NORME INTERNATIONALE

INTERNATIONAL STANDARD

CEI
IEC
61280-2-11

Première édition
First edition
2006-01

Procédures d'essai des sous-systèmes de télécommunications à fibres optiques –

Partie 2-11:
Systèmes numériques – Détermination du facteur de qualité moyenné par l'évaluation d'histogramme d'amplitude pour la surveillance de la qualité des signaux optiques

Fibre optic communication subsystem test procedures –

Part 2-11:
Digital systems – Averaged Q-factor determination using amplitude histogram evaluation for optical signal quality monitoring

© 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 V

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS 6
0 INTRODUCTION 10
0.1 Contexte 10
0.2 Formule du facteur de qualité moyenné 12

1 Domaine d'application 14
2 Références normatives 14
3 Termes et définitions 16
4 Termes abrégés 16
5 Appareillage 16
5.1 Filtre passe-bande optique 18
5.2 Récepteur 18
5.3 Générateur d'impulsions d'horloge 20
5.4 Générateur d'impulsions électriques 20
5.5 Module d'échantillonnage 20
5.6 Circuit de traitement de signal 22
5.7 Paramètres du système de surveillance 22
6 Procédure 22
6.1 Connexions de l'appareillage 22
6.2 Définitions des niveaux de seuil 22
7 Calculs 24

Annexe A (normative) Précision, fiabilité et sensibilité de mesure 32
Annexe B (informative) Diaphonie et désaccord de fréquence d'un filtre passe-bande optique 38
Annexe C (normative) Limite la plus élevée de Q_{avg} 46
Annexe D (informative) Dépendance vis-à-vis du débit binaire 50
Annexe E (informative) Dépendance vis-à-vis du format 52
Annexe F (informative) Dépendance de $Q_{avg,}$ $\sigma_{1,avg,}$ $|\mu_{1,avg} - \mu_{0,avg}|$, et Q vis-à-vis de la dispersion chromatique et de l'OSNR 56
Annexe G (informative) Relation entre Q_{ave} et Q et déficience de PMD 60

Bibliographie 64

Figure 1 – Diagramme de l'œil asynchrone et histogramme d'amplitude 12
Figure 2 – Configuration de mesure du facteur de qualité moyenné 18
Figure 3 – Dépendance de Qavg vis-à-vis de Q pour différentes valeurs de α, lorsque T_r=1/4 × T_{slot} s, B_{re}=0,75× B Hz, B_{opt}= 4 × B Hz, T_{res}=1/256 × T_{slot}s, N_{samp} = 16 384 (214) 28
Figure 4 – Dépendance de R vis-à-vis de α, lorsque T_r = 1/4 × T_{slot} s, B_{re} = 0,7 × B Hz, B_{opt} = 4 × B Hz, T_{res} = 1/256 × T_{slot} s, N_{samp} = 16 384 (2^{14}) 28
Figure 5 – Dépendance de la valeur optimale de α vis-à-vis de B_{opt}, lorsque T_r = 1/4×T_{slot} s, B_{re} = 0,75×B Hz, T_{res} = 1/64×T_{slot} s, N_{samp} = 16 384(2^{14}) 30

CONTENTS

FOREWORD 7
0 INTRODUCTION 11
0.1 Background 11
0.2 Averaged Q-factor formula 13

1 Scope 15
2 Normative references 15
3 Terms and definitions 17
4 Abbreviated terms 17
5 Apparatus 17
5.1 Optical bandpass filter 19
5.2 Receiver 19
5.3 Clock oscillator 21
5.4 Electrical pulse generator 21
5.5 Sampling module 21
5.6 Signal processing circuit 23
5.7 Monitoring system parameters 23
6 Procedure 23
6.1 Equipment connections 23
6.2 Threshold level definitions 23
7 Calculations 25

Annex A (normative) Measurement accuracy, reliability, and sensitivity 33
Annex B (informative) Crosstalk and frequency detuning of optical bandpass filter 39
Annex C (normative) Highest limit of Q_{avg} 47
Annex D (informative) Bit rate dependence 51
Annex E (informative) Format dependence 53
Annex F (informative) Dependence of $Q_{avg,}$ $\sigma_{1,avg,}$ $|\mu_{1,avg} - \mu_{0,avg}|$, and Q on chromatic dispersion and OSNR 57
Annex G (informative) Relationship between Q_{ave} and Q with PMD impairment 61

Bibliography 65

Figure 1 – Asynchronous eye-pattern and amplitude histogram 13
Figure 2 – Averaged Q-factor measurement configuration 19
Figure 3 – Dependence of Q_{avg} on Q for different α, when T_r = 1/4 × T_{slot} s, B_{re} = 0,75 × B Hz, B_{opt} = 4 × B Hz, T_{res} = 1/256 × T_{slot} s, N_{samp} = 16 384 (2^{14}) 29
Figure 4 – Dependence of R on α, when T_r = 1/4 × T_{slot} s, B_{re} = 0,7 × B Hz, B_{opt} = 4 × B Hz, T_{res} = 1/256 × T_{slot} s, N_{samp} = 16 384 (2^{14}) 29
Figure 5 – Dependence of optimum value of α on B_{opt}, when T_r = 1/4 × T_{slot} s, B_{re} = 0,75 × B Hz, T_{res} = 1/64 × T_{slot} s, N_{samp} = 16 384(2^{14}) 31

Figure A.1 – Définition de ΔQ_{avg} et ΔQ 32

Figure A.2 – Dépendance de l'écart type de Q_{avg} vis-à-vis de N_{samp}: T_r = 1/4 × T_{slot} s, B_{re} = 0,7× B Hz, B_{opt} = 4× B Hz, T_{res} = 1/256 × T_{slot} s, α = 0,3, Q = 16dB (BER~10^{-10}) 34

Figure A.3 – Dépendance de la *pente* d'adaptation linéaire de Q_{avg} par rapport à Q sur B_{opt}: T_r = 1/4 × T_{slot} s, B_{re} = 0,7 × B Hz, T_{res} = 1/256 × T_{slot} s, α = 0,3 36

Figure A.4 – Dépendance de l'écart type des huit points de mesure de Q_{avg} vis-à-vis de T_{res}: T_r = 1/4 × T_{slot} s, B_{re} = 0,75 × B Hz, B_{opt} = 4 × B Hz, N_{samp} = 16 384(2^{14}), α = 0,3, Q = 16 dB (BER ~ 10^{-10}) 36

Figure B.1 – Définition du signal MLO (WDM, *wavelength-division multiplexing* = multiplexage en longueur d'onde) et de la réponse en fréquence OBPF 38

Figure B.2 – Dépendance Δf_{obpf} de Q et Q_{avg} pour une valeur Δf_{WDM} de 100 GHz(a), 50 GHz(b) et 25 GHz(c) 40

Figure B.3 – Définition du désaccord de fréquence centrale OBPF δf_c 42

Figure B.4 – dépendance δf_c de Q_{avg} pour Δf_{WDM} de 100 GHz(a), 50 GHz(b) et 25 GHz(c) 44

Figure C.1 – Dépendance de Q_{avg} vis-à-vis de Q lorsque B est de 10 Gbit/s: T_r = 1/4 × T_{slot} s, B_{re} = 0,75 x B Hz, B_{opt} = 4 x B GHz, T_{res} = 1/256 × T_{slot} s, N_{samp} = 16 384(2^{14}), α = 0,3 46

Figure C.2 – Dépendance de la limite la plus élevée de Q_{avg} au moment du temps de montée après le convertisseur O/E 48

Figure D.1 – Exemple de relation entre Q_{avg} et Q pour différents débits binaires 50

Figure E.1 – Dépendance de Q_{avg} vis-à-vis de Q lorsque D = 0 ps/nm, R_{duty} = 0,4, B_{re} = 0,6 × B Hz, B_{opt} = 240 GHz, T_{res} = 1/64×T_{slot} s, N_{samp} = 16 384(2^{14}) et α = 0,2 ou 0,3 52

Figure E.1 – Dépendance de Q_{avg} vis-à-vis de Q lorsque D = 1 020 ps/nm, R_{duty} = 0,4, B_{re}= 0,6 × B Hz, B_{opt} = 240 GHz, T_{res} = 1/64 × T_{slot} s, N_{samp} = 16 384(2^{14}) et α = 0,2 ou 0,3 54

Figure F.1 (a) Dépendance vis-à-vis de la dispersion chromatique et (b) dépendance OSNR de σ_1, μ_1-μ_0 et Q_{avg} pour des signaux optiques NRZ de 10-Gbit/s lorsque B_{opt} est de 40 GHz et α de 0,3 56

Figure F.2 (a) Dépendance vis-à-vis de la dispersion chromatique et (b) dépendance OSNR de σ_1, μ_1-μ_0 et Q_{avg} pour des signaux optiques NRZ de 10-Gbit/s lorsque B_{opt} est de 240 GHz et α de 0,2 56

Figure G.1 – Dépendance de Q_{avg} vis-à-vis de Q lorsque le DGD moyen = 30 ps 60

Figure G.2 – Histogramme de Q_{avg} lorsque Q est compris entre 18,5 dB et 18,7dB 62

Tableau 1 – Paramètres du système de surveillance 22

Tableau D.1 – Valeurs de T_r, B_{re}, B_{opt} et T_{res} 50

Figure A.1 – Definition of ΔQ_{avg} and ΔQ 33
Figure A.2 – Dependence of the standard deviation of Q_{avg} on N_{samp}: T_r = 1/4 × T_{slot} s, B_{re} = 0,7× B Hz, B_{opt} = 4 × B Hz, T_{res} = 1/256 × T_{slot} s, α = 0,3, Q = 16 dB (BER~10^{-10}) 35
Figure A.3 – Dependence of linear fitting $slope$ of Q_{avg} versus Q on B_{opt}: T_r = 1/4 × T_{slot} s, B_{re} = 0,7 × B Hz, T_{res} = 1/256 × T_{slot} s, α = 0,3 37
Figure A.4 – Dependence of the standard deviation of eight measurement points of Q_{avg} on T_{res}: T_r = 1/4 × T_{slot} s, B_{re} = 0,75 × B Hz, B_{opt} = 4 × B Hz, N_{samp} = 16 384(2^{14}), α = 0,3, Q = 16 dB (BER ~ 10^{-10}) 37
Figure B.1 – Definition of WDM signal and OBPF frequency response 39
Figure B.2 – Δf_{obpf} dependence of Q and Q_{avg} for Δf_{WDM} of 100 GHz(a), 50 GHz(b), and 25 GHz(c) 41
Figure B.3 – Definition of OBPF central frequency detuning δf_c 43
Figure B.4 – δf_c dependence of Q_{avg} for Δf_{WDM} of 100 GHz(a), 50 GHz(b), and 25 GHz(c) 45
Figure C.1 – Dependence of Q_{avg} on Q when B is 10 Gbit/s: T_r = 1/4 × T_{slot} s, B_{re} = 0,75 x B Hz, B_{opt} = 4 x B GHz, T_{res} = 1/256 × T_{slot} s, N_{samp} = 16 384(2^{14}), α = 0,3 47
Figure C.2 – Dependence of the highest limit of Q_{avg} on rise time after O/E converter 49
Figure D.1 – Example of relationship between Q_{avg} and Q for different bit rates 51
Figure E.1 – Dependence of Q_{avg} on Q when D = 0 ps/nm, R_{duty} = 0,4, B_{re} = 0,6 × B Hz, B_{opt} = 240 GHz, T_{res} = 1/64 × T_{slot} s, N_{samp} = 16 384(2^{14}) and α = 0,2 or 0,3 53
Figure E.2 – Dependence of Q_{avg} on Q when D = 1 020 ps/nm, R_{duty} = 0,4, B_{re}= 0,6 × B Hz, B_{opt} = 240 GHz, T_{res} = 1/64 × T_{slot} s, N_{samp} = 16 384(2^{14}) and α = 0,2 or 0,3 55
Figure F.1 (a) Chromatic dispersion dependence and (b) OSNR dependence of σ_1, μ_1-μ_0 and Q_{avg} for 10-Gbit/s NRZ optical signals when B_{opt} is 40 GHz and α is 0,3 57
Figure F.2 (a) Chromatic dispersion dependence and (b) OSNR dependence of σ_1, μ_1-μ_0 and Q_{avg} for 10-Gbit/s NRZ optical signals when B_{opt} is 240 GHz and α is 0,2 57
Figure G.1 – Dependence of Q_{avg} on Q when mean DGD = 30 ps 61
Figure G.2 – Histogram of Q_{avg} when Q ranges from 18,5 dB to 18,7dB 63

Table 1 – Monitoring system parameters 23
Table D.1 – Values of T_r, B_{re}, B_{opt} and T_{res} 51

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

PROCÉDURES D'ESSAI DES SOUS-SYSTÈMES DE TÉLÉCOMMUNICATIONS À FIBRES OPTIQUES –

Partie 2-11: Systèmes numériques – Détermination du facteur de qualité moyenné par l'évaluation d'histogramme d'amplitude pour la surveillance de la qualité des signaux optiques

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 intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
3) Les publications CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et elles 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. Toute divergence entre toute Publication de la CEI et toute publication nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
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.

La Commission Électrotechnique Internationale (CEI) attire l'attention sur le fait qu'il est déclaré que la conformité avec les dispositions du présent document peut impliquer l'utilisation d'un brevet intéressant la détermination du facteur de qualité moyenné.

La CEI ne prend pas position quant à la preuve, à la validité et à la portée de ces droits de propriété.

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

NTT Corporation
Tokyo
Japon

L'attention est d'autre part attirée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété autres que ceux qui ont été mentionnés ci-dessus. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de l'identification de ces droits de propriété en tout ou partie.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

FIBRE OPTIC COMMUNICATION SUBSYSTEM TEST PROCEDURES –

Part 2-11: Digital systems – Averaged Q-factor determination using amplitude histogram evaluation for optical signal quality monitoring

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.

The International Electrotechnical Commission (IEC) draws attention to the fact that it is claimed that compliance with this document may involve the use of a patent concerning the averaged Q-factor measurement.

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

The holders of this patent right have assured the IEC that they are willing to negotiate licenses under reasonable and non-discriminatory terms and conditions with applicants throughout the world. In this respect, the statement of the holder of this patent right is registered with the IEC. Information may be obtained from:

NTT Corporation
Tokyo
Japan

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

La Norme internationale CEI 61280-2-11 a été établie par le sous-comité 86C: Systèmes et dispositifs actifs à fibres optiques, du comité d'études 86 de la CEI: Fibres optiques.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
86C/682/FDIS	86C/687/RVD

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

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

La CEI 61280 comprend les parties suivantes, sous le titre général *Procédures d'essai des sous-systèmes de télécommunication à fibres optiques*[1)]:

Partie 1: Sous-systèmes généraux de télécommunication [2)]

Partie 2: Systèmes numériques [3)]

Partie 4: Installation de câbles et liens [4)]

La Partie 3 est en préparation.

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.

---

1) Le titre général de la série CEI 61280 a changé. D'autres parties ont été publiées dans le passé sous le titre général *Procédures d'essai de base des sous-systèmes de télécommunication à fibres optiques*

2) Le titre de la Partie 1 a changé. Les Parties 1–1 et 1–3 ont été publiées sous le titre *Procédures d'essai des sous–systèmes généraux de télécommunication*.

3) Le titre de la Partie 2 a changé. Les Parties 2–1, 2–2, 2–4 et 2–5 ont été publiées sous le titre *Procédures d'essai des systèmes numériques*.

4) Le titre de la Partie 4 a changé. La Partie 4–2 a été publiée sous le titre *Installation de câbles à fibres optiques*.

International Standard IEC 61280-2-11 has been prepared by subcommittee 86C: Fibre optic systems and active devices, of IEC technical committee 86: Fibre optics.

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

FDIS	Report on voting
86C/682/FDIS	86C/687/RVD

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

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

IEC 61280 consists of the following parts under the general title *Fibre optic communication subsystem test procedures* [1)]:

Part 1: General communication subsystems [2)]

Part 2: Digital systems [3)]

Part 4: Cable plant and links [4)]

Part 3 is in preparation.

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.

---

1) The general title of the IEC 61280 series has changed. Previous parts were published under the general title *Fibre optic communication subsystem basic test procedures*

2) The title of Part 1 has changed. Parts 1–1 and 1–3 were published under the title *Test procedures for general communication subsystems.*

3) The title of Part 2 has changed. Parts 2–1, 2–2, 2–4 and 2–5 were published under the title *Test procedures for digital systems.*

4) The title of Part 4 has changed. Part 4–2 was published under the title *Fibre optic cable plant*.

0 INTRODUCTION

0.1 Contexte

La surveillance de la qualité des signaux est un aspect important pour le fonctionnement et la maintenance des réseaux de transport optiques (Optical Transport Networks – OTN). Du point du vue de l'opérateur du réseau, les techniques de surveillance sont nécessaires pour l'établissement d'accords portant sur les connexions, la protection, le rétablissement et/ou le niveau de service. Pour établir ces fonctions, il convient que les techniques de surveillance utilisées soient conformes à certaines exigences générales: mesures (non intrusives) en service, détection de la détérioration des signaux (à la fois dégradation du SNR et distorsion de la forme d'onde), isolation des défauts (localisation de sections ou de nœuds affectés), transparence et hiérarchisation (quels que soient le débit binaire de signal et les formats de signaux) et simplicité (petite taille et faible coût).

Il existe plusieurs approches, tant par des techniques analogiques que numériques, qui permettent de détecter différentes déficiences: estimation du taux d'erreur binaire (bit error rate – BER) [1,2], détection de blocs d'erreur, mesure de la puissance optique, évaluation du SNR optique avec mesure de spectre [3, 4], détection de ton pilote [5,6], surveillance du facteur de qualité [7], estimation de pseudo BER en utilisant deux circuits de décision [8,9] et évaluation par histogrammes avec mesure du diagramme de l'œil synchrone [10]. Un des paramètres fondamentaux de surveillance des performances de tout système de transmission numérique est son BER de bout en bout.

Toutefois, le BER ne peut être évalué correctement qu'avec des mesures de BER de services extérieurs en utilisant une représentation de bit d'essai connue à la place du signal réel.

Par ailleurs, la mesure en service ne peut donner que des estimations grossières par la mesure des paramètres numériques (par exemple, estimation du BER, détection de blocs d'erreur et comptage des erreurs dans les auto-corrections) ou des paramètres analogiques (par exemple SNR optique et facteur de qualité).

On a beaucoup attendu et étudié certaines méthodes de surveillance de la qualité des signaux qui offrent une bonne mesure de la qualité de signal sans la complexité de terminaison. Lorsque le BER du système est trop faible pour être mesuré dans un laps de temps raisonnable, il est utile d'adopter les mesures du facteur de qualité. Toutefois, toutes les méthodes fondées sur l'échantillonnage nécessitent la synchronisation puis une analyse ce qui les rend similaires à la terminaison liée aux protocoles en termes de coût et de complexité. En fait, l'échantillonnage synchrone exige une extraction temporelle avec des équipements complexes qui sont spécifiques à chaque BER et chaque format.

Récemment, la situation décrite ci-dessus a heureusement commencé à changer. Une méthode par histogramme simple et asynchrone a été développée pour la mesure du facteur de qualité [11],[12]. Différents types de dégradations (c'est-à-dire dégradation SNR et distorsion de longueur d'onde due à la dispersion chromatique) peuvent être surveillés [13], fournissant ainsi des informations sur l'origine des dégradations [14]. L'échantillonnage asynchrone permet une surveillance du facteur de qualité indépendamment du débit binaire et le même équipement couvre les débits binaires jusqu'à 160 Gbit/s [15]. En outre, la surveillance est appliquée à la fois aux signaux optiques NRZ et RZ [11], et elle est indépendante du débit binaire et du format de signal utilisés par la voie multiplexée par répartition en longueur d'onde (wavelength division multiplexed – WDM) [16]. La surveillance des performances peut être réalisée en différents points de surveillance comme au niveau des répéteurs de lignes optiques, des régénérateurs ou des points de commutation optiques (nécessite une pré-mesure) [17]. En d'autres termes, cette méthode est censée être appliquée aux points de surveillance pour lesquels la terminaison électrique est impossible. Si on envisage le réseau tout optique du futur, un point de commutation optique possède une surveillance des performances sans régénération électrique.

La mesure du facteur de qualité moyenné, Q_{avg}, par un échantillonnage asynchrone constitue une alternative rentable aux mesures de BER. Cela constitue une des approches prometteuses de surveillance des performances pour les systèmes de transmission optique à

0 INTRODUCTION

0.1 Background

Signal quality monitoring is an important issue for operation and maintenance of optical transport networks (OTN). From the network operator's point of view, monitoring techniques are required to establish connections, protection, restoration, and/or service level agreements. In order to establish these functions, the monitoring techniques used should satisfy some general requirements: in-service (non-intrusive) measurement, signal deterioration detection (both SNR degradation and waveform distortion), fault isolation (localize impaired sections or nodes), transparency and scalability (irrespective of the signal bit rate and signal formats), and simplicity (small size and low cost).

There are several approaches, both analog and digital techniques, that make it possible to detect various impairments: bit error rate (BER) estimation [1,2], error block detection, optical power measurement, optical SNR evaluation with spectrum measurement [3, 4], pilot tone detection [5,6], Q-factor monitoring [7], pseudo BER estimation using two decision circuits [8,9], and histogram evaluation with synchronous eye diagram measurement [10]. A fundamental performance monitoring parameter of any digital transmission system is its end-to-end BER. However, the BER can be correctly evaluated only with outside service BER measurements, using a known test bit pattern in place of the real signal. On the other hand, in-service measurement can only provide rough estimates through the measurement of digital parameters (e.g., BER estimation, error block detection, and error count in forward error correction) or analog parameters (e.g., optical SNR and Q-factor).

What has been much desired and studied is some methods for signal quality monitoring that will provide a good measure of signal quality without the complexity of termination. When the system BER is too low to be measured within a reasonable length of time, it is useful to adopt Q-factor measurements. However, all sampling-based methods require synchronization and then some analysis, which makes them similar to protocol-aware termination in terms of cost and complexity. In fact, synchronous sampling requires timing extraction by complex equipment that is specific to each BER and each format.

The above situation has, fortunately, very recently begun to change. A simple, asynchronous histogram method was developed for Q-factor measurement [11],[12]. Different degradation types (i.e., SNR degradation and wavelength distortion due to chromatic dispersion) can be monitored [13], thus providing information about the origin of the degradations [14]. Asynchronous sampling allows bit-rate independent Q-factor monitoring, and the same equipment covers bit rates of up to 160 Gbit/s [15]. Moreover, the monitoring is applied to both NRZ and RZ optical signals [11], and is independent of the bit rate and signal format used by the wavelength division multiplexed (WDM) channel [16]. Performance monitoring can be performed at different monitoring points such as optical line repeaters, regenerators, or optical switching nodes (requires pre-measurement) [17]. In other words, this method is expected to be applied to the monitoring points where electrical termination is impossible. If we think of the future all-optical network, an optical switching node has performance monitoring without electrical regeneration.

Average Q-factor, Q_{avg}, measurement through asynchronous sampling is a cost-effective alternative to BER measurements. This is one of the promising performance-monitoring approaches for intensity modulated direct detection (IM-DD) optical transmission systems. This method can be utilized for monitoring both relative and absolute values of optical signal quality.

détection directe et modulée en intensité (intensity modulated direct detection – IM-DD). Cette méthode peut être utilisée pour la surveillance à la fois des valeurs relatives et absolues de la qualité des signaux optiques.

Avec le facteur de qualité moyenné obtenu à partir des paramètres de l'histogramme d'amplitude (écart type et niveau moyen), l'effet total des dégradations de qualité du signal optique dû à l'intégralité des causes (comme l'ASE et la dispersion chromatique) peut être surveillé. Compte tenu du schéma d'échantillonnage asynchrone, le facteur de qualité moyenné n'est pas sensible aux variations de qualité du signal optique créées par l'instabilité de synchronisation. Les sections suivantes définissent le facteur de qualité moyenné et donnent une procédure pour mesurer la qualité du signal optique par le facteur de qualité moyenné. Avec les paramètres d'histogramme d'amplitude, il est également possible de distinguer les origines de la dégradation du BER (dégradation du SNR, distorsion de la forme d'onde). Les informations concernant la dépendance des paramètres d'histogramme d'amplitude vis-à-vis du OSNR et de la dispersion chromatique sont données à l'Annexe F (informative).

0.2 Formule du facteur de qualité moyenné

La Figure 1 utilise un diagramme de l'œil asynchrone type et son histogramme d'amplitude obtenu par l'échantillonnage optique asynchrone pour illustrer le principe de la méthode. Parmi les points d'échantillonnage qui constituent l'histogramme, il est déterminé que les points dont le niveau est supérieur à un niveau de seuil prédéterminé μ_{th1}, appartiennent au niveau «Marque» (c'est-à-dire, «1»), tandis que les points dont le niveau est inférieur au niveau de seuil prédéterminé, μ_{th0}, appartiennent au niveau «Espace» (c'est-à-dire, «0»).

Le facteur de qualité moyenné, Q_{avg}, est défini par

$$Q_{avg} = |\mu_{1,avg} - \mu_{0,avg}|/(\sigma_{1,avg} + \sigma_{0,avg}) \quad (1)$$

où $\mu_{i,avg}$ et $\sigma_{i,avg}$ sont l'écart moyen et l'écart type des distributions de niveau Marque (i = 1) et Espace (i = 0), respectivement [12-17]. Les données obtenues par échantillonnage asynchrone comprennent les données des points de croisement involontaires dans le diagramme de l'œil qui réduisent la valeur mesurée du facteur de qualité moyenné. Les deux niveaux de seuil sont fixés (μ_{th1} et μ_{th0}) pour éliminer les données de point de croisement.

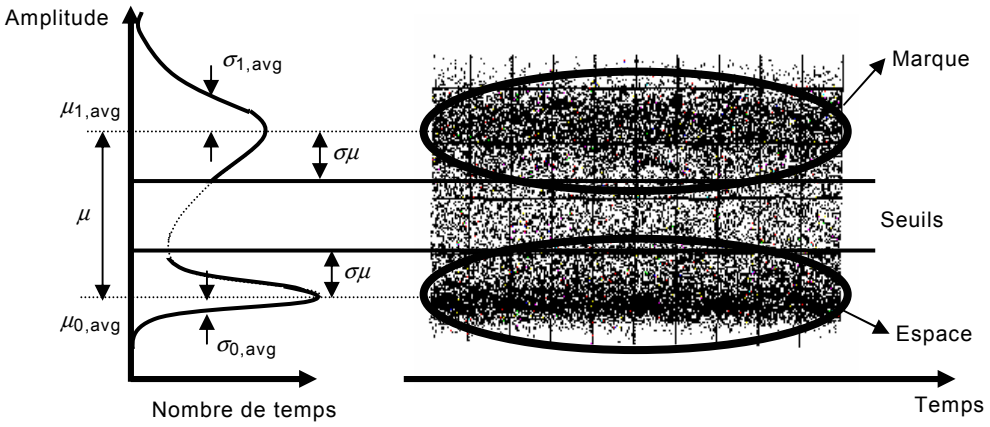


Figure 1 – Diagramme de l'œil asynchrone et histogramme d'amplitude

L'essence de cette méthode est que l'extraction temporelle n'est pas utilisée et que les diagrammes de l'œil sont analysés. C'est pourquoi cette méthode fournit un format de signal, un format de modulation et une flexibilité du débit binaire.

With the averaged Q-factor obtained from amplitude histogram parameters (the standard deviation and average level), the over-all effect of the optical signal quality degradations due to the integral of the causes (such as ASE and Chromatic dispersion) can be monitored. Due to asynchronous sampling scheme, the averaged Q-factor is insensitive to the optical signal quality variations created by timing jitter. The following sections define the averaged Q-factor and provide a procedure to measure the optical signal quality via the averaged Q-factor. With the amplitude histogram parameters, it is also possible to distinguish the origins of the BER degradation (SNR degradation, waveform distortion). The information about the dependence of the amplitude histogram parameters on OSNR and chromatic dispersion is shown in Annex F (informative).

0.2 Averaged Q-factor formula

Figure 1 uses a typical asynchronous eye-pattern and its amplitude histogram, obtained by asynchronous optical sampling, to illustrate the principle of this method. Among the sampling points that constitute the histogram, it is determined that those points whose level is higher than a predetermined threshold level, μ_{th1}, belong to level "Mark" (i.e., "1"), while those points whose level is lower than a predetermined threshold level, μ_{th0}, belong to level "Space" (i.e., "0").

The averaged Q-factor, Q_{avg}, is defined by

$$Q_{avg} = |\mu_{1,avg} - \mu_{0,avg}|/(\sigma_{1,avg} + \sigma_{0,avg}) \quad (1)$$

where $\mu_{i,avg}$ and $\sigma_{i,avg}$ are the mean and standard deviation of the Mark (i = 1) and Space level (i = 0) distributions, respectively [12-17]. The data obtained by asynchronous sampling includes unwanted cross-point data in the eye-diagram, which decreases the measured value of the averaged Q-factor. The two threshold levels are set (μ_{th1} and μ_{th0}) in order to remove the cross-point data.

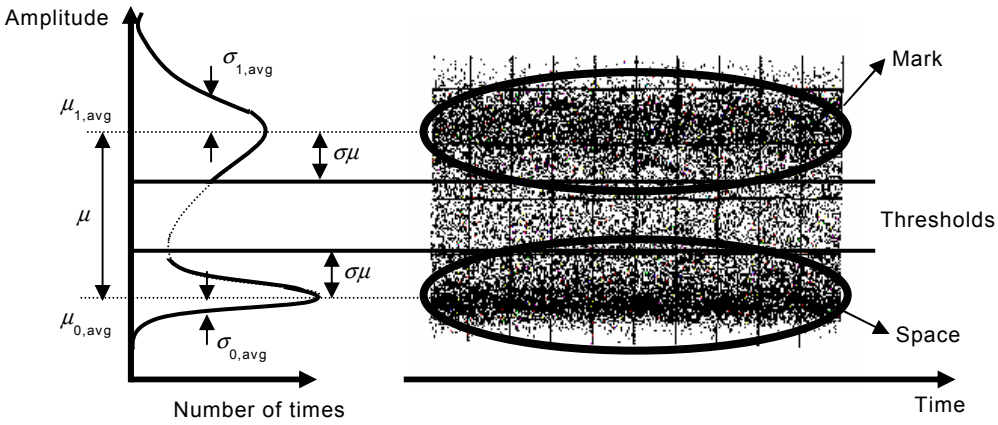


Figure 1 – Asynchronous eye-pattern and amplitude histogram

The essence of this method is that timing extraction is not used and asynchronous eye diagrams are evaluated. That is why this method provides signal format, modulation format and bit rate flexibility.

PROCÉDURES D'ESSAI DES SOUS-SYSTÈMES DE TÉLÉCOMMUNICATIONS À FIBRES OPTIQUES –

Partie 2-11: Systèmes numériques – Détermination du facteur de qualité moyenné par l'évaluation d'histogramme d'amplitude pour la surveillance de la qualité des signaux optiques

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 61280 définit le facteur de qualité moyenné et fournit une procédure pour le mesurer en utilisant les paramètres d'histogramme d'amplitude comme l'écart type et le niveau moyen.

Le facteur de qualité moyenné et les paramètres d'histogramme d'amplitude sont utiles pour la surveillance des modifications de la qualité du signal optique dans les réseaux optiques installés. Le facteur de qualité moyenné est corrélé avec le paramètre traditionnel Q d'un canal optique donné.

Avec la méthode d'essai du facteur de qualité moyenné, il est possible de surveiller les dégradations de la qualité du signal optique en raison de la dégradation du rapport signal à bruit optique (OSNR) et de la distorsion de la forme d'onde :

- la dégradation du rapport signal à bruit optique (OSNR) due aux causes suivantes:
  - accumulation d'émission spontanée amplifiée (ESA);
  - perte de ligne de transmission;
  - diaphonie entre voies;
- distorsion de la forme d'onde due aux causes suivantes (généralement présentes simultanément):
  - dispersion chromatique;
  - dispersion en mode polarisation (polarization mode dispersion – PMD);
  - effets optiques non linéaires.

NOTE 1 Dans certains cas, la cause principale de la dégradation de signal (dégradation OSNR ou distorsion de la forme d'onde) peut être identifiée par un traitement adapté des données mesurées

NOTE 2 Cette méthode n'est pas sensible aux variations de la qualité des signaux optiques créées par la l'instabilité de synchronisation.

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, c'est la dernière édition du document référencé (y compris tous les amendements) qui s'applique.

CEI 61280-2-2: *Procédures d'essai des sous-systèmes de télécommunications à fibres optiques – Partie 2-2: Systèmes numériques – Mesure du diagramme de l'œil optique, de la forme d'onde et du taux d'extinction*

Recommandation UIT T G.959.1: *Interfaces de la couche physique des réseaux de transport optique*

FIBRE OPTIC COMMUNICATION SUBSYSTEM TEST PROCEDURES –

Part 2-11: Digital systems – Averaged Q-factor determination using amplitude histogram evaluation for optical signal quality monitoring

1 Scope

This part of IEC 61280 defines the averaged Q-factor and provides a procedure to measure it by using amplitude histogram parameters such as the standard deviation and average level.

The averaged Q-factor and amplitude histogram parameters are useful for monitoring changes in optical signal quality in installed optical networks. The average Q-factor is correlated with the traditional Q parameter of a given optical channel.

With the averaged Q-factor test method signal, quality degradations due to optical signal-to-noise ratio (OSNR) degradation and to waveform distortion can be monitored:

- OSNR degradation, due to the following causes:
  - accumulation of amplified spontaneous emission (ASE);
  - transmission line loss;
  - channel crosstalk;
- waveform distortion, due to the following causes (usually simultaneously present):
  - chromatic dispersion;
  - polarization mode dispersion (PMD);
  - optical nonlinear effects.

NOTE 1 In some cases the main cause of signal degradation (OSNR degradation or waveform distortion) can be identified by suitable processing of the measured data

NOTE 2 This method is insensitive to the optical signal quality variations created by timing jitter.

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 61280-2-2: *Fibre optic communication subsystem basic test procedures – Part 2-2: Test procedures for digital systems – Optical eye pattern, waveform, and extinction ratio*

ITU-T Recommendation G.959.1: *Optical transport network physical layer interfaces*