

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

61300-3-32

Première édition
First edition
2006-08

**Dispositifs d'interconnexion et
composants passifs à fibres optiques –
Méthodes fondamentales d'essais et de mesures –**

**Partie 3-32:
Examens et mesures –
Mesure de la dispersion de mode de polarisation
pour composants optiques passifs**

**Fibre optic interconnecting devices
and passive components –
Basic test and measurement procedures –**

**Part 3-32:
Examinations and measurements –
Polarization mode dispersion measurement
for passive optical components**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 61300-3-32:2006

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/searchpub) 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/online_news/justpub) 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/searchpub) 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/online_news/justpub) 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**

61300-3-32

Première édition
First edition
2006-08

**Dispositifs d'interconnexion et
composants passifs à fibres optiques –
Méthodes fondamentales d'essais et de mesures –**

**Partie 3-32:
Examens et mesures –
Mesure de la dispersion de mode de polarisation
pour composants optiques passifs**

**Fibre optic interconnecting devices
and passive components –
Basic test and measurement procedures –**

**Part 3-32:
Examinations and measurements –
Polarization mode dispersion measurement
for passive optical components**

© IEC 2006 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 **XA**

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	6
1 Domaine d'application	10
2 Références normatives	10
3 Abréviations	12
4 Description générale	12
4.1 Couplage de mode	14
4.2 Dispositifs à bande étroite	14
4.3 Sensibilité de la polarisation	16
4.4 Interférences liées aux chemins multiples	16
4.5 Fibres amorfes	16
4.6 Méthodes d'essai de référence	18
4.7 Coefficient de dispersion de mode de polarisation	18
4.8 Analyses utilisées dans diverses méthodes d'essais	20
4.9 Calcul de la dispersion de mode de polarisation	20
4.10 Étalonnage	20
5 Dispositif en essai	20
6 Méthode par évaluation du paramètre de Stokes	26
6.1 Matériel	26
6.2 Procédure	32
7 Méthode de mesure du déphasage de polarisation (PPS)	42
7.1 Matériel	44
7.2 Procédure	48
8 Méthode de mesure par analyseur fixe	54
8.1 Matériel	54
8.2 Procédure	62
9 Méthode interférométrique	70
9.1 Matériel	70
9.2 Procédure	76
10 Méthode par décalage de phase de modulation	86
10.1 Matériel	88
10.2 Procédure	98
11 Détails à spécifier	102
11.1 Source de la gamme de longueur d'onde	102
11.2 Polariseur/analyseur	104
11.3 Liaison temporaire	104
11.4 Dispositif en essai	104
Annexe A (informative) Transformée de Fourier cosinusoidale	106
Bibliographie	112

CONTENTS

FOREWORD.....	7
1 Scope.....	11
2 Normative references	11
3 Abbreviations	13
4 General description	13
4.1 Mode coupling.....	15
4.2 Narrowband devices.....	15
4.3 Polarization sensitivity.....	17
4.4 Multiple path interference	17
4.5 Fibre pigtails	17
4.6 Reference test methods	19
4.7 Polarization mode dispersion coefficient.....	19
4.8 Analyses used in various test methods	21
4.9 Calculation of polarization mode dispersion.....	21
4.10 Calibration.....	21
5 Device under test	21
6 Stokes parameter evaluation method.....	27
6.1 Apparatus.....	27
6.2 Procedure	33
7 Polarization phase shift measurement method.....	43
7.1 Apparatus.....	45
7.2 Procedure	49
8 Fixed analyser measurement method	55
8.1 Apparatus.....	55
8.2 Procedure	63
9 Interferometric method	71
9.1 Apparatus.....	71
9.2 Procedure	77
10 Modulation phase shift method	87
10.1 Apparatus.....	89
10.2 Procedure	99
11 Details to be specified	103
11.1 Wavelength range source	103
11.2 Polarizer/analyser	105
11.3 Temporary joint	105
11.4 Device under test	105
Annex A (informative) Cosine Fourier transform analysis	107
Bibliography.....	113

Tableau 1 – Applicabilité technique de diverses méthodes d'essais par différents types de DUT	24
Figure 1 – Effet du phénomène de PMD sur la transmission d'un bit d'information à l'intérieur d'un composant	14
Figure 2 – Détermination du vecteur de dispersion de la polarisation, et principaux états de polarisation	22
Figure 3 – Schéma fonctionnel d'un système de mesure générique fondé sur l'évaluation du paramètre de Stokes	26
Figure 4 – Montage d'essai pour la méthode de l'évaluation du paramètre de Stokes	28
Figure 5 – Résultats échantillonnés de la méthode d'évaluation du paramètre de Stokes.....	40
Figure 6 – Montage d'essai pour la méthode du décalage de phase de polarisation.....	44
Figure 7 – Retard de groupe différentiel par rapport à la longueur d'onde pour un séparateur 50/100 GHz.....	52
Figure 8 – Schémas fonctionnels relatifs à la méthode par analyseur fixe	56
Figure 9 – Exemple de fonction R pour la méthode par analyseur fixe	60
Figure 10 – Dispersion de mode de polarisation par analyse de Fourier.....	68
Figure 11 – Schéma fonctionnel de la méthode interférométrique pour équipements passifs à fibres optiques	72
Figure 12 – Données types obtenues par la méthode interférométrique	78
Figure 13 – Motifs de franges obtenu avec brouillage GINTY et SOP I/O	84
Figure 14 – Appareillage pour réaliser le mesure de DGD.....	88
Figure 15 – Appareillage pour réaliser la mesure de DGD en utilisant une technique de modulation de polarisation	96

Table 1 – Technical applicability of the various test methods to different DUT types.....	25
---	----

Figure 1– Effect of PMD phenomenon on transmission of an information bit pulse in a device.....	15
Figure 2 – Determination of polarization dispersion vector and principal states of polarization.....	23
Figure 3 – Functional diagram of a generic measurement system based on Stokes parameter evaluation	27
Figure 4 – Test set-ups for the Stokes parameter evaluation method	29
Figure 5 – Sample results from the Stokes parameter evaluation method.....	41
Figure 6 – Test set-up for the polarization phase shift method	45
Figure 7 – Differential group delay versus wavelength for a 50/100 GHz interleaver	53
Figure 8 – Block diagrams for fixed analyser method	57
Figure 9 – Example of the <i>R</i> -function for the fixed analyser method	61
Figure 10 – Polarization mode dispersion by Fourier analysis	69
Figure 11 – Schematic diagram for the interferometric method for passive fibre optic devices	73
Figure 12 – Typical data obtained by interferometric method	79
Figure 13 – Fringe patterns obtained with GINTY and I/O-SOP scrambling	85
Figure 14 – Apparatus to make the DGD measurement.....	89
Figure 15 – Apparatus to make the DGD measurement using a polarization modulation technique.....	97

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

DISPOSITIFS D'INTERCONNEXION ET COMPOSANTS PASSIFS À FIBRES OPTIQUES – MÉTHODES FONDAMENTALES D'ESSAIS ET DE MESURES –

Partie 3-32: Examens et mesures – Mesure de la dispersion de mode de polarisation pour composants optiques passifs

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de 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 61300-3-32 a été établie par le sous-comité 86B: Dispositifs d'interconnexion et composants passifs à fibres optiques, du comité d'études 86 de la CEI: Fibres optiques.

Le texte de la présente norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
86B/2325/FDIS	86B/2378/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.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**FIBRE OPTIC INTERCONNECTING DEVICES
AND PASSIVE COMPONENTS –
BASIC TEST AND MEASUREMENT PROCEDURES –****Part 3-32: Examinations and measurements –
Polarization mode dispersion measurement
for passive optical components**

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 provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 61300-3-32 has been prepared by subcommittee 86B: Fibre optic interconnecting devices and passive components, of IEC technical committee 86: Fibre optics.

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

FDIS	Report on voting
86B/2325/FDIS	86B/2378/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.

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

La CEI 61300 comprend les parties suivantes, sous le titre général *Dispositifs d'interconnexion et composants passifs à fibres optiques – Méthodes fondamentales d'essais et de mesures*:

Partie 1: Généralités et lignes directrices

Partie 2: Essais

Partie 3: Examens et mesures

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

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

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

IEC 61300 consists of the following parts, under the general title *Fibre optic interconnecting devices and passive components – Basic test and measurement procedures*:

Part 1: General and guidance

Part 2: Tests

Part 3: Examinations and measurements

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the maintenance result 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.

DISPOSITIFS D'INTERCONNEXION ET COMPOSANTS PASSIFS À FIBRES OPTIQUES – MÉTHODES FONDAMENTALES D'ESSAIS ET DE MESURES –

Partie 3-32: Examens et mesures – Mesure de la dispersion de mode de polarisation pour composants optiques passifs

1 Domaine d'application

Cette partie de la CEI 61300 présente un certain nombre de méthodes alternatives pour mesurer la dispersion de mode de polarisation (polarisation mode dispersion – PMD) d'un dispositif passif à fibres optiques en essai (DUT). Ces méthodes mesurent normalement la PMD en utilisant soit une approche dans le domaine fréquentiel soit une approche dans le domaine temporel. Dans le domaine fréquentiel, on analyse les propriétés de polarisation du dispositif en essai. Dans le domaine temporel, on observe le retard ou l'élargissement d'impulsion.

Cette procédure couvrira les mesures à la fois des dispositifs passifs à fibres optiques de multiplexage en longueur d'onde dense (DWDM) à large bande et à bande étroite. Les différences entre les pratiques de mesure pour ces classes de dispositifs passifs à fibres optiques variées seront notées dans le texte.

Cette procédure peut être appliquée aux mesures en laboratoire, en usine et sur le terrain de la PMD des dispositifs passifs à fibres optiques. La limitation de l'application de certaines méthodes sera notée dans le texte lorsque cela est nécessaire.

La présente procédure peut être appliquée à un DUT à transmission ou à réflexion. Dans le dernier cas, la connexion du DUT est réalisée par l'intermédiaire d'un coupleur ou d'un circulateur, pour lequel il est recommandé une valeur PMD très faible connue.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 60793-1-48, *Fibres optiques – Partie 1-48: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Dispersion de mode de polarisation*

CEI 61282-3: *Guides de conception des systèmes de communication à fibres optiques – Partie 3: Calcul de la dispersion en mode de polarisation*

CEI 61282-9, *Guides de conception des systèmes de communication à fibres optiques – Partie 9: Lignes directrices sur les mesures de mode de dispersion, et théorie*

CEI 61300-3-2, *Dispositifs d'interconnexion et composants passifs à fibres optiques – Méthodes fondamentales d'essais et de mesures – Partie 3-2: Examens et mesures – Dépendance à la polarisation de l'affaiblissement dans un dispositif pour fibres optiques monomodes*

FIBRE OPTIC INTERCONNECTING DEVICES AND PASSIVE COMPONENTS – BASIC TEST AND MEASUREMENT PROCEDURES –

Part 3-32: Examinations and measurements – Polarization mode dispersion measurement for passive optical components

1 Scope

This part of IEC 61300 presents a number of alternative methods for measuring the polarization mode dispersion (PMD) of a passive fibre optic device under test (DUT). These methods typically measure PMD using either a frequency domain or time domain approach. In the frequency domain, the polarization properties of the DUT are analysed. In the time domain approach, the pulse delay or broadening is observed.

This procedure will cover measurements of both broadband, and narrowband dense wavelength division multiplexing (DWDM) passive fibre optic devices. Differences between measurement practices for these varied classes of passive fibre optic devices will be noted in the text.

This procedure can be applied to laboratory, factory and field measurements of PMD in passive fibre optic devices. Limitation of the application of some methods will be noted in the text when necessary.

This procedure can be applied to a transmissive or reflective DUT. In the latter case, the DUT connection is via a coupler or circulator, which should have a known very low PMD value.

2 Normative references

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

IEC 60793-1-48, *Optical fibres – Part 1-48: Measurement methods and test procedures – Polarisation mode dispersion*

IEC 61282-3, *Fibre optic communication system design guides – Part 3: Calculation of polarization mode dispersion*

IEC 61282-9, *Fibre optic communication system design guides – Part 9: Guidance on polarization mode dispersion measurements and theory*

IEC 61300-3-2, *Fibre optic interconnecting devices and passive components – Basic test and measurement procedures – Part 3-2: Examinations and measurements – Polarization dependence of attenuation in a single-mode fibre optic device*

3 Abréviations

ESA:	émission spontanée amplifiée (<i>amplified spontaneous emission</i>)
DGD:	retard différentiel de groupe (<i>differential group delay</i>)
DOP:	degré de polarisation (<i>degree of polarization</i>)
DUT:	dispositif en essai (<i>device under test</i>)
DWDM:	multiplexage à division de longueur d'onde dense (<i>dense wavelength division multiplexing</i>)
FA:	analyseur fixe (<i>fixed analyser</i>)
FAFT:	analyseur fixe avec transformée de Fourier (<i>fixed analyser Fourier transform</i>)
FAEC:	analyseur fixe avec comptage des extrema (<i>fixed analyser extrema counting</i>)
FWHM:	largeur totale à mi-hauteur (<i>full width at half the maximum</i>)
INTY:	interférométrie (<i>interferometry</i>)
ISI:	interférence inter-symboles (<i>inter-symbol interference</i>)
JME:	analyse des valeurs propres de la matrice de Jones (<i>Jones matrix eigenanalysis</i>)
MMA:	analyse par la matrice de Müller (<i>Mueller matrix analysis</i>)
MPS:	déphasage de modulation (<i>modulation phase shift</i>)
PDL:	perte dépendant de la polarisation (<i>polarization dependent loss</i>)
PMD:	dispersion de mode de polarisation (<i>polarization mode dispersion</i>)
PDV:	vecteur de dispersion de polarisation (<i>polarization dispersion vector</i>)
PPS:	déphasage par polarisation (<i>polarization phase shift</i>)
PS:	sphère de Poincaré (<i>Poincaré sphere</i>)
PSA:	analyse par la sphère de Poincaré (<i>Poincaré sphere analysis</i>)
PSP:	principaux états de polarisation (<i>principal states of polarisation</i>)
RBW:	largeur de bande de résolution (<i>resolution bandwidth</i>)
RMS:	valeur efficace (<i>root mean square</i>)
SOP:	état de polarisation (<i>state of polarization</i>)
SPE:	évaluation des paramètres de Stokes (<i>Stokes parameter evaluation</i>)
WDM:	multiplexage par répartition en longueur d'onde (<i>wavelength division multiplexing</i>)

4 Description générale

La PMD fait référence à l'élargissement d'une impulsion optique due aux anomalies liées à la polarisation. Dans les systèmes de communication optique, l'élargissement d'une impulsion conduit à des erreurs binaires au niveau du récepteur dues à une interférence intersymbole (ISI) et en conséquence conduit à une limitation de la largeur de bande.

Chaque impulsion optique est constituée d'une combinaison de deux SOP orthogonaux appelés principaux états de polarisation (PSP), dus à la biréfringence éventuellement présente dans le dispositif (voir Figure 1). Ces différentes composantes de polarisation se déplacent à des vitesses de groupe différentes et arriveront à la sortie du dispositif à des moments différents. La PMD est liée à la différence entre les deux retards des PSP, le DGD $\Delta\tau$.

3 Abbreviations

ASE:	amplified spontaneous emission
DGD:	differential group delay
DOP:	degree of polarization
DUT:	device under test
DWDM:	dense wavelength division multiplexing
FA:	fixed analyser
FAFT:	fixed analyser Fourier transform
FAEC:	fixed analyser extrema counting
FWHM:	full width at half the maximum
INTY:	interferometry
ISI:	inter-symbol interference
JME:	Jones matrix eigenanalysis
MMA:	Mueller matrix analysis
MPS:	modulation phase shift
PDL:	polarization dependent loss
PMD:	polarization mode dispersion
PDV:	polarization dispersion vector
PPS:	polarization phase shift
PS:	Poincaré sphere
PSA:	Poincaré sphere analysis
PSP:	principal states of polarization
RBW:	resolution bandwidth
RMS:	root mean square
SOP:	state of polarization
SPE:	Stokes parameter evaluation
WDM:	wavelength division multiplexing

4 General description

PMD refers to the spreading of an optical pulse due to polarization-related anomalies. In optical communication systems, the spreading of a pulse leads to bit errors at the receiver due to inter-symbol interference (ISI) and consequently provides bandwidth limitation.

Each optical pulse is made up of a combination of two orthogonal SOPs called the principal SOPs (PSPs), due to birefringence possibly present in the DUT (see Figure 1). These different polarization components travel at different group velocities and will arrive at the output of the DUT at different times. PMD is related to the difference between the two PSP delays, the DGD $\Delta\tau$.

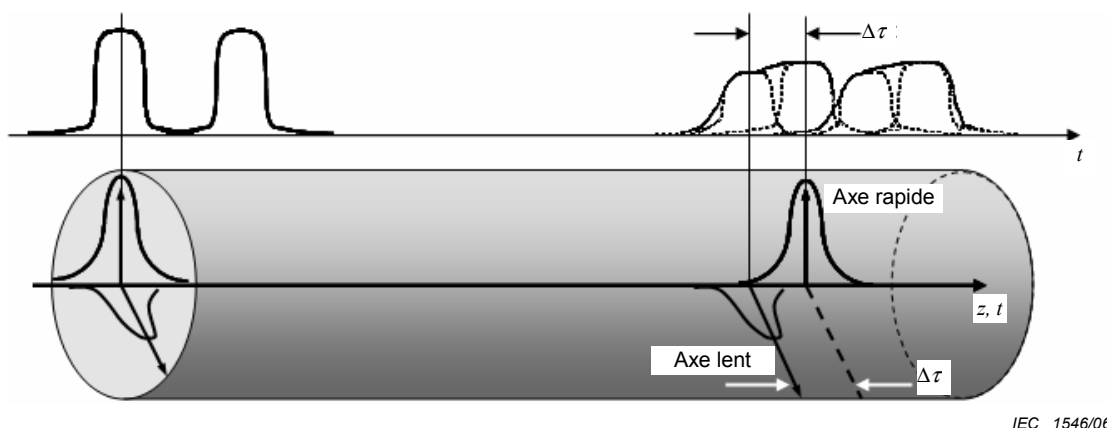


Figure 1 – Effet du phénomène de PMD sur la transmission d'un bit d'information à l'intérieur d'un composant

4.1 Couplage de mode

La PMD à l'intérieur des composants optiques est généralement déterministe par nature, ce qui signifie que le phénomène est prévisible et qu'il peut être reproduit et contrôlé. Cependant, il est important de comprendre comment les modes de polarisation peuvent se coupler à l'intérieur du dispositif et en fait ils peuvent se coupler de différentes manières. Dans les composants optiques, le couplage de modes est généralement considéré comme négligeable ou faible (y compris les cas des fibres maintenant la polarisation et des faibles longueurs de fibre ordinaire) par opposition au couplage de modes aléatoire ou fort comme on l'observe fréquemment dans le cas de grandes longueurs de fibres. Dans le couplage de modes négligeable (ou faible), l'axe de biréfringence à l'intérieur du dispositif est fixé et constant dans une seule section de biréfringence et en conséquence le DGD est constant en fonction de la longueur d'onde. Dans ce cas, la PMD est égale au DGD.

Il peut cependant exister des types de composants présentant de nombreuses sections de biréfringence fixe avec leurs axes pas nécessairement alignés l'un avec l'autre faisant fortement varier le DGD en fonction de la longueur d'onde. Dans ce cas, le couplage de modes est aléatoire. Même si le DGD varie en fonction de la longueur d'onde et que le couplage de modes est aléatoire, cette variation sera constante d'une mesure à l'autre et elle peut encore être prévue et le phénomène est encore déterministe. Dans ce cas, la PMD est la valeur moyenne de la distribution spectrale de la DGD (la valeur efficace – RMS – peut aussi être utilisée, et est acceptée).

Il peut également exister des cas intermédiaires où le composant passif à fibres optiques a peu de sections de biréfringence et où le DGD peut varier moins aléatoirement comme une variation d'onde monotone ou sinusoïdale en fonction de la longueur d'onde. La PMD est toujours la valeur moyenne ou efficace de la répartition de DGD et le phénomène est toujours déterministe mais le couplage de modes n'est ni faible ni aléatoire.

Le couplage de modes décrit comment les SOP sont maintenus lorsque l'énergie traverse le dispositif. Plus exactement, on montre que chaque dispositif a une fonction de transfert de polarisation par laquelle le SOP à l'entrée est relié à un SOP différent à la sortie en fonction de la longueur d'onde. La fonction de transfert est généralement représentée en utilisant la matrice de Jones et elle sera expliquée plus loin dans le présent document.

4.2 Dispositifs à bande étroite

Il existe d'autres cas de classification qui sont liés au phénomène et qui doivent être pris en compte. Par exemple les dispositifs à bande étroite. Un dispositif à bande étroite peut avoir une faible distribution de DGD tout en connaissant un large spectre temporel de Fourier avec

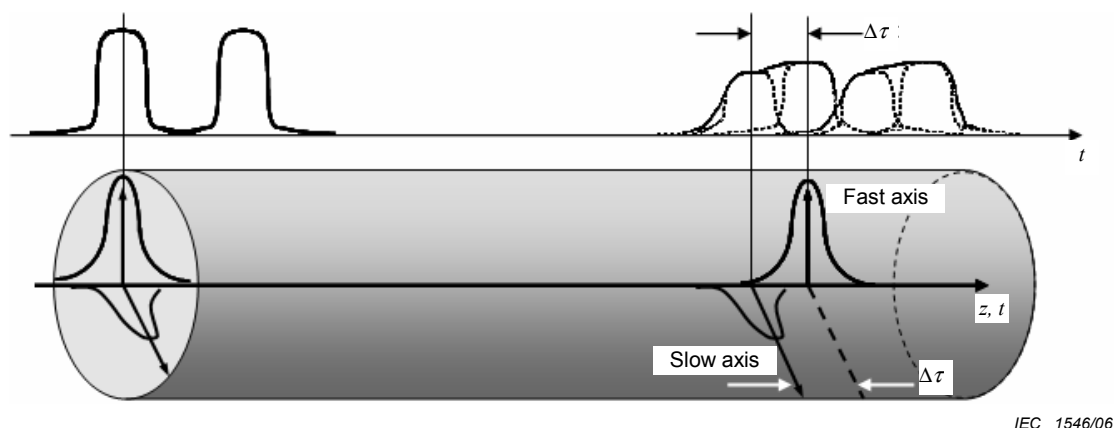


Figure 1– Effect of PMD phenomenon on transmission of an information bit pulse in a device

4.1 Mode coupling

PMD in passive fibre optic devices is usually deterministic by nature meaning that the phenomenon is predictable and can be reproduced and controlled. However, it is important to understand how the polarization modes can couple together in the device, and in fact they can couple differently. In optical passive fibre optic devices, the mode coupling is typically referred to as negligible or no or negligible (including the cases of polarization maintaining fibres and short lengths of ordinary fibre) as opposed to random or strong mode coupling such as frequently seen in the case of long lengths of fibre. In no or negligible mode coupling, the axis of birefringence in the device is fixed and constant in only one section of birefringence and consequently the DGD is constant as a function of wavelength. In that case the PMD is equal to the DGD.

There can however be types of passive fibre optic devices exhibiting many sections of fixed birefringence with their axes not necessarily aligned with each other making the DGD randomly varying as a function of wavelength. In that case, the mode coupling is random. Even if the DGD varies, as a function of wavelength and the mode coupling is random, this variation will be constant from one measurement to another and it can still be predicted and the phenomenon is still deterministic. In that case, the PMD is the average value of the DGD spectral distribution (the root mean squared – RMS – value may also be used and is accepted).

There can also be intermediate cases where the passive fibre optic device has few birefringence sections and the DGD can vary less randomly such as a monotonous or sine wave variation as a function of wavelength. The PMD is still the average or RMS value of the DGD distribution and the phenomenon is still deterministic but the mode coupling is neither negligible nor random.

The mode coupling describes how the SOPs are maintained as energy traverses the device. Rather, each device is shown to have a polarization transfer function whereby the SOP at the input is mapped to a different SOP at the output as a function of wavelength. This transfer function is commonly represented using the Jones matrix and will be explained later in the document.

4.2 Narrowband devices

There are other cases of classification that are related to the PMD phenomenon and need to be taken into account. This includes narrowband devices. A narrowband device can have a small DGD distribution while experiencing a wide Fourier time spectrum

un spectre plus complexe dans le domaine temporel. Il faudra aussi procéder avec soin pour réaliser l'analyse du DGD dans le domaine temporel par rapport au domaine spectral.

4.3 Sensibilité de la polarisation

La présence de PDL dans le dispositif en essai est un autre facteur aggravant. La Figure 1 illustre un tel cas, où, à la sortie du dispositif, le bit est non seulement élargi (en absence de PDL), mais aussi a subi une distorsion (en présence de PDL). Dans le cas de PDL, les deux PSP ne sont plus nécessairement orthogonaux (plus nécessairement à 180° sur la sphère de Poincaré). Dans ce cas, la présente procédure d'essai sera limitée aux dispositifs dont la PDL est inférieure ou égale à 1 dB, pour permettre l'application de toutes les méthodes suggérées. Cette condition est normalement satisfaite à l'intérieur de la bande passante des composants à fibres optiques types utilisés dans les systèmes DWDM.

La sensibilité à la PDL ou à la polarisation peut avoir des répercussions sévères sur la détermination correcte du DGD à l'intérieur du composant. La PDL peut être mesurée en utilisant la CEI 61300-3-2.

Cependant, certaines exclusions ou hypothèses possibles peuvent être faites pour réduire la complexité de la situation. Par exemple, un dispositif avec PDL élevée (>10 dB) sera généralement utilisé pour le fonctionnement en polarisation unique. C'est la raison pour laquelle il est possible de prétendre que pour un tel dispositif, c'est la PDL qui est le paramètre à prendre en compte et non la PMD.

C'est pourquoi avec la justification donnée ci-dessus, nous réduisons le domaine d'application du présent document pour exclure les dispositifs qui possèdent une PDL élevée (>10 dB). Parmi ces dispositifs: les polariseurs, les modulateurs ou répartiteurs sensibles à la polarisation, etc.

Pour les dispositifs qui présentent une PDL faible (<1 dB), qui sont les cas types de dispositifs DWDM, la PDL présente généralement peu de problèmes pour les mesures de DGD, par contre celle-ci augmentera l'incertitude de manière marginale. L'incertitude augmente avec l'augmentation de la PDL.

Pour les dispositifs à PDL assez élevée (par exemple >10 dB) cette erreur est susceptible d'être trop élevée pour être acceptable.

4.4 Interférences liées aux chemins multiples

Les composants à fibres optiques peuvent contenir des éléments optiques massifs, des épissures de guides d'ondes à fibres et des interfaces fibre-lentille etc. qui peuvent donner lieu à des réflexions dues à la mauvaise adaptation d'indice optique entre les éléments. Elles peuvent avoir comme effet d'induire des dispersions à chemins multiples qui soit sont liées à la PMD (ce qui signifie que la différence de chemin est sensible à la polarisation) soit ne le sont pas (différences de chemin qui ne sont pas sensibles à la polarisation) [1]¹.

Les réflexions et les chemins de retard multiples qui ne sont pas sensibles à la polarisation peuvent être éliminés séparément du DGD. Cependant, tout type de retard différentiel sensible à la polarisation sera enregistré comme DGD.

4.5 Fibres amorces

Enfin, les fibres amorces ajouteront elles-mêmes de la PMD, qui variera selon que les fils seront courbés, bobinés ou vrillés.

¹ Les chiffres entre crochets se réfèrent à la bibliographie.

with a more complex spectrum in the time domain. Care will also have to be taken when making analysis of DGD in the time domain versus the spectral domain.

4.3 Polarization sensitivity

Another complicating factor is related to the presence of PDL in the DUT. Figure 1 illustrates such a case where at the output of the DUT the bits are not only broadened (in absence of PDL) but also distorted (in presence of PDL). In the case of PDL, the two PSPs are not necessarily orthogonal anymore (not anymore 180° apart on the Poincaré sphere). In this case, this test procedure will be restricted to devices with PDL equal to or less than 1 dB to allow the application of all suggested methods. This condition is typically met inside the passband of typical passive fibre optic devices used in DWDM systems.

PDL or polarization sensitivity may severely impact the correct determination of DUT DGD. PDL may be measured by using IEC 61300-3-2.

However, some possible exclusions or assumptions can be made to reduce the complexity of the situation. For example, a device with high PDL (>10 dB) will generally be used for single-polarization operation. It is therefore possible to argue that for such a device, PDL is the relevant parameter, not PMD.

Therefore with the above justification the scope of this document is restricted to exclude devices that have high (>10 dB) PDL. Such devices include polarizer, polarization sensitive splitters or modulators etc.

For devices with low PDL (<1 dB), which are the typical cases of DWDM devices, PDL generally presents little problem to the measurements of DGD, but will marginally increase uncertainty. As PDL rises, this uncertainty rises.

For devices with higher PDL (e.g. >10 dB) this error is likely to be unacceptably high.

4.4 Multiple path interference

Passive fibre optic devices may contain bulk optical elements, fibre-waveguide splices, and fibre-lens interfaces etc. that can give rise to reflections due to optical index mismatch between elements. The effect of these may be to induce multi-path dispersions that are either PMD-related (i.e. the path difference is polarization sensitive) or not (polarization insensitive path differences) [1]¹.

Reflections and multiple delay paths that are not polarization sensitive can be separately removed from DGD. Any kind of polarization-sensitive differential delay, however, will be recorded as DGD.

4.5 Fibre pigtails

Finally, the fibre pigtails will add PMD of their own, which will vary as the leads are bent, coiled or twisted.

¹ Figures in square brackets refer to the bibliography.

Les fibres amorces en entrée et en sortie de composant (qui sont normalement scellées dans le boîtier de composant) apporteront également toujours une part de PMD. Dans la mesure où les fils des fibres ne mesurent normalement que quelques mètres de long, la PMD à l'intérieur des fils est essentiellement déterministe, avec peu de couplage aléatoire. Les valeurs PMD types pour quelques mètres de fibre normalisée sont de l'ordre de 1 fs/m ou moins. La PMD dans les fils ajoutera partiellement au DGD ou se déduira partiellement du DGD du composant de fibre lui-même selon l'alignement axial de la biréfringence de fil et celui du composant. Cette contribution du fil représente une source d'incertitude dans la détermination du DGD du composant. Afin d'éviter d'introduire une biréfringence de courbure, les amorces de fibre seront maintenues aussi droites que possible, avec un rayon de courbure supérieur à 50 mm. De plus, si cela est nécessaire, les mesures de la DGD peuvent être répétées de nombreuses fois avec reconfiguration des fils à chaque fois, pour rendre aléatoire la contribution de PMD dans les fils. Le véritable DGD de dispositif sera alors la moyenne des résultats pris en compte. Il faut veiller à ce que les fils soient placés de telle manière que toute la gamme de variations de PMD soit couverte.

Les composants à fibres amorces PM sont normalement très sensibles à la polarisation ou aux sources polarisées, et ainsi, l'axe de polarisation de la fibre amorce est aligné avec l'axe de polarisation du dispositif, le paramètre applicable est le taux d'extinction. Tout défaut d'alignement introduira une PMD importante.

En résumé, les caractéristiques principales des composants passifs à fibres optiques sont les suivantes:

- élément(s) biréfringent(s) discret(s), déterministe(s), éventuellement avec axes optiques non alignés entre eux (faible couplage de modes)
- généralement des propriétés DGD déterministes, couplage de modes fini ou faible, avec modes de polarisation rapides et lents, qui peuvent être relativement indépendants de la longueur d'onde
- les niveaux PMD peuvent aller de faible ($<0,1$ ps) à élevé (>2 ps)
- bande de réflexion/transmission en longueur d'onde finie, souvent assez étroite
- des amorces de fibres qui contribuent à une quantité variée de PMD;
- des réflexions et d'autres sources de dispersion à chemins multiples possibles à l'intérieur du composant;
- une quantités potentiellement importante de PDL (>1 dB à <10 dB).

4.6 Méthodes d'essai de référence

Dans la présente procédure d'essai, la méthode d'essai de référence doit être la méthode polarimétrique complète sur la base de l'évaluation du paramètre de Stokes. Il existe deux analyses pratiques conformes à ce critère qui sont en fait équivalentes [2] [4]. Ce sont: l'analyse des valeurs propres de la matrice de Jones (Jones Matrix Eigenanalysis – JME) et l'analyse de la sphère de Poincaré (Poincaré Sphere Analysis – PSA). Toutes les autres méthodes d'essai indiquées dans la présente procédure doivent être considérées comme des méthodes d'essai alternatives. A l'exception de ce qui est indiqué ci-dessous, les procédures JME et PSA sont identiques à celles décrites dans la CEI 60793-1-48.

4.7 Coefficient de dispersion de mode de polarisation

Comme le phénomène PMD est déterministe dans le cas des dispositifs passifs à fibres optiques, le concept de coefficient PMD ne s'applique pas de la même façon que dans le cas des petites ou grandes longueurs de fibre. La PMD de composants passifs à fibres optiques sera exprimé uniquement en unité ps.

The pigtails into and out of the DUT (typically sealed into the DUT housing) will always contribute some PMD. Since the fibre leads are typically only a few metres long, the PMD in the leads is essentially deterministic, with little random coupling. Typical PMD values for a few metres of standard fibre are of the order of 1 fs/m or less. The PMD in the leads will partially add to, or partially subtract from, the DGD of the DUT itself according to the axial alignment of the lead birefringence and that of the DUT. This lead contribution represents a source of uncertainty in the DUT DGD determination. To avoid bending birefringence being introduced the pigtails should be kept as straight as possible with a bend radius greater than 50 mm. In addition, if required, the DGD measurements may be repeated many times with the leads re-configured each time to randomise the PMD contribution in the leads. The true device DGD will then be the average of the results taken. Care must be taken to ensure that the leads are arranged such that the full range of PMD variation is covered.

Components with PM pigtails are normally highly polarization sensitive or polarised sources and, as such, the polarization axis of the pigtail is aligned with the polarization axis of the device, and the relevant parameter is extinction ratio. Any misalignment will introduce significant PMD.

To summarize, the main features of passive fibre optic devices are as follows:

- discrete, deterministic birefringent element(s), possibly with mutually unaligned optical axes (low mode coupling);
- generally deterministic DGD properties, finite or low mode coupling, with fast and slow polarization modes that may be relatively independent of wavelength;
- PMD levels which can be low ($<0,1$ ps) to high (>2 ps);
- finite, often quite narrow wavelength transmission/reflection band;
- fibre pigtails which contribute a varying amount of PMD;
- possible reflections and other multi-path dispersion sources within the DUT;
- potentially large amounts of PDL (>1 dB to <10 dB).

4.6 Reference test methods

In this test procedure, the reference test method shall be a full polarimetric method based on the Stokes parameter evaluation. There are two practical analyses complying with this criterion that are in fact formalistically equivalent to each other [2][4]. Those are: the Jones Matrix Eigenanalysis (JME) and the Poincaré Sphere Analysis (PSA). All other test methods listed in this procedure shall be considered as alternative test methods. Except as indicated below, the JME and PSA procedures are identical to those described in IEC 60793-1-48.

4.7 Polarization mode dispersion coefficient

As the PMD phenomenon is deterministic in the case of passive fibre optic devices, the concept of PMD coefficient does not apply as it does in the case of short lengths or long lengths of fibre. The PMD of passive fibre optic devices will only be expressed in units of ps.

4.8 Analyses utilisées dans diverses méthodes d'essais

On peut trouver le modèle mathématique sur lequel s'appuient les analyses de la méthode d'essai dans la CEI 61282-9.

4.9 Calcul de la dispersion de mode de polarisation

Un développement mathématique pour calculer la PMD se trouve dans la CEI 61282-3.

4.10 Étalonnage

L'équipement est étalonné en utilisant une fibre maintenant la polarisation, de PMD connue, pour le cas de couplage de mode absent ou négligeable. Dans le cas de couplage de mode aléatoire, un empilage certifié empilé aléatoirement de lames quart d'onde est recommandé. Pour de grandes valeurs de PMD (>1 ps) représentatives de couplage de mode aléatoire, il n'y a pas encore d'artéfact et de méthode d'étalonnage normalisés.

5 Dispositif en essai

Le dispositif en essai est normalement un composant discret à fibre amorce, qui est épissuré par fusion ou connecté via des cordons de brassage adaptés, des fibres amorces, etc., à l'appareillage d'essai de PMD. Le DUT peut se trouver dans un environnement normal de laboratoire ou, si cela est exigé, ce DUT peut être placé dans une enceinte environnementale pour lui permettre d'être soumis à des températures élevées ou faibles ou à l'humidité etc. au cours des mesures.

- S'assurer que le dispositif en essai a une PDL inférieure à 10 dB, et que sa largeur de bande spectrale approximative est connue.

Comme la mesure de PMD d'un composant passif à fibres optiques dépend du type de couplage de mode que connaît le dispositif en essai, et par conséquent du nombre de sections biréfringentes dont il est composé, les DUT sont groupées dans ce document en plusieurs catégories, énumérées ci-dessous:

- couplage de mode négligeable ou inexistant;
- couplage de mode aléatoire
- couplage de mode intermédiaire;
- DWDM à bande étroite.

Compte tenu de la sensibilité du SOP à la mesure, il est également nécessaire de prendre note des configurations réelles des dispositifs:

- fibre à fibre;
- fiche à fiche;
- support à support;
- support à fiche.

Le point essentiel à prendre en compte est que tout dispositif avec des fils de fibre de grande longueur (plus de 1 km) présentera un certain degré de caractère aléatoire dans la mesure des DGD en fonction de la longueur de la fibre. Ceci est attribué aux propriétés de couplage de mode aléatoire de la plupart des fibres, ce qui fait donc de la PMD, dans ce cas, un phénomène stochastique. Étant donné que les dispositifs en essai concernés utilisent des fils de fibres de faible longueur, c'est-à-dire de bien moins de 1 km, cette procédure partira en conséquence de l'hypothèse selon laquelle la PMD sera déterministe.

4.8 Analyses used in various test methods

The mathematical model on which the test method analyses are based can be found in IEC 61282-9.

4.9 Calculation of polarization mode dispersion

A mathematical development for calculating PMD can be found in IEC 61282-3.

4.10 Calibration

The equipment is calibrated by using a polarization maintaining fibre of known PMD, for the case of no or negligible mode coupling. For the case of random mode coupling, a certified randomly oriented stack of quarter wave plates is recommended. For large PMD values ($> 1\text{ps}$) representative of random mode coupling, there are no simple yet standardized calibration artifact and method.

5 Device under test

The DUT is typically a fibre-pigtailed discrete component, which is fusion spliced or connected via suitable patch cords, pigtails etc into the PMD test apparatus. The DUT may be in normal laboratory environments, or alternately as required the DUT may be placed in an environmental chamber to allow it to be subject to high or low temperature or humidity etc. during measurements.

- Ensure the DUT has less than 10 dB PDL, and that its approximate spectral bandwidth is known.

As the PMD measurement of an optical passive fibre optic device depends on the type of mode coupling the DUT experiences and consequently the number of birefringent sections of which it is composed, this document has grouped the DUTs into the following categories:

- negligible or no mode coupling;
- random mode coupling;
- intermediate mode coupling;
- narrowband DWDM.

Because of the sensitivity of the SOP to the measurement, it is also necessary to make note of the actual device configurations:

- fibre to fibre;
- plug to plug;
- receptacle to receptacle;
- receptacle to plug.

The key point to take into account is that any device with long fibre leads (longer than 1 km) will exhibit some degree of randomness in the measurement of DGD as a function of the length of the fibre. This is attributed to the random mode coupling properties of most fibre and consequently making PMD a stochastic phenomenon in that case. As the DUTs of interest use short fibre leads of much less than 1 km, this procedure will consequently assume that the PMD will be deterministic.

Pour les besoins de cette procédure, le DUT a deux accès optiques qui peuvent être terminés par une fibre nue, une fiche ou un support. Si le dispositif est terminé par une fibre, des jonctions par épissures temporaires peuvent être utilisées pour connecter le DUT aux polarisateurs d'entrée et de sortie. Dans ce cas, s'assurer qu'il n'y a pas d'effets d'interférences dues aux réflexions. L'utilisation de matériaux d'adaptation d'indice est recommandée.

Si un dispositif possède plusieurs accès, les mesures concerneront un chemin optique unique et il convient que la procédure soit répétée pour tous les chemins optiques valables. Dans ce cas, il est recommandé que le DGD ou la PMD soit consigné pour chaque chemin optique.

Le DUT et les fibres amorces doivent être fixés en position à une température nominale constante tout au long de la mesure dans son intégralité pour réduire les incertitudes dues au couplage de mode aléatoire. La stabilité mécanique et de température du DUT peut être observée en visualisant le SOP de sortie du DUT sur un affichage de la sphère de Poincaré. Au cours d'une période correspondant à une mesure, il convient que la variation du SOP de sortie soit faible par rapport à la variation produite par une augmentation de la longueur d'onde.

Lorsqu'on mesure la PMD, ou plutôt le DGD des composants passifs à fibres optiques, on doit comprendre la classe des dispositifs mesurés, dans la mesure où les techniques vont légèrement varier en terme de spécifications, performances et précision.

Pour les dispositifs déterministes simples (couplage de mode négligeable ou absent), le DGD sera vraiment constant par rapport à la longueur d'onde. Dans ces cas, le SOP de sortie tracera un quasi-cercle sur la sphère de Poincaré (voir

Figure 2). La vitesse angulaire sera constante et la longueur du PDV et par conséquent le DGD seront constants. Le nombre et la précision des points de longueur d'onde n'ont pas à être très élevés dans ce cas.

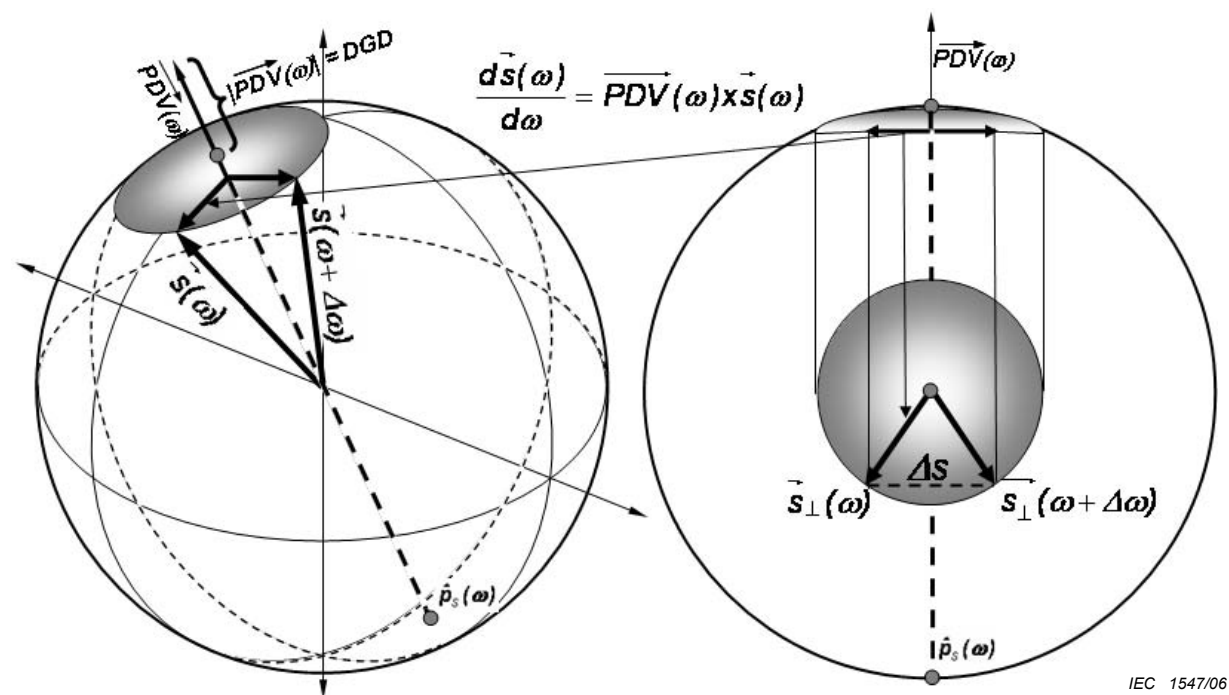


Figure 2 – Détermination du vecteur de dispersion de la polarisation, et principaux états de polarisation

For the purposes of this procedure, the DUT has two optical ports that may be terminated with a bare fibre, plug, or receptacle. If the device is terminated with fibre, temporary splice joints can be used to connect the DUT to the input and output polarizers. In this case, care should be taken to ensure that interference effects due to reflections are avoided. The use of index matching materials is recommended.

In the event that a device has multiple ports, measurements will pertain to a single optical path, and the procedure should be repeated for all valid optical paths. In this case, the DGD or PMD for each optical path should be reported.

The DUT and pigtailed shall be fixed in position at a nominally constant temperature throughout the entire measurement to reduce uncertainties due to random mode coupling. Mechanical and temperature stability of the DUT may be observed by viewing the DUT output SOP on a Poincaré sphere display. In a time period corresponding to a measurement, the change in the output SOP should be small relative to the change produced by a wavelength increment.

When measuring PMD, or rather the DGD of passive fibre optic devices one needs to understand the class of devices being measured, as the techniques will vary slightly in specifications, performance, and accuracy.

For simple deterministic devices (negligible or no mode coupling), the DGD will be fairly constant with respect to wavelength. In these cases the output SOP will trace a near circle on the Poincaré sphere (see Figure 2). The angular velocity will be constant and the length of the PDV and consequently the DGD will be constant. The number and accuracy of wavelength points do not have to be very high in this case.

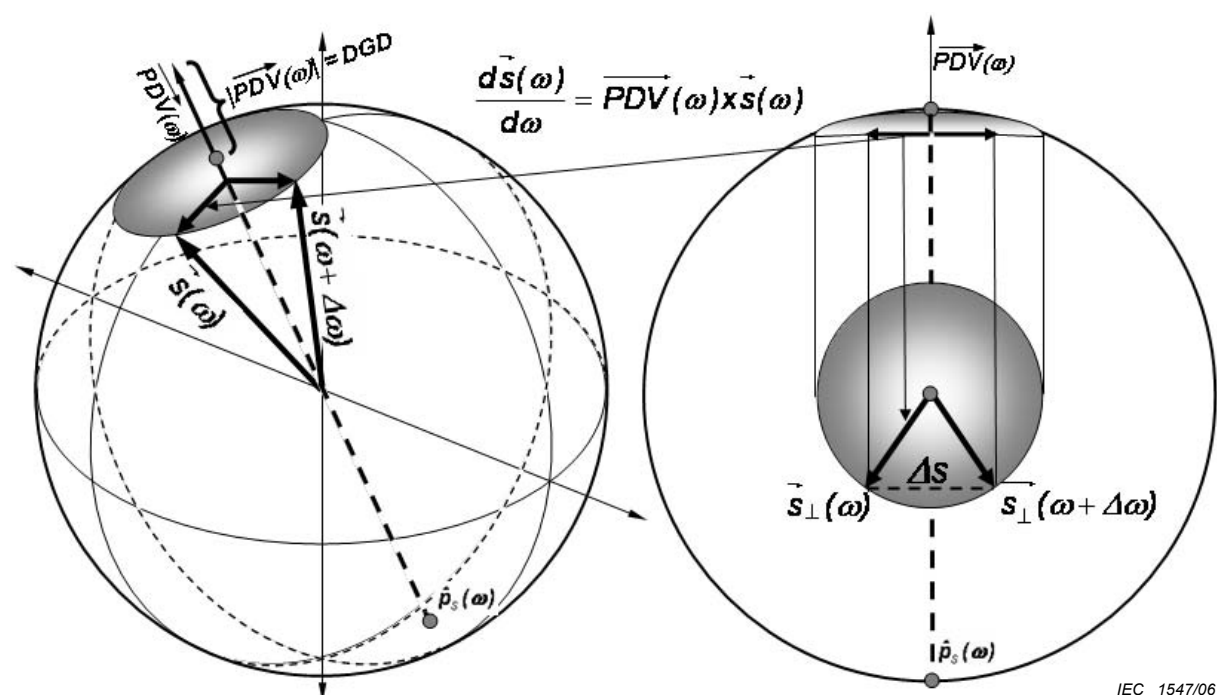


Figure 2 – Determination of polarization dispersion vector and principal states of polarization

Il existe cependant certains DUT qui pourraient présenter une vitesse angulaire variable de leur SOP de sortie. Avec un DUT fait de deux sections d'égale biréfringence, les PSP varient en fonction de la fréquence optique (variation du PDV – sa vitesse – ou de sa dérivée de premier ordre en fonction de la fréquence optique); mais le DGD (la longueur du PDV) reste constant. Avec trois sections, la longueur du PDV (DGD) et sa vitesse changent toutes les deux; mais la variation du DGD est monotone et par conséquent le DGD connaît un genre de comportement d'onde sinusoïdale en fonction de la longueur d'onde.

Il pourrait également y avoir des DUT, présentant un grand nombre de variations fixes d'axe de biréfringence (DUT complexes avec de nombreuses sections de biréfringence). Le SOP connaîtra une rotation autour d'un axe fixe de biréfringence et autour du PSP d'axe rapide. Mais l'axe du PSP variera également et par conséquent le SOP de sortie suivra également le déplacement de l'axe PSP sur la sphère de Poincaré. La rotation ne sera plus monotone mais sera plutôt complexe. Le DGD connaîtra une variation complexe bien que prévisible en fonction de la longueur d'onde (couplage de mode aléatoire). Ce cas interviendra lorsque le DUT a un grand nombre de sections de biréfringence fixe. La PMD sera toujours la valeur moyenne de cette variation complexe du DGD en fonction de la longueur d'onde.

Les dispositifs DWDM sont uniques dans la mesure où ils ont une largeur de bande très étroite par voie et par conséquent ils nécessitent un très haut degré de résolution spectrale pour estimer correctement le DGD en fonction de la longueur d'onde et par conséquent la PMD. On doit noter que dans ce cas, le spectre de Fourier de ce dispositif à bande étroite pourrait donner un spectre temporel très complexe. Il faudra procéder avec soin dans la mesure où le spectre temporel pourrait donner une interprétation discutable des retards qui ne serait pas le DGD. Il convient également de prendre des dispositions pour respecter le théorème de Nyquist (par exemple, il convient que la largeur de ligne source soit supérieure à deux (2) fois la taille d'échelon du balayage de longueur d'onde).

Le Tableau 1 donne un résumé de l'applicabilité technique des méthodes d'essai par différents types de DUT.

Tableau 1 – Applicabilité technique de diverses méthodes d'essais par différents types de DUT

Méthodes d'essai	FA		INTY		MPS	PPS	SPE	PS (arc)
	FAFT	FAEC	TINTY	GINTY				
Application à des dispositifs à fibres optiques passifs								
Couplage de mode négligeable ou inexistant	(X)	N/A	(X)	X	X	X	X	X**
Couplage de mode aléatoire	(X)	(X)	(X)	X	X	X	X	N/A
Couplage de mode intermédiaire	N/A	N/A	N/A	X	X	X	X	N/A
DWDM à bande étroite	N/A	N/A	N/A	X	X	X	X	X**
NOTE 1 Légende: X Applicable (X) Applicabilité limitée pour le domaine d'application, la gamme ou les performances, ou applicabilité non encore confirmée. ** Indique que la méthode d'arc PS n'est applicable qu'aux DUT de construction d'élément unique, où le DGD est essentiellement constant sur la gamme de longueur d'onde utilisée (couplage de mode négligeable). N/A Ne s'applique pas. NOTE 2 Légende des méthodes de mesure de PMD: FAFT Méthode avec analyseur fixe (analyse de Fourier) FAEC Méthode avec analyseur fixe (comptage des extrêmes) INTY Méthode d'interférométrie TINTY Analyse traditionnelle GINTY analyse générale MPS Méthode par déphasage de modulation PPS Déphasage par polarisation SPE Méthode par évaluation du paramètre de Stokes, y compris JME, PSA et MMA PS Méthode de l'arc de la sphère de Poincaré								

There are however some DUTs, which could exhibit a varying angular velocity of their output SOP. With a DUT made of two sections of equal birefringence, the PSP is changing as a function of optical frequency (change of the PDV – its velocity – or its first order derivative as a function of optical frequency); but the DGD (the length of the PDV) remains constant. With three sections, both the length of the PDV (DGD) and its velocity are changing; but the DGD variation is monotonic and consequently the DGD experiences a kind of sine wave behaviour as a function of wavelength.

There could also be DUTs, exhibiting a large number of fixed changes of axis of birefringence (complex DUTs with many birefringence sections). The SOP will experience a rotation about a fixed axis of birefringence and around the fast axis PSP. But the axis of the PSP will also change and consequently the output SOP will also follow the displacement of the PSP axis on the Poincaré sphere. The rotation will not be monotonic anymore but rather complex. The DGD will experience a complex though predictable variation as a function of wavelength (random mode coupling). This case will happen when the DUT has a large number of sections of fixed birefringence. The PMD will still be the average value of that complex variation of the DGD as a function of wavelength.

DWDM devices are unique in that they will have very narrow bandwidth per channel and consequently will require a very high degree of spectral resolution in order to properly estimate the DGD as a function of wavelength and consequently the PMD. It is to be noted that in this case the Fourier spectrum of this narrowband device could give a very complex time spectrum. Care will have to be provided as the time spectrum could give questionable interpretation of time delays that might not be DGD. Provisions should also be taken in order to respect the Nyquist theorem (for instance, the source linewidth should be more than twice the step size of the wavelength scan).

Table 1 gives a summary of the test methods technical applicability to different DUT types.

Table 1 – Technical applicability of the various test methods to different DUT types

Test methods	FA		INTY		MPS	PPS	SPE	PS (arc)
	FAFT	FAEC	TINTY	GINTY				
Application to passive fibre optic devices								
Negligible or no mode coupling	(X)	N/A	(X)	X	X	X	X	X**
Random mode coupling	(X)	(X)	(X)	X	X	X	X	N/A
Intermediate mode coupling	N/A	N/A	N/A	X	X	X	X	N/A
Narrowband DWDM	N/A	N/A	N/A	X	X	X	X	X**
NOTE 1 Key: X Applicable. (X) Applicability is limited in scope, range or performance, or applicability not yet confirmed. ** Indicates that the PS arc method is only applicable to DUTs of the single element construction, where DGD is essentially constant over the wavelength range used (negligible mode coupling). N/A Not applicable NOTE 2 Key to PMD measurement methods: FAFT fixed analyser (Fourier analysis) method FAEC fixed analyser (extrema counting) method INTY interferometry method TINTY traditional analysis GINTY general analysis MPS modulation phase shift method PPS polarization phase shift SPE Stokes parameter evaluation method, including JME, PSA and MMA PS Poincaré sphere arc method								

6 Méthode par évaluation du paramètre de Stokes

6.1 Matériel

Le montage fondamental pour mesurer la PMD par les méthodes équivalentes JME et PSA, est indiqué Figure 3. Les différents composants de ce système sont décrits dans les paragraphes suivantes.

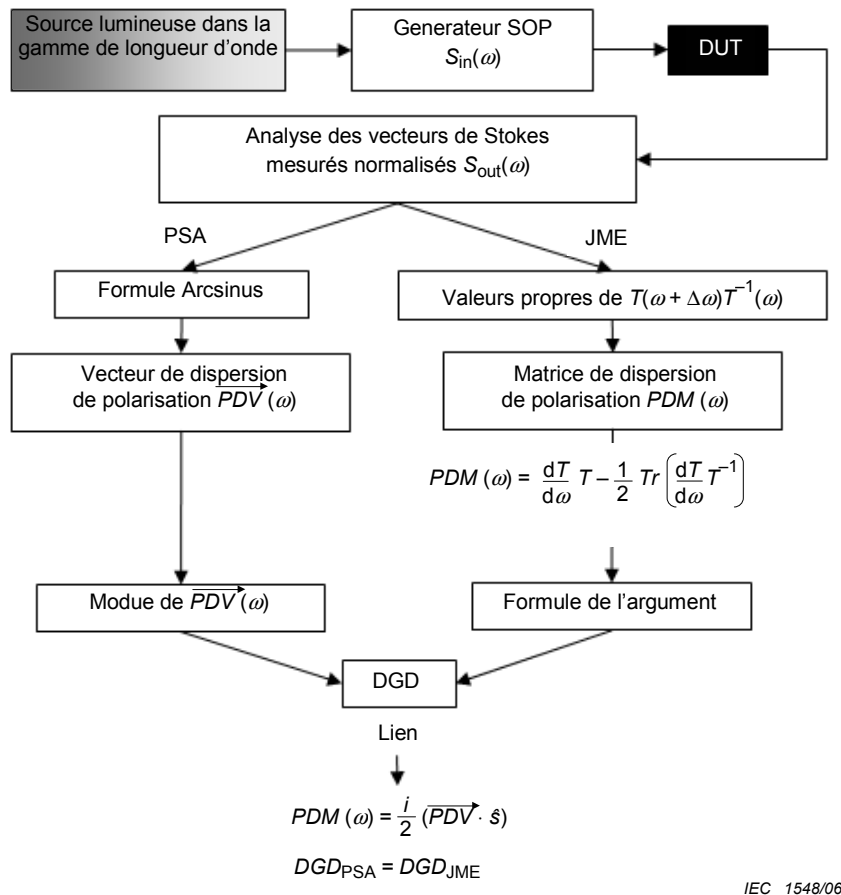


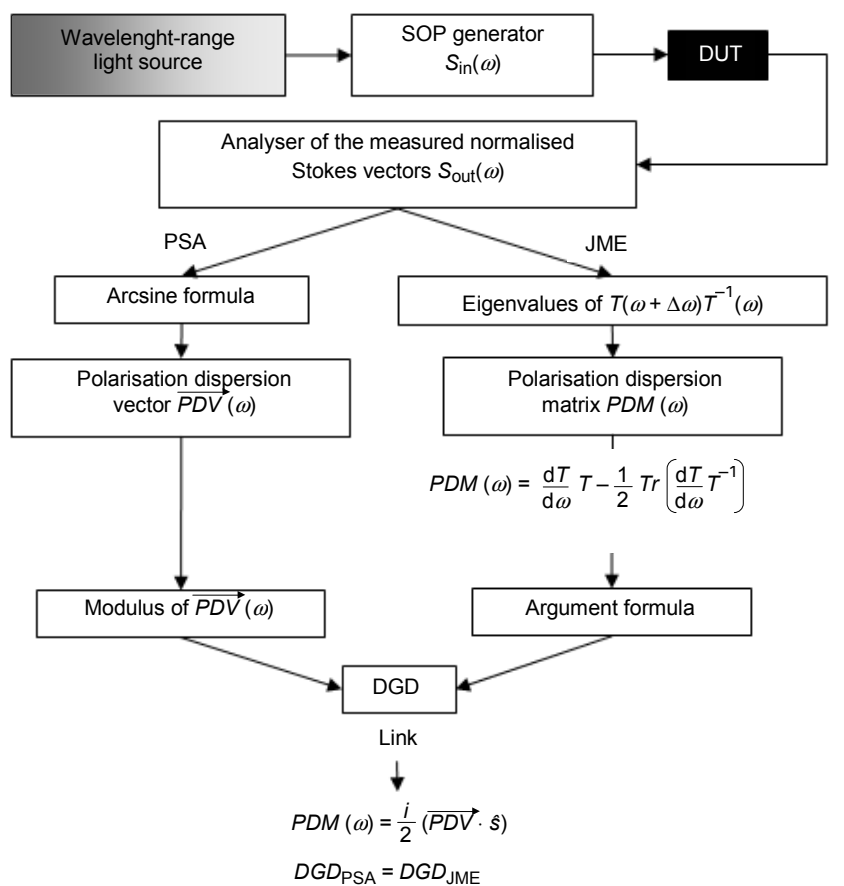
Figure 3 – Schéma fonctionnel d'un système de mesure générique fondé sur l'évaluation du paramètre de Stokes

La Figure 4 montre deux (2) montages d'essai pour la méthode d'évaluation du paramètre de Stokes (SPE).

6 Stokes parameter evaluation method

6.1 Apparatus

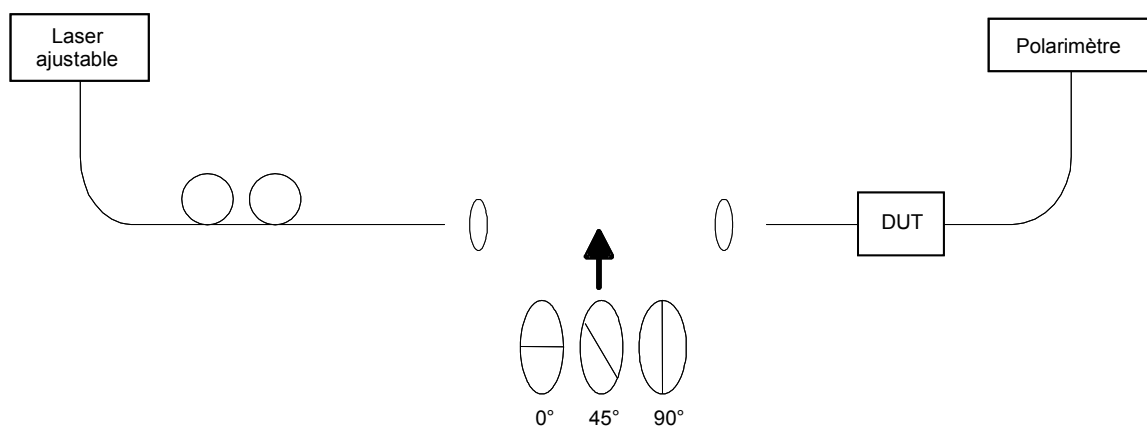
The basic set-up for the equivalent JME and PSA method for measuring PMD is shown in Figure 3. The various components of this system are described in the following subclauses.



IEC 1548/06

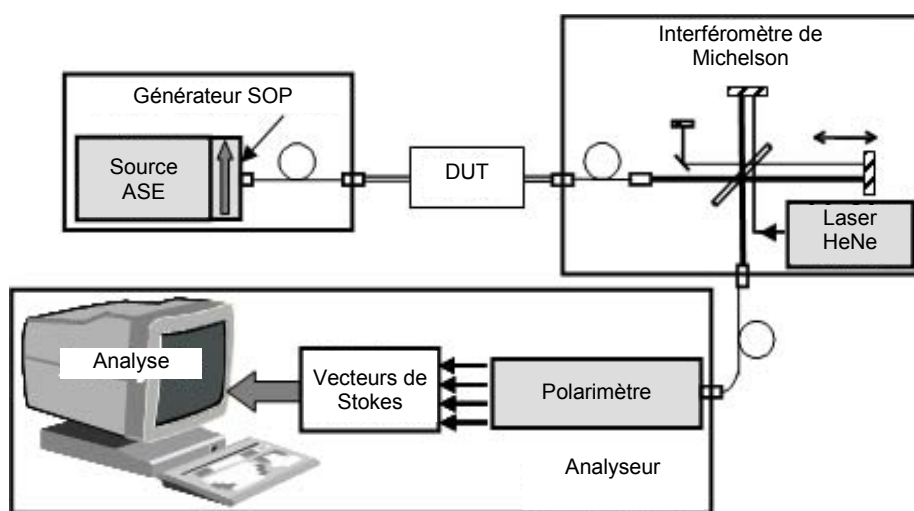
Figure 3 – Functional diagram of a generic measurement system based on Stokes parameter evaluation

Figure 4 illustrates two test set-ups for the Stokes parameter evaluation (SPE) method.



IEC 1549/06

a) Montage d'analyse propre de matrice de Jones



IEC 1550/06

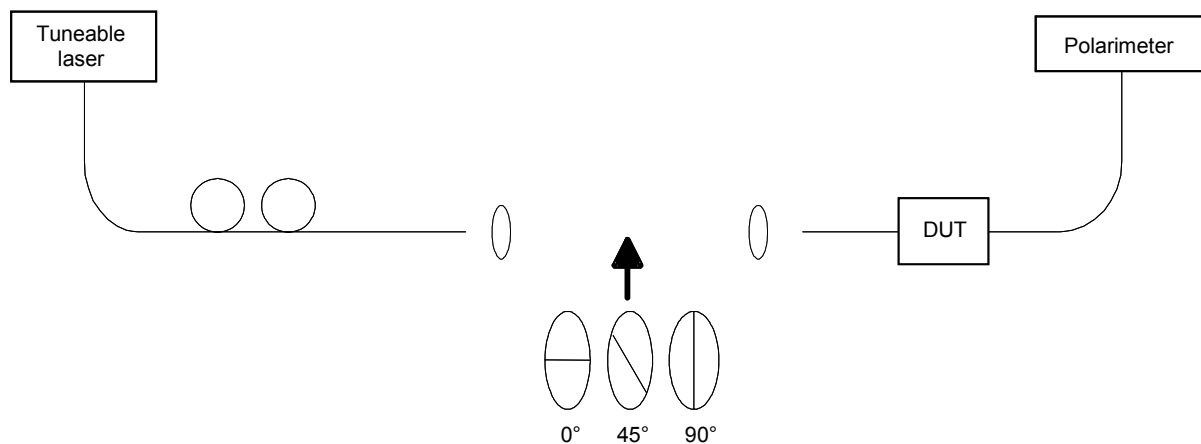
b) Montage d'analyse de la sphère de Poincaré

Figure 4 – Montage d'essai pour la méthode de l'évaluation du paramètre de Stokes

6.1.1 Source lumineuse

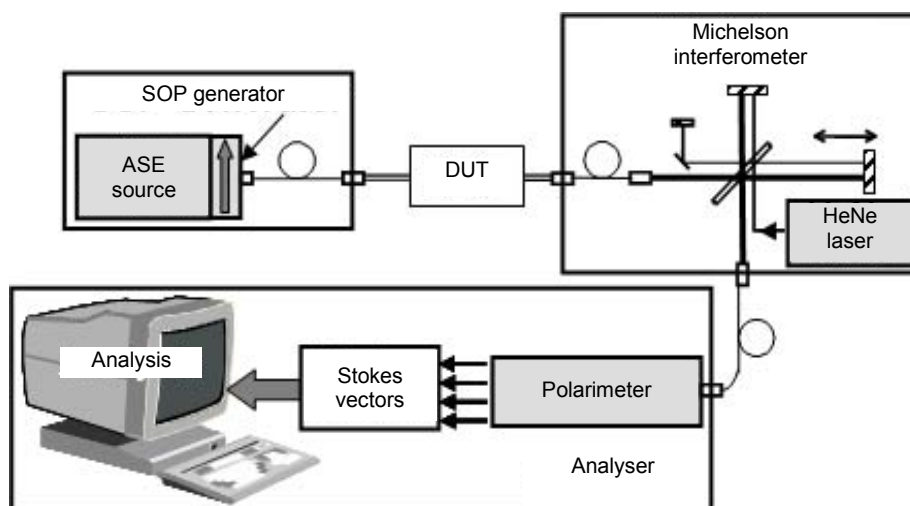
Dans tous les cas, une source lumineuse polarisée dans la gamme de longueur d'onde doit être utilisée. En particulier, deux types de sources de lumière peuvent être utilisés en fonction du type d'analyseur utilisé. Par exemple, une source à bande étroite peut être utilisée avec un analyseur polarimétrique alors qu'une source à large bande peut être utilisée avec un analyseur à bande étroite. L'analyseur peut être un filtre optique qui peut être placé avant ou après le DUT, un analyseur de spectre optique ou un interféromètre utilisé comme un analyseur du spectre de la transformation de Fourier, et le polarimètre.

Pour la mesure des équipements DWDM, la précision de la longueur d'onde du système de mesure doit être en rapport avec la précision requise pour obtenir des résultats fiables et significatifs. La résolution de la longueur d'onde doit être établie selon la bande passante de l'équipement, afin d'être conforme aux conditions du théorème de Nyquist. Ceci peut être fait en utilisant un appareil de mesure de la longueur d'onde dans la procédure de montage si nécessaire.



IEC 1549/06

a) Jones matrix eigenanalysis set-up



IEC 1550/06

b) Poincaré sphere analysis set-up

Figure 4 – Test set-ups for the Stokes parameter evaluation method

6.1.1 Light source

In all cases a polarised wavelength-range light source shall be used. In particular, two kinds of light source may be used depending on the type of analyser used. For instance, a narrowband source can be used with a polarimetric analyser while a broadband source can be used with a narrow band pass filtering analyser. The analyser can be an optical filter that may be placed before or after the DUT, an optical spectrum analyser or an interferometer used as a Fourier transform spectrum analyser and the polarimeter.

For the measurement of DWDM devices, the wavelength accuracy of the measurement system should be in accordance with the required accuracy to have meaningful and reliable results. The wavelength resolution should be set in accordance with the device bandwidth in order to follow the Nyquist theorem. This can be done by using a wavelength meter in the set-up procedure if necessary.

a) Source à bande étroite

Un laser à ligne unique ou une source à bande étroite pouvant être ajustés dans la gamme de longueur d'onde de mesure prévue doit être utilisé. La distribution spectrale doit être suffisamment étroite pour que la lumière sortant du DUT reste polarisée dans toutes les conditions de mesure, mais pas trop étroite afin d'éliminer tout bruit superflu, tout sur-échantillonnage et le non-respect du critère de Nyquist. Un degré de polarisation (DOP) de 90 % ou supérieur est préférable, bien que les mesures puissent être réalisées avec des valeurs jusqu'à 25 % avec une précision réduite. Pour une valeur donnée de DGD, $\Delta\tau$, le plus faible degré de polarisation qui peut en résulter est donné par

$$DOP = 100 * e^{-\frac{1}{4 \ln 2} \left(\frac{\pi c \Delta\tau \Delta\lambda_{FWHM}}{\lambda_0^2} \right)^2} \quad (1)$$

en prenant un spectre Gaussien de largeur $\Delta\lambda_{FWHM}$ centré au niveau λ_0 . Le DOP est exprimé en pourcentage.

b) Source à large bande

La source peut être une LED avec une largeur de ligne FWHM d'au moins 70 nm avec un taux d'extinction de polarisation >20 dB. Il convient que l'analyseur de filtrage ait une largeur spectrale de $\Delta\lambda_{FWHM}$ telle que l'équation (1) puisse être satisfaite avec un DOP > 90 %.

6.1.2 Générateur d'un état de polarisation

Un générateur de SOP est utilisé pour générer les vecteurs de Stokes à l'entrée $s_{in}(\omega)$. Le générateur de SOP est composé d'un dispositif de réglage de la polarisation, d'un jeu de polariseurs linéaires et du système optique adapté.

a) Dispositif de réglage de la polarisation et polariseurs linéaires

Un dispositif de réglage de la polarisation suit la source lumineuse et est réglé pour fournir une lumière polarisée approximativement circulairement aux polariseurs, de manière que les polariseurs ne traversent jamais la polarisation avec leur lumière d'entrée.

- Régler la polarisation comme suit.
- S'assurer que la gamme de longueurs d'onde de la source de lumière est réglée sur le centre de la gamme à mesurer.
- Insérer chacun des trois polariseurs dans le faisceau.
- Effectuer les trois mesures de puissance correspondantes, à la sortie du polariseur.
- Régler la polarisation de la source par le dispositif de réglage de la polarisation, de telle sorte que les trois puissances soient approximativement dans une gamme de 3 dB l'une par rapport à l'autre.

Dans une configuration de montage à faisceau ouvert, une plaque d'onde peut réaliser le réglage de la polarisation.

Outre le dispositif de réglage de polarisation, trois polariseurs linéaires, à des angles relatifs d'environ 45°, sont installés pour insertion successive dans le faisceau de lumière. Sinon, un polariseur tournant peut être utilisé. Il n'est pas nécessaire que les angles relatifs réels soient connus mais il est nécessaire qu'ils soient distincts les uns des autres.

a) Narrowband source

A single-line laser or narrow band source shall be used which is tuneable across the intended measurement wavelength range. The spectral distribution shall be narrow enough so that light emerging from the DUT remains polarised under all conditions of the measurement, but not too narrow in order to avoid unnecessary noise, over-sampling and not respecting the Nyquist criterion. A degree of polarization (DOP) of 90 % or greater is preferred, although measurements may be performed with values as low as 25 % with reduced precision. For a given value of DGD, $\Delta\tau$, the lowest degree of polarization that can result is given by

$$DOP = 100 * e^{-\frac{1}{4\ln 2} \left(\frac{\pi c \Delta\tau \Delta\lambda_{FWHM}}{\lambda_0^2} \right)^2} \quad (1)$$

Assuming a Gaussian spectrum of width $\Delta\lambda_{FWHM}$ centred at λ_0 . DOP is expressed in percent.

b) Broadband source

The source can be an LED with at least 70 nm FWHM linewidth with a polarization extinction ratio of >20 dB. The filtering analyser should have a spectral width $\Delta\lambda_{FWHM}$ such that Equation (1) can be met with a DOP > 90 %.

6.1.2 State of polarization generator

A SOP generator is used for generating the input Stokes vectors $s_{in}(\omega)$. The SOP generator is composed of a polarization adjuster, a set of linear polarizers and suitable optics.

a) Polarization adjuster and linear polarizers

A polarization adjuster follows the light source and is set to provide roughly circularly polarised light to the polarizers, so that the polarizers never cross polarization with their input light.

- Adjust the polarization as follows.
- Make sure that the light source wavelength range is set to the centre of the range to be measured.
- Insert each of the three polarizers into the beam.
- Perform three corresponding power measurements at the output of the polarizer.
- Adjust the source polarization via the polarization adjuster such that the three powers fall within approximately a 3-dB range of one another.

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

In addition to the polarization adjuster, three linear polarizers, at relative angles of approximately 45°, are arranged for insertion into the light beam in turn. Alternatively, a rotating polarizer can be used. The actual relative angles do not need to be known but need to be distinct from each other.

b) Optiques d'entrée

Un système de lentille optique ou une fibre amorce monomode peut être employé(e) pour exciter le DUT.

Si des fibres amorce sont utilisées, il convient d'éviter les effets d'interférence du fait de réflexions. Ceci peut nécessiter des matériaux adaptateurs d'indice. Les fibres amorce doivent être unimodales. Les fibres amorce seront maintenues aussi droites que possible sans se toucher, afin d'éviter les macro-coupures, ou les effets de contraintes qui pourraient influencer le résultat de l'essai.

Si un système de lentille optique est utilisé, certains moyens adaptés, tels qu'un plateau à succion, doivent être utilisés pour fournir un support très stable à l'extrémité d'entrée du DUT.

6.1.3 Analyseur

- Coupler toute la puissance émise du DUT vers l'analyseur utilisé pour la mesure des vecteurs de Stokes normalisés à la sortie du DUT.

Un système de lentille optique ou une épissure en butée sur une fibre amorce unimodale constituent des exemples de moyens pouvant être utilisés.

- Mesurer les trois états de sortie de polarisation correspondant à l'insertion de chacun des trois polarisateurs.

La gamme de longueurs d'onde de l'analyseur doit inclure les longueurs d'onde produites par la source lumineuse. Normalement, la sortie aura la forme de paramètres de Stokes.

- Lorsqu'on utilise un filtre ou un analyseur spectral, régler la largeur de bande de résolution (RBW) conformément à 6.2.

6.2 Procédure

Cette section indique l'ensemble des données et les procédures de calcul de la méthode SPE pour déterminer le PMD.

- Coupler la source de lumière par le générateur de SOP (dispositif de réglage de la polarisation aux polariseurs).
- Coupler la sortie du générateur de SOP (polariseurs) à l'entrée du DUT.
- Coupler la sortie du DUT à l'entrée de l'analyseur.
- Choisir la gamme de longueurs d'onde sur laquelle les paramètres de Stokes doivent être mesurés.
- Régler l'échelon de longueur d'onde $\Delta\lambda$ (ou l'échelon de fréquence $\Delta\nu$) de la source lumineuse réglable ou de l'analyseur (utilisé avec la source à large bande).

La valeur maximale admissible de $\Delta\lambda$ (environ λ_0) ou $\Delta\nu$ est réglée par l'exigence suivante:

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

$$\Delta\tau_{\max} \Delta\nu \leq \frac{1}{2}$$

où $\Delta\tau_{\max}$ est le DGD maximal attendu dans la gamme de longueur d'onde de mesure.

b) Input optics

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

If pigtails are used, interference effects due to reflections should be avoided. This may require index matching materials. The pigtails shall be single-mode. The pigtail should be kept as straight as possible and not touched in order to avoid macrobending or stress effects that would influence the test result.

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

6.1.3 Analyser

- Couple all power emitted from the DUT to the analyser used for the measurement of the normalised Stokes vectors at the output of the DUT.

An optical lens system or a butt splice to a single-mode fibre pigtail, are examples of means that may be used.

- Measure the three output states of polarization corresponding to insertion of each of the three polarizers.

The wavelength range of the analyser shall include the wavelengths produced by the light source. Typically, the output will be in the form of Stokes parameters.

- Where a filter or spectral analyser is used, set the resolution bandwidth (RBW) in accordance with 6.2.

6.2 Procedure

This section outlines the data collection and calculation procedures of the SPE method for determining PMD.

- Couple the light source through the SOP generator (polarization adjuster to the polarizers).
- Couple the output of the SOP generator (polarizers) to the input of the DUT.
- Couple the output of the DUT to the input of the analyser.
- Select the wavelength range over which the Stokes parameters are to be measured.
- Set the wavelength step $\Delta\lambda$ (or frequency step $\Delta\nu$) of the tuneable light source or the analyser (used with the broadband source).

The maximum allowable value of $\Delta\lambda$ (around λ_0) or $\Delta\nu$ is set by the following requirement:

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

$$\Delta\tau_{\max} \Delta\nu \leq \frac{1}{2}$$

where $\Delta\tau_{\max}$ is the maximum expected DGD within the measurement wavelength range.