

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

61300-3-6

**Edition 1.2
1999-07**

Edition 1:1997 consolidée par les amendements 1:1998 et 2:1999
Edition 1:1997 consolidated with amendments 1:1998 and 2:1999

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

**Partie 3-6:
Examens et mesures –
Puissance réfléchie**

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

**Part 3-6:
Examinations and measurements –
Return loss**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 61300-3-6:1997
+A1:1998+A2:1999

Numéros des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60 000.

Publications 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.

Validité de la présente publication

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 la date de reconfirmation de la publication sont disponibles dans le Catalogue de la CEI.

Les renseignements relatifs à des questions à l'étude et des travaux en cours entrepris par le comité technique qui a établi cette publication, ainsi que la liste des publications établies, se trouvent dans les documents ci-dessous:

- «Site web» de la CEI*
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement (Catalogue en ligne)*
- **Bulletin de la CEI**
Disponible à la fois au «site web» de la CEI* et comme périodique imprimé

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI).

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60027: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*, la CEI 60417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*, et la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas*.

* Voir adresse «site web» sur la page de titre.

Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60 000 series.

Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. 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.

Validity of this publication

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 the date of the reconfirmation of the publication is available in the IEC catalogue.

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 to be found at the following IEC sources:

- **IEC web site***
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates (On-line catalogue)*
- **IEC Bulletin**
Available both at the IEC web site* and as a printed periodical

Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV).

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams*.

* See web site address on title page.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

61300-3-6

**Edition 1.2
1999-07**

Edition 1:1997 consolidée par les amendements 1:1998 et 2:1999
Edition 1:1997 consolidated with amendments 1:1998 and 2:1999

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

**Partie 3-6:
Examens et mesures –
Puissance réfléchie**

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

**Part 3-6:
Examinations and measurements –
Return loss**

© IEC 1999 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
Telefax: +41 22 919 0300

3, rue de Varembé Geneva, Switzerland
e-mail: inmail@iec.ch IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	4
Articles	
1 Généralités	6
1.1 Domaine d'application et objet.....	6
1.2 Référence normative	6
2 Description générale	6
3 Matériel et symboles	8
3.1 Dispositif à l'essai DUT	8
3.2 Mesures avec un dispositif de couplage.....	8
3.3 Mesures avec un OTDR	12
3.4 Mesures avec réflectométrie optique de faible cohérence (OLCR)	12
3.5 Mesures avec un réflectomètre dans le domaine des fréquences optiques (OFDR) ...	16
4 Procédure	18
4.1 Mesure de la puissance réfléchie avec un dispositif de couplage	18
4.2 Mesure de la puissance réfléchie avec un OTDR	24
4.3 Mesure de la puissance réfléchie avec un OLCR	30
4.4 Mesures de la puissance réfléchie avec un OFDR	30
5 Détails à préciser	32
5.1 Mesure de la puissance réfléchie avec un dispositif de couplage	32
5.2 Mesure de la puissance réfléchie avec un OTDR	34
5.3 Mesure de la puissance réfléchie avec un OLCR	34
5.4 Mesures de la puissance réfléchie avec un OFDR	34
Annexe A (normative) Résolution de réponse et résolution de gamme dans les mesures avec un OFDR	38
Annexe B (informative) Comparaison de la puissance réfléchie détectable pour quatre méthodes différentes	40

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
Clause	
1 General.....	7
1.1 Scope and object	7
1.2 Normative reference.....	7
2 General description	7
3 Apparatus and symbols	9
3.1 Device under test DUT	9
3.2 Measurements with a branching device	9
3.3 Measurements with an OTDR.....	13
3.4 Measurements with optical low coherence reflectometry (OLCR)	13
3.5 Measurements with an optical frequency domain reflectometer (OFDR)	17
4 Procedure	19
4.1 Measurement of return loss with a branching device.....	19
4.2 Measurement of return loss with an OTDR	25
4.3 Measurement of return loss with OLCR	31
4.4 Measurements of return loss with OFDR	31
5 Details to be specified	33
5.1 Return loss measurement with a branching device.....	33
5.2 Return loss measurement with an OTDR	35
5.3 Return loss measurement with OLCR	35
5.4 Measurement of return loss with an OFDR	35
Annex A (normative) Response resolution and range resolution in OFDR measurement	39
Annex B (informative) Comparison of return loss detectable by four different methods.....	41

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

Partie 3-6: Examens et mesures – Puissance réfléchie

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale CEI 61300-3-6 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.

La présente version consolidée de la CEI 61300-3-6 est issue de la première édition (1997) [documents 86B/844/FDIS et 86B/945/RVD], de son amendement 1 (1998) [documents 86B/1044/FDIS et 86B/1077/RVD] et de son amendement 2 (1999) [documents 86B/1178/FDIS et 86B/1201/RVD].

Elle porte le numéro d'édition 1.2.

Une ligne verticale dans la marge indique où la publication de base a été modifiée par les amendements 1 et 2.

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

- Partie 1: Généralités et guide
- Partie 2: Essais
- Partie 3: Examens et mesures

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

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

Part 3-6: Examinations and measurements – Return loss

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. The IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 61300-3-6 has been prepared by subcommittee 86B: Fibre optic interconnecting devices and passive components, of IEC technical committee 86: Fibre optics.

This consolidated version of IEC 61300-3-6 is based on the first edition (1997) [documents 86B/844/FDIS and 86B/945/RVD], its amendment 1 (1998) [documents 86B/1044/FDIS and 86B/1077/RVD] and amendment 2 (1999) [documents 86B/1178/FDIS and 86B/1201/RVD].

It bears the edition number 1.2.

A vertical line in the margin shows where the base publication has been modified by amendments 1 and 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

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

Partie 3-6: Examens et mesures – Puissance réfléchie

1 Généralités

1.1 Domaine d'application et objet

La présente partie de la CEI 61300 présente des procédures pour la mesure de la puissance réfléchie d'un dispositif à fibres optiques à l'essai DUT. La puissance réfléchie, telle qu'elle est utilisée dans cette norme, est le rapport de la puissance incidente sur ou à l'entrée du DUT, à la puissance totale réfléchie par le DUT, exprimée en décibels.

La puissance réfléchie est une valeur numérique positive.

Le but de la présente procédure consiste à mesurer les profils de réflexion de dispositifs à fibres optiques monomodes, présentant une définition spatiale micrométrique et une gamme dynamique élevée, en utilisant une interférence optique de faible cohérence.

Le but de la présente procédure consiste à mesurer la puissance réfléchie de dispositifs à fibres optiques monomodes présentant une définition spatiale dans la gamme des centimètres et d'une dynamique élevée, en utilisant un réflectomètre dans le domaine optique des fréquences.

1.2 Référence normative

Le document normatif suivant contient des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente partie de la CEI 61300. Au moment de la publication, l'édition indiquée était en vigueur. Tout document normatif est sujet à révision, et les parties prenantes aux accords fondés sur la présente partie de la CEI 61300 sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer l'édition la plus récente du document normatif indiqué ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 61300-1:1995, *Dispositifs d'interconnexion et composants passifs à fibres optiques – Méthodes fondamentales d'essais et de mesures – Partie 1: Généralités et guide*

2 Description générale

Deux méthodes seront présentées pour la mesure de la puissance optique réfléchie:

- mesure avec un dispositif de couplage BD;
- mesure avec un réflectomètre dans le domaine temporel OTDR.

La mesure avec un dispositif de couplage est la méthode de référence.

Cette procédure additionnelle décrit la mesure des profils de réflexion de dispositifs à fibres optiques monomodes présentant une définition spatiale inférieure à 1 mm et une gamme dynamique supérieure à 90 dB. Le profil de réflexion est défini comme la répartition des réflexions au niveau de faces terminales individuelles et/ou de points connectés dans des dispositifs à fibres optiques monomodes. Lorsque la réflexion au niveau d'un point particulier est $-R$ (dB), la perte par réflexion au niveau de ce point est donnée par R (dB). Cette procédure permet de mesurer la réflexion en un point donné en détectant la puissance d'un signal de battement produit par une interférence optique entre la lumière réfléchie et la lumière de référence. Lorsqu'on analyse un composant avec des réflexions dispersées, chaque réflexion peut être identifiée et localisée, si la séparation entre elles est supérieure à la définition spatiale du système de mesure. Cette méthode est appelée réflectométrie optique de faible cohérence (OLCR).

**FIBRE OPTIC INTERCONNECTING DEVICES AND
PASSIVE COMPONENTS –
BASIC TEST AND MEASUREMENT PROCEDURES –
Part 3-6: Examinations and measurements – Return loss**

1 General

1.1 Scope and object

This part of IEC 61300 presents procedures for the measurement of the return loss of a fibre optic device under test DUT. Return loss, as used in this standard, is the ratio of the power incident on, or entering the DUT, to the total power reflected by the DUT, expressed in decibels.

Return loss is a positive number.

The purpose of this procedure is to measure reflection profiles of single-mode optical devices with a micrometer spatial resolution and a high dynamic range by using optical low coherence interference.

The purpose of this procedure is to measure the return loss of single optical devices with a spatial resolution in the centimetre range and high dynamic range by using an optical frequency domain reflectometer.

1.2 Normative reference

The following normative document contains provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this part of IEC 61300. At the time of publication, the edition indicated was valid. All normative documents are subject to revision, and parties to agreements based on this part of IEC 61300 are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent edition of the normative document indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 61300-1:1995, *Fibre optic interconnecting devices and passive components – Basic test and measurement procedures – Part 1: General and guidance*

2 General description

Two methods will be presented for measuring optical return loss:

- a) measurement with a branching device BD;
- b) measurement with an optical time domain reflectometer OTDR.

Measurement with a BD is the reference method.

This additional procedure describes the measurement of reflection profiles of single-mode optical devices with a spatial resolution of less than 1 mm and a dynamic range greater than 90 dB. The reflection profile is defined as a distribution of reflections at individual endfaces and/or connected points in single-mode optical devices. When the reflection at a particular point is $-R$ (dB), the return loss at this point is given by R (dB). This procedure measures the reflection at a point by detecting the power of a beat signal produced by optical interference between the reflected light and the reference light. When a component with dispersed reflections is analyzed, each reflection can be identified and located, provided their separation is greater than the spatial resolution of the measurement system. This method is called optical low coherence reflectometry (OLCR).

Cette méthode d'essai additionnelle décrit la mesure de la puissance réfléchie d'un dispositif à fibres optiques monomodes avec un réflectomètre dans le domaine des fréquences optiques, OFDR.

L'un des principaux avantages de cette technique est la possibilité de différencier dans l'espace la réflexion désirée des autres réflexions non désirées, telles que toutes celles des connecteurs ou portes sans dispositifs de terminaison du DUT, sans aucune zone morte. De plus, la méthode OFDR est très fiable et le matériel peut être compact, ce qui permet d'éviter toute maintenance. (Dans l'annexe B la comparaison de la puissance réfléchie pour les quatre méthodes est indiquée.)

Le concept de mesure de la technique OFDR peut être décrit comme suit. Le signal modulé en intensité provenant de la source d'onde lumineuse est transmis par le milieu optique, le DUT étant en général composé ou connecté par des fibres optiques, bien qu'il puisse être un environnement à rayon ouvert. Le signal optique incident sur le DUT est de la forme:

$$f(t) = a(t) \cos(\omega t) \quad (1)$$

où

$a(t)$ est la modulation RF;

$\cos(\omega t)$ représente le signal porteur d'onde lumineuse à une longueur d'onde donnée.

Le DUT agit de la même manière sur l'amplitude à la fois de l'enveloppe de modulation et du signal porteur et retarde les deux signaux dans les mêmes proportions, produisant les relations suivantes pour la sortie du DUT:

$$F(t) = |H| a(t + \Delta t) \cos(\omega(t + \Delta t)) \quad (2)$$

où

$|H|$ est l'amplitude de la fonction de transfert du DUT;

$\Delta\varphi = \omega\Delta t$ est la variation de phase de H .

L'influence du DUT est déterminée en mesurant l'enveloppe de modulation.

3 Matériel et symboles

3.1 Dispositif à l'essai DUT

Les deux portes optiques du DUT peuvent être terminées avec des fibres amorce ou avec des connecteurs. Les prises de référence avec amorce et les raccords de référence comme prescrit doivent être raccordés sur ces portes terminées avec le connecteur de façon à former des groupes de connecteurs complets avec fibres amorce. Toutes les portes non utilisées doivent être terminées comme indiqué en 3.2.5.

3.2 Mesures avec un dispositif de couplage

Une liste des éléments d'appareillage et de composants utilisés pour la mesure de la puissance réfléchie mettant en oeuvre un dispositif de couplage est donnée ci-dessous.

3.2.1 Dispositif de couplage BD

Le rapport de division du dispositif de couplage doit être stable. Il doit également être insensible à la polarisation. Il est recommandé que la directivité soit au moins de 10 dB plus élevée que la puissance réfléchie maximale devant être mesurée.

This additional procedure describes the measurement of the return loss of a single-mode optical device with an optical frequency domain reflectometer, OFDR.

One of the prime benefits of this technique is the ability to resolve spatially the desired reflection from undesired ones, such as those of all the connectors or unterminated ports on the DUT, without any dead zone. Moreover, the OFDR method is highly reliable and the apparatus can be compact so as to be maintenance free. (In annex B a comparison of return loss detectable by four different methods is reported.)

The measurement concept of the OFDR technique can be described as follows. The intensity modulated signal from the lightwave source is transmitted through the optical medium, the DUT being most commonly made or connected by optical fibres, although it could be an open-beam environment. The optical signal incident upon the DUT is of the form:

$$f(t) = a(t) \cos(\omega t) \quad (1)$$

where

$a(t)$ is the RF modulation;

$\cos(\omega t)$ represents the lightwave carrier signal at a given wavelength.

The DUT acts on the amplitude of both the modulation envelope and the carrier signal identically and delays both signals by the same amounts, yielding the following relationships for the DUT output:

$$F(t) = |H| a(t + \Delta t) \cos(\omega(t + \Delta t)) \quad (2)$$

where

$|H|$ is the magnitude of the transfer function of the DUT;

$\Delta\varphi = \omega\Delta t$ is the phase variation of H .

The influence of the DUT is determined by measuring the modulation envelope.

3 Apparatus and symbols

3.1 Device under test DUT

The two optical ports of the DUT may be terminated with pigtails, or with connectors. Reference plugs with pigtails and, as required, reference adaptors are to be added to those ports with connector terminations so as to form complete connector assemblies with pigtails. All unused ports shall be terminated as stated in 3.2.5.

3.2 Measurements with a branching device

The following is a list of the apparatus and components used in the measurement of return loss using a branching device.

3.2.1 Branching device BD

The splitting ratio of the BD shall be stable. It shall also be insensitive to polarization. The directivity should be at least 10 dB higher than the maximum return loss to be measured.

3.2.2 Détecteur D_1 , D_2 et D_3

Le détecteur comprend un détecteur optique, les éléments électroniques associés et un moyen de connexion à une fibre optique. Il est permis que la connexion optique soit un réceptacle pour connecteur optique, une fibre amorce ou un adaptateur de fibre nue.

Le détecteur est linéaire. Cependant, toutes les mesures étant différentielles, il n'est pas nécessaire que l'étalonnage soit absolu. Il est recommandé de prendre soin de supprimer la puissance réfléchie par le détecteur D_2 pendant la mesure.

Si pendant la séquence de mesures, un détecteur est déconnecté puis reconnecté, l'efficacité du couplage doit être maintenue pour les deux mesures.

Les caractéristiques suivantes doivent être spécifiées dans la spécification particulière:

- sensibilité maximale à la longueur d'onde de la source;
- linéarité;
- stabilité;
- type de connexion optique.

3.2.3 Sources S_1 et S_2

La source est composée d'un émetteur optique, de l'électronique de commande associée, d'une unité d'excitation et d'un connecteur pour fibre optique ou d'une fibre amorce. Il est permis d'utiliser une seconde source S_2 pour l'étalonnage, comme illustré à la figure 2. Si une seconde source est utilisée, la longueur d'onde centrale et la largeur spectrale de S_2 doivent être les mêmes que celles de S_1 .

Sauf indication contraire, les conditions d'injection doivent être conformes à l'annexe B de la CEI 61300-1.

Les caractéristiques suivantes doivent être spécifiées dans la spécification particulière:

- puissance de sortie;
- stabilité de la puissance;
- longueur d'onde centrale;
- largeur spectrale.

3.2.4 Liaison temporaire TJ

Liaison conçue pour connecter le DUT dans le circuit de mesure. Les liaisons temporaires peuvent être, par exemple, un connecteur, une épissure, un dispositif de succion ou un micromanipulateur. L'atténuation de la TJ doit être stable et la puissance réfléchie recommandée de la TJ est au moins 20 dB plus élevée que la puissance réfléchie maximale devant être mesurée.

Si cette puissance réfléchie est plus élevée que 50 dB, une épissure par fusion est conseillée afin de garantir la précision de mesure recommandée.

3.2.5 Dispositif de terminaison T

Les dispositifs de terminaison des fibres marquées T doivent avoir une puissance réfléchie élevée. Trois types de dispositifs de terminaison sont recommandés:

- extrémités de fibre à angles;
- l'application d'un produit adaptateur d'indice sur l'extrémité de la fibre;
- affaiblissement dans la fibre, par exemple avec un mandrin de serrage.

3.2.2 Detector D_1 , D_2 , and D_3

The detector consists of an optical detector, the associated electronics, and a means of connecting to an optic fibre. The optical connection may be a receptacle for an optical connector, a fibre pigtail or a bare fibre adapter.

The detector is linear. Since all of the measurements are differential, however, it is not necessary that the calibration be absolute. Attention should be taken to suppress the reflected power from the detector D_2 during the measurement.

Where during the sequence of measurements, a detector is disconnected and reconnected, the coupling efficiency for the two measurements shall be maintained.

The following characteristics shall be specified in the detail specification:

- maximum sensitivity at the wavelength of the source;
- linearity;
- stability;
- type of optical connection.

3.2.3 Source S_1 and S_2

The source consists of an optical emitter, associated drive electronics, an excitation unit, and a fibre connector or fibre pigtail. A second source S_2 may be used for calibration, as illustrated in figure 2. Where a second source is used, the central wavelength and spectral width of S_2 shall be the same as S_1 .

Unless otherwise specified the launch conditions shall be in accordance with annex B of IEC 61300-1.

The following characteristics are to be specified in the detail specification:

- power output;
- power stability;
- central wavelength;
- spectral width.

3.2.4 Temporary Joint TJ

A joint that is made to connect the DUT into the measurement circuit. Examples of temporary joints are a connector, splice, vacuum chuck, or micromanipulator. The loss of the TJ shall be stable and the TJ should have a return loss of at least 20 dB greater than the maximum return loss to be measured.

When this return loss is greater than 50 dB, a fusion splice is advised in order to guarantee the prescribed measurement precision.

3.2.5 Terminator T

Fibre terminations marked T shall have a high return loss. Three types of terminations are suggested:

- angled fibre ends;
- the application of an index match material to the fibre end;
- attenuation in the fibre, for example with a mandrel wrap.

Si l'affaiblissement est utilisé comme dispositif de terminaison, il est permis de l'appliquer entre les composants. Par exemple, il est permis d'effectuer la mesure de P_0 de la figure 4 en appliquant un affaiblissement entre TJ_1 et le DUT de la figure 1.

La puissance réfléchie recommandée pour le dispositif de terminaison de la fibre est d'au moins 20 dB plus élevée que la puissance réfléchie maximale devant être mesurée.

Dans le cas où cette puissance réfléchie serait plus élevée que 50 dB, l'«affaiblissement dans la fibre» comme dispositif de terminaison est conseillé afin de garantir la précision de mesure recommandée.

3.3 Mesures avec un OTDR

Une liste des éléments d'appareillage et de composants pour la mesure de la puissance réfléchie mettant en oeuvre un réflectomètre dans le domaine temporel est donnée ci-dessous.

3.3.1 Sections de fibre L_1 , L_2 et L_3

Sections de fibre et liaisons temporaires devant être utilisées pour la mesure avec l'OTDR.

3.3.2 Réflectomètre optique dans le domaine temporel OTDR

Les caractéristiques suivantes de l'OTDR doivent être spécifiées dans la spécification particulière:

- longueur d'onde centrale;
- largeur spectrale;
- durée d'impulsion.

Un atténuateur placé à l'entrée réceptrice de l'OTDR peut être nécessaire pour abaisser la puissance optique à un niveau qui ne sature pas la réception de l'OTDR (voir les considérations sur la précision, en 4.1.6).

3.3.3 Liaisons temporaires TJ

Voir 3.2.4 et 4.2.1.

3.3.4 Ordinateur

La possibilité d'interfacer un ordinateur pour le système d'acquisition de données peut être prescrite (pour la méthode 2).

3.4 Mesures avec réflectométrie optique de faible cohérence (OLCR)

L'appareillage comprend les éléments suivants:

3.4.1 Source lumineuse S

La source est une source lumineuse continue à large bande avec accès de sortie optique.

3.4.2 Dispositif de couplage BD

Le dispositif de couplage sépare la puissance optique entre l'accès d'entrée et les accès de signaux et de référence, et couple les puissances lumineuses entre ces accès et l'accès de sortie.

Where attenuation is used as a termination, it may be applied between components. For example the measurement of P_0 in figure 4 may be made by applying attenuation between TJ₁ and the DUT in figure 1.

The fibre termination should have a return loss of at least 20 dB greater than the maximum return loss to be measured.

When this return loss is greater than 50 dB, the “attenuation in the fibre” termination is advised in order to guarantee the prescribed measurement precision.

3.3 Measurements with an OTDR

The following is a list of the apparatus and components used in the measurement of return loss using an OTDR.

3.3.1 Fibre sections L₁, L₂, and L₃

Sections of fibre and temporary joints that are to be included in an OTDR measurement.

3.3.2 Optical time domain reflectometer OTDR

The following characteristics of the OTDR are to be specified in the detail specification:

- central wavelength;
- spectral width;
- pulse duration.

An attenuator at the OTDR receiver input may be required to drop the optical power to a level that does not saturate the OTDR receiver (see accuracy considerations, 4.1.6).

3.3.3 Temporary joints TJ

See 3.2.4 and 4.2.1.

3.3.4 Computer

Interfaceability with a computer for data acquisition system may be required (for method 2).

3.4 Measurements with optical low coherence reflectometry (OLCR)

The apparatus consists of:

3.4.1 Light source S

The source is a broadband CW light source with a fibre output port.

3.4.2 Branching device BD

The BD splits light power from the input port to the signal and reference ports and couples light power from those ports into output port.

3.4.3 Ligne à retard optique ODL

L'ODL modifie de façon linéaire le temps de retard de la lumière de référence.

Une ODL classique est composée d'un collimateur «L» permettant la mise en parallèle du faisceau lumineux et d'un réflecteur «R» monté sur un étage de transposition.

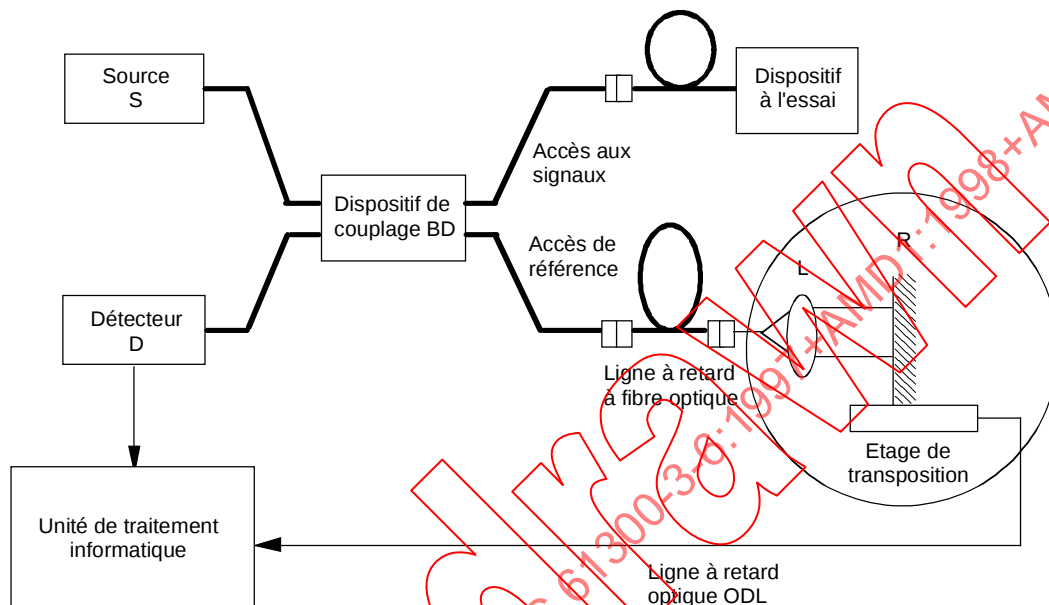


Figure 7 – Exemple de réflectomètre de faible cohérence

3.4.4 Détecteur optique D

Le détecteur doit être connecté à une extrémité de sortie du dispositif de couplage.

On doit utiliser un détecteur présentant une gamme dynamique suffisante. Le courant photo-électrique du détecteur est injecté dans l'unité de traitement informatique.

3.4.5 Interface

L'interface réalise la connexion du système de mesure au dispositif à l'essai DUT.

3.4.6 Unité de traitement informatique

L'unité de traitement informatique collecte et traite les données provenant de D et contrôle le retard optique de la lumière de référence.

La description de l'appareillage donnée à la figure 7 indique seulement le principe correspondant à la méthode.

NOTE Il est nécessaire, pour un système de mesure réel, d'appliquer diverses modifications, par exemple pour réaliser une mesure indépendamment de l'état de polarisation du signal rétro-réfléchi.

3.4.3 Optical delay line ODL

The ODL changes the time delay of the reference light linearly.

A conventional ODL is composed of a collimator "L" to make the light beam parallel and a reflector "R" mounted on a translation stage.

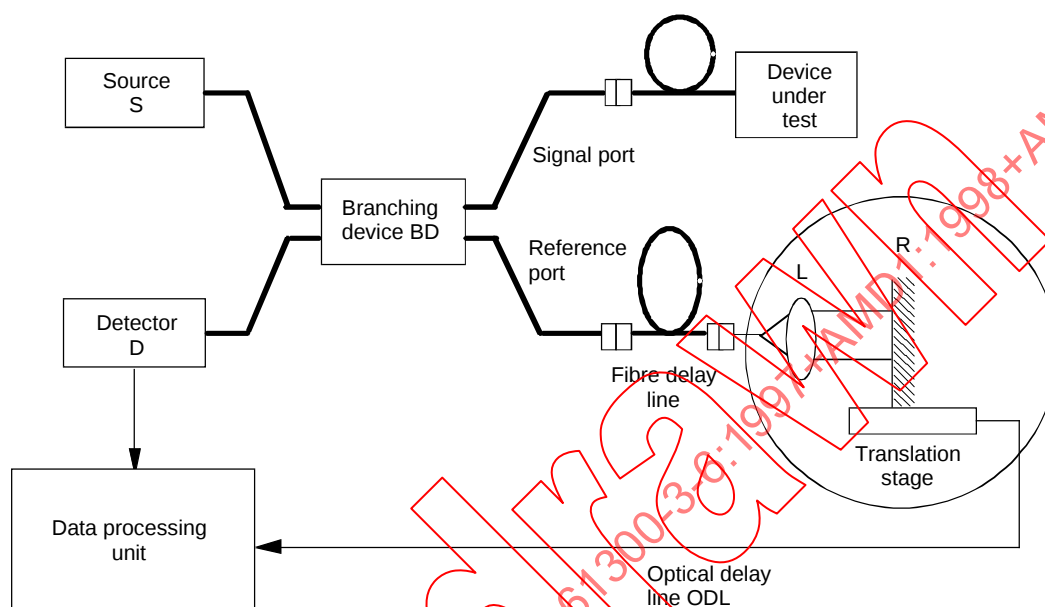


Figure 7 – Example of a low coherence reflectometer

3.4.4 Optical detector D

The detector shall be connected to an output end of the branching device.

A detector shall be used, which has sufficient dynamic range. The photocurrent of the detector is fed into the data processing unit.

3.4.5 Interface

The interface connects the measurement system to the device under test DUT.

3.4.6 Data processing unit

The data processing unit collects and processes data from D and controls the optical delay of the reference light.

The description of the apparatus shown in figure 7 indicates only the principle of the method.

NOTE A practical measuring system needs to use various modifications, for example to make a measurement independently of the state of polarization of the returning signal.

3.5 Mesures avec un réflectomètre dans le domaine des fréquences optiques (OFDR)

Le montage expérimental utilisant l'OFDR est illustré à la figure 8.

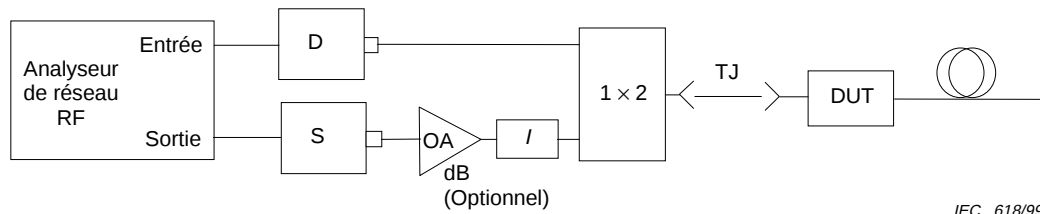


Figure 8 – Montage pour mesures avec un OFDR

Pour mesurer la puissance réfléchie, la micro-onde optique se propage à travers 50 % du BD vers le DUT; ensuite, le signal réfléchi est divisé par le BD et atteint la photodiode. Le récepteur démodule le signal optique et régénère le signal RF. Ainsi, le signal démodulé est comparé en amplitude et en phase avec le signal original (obtenu à partir d'une réflexion connue) par l'analyseur de réseau. En effectuant une transformation inverse de Fourier, qui calcule une représentation temporelle des données vectorielles avec balayage, cette technique permet de différencier dans l'espace les réflexions provenant d'une ligne optique, avec une résolution de quelques centimètres ou moins (voir l'annexe A).

Pour éviter toute dégradation des performances du système due à un retour optique, l'utilisation d'un isolateur optique avant la source optique est recommandée.

3.5.1 Analyseur de réseau

L'analyseur de réseau RF est un analyseur de réseau vectoriel capable de mesurer à la fois l'intensité et la phase de la puissance réfléchie. Il est recommandé de réduire la dérive de fréquence de RF en fonction de la précision de mesure (voir la note de 3.5.7).

3.5.2 Têtes optiques – Source S et récepteur D

Un émetteur optique à la longueur d'onde spécifiée et un détecteur optique, tous deux avec électronique de commande associée correctement et des moyens de connexion à l'analyseur de réseau et aux fibres optiques respectivement. La gamme dynamique du montage doit être au moins supérieure de 5 dB à la RL minimale à mesurer. La gamme dynamique du système est définie comme la différence entre le signal le plus important, c'est-à-dire 0 dB et le signal 3 dB au-dessus du plancher de bruit mesuré dans le domaine temporel.

Il n'est pas exclu que les facteurs suivants donnent lieu à des erreurs et affectent l'incertitude de mesure (voir la note de 3.5.7):

- Dérive de la longueur d'onde du laser avec la température.
- Gamme de puissance réfléchie au-dessus de laquelle le détecteur est linéaire.
- Sensibilité de polarisation.

3.5.3 Amplificateur optique – OA (optionnel)

Il est permis d'ajouter un amplificateur optique, utilisé comme accélérateur, après la source pour augmenter la puissance optique émise et pour accroître la gamme dynamique du matériel.

3.5.4 Isolateur – I (optionnel)

Il est permis de placer un isolateur optique avant la source, s'il n'est pas déjà intégré, pour limiter la puissance réfléchie qui pourrait dégrader les performances de la source.

3.5 Measurements with an optical frequency domain reflectometer (OFDR)

The experimental set-up using the OFDR is illustrated in figure 8.

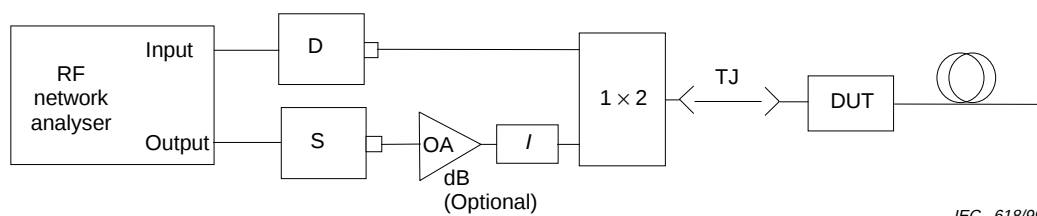


Figure 8 – Set-up for OFDR measurement

For measurement of the return loss, the optically carried microwave propagates through 50 % of the BD to the DUT; then the back-reflected signal is split by the BD and reaches the photodiode. The receiver demodulates the optical signal and recovers the RF signal. Thus, the demodulated signal is compared in magnitude and in phase with the original signal (obtained from a known reflection) by the network analyser. By performing an inverse Fourier transform, which computes a time domain representation of the swept vector data, this technique allows the spatial resolution of the reflections coming back from the optical line, with resolution of a few centimetres or less (see annex A).

To prevent any degradation of the system performances due to optical feedback, the use of an optical isolator in front of the optical source is recommended.

3.5.1 RF network analyser

The RF network analyser is a vector network analyser able to measure both the intensity and the phase of the reflected power. The RF frequency drift should be minimized according to measurement accuracy (see note of 3.5.7).

3.5.2 Optical heads – Source S and receiver D

An optical emitter at the specified wavelength and an optical detector, both with their properly associated drive electronics and means of connecting to the network analyser and to optical fibres, respectively. The dynamic range of set-up shall be at least greater than 5 dB of the minimum RL to be measured. The system dynamic range is defined as the difference between the largest signal, i.e. 0 dB, and the signal 3 dB above the noise floor as measured in the time domain.

The following factors may give rise to a potential source of errors and could affect the measurement uncertainty (see note of 3.5.7):

- Laser wavelength drift with the temperature.
- The range in return loss power over which the detector is linear.
- The polarization sensitivity.

3.5.3 Optical amplifier – OA (optional)

An optical amplifier, used as a booster, may be added after the source in order to increase the emitted optical power and to enhance the dynamic range of the apparatus.

3.5.4 Isolator – I (optional)

An optical isolator may be placed in front of the source, if it is not already built in, in order to limit the reflected power which could degrade the source performances.

3.5.5 Dispositif de couplage – BD

Le rapport de division est de 50 % et le BD est insensible aux variations de polarisation (<0,1 dB).

La directivité du BD peut affecter la précision de la mesure et il est recommandé qu'elle soit spécifiée en conséquence (voir la note de 3.5.7).

3.5.6 Liaison temporaire – TJ

Une liaison est réalisée pour connecter le DUT au dispositif de couplage. On peut citer comme exemples de liaisons temporaires les connecteurs, les épissures ou les micro-manipulateurs. La perte de TJ doit être stable avec une perte d'insertion de préférence meilleure que 0,5 dB. L'espacement entre la TJ et le DUT doit être supérieur à la résolution de la mesure.

3.5.7 Ordinateur

Un ordinateur pour effectuer la transformation inverse de Fourier sur le vecteur de balayage sera nécessaire si l'installation n'est pas incluse dans l'analyseur de réseau.

NOTE L'incertitude totale de la mesure est la somme de tous les facteurs d'incertitude mentionnés ci-dessus. Une approche réaliste suggère une évaluation de chacun de ces facteurs en commençant par l'incertitude totale permise à partir de la mesure, indiquée dans la spécification particulière.

4 Procédure

4.1 Mesure de la puissance réfléchie avec un dispositif de couplage

4.1.1 Procédure de mesure

La mesure de la puissance réfléchie équipée d'un dispositif de couplage est illustrée à la figure 1:

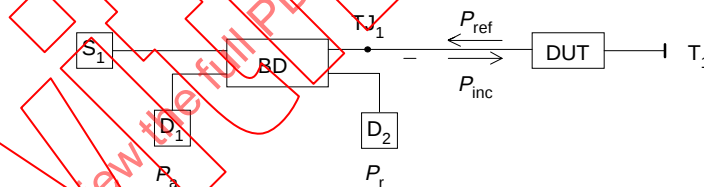


Figure 1 – Montage de mesure de la puissance réfléchie équipée d'un dispositif de couplage

Les valeurs de puissance mesurée P sont en unités linéaires telles que «mW».

La puissance réfléchie, en utilisant les paramètres de la figure 1, est

$$RL = -10 \log (P_a' - P_o') + G \quad (\text{dB}) \quad (1)$$

où

$$P_a' = \frac{P_a}{P_r} \quad \text{est la valeur normalisée de } P_a; \quad (2)$$

P_r (mW) est la puissance de référence;

P_o' est le valeur normalisée de la puissance réfléchie par le système provenant du circuit de mesure (voir équation (7));

G (dB) est la constante du système (voir 4.1.4).

3.5.5 Branching device – BD

The splitting ratio is 50 % and the BD is insensitive to the polarization variations (<0,1 dB).

The directivity of the BD can affect the measurement accuracy and should be specified accordingly (see note of 3.5.7).

3.5.6 Temporary joint – TJ

A joint is made to connect the DUT to the branching device. Examples of TJs are connectors, splices or micro-manipulators. The loss of the TJ shall be stable with an insertion loss preferably better than 0,5 dB. The spacing between the TJ and the DUT shall be higher than the resolution of the measurement.

3.5.7 Computer

A computer for performing the inverse Fourier transform on the swept vector will be required if the facility is not included in the network analyser.

NOTE The total uncertainty of the measurement is the sum of all the uncertainty factors mentioned above. A realistic approach would be to evaluate each of these factors starting with the total uncertainty allowed from the measurement specified in the detail specifications.

4 Procedure

4.1 Measurement of return loss with a branching device

4.1.1 Measurement procedure

The measurement of return loss with a branching device is illustrated in figure 1:

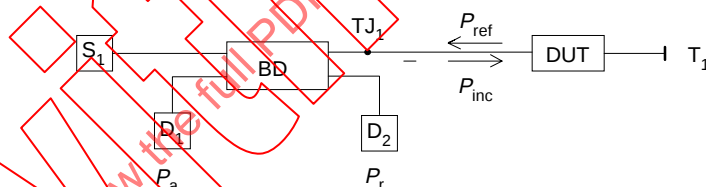


Figure 1 – Measurement set-up of return loss with a branching device

Measured values of power P are in linear units such as "mW".

Return loss using the parameters in figure 1 is

$$RL = -10 \log (P_a' - P_o') + G \quad (\text{dB}) \quad (1)$$

where

$$P_a' = \frac{P_a}{P_r} \quad \text{is the normalized value of } P_a; \quad (2)$$

P_r (mW) is the reference power;

P_o' is the normalized value of the system reflected power originating in the measurement circuit (see equation (7));

G (dB) is the system constant (see 4.1.4).

Dans l'équation (1), P_a' et P_o' ont été normalisés avec P_r . La valeur de P_r utilisée pour normaliser P_a est la valeur de la mesure indiquée à la figure 1. La valeur de P_r utilisée pour normaliser P_o est la valeur de la mesure indiquée à la figure 4. Ceci permet de mesurer P_a et P_o à des temps différents, tandis qu'une dérive de l'amplitude de la source est apparue entre ces mesures.

4.1.2 Définition de la mesure avec dispositif de couplage

La puissance réfléchie dans l'équation (1), est la puissance réfléchie totale entre TJ_1 et T_1 observée depuis TJ_1 .

4.1.3 Définition du circuit avec dispositif de couplage

Le circuit de la figure 1 est représentatif mais n'est pas le seul circuit qui peut être utilisé pour mesurer la puissance réfléchie avec un dispositif de couplage. Les prescriptions consistent en ce que les valeurs mesurées satisfassent aux deux conditions suivantes:

- P_a doit être proportionnel à la puissance réfléchie par le DUT, P_{ref} , plus la puissance réfléchie provenant du circuit de mesure à l'extérieur du DUT, P_o (voir figures 1 et 4).

$$P_a = C_1 P_{ref} + P_o \quad (\text{mW}) \quad (3)$$

- P_r doit être proportionnel à la puissance incidente sur le DUT, P_{inc} (voir figure 1)

$$P_r = C_2 P_{inc} \quad (\text{mW}) \quad (4)$$

où

C_1 est le coefficient de transfert du dispositif de couplage (voir figure 2)

C_2 est le rapport de division du dispositif de couplage (voir figure 3)

4.1.4 Evaluation de la constante du système

Deux méthodes d'évaluation de la constante du système, G , sont présentées.

Méthode A

Remplacer S_1 par un dispositif de terminaison T_2 et connecter la source S_2 . Mesurer P_{aa} . Sans éteindre la source S_2 , couper la fibre à «cp», connecter le détecteur D_3 et mesurer P_b .

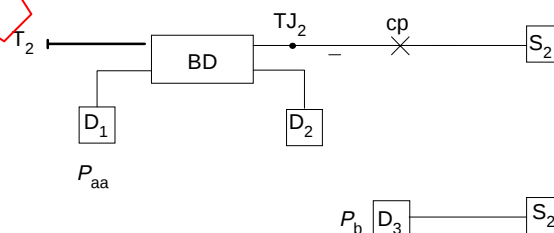


Figure 2 – Montage de mesure du coefficient de transfert du dispositif de couplage

$$C_1 = \frac{P_{aa}}{P_b} \quad (5)$$

Connecter le détecteur D_3 comme indiqué à la figure 3 et mesurer P_c et P_{rr} .

In equation (1), P_a' and P_o' have been normalized with P_r . The value of P_r used to normalize P_a is the value from the measurement illustrated in figure 1. The value of P_r used to normalize P_o is the value from figure 4. This allows the measurements of P_a and P_o to be made at different times, and for drift in the amplitude of the source to have occurred between these measurements.

4.1.2 Definition of the branching device measurement

The return loss in equation (1) is the total return loss between TJ_1 and T_1 as observed from TJ_1 .

4.1.3 Definition of the branching device circuit

The circuit in figure 1 is representative of, but is not the only circuit, that may be used to measure return loss with a branching device. The requirements are that the values measured satisfy the following two conditions:

- P_a shall be proportional to the power reflected from the DUT, P_{ref} , plus the reflected power originating in the measurement circuit outside of the DUT, P_o (see figures 1 and 4).

$$P_a = C_1 P_{ref} + P_o \quad (\text{mW}) \quad (3)$$

- P_r shall be proportional to the power incident on the DUT, P_{inc} , (see figure 1).

$$P_r = C_2 P_{inc} \quad (\text{mW}) \quad (4)$$

where

C_1 is the branching device transfer coefficient (see figure 2)

C_2 is the splitting ratio of the branching device (see figure 3)

4.1.4 Evaluation of the system constant

Two methods for evaluating the system constant G are presented.

Method A

Replace S_1 with a terminator T_2 , and connect source S_2 . Measure P_{aa} . Without turning the source S_2 off, cut the fibre at "cp", connect detector D_3 and measure P_b .

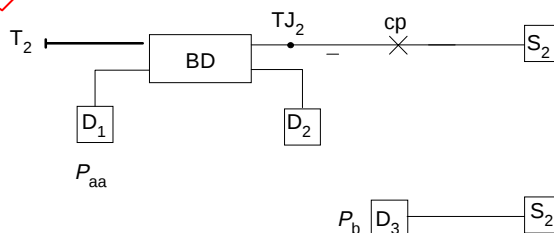


Figure 2 – Measurement set-up of the branching device transfer coefficient

$$C_1 = \frac{P_{aa}}{P_b} \quad (5)$$

Connect detector D_3 as shown in figure 3 and measure P_c and P_{rr} .

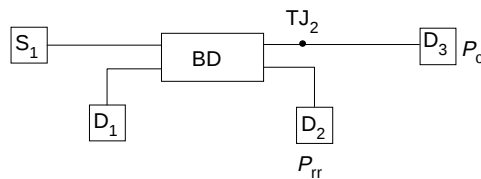


Figure 3 – Montage de mesure du rapport de division du dispositif de couplage

$$C_2 = \frac{P_{rr}}{P_c}$$

La constante du système est

$$G = 10 \log \left[\frac{C_1}{C_2} \right] \quad (\text{dB}) \quad (6)$$

Etalonnage du détecteur – Les différences d'étalonnage des trois détecteurs utilisés disparaîtront si cette procédure est appliquée.

Méthode B

Dans cette méthode, la constante du système G est basée sur un dispositif de terminaison de puissance réfléchie connue R_c .

- Remplacer le DUT de la figure 1 par un dispositif de terminaison de fibre de puissance réfléchie connue.
- Déterminer P_a' à l'aide de l'équation (2).
- Déterminer P_o' à l'aide de l'équation (7).
- Substituer les valeurs de P_a' , P_o' et R_c dans l'équation (1) et évaluer G .

4.1.5 Puissance réfléchie du système

La puissance réfléchie du système P_o est déterminée par une mesure pour laquelle la puissance réfléchie par le DUT a été retirée de la mesure. Ceci peut être accompli soit en remplaçant le DUT par un dispositif de terminaison qui ait une puissance réfléchie élevée ou en créant un fort affaiblissement, à l'aide d'un mandrin de serrage par exemple, entre le DUT et TJ_1 . L'utilisation d'un dispositif de terminaison de puissance réfléchie élevée est illustrée à la figure 4.

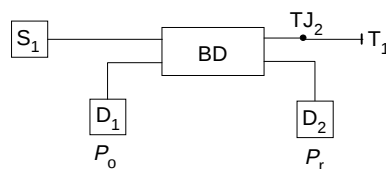


Figure 4 – Utilisation d'un dispositif de terminaison de puissance réfléchie élevée

$$P_o' = \frac{P_o}{P_r} \quad (\text{valeur normalisée de } P_o) \quad (7)$$

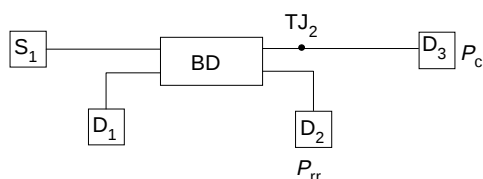


Figure 3 – Measurement set-up of the splitting ratio of the branching device

$$C_2 = \frac{P_{rr}}{P_c}$$

The system constant is

$$G = 10 \log \left[\frac{C_1}{C_2} \right] \quad (\text{dB}) \quad (6)$$

Detector calibration – differences in the calibration of the three detectors that are used will cancel if this procedure is followed.

Method B

In this method, the system constant G is based on a termination of known return loss, R_c .

- Replace the DUT in figure 1 with a fibre termination of known return loss.
- Determine P_a' , equation (2).
- Determine P_o' , equation (7).
- Substitute P_a' , P_o' , and R_c in equation (1) and evaluate G .

4.1.5 System reflected power

System reflected power P_o is determined with a measurement in which the reflected power from the DUT has been removed from the measurement. This may be accomplished either by replacing the DUT with a termination that has high return loss, or by adding a large attenuation, for example a mandrel wrap, between the DUT and TJ_1 . The use of a high return loss termination is illustrated in figure 4.

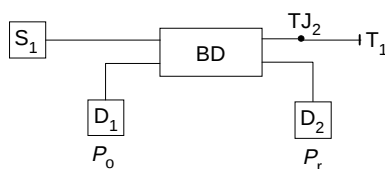


Figure 4 – Use of a high return loss termination

$$P_o' = \frac{P_o}{P_r} \quad (\text{normalized value of } P_o) \quad (7)$$

4.1.6 Considérations sur la précision

Les facteurs suivants constituent des sources potentielles d'erreur de mesure de la puissance réfléchie:

- liaisons temporaires TJ_1 et TJ_2 : l'erreur due à la différence d'atténuation de ces liaisons est deux fois leur différence d'atténuation;
- puissance réfléchie du système: la puissance réfléchie du système P_0 est la puissance transmise au détecteur 1 depuis les sources dans le circuit autres que le DUT (voir figure 1). L'effet qu'ont les erreurs de P_0 sur la puissance réfléchie est une fonction de l'importance de ΔP , la différence entre P_a et P_0 étant exprimée en décibels:

$$\Delta P = 10 \log(P_a) - 10 \log(P_0) \quad (\text{dB}) \quad (8)$$

Pour de grandes valeurs de ΔP , des erreurs relativement importantes de ΔP ont un effet négligeable sur la puissance réfléchie. Par exemple, une erreur de P_0 de 5 dB qui fait passer ΔP de 25 dB à 30 dB produirait une erreur de seulement 0,014 dB sur la puissance réfléchie.

La précision de cette méthode diminue lorsque P_a devient semblable ou inférieur à P_0 .

Aux faibles valeurs de ΔP , cependant, même des erreurs faibles de ΔP sont significatives. Par exemple, une erreur de 0,5 dB qui fait passer ΔP de 0,5 dB à 1,0 dB produirait une erreur de 3,0 dB sur la puissance réfléchie.

Un des objectifs de la conception d'un circuit de mesure de la puissance réfléchie avec dispositif de couplage est de réduire P_0 à la plus faible valeur possible. Les sources de puissance réfléchie dans le circuit de la figure 1 sont:

- a) le dispositif de couplage BD;
- b) le dispositif de terminaison T_1 ;
- c) la fibre située à la droite du coupleur. Une différence de la longueur de fibre à la droite du coupleur modifie la valeur de P_0 ;
- d) la liaison temporaire TJ_1 ;
- e) les détecteurs.

4.2 Mesure de la puissance réfléchie avec un OTDR

4.2.1 Circuit de mesure avec OTDR

Le circuit utilisé pour mesurer la puissance réfléchie avec un OTDR est illustré à la figure 5.

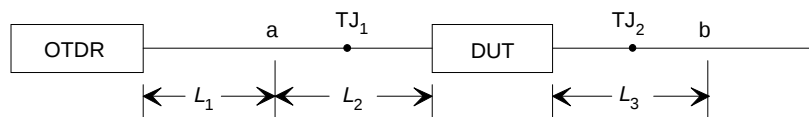


Figure 5 – Montage de mesure de la puissance réfléchie avec un OTDR

La section L_1 est nécessaire pour la plupart des OTDR pour permettre une séparation entre l'OTDR et les événements à mesurer. Les sections L_2 et L_3 offrent l'espace prescrit pour l'OTDR pour permettre la mesure de la puissance réfléchie du DUT. Il est recommandé que la fibre entre les points «a» et «b» ait le même coefficient de rétrodiffusion (voir équation (12)).

4.1.6 Accuracy consideration

The following factors are potential sources of error in the measurement of return loss:

- temporary joints TJ₁ and TJ₂: the error due to a difference in the loss of these joints is twice the difference in their loss;
- system reflected power: the system reflected power P_o is the power reaching detector 1 from sources in the circuit other than the DUT (see figure 1). The effect that errors in P_o have on return loss is a function of the magnitude of ΔP , being the difference between P_a and P_o expressed in decibels:

$$\Delta P = 10 \log(P_a) - 10 \log(P_o) \quad (\text{dB}) \quad (8)$$

At large values of ΔP , relatively large errors in ΔP will have a negligible effect on return loss. For example an error in P_o of 5 dB that changed ΔP from 25 dB to 30 dB would produce an error of only 0,014 dB in return loss.

The accuracy of this method decreases as P_a becomes comparable to or less than P_o .

At small values of ΔP , however, even small errors in ΔP are significant. For example an error of 0,5 dB that changed ΔP from 0,5 dB to 1,0 dB would produce an error of 3,0 dB in return loss.

An objective in the design of a circuit for measuring return loss with a branching device is to reduce P_o to the lowest possible value. Sources of reflected power in the circuit in figure 1 are:

- a) the branching device BD;
- b) the termination T₁;
- c) the fibre to the right of the coupler. A difference in the length of fibre to the right of the coupler will change the value of P_o ;
- d) the temporary joint TJ₁;
- e) the detectors.

4.2 Measurement of return loss with an OTDR

4.2.1 OTDR measurement circuit

The circuit for measuring return loss with an OTDR is illustrated in figure 5.

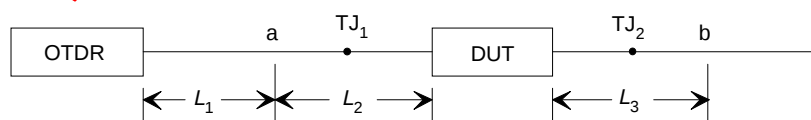


Figure 5 – Measurement set-up of return loss with an OTDR

Section L_1 is required by most OTDRs to provide separation between the OTDR and the events to be measured. Sections L_2 and L_3 provide the space required for the OTDR to resolve the measurement of the return loss of the DUT. The fibre between points "a" and "b" should have the same backscatter coefficient (see equation 12)).

Si le DUT est terminé avec des connecteurs, les connecteurs font partie du DUT, ils se trouvent entre les sections L_2 et L_3 . Si les liaisons temporaires, TJ_1 ou TJ_2 se trouvent entre «a» et «b», il est recommandé que la valeur absolue de la perte de ces liaisons mesurée par une mesure de l'OTDR sur une voie soit inférieure à $0,10 H$, (voir 4.2.3). De manière à obtenir cet objectif, il peut être nécessaire, pour les faibles valeurs de H de travailler avec plusieurs combinaisons différentes de fibre, afin d'adapter les caractéristiques de rétrodiffusion des fibres amorces attachées au DUT.

4.2.2 Définition de la mesure OTDR

La mesure OTDR de la réflexion en un seul point est la réflectance en ce point. S'il y a des réflexions multiples avec une distance suffisante entre elles, l'OTDR mesurera la réflectance des différents points. S'il y a des réflexions multiples rapprochées, l'OTDR mesurera la réflectance efficace de la somme de ces réflexions.

4.2.3 Procédure de mesure

Un tracé OTDR typique de la réponse à une réflexion se produisant en un point est illustré à la figure 6.



Figure 6 – Tracé OTDR typique de la réponse à une réflexion

$$RL = -2H + K - 10 \log (1 - 10^{-2H/10}) \quad (\text{dB}) \quad (9)$$

où

H est la hauteur de l'impulsion de puissance réfléchie sur l'écran de l'OTDR en décibels;

K est une constante qui inclut à la fois la rétrodiffusion de Rayleigh de la fibre et la durée d'impulsion de l'OTDR en décibels.

La plupart des OTDR divisent la puissance du signal réfléchi par deux avant de l'afficher. Dans cette équation, la valeur de l'impulsion affichée sur l'écran de l'OTDR est multipliée par deux pour compenser la division effectuée par l'OTDR.

L'équation (9) peut être simplifiée pour les valeurs élevées de H . L'équation simplifiée est une bonne approximation de la réflectance pour les valeurs de H supérieures à environ 5 dB:

$$RL \approx -2H + K \quad (\text{dB}) \quad (10)$$

4.2.4 Constante du système

Les méthodes A et B ci-dessous sont deux méthodes d'évaluation de la constante du système.

Méthode A – Dispositif de terminaison de puissance réfléchie connue

Mesurer H avec une fibre terminée avec la puissance réfléchie connue R_0 . Substituer les valeurs de H et R_0 dans l'équation (9) ou (10) et déterminer K .

Where the DUT is terminated with connectors, the connectors are part of the DUT, they fall between sections L_2 and L_3 . Where the temporary joints, TJ_1 or TJ_2 fall between "a" and "b" the absolute value of loss of these joints as measured by a one-way OTDR measurement should be less than $0,10 H$ (see 4.2.3). In order to achieve these requirements, for low H values it may be necessary to work with several different fibre combinations to match backscatter characteristics of the pigtails attached to the DUT.

4.2.2 Definition of the OTDR measurement

The OTDR measurement of the reflection at a single point will be the reflectance at the point. Where there are multiple reflections with sufficient distance between them, the OTDR will measure the reflectance of the individual points. Where there are multiple closely spaced reflections the OTDR will measure the effective reflectance of the sum of the reflections.

4.2.3 Measurement procedure

A typical OTDR trace of the response to a reflection occurring at a point is illustrated in figure 6.

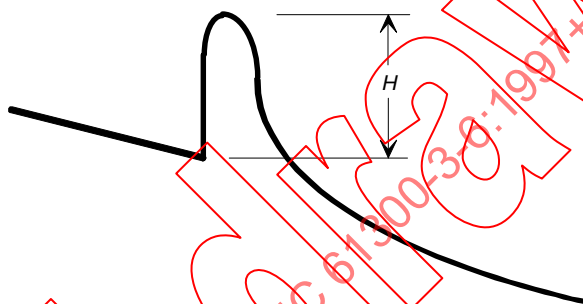


Figure 6 – Typical OTDR trace of the response to a reflection

$$RL = -2H + K - 10 \log (1 - 10^{-2H/10}) \quad (\text{dB}) \quad (9)$$

where

H is the height of the return loss pulse on the OTDR screen in decibels;

K is a constant that includes both the Rayleigh backscattering of the fibre and the OTDR pulse length in decibels.

Most OTDRs divide the power in the return signal by two before displaying it. In this equation, the magnitude of the pulse displayed on the OTDR screen is multiplied by two to compensate for the division that the OTDR has made.

Equation (9) may be simplified for large values of H . The simplified equation is a good approximation for reflectance for values of H larger than about 5 dB:

$$RL \approx -2H + K \quad (\text{dB}) \quad (10)$$

4.2.4 System constant

Methods A and B here below are two methods for evaluating the system constant.

Method A – Termination with a known return loss

Measure H with a fibre terminated with the known return loss, R_0 . Substitute the value of H and R_0 in equation (9) or (10) and determine K .

Méthode B

La constante K peut être évaluée à l'aide de la relation suivante:

$$K = B - 10 \log t \quad (\text{dB}) \quad (11)$$

où

B est la fraction de puissance de l'impulsion qui est rétrodiffusée en décibels.
La valeur de B dépend de la base de temps utilisée pour t ;

t (10^{-9} s) est la durée de l'impulsion de l'OTDR dans la base de temps utilisée.

Les approximations suivantes peuvent être utilisées avec la plupart des fibres monomodes:

$B \cong 80$ (dB) à 1300 nm

$B \cong 82,5$ (dB) à 1550 nm

Les valeurs données ci-dessus pour B correspondent à une base de temps en nanosecondes.

La valeur de B peut être évaluée comme suit:

$$B = R_L - 10 \log(t_b) - 10 \log \left[\frac{\alpha v}{1 - e^{-2\alpha L}} \right] \quad (\text{dB}) \quad (12)$$

où

R_L est la puissance réfléchie d'une longueur de fibre de longueur L ;

α est la constante d'atténuation de la fibre;

v est la vitesse de groupe;

L est la longueur de la fibre,

$t_b = 1$ ns est la base de temps utilisée dans l'équation (11).

R_L est évaluée à l'aide de la procédure de mesure de l'article 4 et une section de longueur de fibre L comme DUT.

Si $\alpha L \ll 1$, l'équation (12) devient

$$B \cong R_L - 10 \log(t_b) - 10 \log \left[\frac{v}{2L} \right] \quad (\text{dB}) \quad (13)$$

Cette approximation est valable pour des fibres monomodes avec $L \ll 1$ km.

4.2.5 Considérations sur la précision

La précision de la mesure de H est particulièrement critique lorsque H est très faible. Par exemple, la différence entre une mesure de $H = 0,5$ dB et $H = 1$ dB correspond à une différence de puissance réfléchie de 3 dB.

La capacité de l'OTDR à mesurer des valeurs élevées de puissance réfléchie implique l'utilisation d'impulsions courtes. Le détecteur doit être capable de répondre avec précision à ces impulsions courtes et les longueurs d'impulsion doivent être précises.

ATTENTION – Pour les impulsions de lumière de courte durée (≤ 1 μ s) la largeur de bande en réponse du détecteur de l'OTDR peut limiter la précision de la mesure. Dans ce cas, la puissance réfléchie devrait être calibrée contre un élément de réflexion de référence.

Method B

The constant K may be evaluated using the following relationship:

$$K = B - 10 \log t \quad (\text{dB}) \quad (11)$$

where

B is the fraction of the power in the pulse that is backscattered in decibels. The value of B is dependent on the time base used for t ;

t (10^{-9} s) is the duration of the OTDR pulse in the time base used.

The following approximations may be used with most single-mode fibres:

$B \cong 80$ (dB) at 1300 nm

$B \cong 82,5$ (dB) at 1550 nm

The values presented above for B are for a time base in nanoseconds.

The value of B may be evaluated as follows:

$$B = R_L - 10 \log(t_b) - 10 \log \left[\frac{\alpha v}{1 - e^{-2\alpha L}} \right] \quad (\text{dB}) \quad (12)$$

where

R_L is the return loss of a length of fibre of length L ;

α is the attenuation constant of the fibre;

v is the group velocity;

L is the length of the fibre,

$t_b = 1$ ns the time base used in equation (11).

R_L is evaluated using the measurement procedure in clause 4 and a section of fibre of length L as the DUT.

Where $\alpha L \ll 1$, equation (12) becomes

$$B \cong R_L - 10 \log(t_b) - 10 \log \left[\frac{v}{2L} \right] \quad (\text{dB}) \quad (13)$$

This approximation is valid for single-mode fibres with $L \ll 1$ km.

4.2.5 Accuracy considerations

Accuracy in the measurement of H is particularly critical when H is very small. For example the difference between a measurement of $H = 0,5$ dB and $H = 1$ dB is a difference in return loss of 3 dB.

The ability of the OTDR to measure high values of return loss is dependent on the use of short pulses. The detector shall be capable of responding accurately to these short pulses and the pulse lengths shall be accurate.

CAUTION – For short light pulses (≤ 1 μ s) the response bandwidth of the OTDR detector can limit the measurement accuracy. In this case, the return loss should be calibrated against a reference back-reflection element.

Les détecteurs de certains OTDR saturent aux grandes valeurs de H de telle sorte que la précision est perdue pour la mesure de faibles valeurs de puissance réfléchie. Ceci peut être compensé en ajoutant un atténuateur variable entre l'OTDR et le DUT. Deux lectures sont effectuées pour mesurer H . Pour la première lecture, l'atténuateur est réglé sur une faible valeur d'atténuation. Pour la deuxième lecture, l'atténuation est augmentée jusqu'au sommet de l'impulsion (voir figure 6) et est amenée au niveau de rétrodiffusion précédant immédiatement l'impulsion lors de la première lecture. La valeur de H est la différence entre les deux réglages de l'atténuateur.

Il est recommandé de spécifier les caractéristiques suivantes de l'OTDR:

- gamme de puissance réfléchie dans laquelle le détecteur est linéaire;
- réponse du détecteur à des impulsions courtes;
- précision de la longueur d'impulsion.

4.3 Mesure de la puissance réfléchie avec un OLCR

4.3.1 Un réflecteur dont la valeur de puissance réfléchie R_0 est connue, est connecté au moyen d'une fibre monomode à l'accès de signaux. R_0 prend une valeur type de 0 dB du fait d'une réflexion totale ou de 15 dB au niveau de la face terminale de la fibre.

4.3.2 Une autre fibre monomode, dont la longueur est approximativement égale à celle d'une fibre monomode type, est connectée (ligne à retard à fibre optique) à un accès de référence.

4.3.3 Le retard optique est modifié de façon linéaire. Dans le cas d'une ODL classique, le réflecteur est transposé à vitesse constante.

4.3.4 La fréquence de détection à la sortie de D est réglée sur la fréquence du signal de battement produit au cours de la transposition en miroir.

4.3.5 La sortie de D est échantillonnée et enregistrée dans l'unité de traitement informatique (dans une unité dB) comme une fonction du retard optique obtenu à partir de la position du réflecteur dans le cas d'une ODL classique. La valeur crête des données est calculée en tant que $-G_0$ (dB) par l'unité de traitement.

4.3.6 Le dispositif à l'essai est connecté à l'accès de signaux à la place du réflecteur connu. Si nécessaire, la fibre monomode connectée à la sortie de référence peut être changée pour être approximativement égale à la longueur de la fibre amorce du dispositif à l'essai.

4.3.7 Une procédure identique à celle décrite de 4.3.3 à 4.3.5 est réalisée de nouveau. A l'issue de cette procédure, la crête du signal en un point donné du dispositif à l'essai est mesurée et représentée par $-G$ (dB).

4.3.8 La puissance réfléchie du DUT est calculée en utilisant les valeurs suivantes:

$$R = R_0 + (G - G_0) \quad (14)$$

4.4 Mesures de la puissance réfléchie avec un OFDR

Le processus de mesure comprend en principe deux étapes:

- a) étalonnage du système;
- b) mesure du DUT par une méthode de substitution.

The detector in some OTDRs saturates at large values of H so that accuracy is lost in measuring small values of return loss. This may be compensated for by adding a variable attenuator between the OTDR and the DUT. Two readings are made to measure H . In the first reading, the attenuator is set at a low value of attenuation. In the second reading, attenuation is increased until the top of the pulse (see figure 6) has been brought to the level that the backscatter was just preceding the pulse in the first reading. The value of H is the difference in the two attenuator settings.

The following features of the OTDR should be specified:

- range in return power over which the detector is linear;
- response of the detector to short pulses;
- accuracy of the pulse length.

4.3 Measurement of return loss with OLCR

4.3.1 A reflector whose return loss value R_0 is known is connected via a length of single-mode fibre to the signal port. A typical value of R_0 is 0 dB due to total reflection, or 15 dB at an endface of the fibre.

4.3.2 Another single-mode fibre, whose length is approximately equal to the standard single-mode fibre, is connected (fibre delay line) to a reference port.

4.3.3 Optical delay is changed linearly. In the case of a conventional ODL, the reflector is translated at a constant speed.

4.3.4 The detection frequency of the output of D is adjusted to the frequency of the beat signal produced during mirror translation.

4.3.5 The output from D is sampled and stored in the data processing unit as a function of the optical delay which is obtained from the position of the reflector in the case of conventional ODL. The peak value of the data is calculated as $-G_0$ (dB) by the processing unit.

4.3.6 The DUT is connected to the signal port in place of the known reflector. If necessary, the single-mode fibre connected to the reference port is changed to be approximately equal to the pigtail length of the DUT.

4.3.7 The same procedure from 4.3.3 to 4.3.5 is carried out again. After completing this procedure, the signal peak for a desired point in the DUT is measured to be $-G$ (dB).

4.3.8 The return loss of the DUT is calculated by using these values as follows:

$$R = R_0 + (G - G_0) \quad (14)$$

4.4 Measurements of return loss with OFDR

Basically the measurement process consists of two steps:

- a) calibration of the system;
- b) measurement of the DUT by a substitution method.

4.4.1 Etalonnage

Effectuer un étalonnage de mesure optique en mesurant un dispositif standard de réflexion connue comme indiqué dans les spécifications applicables. La référence standard la plus pratique est la réflexion de Fresnel d'une fibre unimodale, clivée dans l'air ($\approx 14,6$ dB).

4.4.2 Mesure

Remplacer la réflexion connue par le DUT relié par une TJ et mesurer la puissance réfléchi du DUT en comparant le signal réfléchi avec le signal de référence sur l'analyseur de réseau vectoriel.

Par exemple, certaines données du système sont enregistrées dans le tableau 1.

Tableau 1 – Données et gamme dynamique du système

Puissance de sortie optique	Intervalle de fréquence	Largeur de bande IF	Signal moyen	Etalonnage
-3 dBm	1 GHz	30 Hz	-8	Fresnel

Avec ces données, la gamme dynamique du système de mesure est de ~ 55 dB.

Pour augmenter la gamme dynamique du système, on suggère l'utilisation d'un amplificateur optique à l'extrémité de l'émetteur comme amplificateur de puissance (voir figure 1). Par exemple, en utilisant un amplificateur dopé à l'erbium avec une puissance de sortie de +13 dBm, la gamme dynamique obtenue pour le système est de ~ 71 dB, ce qui permet de mesurer les connecteurs polis avec un angle à terminaison dans l'air.

NOTE Les performances de mesure dépendent de la source d'onde lumineuse et du récepteur utilisés avec l'analyseur de réseau vectoriel. De plus, la dynamique du système et le plancher de bruit dépendent de la routine d'étalonnage et des caractéristiques de traitement du signal utilisées (telles que la largeur de bande IF, le moyennage du signal, le lissage, etc.).

5 Détails à préciser

5.1 Mesure de la puissance réfléchi avec un dispositif de couplage

5.1.1 Dispositif de couplage

- rapport de division;
- directivité.

5.1.2 Détecteur

- sensibilité maximale à la longueur d'onde de la source;
- linéarité;
- stabilité;
- type de connexion optique.

5.1.3 Source

- puissance de sortie;
- stabilité de la puissance;
- longueur d'onde centrale;
- largeur spectrale.

4.4.1 Calibration

Perform an optical measurement calibration by measuring a standard device with a known reflection as specified in the relevant specifications. The most convenient standard reference is the Fresnel reflection of a cleaved single-mode fibre terminated in the air ($\approx 14,6$ dB).

4.4.2 Measurement

Substitute the known reflection with the DUT connected through a TJ and measure the return loss of the DUT by comparing the reflected signal and the reference signal on the vector network analyser.

For example, some system data are reported in table 1.

Table 1 – System data and dynamic range

Optical output power	Frequency span	IF bandwidth	Average signal	Calibration
–3 dBm	1 GHz	30 Hz	8	Fresnel

With these data, the measured system dynamic range is ~ 55 dB.

To increase the system dynamic range, the use of an optical amplifier at the transmitter end as a power amplifier is suggested (see figure 1). For example, by using an erbium doped amplifier with an output power of +13 dBm the achieved system dynamic range is ~ 71 dB which allows the measurement of the angled polished connectors terminated in air.

NOTE Measurement performances are dependent upon the lightwave source and the receiver used with the vector network analyser. In addition, the system dynamic range and the noise floor are dependent on the calibration routine and on the signal processing features used (such as the IF bandwidth, signal averaging, smoothing, etc.).

5 Details to be specified

5.1 Return loss measurement with a branching device

5.1.1 Branching device

- splitting ratio;
- directivity.

5.1.2 Detector

- maximum sensitivity at the wavelength of the source;
- linearity;
- stability;
- type of optical connection.

5.1.3 Source

- power output;
- power stability;
- central wavelength;
- spectral width.

5.1.4 Liaison temporaire

- atténuation maximale;
- puissance réfléchie maximale.

5.1.5 Dispositif de terminaison

- types de dispositif de terminaison;
- puissance réfléchie minimale.

5.2 Mesure de la puissance réfléchie avec un OTDR

Les détails suivants doivent, le cas échéant, être spécifiés dans la spécification particulière:

5.2.1 OTDR

- longueur d'onde centrale;
- largeur spectrale;
- durée d'impulsion;
- atténuateur à l'entrée réceptrice.

5.2.2 L₁, L₂ et L₃

- longueur de chaque section.

5.2.3 Fibre

- type.

5.3 Mesure de la puissance réfléchie avec un OLCR

Les détails suivants, s'ils sont applicables, doivent être spécifiés dans la spécification applicable:

- largeur spectrale et puissance de sortie de la source lumineuse;
- perte excédentaire et variation de la longueur d'onde en fonction du rapport de division de puissance du dispositif de couplage BD;
- retard total (transposition totale de l'étage en ODL classique);
- linéarité du détecteur optique;
- dispersion du guide d'ondes utilisé dans le système de mesure;
- immunité du système de mesure à la polarisation.

5.4 Mesures de la puissance réfléchie avec un OFDR

5.4.1 Analyseur de réseau vectoriel

- Fréquence de démarrage, fréquence d'arrêt
- Intervalle de fréquence
- Transformation du domaine temporel (transformation inverse de Fourier), (optionnel).

5.4.2 Dispositif de couplage

- Déviation du rapport de division de 50 %
- Directivité

5.1.4 Temporary joint

- maximum attenuation;
- maximum return loss.

5.1.5 Termination

- types of termination;
- minimum return loss.

5.2 Return loss measurement with an OTDR

The following details shall, as applicable, be specified in the detail specifications:

5.2.1 OTDR

- central wavelength;
- spectral width;
- pulse duration;
- receiver input attenuator.

5.2.2 L_1 , L_2 , and L_3

- length of each section.

5.2.3 Fibre

- type.

5.3 Return loss measurement with OLCR

The following details, as applicable, shall be specified in the relevant specification:

- spectral width and output power from the light source;
- excess loss and wavelength dependence of the power splitting ratio of the branching device BD;
- total delay (total translation of the stage in conventional ODL);
- linearity of optical detector;
- dispersion of the waveguide used in the measurement system;
- immunity of the measurement system against polarization.

5.4 Measurement of return loss with an OFDR

5.4.1 Vector network analyser

- Start frequency, stop frequency
- Frequency span
- Time domain transform (inverse Fourier transform), (optional).

5.4.2 Branching device

- Splitting ratio deviation from 50 %
- Directivity

5.4.3 Têtes optiques

5.4.3.1 Source

- Longueur d'onde d'émission
- Puissance de sortie
- Stabilité de puissance

5.4.3.2 Détecteur

- Sensibilité du récepteur
- Linéarité
- Stabilité

5.4.3.3 Amplificateur optique (optionnel)

- Gain de saturation

5.4.3.4 Isolateur (optionnel)

- Prescription de puissance réfléchie

5.4.4 Etalonnage

- Routine d'étalonnage
- Réflexion standard

5.4.5 Procédure de mesure

- Prescription de puissance réfléchie
- Précision de puissance réfléchie
- Déviation par rapport à la procédure d'essai

5.4.3 Optical heads

5.4.3.1 Source

- Emitting wavelength
- Output power
- Power stability

5.4.3.2 Detector

- Receiver sensitivity
- Linearity
- Stability

5.4.3.3 Optical amplifier (optional)

- Saturation gain

5.4.3.4 Isolator (optional)

- Return loss requirement

5.4.4 Calibration

- Calibration routine
- Standard reflection

5.4.5 Measurement procedure

- Return loss requirement
- Return loss accuracy
- Deviation from this test procedure

Annexe A (normative)

Résolution de réponse et résolution de gamme dans les mesures avec un OFDR

Les données mesurées dans le domaine des fréquences par l'OFDR sont converties dans le domaine temporel en utilisant la transformation inverse de Fourier. Ainsi, la mesure des distances peut être simplement déduite en utilisant l'indice de réfraction du DUT.

Deux termes différents de résolution peuvent être pris en compte:

- a) résolution de réponse;
- b) résolution de gamme.

La résolution de réponse est la capacité de différencier deux réflexions séparées dans le domaine temporel. La résolution spatiale entre deux réflexions dépend de la fréquence d'intervalle et du filtrage des données dans le domaine des fréquences avant conversion en domaine temporel (fenêtrage).

La résolution de réponse peut être calculée par la formule suivante :

$$\Delta t(\text{réponse}) = \frac{0,6 \times WF}{\Delta F} \quad (\text{A.1})$$

où

WF est le facteur de fenêtrage;

ΔF est l'intervalle de fréquence.

Le fenêtrage est nécessaire car la limitation de bande de la réponse du domaine des fréquences cause des dépassements et des ondulations dans la réponse de domaine temporel (lobes secondaires d'impulsions). Cependant, le fenêtrage améliore la plage dynamique en réduisant les lobes secondaires d'impulsions au détriment de la résolution. Ainsi, on suggère une déduction: par exemple, un intervalle de 1 GHz avec un facteur de fenêtrage de 1,6 produit environ 20 cm de résolution spatiale. La moitié de cet intervalle dégrade la résolution à 40 cm.

La résolution de gamme est la capacité de localiser une réponse unique dans le temps. Elle dépend de l'intervalle de temps et du nombre de points de données dans les domaines des fréquences/de temps.

$$\Delta t(\text{gamme}) = \frac{\Delta T}{n - 1} \quad (\text{A.2})$$

où

ΔT est l'intervalle de temps;

n est le nombre de points de données.

Noter que dans le domaine temporel, l'intervalle de temps ne dépend pas de l'intervalle de fréquence.