOA, the input and output monitors.



IEC

Key

- | | | |
|-----------------------------|--|-----------------------|
| 1 Optical coupler | 6 Wavelength multiplexer | 11 Driver for the VOA |
| 2 Photodiode | 7 Pump-LD | 12 Optical input |
| 3 Trans-impedance amplifier | 8 Driver for the pump-LD | 13 Optical output |
| 4 Optical delay line | 9 FPGA (field programmable gate array) | |
| 5 EDF (Er-doped fibre) | 10 VOA (variable optical attenuator) | |

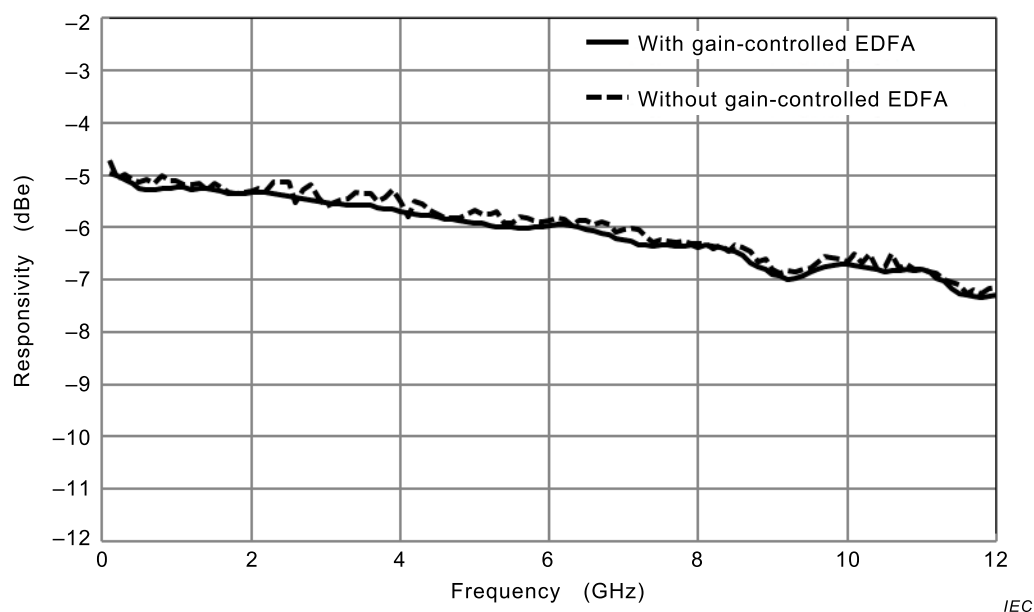
Figure C.2 – ALC-EDFA system configuration

As described in Table C.2, the wavelength range is from 1 530 nm to 1 562 nm. The power range and the level depend on the pump performance. The response speed is determined by the FPGA feedback control speed. High accurate bias control realizes power stability as low as 0,1 dB.

Table C.2 – Typical specifications of the ALC-EDFA system

Item	Specifications
Wavelength range	1 530 nm to 1 562 nm
Input power range	–22 dBm to –12 dBm
Response speed	< 1 ms
Output power level	> –5 dBm
Output power stability	< $\pm 0,1$ dB

Figure C.3 is an example of photodiode frequency response results with and without the use of an automatic level control EDFA [5]. The photodiode under test is a Picometrix PD model PT-15 C (bandwidth 15 GHz). The response falls by 3 dB above 12 GHz and the results correspond to the quoted bandwidth. The frequency response results show lower fluctuation, less than $\pm 0,1$ dB, when the two-tone power is controlled by the EDFA.

**Figure C.3 – Frequency response measurement examples**

Bibliography

- [1] KIUCHI, H., KAWANISHI, T., YAMADA, M., SAKAMOTO, T., TSUCHIYA, M., AMAGAI, J. and IZUTSU, M., *High Extinction Ratio Mach-Zehnder Modulator Applied to a Highly Stable Optical Signal Generator*, *IEEE Transactions On Microwave Theory and Techniques*, 55, 1964-1972 (2007).
 - [2] INAGAKI, K., KAWANISHI, T. and IZUTSU, M., *Optoelectronic frequency response measurement of photodiodes by using high-extinction ratio optical modulator*, *IEICE Electron Express*, Vol.9, issue 4, pp.220-226, 2012.
 - [3] KAWANISHI, T., SAKAMOTO, S. and IZUTSU, M., *High-Speed Control of Lightwave Amplitude, Phase, and Frequency by Use of Electrooptic Effect*, *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, 13, 79-91 (2007).
 - [4] KAWANISHI, T., SAKAMOTO, T., CHIBA, A., TSUCHIYA, M. and TODA, H., *Ultra high extinction-ratio and ultra-low chirp optical intensity modulation for pure two-tone lightwave signal generation*, *CLEO2008*, CFA1.
 - [5] TANGMALA, T., MANKONG, U., INAGAKI, K. and KAWANISHI, T. *PD Frequency Response Measurement Technique Using MZM with Two-tone Light wave Power Control*, 2013, Conference on Lasers and Electro-Optics Pacific Rim (CLEO-PR), WPF-32.
-

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	28
INTRODUCTION.....	30
1 Domaine d'application.....	31
2 Références normatives	31
3 Termes, définitions et abréviations	31
3.1 Termes et définitions	31
3.2 Abréviations	33
4 Dispositif de conversion optique/électrique (O/E).....	33
4.1 Photodiode (PD)	33
4.1.1 Généralités	33
4.1.2 Parties du composant.....	33
4.1.3 Structure.....	33
4.1.4 Exigences relatives aux photodiodes	34
4.2 Dispositif DFG.....	34
4.2.1 Généralités	34
4.2.2 Parties du composant.....	34
4.2.3 Structure.....	35
4.2.4 Exigences relatives au dispositif DFG	35
5 Échantillonnage pour le contrôle qualité	35
5.1 Échantillonnage	35
5.2 Fréquence d'échantillonnage	35
6 Méthode de mesure de la réponse en fréquence	35
6.1 Schéma du circuit	35
6.2 Condition de mesure	36
6.2.1 Température et environnement.....	36
6.2.2 Préchauffage de l'équipement de mesure	36
6.3 Principe de la méthode de mesure.....	36
6.4 Procédure de mesure	38
Annexe A (normative) Génération de signal à deux fréquences à puissance répartie à l'aide d'un MZM à rapport d'extinction élevé [2]	40
Annexe B (informative) Exigences relatives à l'amplificateur optique avec commande automatique de niveau.....	42
B.1 Remarque préliminaire	42
B.2 Schéma fonctionnel.....	42
B.2.1 Amplificateur optique	42
B.2.2 Commande automatique de niveau.....	43
B.3 Fonction et fonctionnalités.....	43
B.4 Exigences	44
B.4.1 Amplificateur optique	44
B.4.2 Commande automatique de niveau (ALC).....	45
Annexe C (informative) Système de mesure de la réponse en fréquence et EDFA à commande automatique de niveau	46
C.1 Système de mesure de la réponse en fréquence pour les dispositifs de conversion optique-électrique avec un générateur à deux fréquences.....	46
C.2 EDFA à commande automatique de niveau (ALC-EDFA).....	47
Bibliographie	49

Figure 1 – Définition de "l'efficacité de conversion"	32
Figure 2 – Conversion optique-électrique par photodiode.....	34
Figure 3 – Dispositif DFG.....	35
Figure 4 – Schéma du circuit.....	36
Figure B.1 – Schéma fonctionnel de l'amplificateur optique.....	42
Figure B.2 – Schéma fonctionnel de la commande automatique de niveau	43
Figure B.3 – Caractéristiques de fréquence	44
Figure C.1 – Configuration du système de mesure de la réponse en fréquence	46
Figure C.2 – Configuration de système ALC-EDFA	47
Figure C.3 – Exemples de mesure de la réponse en fréquence	48
Tableau C.1 – Spécifications typiques du système de mesure de la réponse en fréquence ...	47
Tableau C.2 – Spécifications typiques du système ALC-EDFA	48

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MATÉRIELS ÉMETTEURS POUR LES RADIOCOMMUNICATIONS – RÉPONSE EN FRÉQUENCE DES DISPOSITIFS DE CONVERSION OPTIQUE-ELECTRIQUE DANS DES SYSTÈMES DE TRANSMISSION RADIO SUR FIBRE HAUTE FRÉQUENCE – MÉTHODE DE MESURE

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. À cet effet, l'IEC – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de l'IEC"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IEC, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de l'IEC, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.

La Norme internationale IEC 62803 a été établie par le comité d'études 103 de l'IEC: Matériels émetteurs pour les radiocommunications.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
103/147/FDIS	103/148/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.

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

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

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

INTRODUCTION

Un certain nombre de dispositifs photoniques micro-ondes sont utilisés dans les systèmes de communication et de diffusion sans fil. Un récepteur optique est une interface qui convertit un signal optique en signal électronique. La présente norme internationale a été élaborée pour fournir les méthodes d'évaluation et d'étalonnage des récepteurs optiques à grande vitesse à utiliser dans les systèmes de transmission radio sur fibre.

La méthode utilise un modulateur Mach-Zehnder permettant de générer des ondes lumineuses à deux fréquences comme signaux de stimulus, afin de fournir des méthodes plus simples que les méthodes conventionnelles utilisant un système complexe à deux lasers verrouillés en phase.

La Commission Électrotechnique Internationale (IEC) attire l'attention sur le fait qu'il est déclaré que la conformité avec les dispositions du présent document peut impliquer l'utilisation d'un brevet intéressant une méthode et un dispositif d'étalonnage de l'appareil de mesure de l'intensité lumineuse, traités à l'Article 6.

Partie connexe	Détenteur du brevet	Numéro de brevet
Article 6	National Institute of Information and Communication Technology	JP 4753137B EP1956353A US7864330B

L'IEC ne prend pas position quant à la preuve, à la validité et à la portée de ces droits de propriété.

Le détenteur de ces droits de propriété a donné l'assurance à l'IEC qu'il consent à négocier des licences avec des demandeurs du monde entier, à des termes et conditions raisonnables et non discriminatoires. À ce propos, la déclaration du détenteur des droits de propriété est enregistrée à l'IEC. Des informations peuvent être demandées à:

National Institute of Information and Communications Technology
4-2-1 Nukui-Kitamachi, Koganei, Tokyo 184-8795, Japon

L'attention est d'autre part attirée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle autres que ceux identifiés ci-dessus. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

L'ISO (www.iso.org/patents) et l'IEC (<http://patents.iec.ch>) maintiennent des bases de données en ligne des brevets correspondant à leurs normes. Les utilisateurs sont invités à consulter les bases de données pour obtenir les informations les plus récentes concernant les brevets.

MATÉRIELS ÉMETTEURS POUR LES RADIOCOMMUNICATIONS – RÉPONSE EN FRÉQUENCE DES DISPOSITIFS DE CONVERSION OPTIQUE-ELECTRIQUE DANS DES SYSTÈMES DE TRANSMISSION RADIO SUR FIBRE HAUTE FRÉQUENCE – MÉTHODE DE MESURE

1 Domaine d'application

La présente norme internationale fournit une méthode de mesure de la réponse en fréquence des dispositifs de conversion optique-électrique dans les systèmes de communication et de diffusion sans fil.

La plage de fréquences couverte par la présente norme atteint 100 GHz (pratiquement limitée jusqu'à 110 GHz par un mesurage précis de la puissance RF) et la bande de longueurs d'onde concernée est comprise entre 0,8 µm et 2,0 µm.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. 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).

Ce document ne comporte pas de références normatives.

3 Termes, définitions et abréviations

3.1 Termes et définitions

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

3.1.1

efficacité de conversion

rapport du courant de sortie sur la puissance optique en entrée, défini par

$$k = \frac{\Delta I_{\text{out}}}{\Delta P_{\text{in}}} \quad (1)$$

Note 1 à l'article: Voir la Figure 1.

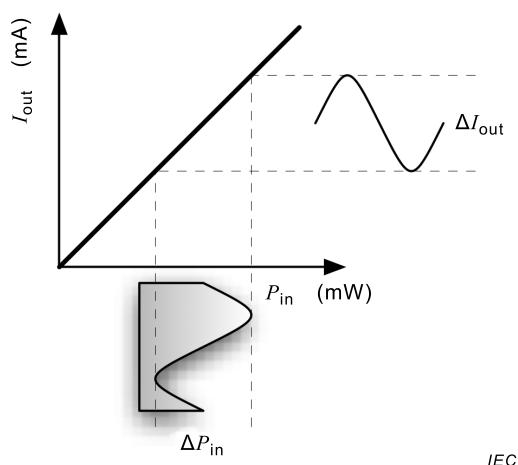


Figure 1 – Définition de "l'efficacité de conversion"

Note 2 à l'article: L'efficacité de conversion k , qui dépend de la fréquence du signal modulant, est souvent exprimée en dB comme étant le rapport de l'efficacité de conversion de référence de 1 (ampère par watt). Toutefois, dB est réputé avoir deux définitions. L'une est l'efficacité de conversion optique k_o [dB_o] calculée à partir de $10 \times \log_{10}(\Delta I_{out}/\Delta P_{in})$, et l'autre est l'efficacité de conversion électrique k_e [dB_e] calculée à partir de $20 \times \log_{10}(\Delta I_{out}/\Delta P_{in})$. Comme pour l'efficacité de conversion k , le numérateur est l'amplitude du signal de sortie électrique, le dénominateur étant la puissance du signal d'entrée optique. Par conséquent, les deux définitions de dB pour l'efficacité de conversion k_o et k_e sont établies de la manière suivante

$$k_o = k_o [\text{dB}_o] = 10 * \log_{10} \frac{\Delta I_{out}}{\Delta P_{in}} \quad (2)$$

$$k_e = k_e [\text{dB}_e] = 20 * \log_{10} \frac{\Delta I_{out}}{\Delta P_{in}} \quad (3)$$

3.1.2

onde lumineuse à deux fréquences

onde lumineuse contenant deux composantes spectrales dominantes dont la différence de puissance est relativement limitée et dont l'espacement en fréquence est stable

Note 1 à l'article: Les composantes spectrales non désirées sont supprimées de manière significative. Les méthodes de mesure décrites dans la présente norme utilisent un modulateur Mach-Zehnder (MZM) pour la génération de signal à deux fréquences, le MZM étant polarisé aux points de transmission maximaux ou minimaux (polarisation nulle ou totale) [1]¹. Le rapport de suppression des composantes non désirées dépend du rapport d'extinction on-off (activé-désactivé) et du paramètre de porteuse pulsée à fréquence glissante du MZM. À l'aide d'un réglage actif, un rapport d'extinction élevé et une faible modulation linéaire de fréquence peuvent être obtenus pour une génération à deux fréquences théorique (voir Annexe A).

3.1.3

porteuse supprimée

situation dans laquelle un MZM est polarisé à son point de transmission minimal, les ondes lumineuses à porteuse non modulée sont transmises et les deux branches du MZM s'annulent au niveau du coupleur de sortie

Note 1 à l'article: Le rapport de suppression est lié à la mesure dans laquelle les deux ondes lumineuses transmises dans les deux branches ont la même puissance et à leur opposition de phase au niveau du coupleur de sortie.

¹ Les chiffres entre crochets se réfèrent à la Bibliographie.

3.2 Abréviations

Abréviation	Français	Anglais
AGC-EDFA	Amplificateur à fibre dopée à l'erbium à commande automatique de gain	Automatic gain controlled-EDF amplifier
ALC	Commande automatique de niveau	Automatic level control
DFG	Génération de fréquence différentielle	Difference frequency generation
DUT	Dispositif en essai	Device under test
E/O	Électrique/Optique	Electrical-to-optical
EDFA	Amplificateur à fibre dopée à l'erbium	Er-doped fibre amplifier
FPGA	Réseau de portes programmable sur site	Field programmable gate array
LD	Diode laser	Laser diode
MZM	Modulateur Mach-Zehnder	Mach-Zehnder modulator
O/E	Optique/Électrique	Optical-to-electrical
OMI	Indice de modulation optique	Optical modulation index
PD	Photodiode	Photo diode
PN	Positif-négatif	Positive-negative
RF	Radiofréquence	Radio frequency
RoF	Radio sur fibre	Radio over fibre
VOA	Affaiblisseur optique variable	Variable optical attenuator

4 Dispositif de conversion optique/électrique (O/E)

4.1 Photodiode (PD)

4.1.1 Généralités

Une photodiode est composée d'une jonction positive-négative (PN) qui peut être éclairée par un signal optique. Lorsqu'un photon frappe la jonction PN, un électron est excité, et une paire électron-trou est générée. L'électron et le trou dérivent dans le sens opposé en raison de la tension interne et de la tension de polarisation inverse au niveau de la jonction PN et peuvent faire office de courant électrique de sortie.

4.1.2 Parties du composant

Les dispositifs de conversion O/E sont composés des parties de base suivantes:

- photodiode;
- fibre amorce d'entrée (le cas échéant);
- réceptacle d'entrée (le cas échéant);
- port RF de sortie (le cas échéant);
- électrode de polarisation (le cas échéant);
- amplificateur transimpédance (le cas échéant);
- résistance d'adaptation d'impédance (le cas échéant).

4.1.3 Structure

La structure est composée comme suit (voir la Figure 2):

- entrée optique: fibre amorce ou réceptacle;
- sortie RF: connecteur coaxial, ligne microruban, guide d'ondes coplanaire, antenne, etc.;

- options: électrode de polarisation, amplificateur transimpédance, résistance d'adaptation d'impédance.

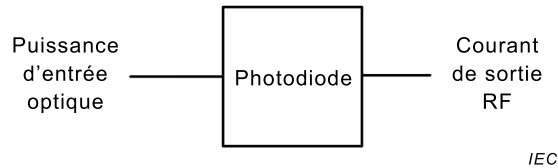


Figure 2 – Conversion optique-électrique par photodiode

4.1.4 Exigences relatives aux photodiodes

4.1.4.1 Généralités

Cette méthode repose sur un principe hétérodyne. Les exigences relatives aux photodiodes de cette méthode de mesure sont les suivantes.

4.1.4.2 Matériaux de la photodiode

Il convient que les principaux matériaux des photodiodes soient le Si, le GaAs et l'InGaAs.

4.2 Dispositif DFG

4.2.1 Généralités

Lorsque deux ondes lumineuses cohérentes frappent un dispositif DFG fabriqué à partir d'un matériau optique non linéaire de second ordre, un signal RF avec la fréquence différentielle entre les ondes lumineuses incidentes est généré.

4.2.2 Parties du composant

Les parties du composant sont les suivantes:

- dispositif DFG;
- lentille optique d'entrée (le cas échéant);
- antenne RF de sortie (le cas échéant).

4.2.3 Structure

Voir la Figure 3.

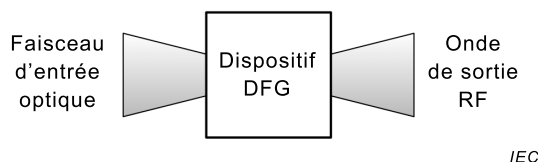


Figure 3 – Dispositif DFG

4.2.4 Exigences relatives au dispositif DFG

4.2.4.1 Généralités

Cette méthode repose sur le principe hétérodyne. Les exigences relatives au dispositif DFG de cette méthode de mesure sont les suivantes.

4.2.4.2 Matériaux

Il convient que les matériaux du substrat principal du dispositif DFG soient des matériaux tels que LiNbO_3 , LiTaO_3 , KH_2PO_4 , PZT ($\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$), PLZT ($(\text{Pb}, \text{La})(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$), InP, GaAs, InGaAs, InAlAs, InGaAsP, chromophore contenant des polymères, etc., qui génèrent des effets optiques non linéaires de second ordre.

4.2.4.3 Conception du dispositif

En règle générale, l'efficacité du DFG est plutôt faible. Pour améliorer l'efficacité de conversion, le dispositif a tendance à être long, et les conditions d'adaptation de phase doivent être satisfaites. De plus, pour éviter le rayonnement d'onde RF non désiré, une cavité RF ou une structure de guidage est également exigée.

5 Échantillonnage pour le contrôle qualité

5.1 Échantillonnage

Un plan d'échantillonnage significatif d'un point de vue statistique doit être convenu entre l'utilisateur et le fournisseur. Les dispositifs échantillonnés doivent être sélectionnés de manière aléatoire, être représentatifs de la population de production et doivent satisfaire aux critères d'assurance qualité à l'aide des méthodes d'essai proposées.

5.2 Fréquence d'échantillonnage

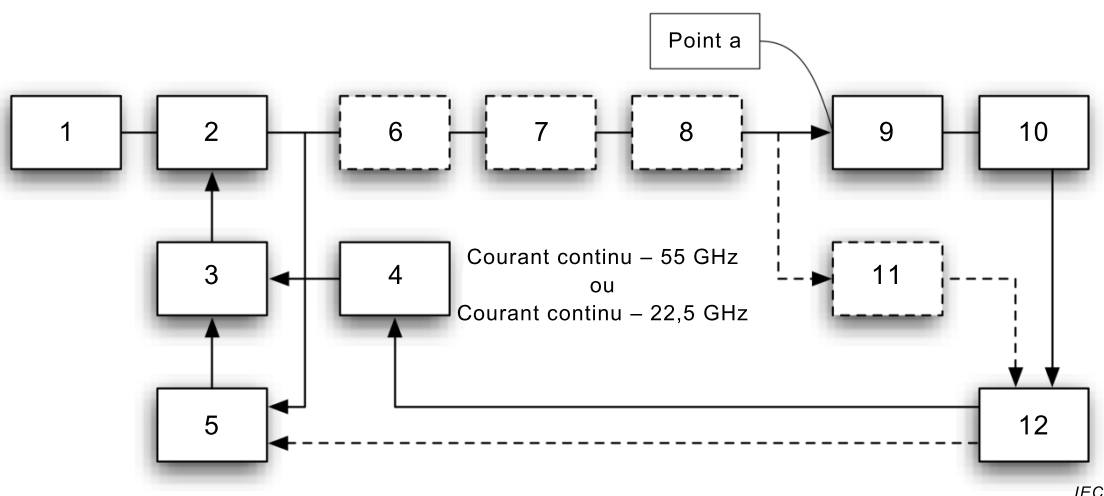
Des méthodes statistiques appropriées doivent être appliquées afin de déterminer l'effectif d'échantillon et les critères d'acceptation appropriés à l'effectif du lot considéré. En l'absence d'analyse statistique plus détaillée, le plan d'échantillonnage suivant peut être utilisé.

Fréquence d'échantillonnage pour l'évaluation de la réponse en fréquence: deux unités au moins par lot de fabrication.

6 Méthode de mesure de la réponse en fréquence

6.1 Schéma du circuit

Voir la Figure 4.



Légende

- | | | | |
|---|--|----|---|
| 1 | Diode laser | 7 | Amplificateur optique (facultatif) |
| 2 | MZM | 8 | Commande automatique de niveau (facultatif) |
| 3 | Té de polarisation | 9 | DUT |
| 4 | Source du signal micro-onde (SC) | 10 | Wattmètre RF ou analyseur de spectre |
| 5 | Source de tension continue | 11 | Wattmètre optique (facultatif) |
| 6 | Filtre optique à élimination de bande (facultatif) | 12 | Ordinateur personnel |

Figure 4 – Schéma du circuit

6.2 Condition de mesure

6.2.1 Température et environnement

Il convient d'effectuer le mesurage dans une pièce dont la température est comprise entre 5 °C et 35 °C. Si les plages de températures de fonctionnement des appareils de mesure sont plus réduites que la plage ci-dessus, il convient de suivre les spécifications des appareils de mesure. Il est souhaitable de contrôler la température de mesure à ± 5 °C afin de limiter le plus possible l'influence de la dérive en température des appareils de mesure. La température du DUT peut être modifiée à l'aide d'un régulateur thermique, le cas échéant.

6.2.2 Préchauffage de l'équipement de mesure

La durée de préchauffage doit être maintenue, en général à 60 min ou à la durée indiquée dans les spécifications des équipements ou systèmes de mesure.

6.3 Principe de la méthode de mesure

La méthode décrite ici repose sur le principe hétérodyne. Une onde lumineuse à deux fréquences éclaire le DUT comme un signal de stimulus. L'onde lumineuse de stimulus à deux fréquences est générée à l'aide d'un MZM à polarisation nulle ou d'un MZM à polarisation complète avec un filtre optique à élimination de bande. Les puissances moyennes de l'onde lumineuse en entrée à deux fréquences et celles du signal RF monofréquence en sortie sont mesurées, et permettent de calculer l'efficacité de conversion à la fréquence considérée. La modification de la différence de fréquence entre les deux fréquences permet d'obtenir la réponse en fréquence de l'efficacité de conversion O/E du DUT.

Il est bien établi qu'une sortie optique du MZM modulée par un signal RF monofréquence peut être exprimée par

$$E_{\text{opt}} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} E_n e^{i(\omega_n t + \phi_n)}, P_{\text{opt}} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} P_n, P_n = [E_n]^2, \text{ et } \omega_{RF} = \omega_{n+1} - \omega_n \quad (4)$$

où P_{opt} est la puissance moyenne totale et ω_{RF} est la fréquence angulaire du signal RF modulant correspondant à la différence de fréquence angulaire entre les fréquences optiques adjacentes. Par exemple, la génération d'un signal à deux fréquences par un MZM à polarisation nulle est décrite dans 6.4. Lorsque

$$|E_{-1}| = |E_{+1}| \gg |E_n| (n \neq -1, +1), \text{ et } P_{\text{opt}} \cong |E_{-1}|^2 + |E_{+1}|^2 = 2|E_{-1}|^2 \quad (5)$$

une double fréquence optique théorique bien équilibrée composée de $P_{\pm 1}$ (voir 6.4) peut être générée, où il convient que les conditions suivantes soient satisfaites:

- a) il convient que la suppression de la porteuse optique et des bandes latérales d'ordre supérieur soit suffisamment importante;
- b) il convient que la différence de fréquence entre les deux composantes désirées soit stable;
- c) il convient que les polarisations des deux composantes spectrales soient bien alignées;
- d) Il convient que la différence de puissance des deux composantes spectrales soit suffisamment réduite.

La puissance optique instantanée P_{opt} qui éclaire la photodiode est calculée comme suit

$$\begin{aligned} P_{\text{opt}} &= \left| E_{-1} e^{i(\omega_{-1}t + \phi_{-1})} + E_{+1} e^{i(\omega_{+1}t + \phi_{+1})} + \sum_{n=-\infty}^{\infty} E_n e^{i(\omega_n t + \phi_n)} \right|^2 (n \neq -1, +1) \\ &\cong P_{\text{opt}} + P_{\text{opt}} \times \cos(2\omega_{\text{RF}}t + \phi) \end{aligned} \quad (6)$$

où $\phi = \phi_{-1} - \phi_{+1}$ et les termes connexes $|E_n| (n \neq -1, +1)$ sont ignorés de l'Equation (5). La photodiode en essai génère un photocourant continu et RF en réponse. Le photocourant RF i_{RF} , induit par la double fréquence optique théorique bien équilibrée composée de $P_{\pm 1}$ ou $P_{\pm 2}$, est exprimé comme suit

$$i_{\text{RF}} = k_e \times P_{\text{opt}} \times \cos(2\omega_{\text{RF}}t + \phi) = I_{\text{RF}} \cos(2\omega_{\text{RF}}t + \phi) \quad (7)$$

où k_e est l'efficacité de conversion de la photodiode en essai à $2\omega_{\text{RF}}$, et i_{RF} est le photocourant de crête. ΔP_{in} est égal à P_{opt} donnant 100% d'OMI (indice de modulation optique) et ΔI_{out} est sensiblement égal à I_{RF} , k_e est décrit par:

$$k_e = \frac{\Delta I_{\text{out}}}{\Delta P_{\text{in}}} \cong \frac{I_{\text{RF}}}{P_{\text{opt}}} \quad (8)$$

où I_{RF} est l'amplitude du photocourant RF induit par la double fréquence optique idéale.

La puissance RF moyenne P_{RF} générant une charge Z_L est exprimée comme suit

$$P_{\text{RF}} = \frac{I_{\text{RF}}}{\sqrt{2}} \times \frac{I_{\text{RF}}}{\sqrt{2}} Z_L = \frac{I_{\text{RF}}^2 Z_L}{2} \quad (9)$$

À partir des Equations (7), (8) and (9), le carré de k_e qui correspond à la capacité de réponse de la photodiode à la fréquence de mesure est calculé comme suit

$$k_e^2 = \frac{I_{RF}^2}{P_{opt}^2} = \frac{2P_{RF}}{Z_L P_{opt}^2} \quad (10)$$

Noter que le carré de k_e peut être calculé uniquement à partir de la puissance optique d'entrée et de la puissance moyenne RF de sortie de la photodiode en essai, si la double fréquence optique bien équilibrée théorique est injectée, qui sont traçables par rapport aux étalons nationaux avec une chaîne de traçabilité relativement courte. Dans cette méthode, le carré de k_e ne dépend pas de la réponse en fréquence du MZM utilisé pour la génération à deux fréquences.

6.4 Procédure de mesure

Deux types de méthodes de mesure sont décrits ici. Dans la Méthode A, un signal à deux fréquences est généré par un MZM à polarisation nulle, le signal étant composé de la première bande latérale de modulation supérieure et inférieure $P_{\pm 1}$. L'espacement en fréquence du signal à deux fréquences est égal au double de la fréquence du signal adressé au MZM. Dans la Méthode B, un signal à deux fréquences est généré par un MZM à polarisation complète, où la sortie de modulateur est composée de la porteuse P_0 et de la seconde bande latérale de modulation supérieure et inférieure $P_{\pm 2}$. À l'aide d'un filtre optique à élimination de bande, la composante P_0 est éliminée afin de générer un signal à deux fréquences composé de $P_{\pm 2}$. L'espacement en fréquence du signal à deux fréquences est égal à quatre fois la fréquence du signal adressé au MZM. L'amplificateur optique et la commande automatique de niveau des Figures B.1 et B.2 peuvent améliorer la plage de fréquences du mesurage comme décrit dans les Annexes B et C.

Méthode A

ÉTAPE 1) Le montage de mesure est préparé comme représenté aux Figures B.1 et B.2, où aucun filtre optique à élimination de bande n'est nécessaire.

ÉTAPE 2) Le signal de sortie du SG est défini comme suit.

Fréquence: la moitié de la fréquence de mesure de sensibilité.

Puissance de sortie: lorsqu'il convient de supprimer les distorsions harmoniques de troisième ordre non désirées inférieures à -30 dB par rapport aux composantes désirées, il convient que la puissance du signal adressé au MZM soit inférieure à

$$\left\{ \frac{0,085 \times V_{\pi}(f)}{\pi} \right\}^2 \quad (11)$$

où, $V_{\pi}(f)$ est la tension à demi-longueur d'onde à la fréquence de modulation.

ÉTAPE 3) Il convient de contrôler la tension continue appliquée au MZM afin de maintenir la polarisation nulle.

ÉTAPE 4) Le wattmètre optique mesure la puissance optique moyenne d'entrée P_{opt} au DUT au point "A". Lorsque P_{opt} est stabilisée par la commande automatique de niveau, il n'est pas nécessaire d'utiliser le wattmètre.

ÉTAPE 5) Le wattmètre RF mesure la puissance RF moyenne de sortie P_{RF} du DUT.

ÉTAPE 6) L'efficacité de conversion k_e à la fréquence de mesure est calculée à l'aide de la formule ci-dessous:

$$k_e = \frac{\sqrt{P_{RF}}}{5P_{opt}} \quad (12)$$

ÉTAPE 7) Répéter l'ÉTAPE 2 à l'ÉTAPE 6 avec une fréquence différente.

Méthode B

- ÉTAPE 1) Le montage de mesure est préparé comme représenté aux Figures B.1 et B.2, où il convient de définir la longueur d'onde centrale du filtre optique à élimination de bande comme étant la longueur d'onde de sortie optique de la diode laser.
- ÉTAPE 2) Le signal de sortie du SG est défini comme suit:
Fréquence: 25 % de la fréquence de mesure de l'efficacité de conversion.
- ÉTAPE 3) Il convient de contrôler la tension continue appliquée au MZM afin de maintenir la polarisation complète, où la composante P_0 est éliminée par le filtre optique à élimination de bande.
- ÉTAPE 4) Le wattmètre optique mesure la puissance optique moyenne d'entrée P_{opt} au DUT au point "A". Lorsque P_{opt} est stabilisée par la commande automatique de niveau, il n'est pas nécessaire d'utiliser le wattmètre.
- ÉTAPE 5) Le wattmètre RF mesure la puissance RF moyenne de sortie PRF du DUT.
- ÉTAPE 6) L'efficacité de conversion k , à la fréquence de mesure est calculée à l'aide de l'Equation (12):
- ÉTAPE 7) Répéter l'ÉTAPE 2 à l'ÉTAPE 6 avec une fréquence différente.

Annexe A (normative)

Génération de signal à deux fréquences à puissance répartie à l'aide d'un MZM à rapport d'extinction élevé [2]

L'Annexe A décrit un exemple de génération de signal à deux fréquences à l'aide d'un MZM à polarisation nulle avec rapport d'extinction élevé. Le point de polarisation peut être contrôlé avec précision, lorsque le rapport d'extinction est très élevé. À la condition de polarisation nulle, la différence de puissance entre les deux composantes spectrales désirées revient à sa valeur minimale.

En considérant un MZM de type push-pull alimenté par un signal RF monofréquence de ω_{RF} , son onde lumineuse en sortie peut être exprimée comme suit

$$\begin{aligned} E &= L \frac{E_{\text{input}} e^{i\omega_0 t}}{2} \left[\left(1 + \frac{\eta}{2} \right) e^{i\{A_1 \sin(\omega_{RF} t + \phi_1) + \phi_{B1}\}} + \left(1 - \frac{\eta}{2} \right) e^{i\{A_2 \sin(\omega_{RF} t + \phi_2) + \phi_{B2}\}} \right] \\ &= L \frac{E_{\text{input}} e^{i(\omega_0 t + \phi_{B1})}}{2} \sum_{n=-\infty}^{\infty} e^{in(\omega_{RF} t + \phi_1)} \left[\left(1 + \frac{\eta}{2} \right) J_n(A + \alpha_A) + \left(1 - \frac{\eta}{2} \right) J_n(-A + \alpha_A) e^{i(n\phi + \phi_B)} \right] \end{aligned} \quad (\text{A.1})$$

où L est le facteur de pertes à l'intérieur du MZM, et $J_n(x)$ est la fonction de Bessel de première espèce d'ordre n . Les valeurs de ϕ_{B1} , ϕ_{B2} , ϕ_B sont les phases de polarisation, η est le déséquilibre d'intensité optique, ϕ_1 , ϕ_2 , ϕ sont les biais et A_1 , A_2 , A , α_A sont les paramètres liés à la porteuse pulsée à fréquence glissante définis comme suit

$$\begin{aligned} \phi_B &= \phi_{B2} - \phi_{B1}, (P_1, P_2) = \frac{|L \times E_{\text{input}}|^2}{4} \left(\left(1 + \frac{\eta}{2} \right)^2, \left(1 - \frac{\eta}{2} \right)^2 \right), |\eta| < 1 \\ \phi &= \phi_2 - \phi_1, (A_1, A_2) = (A + \alpha_A, -A + \alpha_A), |A| > |\alpha_A| \end{aligned} \quad (\text{A.2})$$

Les Equations (A.1) et (A.2) sont réputées présenter une bonne cohérence avec les performances réelles des MZM, les quatre principaux paramètres d'erreur des MZM étant tous inclus [3, 4]. Les puissances de la porteuse, la bande latérale supérieure et la bande latérale inférieure (appelées "0", "+1" et "-1", respectivement) sont déduites comme suit

$$\begin{aligned} P_0 &= |E_0|^2 = \frac{|L \times E_{\text{input}}|^2}{4} \{R^2 + S^2 + 2RS \cos \phi_B\} \\ P_{+1} &= |E_{+1}|^2 = \frac{|L \times E_{\text{input}}|^2}{4} \{T^2 + U^2 - 2TU \cos(\phi_B + \phi)\} \\ P_{-1} &= |E_{-1}|^2 = \frac{|L \times E_{\text{input}}|^2}{4} \{T^2 + U^2 - 2TU \cos(\phi_B - \phi)\} \\ R &= \left(1 + \frac{\eta}{2} \right) J_0(A + \alpha_A), S = \left(1 - \frac{\eta}{2} \right) J_0(A - \alpha_A) \\ T &= \left(1 + \frac{\eta}{2} \right) J_1(A + \alpha_A), U = \left(1 - \frac{\eta}{2} \right) J_1(A - \alpha_A) \end{aligned} \quad (\text{A.3})$$

Dans le cas où le MZM est polarisé à son point de transmission minimal, ce qui correspond au cas de $\phi_B = \pi$, les puissances de P_0 , P_{+1} , et P_{-1} sont calculées comme suit

$$\begin{aligned} P_0 &= \frac{|L \times E_{\text{input}}|^2}{4} (R - S)^2 \\ P_{+1} = P_{-1} &= \frac{|L \times E_{\text{input}}|^2}{4} \{T^2 + U^2 + 2TU \cos \phi\} \end{aligned} \quad (\text{A.4})$$

L'Equation (A.4) signifie que lorsque le MZM est polarisé à un point de transmission minimal, la puissance de porteuse P_0 devient la valeur minimale. De même, les puissances de bande latérale supérieure et inférieure de P_{+1} et P_{-1} deviennent égales. Par conséquent, en ajustant les tensions de polarisation du MZM à rapport d'extinction élevé pour maintenir la puissance de porteuse à une valeur minimale, les puissances des deux fréquences deviennent automatiquement égales. Noter que l'Equation (A.4) est satisfaite quels que soient les autres paramètres de η , α_A , et ϕ . De plus, cette technique est cohérente avec la technique de suppression de la puissance de porteuse. Il est plus aisé de contrôler la puissance de porteuse que de mesurer chaque puissance du signal à deux fréquences. Dans le mesurage de la réponse en fréquence, deux techniques différentes de méthode optique et RF sont utilisées, en fonction de la plage de fréquences de mesure. Pour une plage de fréquences supérieures à 10 GHz, un filtre passe-bande optique à bande étroite extrait directement l'onde lumineuse à porteuse, et sa puissance optique est contrôlée. Pour une plage de fréquences inférieures à 10 GHz, un analyseur de spectre RF surveille le signal RF provenant de la photodiode de référence, qui présente une réponse en fréquence pratiquement plate du courant continu à 10 GHz.

Annexe B (informative)

Exigences relatives à l'amplificateur optique avec commande automatique de niveau

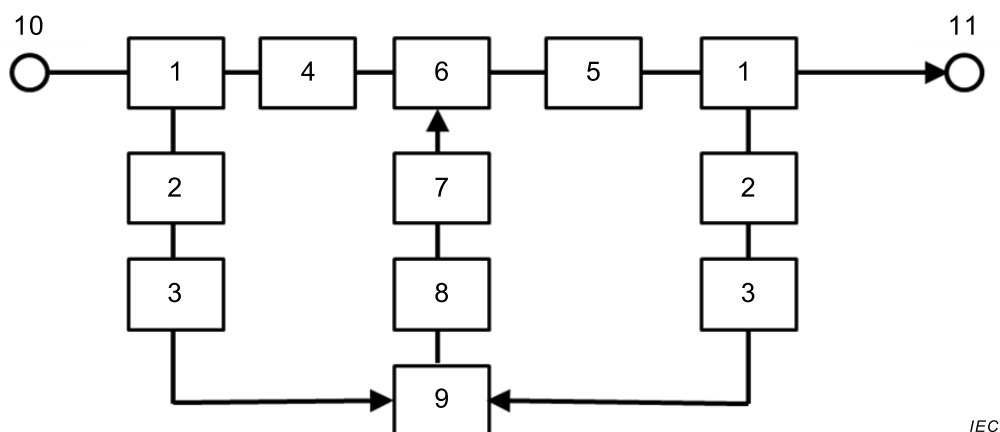
B.1 Remarque préliminaire

L'Annexe B décrit l'amplificateur optique et la fonction de système à commande automatique de niveau, ainsi que les exigences générales nécessaires à la réalisation de ces fonctions.

B.2 Schéma fonctionnel

B.2.1 Amplificateur optique

Voir la Figure B.1.



IEC

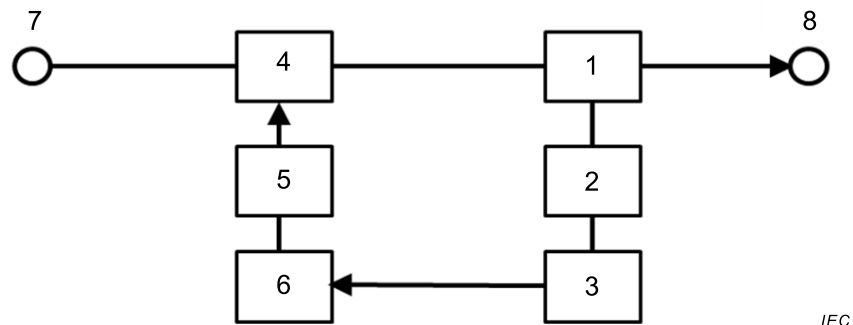
Légende

1	Coupleur optique	7	LD de pompage
2	Photodiode	8	Pilote de la LD de pompage
3	Amplificateur transimpédance	9	FPGA (réseau de portes programmable sur site)
4	Ligne à retard optique	10	Entrée optique
5	EDF (fibre dopée à l'erbium)	11	Sortie optique
6	Multiplexeur en longueur d'onde		

Figure B.1 – Schéma fonctionnel de l'amplificateur optique

B.2.2 Commande automatique de niveau

Voir la Figure B.2.



Légende

- | | | | |
|---|--------------------------------------|---|---|
| 1 | Coupleur optique | 5 | Pilote du VOA |
| 2 | Photodiode | 6 | FPGA (réseau de portes programmable sur site) |
| 3 | Amplificateur transimpédance | 7 | Entrée optique |
| 4 | VOA (affaiblisseur optique variable) | 8 | Sortie optique |

Figure B.2 – Schéma fonctionnel de la commande automatique de niveau

B.3 Fonction et fonctionnalités

La combinaison d'un amplificateur optique et d'un système à commande automatique de niveau (ALC) peut offrir une largeur de bande de fréquence agrandie, comme décrit à la Figure B.3.

Les signaux de sortie balayés provenant d'un MZM sont amplifiés par un amplificateur AGC-EDFA (Amplificateur à fibre dopée à l'erbium à commande automatique de gain). La perte du VOA intégré dans le système ALC est définie à l'avance sur une valeur appropriée. La largeur de la bande de fréquence peut être agrandie en réglant la perte du VOA. Par conséquent, un système à deux fréquences équipé d'un amplificateur optique et d'un système ALC permet d'obtenir une largeur de bande de fréquence plus importante comparée à un MZM.

Si l'affaiblissement de puissance du MZM avoisine 6 dB par octave et que la perte prédéfinie du VOA est de 6 dB, la largeur de la bande de fréquence du système à deux fréquences peut doubler.

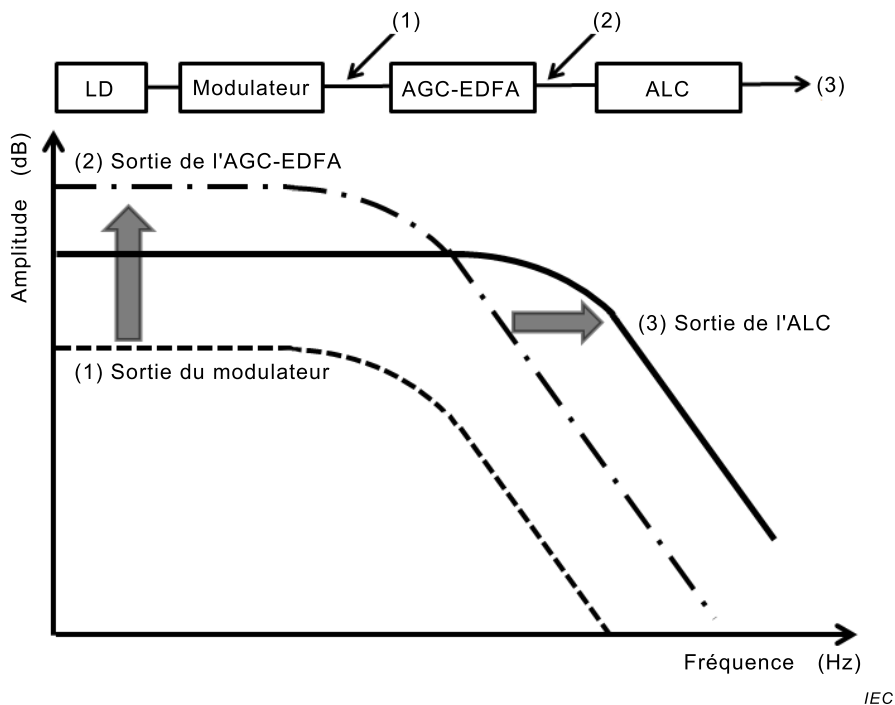


Figure B.3 – Caractéristiques de fréquence

B.4 Exigences

B.4.1 Amplificateur optique

Les exigences typiques pour le système combiné de l'AGC-EDFA et de l'ALC en tant que système de mesure portent sur un balayage de fréquence à grande vitesse inférieur à 1 ms et une faible erreur de mesure, inférieure à 0,2 dB.

La liste ci-dessous décrit les exigences relatives à l'AGC-EDFA:

- fonction: AGC (commande automatique de gain);
- plage de longueurs d'onde: 1 530 nm à 1 562 nm;
- plage de puissances d'entrée: -24 dBm à -4 dBm;
- gain: 18 dB à 23 dB;
- erreur de gain: 0,1 dB max;
- facteur de bruit: 6 dB max.

La fonction de transfert du système de commande de retour AGC-EDFA (FB) est donnée par:

$$T_{\text{AGC-EDFA}} = \frac{G_1(s) \times G_2(s) \times G_3(s) \times G_4(s)}{1 + G_1(s) \times G_2(s) \times G_3(s) \times G_4(s) \times G_5(s)} \quad (\text{B.1})$$

où

- $G_1(s)$ est la fonction de transfert de la photodiode côté entrée et du TIA;
- $G_2(s)$ est la fonction de transfert du pilote de la LD de pompage;
- $G_3(s)$ est la fonction de transfert de la LD de pompage;
- $G_4(s)$ est la fonction de transfert de l'EDF;
- $G_5(s)$ est la fonction de transfert de la photodiode côté sortie et du TIA;

Une vitesse élevée n'est pas exigée pour la commande FB, car une EDF dispose d'une vitesse de réponse physique de l'ordre de la ms. Toutefois, il convient que la valeur du gain de boucle soit suffisamment importante pour générer une petite erreur de gain.

B.4.2 Commande automatique de niveau (ALC)

Pour réaliser un temps de balayage à grande vitesse, le VOA intégré dans le système ALC doit être un VOA de type à grande vitesse (de type électro-optique (E/O) ou acousto-optique (A/O), par exemple).

Les principales exigences sont décrites ci-après:

- vitesse de réponse: < 100 µs;
- perte d'insertion: < 0,3 dB;
- erreur de gain: 0,1 dB max.

Ici, il s'agit d'une fonction de transfert du système de commande ALC FB:

$$T_{AGC-EDFA} = \frac{G_1(s) \times G_2(s) \times G_3(s)}{1 + G_1(s) \times G_2(s) \times G_3(s) \times G_4(s)} \quad (B.2)$$

où

$G_1(s)$ est la fonction de transfert du pilote du VOA;

$G_2(s)$ est la fonction de transfert du VOA;

$G_3(s)$ est la fonction de transfert de l'EDF;

$G_4(s)$ est la fonction de transfert de la photodiode côté sortie et du TIA;

Une conception optimale des caractéristiques en fréquence de la fonction de transfert est nécessaire pour obtenir une réponse à grande vitesse sans instabilité, et il convient que la valeur du gain de boucle soit suffisamment importante pour générer une petite erreur de gain.

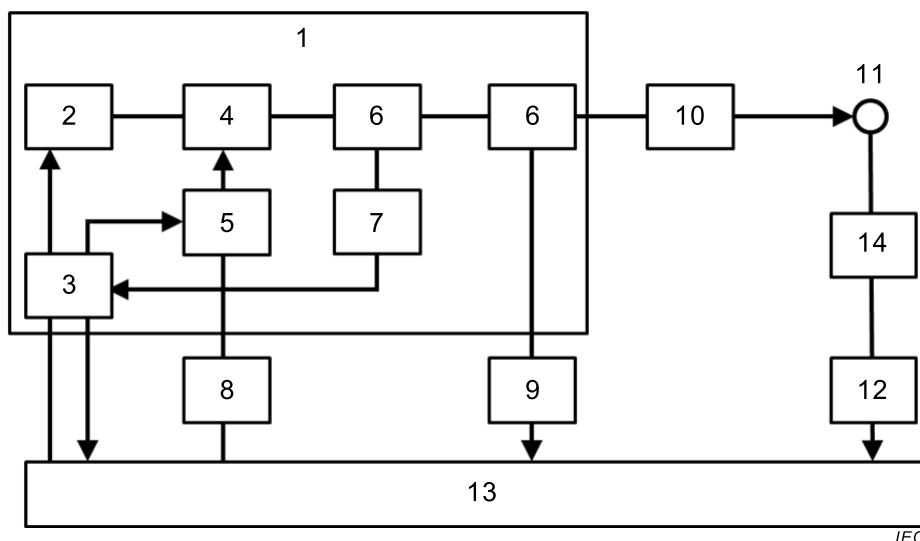
Annexe C (informative)

Système de mesure de la réponse en fréquence et EDFA à commande automatique de niveau

C.1 Système de mesure de la réponse en fréquence pour les dispositifs de conversion optique-électrique avec un générateur à deux fréquences

La Figure C.1 représente la configuration du système de mesure de la réponse en fréquence. Le système est composé d'un générateur à deux fréquences, d'un EDFA, d'un générateur de signal RF, d'un wattmètre optique et d'un wattmètre RF. Le balayage en fréquence est mesuré en procédant au balayage du générateur de signal RF. L'efficacité des dispositifs de conversion O/E peut être calculée par des niveaux de puissance optique et RF pour chaque fréquence.

Le générateur à deux fréquences est composé d'une diode laser (LD), d'un modulateur externe, d'un moniteur, d'un circuit de commande pour le modulateur externe et d'un circuit de commande. Pour supprimer les éléments non essentiels du signal à deux fréquences de sortie, il convient de contrôler le modulateur externe de manière à maintenir une tension de polarisation optimale.



Légende

1 Générateur à deux fréquences	6 Coupleur optique	11 Sortie optique
2 LD (diode laser)	7 Moniteur	12 Wattmètre RF
3 Circuit de commande	8 Générateur de signal RF	13 PC (ordinateur personnel)
4 Modulateur externe	9 Wattmètre optique	14 DUT (dispositif en essai)
5 Circuit de commande	10 EDFA (amplificateur à fibre dopée à l'erbium)	

Figure C.1 – Configuration du système de mesure de la réponse en fréquence

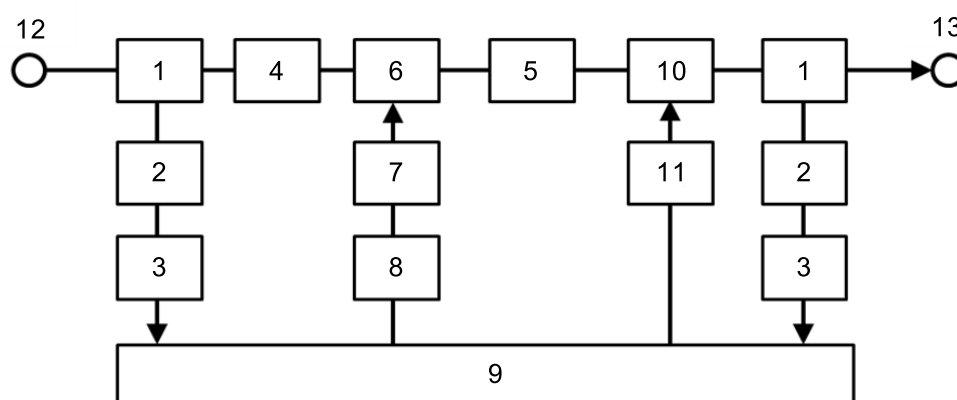
Le Tableau C.1 présente un exemple de spécification du système de mesure de la réponse en fréquence. Des performances d'éléments non essentiels inférieures à -30 dB peuvent être obtenues par un contrôle optimal de la polarité. La plage de fréquences RF dépend essentiellement du générateur de signal RF. Une plage supérieure à 20 GHz peut être réalisée à l'aide d'un générateur de signal RF à plage plus large.

Tableau C.1 – Spécifications typiques du système de mesure de la réponse en fréquence

Élément	Spécifications	Commentaires
Plage de longueurs d'onde	1 550 nm $\pm$ 1 nm	Diode laser DFB
Plage de fréquences RF	20 MHz à 20 GHz	
Niveau de sortie	> –30 dBm	Signal à deux fréquences
Élément non essentiel	> –30 dBm	Rapport de suppression de porteuse
Exactitude du gain relatif	< $\pm 0,6$ dB	
Exactitude du gain absolu	< $\pm 0,8$ dB	
Pas de fréquence	> 10 MHz	Générateur de signal RF
Exactitude de fréquence	< 10 MHz	Générateur de signal RF

C.2 EDFA à commande automatique de niveau (ALC-EDFA)

La Figure C.2 représente une configuration de système ALC-EDFA. L'ALC-EDFA est composé d'une EDF, d'un VOA, d'une LD de pompage, de deux moniteurs, de deux circuits de commande et d'un FPGA. L'EDF est commandée par gain constant par le moniteur de puissance d'entrée et la LD de pompage. La commande à niveau constant de la sortie est assurée par le VOA et les moniteurs d'entrée et de sortie.



IEC

Légende

1 Coupleur optique	6 Multiplexeur en longueur d'onde	11 Pilote du VOA
2 Photodiode	7 LD de pompage	12 Entrée optique
3 Amplificateur transimpédance	8 Pilote de la LD de pompage	13 Sortie optique
4 Ligne à retard optique	9 FPGA (réseau de portes programmable sur site)	
5 EDF (fibre dopée à l'erbium)	10 VOA (affaiblisseur optique variable)	

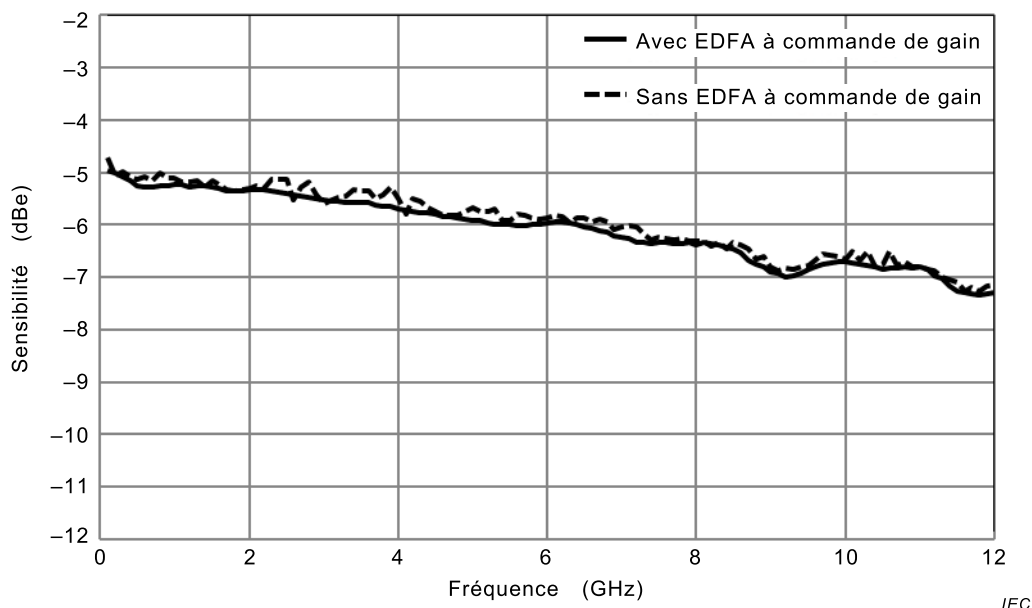
Figure C.2 – Configuration de système ALC-EDFA

Comme décrit dans le Tableau C.2, la plage de longueurs d'onde est comprise entre 1 530 nm et 1 562 nm. La plage et le niveau de puissance dépendent des performances du pompage. La vitesse de réponse est déterminée par la vitesse de contrôle de retour FPGA. Le contrôle de polarité à haute précision assure la stabilité de puissance à 0,1 dB.

Tableau C.2 – Spécifications typiques du système ALC-EDFA

Élément	Spécifications
Plage de longueurs d'onde	1 530 nm à 1 562 nm
Plage de puissances d'entrée	–22 dBm à –12 dBm
Vitesse de réponse	< 1 ms
Niveau de puissance de sortie	> –5 dBm
Stabilité de puissance de sortie	< $\pm 0,1$ dB

La Figure C.3 est un exemple de résultats de réponse en fréquence de la photodiode avec et sans l'utilisation d'un EDFA à commande automatique de niveau [5]. La photodiode en essai est une photodiode Picometrix modèle PT-15 C (largeur de bande de 15 GHz). La réponse est de 3 dB au-dessus de 12 GHz et les résultats correspondent à la largeur de bande indiquée. Les résultats de la réponse en fréquence présentent une fluctuation plus faible, inférieure à $\pm 0,1$ dB, lorsque la puissance à deux fréquences est contrôlée par l'EDFA.

**Figure C.3 – Exemples de mesure de la réponse en fréquence**

Bibliographie

- [1] KIUCHI, H., KAWANISHI, T., YAMADA, M., SAKAMOTO, T., TSUCHIYA, M., AMAGAI, J. and IZUTSU, M., *High Extinction Ratio Mach-Zehnder Modulator Applied to a Highly Stable Optical Signal Generator*, *IEEE Transactions On Microwave Theory and Techniques*, 55, 1964-1972 (2007).
 - [2] INAGAKI, K., KAWANISHI, T. and IZUTSU, M., *Optoelectronic frequency response measurement of photodiodes by using high-extinction ratio optical modulator*, *IEICE Electron Express*, Vol.9, issue 4, pp.220-226, 2012.
 - [3] KAWANISHI, T., SAKAMOTO, S. and IZUTSU, M., *High-Speed Control of Lightwave Amplitude, Phase, and Frequency by Use of Electrooptic Effect*, *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, 13, 79-91 (2007).
 - [4] KAWANISHI, T., SAKAMOTO, T., CHIBA, A., TSUCHIYA, M. and TODA, H., *Ultra high extinction-ratio and ultra-low chirp optical intensity modulation for pure two-tone lightwave signal generation*, *CLEO2008*, CFA1.
 - [5] TANGMALA, T., MANKONG, U., INAGAKI, K. and KAWANISHI, T. *PD Frequency Response Measurement Technique Using MZM with Two-tone Light wave Power Control*, 2013, Conference on Lasers and Electro-Optics Pacific Rim (CLEO-PR), WPF-32.
-

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

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

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