

**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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61300-3-32:2006

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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61300-3-32:2006

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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61300-3-32:2006

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 $\Delta\tau$.

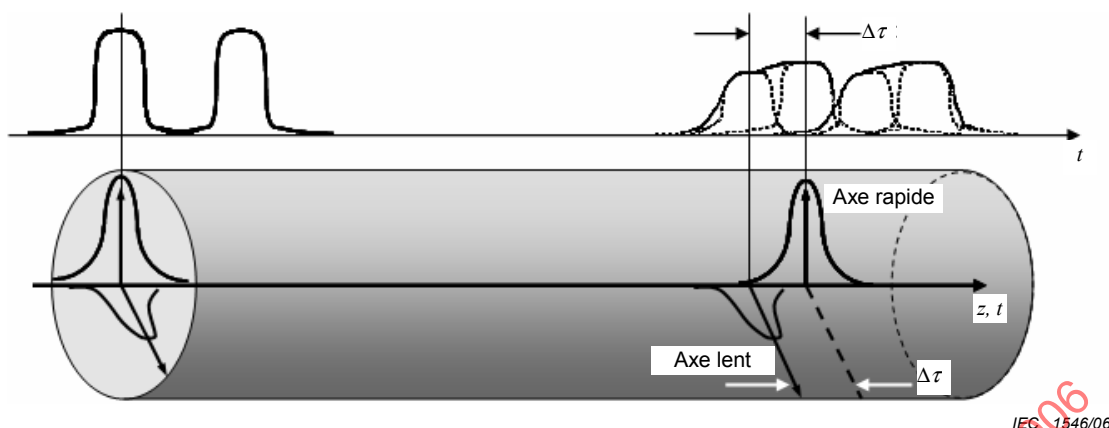


Figure 1 – Effet du phénomène de PMD sur la transmission d'un bit d'information à l'intérieur d'un composant

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

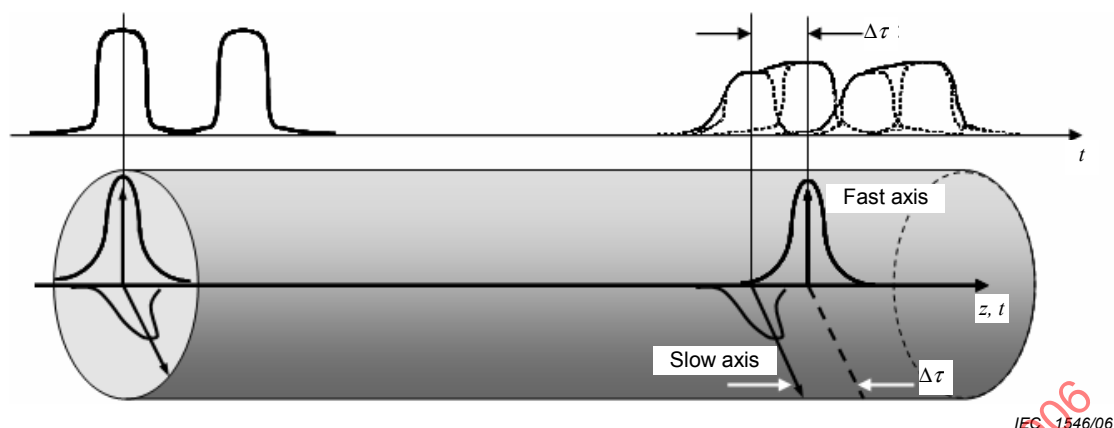


Figure 1– Effect of PMD phenomenon on transmission of an information bit pulse in a device

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 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.

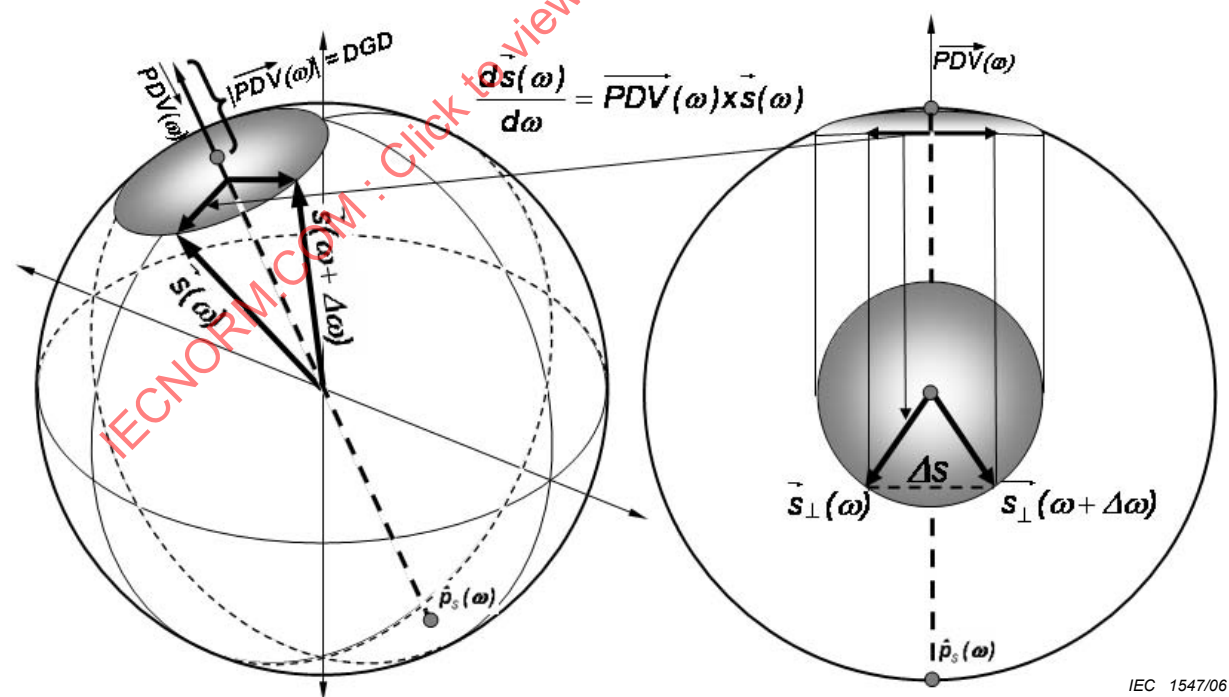


Figure 2 – Détermination du vecteur de dispersion de la polarisation, et principaux états de polarisation

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.

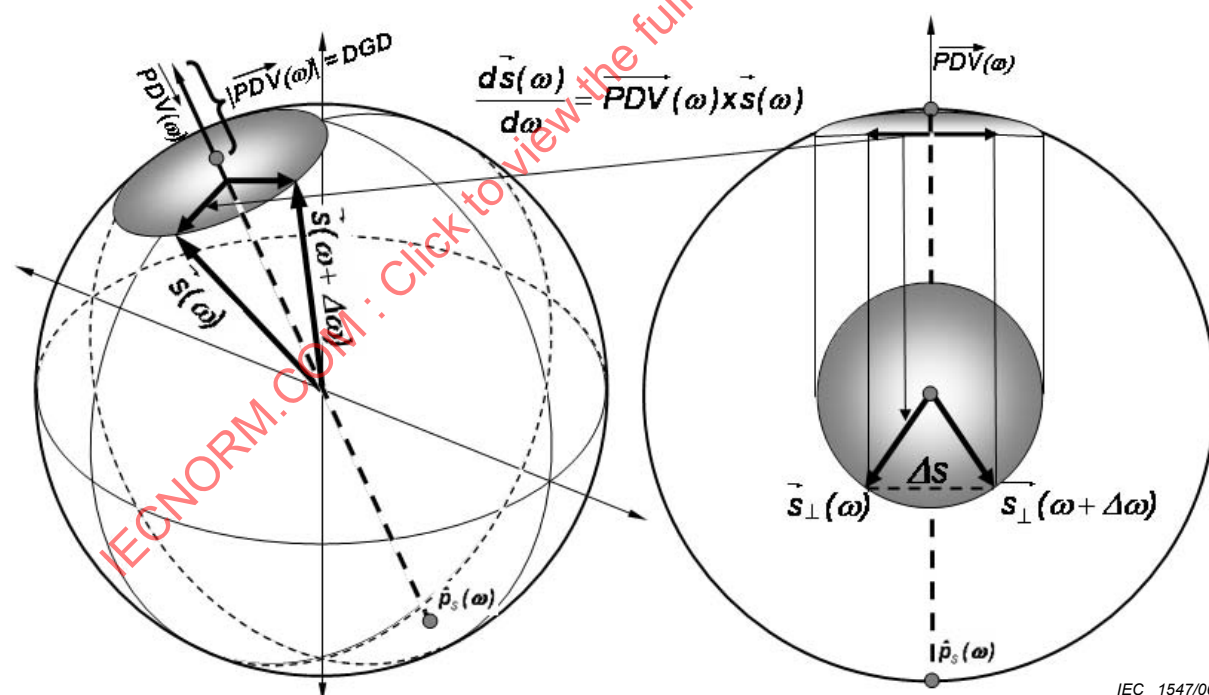


Figure 2 – Determination of polarization dispersion vector and principal states of polarization

Il 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).

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

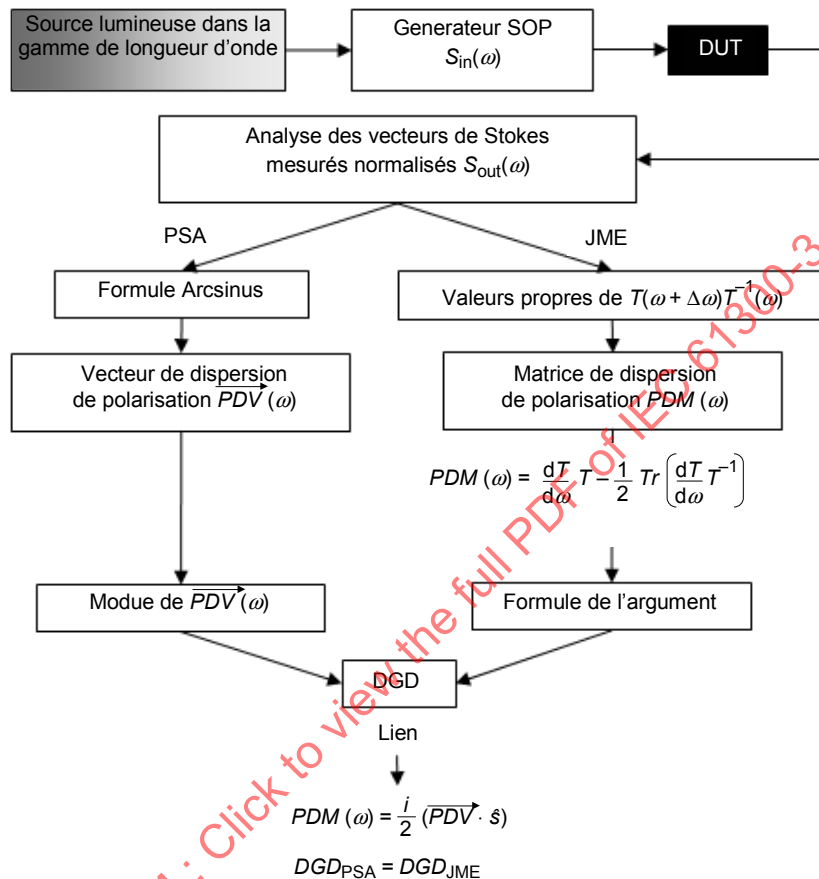
SPE	Stokes parameter evaluation method, including JME, PSA and MMA
-----	--

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.



IEC 1548/06

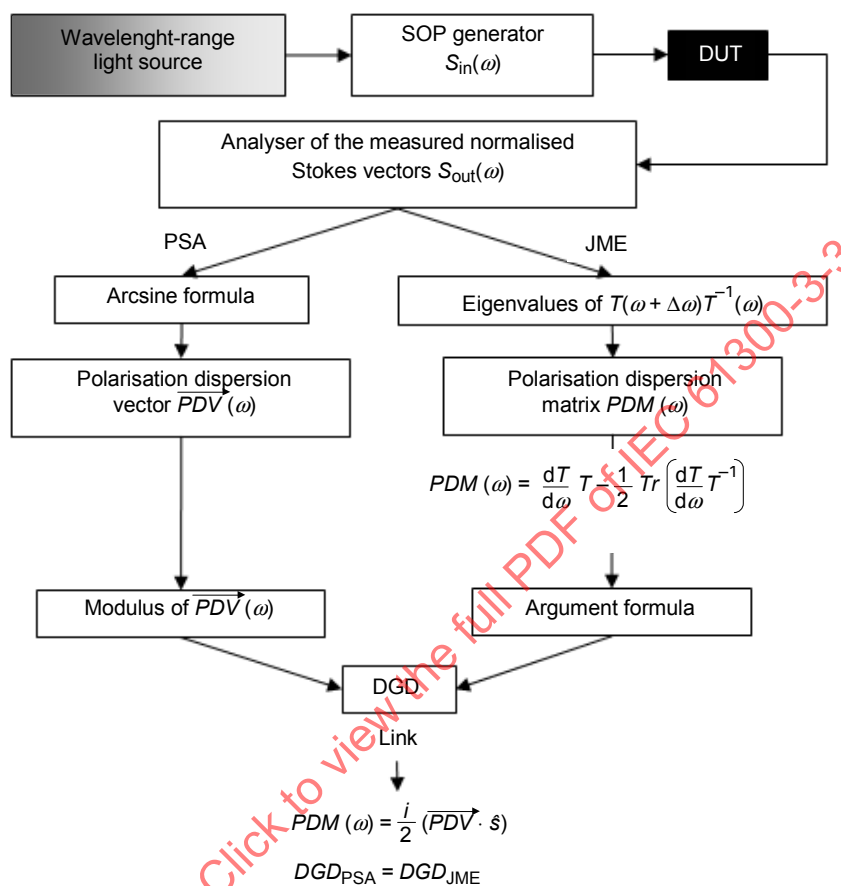
Figure 3 – Schéma fonctionnel d'un système de mesure générique fondé sur l'évaluation du paramètre de Stokes

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

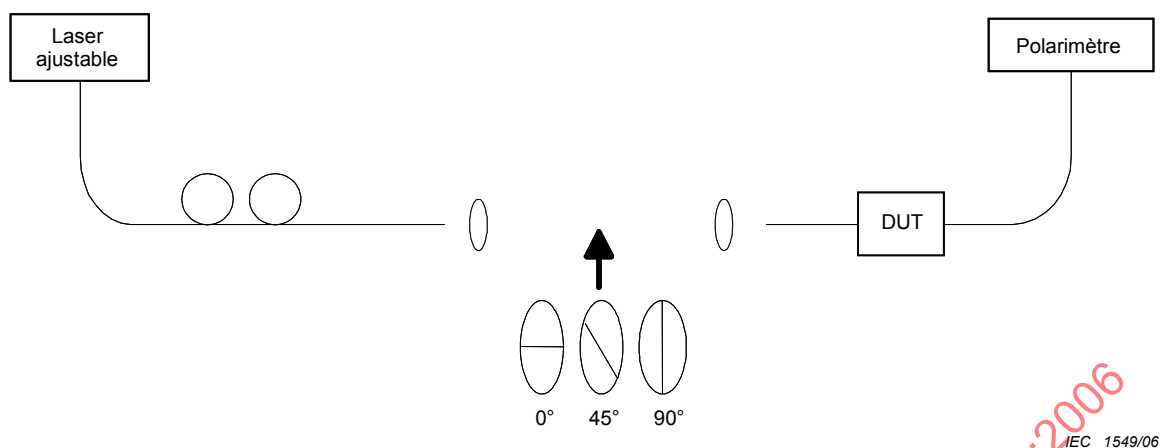
The basic set-up for the equivalent JME and PSA method for measuring PMD is shown in Figure 3. The various components of this system are described in the following subclauses.



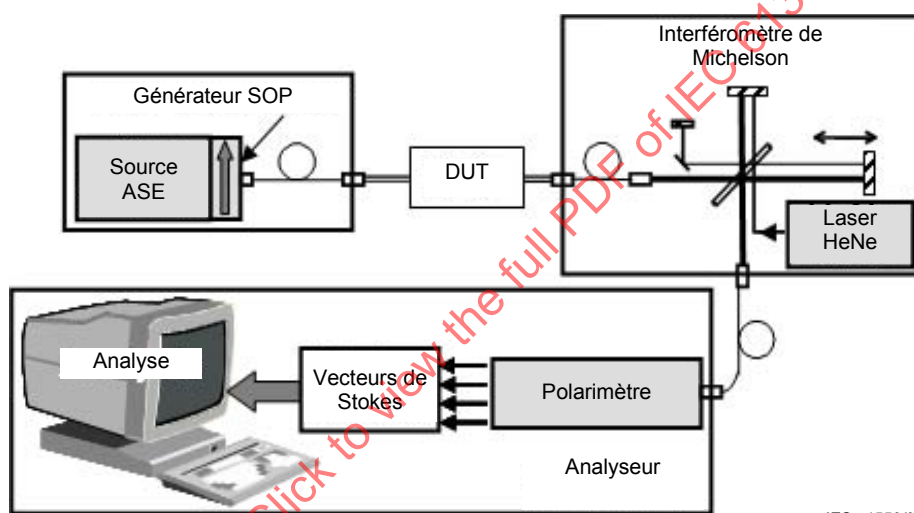
IEC 1548/06

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.



a) Montage d'analyse propre de matrice de Jones



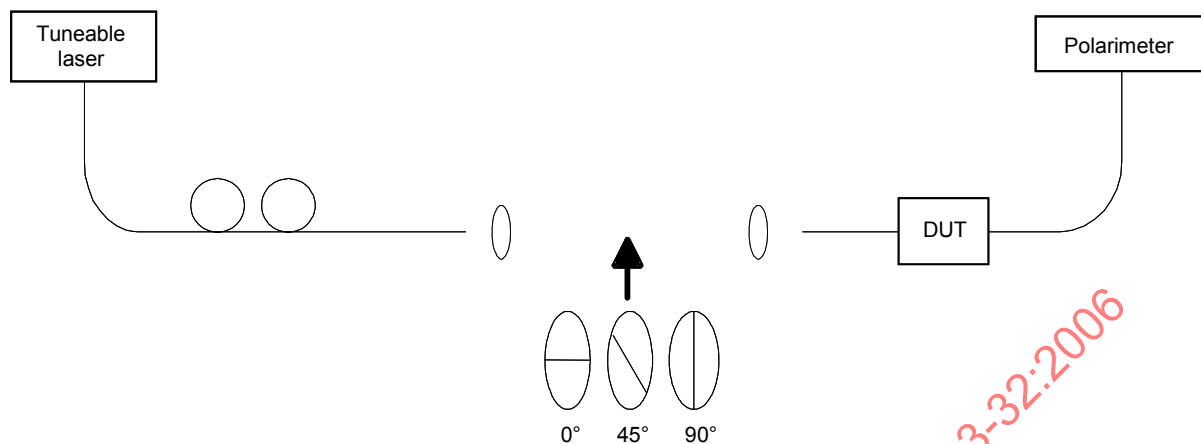
b) Montage d'analyse de la sphère de Poincaré

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

6.1.1 Source lumineuse

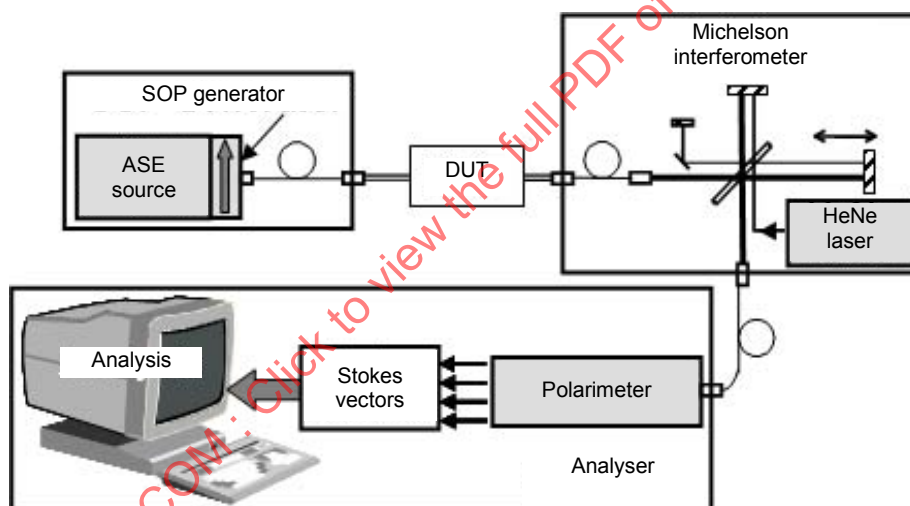
Dans tous les cas, une source lumineuse polarisée dans la gamme de longueur d'onde doit être utilisée. En particulier, deux types de sources de lumière peuvent être utilisés en fonction du type d'analyseur utilisé. Par exemple, une source à bande étroite peut être utilisée avec un analyseur polarimétrique 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.

Par exemple, le produit du DGD maximal et de l'intervalle de longueur d'onde doit rester inférieur à 4 ps·nm à 1 550 nm et inférieur à 2,8 ps·nm à 1 300 nm. Cette exigence assure que d'une longueur d'onde d'essai à la suivante, le SOP de sortie subit une rotation inférieure à 180° autour de l'axe PSP de la sphère de Poincaré. Si une estimation approximative de $\Delta\tau_{\max}$ ne peut être effectuée, exécuter une série de mesures d'échantillons DGD sur la gamme de longueurs d'onde, chaque mesure utilisant une paire de longueurs d'onde à espacement serré, appropriées à la largeur spectrale et à l'échelon de réglage minimal de la source lumineuse ou de l'analyseur. Multiplier le DGD maximal mesuré de cette façon par un facteur de sécurité de trois, substituer cette valeur à $\Delta\tau_{\max}$ dans l'expression ci-dessus et calculer la valeur de $\Delta\lambda$ ou $\Delta\nu$ à utiliser dans la mesure réelle. Si on redoute que l'échelon de longueur d'onde ou de fréquence utilisé pour une mesure soit trop grand, la mesure peut être répétée à l'aide d'un échelon de longueur d'onde ou de fréquence plus petit. Si la forme de la courbe du DGD par rapport à la longueur d'onde et le DGD moyen sont globalement inchangés, la longueur d'onde d'origine ou l'échelon de fréquence était satisfaisant.

- Régler la largeur de bande de résolution (RBW) de l'analyseur lorsque cela est exigé (source à large bande avec analyseur de spectre) en utilisant l'exigence suivante:

$$\Delta\tau_{\max} RBW_{\lambda} \leq \frac{\lambda_0^2}{5c} \quad (3)$$

$$\Delta\tau_{\max} RBW_{\nu} \leq \frac{1}{5}$$

- Rassembler les données de mesure.
- Aux longueurs d'onde choisies, insérer chacun des polariseurs ou procéder à une rotation du polariseur tournant et enregistrer les paramètres de Stokes correspondants provenant de l'analyseur.

Le type de dispositif doit également jouer un rôle dans le choix de l'intervalle de longueur d'onde. Pour les dispositifs déterministes complexes et aléatoires (ou si le type de dispositif est inconnu), il est conseillé d'utiliser la méthode ci-dessus pour déterminer la taille de l'échelon.

Pour les dispositifs déterministes simples, le DGD sera approximativement constant sur la longueur d'onde. Dans ces cas, la taille des échelons et le nombre des points de mesure sont moins importants.

Pour un composant DWDM, il convient que l'échelon de longueur d'onde soit réglé proportionnellement à la largeur de bande passante ou il convient que l'espacement de voies et la longueur d'onde absolue soient garanties proportionnellement à la spécification de précision de la longueur d'onde centrale de la bande passante. Il est nécessaire d'utiliser un échelon de longueur d'onde serré pour ces dispositifs pour caractériser de manière précise la bande passante des filtres.

Il convient de veiller au respect du théorème de Nyquist: la largeur de ligne de la source laser doit être plus de deux fois plus large que l'échelon de longueur d'onde ou la largeur de bande du système de détection de l'analyseur doit être plus de deux fois plus importante que la différence de longueur d'onde entre deux points de données enregistrés.

NOTE Il est impératif de prendre des précautions pour que les conditions d'environnement soient relativement constantes lorsqu'on réalise ces mesures en utilisant la présente méthode dans la mesure où elle est très sensible aux variations de l'environnement. Une manière de réduire la sensibilité de la méthode aux conditions d'environnement ou d'injection est d'assurer que tous les paramètres de Stokes soient mesurés en quelques secondes.

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 SOP moves less than 180° about the PSP axis of the Poincaré sphere. If a rough estimate of $\Delta\tau_{\max}$ cannot be made, perform a series of sample DGD 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 light source or the analyser. Multiply the maximum DGD measured in this way by a safety factor of three, substitute this value for $\Delta\tau_{\max}$ in the above expression and compute the value of $\Delta\lambda$ or $\Delta\nu$ to be used in the actual measurement. If there is concern that the wavelength or frequency step used for a measurement was too large, the measurement may be repeated with a smaller wavelength or frequency step. If the shape of the curve of DGD vs. wavelength and the mean DGD are essentially unchanged, the original wavelength or frequency step was satisfactory.

- Set the resolution bandwidth (RBW) of the analyser when required (broadband source with spectrum analyser) using the following requirement

$$\Delta\tau_{\max} RBW_{\lambda} \leq \frac{\lambda_0^2}{5c} \quad (3)$$

$$\Delta\tau_{\max} RBW_{\nu} \leq \frac{1}{5}$$

- Gather the measurement data.
- At the selected wavelengths, insert each of the polarizers or rotate the rotating polarizer and record the corresponding Stokes parameters from the analyser.

The type of device shall also play a role in selecting the wavelength interval. For complex deterministic and random devices (or if the type of device is unknown), it is advised to use the above method to determine the step size.

For simple deterministic devices, the DGD will be nearly constant over wavelength. In these cases, the size of the steps, and the number of measurement points is less important.

For a DWDM DUT, the wavelength step should be set in proportion to the passband width or the channel spacing and absolute wavelength should be guaranteed in proportion to the accuracy specification of the centre wavelength of the passband. It is necessary to use a tight wavelength step for these devices to accurately characterise the passband of the filters.

Care should be taken to respect the Nyquist theorem: the linewidth of the laser source shall be more than two times wider than the wavelength step or the bandwidth of analyser detection system shall be more than two times larger than the wavelength difference between two recorded data points.

NOTE It is imperative to take precautions that the environmental conditions are relatively constant when doing these measurements using this method, as it is very sensitive to changes in the environment. One way to minimize the sensitivity of the method to environmental or launching conditions is to ensure that all the Stokes parameters be measured in a matter of seconds.

6.2.1 Calcul de la dispersion de mode de polarisation

Les concepts fondamentaux du calcul de Jones [5], la sphère de Poincaré, et les paramètres de Stokes peuvent être obtenus de la CEI 61282-9. Ces concepts et définitions seront utilisés pour calculer la DGD des données brutes obtenues ci-dessus (les vecteurs de Stokes représentant la sortie SOP en fonction de la fréquence optique).

a) Calculs d'analyse propre de matrice de Jones

- À partir des paramètres de Stokes, 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 (longueur d'onde plus faible) et la matrice de Jones inverse $T^{-1}(\omega)$ à la fréquence optique inférieure (longueur d'onde plus importante). La fréquence optique angulaire ω est exprimée en radians par seconde et elle est liée à la fréquence ν par $\omega = 2\pi\nu$ ou à la longueur d'onde par $\omega = 2\pi c/\lambda$.
- Trouver le DGD $\Delta\tau$ pour l'intervalle de longueur d'onde particulier à partir de l'expression suivante:

$$\Delta\tau = \left| \frac{\text{Arg}\left(\frac{\rho_1}{\rho_2}\right)}{\Delta\omega} \right| \quad (4)$$

où

ρ_1 et ρ_2 sont les valeurs propres complexes de $T(\omega, \Delta\omega)T^{-1}(\omega)$

Arg est la fonction argument, c'est-à-dire $\text{Arg}(ne^{i\theta}) = \theta$

Pour les besoins de l'analyse, chaque valeur de DGD est prélevée pour représenter le DGD 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.

b) Calculs liés à l'analyse de la sphère de Poincaré

- A partir des vecteurs de Stokes normalisés mesurés $\hat{H}$, $\hat{V}$, $\hat{Q}$, calculer [2]:

$$\hat{h} = \hat{H}, \quad \hat{q} = \frac{\hat{H} \times \hat{Q}}{|\hat{H} \times \hat{Q}|} \times \hat{H}, \quad \hat{v} = \frac{\hat{Q} \times \hat{V}}{|\hat{Q} \times \hat{V}|} \times \hat{Q} \quad (5)$$

pour rendre l'analyse indépendante des SOP d'entrée et ainsi ne pas avoir à les connaître.

- A partir des vecteurs de Stokes $\hat{h}$, $\hat{v}$ et $\hat{q}$, former les produits vectoriels $\hat{c} = \hat{h} \times \hat{q}$ et $\hat{c}' = \hat{q} \times \hat{v}$ à chaque longueur d'onde. Pour chaque intervalle de longueur d'onde, calculer les différences finies,

$$\begin{aligned} \Delta\hat{h} &= \hat{h}(\omega + \Delta\omega) - \hat{h}(\omega) & \Delta\hat{q} &= \hat{q}(\omega + \Delta\omega) - \hat{q}(\omega) & \Delta\hat{v} &= \hat{v}(\omega + \Delta\omega) - \hat{v}(\omega) \\ \Delta\hat{c} &= \hat{c}(\omega + \Delta\omega) - \hat{c}(\omega) & \Delta\hat{c}' &= \hat{c}'(\omega + \Delta\omega) - \hat{c}'(\omega) \end{aligned} \quad (6)$$

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

$$\Delta\tau = \frac{1}{\Delta\omega} \cdot \left[\arcsin\left(\frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{2}(\Delta\hat{h}^2 + \Delta\hat{q}^2 + \Delta\hat{c}^2)}\right) + \arcsin\left(\frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{2}(\Delta\hat{q}^2 + \Delta\hat{v}^2 + \Delta\hat{c}'^2)}\right) \right] \quad (7)$$

6.2.1 Calculation of polarization mode dispersion

The basic concepts of Jones calculus [5], the Poincaré sphere, and the Stokes parameters can be found in IEC 61282-9. These concepts and definitions will be used to calculate the DGD from the raw data captured above (the Stokes vectors representing the output SOP as a function of optical frequency).

a) Jones matrix eigenanalysis calculations

- From the 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 (smaller wavelength) and the inverse Jones matrix $T^{-1}(\omega)$ at the lower optical frequency (longer wavelength). The radian optical frequency ω is expressed in radians per second and is related to the frequency ν by $\omega = 2\pi\nu$ or to the wavelength by $\omega = 2\pi c/\lambda$.
- Find the DGD, $\Delta\tau$, for the particular wavelength interval from the following expression:

$$\Delta\tau = \left| \frac{\text{Arg}\left(\frac{\rho_1}{\rho_2}\right)}{\Delta\omega} \right| \quad (4)$$

where

ρ_1 and ρ_2 are the complex eigenvalues of $T(\omega+\Delta\omega)T^{-1}(\omega)$

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 DGD at 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.

b) Poincaré sphere analysis calculations

- From the measured normalised Stokes vectors $\hat{H}$, $\hat{V}$, $\hat{Q}$, compute [2]:

$$\hat{h} = \hat{H}, \quad \hat{q} = \frac{\hat{H} \times \hat{Q}}{|\hat{H} \times \hat{Q}|} \times \hat{H}, \quad \hat{v} = \frac{\hat{Q} \times \hat{V}}{|\hat{Q} \times \hat{V}|} \times \hat{Q} \quad (5)$$

in order to make the analysis independent of the input SOPs and consequently having no need to know them.

- From the Stokes vectors $\hat{h}$, $\hat{v}$ and $\hat{q}$, form the vector products $\hat{c} = \hat{h} \times \hat{q}$ and $\hat{c}' = \hat{q} \times \hat{v}$ at each wavelength. For each wavelength interval, compute the finite differences,

$$\begin{aligned} \Delta\hat{h} &= \hat{h}(\omega + \Delta\omega) - \hat{h}(\omega) & \Delta\hat{q} &= \hat{q}(\omega + \Delta\omega) - \hat{q}(\omega) & \Delta\hat{v} &= \hat{v}(\omega + \Delta\omega) - \hat{v}(\omega) \\ \Delta\hat{c} &= \hat{c}(\omega + \Delta\omega) - \hat{c}(\omega) & \Delta\hat{c}' &= \hat{c}'(\omega + \Delta\omega) - \hat{c}'(\omega) \end{aligned} \quad (6)$$

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

$$\Delta\tau = \frac{1}{\Delta\omega} \cdot \left[\arcsin\left(\frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{2}(\Delta\hat{h}^2 + \Delta\hat{q}^2 + \Delta\hat{c}^2)}\right) + \arcsin\left(\frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{2}(\Delta\hat{q}^2 + \Delta\hat{v}^2 + \Delta\hat{c}'^2)}\right) \right] \quad (7)$$

Chaque valeur de DGD est prélevée pour représenter le DGD au point moyen de l'intervalle de longueur d'onde correspondant.

6.2.2 Affichage du retard de groupe différentiel par rapport à la longueur d'onde

Les données provenant soit des calculs JME soit des calculs PSA 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 5.

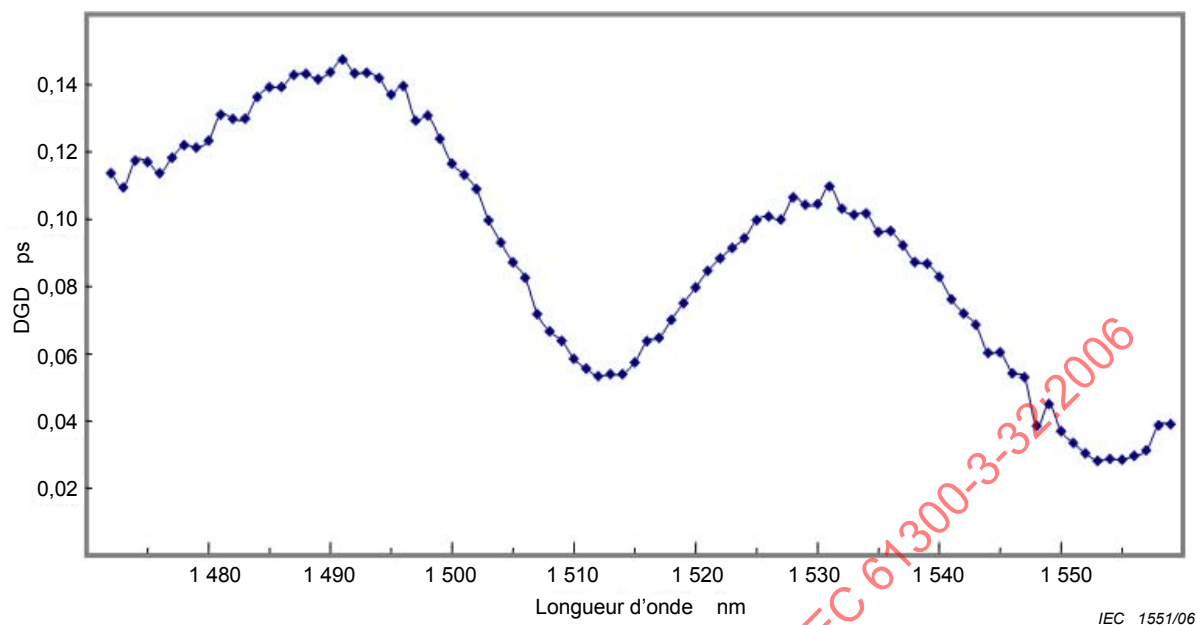
IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61300-3-32:2006

Each DGD value is taken to represent the DGD at the midpoint of the corresponding wavelength interval.

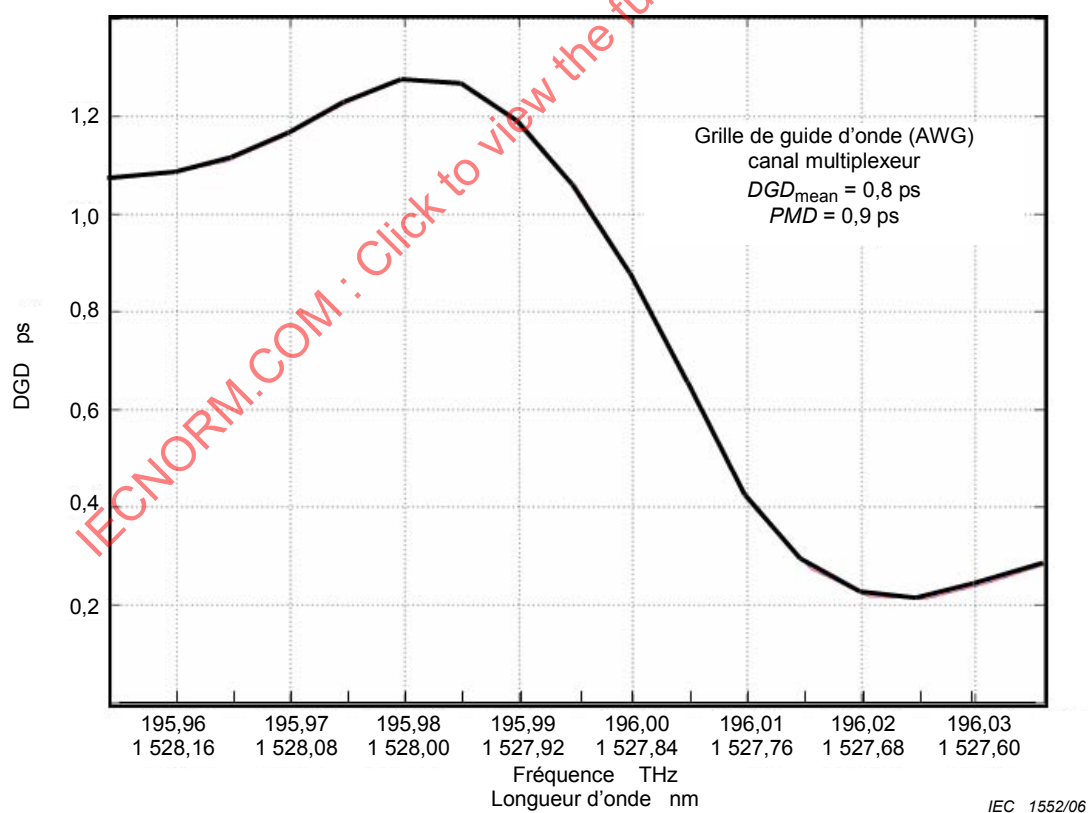
6.2.2 Display of differential group delay versus wavelength

Data arising from either JME or PSA 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 5.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61300-3-32:2006

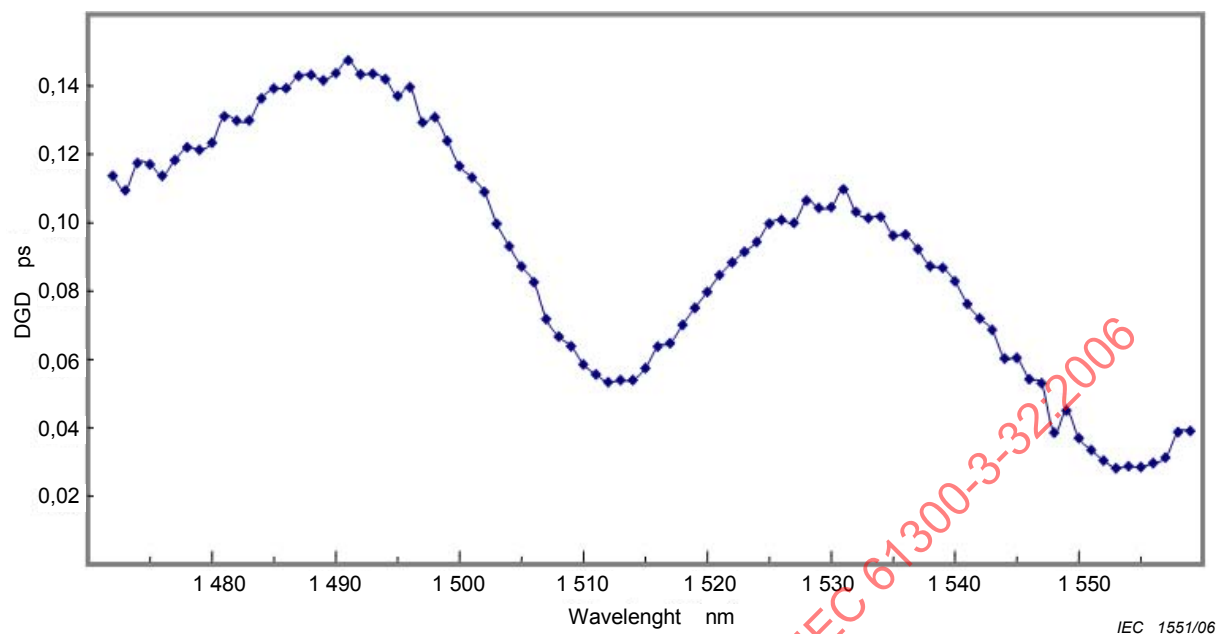


a) résultat de mesure d'analyse propre de matrice de Jones

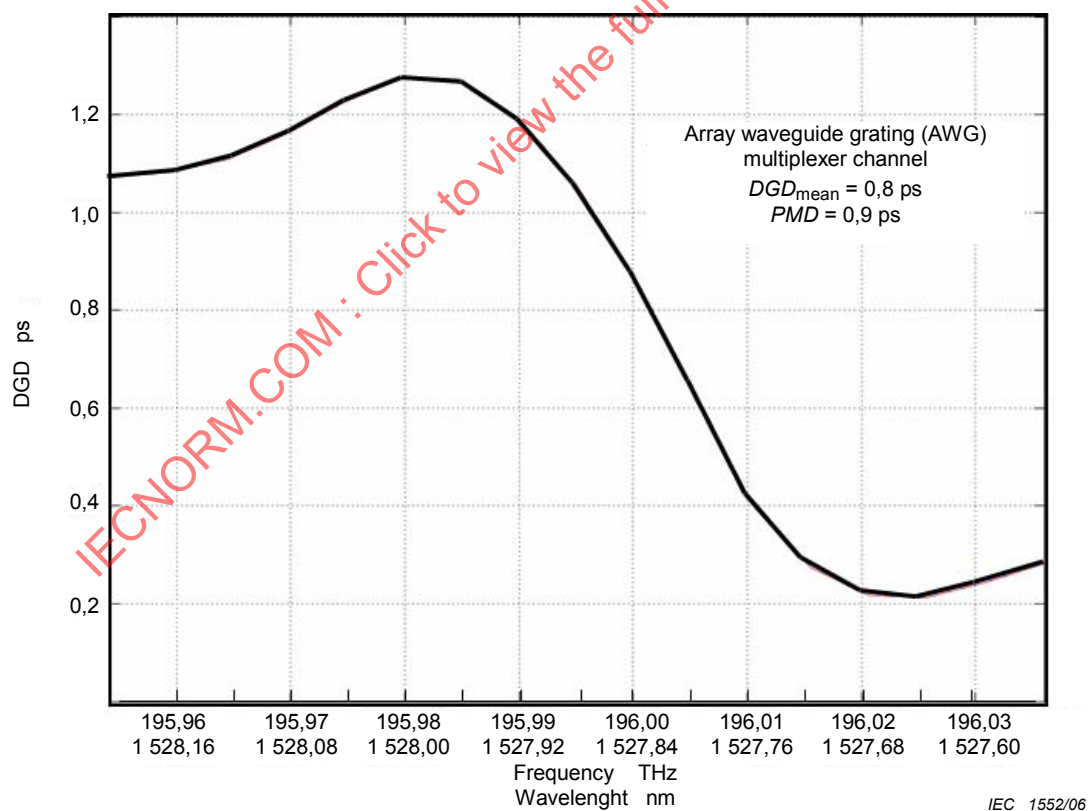


b) résultat de mesure d'analyse de la sphère de Poincaré

Figure 5 – Résultats échantillonnés de la méthode d'évaluation du paramètre de Stokes



a) Jones matrix eigenanalysis measurement result



b) Poincaré sphere analysis measurement result

Figure 5 – Sample results from the Stokes parameter evaluation method

Il convient de tracer le DGD par rapport à la longueur d'onde dans le format x-y avec le DGD sur l'axe vertical. Le résultat provenant d'un dispositif déterministe simple montrera un DGD approximativement constant par rapport à la longueur d'onde.

Pour un dispositif DWDM, il est approprié de recouvrir le DGD par rapport à la longueur d'onde avec la forme du filtre (affaiblissement par rapport à la longueur d'onde) pour illustrer comment le DGD varie sur la bande passante.

6.2.3 Valeur de dispersion de mode de polarisation

La valeur de PMD attendue $\langle \Delta \tau \rangle_\lambda$ d'une mesure unique est simplement la moyenne (ou la valeur efficace) des valeurs de mesure du DGD sur une gamme de longueurs d'onde. Si plusieurs mesures sont réalisées sous différentes conditions pour augmenter la quantité d'échantillons, on utilise la moyenne de l'ensemble.

- Réaliser les calculs de PMD, en suivant la procédure donnée ci-dessous.
- Faire la moyenne des valeurs de DGD trouvées à chaque longueur d'onde utilisée, sur toutes les mesures prises.
- Déterminer la valeur DGD moyenne et la valeur DGD efficace sur la gamme de longueurs d'onde utilisée.
- Consigner le DGD moyen déterminé ci-dessus comme la valeur PMD_{mean} de composant et le DGD en valeur efficace déterminé ci-dessus comme la valeur PMD_{rms} de composant, les deux en ps.
- Consigner également la valeur DGD maximale (observée à une longueur d'onde moyenne de taille d'un pas de longueur d'onde), en ps.
- Consigner les valeurs DGD spécifiques à la (aux) longueur(s) d'onde spécifiée(s), en ps.

Dans tous les cas, les valeurs DGD, les valeurs DGD maximales et les valeurs PMD de composant sont reportées en ps.

6.2.4 Incertitudes d'évaluation

- Réaliser une évaluation de l'incertitude vraisemblable dans le DGD maximal mesuré, et DGD moyen et efficace (PMD).

7 Méthode de mesure du déphasage de polarisation (PPS)

Ce paragraphe contient des exigences spécifiques à la méthode de mesure du déphasage de polarisation.

Cette méthode [6-9] utilise une paire de SOP orthogonales (les SOP 0° et 90° linéaires). Les SOP 0° et 90° linéaires sont injectés dans le DUT, et les sorties sont séparés en deux composants SOP par un répartiteur de polarisation, comme indiqué en Figure 6. L'amplitude et le retard de groupe pour chaque SOP (la lumière polarisée P- et S-) sont mesurés à une longueur d'onde spécifique. On obtient ainsi les informations suivantes.

- Pour un SOP 0° linéaire,
Les amplitudes de lumière polarisée P- et S- ($|T_{11}|^2_{\text{mea}}$ et $|T_{21}|^2_{\text{mea}}$, respectivement) et retard de groupe ($d\Phi_{11}/d\omega_{\text{mea}}$ et $d\Phi_{21}/d\omega_{\text{mea}}$, respectivement);
- Pour un SOP 90° linéaire,
Les amplitudes de lumière polarisée P- et S- ($|T_{12}|^2_{\text{mea}}$ et $|T_{22}|^2_{\text{mea}}$) et retard de groupe ($d\Phi_{12}/d\omega_{\text{mea}}$ et $d\Phi_{22}/d\omega_{\text{mea}}$, respectivement);

The DGD versus wavelength should be plotted in x-y format with DGD on the vertical axis. The result from a simple deterministic device will show a nearly constant DGD with respect to wavelength.

For a DWDM device, it is appropriate to overlay the DGD vs. wavelength with the shape of the filter (attenuation vs. wavelength) to illustrate how the DGD varies across the passband.

6.2.3 Polarization mode dispersion value

The expected PMD value $\langle \Delta \tau \rangle_\lambda$ of a single measurement is simply the average (or RMS value) of all DGD measurement values over a wavelength range. If multiple measurements are performed under different conditions to increase the sample size, the ensemble average is used.

- Perform PMD calculations, following the procedure given below.
- Average the DGD values found at each wavelength step size used, over all the measurements taken.
- Determine the mean and the RMS DGD values across the wavelength range used.
- Report the mean DGD determined above as the DUT PMD_{mean} value, and the RMS DGD determined above as the DUT PMD_{rms} value, both in ps.
- Report also the maximum DGD value (observed at the mean wavelength of a wavelength step size), in ps.
- Report the specific DGD values at specified wavelength(s), in ps.

In all cases, the DGD values, the maximum DGD and PMD values of the DUT are reported in ps.

6.2.4 Assess uncertainties

- Make an assessment of the likely uncertainty in the measured maximum DGD and mean and RMS DGD (PMD).

7 Polarization phase shift measurement method

This clause contains requirements specific to the polarization phase shift measurement method.

This method [6-9] uses a pair of orthogonal SOPs (the 0° and 90° linear SOPs). The 0° and 90° linear SOPs are launched into the DUT and the outputs are separated into two SOP components by a polarization splitter as shown in Figure 6. The amplitude and group delay for each SOP (the P- and S- polarised light) are measured at a specific measurement wavelength. The following information is then obtained,

- for 0° linear SOP,
 - P- and S-polarised light amplitudes ($|T_{11}|^2_{\text{mea}}$ and $|T_{21}|^2_{\text{mea}}$, respectively) and group delays ($d\Phi_{11}/d\omega_{\text{mea}}$ and $d\Phi_{21}/d\omega_{\text{mea}}$, respectively);
- for 90° linear SOP,
 - P- and S-polarised light amplitudes ($|T_{12}|^2_{\text{mea}}$ and $|T_{22}|^2_{\text{mea}}$) and group delays ($d\Phi_{12}/d\omega_{\text{mea}}$ and $d\Phi_{22}/d\omega_{\text{mea}}$, respectively).

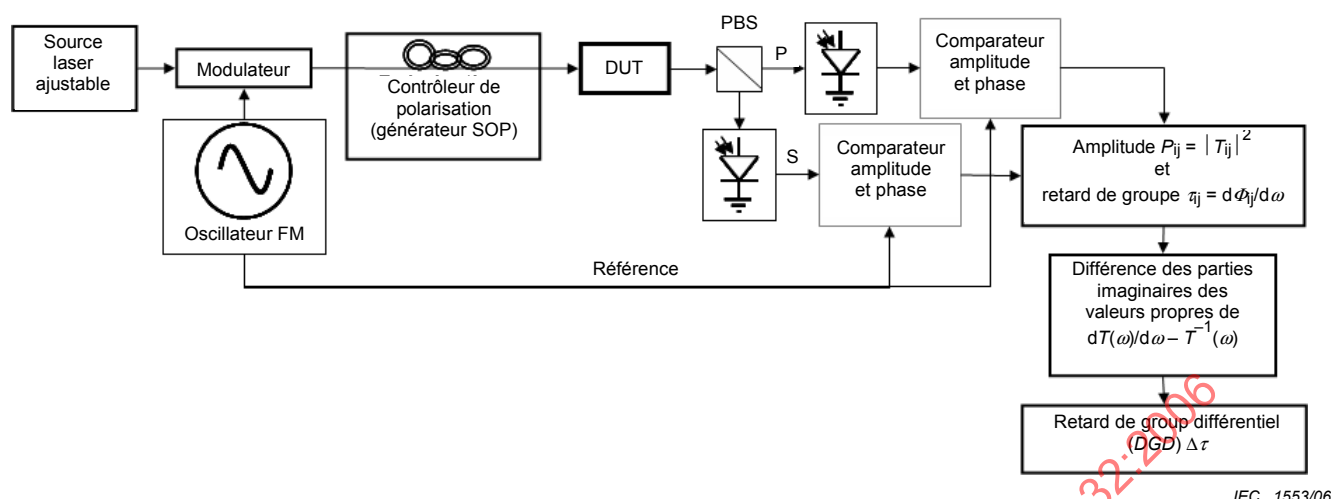


Figure 6 – Montage d'essai pour la méthode du décalage de phase de polarisation

7.1 Matériel

La Figure 6 ci-dessus représente un schéma fonctionnel possible.

7.1.1 Source lumineuse

La source lumineuse est une source réglable à bande étroite, similaire à celle utilisée avec la méthode SPE. La plage de réglage du laser doit être suffisante pour couvrir la plage de longueurs d'onde de la PMD. On peut utiliser des lasers à cavité externe contrôlés en température et en courant entièrement autonomes.

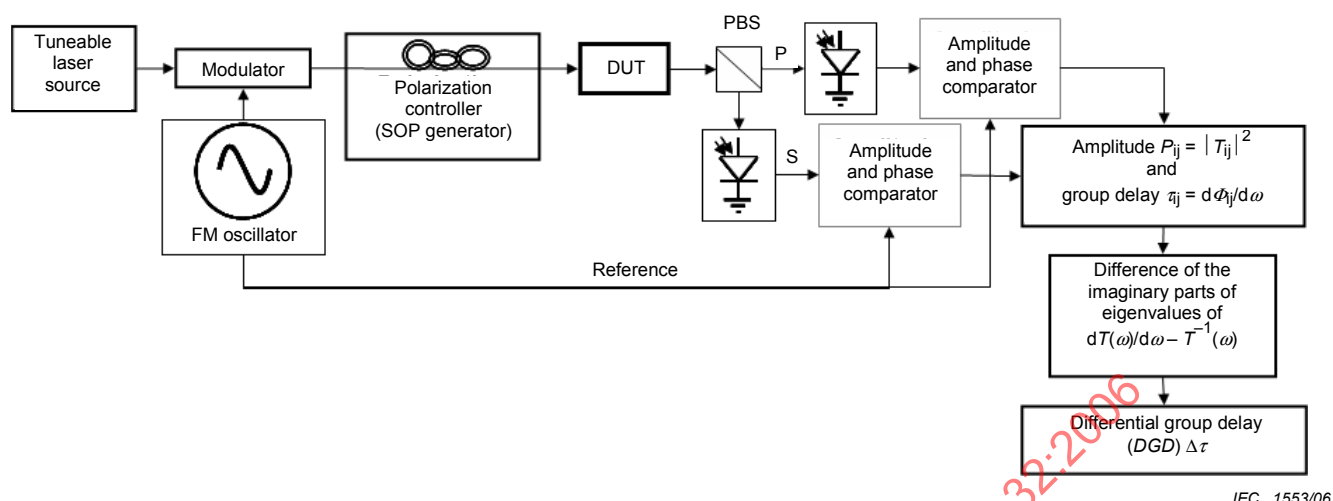
7.1.2 Modulateur

Un modulateur est utilisé pour moduler l'intensité des sources lumineuses, pour produire une forme d'onde avec une composante de Fourier dominante unique. La fréquence de la modulation doit être suffisamment élevée et suffisamment stable pour garantir une mesure de précision adéquate.

La modulation peut être obtenue par injection directe (interne) de courant dans la source. Il est également possible d'utiliser d'autres formes (externes) de modulation. Des exemples sont des dispositifs modulateurs électro-optiques placés après le laser (voir la Figure 6 ci-dessus) pour moduler la lumière avant son passage dans le DUT. Le modulateur doit être suffisamment stable pour garantir une mesure de précision adéquate. Une modulation sinusoïdale, trapézoïdale ou carrée est acceptable. Normalement, une stabilité de fréquence de $0,01 \times 10^{-6}$ est suffisante.

Une partie du signal modulant est envoyée au comparateur d'amplitude et de phase, en tant que signal de référence.

La source du signal RF nécessite une caractéristique de bande large, afin de fournir un signal de modulation sinusoïdal, dont la fréquence f est normalement choisie comme compatible avec l'électronique de détection de phase, dans toute limitation posée par la largeur de bande du dispositif. La fréquence f est normalement dans la gamme 10 MHz à 10 GHz. Pour sélectionner la fréquence de modulation, il convient de tenir compte de l'influence indésirable des bandes latérales de la modulation et de la résolution de la mesure du retard de groupe différentiel (DGD). La modulation à la fréquence, f , transmettra des bandes latérales à $\pm f$ Hz hors de la longueur d'onde centrale de la source, et dans certains DUT à bande très étroite, ceci pourrait créer une limitation. Pour assurer une mesure de phase précise, il faut que la largeur de bande occupée totale y compris les bandes latérales de la modulation et la largeur de raie de source elle-même soient inférieures ou égales à la largeur de bande du DUT.



IEC 1553/06

Figure 6 – Test set-up for the polarization phase shift method

7.1 Apparatus

Figure 6 above, shows a possible block diagram.

7.1.1 Light source

The light source is a narrowband tuneable light source similar to the one used with the SPE method. The tuning range of the laser shall be sufficient to cover the required PMD wavelength range. A completely self-contained temperature controlled and current controlled external-cavity laser unit is generally employed.

7.1.2 Modulator

A modulator is used to modulate the intensity of the light source to produce a waveform with a single dominant Fourier component. The frequency of the modulation shall be sufficiently high and sufficiently stable to ensure adequate measurement precision.

Modulation may be achieved by direct (internal) current injection to the source. Other (external) forms of modulation means may also be used. Examples are electro-optic modulator devices placed after the laser (see Figure 6 above) to modulate the light before it is passed into the DUT. The modulator must be sufficiently stable to ensure adequate measurement precision. A sinusoidal, trapezoidal or square wave modulation is acceptable. A frequency stability of $0,01 \times 10^{-6}$ is typically sufficient.

Some of the modulating signal is sent to the amplitude and phase comparator as a reference signal.

The RF signal source requires a broadband characteristic in order to provide a sinusoidal modulating signal whose frequency f is typically chosen as that convenient to phase detection electronics, within any limitations posed by the DUT bandwidth. The frequency f is typically in the range 10 MHz to 10 GHz range. In the selection of the modulation frequency, undesirable influences of modulation sidebands and DGD measurement resolution should be considered. The modulation at frequency, f , will impart sidebands at $\pm f$ Hz away from the centre wavelength of the source, and in some very narrowband DUTs this might prove a limitation. To ensure accurate phase measurement, the total occupied bandwidth including the sidebands of the modulation and the source linewidth itself must be less than or equal to the DUT bandwidth.

Il est essentiel d'éviter les ambiguïtés de 360° (n entier) en mesurant le déphasage. Ceci peut être réalisé par des moyens tels que la réduction de la fréquence du modulateur pour une PMD élevée prévisible. Par exemple, il faut que la fréquence de modulation soit choisie plus faible que la fréquence qui donne un déphasage différentiel de 360° . Cette fréquence de limitation peut être estimée comme suit

$$f_{\max} = \frac{10^{12}}{DGD_{\max}} \quad (\text{Hz}) \quad (8)$$

où $DGD_{\max}$ est la valeur DGD maximale attendue normalement, en ps, à la longueur d'onde λ .

En fait, pour des valeurs du retard de groupe différentiel (DGD) typiques inférieures à 100 ps, $f_{\max} > 10$ GHz, dépasse généralement les fréquences pratiques maximales pouvant être générées ou utilisées.

Il faut utiliser la résolution efficace de la mesure de DGD, définie comme $DGD_{\min}$, une fréquence de modulation minimale $f_{\min}$. $f_{\min}$ est déterminée par la résolution de phase $\delta\phi$ (en degrés) du détecteur de phase:

$$f_{\min} = \frac{\delta\phi \cdot 10^{12}}{360 \cdot DGD_{\min}} \quad (\text{Hz}) \quad (9)$$

où

$DGD_{\min}$ est la résolution DGD efficace, en ps, à la longueur d'onde λ

$\delta\phi$ est la résolution de phase efficace du détecteur de phase, en degrés.

7.1.3 Contrôleur de polarisation

L'état de polarisation (SOP) en entrée du dispositif en essai est vérifié à l'aide d'un contrôleur de polarisation. L'état de polarisation (SOP) est sélectionné à l'aide d'un signal de contrôle provenant du calculateur. L'ordinateur choisira un SOP orthogonal, approprié et mesurera des retards différentiels entre ceux-ci de manière correspondante.

Si la source de lumière n'est pas déjà polarisée, un polariseur doit être ajouté après la source suivi d'un contrôleur de polarisation. Les cristaux liquides, les lames de retard optique massives (lames quart d'onde et demi-onde), les éléments biréfringents variables suivis de fibres biréfringentes agitées mécaniquement, et les dispositifs à cristaux électro-optiques sont des exemples de contrôleurs de polarisation. Le contrôleur de polarisation doit présenter d'excellentes caractéristiques pour offrir la précision de mesure attendue. La précision d'ajustement de l'angle doit être $\pm 0,1^\circ$. Le taux d'extinction de polarisation doit être typiquement de 30 dB ou plus sur la gamme de longueurs d'onde en question.

NOTE Une restriction de la méthode est liée au fait que les lames quart d'onde et demi-onde ne présentent généralement pas un spectre plat.

7.1.4 Séparateur de faisceau par polarisation

Un séparateur de faisceau par polarisation (PBS) est utilisé pour séparer un signal composé de deux SOP orthogonaux de base, en ses composants individuels (P-SOP et S-SOP), toujours orthogonaux (opposés sur la sphère de Poincaré). Il est possible d'utiliser des moyens autres que le séparateur de faisceau par polarisation pour obtenir ces états de polarisation (SOP) en sortie orthogonaux. Le séparateur de faisceau par polarisation est constitué d'un cristal non-isotrope, par exemple un prisme en calcite, et possède généralement un rapport d'extinction de polarisation élevé, et des pertes dépendant de la polarisation (PDL), un retard de groupe et un retard de groupe différentiel (DGD) très faibles. La plage de longueurs d'onde disponibles est normalement très large.

It is essential to prevent ambiguities of $360n^\circ$ (n an integer) in measuring the phase shift. This can be done by means such as reducing the modulator frequency for anticipated large PMD. For example, the modulation frequency must be chosen lower than the frequency that gives a differential phase shift of 360° . This limiting frequency can be estimated as

$$f_{\max} = \frac{10^{12}}{DGD_{\max}} \quad (\text{Hz}) \quad (8)$$

where $DGD_{\max}$ is the maximum expected typical DGD value, in ps, at the wavelength λ .

In fact, for typical DGD values of <100 ps, $f_{\max} >10$ GHz generally exceeds the maximum practical frequencies that can be generated or used.

The RMS resolution of the DGD measurement, defined as $DGD_{\min}$, a minimum modulation frequency $f_{\min}$ must be used. $f_{\min}$ is determined by the phase resolution $\delta\phi$ (in degrees) of the phase detector:

$$f_{\min} = \frac{\delta\phi \cdot 10^{12}}{360 \cdot DGD_{\min}} \quad (\text{Hz}) \quad (9)$$

where

$DGD_{\min}$ is the RMS DGD resolution, in ps, at the wavelength λ

$\delta\phi$ is the RMS phase resolution of the phase detector, in degrees.

7.1.3 Polarization controller

The input SOP to the DUT is determined using a polarization controller. The SOP is selected by means of a control signal from the computer. The computer will select appropriate, orthogonal, SOP and measure differential delays between these accordingly.

If the light source is not already polarized, a polarizer must first be added after the source, followed by a polarization controller. Examples of polarization controllers are liquid crystal or bulk optic retardation plates (quarter and half waveplates) or variable birefringent elements following loops of birefringent fibre that are mechanically moved, and electro-optic crystal devices. The polarisation controller needs excellent characteristics to provide expected measurement precision. The angle adjustment resolution is required to be $\pm 0,1^\circ$. The polarisation extinction ratio is typically required to be 30 dB or more over expected wavelength range.

NOTE One limitation of the method is based on the fact that quarter and half waveplates are generally not spectrally flat.

7.1.4 Polarization beam splitter

A polarization beam splitter (PBS) is used to split a signal defined by the integration of two fundamental orthogonal SOPs into its individual separated components (P-SOP and S-SOP) still orthogonal (opposite on the Poincaré sphere). Means other than the PBS may be used to obtain these orthogonal output SOPs. The PBS consists of a non-isotropic crystal such as a calcite prism, and generally possesses a high polarisation extinction ratio and very low DGD, group delay and PDL characteristics. The characteristics of the available wavelength range are typically very wide.

7.1.5 Détecteurs optiques

Le détecteur optique convertit la lumière modulée provenant du dispositif en essai en signal électrique. On utilise généralement une photodiode PIN présentant une bonne linéarité. La photodiode PIN doit présenter une bande passante suffisante pour répondre à la fréquence de modulation de la source de signal RF. De plus, pour garantir un rapport signal/bruit élevé, il convient d'utiliser un amplificateur à large bande dans l'étage situé après le détecteur.

7.1.6 Comparateur d'amplitude et de phase

Le comparateur d'amplitude et de phase mesure l'amplitude et la phase en comparant les signaux pour chaque composante de l'onde polarisée avec le signal modulant de référence provenant de la source de signal RF. Le retard de groupe, τ (ps), est calculé à partir de la phase en utilisant l'expression suivante:

$$\tau = \frac{\phi \cdot 10^3}{360 \cdot f} \quad (10)$$

où

ϕ est la phase (degré)

f est la fréquence de modulation (GHz)

7.1.7 Signal de référence

Un signal de référence fournit au détecteur de phase les mêmes composantes fondamentales de Fourier que le signal de modulation, afin de servir de base à la mesure de phase différentielle des signaux sources.

Le signal de référence doit être synchronisé sur le signal de modulation et peut être déduit du signal de modulation.

Exemples de signaux de référence:

- connexion électrique entre le générateur de signal, et le port de référence de l'unité détecteur de phase, là où les signaux source et le détecteur sont présents ensemble, comme dans un laboratoire d'essai ou pendant l'étalonnage;
- séparateur optique avec un détecteur, inséré avant le dispositif en essai, dans le cas d'équipements situés au même endroit. La sortie du détecteur est amplifiée et ce signal sert de référence à l'unité de détection de phase.

7.2 Procédure

La procédure mise en œuvre avec la méthode PPS est décrite ci-dessous.

7.2.1 Fréquence de modulation

Le choix de la fréquence de modulation est basé sur la résolution de la longueur d'onde $\Delta\lambda$ requise pour les résultats des mesures et sur la résolution de la mesure du retard de groupe différentiel ΔDGD .

7.2.2 Accroissement de longueur d'onde

Deux longueurs d'onde sont nécessaires pour obtenir une valeur du retard de groupe différentiel (DGD) parce qu'on utilise la différentiation de longueurs d'onde dans cet incrément de longueur d'onde $\delta\lambda$ pour calculer un retard de groupe différentiel (DGD).

7.1.5 Optical detectors

The optical detector converts the modulated light from the DUT into an electrical signal. A PIN photodiode with a good linearity is generally used. The PIN photodiode must have bandpass characteristics sufficient enough to respond to the modulation frequency of the RF signal source. In addition, to ensure a high signal to noise ratio, a broadband amplifier should be used in the stage after the detector.

7.1.6 Amplitude and phase comparator

The amplitude and phase comparator measures amplitude and phase by comparing the signals for each polarised wave component with the reference modulating signal from the RF signal source. The group delay, τ (ps), is calculated from the phase using the following expression:

$$\tau = \frac{\phi \cdot 10^3}{360 \cdot f} \quad (10)$$

where

ϕ is the phase (degree)

f is the modulation frequency (GHz).

7.1.7 Reference signal

A reference signal provides to the phase detector with the same fundamental Fourier component as the modulating signal, against which to measure the differential phases of the signal sources.

The reference signal shall be synchronised to the modulating signal and may be derived from the modulating signal.

The following are examples of reference signals:

- electrical connection between the signal generator and the reference port of the phase detector unit where the signal sources and detector are co-located, such as in a laboratory test or during calibration;
- optical splitter with a detector, inserted before the DUT, for co-located equipment. The detector output is amplified and the signal is used as the reference signal for the phase detector unit.

7.2 Procedure

The procedure used with the PPS method is described below.

7.2.1 Modulation frequency

The choice of modulation frequency is based on the wavelength resolution, $\Delta\lambda$, required for the measurement results and the DGD measurement resolution, ΔDGD .

7.2.2 Wavelength increment

Two wavelengths are required to obtain a DGD value because the wavelength differentiation in this wavelength increment, $\delta\lambda$, is used when calculating a DGD.

On appelle cet incrément de longueur d'onde $\delta\lambda$ une taille d'échelon de longueur d'onde et la procédure de détermination de $\delta\lambda$ est expliquée. Une variation $\delta\lambda$, $\delta\lambda = (\lambda + \delta\lambda) - \lambda$, de la longueur d'onde de la source de laser accordable sert à changer l'angle de polarisation de l'état de polarisation (SOP) en sortie provenant du dispositif en essai, pour qu'il devienne inférieur à 45°. $\delta\lambda$ (nm) est généralement exprimé par:

$$\delta\lambda \leq \frac{\lambda^2 \cdot 10^3}{4 \cdot c \cdot \Delta\tau_{\max}} \quad (11)$$

où

λ est la longueur d'onde de la plage mesurée (nm)

c est la vitesse de la lumière dans le vide (m/s)

$\Delta\tau_{\max}$ est la valeur du retard de groupe différentiel (DGD) maximal prévu du dispositif en essai (ps)

Par exemple, le produit du DGD maximal $\Delta\tau_{\max}$, et de la taille d'échelon de la longueur d'onde $\delta\lambda$, doit rester inférieur à 2 ps*nm pour une longueur d'onde de 1 550 nm.

7.2.3 Balayage des longueurs d'ondes et mesure des retards de groupe différentiels

La source laser accordable sert à effectuer une mesure longueur d'onde par longueur d'onde sur la plage de longueurs d'onde choisie et la valeur du retard de groupe différentiel (DGD) est calculée pour chaque longueur d'onde. En outre, la valeur de la PMD du dispositif en essai peut être calculée après le calcul d'une moyenne du retard de groupe différentiel (DGD) en se basant sur les valeurs de retard de groupe différentiel (DGD) obtenues précédemment sur la plage des longueurs d'onde mesurées.

Cette méthode utilise une paire d'ondes polarisées orthogonales (les ondes polarisées linéairement à 0° et 90°). Les ondes polarisées linéairement à 0° et 90° sont injectées dans le dispositif en essai, et la sortie est séparée en deux composantes d'ondes polarisées par le séparateur par polarisation. Ensuite, on mesure l'amplitude et le retard de groupe pour chaque onde polarisée (la lumière polarisée P et S) pour une longueur d'onde mesurée spécifique. C'est-à-dire qu'on mesure les amplitudes de la lumière polarisée P et S ($|T_{11}|^2_{\text{mea}}$ et $|T_{21}|^2_{\text{mea}}$, respectivement) et les retards de groupe ($d\Phi_{11}/d\omega_{\text{mea}}$ et $d\Phi_{21}/d\omega_{\text{mea}}$, respectivement) pour l'onde polarisée linéairement à 0°. Et pour l'onde polarisée linéairement à 90°, on mesure les amplitudes de la lumière polarisée P et S ($|T_{12}|^2_{\text{mea}}$ and $|T_{22}|^2_{\text{mea}}$) et les retards de groupe ($d\Phi_{12}/d\omega_{\text{mea}}$ et $d\Phi_{22}/d\omega_{\text{mea}}$).

7.2.4 Calculs

La technique de calcul peut aboutir à une série de valeurs du retard de groupe différentiel (DGD) en fonction de la longueur d'onde. La Figure 7 fournit un exemple de telles caractéristiques, similaire à une application de liaison.

This wavelength increment, $\delta\lambda$, will be called wavelength step size and the procedure about the determination of $\delta\lambda$ is explained. When the wavelength of the tuneable laser source is changed $\delta\lambda$, $\delta\lambda = (\lambda + \delta\lambda) - \lambda$, it is made for polarisation angle change of the output SOP from the DUT to become less than 45° . The $\delta\lambda$ (nm) is usually expressed as:

$$\delta\lambda \leq \frac{\lambda^2 \cdot 10^3}{4 \cdot c \cdot \Delta\tau_{\max}} \quad (11)$$

where

λ is the wavelength of the measured range (nm)

c is the velocity of light in vacuum (m/s)

$\Delta\tau_{\max}$ is the maximum anticipated DGD value of the DUT (ps).

For example, the product of maximum DGD value, $\Delta\tau_{\max}$, and wavelength step size, $\delta\lambda$, shall remain less than 2 ps*nm at 1 550 nm.

7.2.3 Scanning wavelengths and measuring differential group delays

The tuneable laser source is used to perform wavelength per wavelength measurement over the desired wavelength range, and the DGD value is calculated at each wavelength. In addition, the PMD value of the DUT can be calculated after an average DGD has been calculated based on the DGD values previously obtained along the measured wavelength range.

This method uses a pair of orthogonal polarised waves (the 0° and 90° linearly polarised waves). The 0° and 90° linearly polarised waves are launched into the DUT and the output is separated into two polarised wave components by the polarisation splitter. After that, the amplitude and group delay for each of the polarised waves (the P- and S- polarised light) at a specific measurement wavelength are measured. That is, the P- and S-polarised light amplitudes ($|T_{11}|^2_{\text{mea}}$ and $|T_{21}|^2_{\text{mea}}$, respectively) and the group delays ($d\Phi_{11}/d\omega_{\text{mea}}$ and $d\Phi_{21}/d\omega_{\text{mea}}$, respectively) for the 0° linearly polarised wave are measured. And for the 90° linearly polarised wave, the P- and S-polarised light amplitudes ($|T_{12}|^2_{\text{mea}}$ and $|T_{22}|^2_{\text{mea}}$) and the group delays ($d\Phi_{12}/d\omega_{\text{mea}}$ and $d\Phi_{22}/d\omega_{\text{mea}}$) are measured.

7.2.4 Calculations

The calculation technique can result in a series DGD values versus wavelength. Figure 7 shows an example of such characteristics, similar to a link application.

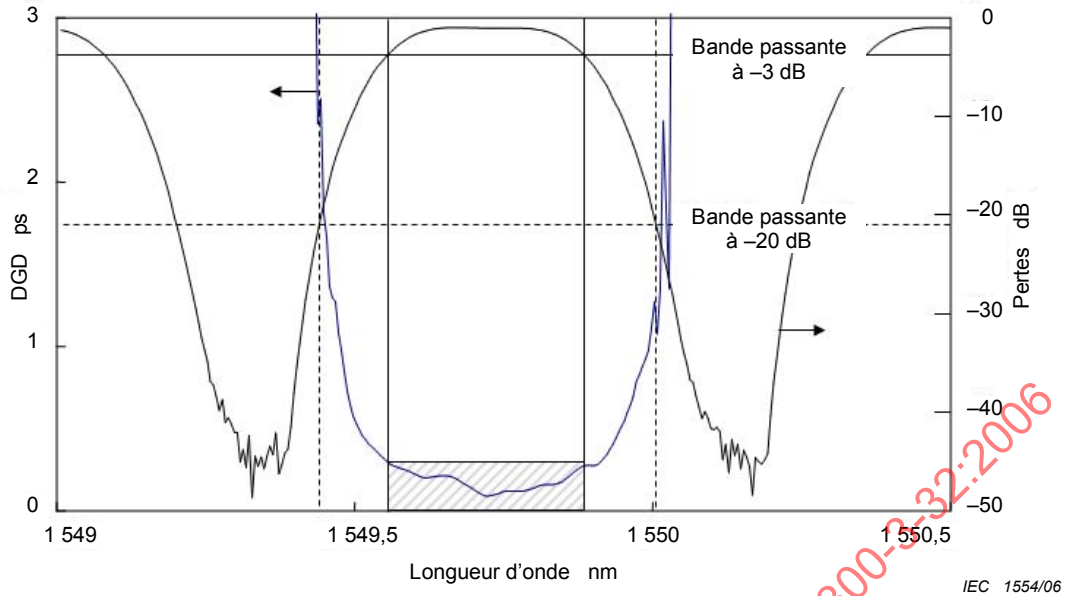


Figure 7 – Retard de groupe différentiel par rapport à la longueur d'onde pour un séparateur 50/100 GHz

Les paramètres suivants sont calculés en utilisant les valeurs mesurées:

$$\begin{aligned} \bar{\alpha}_1 &= \frac{\Delta\Theta}{\Delta\omega} = \frac{\Delta\Theta}{2\pi c \cdot \delta\lambda} \cdot \lambda_i \lambda_f & \Theta &= \frac{1}{2} \cos^{-1} \left(\frac{|T_{11}|^2 - |T_{21}|^2}{|T_{11}|^2 + |T_{21}|^2} \right) \\ \bar{\beta}_1 &= \frac{1}{4} \left(\frac{d\Phi_{11}}{d\omega} - \frac{d\Phi_{22}}{d\omega} - \frac{d\Phi_{21}}{d\omega} + \frac{d\Phi_{12}}{d\omega} \right) & \cos 2\Theta_0 &= \frac{|T_{11}|^2 - |T_{21}|^2}{|T_{11}|^2 + |T_{21}|^2} \\ \bar{\gamma}_1 &= \frac{1}{4} \left(\frac{d\Phi_{11}}{d\omega} - \frac{d\Phi_{22}}{d\omega} + \frac{d\Phi_{21}}{d\omega} - \frac{d\Phi_{12}}{d\omega} \right) \end{aligned} \quad (12)$$

où λ_i , λ_f sont la longueur d'onde initiale et la longueur d'onde finale de $\delta\lambda$

$$\begin{aligned} |T_{kl}|^2 &= \frac{|T_{kl}|_{\text{mea}}^2}{|T_{11}|_{\text{cal}}^2} & \frac{d\Phi_{kl}}{d\omega} &= \frac{d\Phi_{kl}}{d\omega}_{\text{mea}} - \frac{d\Phi_{11}}{d\omega}_{\text{cal}} & kl &= 11 \text{ et } 12 \\ |T_{mn}|^2 &= \frac{|T_{mn}|_{\text{mea}}^2}{|T_{22}|_{\text{cal}}^2} & \frac{d\Phi_{mn}}{d\omega} &= \frac{d\Phi_{mn}}{d\omega}_{\text{mea}} - \frac{d\Phi_{22}}{d\omega}_{\text{cal}} & mn &= 21 \text{ et } 22 \end{aligned} \quad (13)$$

La valeur du retard de groupe différentiel (DGD) pour chaque longueur d'onde est calculée en utilisant $\bar{\alpha}_1$, $\bar{\beta}_1$, $\bar{\gamma}_1$ et Θ_0 comme suit:

$$\text{DGD}(\lambda) = 2\sqrt{\bar{\alpha}_1^2 + \bar{\beta}_1^2 + \bar{\gamma}_1^2 + 2\bar{\beta}_1\bar{\gamma}_1 \cos 2\Theta_0} \quad (14)$$

7.2.5 Valeur de dispersion de mode de polarisation

La valeur de PMD attendue $\langle \Delta\tau \rangle_\lambda$ d'une mesure unique est simplement la moyenne (ou la valeur efficace) des valeurs de mesure du DGD sur une gamme de longueurs d'onde. Si plusieurs mesures sont réalisées sous différentes conditions pour augmenter la quantité d'échantillons, on utilise la moyenne de l'ensemble.

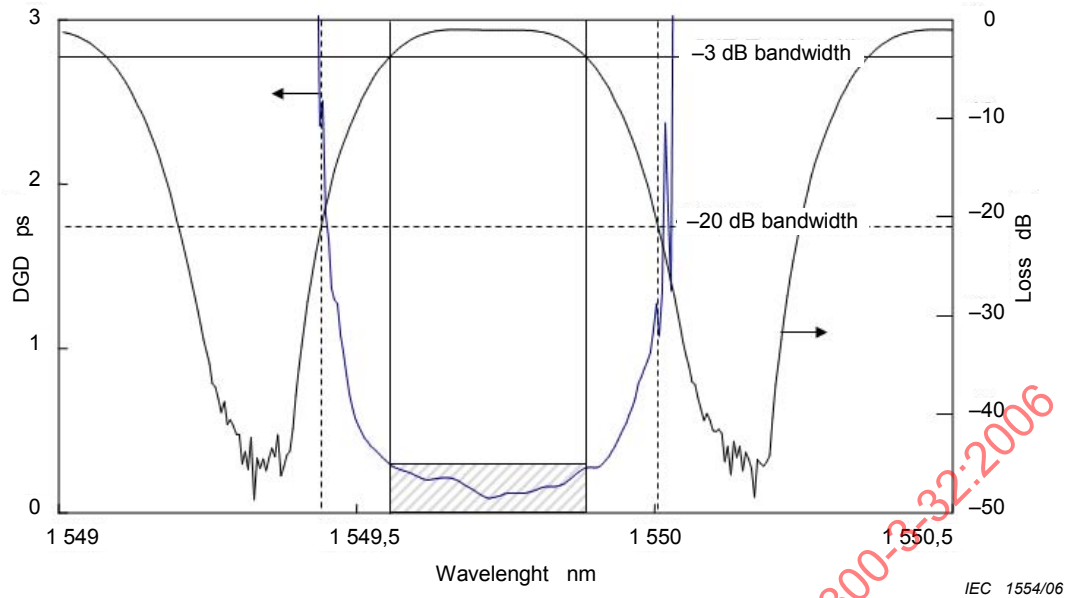


Figure 7 – Differential group delay versus wavelength for a 50/100 GHz interleaver

The following parameters are calculated using measured values:

$$\begin{aligned}\bar{\alpha}_1 &= \frac{\Delta\Theta}{\Delta\omega} = \frac{\Delta\Theta}{2\pi c \cdot \delta\lambda} \cdot \lambda_i \lambda_f & \Theta &= \frac{1}{2} \cos^{-1} \left(\frac{|T_{11}|^2 - |T_{21}|^2}{|T_{11}|^2 + |T_{21}|^2} \right) \\ \bar{\beta}_1 &= \frac{1}{4} \left(\frac{d\Phi_{11}}{d\omega} - \frac{d\Phi_{22}}{d\omega} - \frac{d\Phi_{21}}{d\omega} + \frac{d\Phi_{12}}{d\omega} \right) & \cos 2\Theta_0 &= \frac{|T_{11}|^2 - |T_{21}|^2}{|T_{11}|^2 + |T_{21}|^2} \\ \bar{\gamma}_1 &= \frac{1}{4} \left(\frac{d\Phi_{11}}{d\omega} - \frac{d\Phi_{22}}{d\omega} + \frac{d\Phi_{21}}{d\omega} - \frac{d\Phi_{12}}{d\omega} \right)\end{aligned} \quad (12)$$

where λ_i , λ_f are the initial and the final wavelength of $\delta\lambda$.

$$\begin{aligned}|T_{kl}|^2 &= \frac{|T_{kl}|_{\text{mea}}^2}{|T_{11}|_{\text{cal}}^2} & \frac{d\Phi_{kl}}{d\omega} &= \frac{d\Phi_{kl}}{d\omega}_{\text{mea}} - \frac{d\Phi_{11}}{d\omega}_{\text{cal}} & kl &= 11 \text{ and } 12 \\ |T_{mn}|^2 &= \frac{|T_{mn}|_{\text{mea}}^2}{|T_{22}|_{\text{cal}}^2} & \frac{d\Phi_{mn}}{d\omega} &= \frac{d\Phi_{mn}}{d\omega}_{\text{mea}} - \frac{d\Phi_{22}}{d\omega}_{\text{cal}} & mn &= 21 \text{ and } 22\end{aligned} \quad (13)$$

The DGD value for each wavelength is calculated using $\bar{\alpha}_1$, $\bar{\beta}_1$, $\bar{\gamma}_1$ and Θ_0 as:

$$\text{DGD}(\lambda) = 2\sqrt{\bar{\alpha}_1^2 + \bar{\beta}_1^2 + \bar{\gamma}_1^2 + 2\bar{\beta}_1\bar{\gamma}_1 \cos 2\Theta_0} \quad (14)$$

7.2.5 Polarization mode dispersion value

The expected PMD value $\langle \Delta\tau \rangle_\lambda$ of a single measurement is simply the average (or RMS value) of all DGD measurement values over a wavelength range. If multiple measurements are performed under different conditions to increase the sample size, the ensemble average is used.

- Réaliser les calculs de PMD, en suivant la procédure donnée ci-dessous.
- Faire la moyenne des valeurs de DGD trouvées à chaque pas de longueur d'onde utilisée, sur toutes les mesures prises.
- Déterminer les valeurs DGD moyennes et efficaces sur la gamme de longueurs d'onde utilisée.
- Consigner le DGD moyen déterminé ci-dessus comme la valeur PMD_{mean} du dispositif en essai et le DGD en valeur efficace déterminé ci-dessus comme la valeur PMD_{rms} de ce dispositif, les deux en ps.
- Consigner également la valeur DGD maximale (observée à une longueur d'onde moyenne de taille d'un pas de longueur d'onde), en ps.
- Consigner les valeurs DGD spécifiques à la (aux) longueur(s) d'onde spécifiée(s), en ps.

Dans tous les cas, les valeurs DGD, les valeurs DGD maximales et les valeurs PMD du dispositif en essai sont reportés en ps.

7.2.6 Incertitudes d'évaluation

- Réaliser une évaluation de l'incertitude vraisemblable dans le DGD maximal mesuré, et DGD moyen et efficace (PMD).

8 Méthode de mesure par analyseur fixe

Ce paragraphe contient des exigences spécifiques à la méthode de mesure par analyseur fixe (FA).

8.1 Matériel

La Figure 8 ci-dessous illustre les schémas fonctionnels possibles.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61300-3-32:2006

- Perform PMD calculations, following the procedure given below.
- Average the DGD values found at each wavelength step size used, over all the measurements taken.
- Determine the mean and the RMS DGD values across the wavelength range used.
- Report the mean DGD determined above as the DUT PMD_{mean} value, and the RMS DGD determined above as the DUT PMD_{rms} value, both in ps.
- Report also the maximum DGD value (observed at the mean wavelength of a wavelength step size), in ps.
- Report the specific DGD values at specified wavelength(s), in ps.

In all cases, the DGD values, the maximum DGD and PMD values of the DUT are reported in ps.

7.2.6 Assess uncertainties

- Make an assessment of the likely uncertainty in the measured maximum DGD and mean and RMS DGD (PMD).

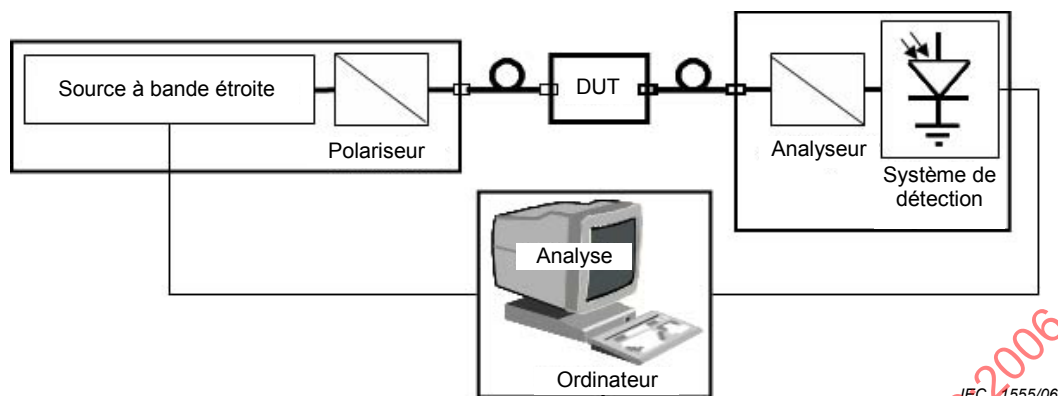
8 Fixed analyser measurement method

This clause contains requirements specific to the fixed analyser (FA) measurement method.

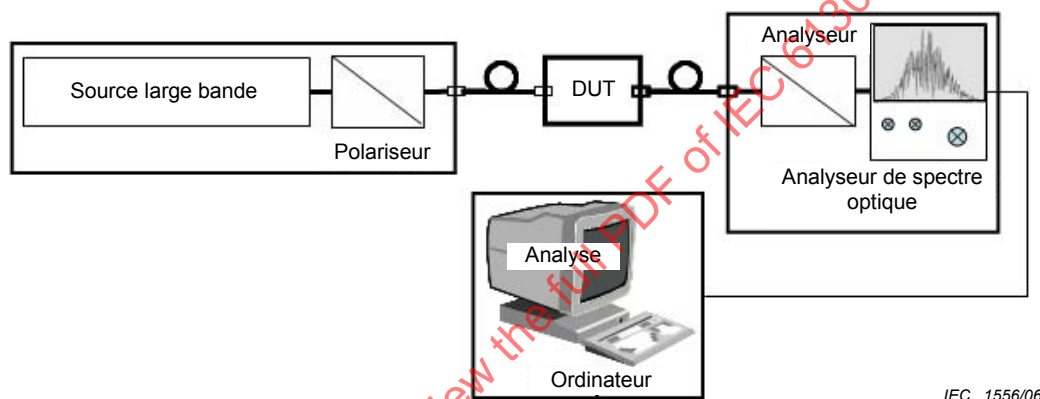
8.1 Apparatus

Figure 8 below, shows possible block diagrams.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61300-3-32:2006



a) Méthode par analyseur fixe utilisant une source et un détecteur bande étroite



b) Méthode par analyseur fixe utilisant une source large bande et un analyseur de spectre optique

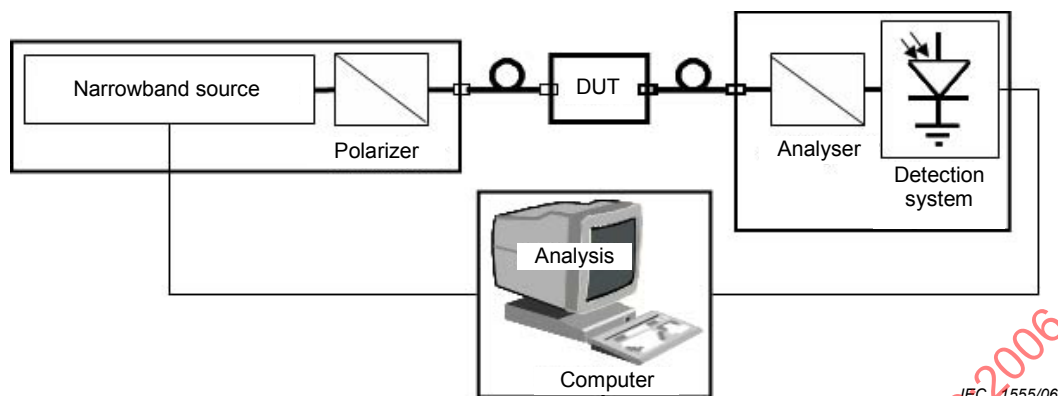
Figure 8 – Schémas fonctionnels relatifs à la méthode par analyseur fixe

8.1.1 Source lumineuse

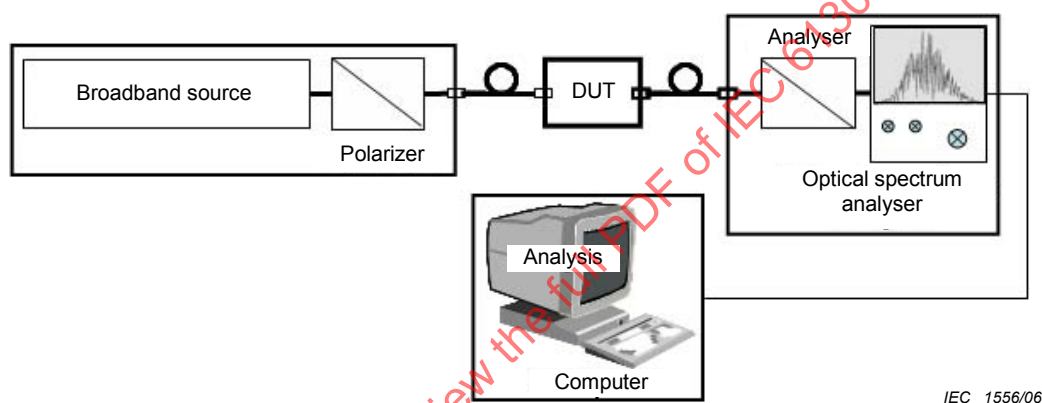
Dans tous les cas, deux types de source lumineuse peuvent être utilisés en fonction du type d'analyseur. Une source à bande étroite comme la combinaison lampe à large bande et monochromateur ou une source lumineuse réglable comme à la Figure 8a peut être utilisée avec un analyseur de polarisation. Une source à large bande comme une DEL représentée à la Figure 8b peut être utilisée avec un analyseur muni d'un filtre passe-bande étroit comme un analyseur de spectre optique ou un interféromètre utilisé comme un analyseur de spectre à transformée de Fourier placé avant l'analyseur. Dans le cas d'une source à large bande, on prendra comme largeur spectrale la largeur du filtre, pour les besoins des calculs.

Dans les deux cas, la largeur spectrale doit être suffisamment faible pour maintenir le degré désiré de polarisation. Dans les deux cas, la gamme des longueurs d'onde doit être suffisante pour offrir une mesure de la PMD d'une précision suffisante dans la région de longueur d'onde spécifiée considérée.

Pour assurer que toutes les caractéristiques du spectre optique du dispositif en essai à large bande sont résolues de manière adéquate, la largeur spectrale de la source à bande étroite devrait satisfaire à ce qui suit:



a) Fixed analyser method using narrowband source and detector



b) Fixed analyser method using broadband source and optical spectrum analyser

Figure 8 – Block diagrams for fixed analyser method

8.1.1 Light source

In all cases, two kinds of light sources may be used, depending on the type of analyser. A narrowband source such as the broadband lamp and monochromator combination or a tuneable light source shown in Figure 8a can be used with a polarization analyser. A broadband source such as an LED shown in Figure 8b can be used with a narrow bandpass filtering analyser such as an optical spectrum analyser or an interferometer used as a Fourier transform spectrum analyser placed before the analyser. In the case of broadband source, the width of the filter is taken as the spectral width for the purpose of calculations.

In both cases, the spectral width shall be sufficiently small to maintain the desired degree of polarization. In both cases, the range of wavelengths shall be sufficient to provide a PMD measurement of sufficient precision in the specified wavelength region of interest.

To insure that all features in the optical spectrum of broadband DUTs are adequately resolved, the spectral width of the narrowband source should satisfy

$$\Delta\lambda / \lambda_0 < (8\nu\Delta\tau_{\max})^{-1} \quad (15)$$

où

$\nu = c/\lambda$ est la fréquence optique;

$\Delta\lambda$ est la largeur spectrale;

$\Delta\tau_{\max}$ est la DGD anticipée maximale.

Pour λ proche de 1 550 nm, l'équation (15) se réduit à la condition selon laquelle il convient que $\Delta\lambda$ (nm) soit inférieur à la réciproque de $\Delta\tau$ (ps). Dans le cas de dispositifs en essai à bande étroite, il convient que la largeur spectrale soit au moins 10 fois plus étroite que la largeur de bande à –3 dB du dispositif en essai.

Dans tous les cas, il convient que la largeur de raie de la source lumineuse réglable ou la largeur du filtre soit supérieure à deux (2) fois les échelons de longueur d'onde utilisés pour respecter le théorème de Nyquist.

8.1.2 Analyseur

L'orientation angulaire de l'analyseur n'est pas critique, mais il est recommandé qu'elle reste fixe tout au long de la mesure. Avec un couplage de mode inexistant, ou bien négligeable, ou de faibles valeurs de PMD, un réglage de l'analyseur peut être utile en maximisant l'amplitude des oscillations à la Figure 9 ci-dessous.

NOTE L'analyseur peut être remplacé par un polarimètre.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61300-3-32:2006

$$\Delta\lambda / \lambda_0 < (8\nu\Delta\tau_{\max})^{-1} \quad (15)$$

where

$\nu = c/\lambda$ is the optical frequency

$\Delta\lambda$ is the spectral width

$\Delta\tau_{\max}$ is the maximum anticipated DGD.

For λ in the vicinity of 1 550 nm, Equation (15) reduces to the condition that $\Delta\lambda$ (nm) should be less than the reciprocal of $\Delta\tau$ (ps). In case of narrowband DUTs, the spectral width should be at least 10 times narrower than the –3 dB bandwidth of the DUT.

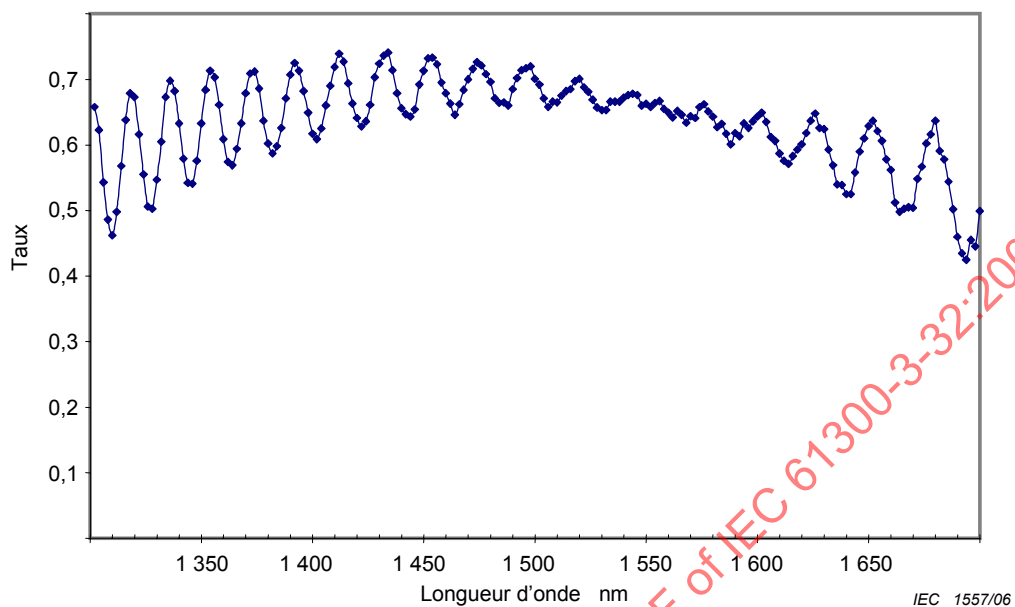
In all cases, the linewidth of the tuneable light source or the width of the filter should be more than two times the wavelength steps used in order to respect the Nyquist theorem.

8.1.2 Analyser

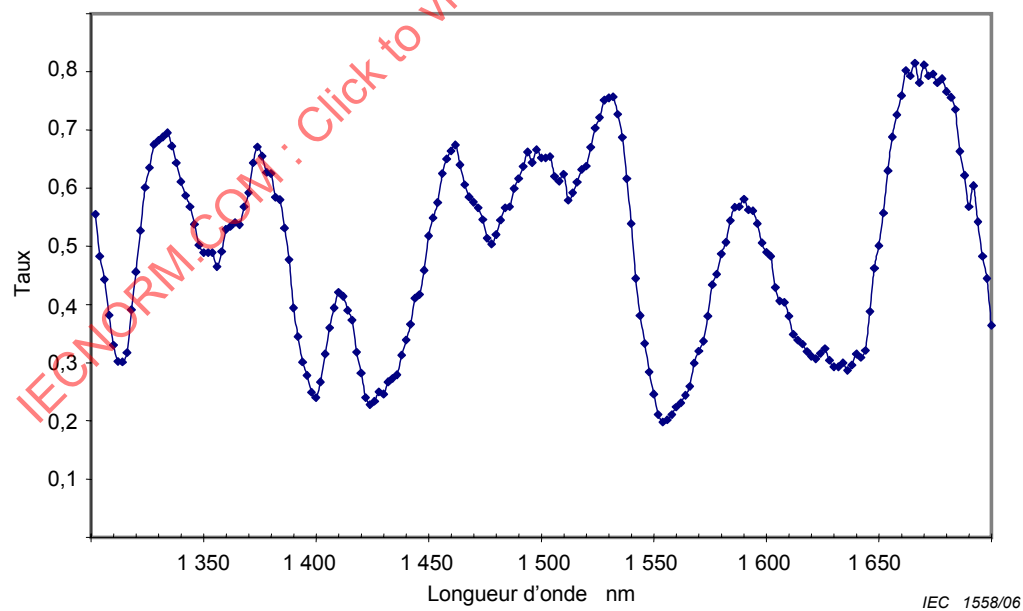
The angular orientation of the analyser is not critical, but should remain fixed throughout the measurement. With no or negligible mode coupling or low PMD values, some adjustment of the analyser may be helpful in maximising the amplitude of the oscillations in Figure 9 below.

NOTE The analyser can be replaced by a polarimeter.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61300-3-32:2006

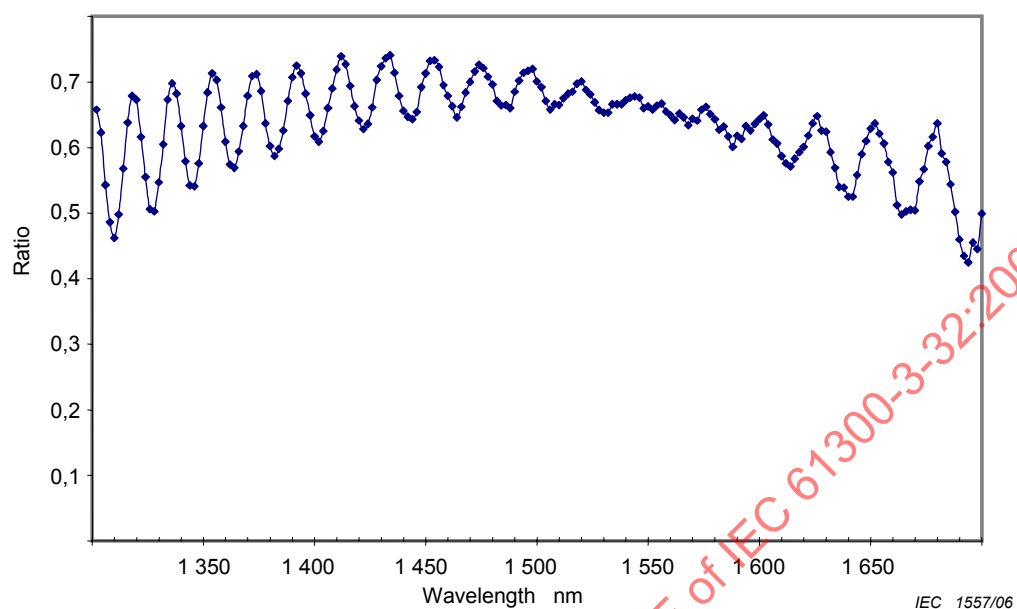


a) Couplage de mode inexistant ou négligeable

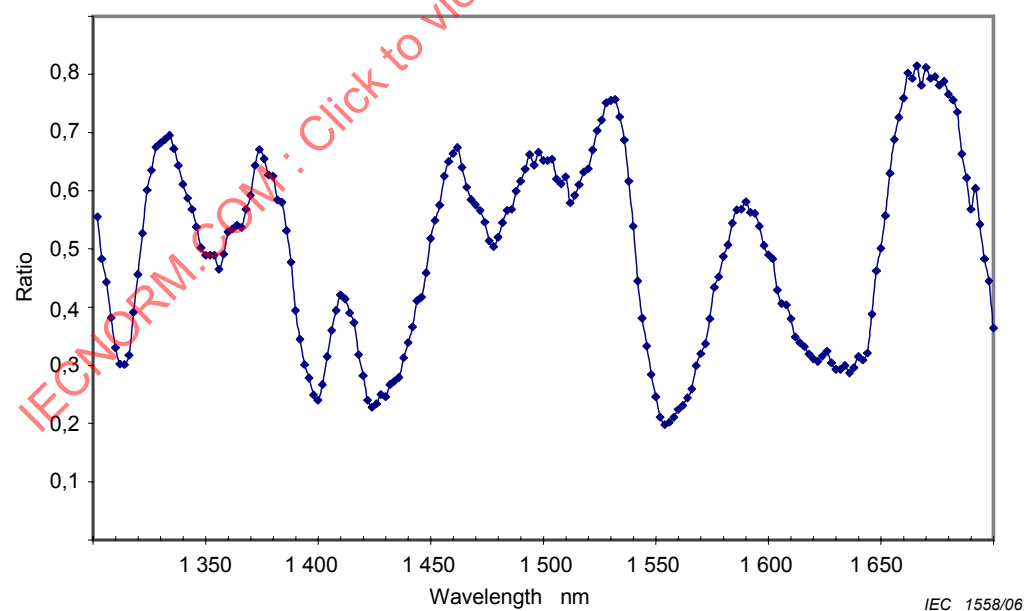


b) Couplage de mode aléatoire

Figure 9 – Exemple de fonction R pour la méthode par analyseur fixe



a) No or negligible mode coupling



b) Random mode coupling

Figure 9 – Example of the *R*-function for the fixed analyser method

8.2 Procédure

8.2.1 Gamme de longueurs d'onde et modification de longueur d'onde

La procédure exige de mesurer la puissance en fonction de la longueur d'onde (ou de la fréquence optique) sur une gamme de longueur d'onde donnée, avec un incrément de longueur d'onde défini, une fois avec l'analyseur dans le chemin optique et une fois sans. La gamme de longueur d'onde peut influencer la précision du résultat. Il convient de choisir l'incrément de longueur d'onde pour satisfaire l'équation 15, avec l'incrément de longueur d'onde à la place de $\Delta\lambda$.

Si la méthode avec la transformée de Fourier est utilisée, il convient que la taille de l'échelon soit idéalement uniforme en fréquence optique et que le nombre d'échelons soit une puissance de 2. Il faut que la taille d'échelon du monochromateur, exprimée en fréquence optique, $\delta\nu$, soit un facteur de 2 inférieur à la «fréquence d'oscillation» correspondant au DGD maximal mesuré. Compte tenu de la grande quantité de puissance hors du second moment pour les DUT à couplage de mode élevé, il faut que la condition de Nyquist soit supérieure à deux fois la fréquence du second moment pour le DGD maximal anticipé (voir équation 15).

NOTE Si d'après la transformation de Fourier, il est évident qu'il existe une énergie importante proche de $\Delta\tau_{\max}$, il convient que la mesure soit répétée avec un incrément réduit.

8.2.2 Balayages

- Terminer les balayages avec l'analyseur dans le chemin optique. Enregistrer la puissance reçue en la désignant par $P_A(\lambda)$.
- Retirer l'analyseur du chemin lumineux et répéter le balayage.
- Enregistrer la puissance reçue comme $P_{\text{Tot}}(\lambda)$.
- Calculer le rapport de puissance, $R(\lambda)$, comme suit:

$$R(\lambda) = \frac{P_A(\lambda)}{P_{\text{Tot}}(\lambda)} \quad (16)$$

Une procédure alternative consiste à laisser l'analyseur en place sur le second balayage, mais à lui faire subir une rotation de 90°. Enregistrer la puissance en la désignant par $P_B(\lambda)$. La formule relative au rapport de puissance s'exprime alors comme suit:

$$R(\lambda) = \frac{P_A(\lambda)}{P_A(\lambda) + P_B(\lambda)} \quad (17)$$

NOTE 1 Le rapport P_A/P_B pourrait être également utilisé si on utilise le comptage d'extrema.

NOTE 2 Si un polarimètre est utilisé comme élément de détection, les paramètres de Stokes normalisés sont mesurés par rapport à la longueur d'onde. Les trois fonctions spectrales (une par élément de vecteur) sont indépendantes de la puissance reçue et correspondent à trois fonctions de rapport de puissance indépendantes qui peuvent être analysées de la même manière.

La Figure 9 ci-dessus montre un exemple de résultats à la fois avec couplage de mode négligeable, et aléatoire.

8.2.3 Calculs

Il existe deux méthodes de calcul de la PMD à partir de la fonction R qui est mesurée:

- par comptage des extrêmes,
- par transformée de Fourier.

8.2 Procedure

8.2.1 Wavelength range and increment

The procedure requires measuring the power as a function of wavelength (or optical frequency) over a range at a defined wavelength increment once with the analyser in the optical path and once without. The wavelength range can influence the precision of the result. The wavelength increment should be selected to satisfy (15), with the wavelength increment replacing $\Delta\lambda$.

If the Fourier transform method is used, the step size should ideally be uniform in optical frequency and the number of steps should be a power of 2. The monochromator step size, expressed in optical frequency, $\delta\nu$, must be a factor of two smaller than the “oscillation frequency” corresponding to the maximum DGD measured. Because of the large amount of power outside the second moment for highly mode-coupled DUT, the Nyquist condition must be more than two times the frequency of the second moment for the maximum anticipated DGD (see Equation (15)).

NOTE If from the Fourier transform, it is evident that there is significant energy near $\Delta\tau_{\max}$, the measurement should be repeated with a reduced increment.

8.2.2 Complete the scans

- Complete the scan with the analyser in the light path. Record the received power as $P_A(\lambda)$.
- Remove the analyser from the light path and repeat the scan.
- Record the received power as $P_{\text{Tot}}(\lambda)$.
- Calculate the power ratio, $R(\lambda)$ as follows.

$$R(\lambda) = \frac{P_A(\lambda)}{P_{\text{Tot}}(\lambda)} \quad (16)$$

An alternative procedure is to leave the analyser in place on the second scan, but rotate it 90° . Record the power as $P_B(\lambda)$. The formula for the power ratio is then:

$$R(\lambda) = \frac{P_A(\lambda)}{P_A(\lambda) + P_B(\lambda)} \quad (17)$$

NOTE The ratio, P_A/P_B , could also be used when extrema counting is used.

NOTE If a polarimeter is used as the detection element, the normalised Stokes parameters are measured versus wavelength. The three spectral functions (one per vector element) are independent of received power and correspond to three independent power ratio functions that can be analysed in the same way.

Figure 9 above shows an example of both negligible and random mode-coupling results.

8.2.3 Calculations

There are two methods of calculating PMD from the R function that is measured:

- extrema counting;
- Fourier transform.

a) Comptage des extrêma

Il convient que la fonction, $R(\lambda)$, soit obtenue à des intervalles de longueurs d'onde à espacement égal entre une longueur d'onde minimale de λ_1 et une longueur d'onde maximale de λ_2 . E est le nombre d'extrêmes (à la fois valeurs maximales et minimales) dans la fenêtre. Sinon, la gamme de longueur d'onde peut être redéfinie de manière que λ_1 et λ_2 coïncident avec les extrêmes, auquel cas E est le nombre d'extrêmes (y compris λ_1 et λ_2) moins 1. La formule pour la valeur de PMD, $\langle \Delta \tau \rangle$, est:

$$\langle \Delta \tau \rangle = \frac{kE\lambda_1\lambda_2}{2c(\lambda_2 - \lambda_1)} \quad (18)$$

où

c est la vitesse de la lumière dans le vide.

k est un facteur de couplage de mode valant 1,0 en l'absence de couplage de mode aléatoire, et 0,82 aux limites de couplage de mode aléatoire.

Si un polarimètre est utilisé comme élément de détection, la moyenne (ou la valeur efficace) des valeurs déduites des trois réponses des paramètres de Stokes normalisés est considérée comme la valeur finale de la PMD.

b) Transformée de Fourier

Dans cette méthode, c'est une analyse de Fourier de $R(\lambda)$, généralement exprimée dans le domaine de la fréquence optique ν , qui est utilisée pour déduire la PMD. La transformée de Fourier transforme ces données du domaine de fréquence optique en domaine temporel. La transformée de Fourier produit des informations directes concernant la distribution des temps d'arrivée $\delta\tau$. Ces données sont traitées après coup comme cela est décrit ci-dessous pour déduire la PMD attendue, $\langle \Delta \tau \rangle$, pour le DUT. Cette méthode est applicable aux DUT à couplage de mode inexistant, négligeable ou aléatoire.

Une amélioration de la FAFT est présentée en Annexe A.

c) Prétraitement des données et transformée de Fourier

Pour utiliser la présente méthode, la transformée de Fourier exige normalement des intervalles égaux en fréquence optique. Ainsi les données $R(\lambda)$ sont collectées aux valeurs λ de manière à former des intervalles égaux dans le domaine de fréquence optique. En variante, des données prises à des intervalles λ égaux peuvent être ajustées (par exemple, en utilisant un ajustement par fonction spline du 3^e degré) et l'interpolation utilisée pour produire ces points, ou des techniques d'estimation spectrale plus avancées peuvent être utilisées. Dans chaque exemple, le rapport $R(\lambda)$ à chaque valeur λ utilisée est calculé avec l'équation (16) ou l'équation (17) selon le cas.

Il est permis de procéder à une correction de zéro ou à l'interpolation de données et au retrait du niveau continu sur les données de rapport $R(\lambda)$. Le fenêtrage des données peut également être utilisé comme une étape de préconditionnement avant la transformée de Fourier. La transformée de Fourier est à ce point effectuée pour produire la distribution des données en amplitude $P(\delta\tau)$ pour chaque valeur de $\delta\tau$.

d) Adaptation des données de transformation

Les données de la transformation de Fourier à zéro $\delta\tau$ ont peu de sens, à moins d'être retirées avec soin, du fait que les composantes continues en $R(\lambda)$ peuvent être partiellement dues à la perte d'insertion de l'analyseur par exemple. Lorsque le niveau continu n'est pas supprimé, jusqu'à deux points de données sont généralement contournés (pas utilisés) dans tout calcul ultérieur. Une variable, j , peut être définie de manière que le «premier bin valide» situé au-dessus de zéro $\delta\tau$, qui est inclus dans les calculs, corresponde à $j = 0$.

a) Extrema counting

The function, $R(\lambda)$, should be obtained at equally spaced wavelength intervals from a minimum wavelength of λ_1 to a maximum wavelength of λ_2 . E is the number of extrema (both maximums and minimums) within the window. Alternatively, the wavelength range can be redefined so that λ_1 and λ_2 coincide with extrema, in which case E is the number of extrema (including λ_1 and λ_2) minus one. The formula for the PMD value, $\langle \Delta\tau \rangle$, is:

$$\langle \Delta\tau \rangle = \frac{kE\lambda_1\lambda_2}{2c(\lambda_2 - \lambda_1)} \quad (18)$$

where

c is the speed of light in vacuum

k is a mode-coupling factor that equals 1,0 in the absence of random mode coupling and 0,82 in the limit of random mode coupling.

If a polarimeter is used as the detection element, the average (or RMS) of the values derived from the three normalized Stokes parameter responses is taken as the final value of PMD.

b) Fourier transform

In this method a Fourier analysis of $R(\lambda)$, usually expressed in the domain of optical frequency ν , is used to derive PMD. The Fourier transform transforms this optical frequency domain data to the time domain. The Fourier transform yields direct information on the distribution of arrival times $\delta\tau$. These data are post-processed as described below to derive the expected PMD, $\langle \Delta\tau \rangle$, for the DUT. This method is applicable to DUT with no or negligible or random mode coupling.

An improvement to the FAFT is presented in Annex A.

c) Data pre-processing & Fourier transformation

To use this method, the Fourier transform normally requires equal intervals in optical frequency. So $R(\lambda)$ data are collected at λ values such that they form equal intervals in the optical frequency domain. Alternatively, data taken at equal λ intervals may be fitted (for example, by using a cubic spline fit) and interpolation used to generate these points, or more advanced spectral estimation techniques can be used. In each instance, the ratio $R(\lambda)$ at each λ value used is calculated using (16) or (17) as appropriate.

Zero-padding or data interpolation and d.c. level removal may be performed on the ratio data, $R(\lambda)$. Windowing the data may also be used as a pre-conditioning step before the Fourier transform. The Fourier transformation is now carried out to yield the amplitude data distribution $P(\delta\tau)$ for each value of $\delta\tau$.

d) Transform data fitting

Fourier transform data at zero $\delta\tau$ has little meaning since, unless carefully removed, d.c. components in $R(\lambda)$ may be partially due to insertion loss of the analyser for example. When the d.c. level is not removed, up to two data points are generally bypassed (not used) in any further calculations. A variable, j , can be defined so that the 'first valid bin' above zero $\delta\tau$ that is included in calculations corresponds to $j = 0$.

Pour supprimer le bruit de mesure des calculs ultérieurs, $P(\delta\tau)$ est comparé à un niveau de seuil T_1 , normalement à 200 % du niveau de bruit de valeur efficace (RMS) du système de détection. Il est maintenant nécessaire de déterminer si le DUT est couplé en mode négligeable ou en mode aléatoire.

S'il s'avère que les premiers points X valables de $P(\delta\tau)$ sont tous inférieurs à T_1 , cela indique qu'il faut que $P(\delta\tau)$ ait des caractéristiques d'impulsion discrète caractéristiques du DUT; avec un couplage de mode inexistant ou négligeable. La valeur de X est égale à trois, à moins d'utiliser la correction de zéro dans l'analyse de Fourier. Dans ce cas, la valeur de X peut être déterminée à partir de

$$X = \frac{3 \cdot (\text{nombre de points de données initiales})}{(\text{longueur totale de la table après correction de zéro})} \quad (19)$$

La PMD est calculée en utilisant l'équation (20) ci-dessous pour un DUT à couplage de mode inexistant ou négligeable, ou la PMD est calculée en utilisant l'équation (21) ci-dessous pour un DUT à couplage de mode aléatoire.

e) Calcul de la dispersion de mode de polarisation avec un couplage de mode inexistant ou négligeable

Pour un DUT à couplage de mode inexistant ou négligeable (par exemple, pour un DUT biréfringent, $R(\lambda)$ ressemble à une onde sinusoïdale modulée (Figure 9a). La transformée de Fourier donnera un résultat $P(\delta\tau)$ contenant un transitoire discret à un emplacement correspondant au temps d'arrivée d'impulsion relatif $\delta\tau$ dont le centre est la valeur PMD $\langle \Delta\tau \rangle$

Pour définir le centre du transitoire $\langle \Delta\tau \rangle$, les points où $P(\delta\tau)$ dépasse un second niveau de seuil prédéterminé T_2 , fixé typiquement à 200 % du niveau de bruit efficace du système de détection, sont utilisés dans l'équation.

$$\langle \Delta\tau \rangle = \frac{\sum_{e=0}^{M'} [P_e(\delta\tau) \delta\tau_e]}{\sum_{e=0}^{M'} P_e(\delta\tau)} \quad (20)$$

où

$M' + 1$ est le nombre de points de données de P dans la transitoire qui dépassent T_2 .

$\langle \Delta\tau \rangle$ est la moyenne DGD normalement exprimée en ps.

Si aucun transitoire n'est détecté (c'est-à-dire $M' = 0$), alors la PMD est égale à zéro. D'autres paramètres, tels que la largeur efficace du transitoire et/ou la valeur de pic du transitoire, peuvent être notés.

Si le DUT contient un ou plusieurs élément(s) biréfringent(s), il se produira plus d'un transitoire.

f) Calcul du mode de dispersion en couplage de mode aléatoire

Dans les exemples de couplage en mode aléatoire, $R(\lambda)$ devient une forme d'onde complexe similaire à la Figure 9b, les caractéristiques exactes étant fondées sur le processus de couplage réel à l'intérieur du DUT. La donnée après transformation de Fourier devient une distribution $P(\delta\tau)$ représentant l'auto-corrélation de la distribution de probabilité des moments d'arrivée d'impulsion lumineuse, $\delta\tau$, dans le DUT (voir la Figure 10, ci-dessous).

In order to remove measurement noise from subsequent calculations, $P(\delta\tau)$ is compared to a threshold level T_1 , typically set to 200 % of the root mean square (RMS) noise level of the detection system. It is now necessary to determine whether the DUT is in negligible or random mode coupling regime.

If it is found that the first X valid points of $P(\delta\tau)$ are all below T_1 , this indicates that $P(\delta\tau)$ must have discrete spike features characteristic of DUT with no or negligible mode coupling regime. The value of X is equal to three, unless zero padding is used in the Fourier analysis. In that case, the value of X can be determined from

$$X = \frac{3 \cdot (\text{the number of original data points})}{(\text{total length of array after zero - padding})} \quad (19)$$

PMD is calculated using Equation (20) below for no or negligible mode coupling DUT or PMD is calculated using Equation (21) below for a random mode coupling DUT.

e) Polarization mode dispersion calculation with no or negligible mode coupling

For a DUT in no or negligible mode coupling regime (e.g., for a birefringent DUT, $R(\lambda)$ resembles a chirped sine wave Figure 9a. Fourier transformation will give a $P(\delta\tau)$ output containing a discrete spike at a position corresponding to the relative pulse arrival time, $\delta\tau$, the centroid of which is the PMD value $\langle \Delta\tau \rangle$.

To define the spike centroid $\langle \Delta\tau \rangle$ those points where $P(\delta\tau)$ exceeds a second pre-determined threshold level T_2 , typically set to 200 % of the RMS noise level of the detection system, are used in the equation:

$$\langle \Delta\tau \rangle = \frac{\sum_{e=0}^{M'} [P_e(\delta\tau) \delta\tau_e]}{\sum_{e=0}^{M'} P_e(\delta\tau)} \quad (20)$$

where

$M' + 1$ is the number of data points of P within the spike that exceed T_2

$\langle \Delta\tau \rangle$ is the average DGD typically quoted in ps.

If no spike is detected (i.e., $M' = 0$), then PMD is zero. Other parameters such as the RMS spike width and/or spike peak value may be reported.

If the DUT contains one or more birefringent elements, more than one spike will be generated.

f) Polarization mode dispersion calculation with random mode coupling

In instances of random mode coupling, $R(\lambda)$ becomes a complex waveform similar to Figure 9b, the exact characteristics being based on the actual coupling process within the DUT. The Fourier transformed data now becomes a distribution $P(\delta\tau)$ representing the autocorrelation of the probability distribution of light pulse arrival times, $\delta\tau$, in the DUT (see Figure 10, below).

En comptant à partir de $j = 0$, on détermine le premier point de P qui dépasse T_1 , et qui est suivi d'au moins X points de données en dessous de T_1 . Ce point représente le dernier point significatif (c'est-à-dire «l'extrémité») dans la distribution $P(\delta\tau)$, pour un DUT à couplage de mode aléatoire, qui n'est pas véritablement affecté par le bruit de mesure. La valeur $\delta\tau$ pour ce point est notée $\delta\tau_{\text{last}}$ et la valeur de j à $\delta\tau_{\text{last}}$ est notée M'' . Ce DUT est à couplage de mode aléatoire.

La racine carrée du second moment, σ_R , de cette distribution définit la PMD $\langle\Delta\tau\rangle$ et elle est donnée par:

$$\langle\Delta\tau\rangle = \sigma_R = \left\{ \frac{\sum_{j=0}^{M''} [P_j(\delta\tau) \delta\tau_j^2]}{\sum_{j=0}^{M''} P_j(\delta\tau)} \right\}^{1/2} \quad (21)$$

g) Calcul de la dispersion de mode de polarisation pour couplage mixte

Il peut y avoir des exemples où à la fois des DUT à couplage de mode négligeable et à couplage de mode aléatoire sont mis bout à bout pour former le système en essai. Dans ce cas, la détermination du centre (équation (20)) et la déduction du second moment (équation (21)) peuvent être exigées. Noter que les transitoires dans $P(\delta\tau)$ peuvent seulement être déterminées au-delà de la valeur calculée de $\delta\tau_{\text{last}}$.

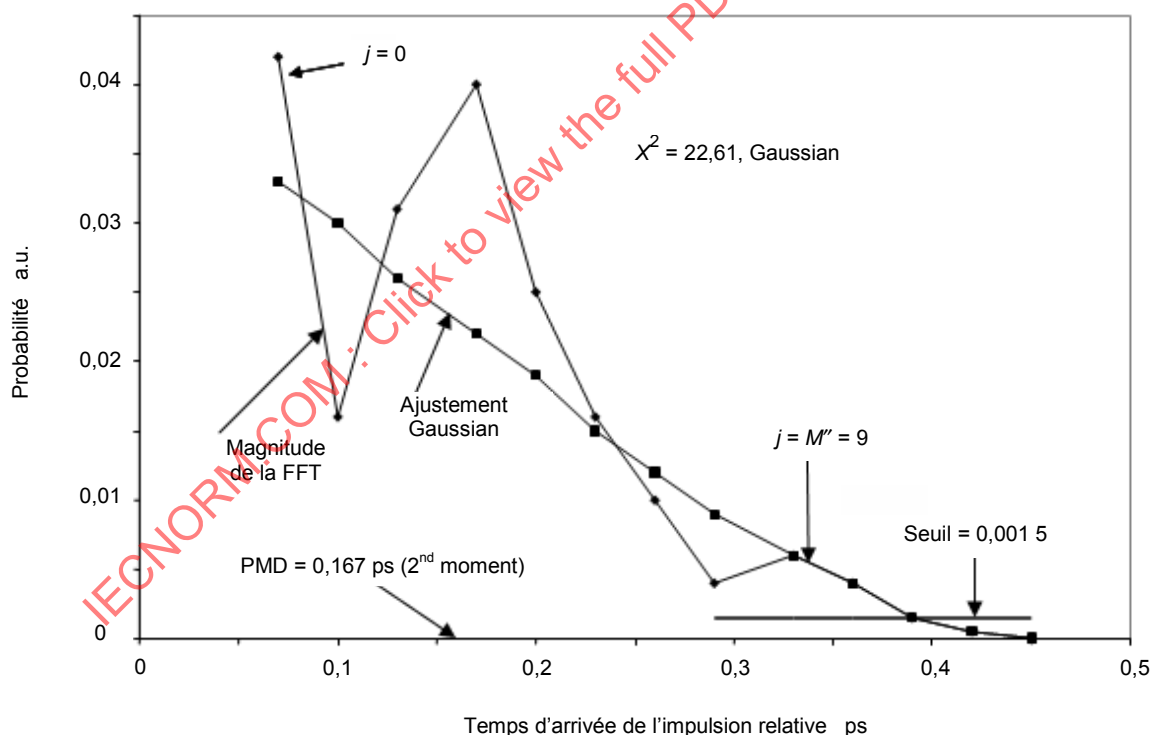


Figure 10 – Dispersion de mode de polarisation par analyse de Fourier

h) Plage spectrale

Pour les DUT à couplage aléatoire, il faut utiliser une gamme spectrale suffisante pour former l'ensemble spectral (moyen) avec une précision suffisante. Il faut que la précision requise et donc la plage spectrale soient spécifiées avant la mesure.

Counting up from $j = 0$, the first point of P is determined which exceeds T_1 , and which is followed by at least X data points which fall below T_1 . This point represents the last significant point in (i.e., the 'end' of) the distribution $P(\delta\tau)$, for a randomly mode-coupled DUT, that is not substantially affected by measurement noise. The $\delta\tau$ value for this point is denoted $\delta\tau_{\text{last}}$, and the value of j at $\delta\tau_{\text{last}}$ is denoted M'' . This DUT is randomly mode coupled.

The square root of the second moment, σ_R , of this distribution defines the PMD $\langle\Delta\tau\rangle$, and is given by:

$$\langle\Delta\tau\rangle = \sigma_R = \left\{ \frac{\sum_{j=0}^{M''} [P_j(\delta\tau) \delta\tau_j^2]}{\sum_{j=0}^{M''} P_j(\delta\tau)} \right\}^{1/2} \quad (21)$$

g) Polarization mode dispersion calculation for mixed coupling

There may be instances where the DUTs with negligible and random mode coupling regimes are concatenated to form the system under test. In this case, both centroid determination (Equation (20)) and the second moment derivation (Equation (21)) may be required. Note that spikes in $P(\delta\tau)$ may only be determined beyond the $\delta\tau_{\text{last}}$ computed.

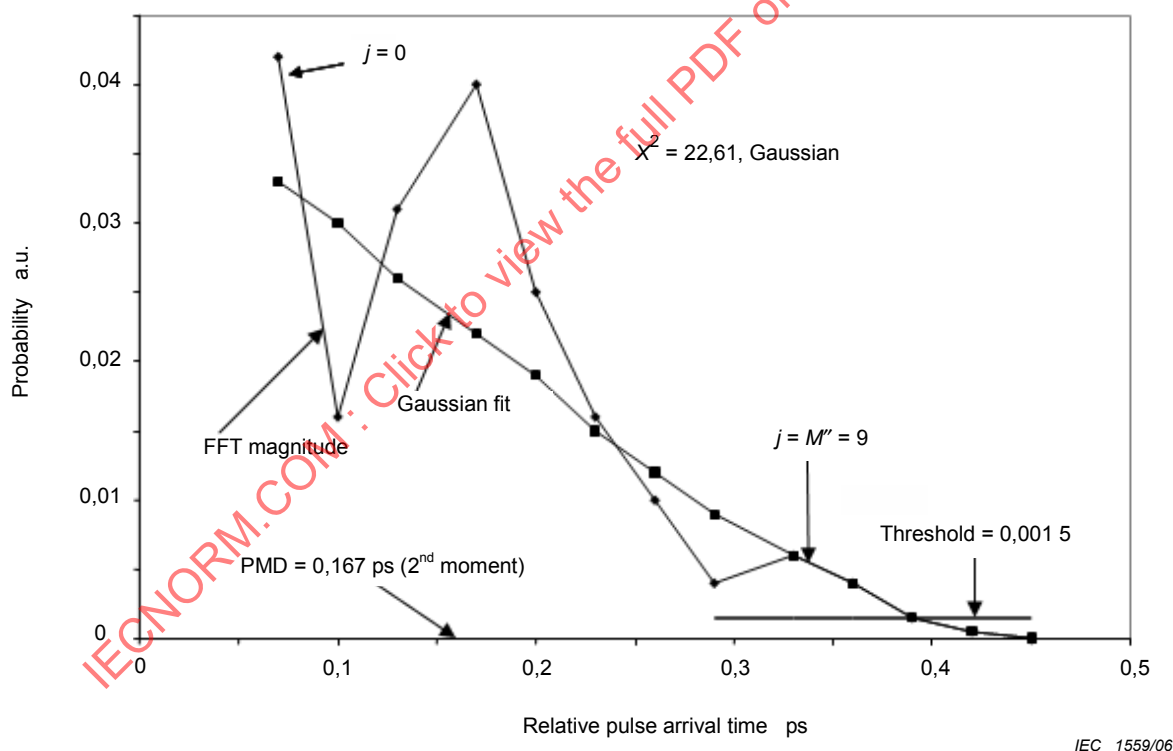


Figure 10 – Polarization mode dispersion by Fourier analysis

h) Spectral range

For randomly coupled DUT, sufficient spectral range must be used to form the spectral ensemble (average) with sufficient precision. The precision required and therefore spectral range must be specified prior to the measurement.

En outre, des valeurs $\delta\tau$ très faibles donneront des périodes très longues dans $R(\lambda)$ et il est recommandé que la gamme spectrale de λ_1 à λ_2 couvre au moins deux 'cycles' complets si possible. La plage spectrale couverte définit la valeur $\delta\tau$ la plus faible qui peut être résolue en $P(\delta\tau)$, $\delta\tau_{\min}$:

$$\delta\tau_{\min} = \frac{2\lambda_1\lambda_2}{(\lambda_2 - \lambda_1)c_0} \quad (22)$$

où le facteur 2 est introduit pour permettre que deux points de données en P en zéro et adjacents à zéro soient généralement ignorés. Par exemple, pour $\lambda_1 = 1\,270\text{ nm}$, $\lambda_2 = 1\,700\text{ nm}$, $\delta\tau_{\min} = 0,033\text{ ps}$.

Pour des DUT à couplage de mode inexistant ou négligeable, et des DUT à PMD importante avec des données de rapport $R(\lambda)$ ressemblant à celles illustrées dans la Figure 9a, l'exigence relative à la moyenne spectrale décrite ci-dessus peut être assouplie, et la plage spectrale peut être réduite (par exemple $(\lambda_2 - \lambda_1 \sim 30\text{ nm})$) afin de permettre la variation de la PMD en fonction de la longueur d'onde à examiner.

8.2.4 Consignation des calculs de la dispersion de mode de polarisation

Consigner les calculs de PMD, en suivant la procédure donnée ci-dessous.

- Consigner la PMD déterminée ci-dessus comme la valeur PMD du DUT, en ps.

8.2.5 Incertitudes d'évaluation

- Réaliser une évaluation de l'incertitude probable dans la PMD mesurée.

9 Méthode interférométrique

Ce paragraphe fournit des exigences détaillées pour la réalisation des mesures de PMD en utilisant la méthode interférométrique. La méthode interférométrique fait appel à deux types d'analyse, selon le type de DUT; une analyse est traditionnelle (TINTY), basée sur un ensemble de conditions particulières (10-12); l'autre est basée sur une analyse généralisée (GINTY) et un ensemble de conditions différentes, comparée à celle utilisant TINTY (13).

9.1 Matériel

La Figure 11 montre des schémas fonctionnels pour la mise en œuvre de la méthode interférométrique basée sur INTY.

In addition, very low $\delta\tau$ values will give very long periods in $R(\lambda)$, and the spectral range λ_1 to λ_2 should cover at least two complete 'cycles' if possible. The spectral range covered defines the smallest $\delta\tau$ value that can be resolved in $P(\delta\tau)$, $\delta\tau_{\min}$:

$$\delta\tau_{\min} = \frac{2\lambda_1\lambda_2}{(\lambda_2 - \lambda_1)c_0} \quad (22)$$

Where the factor 2 is introduced to allow for the fact that two data points in P at and adjacent to zero are generally ignored. For example, for $\lambda_1 = 1\,270\text{ nm}$, $\lambda_2 = 1\,700\text{ nm}$, $\delta\tau_{\min} = 0,033\text{ ps}$.

For DUT with no or negligible mode coupling and high PMD DUT with ratio data $R(\lambda)$ resembling Figure 9a, the requirement for spectral averaging described above may be relaxed, and the spectral range reduced (e.g., $\lambda_2 - \lambda_1 \sim 30\text{ nm}$) in order to allow variation of PMD with wavelength to be examined.

8.2.4 Report of polarization mode dispersion calculations

Report PMD calculations, following the procedure given below.

- Report the PMD determined above as the DUT PMD value, in ps.

8.2.5 Assess uncertainties

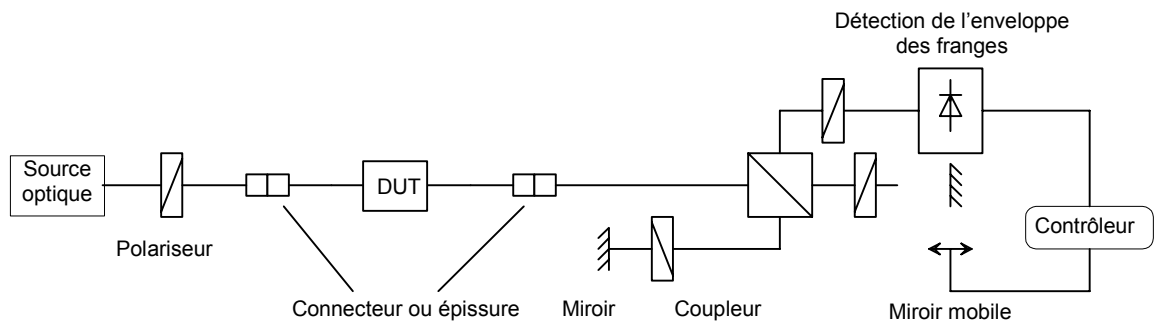
- Make an assessment of the likely uncertainty in the measured PMD.

9 Interferometric method

This clause provides the detailed requirements for completing PMD measurements using the interferometric method. The interferometric method uses two types of analysis depending on the DUT type; one analysis is a traditional analysis (TINTY) based on a set of particular conditions (10-12); the other one is based on a generalized analysis (GINTY) and a different set-up compared to the one using TINTY (13).

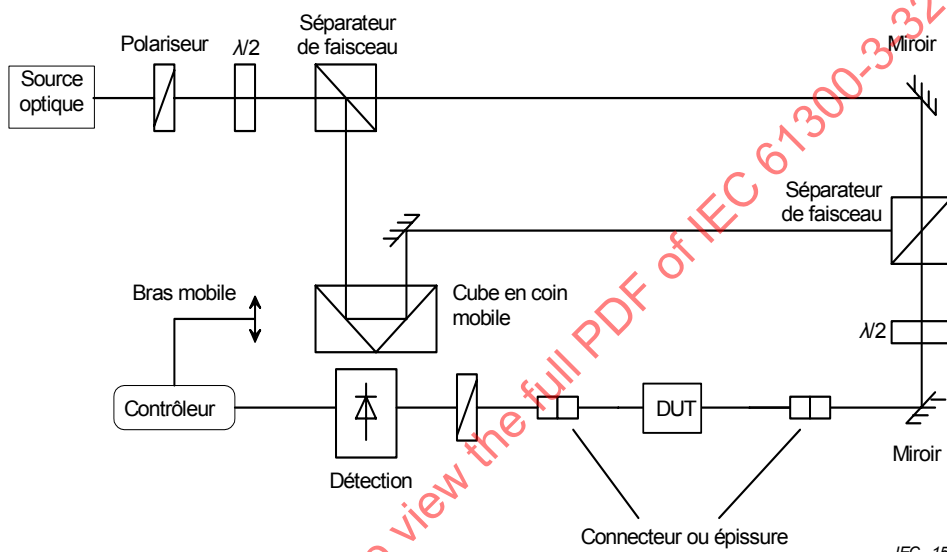
9.1 Apparatus

Figure 11 shows block diagrams for the interferometric method (INTY)-based implementations.



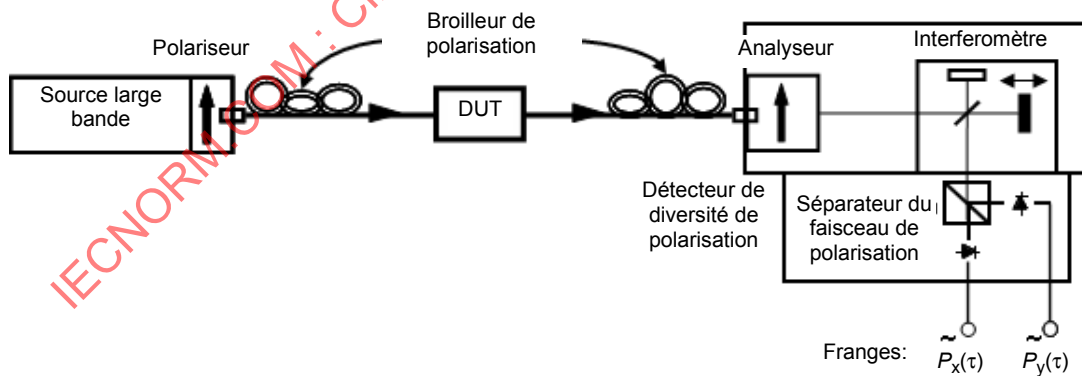
IEC 1560/06

a) Analyse traditionnelle (TINTY) basée sur l'interféromètre de Michelson



IEC 1561/06

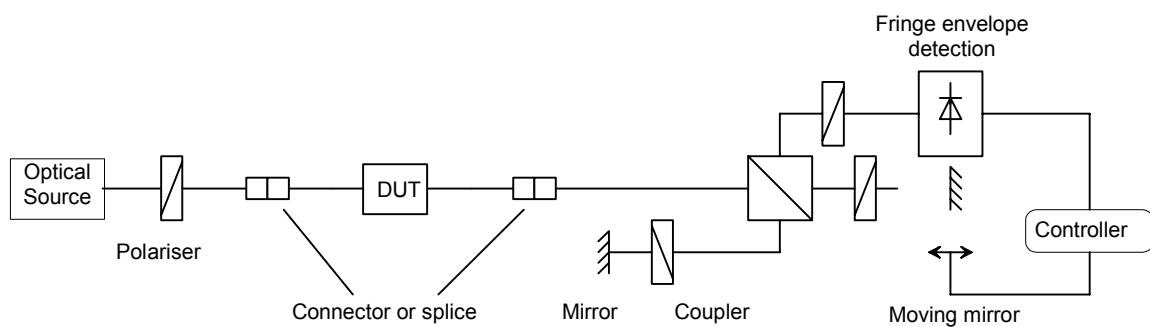
b) Analyse traditionnelle (TINTY) basée sur l'interféromètre de Mach-Zehnder



IEC 1562/06

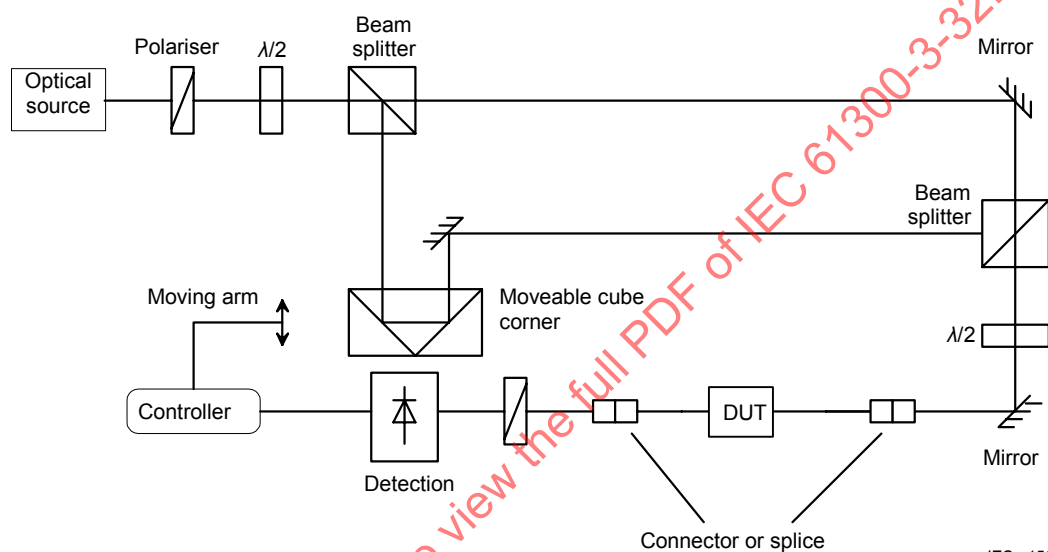
c) Analyse généralisée (GINTY) basée sur l'interféromètre de Michelson

Figure 11 – Schéma fonctionnel de la méthode interférométrique pour équipements passifs à fibres optiques



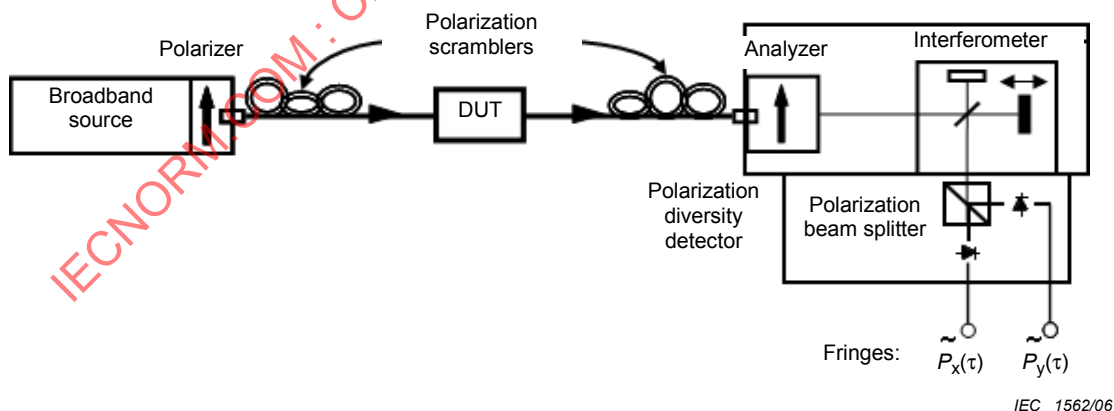
IEC 1560/06

a) Traditional analysis (TINTY) based on Michelson Interferometer



IEC 1561/06

b) Traditional analysis (TINTY) based on Mach-Zehnder interferometer



IEC 1562/06

c) Generalized analysis (GINTY) based on Michelson interferometer

Figure 11 – Schematic diagram for the interferometric method for passive fibre optic devices

9.1.1 Source lumineuse

Une source lumineuse à large bande qui émet des rayonnements aux longueurs d'onde de mesure prévues est utilisée, par exemple une DEL ou une source super fluorescente. TINTY demande que la forme spectrale soit Gaussienne, sans ondulations qui pourraient influencer la fonction d'auto-corrélation de la lumière émergente. GINTY n'impose pas de telles exigences sur la forme spectrale de la source. Il faut que la largeur spectrale de raie de la source, $\Delta\lambda$, soit connue pour calculer le temps de cohérence, t_c , qui est déterminé comme suit:

$$t_c = \frac{\lambda_0^2}{\Delta\lambda c} \quad (23)$$

9.1.2 Analyseur

L'analyseur doit polariser sur la totalité de la gamme de longueur d'onde de la source. Pour GINTY, l'analyseur doit pouvoir subir une rotation vers une position orthogonale à la position initiale.

9.1.3 Séparateur de faisceau

Le séparateur de faisceau de l'interféromètre est utilisé pour diviser la lumière polarisée incidente en deux composantes qui se propagent dans les branches de l'interféromètre. Le séparateur peut être un coupleur de fibres optiques ou un séparateur cubique de faisceau.

9.1.4 Interféromètre

L'interféromètre peut être de type à air ou à fibre. Il peut être de type Michelson ou Mach-Zehnder et il peut être situé à la source ou à l'extrémité du détecteur du DUT. Une lame quart d'onde, par exemple, peut être utilisée pour éliminer la réponse du pic d'auto-corrélation de l'interféromètre.

9.1.5 Brouilleurs de polarisation

Dans la Figure 11c, les brouilleurs de polarisation permettent la détection de toute SOP pour l'entrée et la sortie. Le séparateur du faisceau de polarisation permet la détection simultanée de ce qui serait détecté par deux analyseurs orthogonaux. La fonction des brouilleurs de polarisation, pour choisir différents SOP pour l'entrée, et divers analyseurs à la sortie, peut être faite par d'autres moyens.

9.1.6 Détecteur

La lumière issue d'une fibre en cours d'essai est reliée à un photodétecteur, dont le rapport signal-bruit convient pour les mesures. Le système de détection peut être constitué d'une détection synchrone par un amplificateur échantillonneur/bloqueur, des techniques comparables.

9.1.7 Calculateur

Un ordinateur avec le logiciel adéquat sera utilisé pour l'analyse de la mire d'interférence.

9.1.1 Light source

A broadband light source is used that emits radiation at the intended measurement wavelengths, such as an LED or a super fluorescent source. TINTY requires that the spectral shape be Gaussian, without ripples that could influence the autocorrelation function of the emerging light. GINTY does not impose any such requirements on the source spectral shape. The spectral source line width, $\Delta\lambda$, must be known to calculate the coherence time, t_c , which is determined with the following:

$$t_c = \frac{\lambda_0^2}{\Delta\lambda c} \quad (23)$$

9.1.2 Analyser

The analyser should polarize on the full wavelength range of the source. For GINTY, the analyser must be capable of being rotated to a setting orthogonal to the initial setting.

9.1.3 Beam splitter

The interferometer beam splitter is used to split the incident polarised light into two components propagating in the arms of the interferometer. The splitter can be an optical fibre coupler or a cube beam splitter.

9.1.4 Interferometer

The interferometer can be an air type or a fibre type. It can be of Michelson or Mach-Zehnder types, and it can be located at the source or at the detector end of the DUT. A quarter waveplate, for example, can be used to remove the autocorrelation peak response of the interferometer.

9.1.5 Polarization scramblers

In Figure 11c, the polarization scramblers allow the selection of any SOPs for the input and output. The polarization beam splitter allows simultaneous detection what would be detected by two orthogonal analyzer settings. The functionality of the polarization scramblers, to select various SOPs for the input and various analyzer settings at the output, can be achieved by other means.

9.1.6 Detector

The light emerging from the fibre under test is coupled to a photodetector whose signal-to-noise ratio is adequate for the measurement. The detection system may include synchronous detection by chopper/lock-in amplifier or comparable techniques.

9.1.7 Computer

For the analysis of the interference pattern a computer with suitable software shall be used.

9.2 Procédure

9.2.1 Procédure TINTY

Une extrémité du DUT est couplée à la sortie polarisée de la source lumineuse polarisée. L'autre extrémité est couplée à l'entrée de l'interféromètre. Ceci peut être réalisé avec des connecteurs à fibres optiques normaux, des épissures ou par un système d'alignement de la fibre. Si ce dernier est utilisé, il convient d'appliquer une petite quantité d'huile adaptatrice d'indice au niveau des raccords pour éviter les problèmes de réflexion.

La puissance de sortie optique de la source de lumière est réglée à une valeur de référence caractéristique pour le système de détection utilisé. Pour obtenir un contraste de frange suffisant, la puissance optique dans les deux branches doit être pratiquement identique.

- Faire une première acquisition en déplaçant le miroir du bras de l'interféromètre et en enregistrant l'intensité de la lumière.
- Soustraire la valeur obtenue pour $\tau = 0$ de l'interférogramme, pour obtenir $\tilde{P}(\tau)$. La valeur absolue de $\tilde{P}(\tau)$ est l'enveloppe de la frange, $E(\tau)$. A partir de la mire de frange obtenue pour un SOP particulier, le retard de PMD peut être calculé de la façon suivante. Un exemple typique d'une mire de frange pour un couplage de mode inexistant ou négligeable, et un couplage de mode aléatoire est présenté Figure 12.

Les enveloppes des franges obtenues de TINTY sont une combinaison des fonctions d'inter-corrélation et d'auto-corrélation. Un algorithme doit être utilisé pour essayer d'extraire la partie due à la fonction d'inter-corrélation.

9.2 Procedure

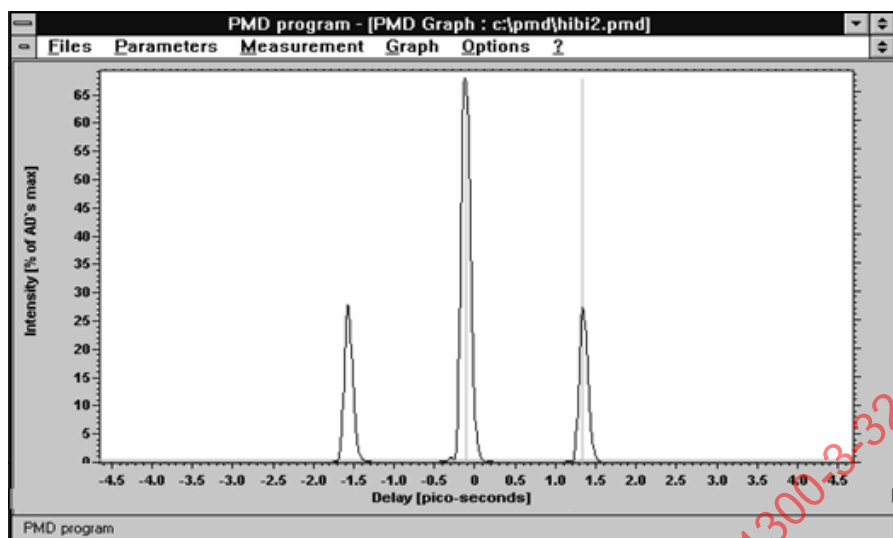
9.2.1 TINTY procedure

One end of the DUT is coupled to the polarised output of the polarised light source. The other end is coupled to the interferometer input. This can be done by standard fibre optic connectors, splices or by a fibre alignment system. If the latter is used, some index matching oil at the joints avoids reflections.

The optical output power of the light source is adjusted to a reference value characteristic for the detection system used. To get a sufficient fringe contrast the optical power in both arms shall be almost identical.

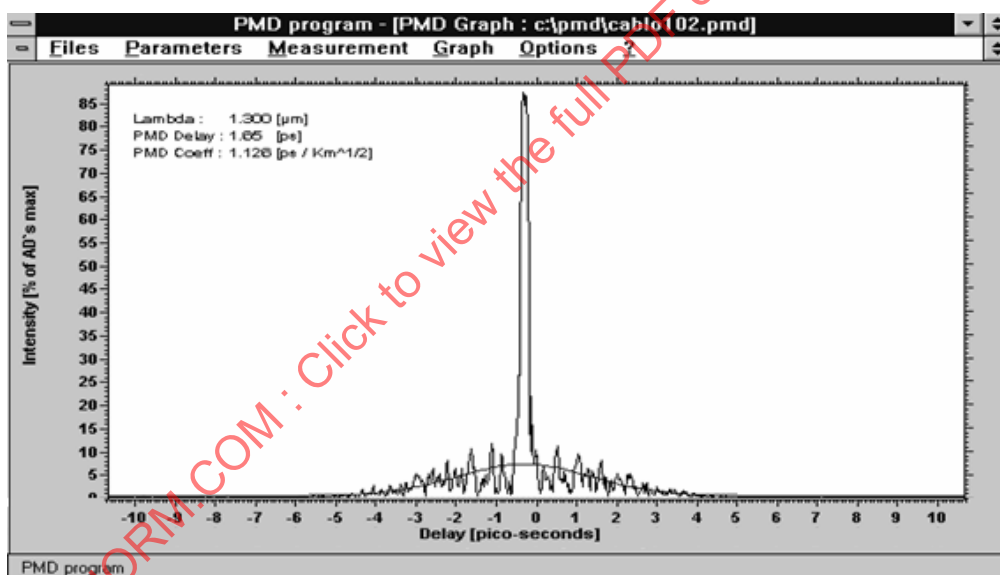
- Make a first acquisition by moving the mirror of the interferometer arm and recording the intensity of the light.
- Subtract the value found for $\tau = 0$ from the interferogram to obtain $\tilde{P}(\tau)$. The absolute value of $\tilde{P}(\tau)$ is the fringe envelope, $E(\tau)$. From the obtained fringe pattern for one selected SOP, the PMD delay can be calculated as described below. Typical example of a fringe pattern for no or negligible mode coupling and random mode coupling is shown in Figure 12.

The fringe envelopes obtained from TINTY are a combination of the cross-correlation and autocorrelation functions. An algorithm must be used to try to separate out the part that is from the cross-correlation function.



IEC 1563/06

a) Couplage de mode inexistant ou négligeable



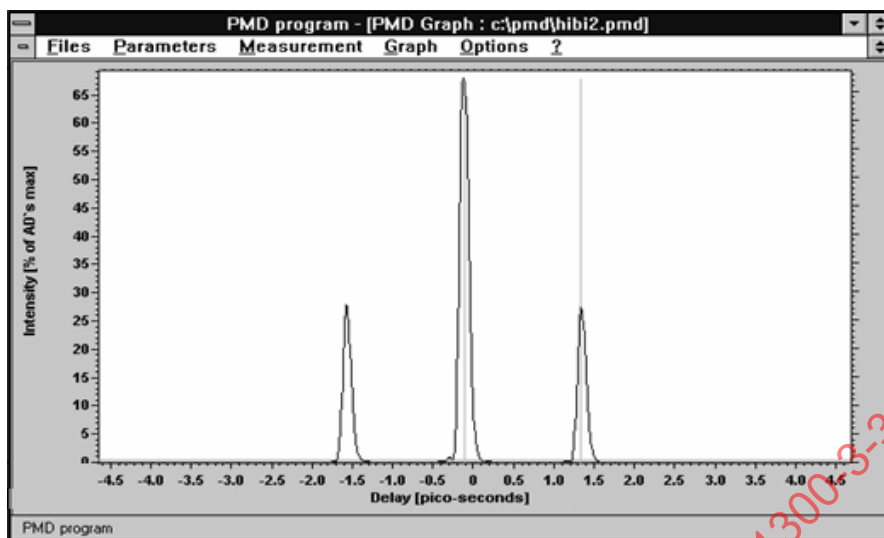
IEC 1564/06

b) Couplage de mode aléatoire

Figure 12 – Données types obtenues par la méthode interférométrique

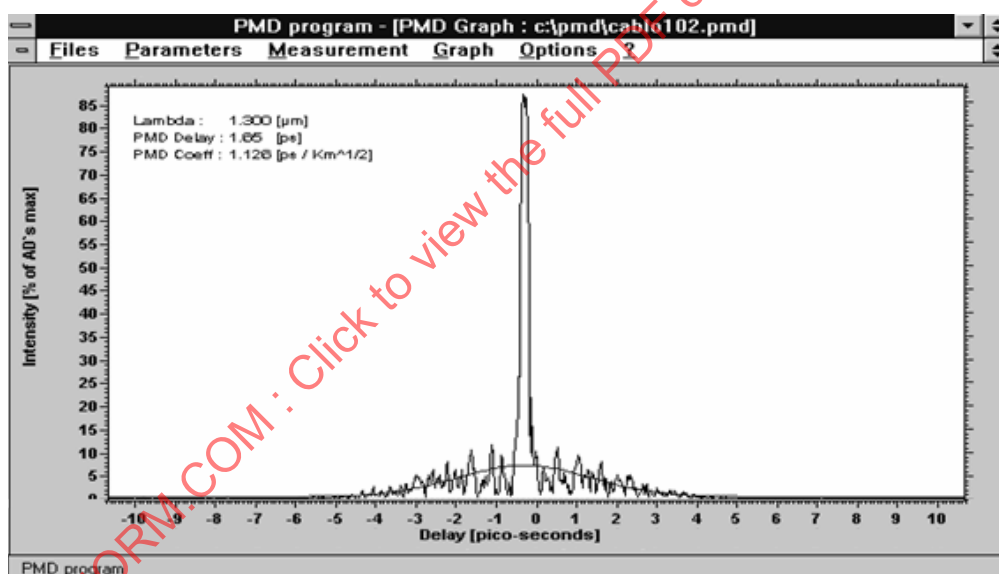
En cas de couplage de mode de polarisation insuffisant, ou en cas de PMD faible, il est recommandé de répéter la mesure pour différents SOP ou de moduler le SOP au cours de la mesure afin d'obtenir un résultat qui est une moyenne sur tous les SOP.

Il faut veiller à assurer que le spectre de la source lumineuse n'est pas tronqué par la bande passante du DUT. Si ceci se produit, il pourrait en résulter une erreur de mesure.



IEC 1563/06

a) No or negligible mode coupling



IEC 1564/06

b) Random mode coupling

Figure 12 – Typical data obtained by interferometric method

In case of insufficient polarization mode coupling, or in case of low PMD, it is recommended to repeat the measurement for different SOPs or to modulate the SOP during the measurement in order to obtain a result that is an average over all SOPs.

Care must be taken to ensure that the spectrum of the light source is not truncated by the passband of the DUT. If this occurs, measurement error could result.

9.2.2 Calculs TINTY

Les calculs sont divisés entre régime de couplage de mode inexistant ou négligeable, et régime de couplage de mode aléatoire. Pour les deux régimes, l'étendue de l'interférogramme – décomptant la valeur de crête centrale – est caractérisée.

a) Couplage de mode inexistant ou négligeable

Dans le cas d'un couplage de mode inexistant ou négligeable, le retard de PMD est déterminé à partir de la séparation de deux crêtes de cohérence satellites chacune retardée du centre par le DGD du DUT. Dans ce cas, le retard de PMD est équivalent au DGD.

$$PMD = \langle \Delta \tau \rangle = \frac{2\Delta L}{c_0} \quad (24)$$

où

ΔL est la variation de chemin de la raie de retard optique entre les deux crêtes de cohérence satellite

c_0 est la vitesse de la lumière en espace libre.

b) Couplage de mode aléatoire

Dans le cas du couplage de mode aléatoire, la détermination du retard de la dispersion de mode de polarisation (PMD) est fondée sur l'enveloppe de l'interférogramme du motif de franges. Le retard de PMD, PMD_{RMS} , est déterminé à partir du moment d'ordre 2 (largeur de la moyenne quadratique) de la fonction d'inter-corrélation du signal détecté (interférogramme de l'enveloppe de frange).

$$PMD_{RMS} = \langle \Delta \tau^2 \rangle^{1/2} = \left(\sqrt{\frac{3}{4}} \right) \sigma_\varepsilon \quad (25)$$

où σ_ε est la largeur de la moyenne quadratique de l'enveloppe d'inter-corrélation.

L'équation (25) s'applique à une définition de la moyenne quadratique de la DGD, avec les hypothèses données ci-dessous, et expliquées en détail dans la CEI 61289-9:

- un couplage de mode aléatoire idéal;
- une source purement gaussienne, sans ondulations;
- des conditions ergodiques;
- $PMD \gg \sigma_0$

où σ_0 est la largeur de la moyenne quadratique de l'enveloppe d'auto-corrélation.

Un coefficient différent peut être nécessaire pour une définition de la DGD moyenne. Un algorithme détaillé du calcul de σ_ε provenant de l'enveloppe des franges mesurée est décrit dans la CEI 61282-9.

9.2.2 TINTY calculations

The calculations are divided into the no or negligible mode coupling regime and the random mode-coupling regime. For both, the spread in the interferogram – discounting the central peak – is characterised.

a) No or negligible mode coupling

In the case of no or negligible mode coupling the PMD delay is determined from the separation of the two satellite coherence peaks each delayed from the centre by the DGD of the DUT. For this case the PMD delay is equivalent to DGD.

$$PMD = \langle \Delta \tau \rangle = \frac{2\Delta L}{c_0} \quad (24)$$

where

ΔL is the moving path of the optical delay line between the two satellite coherence peaks

c_0 is the light velocity in free space.

b) Random mode coupling

In the case of random mode coupling the determination of the PMD delay is based on the envelope of the fringe pattern interferogram. The PMD delay PMD_{RMS} is determined from the second moment (RMS width) of the cross-correlation function of the detected signal (fringe envelope interferogram).

$$PMD_{RMS} = \langle \Delta \tau^2 \rangle^{1/2} = \left(\sqrt{\frac{3}{4}} \right) \sigma_\epsilon \quad (25)$$

where σ_ϵ is the RMS width of the cross-correlation envelope.

Equation (25) applies to a RMS DGD definition under the assumptions given below and explained in details in IEC 61282-9:

- ideal random mode coupling;
- a purely Gaussian source, with no ripples;
- ergodic conditions;
- $PMD \gg \sigma_0$

where σ_0 is the RMS width of the auto-correlation envelope.

A different coefficient may be necessary for an average DGD definition. A detailed algorithm for the calculation of σ_ϵ from a measured fringe envelope is described in IEC 61282-9.

9.2.3 Procédure GINTY

La combinaison d'une configuration de polariseur d'entrée particulière, et d'une paire orthogonale d'analyseurs est appelée une SOP I/O. Terminer le(s) balayage(s) pour les deux interférogrammes, et soustraire la partie «c.c.» de chacune, afin d'obtenir $\tilde{P}_x(\tau)$ et $\tilde{P}_y(\tau)$, les franges générées orthogonales, comme présenté sur la Figure 13.

Les enveloppes d'inter-corrélation et d'auto-corrélation, $E_x(\tau)$ et $E_0(\tau)$, sont calculées de la façon suivante:

$$E_x(\tau) = |\tilde{P}_x(\tau) - \tilde{P}_y(\tau)| \quad E_0(\tau) = |\tilde{P}_x(\tau) + \tilde{P}_y(\tau)| \quad (26)$$

Ces fonctions sont élevées au carré pour calculs et affichage ultérieurs. Des exemples de résultats d'inter-corrélation au carré sont présentés dans la Figure 13 ci-dessous. A noter que le pic d'auto-corrélation observé avec le TINTY n'apparaît pas.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61300-3-32:2006

9.2.3 GINTY procedure

The combination of a particular input polarizer setting and an orthogonal pair of analyzer settings is called an I/O SOP. Complete the scan(s) for the two interferograms and subtract the “d.c.” part from each to obtain $\tilde{P}_x(\tau)$ and $\tilde{P}_y(\tau)$, the orthogonally generated fringes as shown in Figure 13.

The cross-correlation and autocorrelation fringe envelopes, $E_x(\tau)$ and $E_0(\tau)$ are calculated as:

$$E_x(\tau) = |\tilde{P}_x(\tau) - \tilde{P}_y(\tau)| \quad E_0(\tau) = |\tilde{P}_x(\tau) + \tilde{P}_y(\tau)| \quad (26)$$

These functions are squared for the purposes of later calculations and display. Some example squared cross-correlation results are shown in Figure 13 below. Note that the autocorrelation peak seen with the TINTY is not present.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61300-3-32:2006

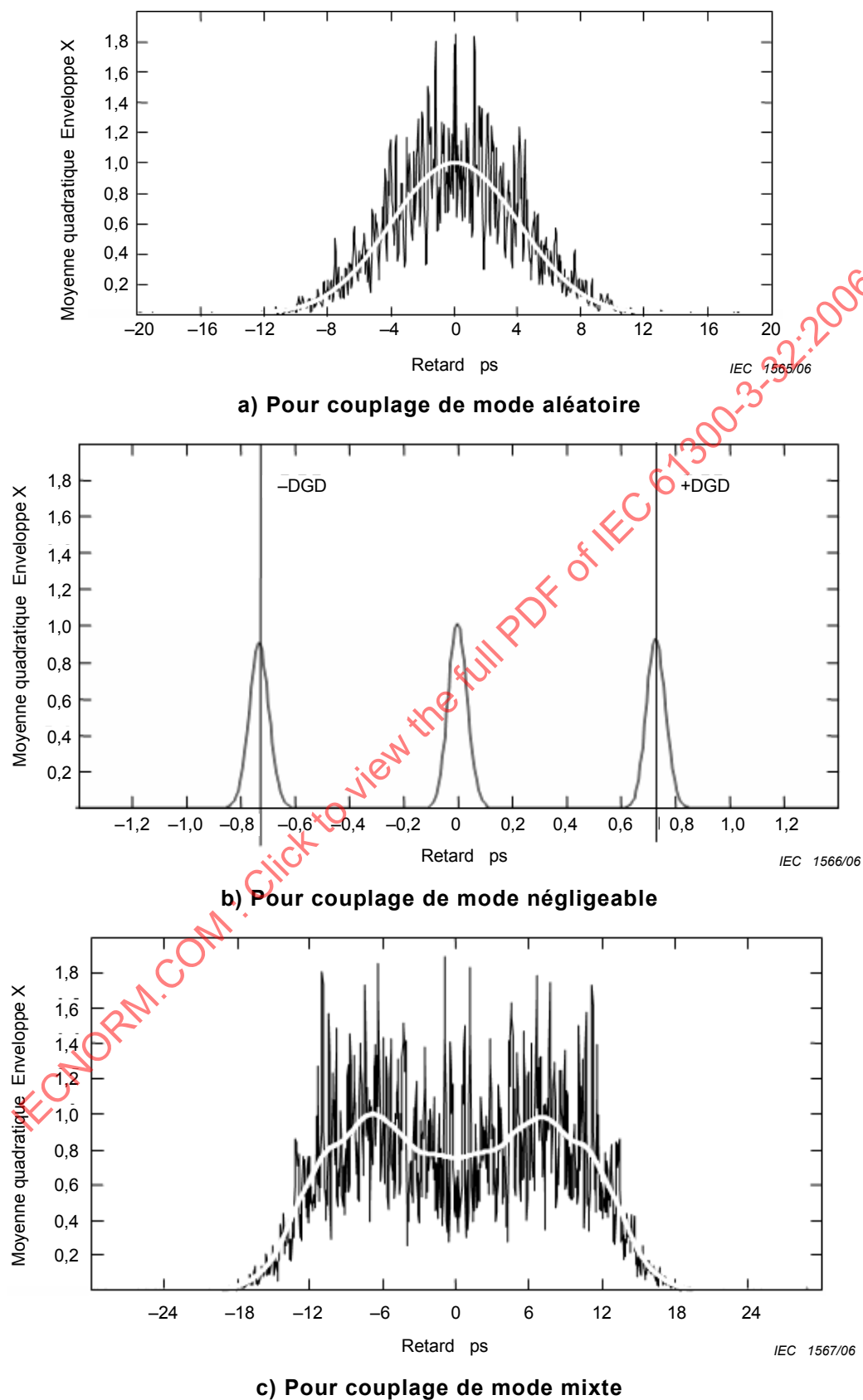


Figure 13 – Motifs de franges obtenu avec brouillage GINTY et SOP I/O

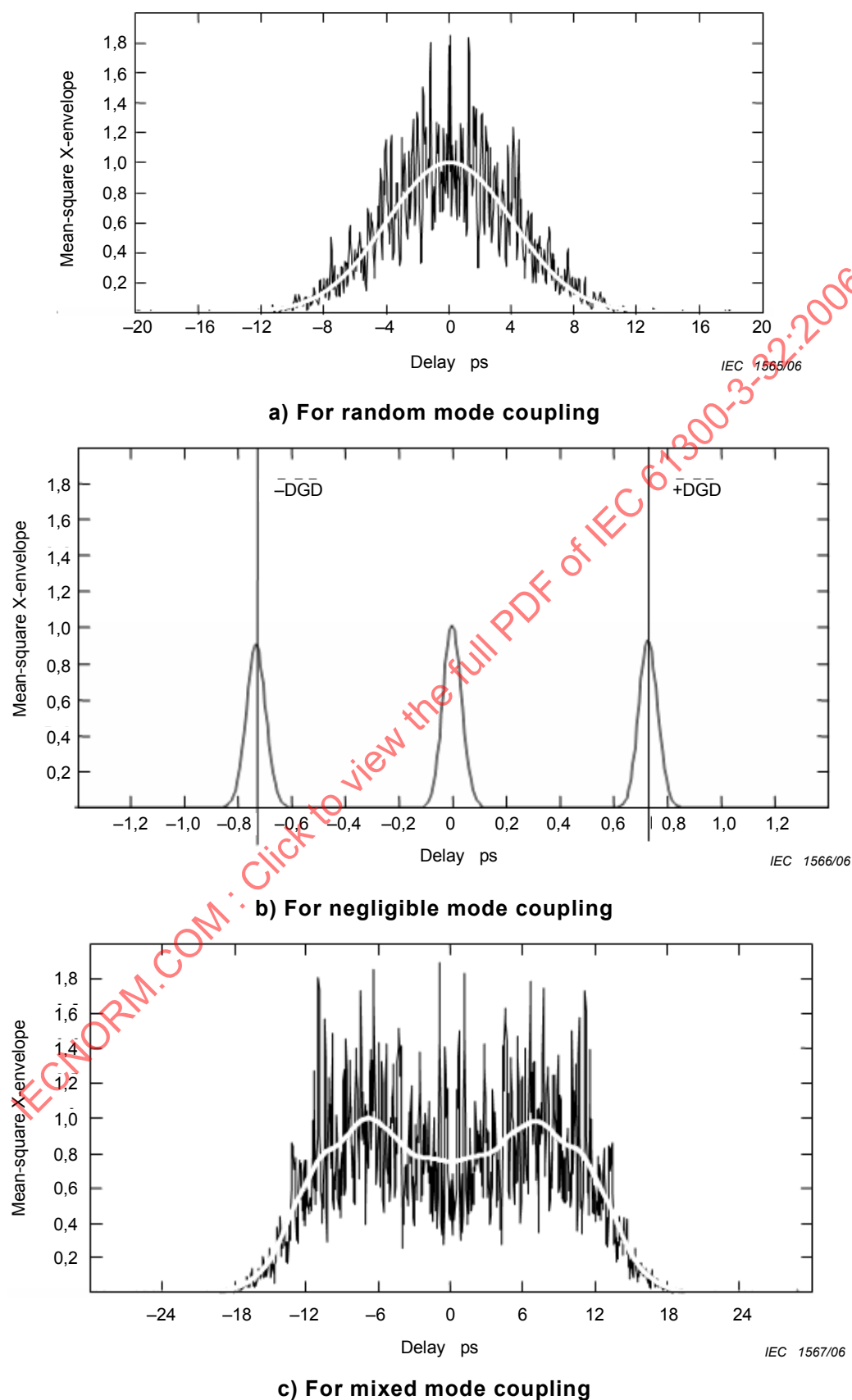


Figure 13 – Fringe patterns obtained with GINTY and I/O-SOP scrambling

Des options de brouillage de polarisation sont décrits dans la CEI 61282-9. Quand plusieurs SOP I/O sont mesurés, les indiquer avec i pour calculs ultérieurs.

9.2.4 Calculs GINTY

GINTY ne nécessite pas les hypothèses TINTY décrites précédemment.

- Etablir les moyennes au carré des enveloppes d'inter-corrélation et d'auto-corrélation, $\overline{E}_x^2(\tau)$ et $\overline{E}_0^2(\tau)$, comme suit:

$$\overline{E}_x^2(\tau) = \frac{1}{N} \sum_i E_{xi}^2(\tau) \quad \overline{E}_0^2(\tau) = \frac{1}{N} \sum_i E_{0i}^2(\tau) \quad (27)$$

où N est le nombre de SOP I/O.

- Calculer la largeur de la moyenne quadratique des deux moyennes des carrés des enveloppes échantillonnées σ_0 et σ_x , respectivement.

Un algorithme d'échantillonnage pour ce calcul est donné dans la CEI 61282-9. Les définitions idéales de ces largeurs sont:

$$\sigma_x^2 = \frac{\int \tau^2 \langle E_x^2(\tau) \rangle d\tau}{\int \langle E_x^2(\tau) \rangle d\tau} \quad \sigma_0^2 = \frac{\int \tau^2 \langle E_0^2(\tau) \rangle d\tau}{\int \langle E_0^2(\tau) \rangle d\tau} \quad (28)$$

L'opérateur de valeur attendue dans les équations ci-dessus est donné pour un échantillonnage aléatoire et uniforme des états de polarisation (SOP) en entrée et en sortie.

La valeur PMD_{RMS} obtenue est:

$$PMD_{RMS} = \left[\frac{3}{2} (\sigma_x^2 - \sigma_0^2) \right]^{1/2} \quad (29)$$

9.2.5 Consignation des calculs de la dispersion de mode de polarisation

- Consigner les calculs de PMD, en suivant la procédure donnée ci-dessous.
- Consigner la PMD déterminée ci-dessus comme la valeur PMD du DUT, en ps.

9.2.6 Incertitudes d'évaluation

- Réaliser une évaluation de l'incertitude probable dans la PMD mesurée.

10 Méthode par décalage de phase de modulation

Ce paragraphe donne une méthode pour la détermination du DGD en utilisant l'analyse du domaine temporel [14].

Dans cette procédure, une source lumineuse modulée à une longueur d'onde donnée est couplée au DUT et la phase du signal modulé qui sort du DUT au premier SOP est comparée avec la phase au second SOP orthogonal. Après avoir déterminé la différence maximale de phase, correspondant à l'alignement de SOP d'entrée avec les deux axes principaux du DUT,

Options for polarization scrambling are described in IEC 61282-9. When multiple I/O SOPs are measured, index them with i for later calculations.

9.2.4 GINTY calculations

GINTY does not require the TINTY assumptions listed above.

- Form the mean squared cross-correlation and autocorrelation envelopes, $\overline{E}_x^2(\tau)$ and $\overline{E}_0^2(\tau)$ as:

$$\overline{E}_x^2(\tau) = \frac{1}{N} \sum_i E_{xi}^2(\tau) \quad \overline{E}_0^2(\tau) = \frac{1}{N} \sum_i E_{0i}^2(\tau) \quad (27)$$

where N is the number of I/O SOPs.

- Calculate the RMS width of the two sampled mean squared envelopes, σ_0 and σ_x , respectively.

A sample algorithm for this calculation is given in IEC 61282-9. The ideal definitions of these widths are:

$$\sigma_x^2 = \frac{\int_{\tau} \tau^2 \langle E_x^2(\tau) \rangle d\tau}{\int_{\tau} \langle E_x^2(\tau) \rangle d\tau} \quad \sigma_0^2 = \frac{\int_{\tau} \tau^2 \langle E_0^2(\tau) \rangle d\tau}{\int_{\tau} \langle E_0^2(\tau) \rangle d\tau} \quad (28)$$

The expected value operator in the above equations is with respect to a uniform and random sampling of the I/O-SOPs.

The PMD_{RMS} value that is reported is:

$$PMD_{RMS} = \left[\frac{3}{2} (\sigma_x^2 - \sigma_0^2) \right]^{1/2} \quad (29)$$

9.2.5 Report of polarization mode dispersion calculations

- Report PMD calculations, following the procedure given below.
- Report the PMD determined above as the DUT PMD value, in ps.

9.2.6 Assess uncertainties

- Make an assessment of the likely uncertainty in the measured PMD.

10 Modulation phase shift method

This clause includes a method for determining DGD using time domain analysis [14].

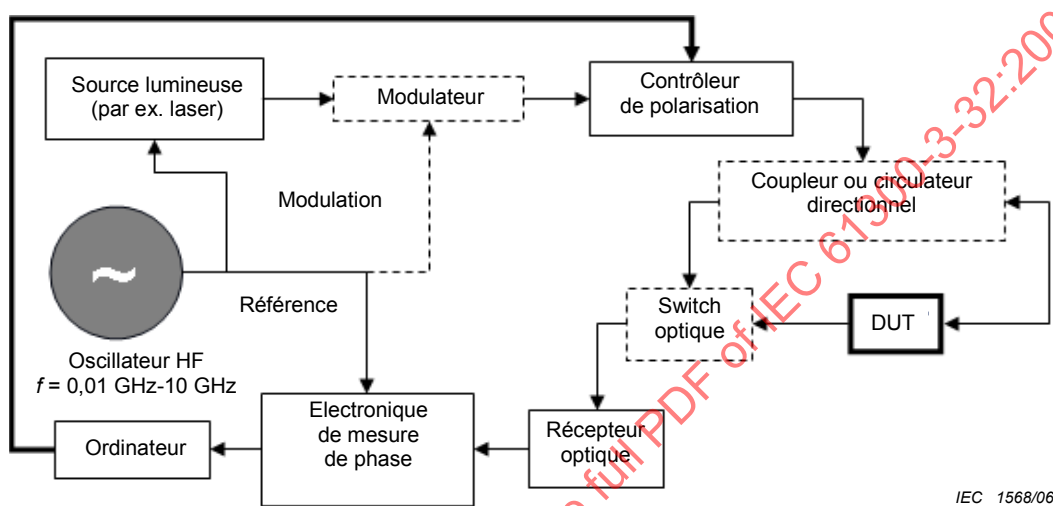
In this procedure, a modulated light source at a given wavelength is coupled into the DUT, and the phase of the modulated signal exiting the DUT at a first SOP is compared with the phase at a second, orthogonal SOP. Once the maximum phase difference has been determined, corresponding to the input SOP's aligning to the two principal axes of the DUT,

on réalise la conversion en différence de retard et on le consigne comme le DGD pour le DUT à cette longueur d'onde.

Pour les besoins du présent document, le DUT est considéré comme mesuré à une longueur d'onde unique, et c'est pourquoi le résultat consigné est strictement le DGD à cette longueur d'onde particulière.

10.1 Matériel

L'appareillage de base est représenté à la Figure 14, avec des connexions alternatives sur le DUT pour la mesure de ses performances de réflexion.



IEC 1568/06

NOTE Les éléments représentés avec des lignes en pointillés sont des mises en œuvre alternatives.

Figure 14 – Appareillage pour réaliser le mesure de DGD

10.1.1 Source(s) de lumière

- Pour la mesure du DGD à chaque longueur d'onde spécifiée, utiliser des diodes lasers multiples, des diodes lasers ou lumineuses ajustables (source de gamme de longueur d'onde comme mentionné auparavant) filtrées par monochromateur ou par d'autres filtres. Une question principale concernant le choix d'une source adaptée est qu'il convient que la largeur de ligne soit inférieure ou égale à la largeur de bande du DUT (pour les DUT amplificateurs, utiliser la largeur de bande de gain).
- En général, utiliser un laser ou un laser ajustable pour obtenir les largeurs de raies les plus basses.

Dans tous les cas, il convient que la largeur de raie de la source lumineuse réglable ou la largeur du filtre soit supérieure à deux (2) fois les échelons de longueur d'onde utilisés pour respecter le théorème de Nyquist.

a) Diodes laser

La longueur d'onde centrale et la phase de sortie modulée de la source laser doivent être stables sur la période de mesure avec le courant de polarisation, la fréquence de modulation et la température de diode.

Les diodes lasers à mode longitudinal unique avec commande de température et stabilisation de puissance de sortie (par exemple retour PIN) sont normalement adaptées.

b) Diodes électroluminescentes filtrées

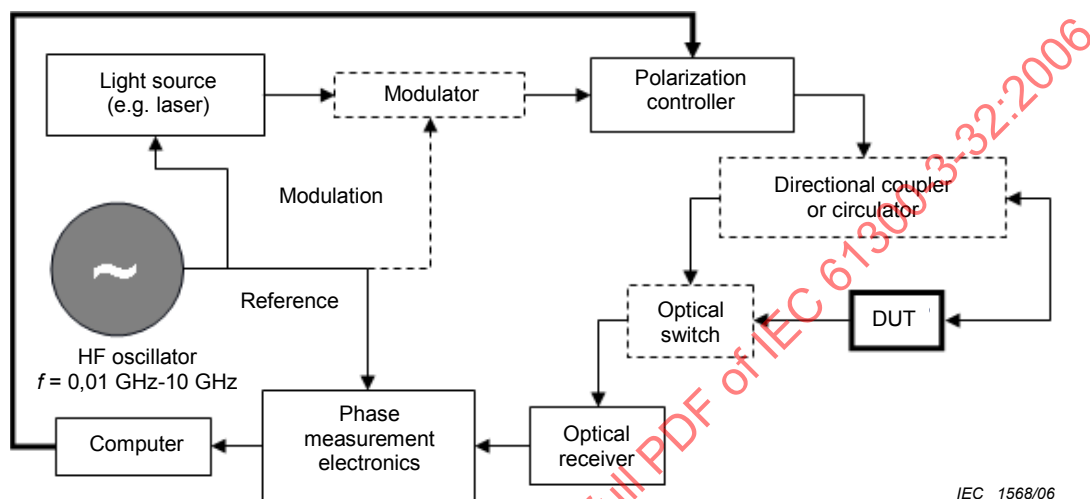
- Utiliser une ou plusieurs diodes lumineuses.

this is converted to a delay difference, and reported as the DGD for the DUT at that wavelength.

For the purposes of this document, the DUT is considered to be measured at a single wavelength, and therefore the result reported is strictly the DGD at that particular wavelength.

10.1 Apparatus

The basic apparatus is shown in Figure 14, with alternative connections to the DUT for the measurement of its reflection performance.



NOTE Items shown with dashed lines are alternative implementations.

Figure 14 – Apparatus to make the DGD measurement

10.1.1 Light source(s)

- For the measurement of DGD at each specified wavelength, use multiple laser diodes, tuneable lasers or light-emitting diodes (wavelength-range source as mentioned earlier) filtered by monochromator or other filter(s). A key issue involved in the selection of a suitable source is that the source linewidth should be equal to or less than the bandwidth of the DUT (for amplifier DUTs, use the gain bandwidth).
- In general, use a laser or tuneable laser to obtain the lowest linewidths.

In all cases, the linewidth of the tuneable light source or the width of the filter should be more than two times the wavelength steps used in order to respect the Nyquist theorem.

a) Laser diodes

The centre wavelength and modulated output phase of the laser source shall be stable over the measurement time period at the bias current, modulation frequency and diode temperature encountered.

Single-longitudinal-mode laser diodes with temperature control and output power stabilisation (e.g. PIN feedback) are typically suitable.

b) Filtered light-emitting diodes

- Use one or more light-emitting diodes.

La longueur d'onde centrale et la phase de sortie modulée de la source doivent être stables sur la période de mesure avec le courant de polarisation, la fréquence de modulation et la température de diode employés.

- Filtrer le spectre optique pour donner une ligne spectrale de pleine largeur à la moitié du maximum de la gamme de 1 nm à 5 nm.

Un monochromateur peut être utilisé pour filtrer ou sélectionner la longueur d'onde.

c) Diodes laser accordables

- Utiliser une ou plusieurs diodes laser accordables.

La longueur d'onde centrale et la phase de sortie modulée de chaque laser à chaque longueur d'onde utilisée doivent être stables sur la période de mesure avec le courant de polarisation, la fréquence de modulation et la température de diode rencontrées. On utilise normalement des lasers à cavité externe contrôlés en température entièrement autonome.

10.1.2 Modulateur

- Moduler l'intensité des sources de lumière pour produire une forme d'onde comprenant une seule composante dominante de Fourier. La fréquence de la modulation doit être suffisamment élevée et suffisamment stable pour garantir une mesure de précision adéquate.

La modulation peut être obtenue par injection directe (interne) de courant dans la diode laser ou la DEL. Il est également possible d'utiliser d'autres formes (externes) de modulation. Des exemples sont des dispositifs modulateurs électro-optiques placés après le laser (voir la Figure 14 ci-dessus) pour moduler la lumière avant son passage dans le DUT. Le modulateur doit être suffisamment stable pour garantir une mesure de précision adéquate.

Une modulation d'onde sinusoïdale, trapézoïdale ou carrée est acceptable. Normalement, une stabilité de fréquence de 0,01 ppm est suffisante.

Il est essentiel d'éviter les ambiguïtés de $360 n^\circ$ (n entier) en mesurant le déphasage. Ceci peut être réalisé par des moyens tels que la réduction de la fréquence du modulateur pour une PMD de valeur élevée.

Par exemple, il faut que la fréquence de modulation soit choisie plus faible que la fréquence qui donne un déphasage différentiel de 360° . Cette fréquence de limitation peut être estimée comme suit

$$f_{\max} = \frac{10^{12}}{DGD_{\max}} \quad (\text{Hz}) \quad (30)$$

où $DGD_{\max}$ est la valeur DGD maximale attendue normalement, en ps, à la longueur d'onde λ .

Dans les faits, pour des valeurs du retard de groupe différentiel (DGD) typiques inférieures à 100 ps, $f_{\max} > 10$ GHz dépasse généralement les fréquences pratiques maximales pouvant être générées ou utilisées.

La modulation à la fréquence, f , transmettra des bandes latérales à $\pm f$ Hz hors de la longueur d'onde centrale de la source, et dans certains DUT à bande très étroite, ceci pourrait démontrer une limitation. Pour assurer une mesure de phase précise, il faut que la largeur de bande occupée totale y compris les bandes latérales de la modulation et la largeur de raie de source elle-même soient inférieures ou égales à la largeur de bande du DUT. On choisit normalement la fréquence f qui convient aux circuits électroniques de détection de phase, sans dépasser les limites imposées par la largeur de bande du dispositif. Typiquement f est dans la plage comprise entre 10 MHz et 10 GHz.