

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Fibre optic communication subsystem test procedures –
Part 2-12: Digital systems – Measuring eye diagrams and Q-factor using a
software triggering technique for transmission signal quality assessment**

**Procédures d'essai des sous-systèmes de télécommunication à fibres
optiques –
Partie 2-12: Systèmes numériques – Mesure des diagrammes de l'œil et du
facteur de qualité à l'aide d'une technique par déclenchement logiciel pour
l'évaluation de la qualité de la transmission de signaux**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2014 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, 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 either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester. If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, 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'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigenda or an amendment might have been published.

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

The stand-alone application for consulting the entire bibliographical information on IEC International Standards, Technical Specifications, Technical Reports and other documents. Available for PC, Mac OS, Android Tablets and iPad.

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

The advanced search enables to find IEC publications by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...). It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details all new publications released. Available online and also once a month by email.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 30 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 14 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

More than 55 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

IEC Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: csc@iec.ch.

A propos de l'IEC

La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des Normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications IEC

Le contenu technique des publications IEC est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

Application autonome pour consulter tous les renseignements bibliographiques sur les Normes internationales, Spécifications techniques, Rapports techniques et autres documents de l'IEC. Disponible pour PC, Mac OS, tablettes Android et iPad.

Recherche de publications IEC - www.iec.ch/searchpub

La recherche avancée permet de trouver des publications IEC en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Restez informé sur les nouvelles publications IEC. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et aussi une fois par mois par email.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 30 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 14 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

Plus de 55 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: csc@iec.ch.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Fibre optic communication subsystem test procedures –
Part 2-12: Digital systems – Measuring eye diagrams and Q-factor using a
software triggering technique for transmission signal quality assessment**

**Procédures d'essai des sous-systèmes de télécommunication à fibres
optiques –
Partie 2-12: Systèmes numériques – Mesure des diagrammes de l'œil et du
facteur de qualité à l'aide d'une technique par déclenchement logiciel pour
l'évaluation de la qualité de la transmission de signaux**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

R

ICS 33.180.10

ISBN 978-2-8322-1545-6

**Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.
Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.**

CONTENTS

FOREWORD.....	3
INTRODUCTION.....	5
1 Scope.....	6
2 Normative references	6
3 Abbreviated terms	6
4 Software synchronization method and Q-factor	6
4.1 Example of asynchronous waveform and eye diagram reconstructed by software triggering technique	6
4.2 Q-factor formula.....	7
5 Apparatus.....	9
5.1 General.....	9
5.2 Optical bandpass filter	10
5.3 High frequency receiver	10
5.4 Clock oscillator	11
5.5 Electric pulse generator	11
5.6 Sampling module	11
5.7 Electric signal processing circuit	12
5.8 Optical clock pulse generator	12
5.9 Optical sampling module	12
5.10 Optical signal processing circuit.....	12
5.11 Synchronization bandwidth	12
5.12 Monitoring system parameters	13
6 Procedure.....	13
6.1 General.....	13
6.2 Measuring eye diagrams and Q calculations	13
Annex A (informative) Example of the signal processing required to reconstruct the synchronous eye diagram	15
Annex B (informative) Adequate sampling time width (gate width).....	17
Bibliography.....	18
Figure 1 – Asynchronous waveform and synchronous eye diagram of 40 Gbps RZ-signal reconstructed by software triggering technique	7
Figure 2 – RZ synchronous eye diagram reconstructed by software triggering technique, time window, and histogram.....	8
Figure 3 – Example of relationship between Q-factor and window width.....	8
Figure 4 – Test system 1 for measuring eye diagrams and Q-factor using the software triggering technique	9
Figure 5 – Test system 2 for measuring eye diagrams and Q-factor using the software triggering technique	10
Figure A.1 – Block diagram of the software triggering module	15
Figure A.2 – Example of interpolating a discrete spectrum and determining beat frequency.....	16
Figure B.1 – The typical calculated relationship between the adequate sampling time width (gate width) and the bit rate of the optical signal.....	17
Table 1 – Monitoring system parameters.....	13

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

FIBRE OPTIC COMMUNICATION SUBSYSTEM TEST PROCEDURES –

**Part 2-12: Digital systems –
Measuring eye diagrams and Q-factor using a software triggering
technique for transmission signal quality assessment**

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 itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

The International Electrotechnical Commission (IEC) draws attention to the fact that it is claimed that compliance with this document may involve the use of patents concerning software synchronization given in Clause 4 and procedure for calculating eye-diagrams and Q-factor given in Clause 6.

IEC takes no position concerning the evidence, validity and scope of these patent rights.

The holders of these patent rights have assured the IEC that they are willing to negotiate licences either free of charge or under reasonable and non-discriminatory terms and conditions with applicants throughout the world. In this respect, the statements of these holders of these patent rights are registered with IEC.

For US patent 6,744,496, information may be obtained from:

Alcatel-Lucent
Intellectual Property Business Group
16 Brookside Dr.
Sutton, MA 01590 USA

For Japanese patent 3987001 and US patent 7190752, information may be obtained from:

Nippon Telegraph and Telephone Corporation
9-11, Midori-cho, 3-Chrome Musashino-Shi
Tokyo 180-8585 Japan

Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this document 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.

ISO (www.iso.org/patents) and IEC (<http://patents.iec.ch>) maintain on-line data bases of patents relevant to their standards. Users are encouraged to consult the data bases for the most up to date information concerning patents.

International Standard IEC 61280-2-12 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:

CDV	Report on voting
86C/1150/CDV	86C/1220/RVC

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.

A list of all parts in the IEC 61280 series, published under the general title *Fibre optic communication subsystem test procedures*, can be found on the IEC website.

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

IMPORTANT – The 'colour inside' logo on the cover page of this publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.

INTRODUCTION

Signal quality monitoring is important 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)
- simplicity (small size and low cost).

There are several approaches, both analogue and digital techniques, which make it possible to detect various impairments:

- bit error rate (BER) estimation [1,2]¹
- 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]
- 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 out of 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 analogue parameters (e.g., optical SNR and Q-factor).

An in-service optical Q-factor monitoring can be used for accurate quality assessment of transmitted signals on wavelength division multiplexed (WDM) networks. Chromatic dispersion (CD) compensation is required for Q monitoring at measurement point in CD uncompensated optical link. However, conventional Q monitoring method is not suitable for signal evaluation of transmission signals, because it requires timing extraction by complex equipment that is specific to each BER and each format.

The software triggering technique [11-14] reconstructs synchronous eye-diagram waveforms without an external clock signal synchronized to optical transmission signal from digital data obtained through asynchronous sampling. It does not rely on an optical signal's transmission rate and data formats (RZ or NRZ). Measuring method of eye diagrams and Q-factor using the software triggering technique is a cost-effective alternative to BER estimations. With eye diagrams and Q-factor using software triggering test method, signal quality degradations due to optical signal-to-noise ratio (OSNR) degradation, to jitter fluctuations and to waveform distortion can be monitored.

This is one of the promising performance-monitoring approaches for intensity modulated direct detection (IM-DD) optical transmission systems.

¹ Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

FIBRE OPTIC COMMUNICATION SUBSYSTEM TEST PROCEDURES –

Part 2-12: Digital systems – Measuring eye diagrams and Q-factor using a software triggering technique for transmission signal quality assessment

1 Scope

This part of IEC 61280 defines the procedure for measuring eye diagrams and Q-factor of optical transmission (RZ and NRZ) signals using software triggering technique as shown in 4.1 [14].

2 Normative references

The following documents, in whole or in part, are normatively referenced in this document and are indispensable for its application. 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 procedure for digital systems – Optical eye pattern, waveform, and extinction ratio measurement*

ITU-T Recommendation G.959.1: 2012, *Optical transport network physical layer interfaces*

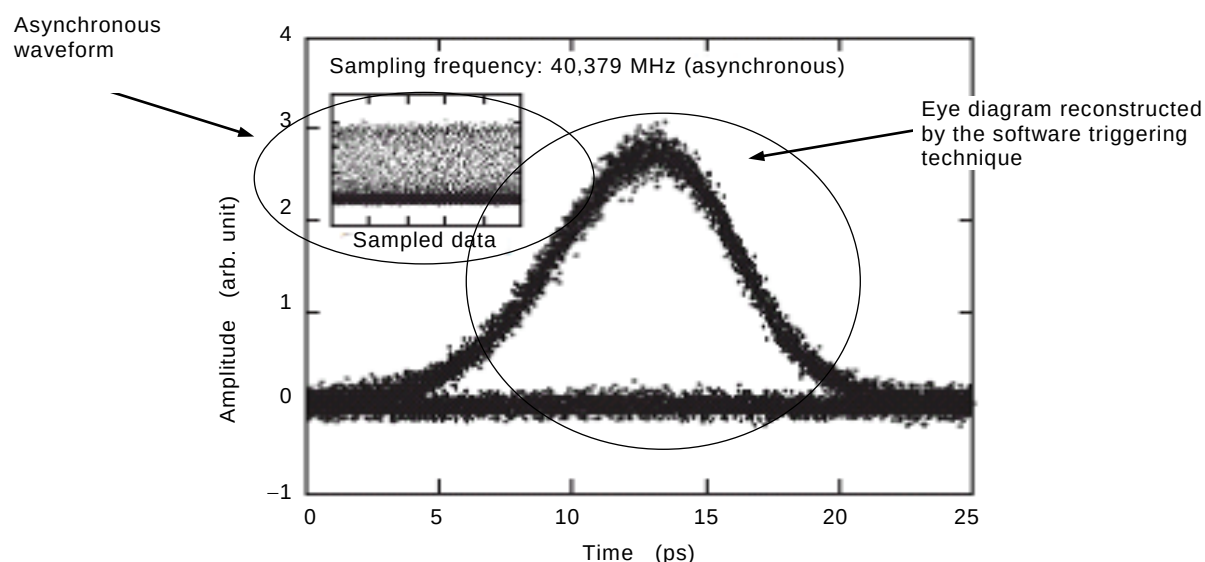
3 Abbreviated terms

ASE	amplified spontaneous emission
BER	bit error rate
CD	chromatic dispersion
EDFA	Er-doped fibre amplifier
IM-DD	intensity modulated direct detection
RZ	return-to-zero
NRZ	non-return-to-zero
OBPF	optical bandpass filter
OSNR	optical signal-to-noise ratio
OTN	optical transport networks
PMD	polarization mode dispersion
SNR	signal-to-noise ratio
WDM	wavelength division multiplexing

4 Software synchronization method and Q-factor

4.1 Example of asynchronous waveform and eye diagram reconstructed by software triggering technique

Figure 1 shows an example of a 40 Gb/s RZ-synchronous eye diagram constructed from asynchronous sampled data using the software triggering technique. The inset in Figure 1 shows an asynchronous waveform obtained from the same asynchronous sampled data.



IEC 1198/14

Figure 1 – Asynchronous waveform and synchronous eye diagram of 40 Gbps RZ-signal reconstructed by software triggering technique

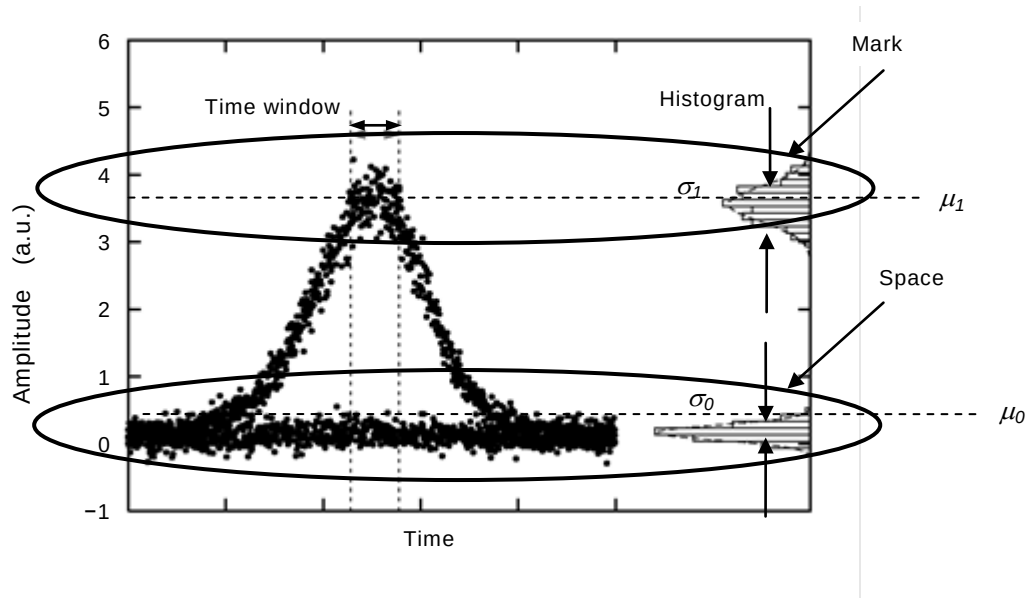
4.2 Q-factor formula

As shown in Figure 2, the Q-factor can be calculated from a histogram of “mark” (“1”) and “space” (“0”) levels in the time window, in which an appropriate time window is established in a large part of the eye opening. The time window is separated into “mark” (“1”) and “space” (“0”) levels, the average μ_0 and standard deviation σ_0 of the “space” (“0”) level data and the average μ_1 and standard deviation σ_1 of the “mark” (“1”) level data are calculated, and the Q-factor is calculated by substituting the obtained μ_0 , σ_0 , μ_1 , and σ_1 into Formula (1).

The Q-factor depends on the position of the centre of the time window. For optical transmission signal quality evaluation, the maximum value obtained by calculating Formula (1) while changing the position of centre of the time window is defined as the Q-factor.

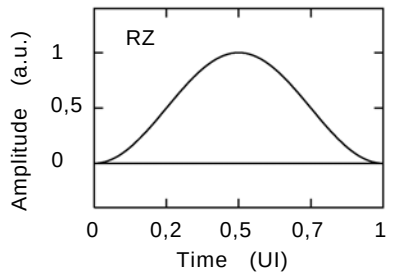
$$Q = \frac{|\mu_1 - \mu_0|}{\sigma_1 + \sigma_0} \quad (1)$$

The Q-factor also depends on width of the time window. Assuming that the signal waveform is sinusoidal RZ with duty ratio of 50 % (Figure 3(a)) or sinusoidal NRZ (Figure 3(b)) and $\sigma_0 = \sigma_1$, calculated relationships between Q-factor and window width are shown in Figure 3(c). A suitable window width is 0,1 UI or less for an RZ signal and 0,2 UI or less for an NRZ signal.



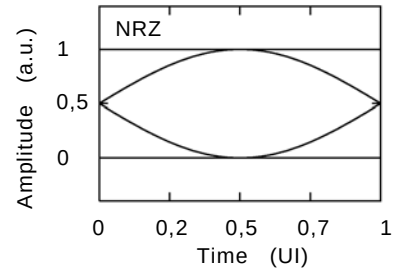
IEC 1199/14

Figure 2 – RZ synchronous eye diagram reconstructed by software triggering technique, time window, and histogram



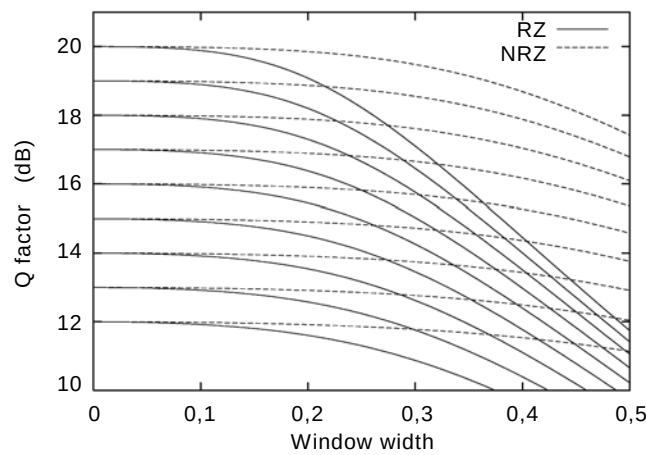
IEC 1200/14

Figure 3a – Sinusoidal RZ with duty 50 %



IEC 1201/14

Figure 3b – Sinusoidal NRZ



IEC 1202/14

Figure 3c – Calculated relationships between Q-factor and window width

Figure 3 – Example of relationship between Q-factor and window width

5 Apparatus

5.1 General

Test systems are mainly composed of an optical bandpass filter, a high frequency receiver, a clock oscillator, an electric pulse generator, a sampling module, an electric signal processing circuit with an AD converter and a software triggering module (Figure 4); or, an optical bandpass filter, an optical clock pulse generator, an optical sampling module, an optical signal processing circuit with an AD converter, a low frequency receiver and software triggering module (Figure 5).

In the typical case, eye diagram and Q-factor measurements are performed after the optical amplifier of the repeaters, optical-cross connects, and other nodes, because sufficient signal power level and CD compensation are required for the Q-factor monitoring.

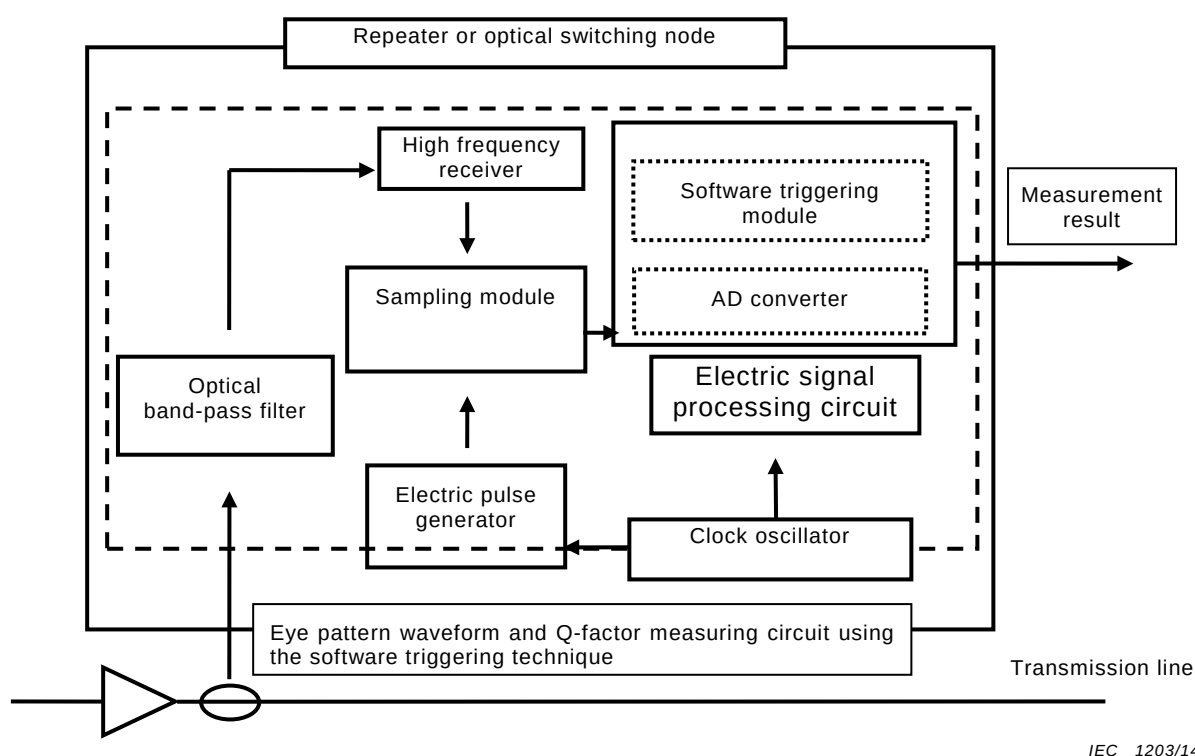


Figure 4 – Test system 1 for measuring eye diagrams and Q-factor using the software triggering technique

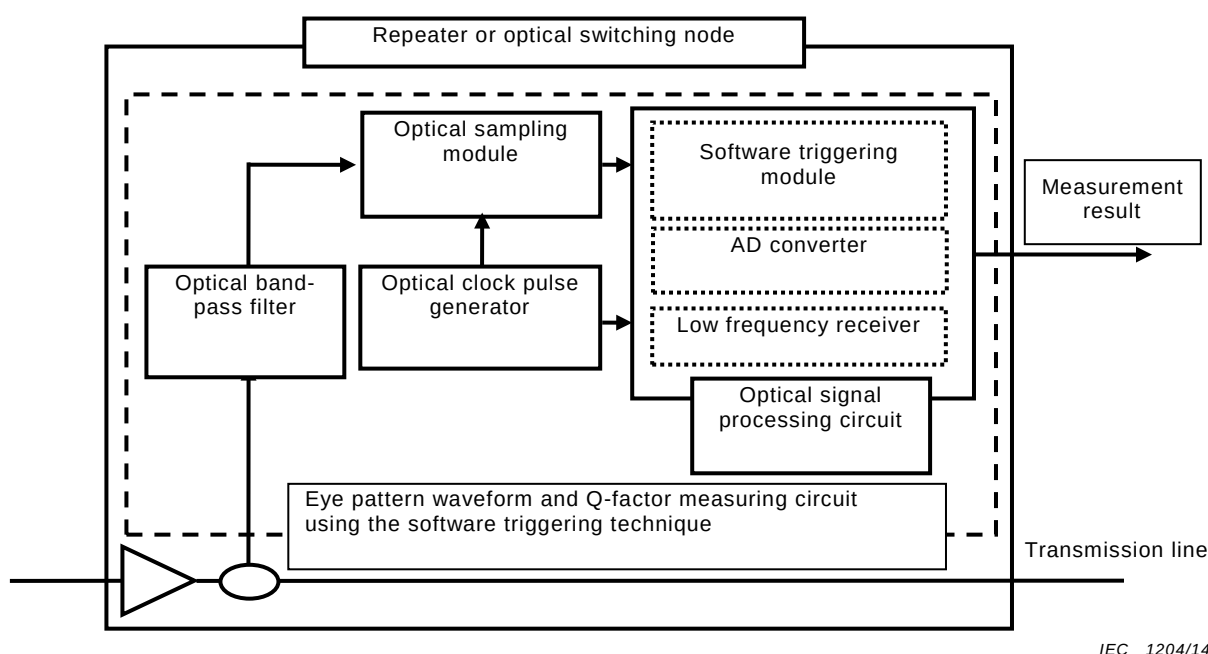


Figure 5 – Test system 2 for measuring eye diagrams and Q-factor using the software triggering technique

5.2 Optical bandpass filter

The optical bandpass filter (OBPF) should be used to remove unnecessary ASE noise from the optical amplifier or/and to extract the necessary channel from the WDM signals. The bandwidth of the optical filter B_{opt} should be broader than the bit rate of the optical signal. The shape of the OBPF is shown in ITU-T Recommendation G.959.1: 2012, Figure B.2, where two parameters, the power suppression ratio of adjacent channel and the central frequency deviation, are defined.

5.3 High frequency receiver

The high frequency receiver is typically a high-speed photodiode, followed by electrical amplification. The high frequency receiver is equipped with an appropriate optical connector to allow connection to the optical interface point, either directly or via an optical jumper cable.

Precise specifications are precluded by the wide variety of possible implementations. However, the high frequency receiver shall follow the general guideline based on IEC 61280-2-2 as follows:

- acceptable input wavelength range, adequate to cover the intended application;
- responsivity, adequate to produce an eye-pattern;

For example, assume that a non-return-to-zero (NRZ) optical data stream with an average power of -15 dBm is to be measured. If the sensitivity of the signal processing circuit with sampling module is 10 mV/div, a responsivity of 790 V/W is required in order to produce an eye-pattern of 50 mV peak-to-peak.

- optical noise-equivalent power, low enough to result in accurate measurements;

For example, assume that a non-return-to-zero (NRZ) optical data stream with an average power of -15 dBm is to be measured. If the effective noise band width of the measurement system is 470 MHz, and if the displayed root-mean-square noise is to be less than 5% of the asynchronous eye-pattern height, the optical noise-equivalent power should be 145 pw-Hz $^{-1/2}$ or less.

- Upper cut-off (-3 dB) frequency, B_{mes} Hz;

In order to ensure repeatability and accuracy, the upper cut-off frequency (bandwidth), B_{mes} , of the measurement system should be explicitly stated in the detail specifications.

For NRZ format signals, the high frequency receiver and sampling module that have a combined impulse response with a –3 dB bandwidth of $0,75/T$ (where T is the bit interval, in seconds, of the data signal) are often used. For RZ format signals, the spectral content may be significantly higher than the NRZ signal at the same signal bit rate. This can lead to measurement system bandwidth that is in excess of the clock frequency.

- e) lower cut-off (–3 dB) frequency, B_{low} Hz;

In order to avoid significant distortion of the detected eye-pattern due to lack of low frequency spectral components, the lower cut-off frequency, B_{low} , of the measurement system should be sufficiently low compared with $1/T_{\text{samp}}$. T_{samp} is the total sampling time described in 5.12. DC coupling is not always necessary for Q-factor measurements, because the DC component of the eye-pattern will be cancelled by $\mu_1 - \mu_0$ in Formula (1).

- f) transient response, overshoot, undershoot, and other waveform aberrations should be minor so as not to interfere with the measurement;

The upper cut-off frequency (bandwidth), B_{mes} , of the measurement system should primarily determine the system transient response.

- g) the corresponding software clock recovery loop bandwidth should be high enough for tracking of the signal under tests phase noise. The resulting loop bandwidth is related to the sampling rate and synchronization algorithm. In practice, the loop bandwidth is at least 100 times less than the sampling rate. For example, in IEC 61280-2-2 loop bandwidths of 4 MHz are recommended for 10 G NRZ data, which would yield a recommended sampling rate of 400 MSample/s. With better control of the signal VCOs, the recommended loop bandwidth could be reduced.

- h) output electrical return loss, high enough that reflections from the sampling module following the receiver are adequately suppressed, from 0 Hz to a frequency significantly greater than the bandwidth of receiver;

A time-domain measurement may be very inaccurate if significant multiple reflections are present. A minimum value of 15 dB for the return loss is recommended when many components are employed following the receiver. The effective output return loss of the receiver may be improved with in-line electrical attenuators, at the expense of reduced signal levels. Finally, the return loss specification extends to DC, since otherwise, a DC shift in the waveform will occur, causing Q-factor measurements to be in error.

5.4 Clock oscillator

The clock oscillator generates a clock signal that corresponds to the sampling rate. The generated clock signal jitter at frequencies above the software clock recovery loop bandwidth shall be sufficiently smaller than the bit period for clear eye diagrams, and is sent to an electric pulse generator and a signal electric processing circuit. A high clock frequency is desirable for wide clock recovery bandwidth.

5.5 Electric pulse generator

The electric pulse generator should be capable of providing an electric short pulse train or electrical clock signal with proper slew rate to the sampling module. The electric pulse repetition frequency is identical to the sampling rate.

5.6 Sampling module

The sampling module should sample the electrical signals at a specified repetition rate with a specified sampling time width (sampling window) by using the electric pulse train generated by the electrical pulse generator and detect the level of the sampled signals. The sampled values are sent to the electric signal processing circuit.

The accuracy of Q is dependent on the measurement system bandwidth B_{mes} .

5.7 Electric signal processing circuit

The electric signal processing circuit should reconstruct the eye-diagram waveform and calculate the Q-factor (and the amplitude histogram) utilizing the asynchronous sampled signals from the sampling module and the clock signal from the clock oscillator. Q-factor formula is shown in 4.2.

Within the electric signal processing circuit, the electric signal sampled by the sampling module is digitized by the AD converter, and then the temporal axis is calculated from that digitized value in the software triggering module. An example of a principle of signal processing in the software triggering module is shown Annex A [14].

5.8 Optical clock pulse generator

The optical clock pulse generator generates an optical pulse train and a clock signal at the sampling rate. The generated optical pulse train and a clock signal are sent to the optical sampling module and the optical signal processing circuit respectively. The repetition frequency of the optical pulse train is synchronous with the clock signal. The generated optical pulse train jitter at frequencies above the software clock recovery loop bandwidth shall be sufficiently smaller than the bit period for clear eye diagrams. The higher optical clock frequency is desirable for wide clock recovery bandwidth.

5.9 Optical sampling module

The optical sampling module should sample the optical signal at a specified repetition rate with an adequate sampling time width (sampling window or gate width) that depends on the bit rate of the optical signal. Varying a sampling time width leads to change the upper cut-off (-3 dB) frequency B_{mes} of the measurement system. The sampled optical signal is sent to the optical signal processing circuit.

The calculated relationship between the adequate sampling time width (gate width) and the bit rate of the optical signal is shown in Annex B.

5.10 Optical signal processing circuit

The optical signal processing circuit should reconstruct the eye-diagram waveform and calculate the Q-factor (and the amplitude histogram) utilizing the asynchronous sampled signals from the sampling module and the clock signal from the optical clock pulse generator. The Q-factor formula is in 4.2.

Within the optical signal processing circuit, the optical signal sampled by the optical sampling module is digitized by the low frequency receiver and the AD converter. Then, the temporal axis is calculated from that digitized value in the software triggering module. The bandwidth of the low frequency receiver shall be over 2 times the sampling rate. An example of a principle of signal processing in the software triggering module is shown Annex A [14].

5.11 Synchronization bandwidth

In the guidelines of IEC 61280-2-2, an oscilloscope triggering system using a recovered clock from the signal under test is discussed. The clock recovery bandwidth for eye pattern measurements will be similar to that of the communications system receiver to suppress unimportant jitter which does not degrade system level communications. High sampling frequency more than 1 GSample/s is required to achieve such a wide clock recovery bandwidth of the communications system receiver by using software synchronization method.

However, low sampling frequency less than 1 GSample/s is desirable for low-cost Q-factor monitor using software synchronization method, and the clock recovery bandwidth of the Q-factor monitor may be lower than that of the communications system receiver. If the jitter frequency is higher than the clock recovery bandwidth, the jitter will appear in the eye diagram, and the horizontal eye opening will be decreased by the jitter. Therefore, the low-cost Q-factor

monitor is more sensitive to high frequency jitter than the measuring instruments with high clock recovery bandwidth.

5.12 Monitoring system parameters

For the measurement of the eye diagram and Q-factor of the optical transmission signals using the software triggering technique, appropriate parameters for the test system shall be selected. The optical filter bandwidth, B_{opt} , determines the bandwidth and optical SNR of the optical signal to be processed. The measurement system bandwidth, B_{mes} , is determined by the high frequency receiver and the sampling module in test system 1 (Figure 4) or the optical sampling module in test system 2 (Figure 5); it influences the eye diagram and Q-factor. The sampling number, N_{samp} , is the number of sampled points for drawing the amplitude histogram. The sampling number, N_{total} , is the total number of sampled points. The sampling rate, R_{samp} , is repetition rate of the sampling clock. The total sampling time, T_{samp} , is a parameter that is related to the clock recovery bandwidth. The terms T_{samp} , N_{samp} , N_{total} and R_{samp} are related as

$$N_{\text{total}} = T_{\text{bit}} / T_{\text{window}} \times N_{\text{samp}} \quad (2)$$

$$T_{\text{samp}} = N_{\text{total}} / R_{\text{samp}} \quad (3)$$

The monitoring system parameters are listed in Table 1.

Table 1 – Monitoring system parameters

B_{opt}	Optical filter bandwidth
B_{mes}	Measurement system bandwidth
T_{bits}	Time of 1bit
T_{window}	Time of window width
N_{samp}	Number of samples
R_{samp}	Sampling frequency
T_{samp}	Total sampling time

6 Procedure

6.1 General

By using the software triggering technique, eye diagrams can be reconstructed from asynchronous sampled data, and Q-factor can be calculated from those waveforms.

6.2 Measuring eye diagrams and Q calculations

The procedure for measuring eye diagrams using the software triggering technique and Q-factor measurement is shown below.

- Turn on the measuring instruments and wait a sufficient amount of time until its temperature and performance are stable.
- Connect the optical signal on the transmission line to the test system, as shown in Figure 4 or Figure 5. An EDFA is required only if the power from the transmission line is insufficient to provide a sufficiently high signal level to high frequency receiver or low frequency receiver. When an EDFA is used, an ASE from the EDFA modifies the OSNR. Therefore, it is necessary to confirm that the required Q-factor measurement can be realized.

- c) Reconstruct the eye diagram through the asynchronous sampled data and calculate the Q-factor from the amplitude histogram using software triggering.

NOTE Q-factor can be calculated by Formula (1).

Annex A (informative)

Example of the signal processing required to reconstruct the synchronous eye diagram

The software triggering technique for measuring the eye diagrams and Q-factor of RZ optical transmission signals reconstructs synchronous eye diagrams from asynchronous sampling data through a signal processing technique. Figure A.1 shows a block diagram of the software triggering module, which is necessary to reconstruct eye diagrams from digital data obtained through asynchronous sampling.

As shown in Figure A.1, the asynchronous sampling data that was digitized by the AD converter is divided into two branches, one of which is sent directly to the eye diagram display as an amplitude signal (a vertical axis signal). The other signal is branched again into two signals. For one of these branches, discrete Fourier transform is performed to obtain the discrete spectrum. The obtained discrete spectrum data is interpolated, and a precise peak frequency is obtained from the spectrum. (This peak frequency is used as the beat frequency between the clock frequency of the optical transmission signal and a frequency that is a multiple of the sampling frequency. Figure A.2 shows an example of obtaining a beat frequency by interpolating the discrete spectrum). For the other branched signal, the phase of the signal component at the beat signal when the amplitude signal is obtained is detected, the temporal axis (horizontal axis) is normalized at one unit interval (UI), and the temporal axis signal is sent to the eye diagram display so that the centre of the temporal axis becomes 0 degree phase.

The principles are explained here using the RZ optical transmission signal, but even if measuring NRZ optical transmission signals that do not have a clock frequency component, synchronous eye diagrams can be reconstructed using the software triggering technique by non-linear calculation of the asynchronous sampling data before the discrete Fourier transform processing.

On typical software synchronization method, since the beat frequency is assumed to be constant during the total sampling time, T_{samp} , averaged clock frequency during T_{samp} is detected for synchronization. The jitter transfer function is corresponding to transfer function of rectangular impulse response with width of T_{samp} , and therefore the clock recovery bandwidth (equivalent noise bandwidth) becomes $1/(2T_{\text{samp}})$. For example, the sampling frequency, R_{samp} , is 40 MSample/s, the total number of sampling points, N_{total} , is 10 000, the equivalent clock recovery bandwidth becomes 2 kHz which is lower than that of the typical communications system receiver.

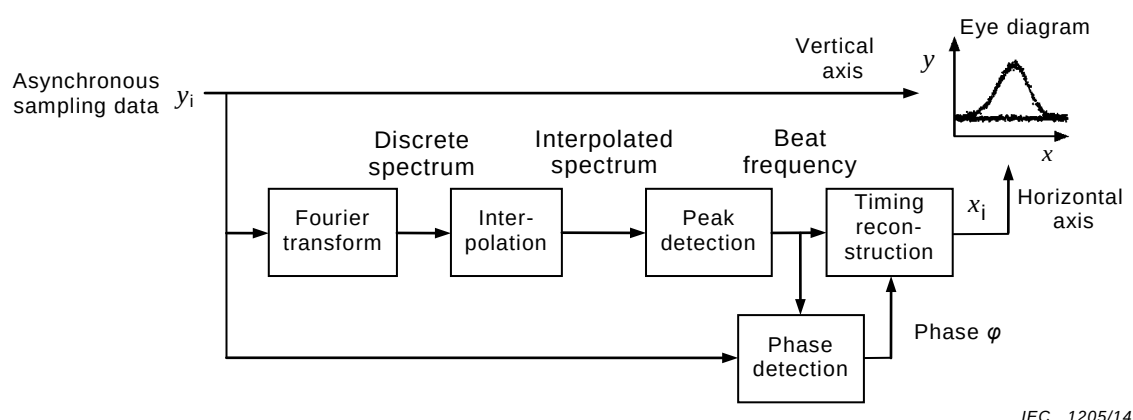


Figure A.1 – Block diagram of the software triggering module

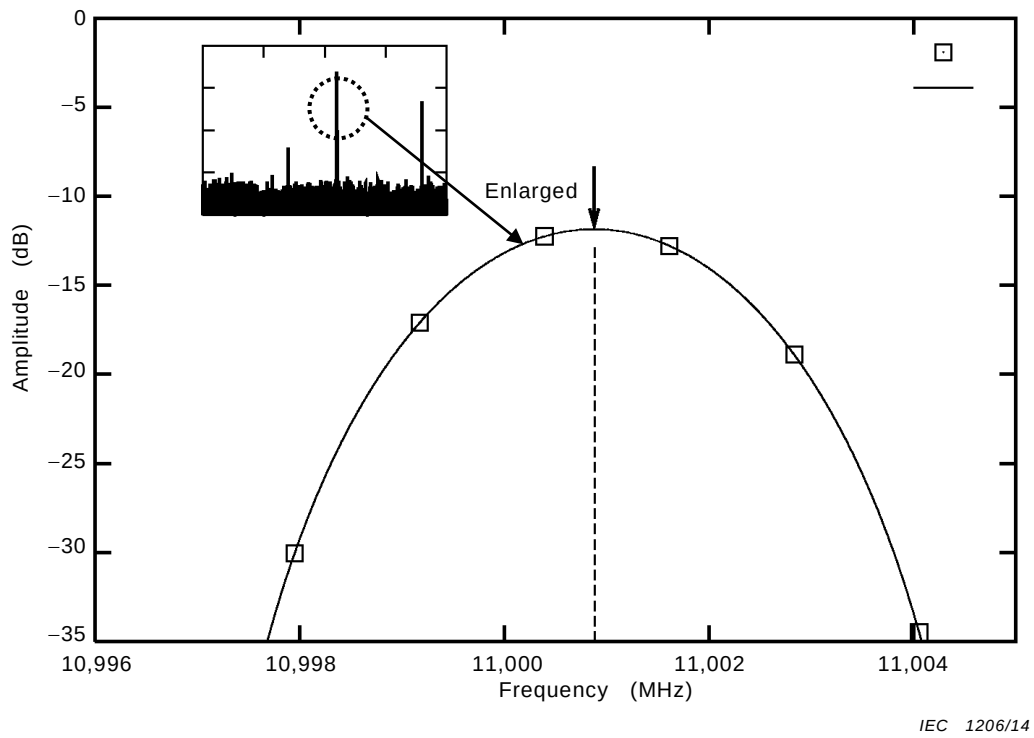


Figure A.2 – Example of interpolating a discrete spectrum and determining beat frequency

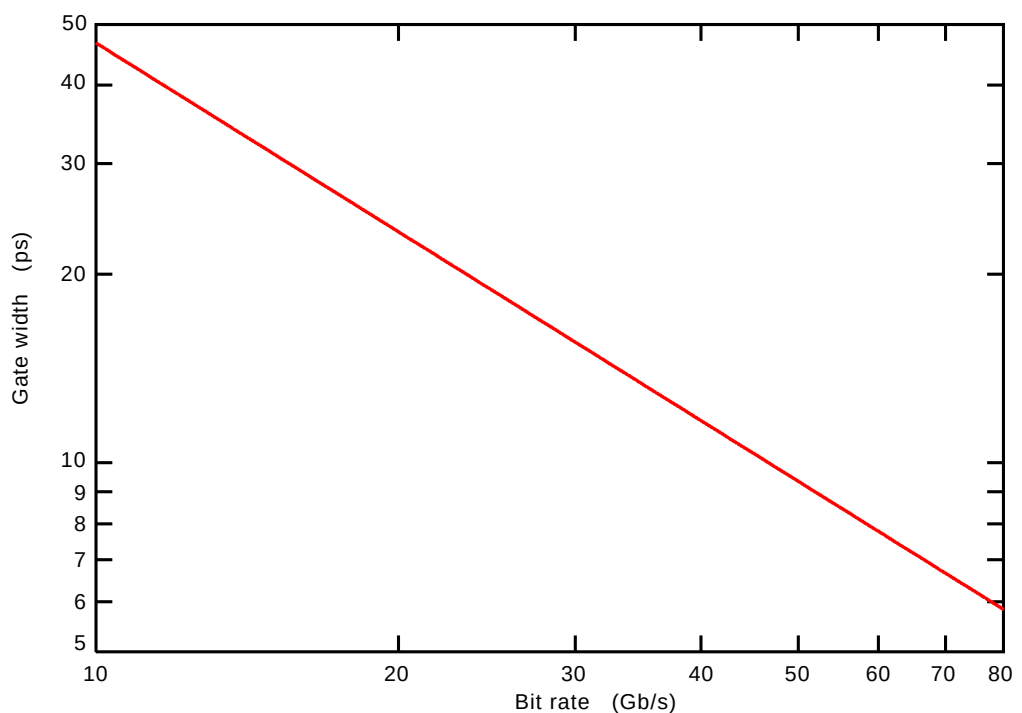
Annex B (informative)

Adequate sampling time width (gate width)

The adequate sampling time width (gate width) is calculated by an equivalent bit rate. The equivalent bit rate is determined by a fitting theoretical impulse response of 5th-order Bessel filter with cut-off frequency of 75 % of bit rate to impulse response of the sampling gate.

Figure B.1 shows a calculated relationship between adequate sampling time width (gate width) and the bit rate of NRZ optical signal.

In the typical case, electro-absorption modulator is used as the optical sampling module because the gate width of this device can be adjusted by the optical pulse input power level and/or DC bias level [15].



IEC 1207/14

Figure B.1 – The typical calculated relationship between the adequate sampling time width (gate width) and the bit rate of the optical signal

Bibliography

- [1] P.E. Green Jr., "Optical Networking Update," IEEE J. Select. Areas Commun., 5, pp. 764-779, 1996.
- [2] S. Okamoto and K.-I. Sato, "Inter-network interface for photonic transport networks and SDH transport networks," IEEE Global Telecommunications Conference, 1997. (GLOBECOM '97), 2, pp. 850 -855, 1997.
- [3] S. Kobayashi and Y. Fukuda, "A Burst-mode Packet Receiver with Bit-rate-discriminating Circuit for Multi-bit-rate Transmission System," IEEE Lasers and Electro-Optics Society 1999 Annual Meeting (LEOS '99), WX4, pp. 595 -596, 1999.
- [4] K. Otsuka, T. Maki, Y. Sampei, Y. Tachikawa, N. Fukushima, and T. Chikama, "A high-performance optical spectrum monitor with high-speed measuring time for WDM optical network," 23rd European Conference on Optical Communication (ECOC'97), pp. 147-150, 1997.
- [5] S. K. Shin, C. -H. Lee, and T. C. Chung, "A novel frequency and power monitoring method for WDM network," Optical Fiber Communication Conference 1998 (OFC'98), pp. 168-170, 1998.
- [6] G. Bendelli, C. Cavazzoni, R. Girardi, and R. Lano, "Optical performance monitoring techniques," 26th European Conference on Optical Communication (ECOC2000), Vol. 4, pp. 113-116, 2000.
- [7] G. R. Hill et al., "A transport layer based on optical network elements," J. Lightwave, Tech., 11, pp. 667-679, 1993.
- [8] N. S. Bergano, F. W. Kerfoot, and C. R. Davidson, "Margin Measurements in Optical Amplifier Systems," IEEE Photonics Tech. Lett., 3, pp. 304-306, 1993.
- [9] R. Wiesmann, O. Bleck, and H. Heppner, "Cost effective performance monitoring in WDM systems," Optical Fiber Communication Conference 2000 (OFC2000), Vol. 2, pp. 171-173, 2000.
- [10] M. Fregolent, S. Herbst, H. Soehnle, and B. Wedding, "Adaptive optical receiver for performance monitoring and electronic mitigation of transmission impairments," 26th European Conference on Optical Communication (ECOC2000), } Vol. 1, pp. 63-64, 2000.
- [11] L. NOIRIE, F. CEROU, G. MOUSTAKIDES, O. AUDOUIN, and P. PELOSO, "New transparent optical monitoring of the eye and BER using asynchronous under-sampling of the signal," 28th European Conference on Optical Communication (ECOC 2002), Copenhagen, Denmark, Sep. 2002, paper PD2.2.
- [12] M. WESTLUND, H. SUNNERUD, M. KARLSSON, and P. A. ANDREKSON, "Software synchronized all-optical sampling for fiber communication systems," J. Lightwave.Tech., 2005, vol.23, no. 3, pp. 1088-1099.
- [13] T. KIATCHANOG, K. IGARASHI, T. TANEMURA, D. WANG, K. KATOH, and K. KIKUCHI, "Real-time all-optical waveform sampling using a free-running passively mode-locked fiber laser as the sampling pulse source," Optical Fiber Communication Conference (OFC 2006), Anaheim, California, USA, Mar. 2006, paper OWN1.
- [14] TAKASHI MORI and AKIHITO OTANI, "A Simple Synchronization Method for Optical Sampling Eye Monitor," Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 49, 070208, 2010

- [15] TAKASHI MORI, TAKEHIRO TSURITANI and AKIHITO OTANI, "Variable Gate Width All-Optical Sampling using Electroabsorption Modulator for Optical Performance Monitor," OFC/NFOEC2011, OWC3, 2011.
-

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	21
INTRODUCTION.....	24
1 Domaine d'application	26
2 Références normatives	26
3 Termes abrégés	26
4 Méthode de synchronisation logicielle et facteur de qualité.....	27
4.1 Exemple de forme d'onde asynchrone et de diagramme de l'œil reconstruits par une technique par déclenchement logiciel.....	27
4.2 Formule du facteur de qualité	27
5 Appareillage	29
5.1 Généralités	29
5.2 Filtre passe-bande optique.....	30
5.3 Récepteur haute fréquence.....	30
5.4 Oscillateur d'horloge	31
5.5 Générateur d'impulsions électriques	32
5.6 Module d'échantillonnage.....	32
5.7 Circuit de traitement du signal électrique	32
5.8 Générateur d'impulsions d'horloge optique.....	32
5.9 Module d'échantillonnage optique	32
5.10 Circuit de traitement du signal optique	32
5.11 Largeur de bande de synchronisation	33
5.12 Paramètres du système de surveillance	33
6 Procédure.....	34
6.1 Généralités	34
6.2 Mesure des diagrammes de l'œil et calculs du facteur de qualité Q	34
Annexe A (informative) Exemple de traitement du signal nécessaire pour reconstruire le diagramme de l'œil synchrone.....	35
Annexe B (informative) Largeur temporelle d'échantillonnage adéquate (largeur de déclenchement)	37
Bibliographie.....	38
Figure 1 – Forme d'onde asynchrone et diagramme de l'œil synchrone d'un signal RZ à 40 Gb/s reconstruit par une technique par déclenchement logiciel	27
Figure 2 – Diagramme de l'œil synchrone RZ reconstruit par une technique par déclenchement logiciel, fenêtre temporelle et histogramme	28
Figure 3 – Exemple de relation entre le facteur de qualité et la largeur de la fenêtre.....	28
Figure 4 – Système d'essai 1 pour mesurer les diagrammes de l'œil et le facteur de qualité en utilisant la technique par déclenchement logiciel	29
Figure 5 – Système d'essai 2 pour mesurer les diagrammes de l'œil et le facteur de qualité en utilisant la technique par déclenchement logiciel	30
Figure A.1 – Schéma-bloc du module de déclenchement logiciel	36
Figure A.2 – Exemple d'interpolation d'un spectre discret et détermination de la fréquence de battement	36
Figure B.1 – Relation type calculée entre la largeur temporelle d'échantillonnage adéquate (largeur de déclenchement) et le débit binaire du signal optique.....	37
Tableau 1 – Paramètres du système de surveillance.....	34

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**PROCÉDURES D'ESSAI DES SOUS-SYSTÈMES
DE TÉLÉCOMMUNICATION À FIBRES OPTIQUES –****Partie 2-12: Systèmes numériques –
Mesure des diagrammes de l'œil et du facteur de qualité à l'aide d'une
technique par déclenchement logiciel pour l'évaluation de la qualité de la
transmission de signaux**

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC 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, l'IEC – 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 l'IEC"). 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 l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC 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 l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC 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 l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 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 l'IEC, 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 l'IEC, 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 l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) 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 synchronisation logicielle traitée à l'Article 4, et intéressant la procédure de calcul les diagrammes de l'œil et du facteur de qualité traitée à l'Article 6.

L'IEC 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 l'IEC qu'il consent à négocier des licences avec des demandeurs du monde entier, soit sans frais soit à des termes et conditions raisonnables et non discriminatoires. À ce propos, la déclaration du détenteur des droits de propriété est enregistrée à l'IEC.

Concernant le brevet US n° 6.744.496, des informations peuvent être demandées à:

Alcatel-Lucent
Intellectual Property Business Group
16 Brookside Dr.
Sutton, MA 01590 USA

Concernant le brevet japonais n° 3987001 et le brevet US n° 7.190.752, des informations peuvent être demandées à:

Nippon Telegraph and Telephone Corporation
9-11, Midori-cho, 3-Chrome Musashino-Shi
Tokyo 180-8585 Japan

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. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de l'identification de ces droits de propriété en tout ou partie.

L'ISO (www.iso.org/patents) et l'IEC (<http://patents.iec.ch>) maintiennent des bases de données, consultables en ligne, des droits de propriété pertinents à leurs normes. Les utilisateurs sont encouragés à consulter ces bases de données pour obtenir l'information la plus récente concernant les droits de propriété.

La norme internationale IEC 61280-2-12 a été établie par le sous-comité 86C: Systèmes et dispositifs actifs à fibres optiques, du comité d'études 86 de l'IEC: Fibres optiques.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

CDV	Rapport de vote
86C/1150CDV	86C/1220/RVC

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/IEC, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 61280, publiées sous le titre général *Procédures d'essai des sous-systèmes de télécommunication à fibres optiques*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC 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.

IMPORTANT – Le logo "colour inside" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.

INTRODUCTION

La surveillance de la qualité des signaux est importante pour le fonctionnement et la maintenance des réseaux de transport optiques (OTN). Du point de 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 (rapport signal sur bruit) 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 du signal et les formats des signaux);
- 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 (BER) [1,2];¹
- 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];
- 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 en dehors de tout service en utilisant une représentation de bits 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 la correction d'erreur directe) ou des paramètres analogiques (par exemple SNR optique et facteur de qualité).

Une surveillance du facteur de qualité optique en service peut être utilisée pour une évaluation de qualité précise des signaux transmis sur des réseaux multiplexés par répartition en longueur d'onde (WDM). La compensation de dispersion chromatique (CD) est exigée pour la surveillance de la qualité au niveau du point de mesure, dans une liaison optique non compensée en CD. Toutefois, une méthode de surveillance classique de la qualité n'est pas appropriée à l'évaluation du signal pendant la transmission des signaux, car elle exige une extraction temporelle avec des équipements complexes qui sont spécifiques à chaque BER et à chaque format.

La technique par déclenchement logiciel [11-14] reconstruit les formes d'onde du diagramme de l'œil synchrone sans signal d'horloge externe synchronisé avec la transmission du signal optique, à partir des données numériques obtenues par échantillonnage asynchrone. Elle n'est pas basée sur la vitesse de transmission du signal optique et sur les formats des

¹ Les chiffres entre crochets se réfèrent à la Bibliographie.

données (RZ ou NRZ). La méthode de mesure des diagrammes de l'œil et du facteur de qualité à l'aide de la technique par déclenchement logiciel est une alternative économique aux estimations de BER. Avec les diagrammes de l'œil et le facteur de qualité utilisant la méthode par déclenchement logiciel, les dégradations de la qualité du signal dues à la dégradation du rapport signal sur bruit optique (OSNR), aux fluctuations de gigue et à la distorsion de la forme d'onde, peuvent être surveillées.

Cela constitue une des approches prometteuses de surveillance des performances pour les systèmes de transmission optique modulés en intensité, détection directe (IM-DD).

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

Partie 2-12: Systèmes numériques – Mesure des diagrammes de l'œil et du facteur de qualité à l'aide d'une technique par déclenchement logiciel pour l'évaluation de la qualité de la transmission de signaux

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 61280 définit la procédure de mesure des diagrammes de l'œil et du facteur de qualité de la transmission de signaux optique (RZ et NRZ) à l'aide d'une technique par déclenchement logiciel, présentée en 4.1 [14].

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

IEC 61280-2-2, *Fibre optic communication subsystem basic test procedures – Part 2-2: Test procedure for digital systems – Optical eye pattern, waveform and extinction ratio measurement*
(disponible en anglais seulement)

ITU-T Recommendation G.959.1:2012, *Optical transport network physical layer interfaces*
(disponible en anglais seulement)

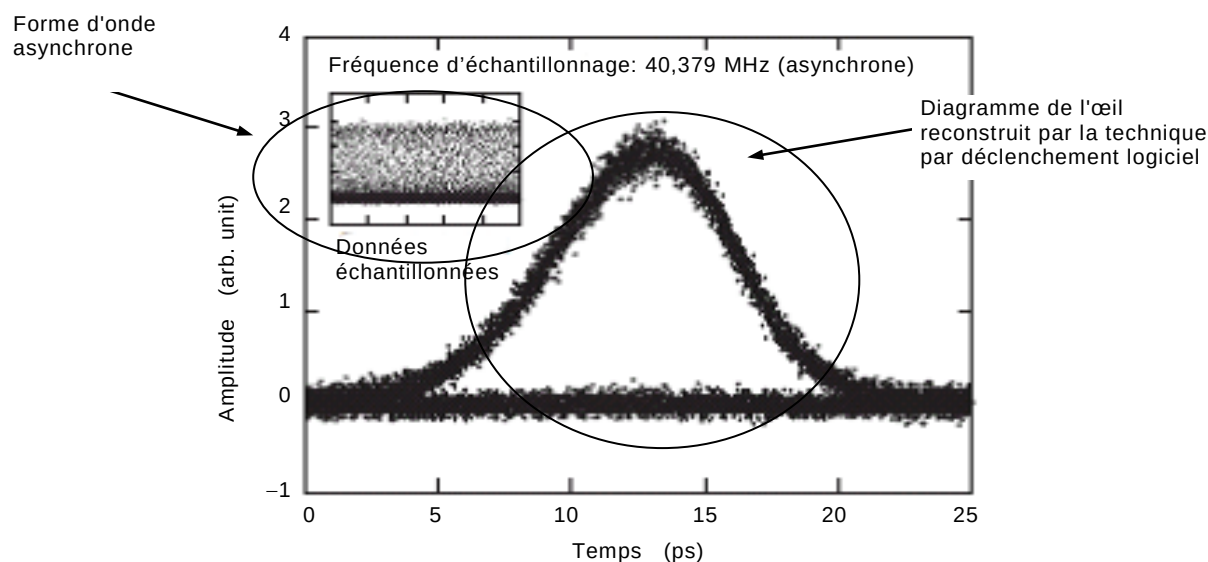
3 Termes abrégés

Terme	Terme en français	Equivalent en anglais
ASE	émission spontanée amplifiée	amplified spontaneous emission
BER	taux d'erreur binaire	bit error rate
CD	dispersion chromatique	chromatic dispersion
EDFA	amplificateur à fibre dopée à l'erbium	erbium-doped fibre amplifier
IM-DD	modulé en intensité – détection directe	intensity modulated direct detection
RZ	retour à zéro	return-to-zero
NRZ	non-retour à zéro	non-return-to-zero
OBPF	filtre passe-bande optique	optical bandpass filter
OSNR	rapport signal sur bruit optique	optical signal-to-noise ratio
OTN	réseaux de transport optiques	optical transport networks
PMD	dispersion en mode de polarisation	polarization mode dispersion
SNR	rapport signal sur bruit	signal-to-noise ratio
WDM	multiplexage par répartition en longueur d'onde	wavelength division multiplexing

4 Méthode de synchronisation logicielle et facteur de qualité

4.1 Exemple de forme d'onde asynchrone et de diagramme de l'œil reconstruits par une technique par déclenchement logiciel

La Figure 1 montre un exemple de diagramme de l'œil synchrone RZ à 40 Gb/s construit à partir de données asynchrones échantillonnées à l'aide de la technique par déclenchement logiciel. L'incrustation de la Figure 1 montre une forme d'onde asynchrone obtenue à partir des mêmes données échantillonnées asynchrones.



IEC 1198/14

Figure 1 – Forme d'onde asynchrone et diagramme de l'œil synchrone d'un signal RZ à 40 Gb/s reconstruit par une technique par déclenchement logiciel

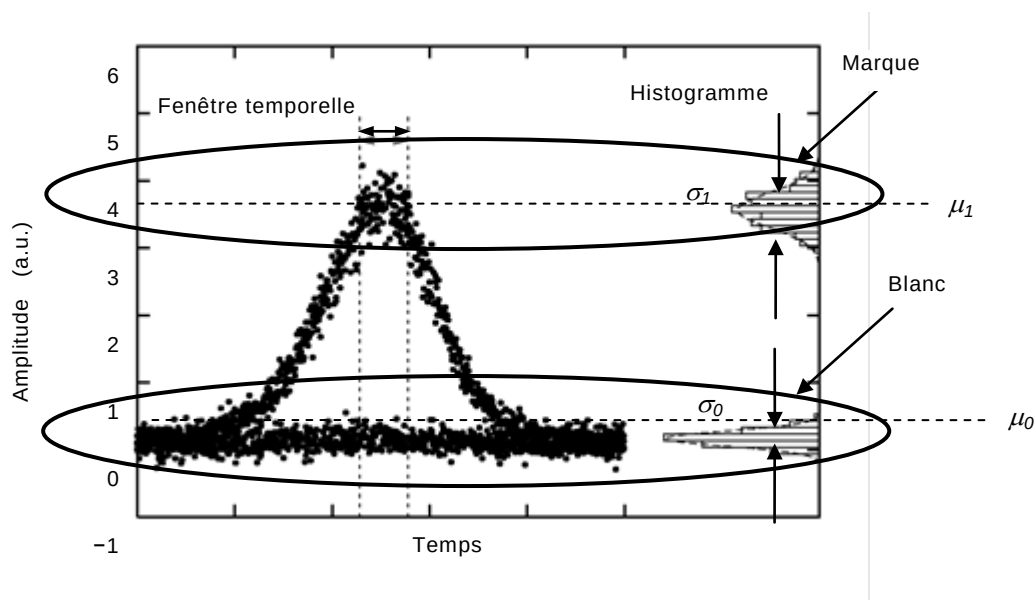
4.2 Formule du facteur de qualité

Comme représenté sur la Figure 2, le facteur de qualité peut être calculé d'après un histogramme de niveaux «marqué» («1») et «blanc» («0») dans la fenêtre temporelle, dans lequel une fenêtre temporelle appropriée est créée dans une grande partie de l'ouverture de l'œil. La fenêtre temporelle est séparée en niveaux «marqué» («1») et «blanc» («0»), la moyenne μ_0 et l'écart-type σ_0 des données du niveau «blanc» («0») et la moyenne μ_1 et l'écart-type σ_1 des données du niveau «marqué» («1») sont calculés, et le facteur de qualité est calculé en remplaçant les μ_0 , σ_0 , μ_1 , et σ_1 obtenus dans la Formule (1).

Le facteur de qualité dépend de la position du centre de la fenêtre temporelle. Pour évaluer la qualité de transmission du signal optique, la valeur maximale obtenue par le calcul de la Formule (1) en modifiant la position du centre de la fenêtre temporelle est définie en tant que facteur de qualité.

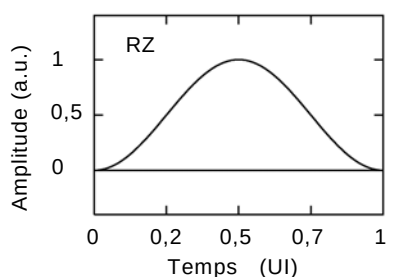
$$Q = \frac{|\mu_1 - \mu_0|}{\sigma_1 + \sigma_0} \quad (1)$$

Le facteur de qualité dépend également de la largeur de la fenêtre temporelle. On suppose que la forme d'onde du signal est sinusoïdale RZ avec un rapport cyclique de 50 % (Figure 3a) ou sinusoïdale NRZ (Figure 3b) et $\sigma_0 = \sigma_1$, les relations calculées entre le facteur de qualité et la largeur de la fenêtre sont indiquées à la Figure 3c. Une largeur de fenêtre appropriée est de 0,1 UI ou moins pour un signal RZ, et 0,2 UI ou moins pour un signal NRZ.



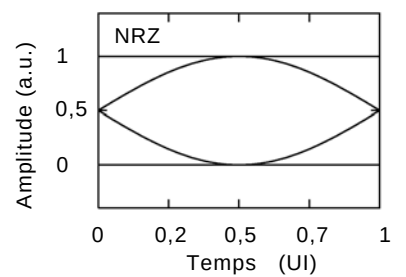
IEC 1199/14

Figure 2 – Diagramme de l'œil synchrone RZ reconstruit par une technique par déclenchement logiciel, fenêtre temporelle et histogramme



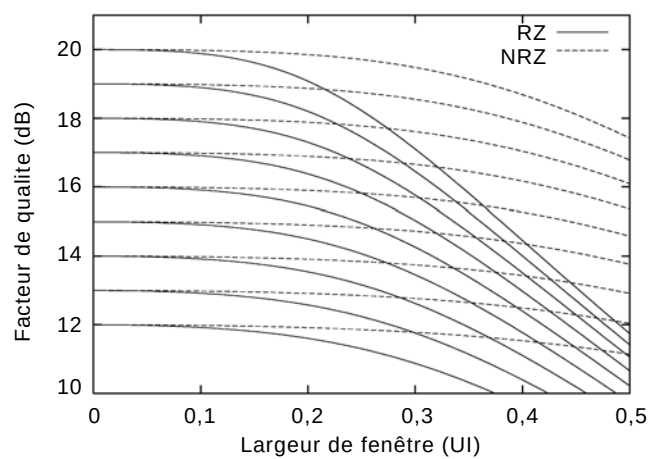
IEC 1200/14

Figure 3a – Sinusoïdal RZ avec rapport cyclique 50 %



IEC 1201/14

Figure 3b – Sinusoïdal NRZ



IEC 1202/14

Figure 3c – Relation calculée entre le facteur de qualité et la largeur de fenêtre

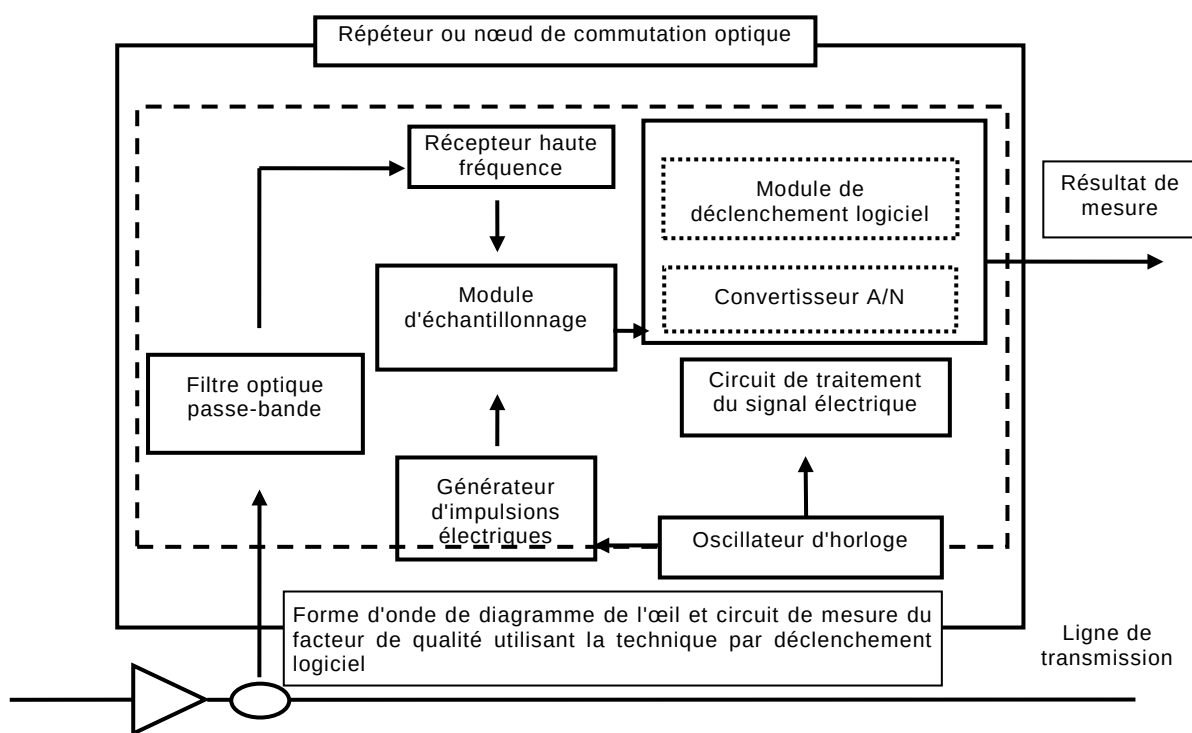
Figure 3 – Exemple de relation entre le facteur de qualité et la largeur de la fenêtre

5 Appareillage

5.1 Généralités

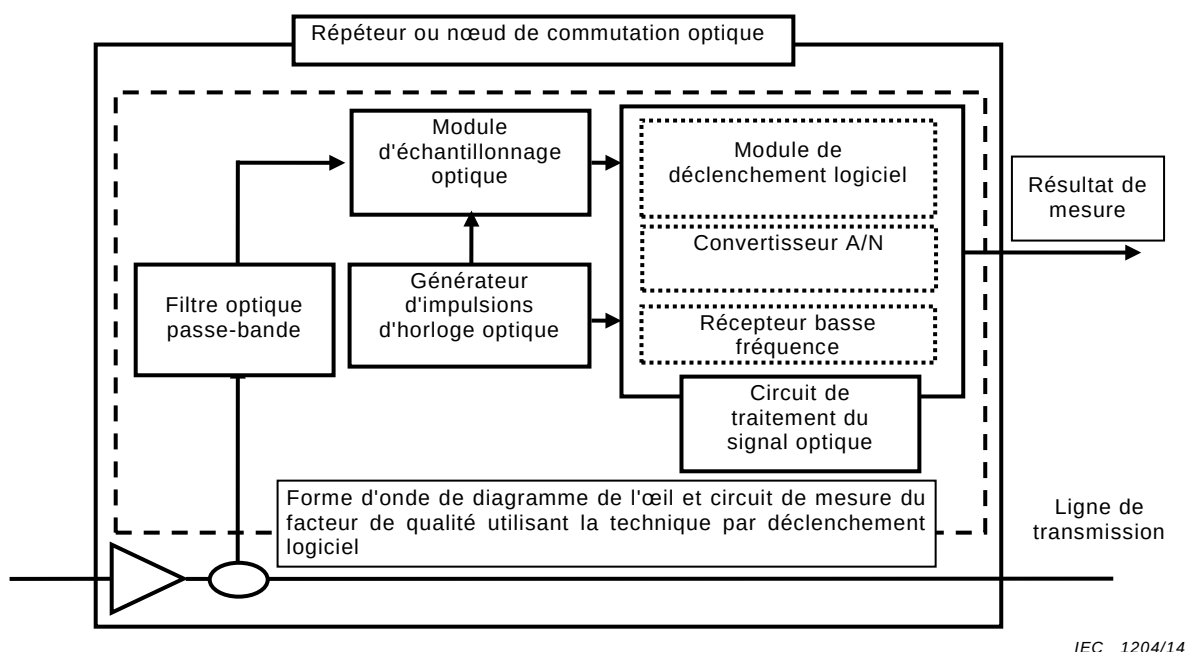
Les systèmes d'essai sont principalement constitués d'un filtre optique passe-bande, d'un récepteur haute fréquence, d'un oscillateur d'horloge, d'un générateur d'impulsions électriques, d'un module d'échantillonnage, d'un circuit de traitement du signal électrique avec un convertisseur AN et d'un module de déclenchement logiciel (Figure 4); ou bien, d'un filtre optique passe-bande, d'un générateur d'impulsions d'horloge optique, d'un module d'échantillonnage optique, d'un circuit de traitement de signal optique avec un convertisseur AN, d'un récepteur basse fréquence et d'un module de synchronisation logiciel (Figure 5).

Dans le cas général, le diagramme de l'œil et les mesures de facteur de qualité sont réalisés après l'amplification optique des répéteurs, les interconnexions optiques et les autres nœuds, car un niveau de puissance de signal suffisant et une compensation de CD sont nécessaires pour la surveillance du facteur de qualité.



IEC 1203/14

Figure 4 – Système d'essai 1 pour mesurer les diagrammes de l'œil et le facteur de qualité en utilisant la technique par déclenchement logiciel



IEC 1204/14

Figure 5 – Système d'essai 2 pour mesurer les diagrammes de l'œil et le facteur de qualité en utilisant la technique par déclenchement logiciel

5.2 Filtre passe-bande optique

Il convient d'utiliser un filtre passe-bande optique pour éliminer le bruit d'ASE inutile provenant de l'amplificateur optique et/ou pour extraire le canal nécessaire des signaux WDM. Il convient que la largeur de bande du filtre optique B_{opt} soit plus large que le débit binaire du signal optique. La forme de l'OBPF est présentée dans la Recommandation G.959.1:2012 de l'UIT-T à la Figure B.2 où deux paramètres, le rapport de suppression de puissance du canal adjacent et la déviation de fréquence centrale, sont définis.

5.3 Récepteur haute fréquence

Le récepteur haute fréquence est normalement une photodiode rapide suivie par une amplification électrique. Le récepteur haute fréquence est équipé d'un connecteur optique approprié pour permettre la connexion au point d'interface optique, soit directement soit via une jarretière optique.

Il est impossible de donner des spécifications précises en raison de la grande variété des installations possibles. Toutefois, il convient que le récepteur haute fréquence suive les lignes directrices générales fondées sur l'IEC 61280-2-2 comme suit:

- plage de longueurs d'onde d'entrée acceptable, appropriée pour couvrir l'application prévue;
- sensibilité appropriée pour produire un diagramme de l'œil;

Par exemple, supposons qu'un flux de données optiques sans retour à zéro (NRZ) avec une puissance optique moyenne de -15 dBm soit à mesurer. Si la sensibilité du circuit de traitement de signal avec module d'échantillonnage est de 10 mV/div, une sensibilité de 790 V/W est nécessaire pour produire un diagramme de l'œil de 50 mV crête à crête.

- puissance optique équivalente du bruit, suffisamment faible pour donner une mesure précise;

Par exemple, supposons qu'un flux de données optiques sans retour à zéro (NRZ) avec une puissance optique moyenne de -15 dBm soit à mesurer. Si la largeur de bande de bruit efficace du système de mesure est de 470 MHz et si le bruit en valeur efficace affiché est considéré comme étant inférieur à 5% de la hauteur du diagramme de l'œil

asynchrone, il convient que la puissance optique équivalente au bruit soit de $145 \text{ pw-Hz}^{-1/2}$ ou moins.

- d) Fréquence de coupure supérieure (-3 dB), B_{mes} Hz;

Pour assurer répétabilité et précision, il convient que la fréquence de coupure supérieure (largeur de bande), B_{mes} , du système de mesure soit indiquée explicitement dans les spécifications particulières.

Pour les signaux au format NRZ, le récepteur haute fréquence et le module d'échantillonnage ayant une réponse impulsionnelle combinée avec une largeur de bande à -3 dB de $0,75/T$ (T étant l'intervalle des bits en secondes du signal de données) sont souvent utilisés. Pour les signaux au format RZ, le contenu spectral peut être bien supérieur au signal NRZ au même débit binaire de signal. Ceci peut donner une largeur de bande du système de mesure dépassant la fréquence d'horloge.

- e) fréquence de coupure inférieure (-3 dB), B_{low} Hz;

Pour éviter une distorsion significative du diagramme de l'œil détecté due à une insuffisance en composantes spectrales à basse fréquence, il convient que la fréquence de coupure inférieure, B_{low} , du système de mesure soit suffisamment petite par rapport à $1/T_{\text{samp}} \cdot T_{\text{samp}}$ est le temps d'échantillonnage total décrit en 5.12. Un couplage en courant continu n'est pas toujours nécessaire pour les mesures de facteur de qualité, car la composante en courant continu du diagramme de l'œil est annulée par $\mu_1 - \mu_0$ dans la Formule (1).

- f) il convient que la réponse transitoire, le dépassement positif, le dépassement négatif et les autres aberrations de forme d'onde soient mineurs de manière à ne pas interférer avec la mesure;

Il convient que la fréquence de coupure supérieure (largeur de bande), B_{mes} , du système de mesure détermine essentiellement la réponse transitoire du système.

- g) il convient que la largeur de bande de la boucle de récupération d'horloge logicielle correspondante soit suffisamment grande pour poursuivre le signal avec le bruit de phase des essais. La largeur de bande de boucle résultante est associée au taux d'échantillonnage et à l'algorithme de synchronisation. Dans la pratique, la largeur de bande de boucle est au moins 100 fois plus petite que le taux d'échantillonnage. Par exemple, dans l'IEC 61280-2-2, des largeurs de bande de boucle de 4 MHz sont recommandées pour des données 10 G NRZ, ce qui conduit à un taux d'échantillonnage recommandé de 400 MÉchantillons/s. Avec une meilleure régulation des VCO du signal, la largeur de bande de boucle recommandée peut être réduite.

- h) affaiblissement de réflexion électrique de sortie suffisamment élevé pour que les réflexions provenant du module d'échantillonnage qui suit le récepteur soient supprimées de manière appropriée, de 0 Hz à une fréquence très supérieure à la largeur de bande du récepteur;

Une mesure dans le domaine temporel peut être très imprécise en présence de réflexions importantes multiples. Une valeur minimale de 15 dB est recommandée pour le facteur d'adaptation lorsque de nombreux composants sont utilisés après le récepteur. Le facteur d'adaptation de sortie efficace du récepteur peut être amélioré avec des affaiblisseurs électriques en ligne, aux dépens des niveaux du signal, réduits. Enfin, la spécification de l'affaiblissement de réflexion s'étend au courant continu, car sinon il se produirait un décalage en courant continu dans la forme d'onde ce qui entraînerait des erreurs dans les mesures du facteur de qualité.

5.4 Oscillateur d'horloge

L'oscillateur d'horloge génère un signal d'horloge qui correspond au taux d'échantillonnage. La gigue du signal d'horloge générée aux fréquences supérieures à la largeur de bande de la boucle de récupération d'horloge logicielle doit être suffisamment inférieure à la période des bits pour des diagrammes de l'œil clairs, et elle est envoyée à un générateur d'impulsions électriques et à un circuit de traitement du signal électrique. Une fréquence d'horloge élevée est souhaitable pour une grande largeur de bande de récupération d'horloge.

5.5 Générateur d'impulsions électriques

Il convient que le générateur d'impulsions électriques soit capable de fournir un train d'impulsions électriques courtes ou un signal d'horloge électrique avec une vitesse de variation correcte au module d'échantillonnage. La fréquence de répétition des impulsions électriques est identique au taux d'échantillonnage.

5.6 Module d'échantillonnage

Il convient que le module d'échantillonnage échantillonne les signaux électriques à un taux de répétition spécifié avec une largeur de temps d'échantillonnage spécifiée (fenêtre d'échantillonnage) en utilisant le train d'impulsions électriques générées par le générateur d'impulsions électriques, et détecte le niveau des signaux échantillonnés. Les valeurs échantillonnées sont envoyées au circuit de traitement du signal électrique.

La précision de Q dépend de la largeur de bande du système de mesure B_{mes} .

5.7 Circuit de traitement du signal électrique

Il convient que le circuit de traitement du signal électrique reconstruise la forme d'onde du diagramme de l'œil et calcule le facteur de qualité (et l'histogramme d'amplitude) en utilisant les signaux échantillonnés asynchrones provenant du module d'échantillonnage et du signal d'horloge provenant de l'oscillateur d'horloge. La formule du facteur de qualité est indiquée en 4.2.

Dans le circuit de traitement du signal électrique, le signal électrique échantillonné par le module d'échantillonnage est numérisé par le convertisseur AN et l'axe temporel est ensuite calculé d'après cette valeur numérisée dans le module de déclenchement logiciel. Un exemple de principe de traitement du signal dans le module de déclenchement logiciel est présenté à l'Annexe A [14].

5.8 Générateur d'impulsions d'horloge optique

Le générateur d'impulsions d'horloge optique génère un train d'impulsions optiques et un signal d'horloge à la vitesse d'échantillonnage. Le train d'impulsions optiques généré et un signal d'horloge sont respectivement envoyés au module d'échantillonnage optique et au circuit de traitement du signal optique. La fréquence de répétition du train d'impulsions optiques est synchrone avec le signal d'horloge. La gigue du train d'impulsions optiques générée aux fréquences supérieures à la largeur de bande de boucle de récupération d'horloge logique doit être suffisamment inférieure à la période des bits pour des diagrammes de l'œil clairs. La fréquence d'horloge optique supérieure est souhaitable pour une grande largeur de bande de récupération d'horloge.

5.9 Module d'échantillonnage optique

Il convient que le module d'échantillonnage optique échantillonne le signal optique à une vitesse de répétition spécifiée avec une largeur temporelle d'échantillonnage adéquate (fenêtre d'échantillonnage ou largeur de déclenchement), dépendant du débit binaire du signal optique. Une variation de la largeur temporelle d'échantillonnage conduit à une modification de la fréquence de coupure supérieure (-3 dB) B_{mes} du système de mesure. Le signal optique échantillonné est envoyé au circuit de traitement de signal optique.

La relation calculée entre la largeur temporelle d'échantillonnage adéquate (largeur de déclenchement) et le débit binaire du signal optique est présentée à l'Annexe B.

5.10 Circuit de traitement du signal optique

Il convient que le circuit de traitement du signal optique reconstruise la forme d'onde du diagramme de l'œil et calcule le facteur de qualité (et l'histogramme d'amplitude) en utilisant les signaux échantillonnés asynchrones provenant du module d'échantillonnage et le signal

d'horloge provenant du générateur d'impulsions d'horloge optique. La formule du facteur de qualité se trouve en 4.2.

Dans le circuit de traitement de signal optique, le signal optique échantillonné par le module d'échantillonnage optique est numérisé par le récepteur basse fréquence et le convertisseur AN. L'axe temporel est ensuite calculé d'après cette valeur numérisée dans le module de déclenchement logiciel. La largeur de bande du récepteur basse fréquence doit être plus de 2 fois plus grande que le taux d'échantillonnage. Un exemple de principe de traitement de signal dans le module de déclenchement logiciel est présenté à l'Annexe A [14].

5.11 Largeur de bande de synchronisation

Dans les lignes directrices de l'IEC 61280-2-2, un système de déclenchement d'oscilloscope utilisant une horloge récupérée à partir du signal soumis à l'essai est présenté. La largeur de bande de récupération d'horloge pour les mesures de diagramme de l'œil sera similaire à celle du récepteur du système de communication pour supprimer une gigue sans importance qui ne dégrade pas les communications au niveau du système. Une fréquence d'échantillonnage élevée supérieure à 1 GÉchantillon/s est nécessaire pour obtenir une largeur de bande de récupérations d'horloge aussi large que celle du récepteur du système de communication, en utilisant la méthode de synchronisation logicielle.

Toutefois, une faible fréquence d'échantillonnage, inférieure à 1 GÉchantillon/s est souhaitable pour la surveillance du facteur de qualité à faible coût, à l'aide de la méthode par synchronisation logicielle, et la largeur de bande de récupération d'horloge du moniteur du facteur de qualité peut être inférieure à celle du récepteur du système de communication. Si la fréquence de la gigue est supérieure à la largeur de bande de récupération d'horloge, la gigue apparaîtra dans le diagramme de l'œil et l'ouverture horizontale de l'œil sera diminuée par la gigue. En conséquence, la surveillance du facteur de qualité à faible coût est plus sensible à une gigue haute fréquence que les instruments de mesure avec une grande largeur de bande de récupération d'horloge.

5.12 Paramètres du système de surveillance

Pour mesurer le diagramme de l'œil et le facteur de qualité des signaux de transmission optiques en utilisant la technique par déclenchement logiciel, des paramètres appropriés du système d'essai doivent être choisis. La largeur de bande du filtre optique, B_{opt} , détermine la largeur de bande et le SNR optique du signal optique à traiter. La largeur de bande du système de mesure, B_{mes} , est déterminée par le récepteur haute fréquence et le module d'échantillonnage du système d'essai 1 (Figure 4) ou le module d'échantillonnage optique du système d'essai 2 (Figure 5); elle influence le diagramme de l'œil et le facteur de qualité. Le nombre d'échantillonnages, N_{samp} , est le nombre de points échantillonnés pour tracer l'histogramme d'amplitude. Le nombre d'échantillonnages, N_{total} , est le nombre total de points échantillonnés. Le taux d'échantillonnage, R_{samp} , est le taux de répétition de l'horloge d'échantillonnage. Le temps d'échantillonnage total, T_{samp} , est un paramètre associé à la largeur de bande de récupération d'horloge. Les termes T_{samp} , N_{samp} , N_{total} et R_{samp} sont liés comme suit

$$N_{\text{total}} = T_{\text{bit}} / T_{\text{window}} \times N_{\text{samp}} \quad (2)$$

$$T_{\text{samp}} = N_{\text{total}} / R_{\text{samp}} \quad (3)$$

Les paramètres du système de surveillance sont énumérés dans le Tableau 1.

Tableau 1 – Paramètres du système de surveillance

B_{opt}	Largeur de bande du filtre optique
B_{mes}	Largeur de bande du système de mesure
T_{bits}	Durée de 1bit
T_{window}	Durée de la largeur de la fenêtre
N_{samp}	Nombre d'échantillons
R_{samp}	Fréquence d'échantillonnage
T_{samp}	Temps d'échantillonnage total

6 Procédure

6.1 Généralités

En utilisant la technique par déclenchement logiciel, on peut reconstruire les diagrammes de l'œil d'après les données échantillonnées asynchrones et le facteur de qualité peut être calculé d'après ces formes d'onde.

6.2 Mesure des diagrammes de l'œil et calculs du facteur de qualité Q

La procédure de mesure des diagrammes de l'œil en utilisant la technique par déclenchement logiciel et la mesure du facteur de qualité sont présentés ci-dessous.

- Mettre les appareils de mesure sous tension et attendre une durée suffisante pour stabiliser leurs températures et leurs performances.
- Relier le signal optique sur la ligne de transmission au système d'essai, comme représenté sur la Figure 4 ou la Figure 5. Un EDFA n'est nécessaire que si la puissance provenant de la ligne de transmission est insuffisante pour fournir un niveau de signal suffisamment élevé au récepteur haute fréquence ou au récepteur basse fréquence. Lorsqu'un EDFA est utilisé, l'ASE de l'EDFA modifie l'OSNR. De ce fait, il est nécessaire de confirmer que la mesure exigée du facteur de qualité peut être réalisée.
- Reconstruire le diagramme de l'œil par l'intermédiaire des données échantillonnées asynchrones et calculer le facteur de qualité d'après l'histogramme d'amplitude en utilisant le déclenchement logiciel.

NOTE Le facteur de qualité peut être calculé au moyen de la Formule (1).

Annexe A (informative)

Exemple de traitement du signal nécessaire pour reconstruire le diagramme de l'œil synchrone

La technique par déclenchement logiciel pour mesurer les diagrammes de l'œil et le facteur de qualité de la transmission des signaux optiques RZ reconstruit les diagrammes de l'œil synchrones à partir des données d'échantillonnage asynchrones, par l'intermédiaire d'une technique de traitement du signal. La Figure A.1 représente un schéma par blocs du module de déclenchement logiciel, qui est nécessaire pour reconstruire les diagrammes de l'œil d'après les données numériques obtenues par l'intermédiaire d'un échantillonnage asynchrone.

Comme présenté à la Figure A.1, les données d'échantillonnages asynchrones qui ont été numérisées par le convertisseur AN sont divisées en deux branches, l'une d'entre elles étant directement envoyée au dispositif d'affichage du diagramme de l'œil en tant que signal d'amplitude (signal sur l'axe vertical). L'autre signal est de nouveau divisé en deux signaux. Pour l'une de ces dérivations, on effectue une transformation de Fourier discrète pour obtenir le spectre discret. Les données du spectre discret obtenues sont interpolées, et une fréquence de crête précise est obtenue à partir du spectre. (Cette fréquence de crête est utilisée en tant que fréquence de battement entre la fréquence d'horloge de transmission du signal optique et une fréquence qui est un multiple de la fréquence d'échantillonnage. La Figure A.2 montre un exemple d'obtention d'une fréquence de battement par interpolation du spectre discret). Pour l'autre signal dérivé, la phase de la composante du signal au niveau du signal de battement lorsque le signal d'amplitude est obtenu est détectée, l'axe temporel (axe horizontal) est normalisé à un intervalle unitaire (UI) et le signal de l'axe temporel est envoyé au dispositif d'affichage du diagramme de l'œil de façon que le centre de l'axe temporel ait une phase de 0 degré.

Les principes sont ici expliqués en utilisant une transmission des signaux optiques RZ, mais même en mesurant des transmissions de signaux optiques NRZ n'ayant pas de composante de fréquence d'horloge, les diagrammes de l'œil synchrones peuvent être reconstruits en utilisant la technique par déclenchement logiciel par un calcul non linéaire des données d'échantillonnage asynchrone avant le traitement de transformation de Fourier discrète.

Pour une méthode de synchronisation logicielle type, puisque l'on suppose que la fréquence de battement est constante pendant le temps d'échantillonnage total, T_{samp} , la fréquence d'horloge moyennée pendant T_{samp} est détectée pour la synchronisation. La fonction de transfert de gigue correspond à la fonction de transfert de la réponse impulsionnelle rectangulaire avec une largeur de T_{samp} , et la largeur de bande de récupération d'horloge (largeur de bande équivalente de bruit) devient donc $1/(2T_{\text{samp}})$. Par exemple, la fréquence d'échantillonnage, R_{samp} , est de 40 MÉchantillons/s, le nombre total de points d'échantillonnage, N_{total} , est de 10 000, la largeur de bande de récupération d'horloge équivalente passe à 2 kHz, ce qui est inférieur à celle du récepteur du système de communication type.

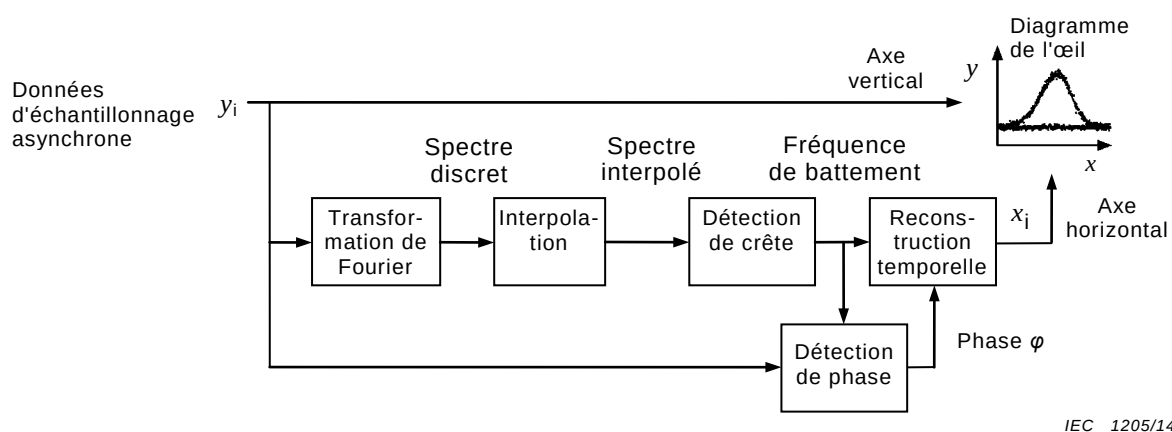


Figure A.1 – Schéma-bloc du module de déclenchement logiciel

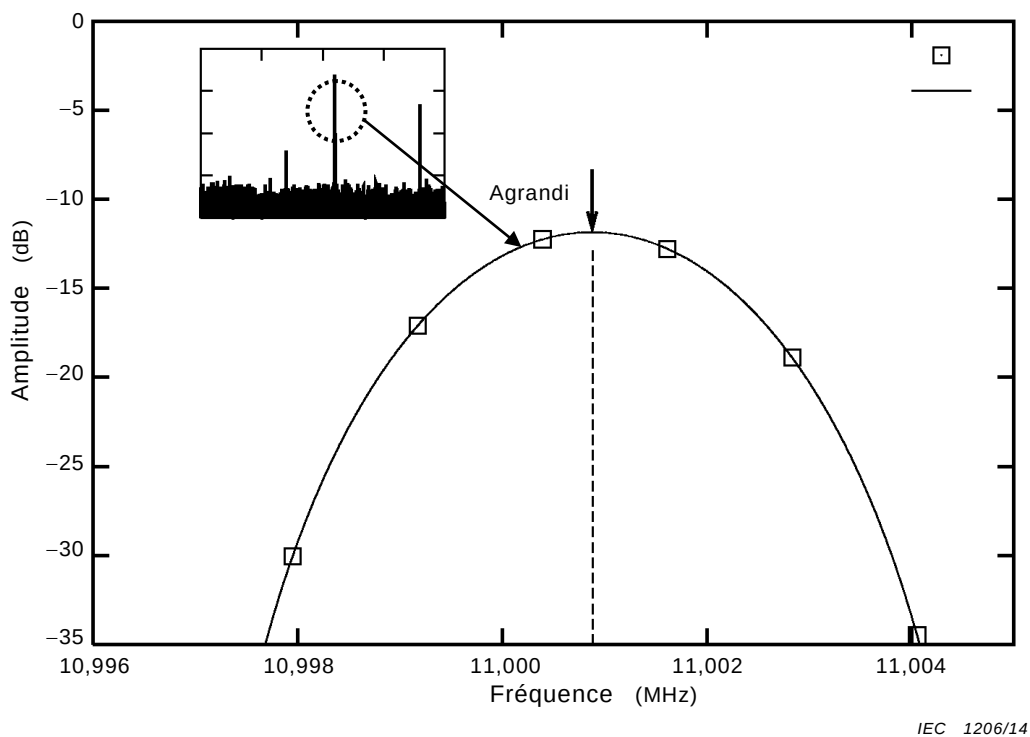


Figure A.2 – Exemple d'interpolation d'un spectre discret et détermination de la fréquence de battement

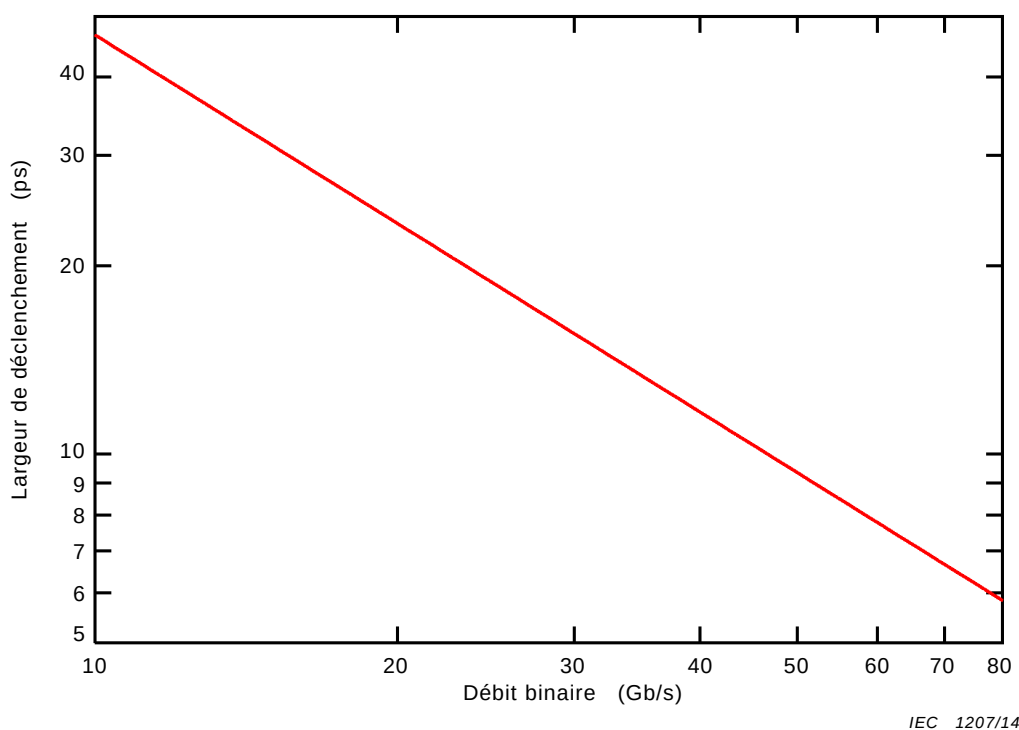
Annexe B (informative)

Largeur temporelle d'échantillonnage adéquate (largeur de déclenchement)

La largeur temporelle d'échantillonnage adéquate (largeur de déclenchement) est calculée au moyen d'un débit binaire équivalent. Le débit binaire équivalent est déterminé par la réponse impulsionnelle théorique adaptée d'un filtre de Bessel du 5^{ème} ordre avec une fréquence de coupure de 75 % du débit binaire à la réponse impulsionnelle du déclenchement d'échantillonnage.

La Figure B.1 montre une relation calculée entre la largeur temporelle d'échantillonnage adéquate (largeur de déclenchement) et le débit binaire d'un signal optique NRZ.

Dans le cas général, un modulateur à électroabsorption est utilisé en tant que module d'échantillonnage optique, car la largeur de déclenchement de ce dispositif peut être réglée par le niveau de puissance d'entrée d'impulsion optique et/ou le niveau de polarisation en courant continu [15].



IEC 1207/14

Figure B.1 – Relation type calculée entre la largeur temporelle d'échantillonnage adéquate (largeur de déclenchement) et le débit binaire du signal optique

Bibliographie

- [1] GREEN, P.E. Jr., "*Optical Networking Update*", IEEE J. Select. Areas Commun., 5, pp. 764-779, 1996.
- [2] OKAMOTO, S. and SATO, K.-I., "*Inter-network interface for photonic transport networks and SDH transport networks*", IEEE Global Telecommunications Conference, 1997. (GLOBECOM '97), 2, pp. 850 -855, 1997.
- [3] KOBAYASHI, S. and FUKUDA, Y., "*A Burst-mode Packet Receiver with Bit-rate-discriminating Circuit for Multi-bit-rate Transmission System*", IEEE Lasers and Electro-Optics Society 1999 Annual Meeting (LEOS '99), WX4, pp. 595 -596, 1999.
- [4] OTSUKA, K., MAKI, T., SAMPEI, Y., TACHIKAWA, Y., FUKUSHIMA, N. and CHIKAMA, T., "*A high-performance optical spectrum monitor with high-speed measuring time for WDM optical network*", 23rd European Conference on Optical Communication (ECOC'97), pp. 147-150, 1997.
- [5] SHIN, S.K., LEE, C.-H. and CHUNG, T.C., "*A novel frequency and power monitoring method for WDM network*", Optical Fiber Communication Conference 1998 (OFC'98), pp. 168-170, 1998.
- [6] BENDELLI, G., CAVAZZONI, C., GIRARDI, R. and LANO, R. "*Optical performance monitoring techniques*", 26th European Conference on Optical Communication (ECOC2000), Vol. 4, pp. 113-116, 2000.
- [7] HILL, G.R. et al., "*A transport layer based on optical network elements*", J. Lightwave, Tech., 11, pp. 667-679, 1993.
- [8] BERGANO, N.S., KERFOOT, F.W. and DAVIDSON, C.R., "*Margin Measurements in Optical Amplifier Systems*", IEEE Photonics Tech. Lett., 3, pp. 304-306, 1993.
- [9] WIESMANN, R., BLECK, O. and HEPPNER, H., "*Cost effective performance monitoring in WDM systems*", Optical Fiber Communication Conference 2000 (OFC2000), Vol. 2, pp. 171-173, 2000.
- [10] FREGOLENT, M., HERBST, S., SOEHNLE, H. and WEDDING, B. "*Adaptive optical receiver for performance monitoring and electronic mitigation of transmission impairments*", 26th European Conference on Optical Communication (ECOC2000), } Vol. 1, pp. 63-64, 2000.
- [11] NOIRIE, L., CEROU, F., MOUSTAKIDES, G., AUDOUIN, O. and PELOSO, P. "*New transparent optical monitoring of the eye and BER using asynchronous under-sampling of the signal*", 28th European Conference on Optical Communication (ECOC 2002), Copenhagen, Denmark, Sep. 2002, paper PD2.2.
- [12] WESTLUND, M., SUNNERUD, H., KARLSSON, M. and ANDREKSON, P.A., "*Software synchronized all-optical sampling for fiber communication systems*", J. Lightwave.Tech., 2005, vol.23, no. 3, pp. 1088-1099.
- [13] KIATCHANOG, T., IGARASHI, K., TANEMURA, T., WANG, D., KATOH, K. and KIKUCHI, K., "*Real-time all-optical waveform sampling using a free-running passively mode-locked fiber laser as the sampling pulse source*", Optical Fiber Communication Conference (OFC 2006), Anaheim, California, USA, Mar. 2006, paper OWN1.
- [14] TAKASHI MORI and AKIHITO OTANI, "*A Simple Synchronization Method for Optical Sampling Eye Monitor*," Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 49, 070208, 2010

- [15] TAKASHI MORI, TAKEHIRO TSURITANI and AKIHITO OTANI, "Variable Gate Width All-Optical Sampling using Electroabsorption Modulator for Optical Performance Monitor," OFC/NFOEC2011, OWC3, 2011.
-

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

3, rue de Varembé
PO Box 131
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel: + 41 22 919 02 11
Fax: + 41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch