

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

61290-11-1

Première édition
First edition
2003-02

**Méthodes d'essai des amplificateurs
à fibres optiques –**

**Partie 11-1:
Dispersion en mode de polarisation –
Méthode d'analyse propre de matrice
de Jones (JME)**

Optical amplifier test methods –

**Part 11-1:
Polarization mode dispersion –
Jones matrix eigenanalysis method (JME)**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 61290-11-1:2003

Numérotation des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000. Ainsi, la CEI 34-1 devient la CEI 60034-1.

Editions consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique. Des renseignements relatifs à cette publication, y compris sa validité, sont disponibles dans le Catalogue des publications de la CEI (voir ci-dessous) en plus des nouvelles éditions, amendements et corrigenda. Des informations sur les sujets à l'étude et l'avancement des travaux entrepris par le comité d'études qui a élaboré cette publication, ainsi que la liste des publications parues, sont également disponibles par l'intermédiaire de:

- Site web de la CEI (www.iec.ch)
- Catalogue des publications de la CEI

Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI (www.iec.ch/catlg-f.htm) vous permet de faire des recherches en utilisant de nombreux critères, comprenant des recherches textuelles, par comité d'études ou date de publication. Des informations en ligne sont également disponibles sur les nouvelles publications, les publications remplacées ou retirées, ainsi que sur les corrigenda.

- IEC Just Published

Ce résumé des dernières publications parues (www.iec.ch/JP.htm) est aussi disponible par courrier électronique. Veuillez prendre contact avec le Service client (voir ci-dessous) pour plus d'informations.

- Service clients

Si vous avez des questions au sujet de cette publication ou avez besoin de renseignements supplémentaires, prenez contact avec le Service clients:

Email: custserv@iec.ch
Tél: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

Publication numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series. For example, IEC 34-1 is now referred to as IEC 60034-1.

Consolidated editions

The IEC is now publishing consolidated versions of its publications. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Further information on IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology. Information relating to this publication, including its validity, is available in the IEC Catalogue of publications (see below) in addition to new editions, amendments and corrigenda. Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is also available from the following:

- IEC Web Site (www.iec.ch)
- Catalogue of IEC publications

The on-line catalogue on the IEC web site (www.iec.ch/catlg-e.htm) enables you to search by a variety of criteria including text searches, technical committees and date of publication. On-line information is also available on recently issued publications, withdrawn and replaced publications, as well as corrigenda.

- IEC Just Published

This summary of recently issued publications (www.iec.ch/JP.htm) is also available by email. Please contact the Customer Service Centre (see below) for further information.

- Customer Service Centre

If you have any questions regarding this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre:

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

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

61290-11-1

Première édition
First edition
2003-02

**Méthodes d'essai des amplificateurs
à fibres optiques –**

**Partie 11-1:
Dispersion en mode de polarisation –
Méthode d'analyse propre de matrice
de Jones (JME)**

Optical amplifier test methods –

**Part 11-1:
Polarization mode dispersion –
Jones matrix eigenanalysis method (JME)**

© IEC 2003 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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'éditeur.

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 the publisher.

International Electrotechnical Commission, 3, rue de Varembé, PO Box 131, CH-1211 Geneva 20, Switzerland
Telephone: +41 22 919 02 11 Telefax: +41 22 919 03 00 E-mail: inmail@iec.ch Web: www.iec.ch



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

M

Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	4
INTRODUCTION	6
1 Domaine d'application et objet	8
2 Appareillage.....	10
2.1 Laser accordable	10
2.2 Dispositif d'ajustage de la polarisation	10
2.3 Polariseurs	10
2.4 Optiques d'entrée	12
2.5 Fibre amorce	12
2.6 Système de lentille optique	12
2.7 Optiques de sortie	12
2.8 Polarimètre	12
3 Procédure	12
4 Calculs	14
4.1 Calculs d'analyse propre de matrice de Jones	14
4.2 Présentation de la DGD par rapport à la longueur d'onde	14
4.3 DGD moyen	16
4.4 DGD maximal	16
5 Résultats d'essai	16
Annexe A (informative) Liste des symboles et des abréviations	18
Annexe B (informative) Réduction du degré de polarisation du fait de l'amplificateur optique ESA	20
Bibliographie	24
Figure 1 – Schéma de matériel (type).....	10
Figure 2 – Exemple de mesure du DGD pour un amplificateur optique type (le DOP pour cette mesure est compris entre 57 % et 79 %)	16
Figure B.1 – Spectre de sortie d'amplificateur optique (la largeur de bande de résolution de l'OSA est 0,5 nm)	20

CONTENTS

FOREWORD	5
INTRODUCTION	7
1 Scope and object	9
2 Apparatus	11
2.1 Tunable laser	11
2.2 Polarization adjuster	11
2.3 Polarizers	11
2.4 Input optics	13
2.5 Fibre pigtail	13
2.6 Optical lens system	13
2.7 Output optics	13
2.8 Polarimeter	13
3 Procedure	13
4 Calculations	15
4.1 Jones matrix eigenanalysis calculations	15
4.2 Display of DGD versus wavelength	15
4.3 Average DGD	17
4.4 Maximum DGD	17
5 Test results	17
Annex A (informative) List of symbols and abbreviations	19
Annex B (informative) Degree of polarization reduction due to optical amplifier ASE	21
Bibliography	25
Figure 1 – Schematic diagram of equipment (typical)	11
Figure 2 – Measurement example of the DGD for a typical optical amplifier (the DOP for this measurement ranged from 57 % to 79 %)	17
Figure B.1 – Spectrum of optical amplifier output (OSA resolution bandwidth is 0,5 nm)	21

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MÉTHODES D'ESSAI DES AMPLIFICATEURS À FIBRES OPTIQUES –

Partie 11-1: Dispersion en mode de polarisation – Méthode d'analyse propre de matrice de Jones (JME)

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Électrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes internationales. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, spécifications techniques, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Norme internationale peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 61290-11-1 a été établie par le sous-comité 86C: Systèmes et dispositifs actifs à fibres optiques, du comité d'études 86 de la CEI: Fibres optiques.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
86C/495/FDIS	86C/516/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/CEI, Partie 2.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant 2007. A cette date, la publication sera

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

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

OPTICAL AMPLIFIER TEST METHODS –

**Part 11-1: Polarization mode dispersion –
Jones matrix eigenanalysis method (JME)**

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the 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, the IEC publishes International Standards. 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. The 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 the 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 National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical specifications, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 61290-11-1 has been prepared by subcommittee 86C: Fibre optic systems and active devices, of IEC technical committee 86: Fibre optics.

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

FDIS	Report on voting
86C/495/FDIS	86C/516/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 2007. At this date, the publication will be

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

INTRODUCTION

Pour autant que l'on puisse en juger, la présente partie de la CEI 61290 est la première norme internationale qui traite de ce sujet. La technologie des amplificateurs à fibres optiques évolue toujours, de sorte que des amendements et de nouvelles éditions de cette norme sont à prévoir.

Chaque abréviation introduite dans cette norme est expliquée dans le texte, au moins lors de sa première apparition. Cependant, pour une meilleure compréhension de l'ensemble, une liste de toutes les abréviations utilisées se trouve dans l'Annexe A.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61290-11-1:2003

Withdrawn

INTRODUCTION

As far as can be determined, this part of IEC 61290 is the first International Standard on this subject. The technology of optical fibre amplifiers is still evolving, hence amendments and new editions to this document should be expected.

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61290-11-1:2003

Withd2Wm

MÉTHODES D'ESSAI DES AMPLIFICATEURS À FIBRES OPTIQUES –

Partie 11-1: Dispersion en mode de polarisation – Méthode d'analyse propre de matrice de Jones (JME)

1 Domaine d'application et objet

La présente partie de la CEI 61290 s'applique à tous les amplificateurs optiques (AO) disponibles sur le marché, y compris ceux qui utilisent des fibres actives (AFO) et les amplificateurs à semiconducteurs (SOA) qui utilisent des supports de gain à semiconducteurs.

La dispersion en mode de polarisation (PMD) provoque l'extension d'une impulsion optique dans le domaine temporel. Cette dispersion pourrait affecter la performance d'un système de télécommunications. L'effet peut être lié à une vitesse de groupe différentielle et des temps d'arrivée correspondants de différents composants de polarisation du signal. Pour une source à bande étroite, l'effet peut être lié à un retard différentiel de groupe (DGD) entre des paires d'états principaux de polarisation orthogonalement polarisés (PSP).

Cette méthode d'essai décrit une procédure pour mesurer la PMD des AOs. Le résultat de mesure est obtenu à partir de la mesure des paramètres de Stokes normalisés à deux longueurs d'onde à espacement serré.

La méthode d'essai décrite ici exige un signal polarisé à l'entrée du polarimètre avec un degré de polarisation (DOP) d'au moins 25 %. Bien que la source d'essai soit hautement polarisée, le DOP à la sortie de l'AO est réduit par l'émission spontanée amplifiée (ESA). L'Annexe B analyse l'impact de l'ESA sur le DOP. Afin d'assurer une précision de mesure, le DOP est mesuré en tant que partie de la procédure de mesure.

La méthode décrite ici s'est avérée être exempte de gain dépendant de la polarisation (PDG) et de la perte dépendant de la polarisation (PDL) jusqu'à approximativement 1 dB.

Bien que la méthode d'essai d'analyse propre de matrice de Jones (JME) soit en principe aussi applicable aux AOs non pompés (autrement dit, non propulsés), la technique JME de cette norme ne s'applique qu'aux AOs pompés (autrement dit, propulsés).

OPTICAL AMPLIFIER TEST METHODS –

Part 11-1: Polarization mode dispersion – Jones matrix eigenanalysis method (JME)

1 Scope and object

This part of IEC 61290 applies to all commercially available optical amplifiers (OAs) including optical fibre amplifiers (OFAs) using active fibres and semiconductor optical amplifiers (SOAs) using semiconductor gain media.

Polarization-mode dispersion (PMD) causes an optical pulse to spread in the time domain. This dispersion could impair the performance of a telecommunications system. The effect can be related to differential group velocity and corresponding arrival times of different polarization components of the signal. For a narrowband source, the effect can be related to a differential group delay (DGD) between pairs of orthogonally polarized principal states of polarization (PSP).

This test method describes a procedure for measuring the PMD of OAs. The measurement result is obtained from the measurement of the normalized Stokes parameters at two closely spaced wavelengths.

The test method described herein requires a polarized signal at the input of the polarimeter with a degree of polarization (DOP) of at least 25 %. Although the test source is highly polarized, the DOP at the output of the OA is reduced by amplified spontaneous emission (ASE). Annex B analyses the impact of ASE on the DOP. In order to assure an accurate measurement, the DOP is measured as part of the measurement procedure.

The method described herein has been shown to be immune to polarization-dependent gain (PDG) and polarization dependent loss (PDL) up to approximately 1 dB.

Although the Jones matrix eigenanalysis (JME) test method is in principle also applicable to unpumped (that is, unpowered) OAs, the JME technique in this standard applies to pumped (that is, powered) OAs only.

2 Appareillage

La Figure 1 ci-dessous représente un schéma des composants pivots d'un système de mesure type.

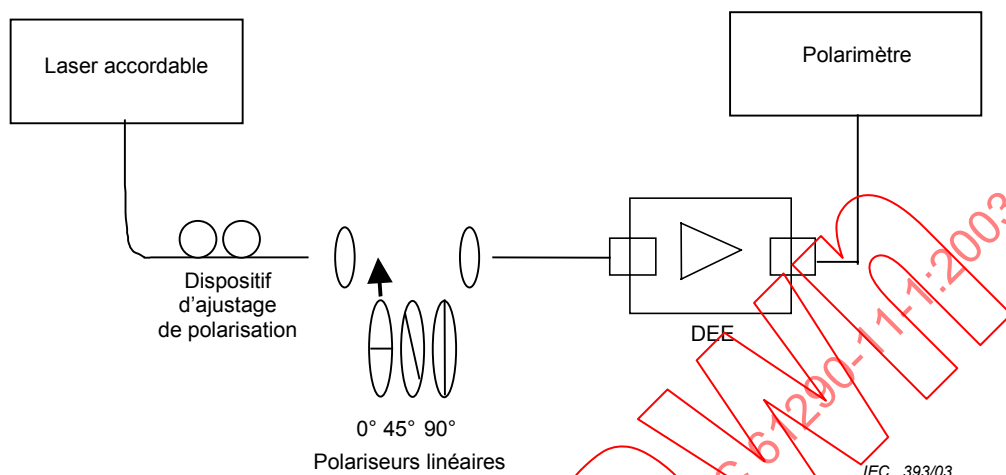


Figure 1 – Schéma de matériel (type)

2.1 Laser accordable

Utiliser des lasers unifilaires ou des sources à bande étroite qui peuvent être modifiés ou réglés à travers la gamme de longueurs d'onde de mesure prévue. La répartition spectrale doit être suffisamment étroite de sorte que la lumière sur le DEE demeure polarisée dans toutes conditions de mesure.

2.2 Dispositif d'ajustage de la polarisation

Si la source est polarisée, un dispositif d'ajustage de la polarisation suit le laser et est réglé pour fournir en gros la lumière à polarisation circulaire aux polariseurs, de sorte que les polariseurs ne croisent jamais la polarisation avec la lumière d'entrée. Si la source est non polarisée, ceci n'est pas nécessaire. Pour la source polarisée, régler la polarisation comme suit.

- Régler la longueur d'onde du laser accordable au centre de la gamme à mesurer.
- Insérer chacun des trois polariseurs dans le faisceau et réaliser 3 mesures de puissance correspondantes à la sortie du polariseur.
- Régler la polarisation de source par le dispositif d'ajustage de polarisation de telle sorte que les 3 puissances entrent approximativement dans une gamme de 3 dB d'une à l'autre.

Dans une version de faisceau ouvert du montage, des plaques d'onde peuvent réaliser le réglage de polarisation.

2.3 Polariseurs

Trois polariseurs linéaires aux angles relatifs d'approximativement 45° sont disposés pour être insérés dans le faisceau de lumière chacun leur tour. Les angles relatifs réels doivent être connus.

2 Apparatus

See Figure 1 for a schematic diagram of the key components in a typical measurement system.

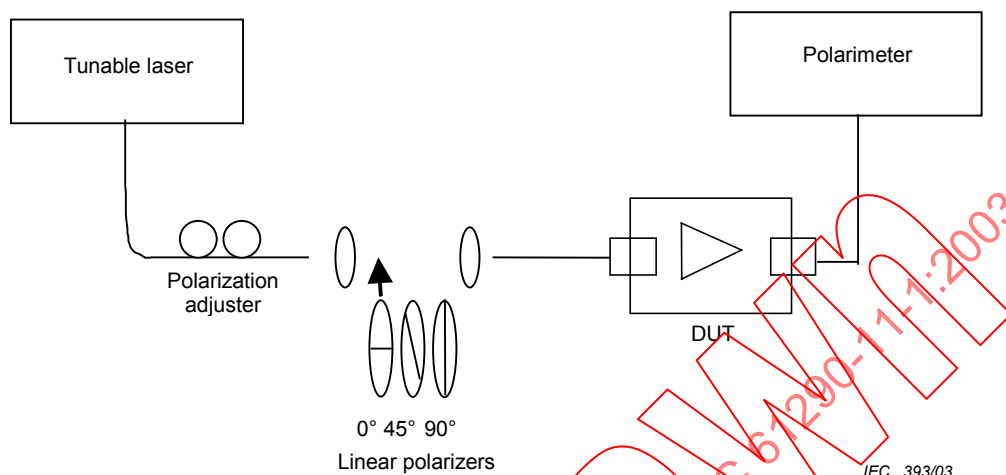


Figure 1 – Schematic diagram of equipment (typical)

2.1 Tunable laser

Use single-line lasers or narrowband sources that can be varied or tuned across the intended measurement wavelength range. The spectral distribution shall be narrow enough so that light on the DUT remains polarized under all conditions of the measurement.

2.2 Polarization adjuster

If the source is polarized, a polarization adjuster follows the laser and is set to provide roughly circularly polarized light to the polarizers, so that the polarizers never cross polarization with the input light. If the source is unpolarized, this is not necessary. For the polarized source, adjust the polarization as follows.

- Set the tunable laser wavelength to the centre of the range to be measured.
- Insert each of the 3 polarizers into the beam and perform 3 corresponding power measurements at the output of the polarizer.
- Adjust the source polarization via the polarization adjuster in such a way that the 3 powers fall within approximately a 3-dB range of one another.

In an open-beam version of the set-up, waveplates may perform the polarization adjustment.

2.3 Polarizers

Three linear polarizers at relative angles of approximately 45° are arranged to be inserted into the light beam in turn. The actual relative angles must be known.

2.4 Optiques d'entrée

Un système de lentilles optique ou une fibre amorce monomode peut être employé pour exciter le DEE.

2.5 Fibre amorce

Si des fibres amorcees sont utilisées, il convient d'éviter les effets de brouillage du fait de réflexions. Ceci peut nécessiter des matériaux adaptateurs d'indice ou des clivages angulaires. Les fibres amorcees doivent être monomodes.

2.6 Système de lentille optique

Si un système de lentille optique est utilisé, certains moyens adaptés, tels qu'un plateau à succion, doivent être utilisés pour soutenir de façon stable l'extrémité d'entrée de la fibre.

2.7 Optiques de sortie

Coupler toute la puissance émise à partir de la fibre d'essai au polarimètre. Un système de lentille optique, une épissure aboutée à une fibre amorce monomode, ou un couplage à adaptation d'indice effectué directement sur le détecteur sont des exemples de moyens qui peuvent être utilisés.

2.8 Polarimètre

Utiliser un polarimètre pour mesurer les 3 états de sortie de polarisation correspondant à l'insertion de chacun des 3 polariseurs. La gamme de longueurs d'onde du polarimètre doit inclure les longueurs d'onde produites par la source de lumière.

3 Procédure

- Coupler la source de lumière par le dispositif de réglage de polarisation aux polariseurs.
- Coupler la sortie des polariseurs à l'entrée du DEE.
- Coupler la sortie du DEE à l'entrée du polarimètre.
- Sélectionner l'intervalle de longueur d'onde $\Delta\lambda$ sur lequel les paramètres de Stokes normalisés doivent être mesurés. La valeur maximale admissible de $\Delta\lambda$ (autour de la longueur d'onde nominale λ_0) est réglée par la prescription

$$\Delta\tau_{\max} \Delta\lambda \leq \frac{\lambda_0^2}{2c} \quad (1)$$

où $\Delta\tau_{\max}$ est le DGD maximal attendu dans $\lambda_0 \pm \Delta\lambda/2$. Par exemple, le produit du DGD maximal et de l'intervalle de longueur d'onde doit demeurer inférieur à 4 ps·nm à 1 550 nm et inférieur à 2,8 ps·nm à 1 300 nm. Cette prescription assure que d'une longueur d'onde d'essai à la suivante, l'état de sortie de polarisation subit une rotation inférieure à 180° autour de l'axe des états principaux sur la sphère de Poincaré. Si aucune estimation approximative de $\Delta\tau_{\max}$ ne peut être effectuée, exécuter une série de mesures d'échantillons à travers la gamme de longueurs d'onde, chaque mesure utilisant une paire à espacement serré de longueurs d'onde appropriée à la largeur spectrale et au pas de réglage minimal de la source spectrale. Multiplier le DGD maximal mesuré de cette façon par un facteur de sécurité de 3, substituer cette valeur à $\Delta\tau_{\max}$ dans l'expression ci-dessus et calculer la valeur de $\Delta\lambda$ à utiliser dans la mesure réelle. S'il existe une inquiétude que l'intervalle de longueur d'onde utilisé pour une mesure est trop grande, la mesure peut être répétée en utilisant un intervalle de longueur d'onde plus petit. Si la forme de la courbe du DGD par rapport à la longueur d'onde et le DGD moyen est essentiellement inchangée, l'intervalle de longueur d'onde original est satisfaisant.

2.4 Input optics

An optical lens system or single-mode fibre pigtail may be employed to excite the DUT.

2.5 Fibre pigtail

If pigtails are used, interference effects due to reflections should be avoided. This may require index matching materials or angled cleaves. The pigtails shall be single-mode.

2.6 Optical lens system

If an optical lens system is used, some suitable means, such as a vacuum chuck, shall be used to support in a stable manner the input end of the fibre.

2.7 Output optics

Couple all power emitted from the test fibre to the polarimeter. An optical lens system, a butt splice to a single-mode fibre pigtail, or an index-matched coupling made direct to the detector are examples of means that may be used.

2.8 Polarimeter

Use a polarimeter to measure the 3 output states of polarization corresponding to insertion of each of the 3 polarizers. The wavelength range of the polarimeter shall include the wavelengths produced by the light source.

3 Procedure

- Couple the light source through the polarization adjuster to the polarizers.
- Couple the output of the polarizers to the input of the DUT.
- Couple the output of the DUT to the input of the polarimeter.
- Select the wavelength interval $\Delta\lambda$ over which the normalized Stokes parameters are to be measured. The maximum allowable value of $\Delta\lambda$ (around the nominal wavelength λ_0) is set by the requirement

$$\Delta\tau_{\max} \Delta\lambda \leq \frac{\lambda_0^2}{2c} \quad (1)$$

where $\Delta\tau_{\max}$ is the maximum expected DGD within $\lambda_0 \pm \Delta\lambda/2$. For example, the product of the maximum DGD and the wavelength interval shall remain less than 4 ps·nm at 1 550 nm and less than 2,8 ps·nm at 1 300 nm. This requirement ensures that from one test wavelength to the next, the output state of polarization rotates less than 180° about the principal states axis on the Poincaré sphere. If a rough estimate of $\Delta\tau_{\max}$ cannot be made, perform a series of sample measurements across the wavelength range, each measurement using a closely spaced pair of wavelengths appropriate to the spectral width and minimum-tuning step of the optical source. Multiply the maximum DGD measured in this way by a safety factor of 3, substitute this value for $\Delta\tau_{\max}$ in the above expression and compute the value of $\Delta\lambda$ to be used in the actual measurement. If there is concern that the wavelength interval used for a measurement was too large, the measurement may be repeated with a smaller wavelength interval. If the shape of the curve of DGD versus wavelength and the mean DGD is essentially unchanged, the original wavelength interval was satisfactory.

- e) Rassembler les données de mesure. Aux longueurs d'onde sélectionnées, insérer chacun des polariseurs et enregistrer les paramètres de Stokes normalisés correspondants du polarimètre.
- f) Calculer le DOP à partir des paramètres de Stokes normalisés mesurés pour déterminer si la mesure est valide.

$$DOP = \sqrt{s_1^2 + s_2^2 + s_3^2} \quad (2)$$

Si le DOP est supérieur à 25 %, la mesure est valable. Si le DOP est inférieur à 25 %, augmenter la puissance du laser accordable et répéter l'étape e).

4 Calculs

4.1 Calculs d'analyse propre de matrice de Jones

A partir des paramètres de Stokes normalisés, calculer la matrice de Jones de la réponse à chaque longueur d'onde. Pour chaque intervalle de longueur d'onde, calculer le produit de la matrice de Jones $T(\omega + \Delta\omega)$ à la fréquence optique supérieure et la matrice de Jones inverse $T^{-1}(\omega)$ à la fréquence optique inférieure. La fréquence optique angulaire ω est exprimée en radians par seconde et est liée à la fréquence optique ν par $\omega = 2\pi\nu$.

Trouver le DGD $\Delta\tau$ pour l'intervalle de longueur d'onde particulier à partir de l'expression suivante:

$$\Delta\tau = \frac{\text{Arg} \left(\frac{\rho_1}{\rho_2} \right)}{\Delta\omega} \quad (3)$$

où ρ_1 et ρ_2 sont les valeurs propres complexes de $T(\omega + \Delta\omega) T^{-1}(\omega)$ et Arg indique la fonction d'argument, qui est $\text{Arg}(\eta e^{i\theta}) = \theta$. Pour les besoins de l'analyse de données, chaque valeur de DGD est prélevée pour représenter le retard différentiel de groupe au point moyen de l'intervalle de longueur d'onde correspondant. La série des valeurs DGD obtenues à partir d'une série d'intervalles de longueurs d'onde au travers d'une gamme de longueurs d'onde comprend une mesure unique.

4.2 Présentation de la DGD par rapport à la longueur d'onde

Les données provenant des calculs de l'analyse propre de matrice de Jones peuvent être tracées dans un format x-y avec le DGD sur l'axe vertical et la longueur d'onde sur l'axe horizontal comme l'illustre la Figure 2.

- e) Gather the measurement data. At the selected wavelengths, insert each of the polarizers and record the corresponding normalized Stokes parameters from the polarimeter.
- f) Calculate the DOP from the measured normalized Stokes parameters to determine if the measurement is valid.

$$DOP = \sqrt{s_1^2 + s_2^2 + s_3^2} \quad (2)$$

If the DOP is greater than 25 %, the measurement is valid. If the DOP is less than 25 %, increase the tunable laser power and repeat stage e).

4 Calculations

4.1 Jones matrix eigenanalysis calculations

From the normalized Stokes parameters, compute the response Jones matrix at each wavelength. For each wavelength interval, compute the product of the Jones matrix $T(\omega + \Delta\omega)$ at the higher optical frequency and the inverse Jones matrix $T^{-1}(\omega)$ at the lower optical frequency. The radian optical frequency ω is expressed in radians per second and is related to the optical frequency ν by $\omega = 2\pi\nu$.

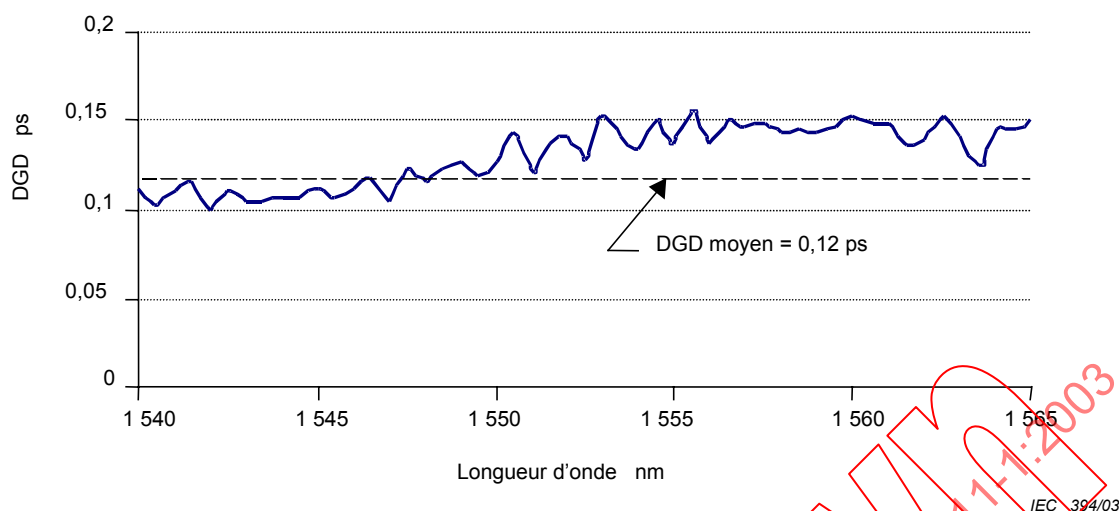
Find the DGD $\Delta\tau$ for the particular wavelength interval from the following expression:

$$\Delta\tau = \frac{\text{Arg}\left(\frac{\rho_1}{\rho_2}\right)}{\Delta\omega} \quad (3)$$

where ρ_1 and ρ_2 are the complex eigenvalues of $T(\omega + \Delta\omega) T^{-1}(\omega)$ and Arg denotes the argument function, that is $\text{Arg}(\eta e^{i\theta}) = \theta$. For the purposes of data analysis, each DGD value is taken to represent the differential group delay at the midpoint of the corresponding wavelength interval. The series of DGD values obtained from a series of wavelength intervals across a wavelength range comprises a single measurement. Display of DGD versus wavelength.

4.2 Display of DGD versus wavelength

Data arising from Jones matrix eigenanalysis calculations may be plotted in an x-y format with DGD on the vertical axis and wavelength on the horizontal axis as shown in Figure 2.



**Figure 2 – Exemple de mesure du DGD pour un amplificateur optique type
(le DOP pour cette mesure est compris entre 57 % et 79 %)**

4.3 DGD moyen

La valeur de PMD attendue d'une mesure unique est simplement la moyenne des valeurs de mesure du DGD correspondant aux intervalles de longueurs d'onde. Si des mesures multiples sont réalisées sous différentes conditions pour augmenter la quantité d'échantillons, la moyenne d'ensemble est utilisée.

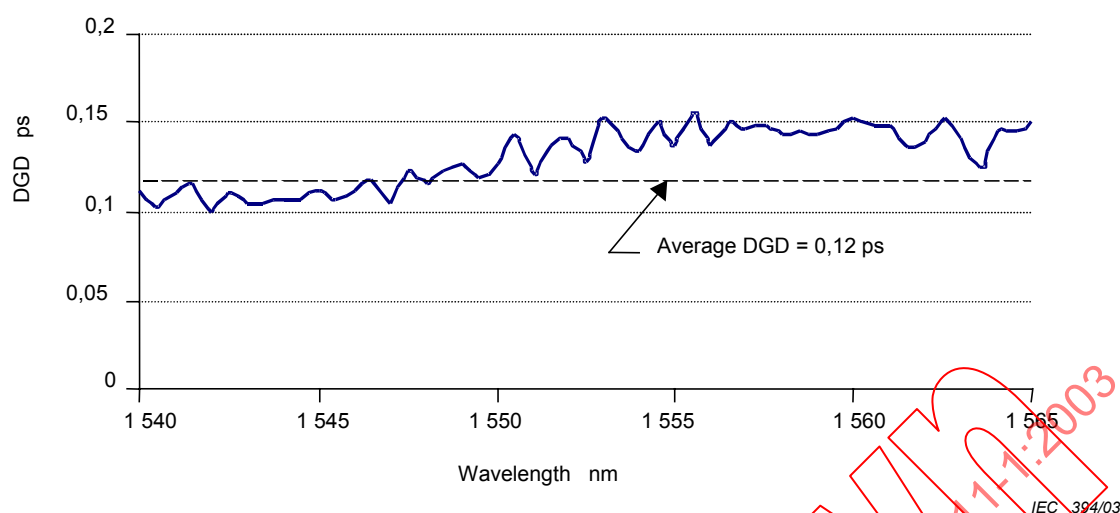
4.4 DGD maximal

Le DGD maximal est la valeur mesurée maximale sur la gamme de longueur d'onde.

5 Résultats d'essai

Consigner les informations suivantes pour chaque essai:

- la gamme de longueurs d'onde sur laquelle la mesure a été réalisée et la taille de pas de longueur d'onde (nm);
- la valeur de DGD à chaque longueur d'onde (ps);
- le DGD moyen au travers la longueur d'onde spécifiée (ps);
- le DGD maximal au travers la longueur d'onde spécifiée (ps);
- le DOP minimal à travers la gamme de longueurs d'onde;
- l'arrangement du montage d'essai, y compris le type de laser accordable et sa largeur de raie spectrale;
- une indication de la condition de fonctionnement de l'amplificateur pendant la mesure, par exemple: la puissance de la pompe optique (si applicable) pour les AFOs ou les conditions de l'électropompe pour les ASOs;
- La température ambiante (si exigée).



**Figure 2 – Measurement example of the DGD for a typical optical amplifier
(the DOP for this measurement ranged from 57 % to 79 %)**

4.3 Average DGD

The expected PMD value of a single measurement is simply the average of the DGD measurement values corresponding to the wavelength intervals. If multiple measurements are performed under different conditions to increase the sample size, the ensemble average is used.

4.4 Maximum DGD

The maximum DGD is the maximum measured value over the wavelength range.

5 Test results

Report the following information for each test:

- the wavelength range over which the measurement was performed, and the wavelength step size (nm);
- the value of DGD at each wavelength (ps);
- the average DGD across the specified wavelength range (ps);
- the maximum DGD across the specified wavelength range (ps);
- the minimum DOP across the wavelength range;
- arrangement of the test set-up, including the type of tunable laser and its spectral linewidth;
- an indication of the amplifier operating condition during measurement, for example, optical pump power (if applicable) for OFAs or electrical pump conditions (if applicable) for SOAs;
- ambient temperature (if required).

Annexe A (informative)

Liste des symboles et des abréviations

$\Delta\lambda$	Intervalle de longueur d'onde
$\Delta\tau$	Retard différentiel de groupe (DGD)
ν	Fréquence optique
ω	Fréquence optique angulaire
F	Facteur de bruit de l'AO
G	Gain
h	Constante de Plank
$N(\lambda)$	Densité spectrale de puissance de l'ESA
P_s	Puissance du signal amplifiée
AFO	Amplificateur à fibres optiques
AO	Amplificateur optique
ASO	Amplificateur optique à semiconducteurs
DEE	Dispositif (amplificateur optique) en essai
DGD	Retard différentiel de groupe
DOP	Degré de polarisation
ESA	Emission spontanée amplifiée
JME	Analyse propre de matrice de Jones
PDG	Gain dépendant de la polarisation
PDL	Perte dépendant de la polarisation
PMD	Dispersion en mode de polarisation
PSP	Etats principaux de polarisation

Annex A

(informative)

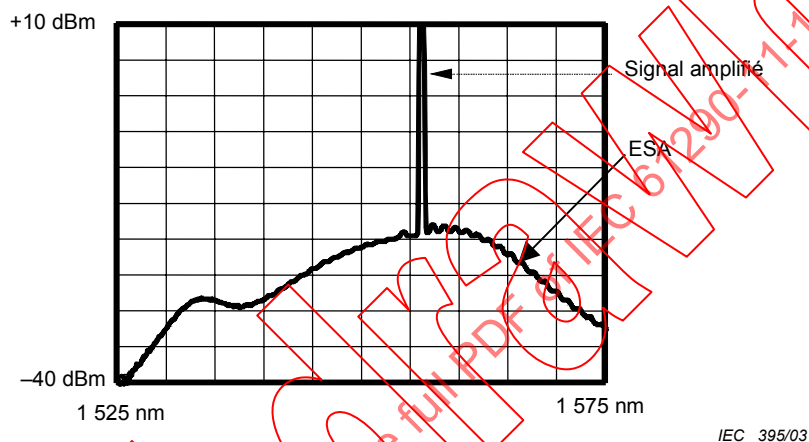
List of symbols and abbreviations

$\Delta\lambda$	Wavelength interval
$\Delta\tau$	Differential group delay (DGD)
ν	Optical frequency
ω	Angular optical frequency
F	OA noise factor
G	Gain
h	Plank's constant
$N(\gamma)$	Power spectral density of the ASE
P_s	Amplified signal power
ASE	Amplified spontaneous emission
DGD	Differential group delay
DOP	Degree of polarization
DUT	Device (optical amplifier) under test
JME	Jones matrix eigenanalysis
OA	Optical amplifier
OFA	Optical fibre amplifier
PDG	Polarization-dependent gain
PDL	Polarization-dependent loss
PMD	Polarization-mode dispersion
PSP	Polarized principal states polarization
SOA	Semiconductor optical amplifier

Annexe B (informative)

Réduction du degré de polarisation du fait de l'amplificateur optique ESA

Afin que le polarimètre mesure précisément les paramètres de Stokes, le DOP du signal mesuré doit être supérieur à 25 %. L'ESA généré dans le DEE est non polarisée et de ce fait réduit le DOP de la source laser accordable hautement polarisée. La Figure B.1 montre un spectre de sortie de l'AFO typique comme observé sur un ASO.



**Figure B.1 – Spectre de sortie d'amplificateur optique
(la largeur de bande de résolution de l'OSA est 0,5 nm)**

En supposant que le signal soit hautement polarisé et que l'ESA ne soit pas polarisée, le DOP est fourni par l'équation suivante:

$$DOP = \frac{P_s}{P_s + \int N(\lambda) d\lambda} \quad (B.1)$$

où P_s est la puissance du signal amplifiée et $N(\lambda)$ est la densité spectrale de puissance de l'ESA. L'intégrale dans le dénominateur est la puissance totale de l'ESA. Pour un AFO, la valeur de N à la longueur d'onde du signal peut être calculée comme suit:

$$N = FGh\nu \quad (B.2)$$

où F est le facteur de bruit de l'AO, G est le gain, h est la constante de Plank, et ν est la fréquence optique. Des valeurs typiques pour un amplificateur fortement saturé sont les suivantes:

$$F = 4 \quad (6 \text{ dB})$$

$$G = 100 \quad (20 \text{ dB})$$

$$P_s = 10 \text{ mw} \quad (+10 \text{ dBm})$$