

**RAPPORT
TECHNIQUE
TECHNICAL
REPORT**

**CEI
IEC**

TR 61282-6

Première édition
First edition
2003-01

**Guides de conception des systèmes
de communication à fibres optiques –**

**Partie 6:
Conception d'obliquité dans les systèmes
d'interconnexion optiques parallèles**

**Fibre optic communication system
design guides –**

**Part 6:
Skew design in parallel optical
interconnection systems**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC/TR 61282-6:2003

Numérotation des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000. Ainsi, la CEI 34-1 devient la CEI 60034-1.

Editions consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique. Des renseignements relatifs à cette publication, y compris sa validité, sont disponibles dans le Catalogue des publications de la CEI (voir ci-dessous) en plus des nouvelles éditions, amendements et corrigenda. Des informations sur les sujets à l'étude et l'avancement des travaux entrepris par le comité d'études qui a élaboré cette publication, ainsi que la liste des publications parues, sont également disponibles par l'intermédiaire de:

- Site web de la CEI (www.iec.ch)
- Catalogue des publications de la CEI

Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI (www.iec.ch/catlg-f.htm) vous permet de faire des recherches en utilisant de nombreux critères, comprenant des recherches textuelles, par comité d'études ou date de publication. Des informations en ligne sont également disponibles sur les nouvelles publications, les publications remplacées ou retirées, ainsi que sur les corrigenda.

- IEC Just Published

Ce résumé des dernières publications parues (www.iec.ch/JP.htm) est aussi disponible par courrier électronique. Veuillez prendre contact avec le Service client (voir ci-dessous) pour plus d'informations.

- Service clients

Si vous avez des questions au sujet de cette publication ou avez besoin de renseignements supplémentaires, prenez contact avec le Service clients:

Email: custserv@iec.ch
Tél: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

Publication numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series. For example, IEC 34-1 is now referred to as IEC 60034-1.

Consolidated editions

The IEC is now publishing consolidated versions of its publications. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Further information on IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology. Information relating to this publication, including its validity, is available in the IEC Catalogue of publications (see below) in addition to new editions, amendments and corrigenda. Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is also available from the following:

- IEC Web Site (www.iec.ch)
- Catalogue of IEC publications

The on-line catalogue on the IEC web site (www.iec.ch/catlg-e.htm) enables you to search by a variety of criteria including text searches, technical committees and date of publication. On-line information is also available on recently issued publications, withdrawn and replaced publications, as well as corrigenda.

- IEC Just Published

This summary of recently issued publications (www.iec.ch/JP.htm) is also available by email. Please contact the Customer Service Centre (see below) for further information.

- Customer Service Centre

If you have any questions regarding this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre:

Email: custserv@iec.ch
Tel: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

**RAPPORT
TECHNIQUE
TECHNICAL
REPORT**

**CEI
IEC**

TR 61282-6

Première édition
First edition
2003-01

**Guides de conception des systèmes
de communication à fibres optiques –**

**Partie 6:
Conception d'obliquité dans les systèmes
d'interconnexion optiques parallèles**

**Fibre optic communication system
design guides –**

**Part 6:
Skew design in parallel optical
interconnection systems**

© IEC 2003 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

S

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	4
INTRODUCTION	8
1 Domaine d'application.....	10
2 Configuration d'une interconnexion optique parallèle	10
2.1 Schéma d'une interconnexion optique parallèle	10
2.2 Verrouillage de données	12
2.3 Plan de transmission d'horloge	12
3 Obliquités en interconnexion optique parallèle	14
3.1 Définitions des obliquités	14
3.2 Mécanismes de génération d'obliquité dans des systèmes d'interconnexion	16
3.3 Tolérance dans le temps de montage/maintien d'obliquité	18
4 Méthode pratique de conception d'obliquité	20
4.1 Description générale d'une conception d'obliquité	20
4.2 Détermination et vérification de l'obliquité	22
5 Exemples des mesures d'obliquité	30
5.1 Configuration	30
5.2 Dépendance de température d'obliquité d'émetteur	32
5.3 Obliquité d'émetteur	34
5.4 Obliquité de récepteur du fait de la différence de puissance de réception	34
5.5 Obliquité de récepteur	36
Annexe A Note concernant l'obliquité du ruban à fibres optiques.....	38
Bibliographie	40
Figure 1 – Configuration d'interconnexion optique parallèle.....	10
Figure 2 – Plans de transmission d'horloge	14
Figure 3 – Définition d'obliquité en interconnexion optique parallèle.....	16
Figure 4 – Obliquité du récepteur à partir de la différence de niveau optique.....	18
Figure 5 – Définition de l'obliquité d'émetteur	20
Figure 6 – Définition de l'obliquité d'émetteur	20
Figure 7 – Configuration de système en cas de transmission d'horloge simultanée	22
Figure 8 – Schéma d'explication d'obliquité en cas de transmission d'horloge simultanée	24
Figure 9 – Configuration de système en cas d'extraction de rythme de l'accès représentatif	26
Figure 10 – Schéma d'explication d'obliquité en cas d'extraction de rythme de l'accès représentatif	26
Figure 11 – Configuration de système en cas d'alimentation d'horloge de système	28
Figure 12 – Schéma d'explication d'obliquité en cas d'alimentation d'horloge de système	30
Figure 13 – Schéma du module d'émetteur et récepteur	32
Figure 14 – Dépendance de température de l'obliquité d'émetteur.....	32
Figure 15 – Courbe d'accumulation d'obliquité d'émetteur à température de boîtier de 0 °C et 80 °C	34
Figure 16 – Exemple d'obliquité de récepteur affectée par le niveau de puissance de réception	34
Figure 17 – Courbe d'accumulation d'obliquité d'émetteur avec PinH = –12 dBm et –3 dBm	36

CONTENTS

FOREWORD	5
INTRODUCTION	9
1 Scope	11
2 Configuration of a parallel optical interconnection	11
2.1 Schematic diagram of a parallel optical interconnection	11
2.2 Data latch	13
2.3 Clock transmission scheme	13
3 Skews in parallel optical interconnection	15
3.1 Definitions of skews	15
3.2 Mechanisms of skew generation in interconnection systems	17
3.3 Tolerance in the skew-setup/hold time	19
4 Practical skew design method	21
4.1 General description of a skew design	21
4.2 Skew determination and verification	23
5 Examples of skew measurements	31
5.1 Configuration	31
5.2 Temperature dependence of transmitter skew	33
5.3 Transmitter skew	35
5.4 Receiver skew due to the receiving power difference	35
5.5 Receiver skew	35
Annex A Note concerning optical fibre ribbon skew	39
Bibliography	41
Figure 1 – Configuration of parallel optical interconnection	11
Figure 2 – Clock transmission schemes	15
Figure 3 – Definition of skew in an optical parallel interconnection	17
Figure 4 – Receiver skew from the optical level difference	19
Figure 5 – Definition of transmitter skew	21
Figure 6 – Definition of receiver skew	21
Figure 7 – System configuration in case of simultaneous clock transmission	23
Figure 8 – Explanation diagram of skew in case of simultaneous clock transmission	25
Figure 9 – System configuration in case of clock extraction from the representative port	27
Figure 10 – Explanation diagram of skew in case of clock extraction from the representative port	27
Figure 11 – System configuration in case of system clock supply	29
Figure 12 – Explanation diagram of skew in case of system clock supply	31
Figure 13 – A schematic diagram of the transmitter and receiver module	33
Figure 14 – Temperature dependence of transmitter skew	33
Figure 15 – Accumulation curve of transmitter skew at 0 °C and 80 °C case temperature	35
Figure 16 – An example of receiver skew affected by receiving power level	35
Figure 17 – Accumulation curve of transmitter skew with PinH = –12 and –3 dBm	37

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

GUIDES DE CONCEPTION DES SYSTÈMES DE COMMUNICATION À FIBRES OPTIQUES –

Partie 6: Conception d'obliquité dans les systèmes d'interconnexion optiques parallèles

AVANT-PROPOS

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

La tâche principale des comités d'études de la CEI est l'élaboration des Normes internationales. Toutefois, un comité d'études peut proposer la publication d'un rapport technique lorsqu'il a réuni des données de nature différente de celles qui sont normalement publiées comme Normes internationales, cela pouvant comprendre, par exemple, des informations sur l'état de la technique.

La CEI 61282-6, qui est un rapport technique, 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 ce rapport technique est issu des documents suivants:

Projet d'enquête	Rapport de vote
86C/343/DTR	86C/420/RVC

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

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

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

FIBRE OPTIC COMMUNICATION SYSTEM DESIGN GUIDES –

Part 6: Skew design in parallel optical interconnection systems

FOREWORD

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

The main task of IEC technical committees is to prepare International Standards. However, a technical committee may propose the publication of a technical report when it has collected data of a different kind from that which is normally published as an International Standard, for example “state of the art”.

IEC 61282-6, which is a technical report, has been prepared by subcommittee 86C: Fibre optic systems and active devices, of IEC technical committee 86: Fibre optics.

The text of this technical report is based on the following documents:

Enquiry draft	Report on voting
86C/343/DTR	86C/420/RVC

Full information on the voting for the approval of this technical report 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.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant 2009.
A cette date, la publication sera

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC TR 61282-6:2003

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until 2009. At this date, the publication will be

- reconfirmed;
- withdrawn;
- replaced by a revised edition, or
- amended.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC TR 61282-6:2003

INTRODUCTION

Une augmentation explosive des données transmises sur réseaux se passe. Cela poussera la recherche et le développement des systèmes de commutation de l'ATM (mode de transfert asynchrone) de classe Tb/s, des routeurs et des ordinateurs hautement parallèles. L'avancée de ces systèmes est principalement poussée par le progrès de la technologie du silicium, pour être plus précis: l'augmentation de la performance de la CMOS-LSI à la vitesse accrue et l'intégration à échelle supérieure. Cependant, le plan de signal devient un goulot d'étranglement dans l'amélioration de la performance du système selon le débit croissant de la LSI et de l'assemblage des cartes imprimées. Dans cette circonstance, les interconnexions optiques ont attiré l'attention pour résoudre le goulot d'étranglement. Les interconnexions optiques réaliseront la technologie de la pose de signal à haute densité et à haut débit par la transmission de signal optique. Cette technologie est appliquée à la transmission de signal dans des distances comparativement courtes s'étendant depuis l'intérieur de la puce à l'intérieur du bâtiment (moins de 1 km).

Les interconnexions optiques parallèles, où chaque signal optique est transmis de façon synchrone à travers des fibres multiples entre l'émetteur et le récepteur multiport, sont supposées être la méthode la plus prometteuse du fait du taux de débit élevé et de la rentabilité. Dans l'interconnexion optique parallèle, une obliquité, qui est un écart de temps de propagation parmi des voies, sera une question importante. L'obliquité des fibres optiques est un ou deux ordres de grandeur inférieur à celui de la pose électrique telle que les câbles coaxiaux et les câbles à paires torsadées, etc. La gestion prudente de l'obliquité est cependant requise parce que les augmentations de vitesse de transmission et la distance de transmission sont inévitables. De plus, l'obliquité n'est pas seulement générée dans les câbles à fibres optiques. L'obliquité est également générée par les différences des longueurs d'interconnexion dans les circuits d'émetteurs et/ou de récepteurs et les cartes à circuits imprimés, et par la variance des retards au déblocage dans la diode laser et les niveaux de puissance optique reçus dans la photodiode, etc. Par conséquent, il est important que les utilisateurs, les concepteurs de système et les fournisseurs de matériels prescrivent systématiquement les définitions, la méthode de conception et la méthode de mesure d'obliquité du point de vue d'un système optique.

Le présent rapport technique décrit les définitions, la classification et la tolérance d'obliquité dans des systèmes d'interconnexion optiques parallèles.

INTRODUCTION

An explosive increase in data transmitted over networks is taking place. This will prompt investigation and development of Tb/s-class ATM (asynchronous-transfer-mode) switching systems, routers and massively parallel computers. The advance of these systems is driven mainly by the progress of silicon technology, to be more specific: enhancement of performance of CMOS-LSI to higher-speed and larger-scale-integration. Signal wiring, however, is becoming a bottleneck in the improvement of system performance according to the increasing throughput of LSI and printed board assembly. In these circumstances, optical interconnects have attracted attention to resolve the bottleneck. Optical interconnects are to realize signal wiring technology with high-density and high-throughput by optical signal transmission. This technology is applied to the signal transmission in comparatively short distances ranging from within-chip to within-building (less than 1 km).

Parallel optical interconnects, where each optical signal is synchronously transmitted through multiple fibres between multiport transmitter and receiver, are assumed to be the most promising means because of their high-throughput rate and cost-effectiveness. In the parallel optical interconnect, a skew, which is a propagation time deviation among channels, will be a serious issue. The skew of optical fibres is one or two orders in magnitude less than that of electrical wiring such as coaxial cables and twisted pair cables, etc. The careful management of skew is required, however, because increases of transmission speed and transmission distance are inevitable. Moreover, the skew is generated not only in fibre optic cables, but also by the differences of the interconnect lengths in transmitter and/or receiver circuits and printed circuit boards, and by the variance of turn-on delays in the laser diode and received optical power levels in the photodiode, etc. Therefore, it is important for users, system designers, and hardware suppliers to prescribe systematically the definitions, design method, and measurement method of skew from the standpoint of an optical system.

This technical report describes the definitions, classification and tolerance of skew in parallel optical interconnect systems.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF file
TR 61282-6:2003

GUIDES DE CONCEPTION DES SYSTÈMES DE COMMUNICATION À FIBRES OPTIQUES –

Partie 6: Conception d'obliquité dans les systèmes d'interconnexion optiques parallèles

1 Domaine d'application

Le présent rapport technique décrit les définitions, la classification et la tolérance d'obliquité dans des systèmes d'interconnexion optiques parallèles. Des exemples sont donnés pour illustrer la méthode de la conception d'obliquité pour l'attribution d'obliquité dans le système d'interconnexion. L'annexe A fournit des informations supplémentaires concernant la mesure d'obliquité du système.

NOTE Des définitions détaillées et une méthode de mesure de l'obliquité dans les câbles à fibres optiques vont au-delà du domaine d'application du présent document. Elles peuvent être décrites dans un autre document CEI.

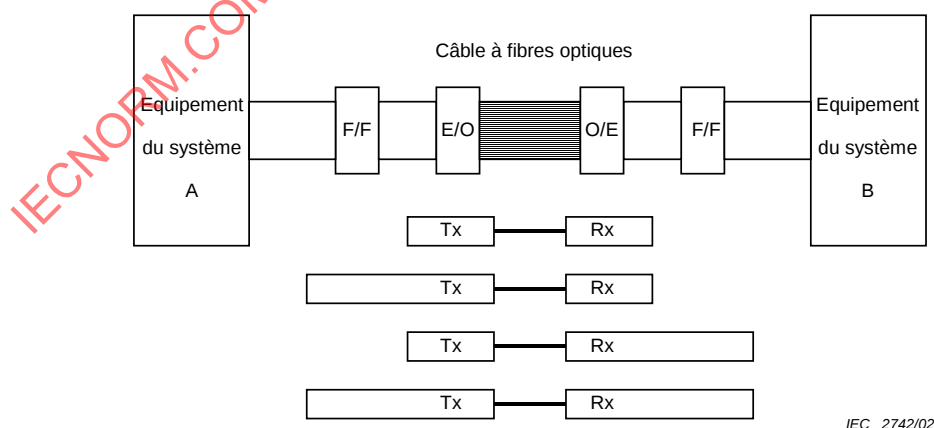
2 Configuration d'une interconnexion optique parallèle

2.1 Schéma d'une interconnexion optique parallèle

Dans une interconnexion optique parallèle, la performance de transmission est attribuée à la différence de temps de propagation entre les données et l'horloge pendant la transmission de verrou-à-verrou, ainsi que dans la transmission électrique. Les éléments de base de l'interconnexion optique parallèle sont:

- ensemble d'émetteurs optiques (y compris convertisseur électrique-à-optique);
- câble à fibres optiques;
- ensemble de récepteurs optiques (y compris le convertisseur optique-à-électrique); voir Figure 1.

L'obliquité dans une interconnexion optique parallèle est définie pour chacun des éléments ci-dessus correspondant au type de configuration de verrouillage de données et au plan de transmission d'horloge pour la synchronisation.



IEC 2742/02

Légende

E/O: convertisseur électrique-à-optique

O/E: convertisseur optique-à-électrique

F/F: bascule électronique

Figure 1 – Configuration d'interconnexion optique parallèle

FIBRE OPTIC COMMUNICATION SYSTEM DESIGN GUIDES –

Part 6: Skew design in parallel optical interconnection systems

1 Scope

This technical report describes the definitions, classification, and tolerance of skew in parallel optical interconnect systems. Examples are given to illustrate the skew design method for allocating skew in the interconnect system. Annex A provides additional information on system-skew measurement.

NOTE Detailed definitions and a method of measuring the skew in optical fibre cables are beyond the scope of this document. They may be described in another IEC document.

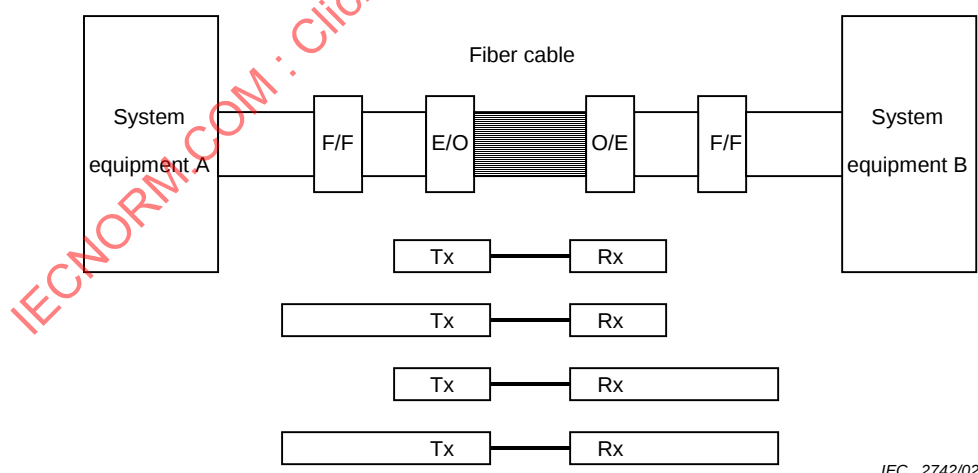
2 Configuration of a parallel optical interconnection

2.1 Schematic diagram of a parallel optical interconnection

In a parallel optical interconnect, transmission performance is attributed for the propagation time difference between the data and the clock during the latch-to-latch transmission, as well as in the electrical transmission. The basic elements of parallel optical interconnection are:

- optical transmitter array (including electrical-to-optical converter);
- optical fibre cable;
- optical receiver array (including optical-to-electrical converter); see Figure 1.

The skew in a parallel optical interconnect is defined for each of the elements above, corresponding to the configuration type of data latch and clock transmission scheme for synchronization.



Key

E/O: electrical-to-optical converter

Tx: transmitter

O/E: optical-to-electrical converter

Rx: receiver

F/F: flip-flop circuit

Figure 1 – Configuration of parallel optical interconnection

Dans la Figure 1, les combinaisons d'émetteur-récepteur montrées correspondent à

- Tx sans verrou et Rx sans verrou
- Tx de verrou et Rx sans verrou
- Tx sans verrou et Rx de verrou
- Tx de verrou et Rx de verrou

2.2 Verrouillage de données

2.2.1 Type A: Type de verrou

Les chronologies de données parallèles sont disposées et synchronisées (en d'autres termes, verrouillées) dans l'émetteur et/ou dans le récepteur avec la bascule de type D. Par le verrou d'émetteur, l'écart de temps de propagation des données d'entrée à l'émetteur depuis le système est annulé ou réinitialisé à 0. L'écart de temps de propagation des câbles à fibres optiques est annulé et réinitialisé pour la sortie vers le système de récepteur, ainsi que par le verrou de récepteur, pendant la discrimination de données synchronisées à l'horloge.

Avec l'interconnexion de type verrou, l'utilisateur ne doit pas se préoccuper de l'écart de temps de propagation pendant la transmission optique.

2.2.2 Type B: Type sans verrou

La cadence des données parallèles du système de transmission n'est contrôlée ou disposée ni dans l'émetteur parallèle ni dans le récepteur, pour la sortie vers le système de récepteur. Les données sont discriminées dans le système de récepteur, et l'écart de temps de propagation pendant la transmission parallèle est accumulé avec l'écart de données d'entrée.

Dans l'interconnexion de type sans verrou, les lignes de câbles électriques parallèles sont remplacées par la liaison d'interconnexion parallèle optique, sans prendre en considération la cadence de verrouillage.

2.3 Plan de transmission d'horloge

Dans un système de transmission de données numériques, l'horloge synchrone est nécessaire pour la discrimination ou la décision des données dans le récepteur. Dans un système de transmission en série conventionnel, l'horloge est extraite dans le récepteur, des données transmises avec les données cryptées ou codées dans l'émetteur. Dans l'interconnexion optique parallèle, l'horloge pour le récepteur est fournie avec les plans ci-dessous, comme indiqué à la Figure 2.

2.3.1 Transmission simultanée de l'horloge

Un accès défini ou une fibre optique est utilisé pour la transmission d'horloge avec le signal optique. L'horloge pour le récepteur est transmise simultanément et aucun circuit de temporisation n'est nécessaire dans le récepteur.

2.3.2 Récupération d'horloge de l'accès représentatif

Le rythme d'horloge pour la discrimination de données totale est rétabli à partir d'une certaine voie de données parmi les données transmises parallèles.

2.3.3 Alimentation d'horloge du système

L'horloge est alimentée au récepteur du système. Il faut que le rythme d'horloge soit conçu en prenant en considération le temps de propagation absolu pendant la transmission parallèle.

In Figure 1, the transmitter/receiver combinations shown correspond to

- non-latch Tx and non-latch Rx
- latch Tx and non-latch Rx
- non-latch Tx and latch Rx
- latch Tx and latch Rx

2.2 Data latch

2.2.1 Type A: Latch-type

The parallel data timings are arranged and synchronized (in other words, latched) in the transmitter and/or in the receiver with the D-type flip-flop. Through the transmitter latch, the propagation time deviation of the input data to the transmitter from the system is cancelled or re-set to 0. The optical fibre cable propagation time deviation is cancelled and re-set for the output to the receiver system, as well by the receiver latch, during the synchronized data discrimination to the clock.

With the latch-type interconnection, the user does not have to take care of the propagation time deviation during the optical transmission.

2.2.2 Type B: Non-latch-type

Parallel data timing from the transmitter system is controlled or arranged neither in the parallel transmitter nor in the receiver, for the output to the receiver system. The data are discriminated in the receiver system, and the propagation time deviation during the parallel transmission is accumulated with the input data deviation.

In the non-latch-type interconnection, the parallel electrical cable-lines are replaced by the optical parallel interconnection link, without latch timing consideration.

2.3 Clock transmission scheme

In a digital data transmission system, the synchronous clock is needed for the discrimination or the decision of the data in the receiver. In a conventional serial transmission system, the clock is extracted in the receiver, from the transmitted data with the scrambled or coded data in the transmitter. In the parallel optical interconnection, the clock for the receiver is supplied with the following schemes, as illustrated in Figure 2.

2.3.1 Simultaneous clock transmission

A definite port or optical fibre is used for the clock transmission with the optical signal. The clock for the receiver is transmitted simultaneously, and no timing circuit is needed in the receiver.

2.3.2 Clock recovery from the representative port

The clock timing for the total data discrimination is recovered from a certain data channel among the parallel transmitted data.

2.3.3 System clock supply

The clock is supplied to the receiver from the system. The clock timing must be designed considering the absolute propagation time during the parallel transmission.

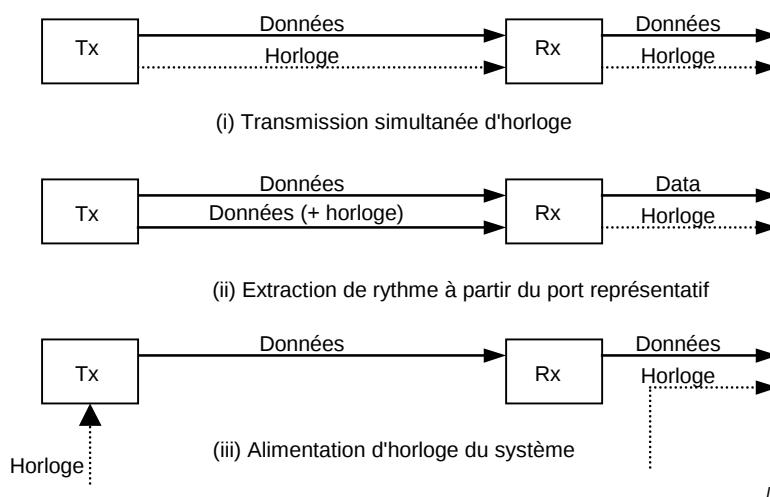


Figure 2 – Plans de transmission d'horloge

3 Obliquités en interconnexion optique parallèle

3.1 Définitions des obliquités

Une obliquité peut être définie comme un écart de temps de propagation d'un signal par rapport à un certain point du temps de référence. De ce fait, une obliquité dépend de la définition de la réponse idéale.

Deux types de l'obliquité peuvent être définis conformément au point du temps de référence:

- **obliquité absolue:** écart du temps de propagation d'un signal par rapport au point du temps prédéterminé;
- **obliquité entre accès:** obliquité de chaque accès d'un dispositif de borne de transmission multiaccès ou d'un dispositif de borne de réception multiaccès par rapport au rythme d'un accès de référence désigné.

Une obliquité du flanc avant et une obliquité du flanc arrière sont des obliquités au niveau du bord montant et du bord descendant, respectivement. Une obliquité (du flanc avant et du flanc arrière) par rapport à un accès de référence est une déférence de temps à partir d'une réponse idéale par rapport à la réponse à l'accès de référence. Une largeur d'obliquité (de flanc avant et de flanc arrière) est le maximum des valeurs absolues des obliquités par rapport à tous les accès.

Dans les définitions ci-dessus, l'obliquité peut être définie non seulement dans un sous-système à fibres optiques monovoie, mais également dans des sous-systèmes à fibres optiques multiaccès, en tant qu'obliquité interaccès dans les systèmes de transmission parallèles. Pour un système monovoie, l'obliquité absolue peut être déterminée comme pour un flanc avant ou arrière unique pendant un changement de l'état de l'environnement. Il convient de noter que la définition d'obliquité est différente de la gigue, comme un écart moyen de tout le bord de la forme d'onde.

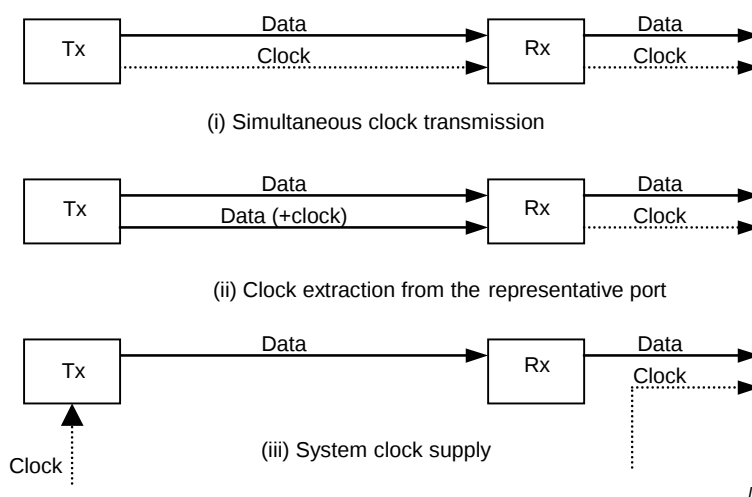


Figure 2 – Clock transmission schemes

3 Skews in parallel optical interconnection

3.1 Definitions of skews

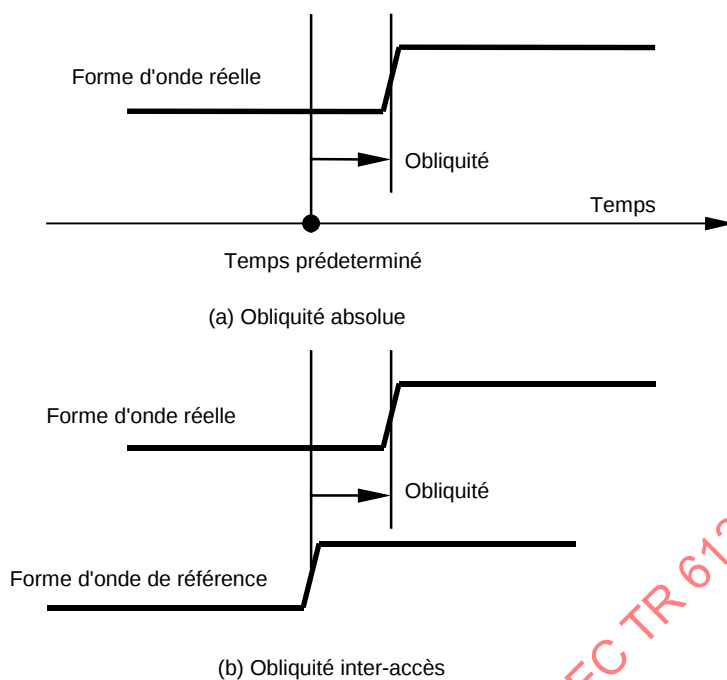
A skew can be defined as a propagation time deviation of a signal relative to a certain reference time point. Thus a skew depends on the definition of the ideal response.

Two types of skew can be defined in accordance with the reference time point:

- **absolute skew:** propagation time deviation of a signal relative to the predetermined time point;
- **interport skew:** skew of each port of a multiport transmit terminal device or a multiport receive terminal device relative to the timing of a nominated reference port.

A rising edge skew and a falling edge skew are skews at rising and falling edges respectively. A (rising edge and falling edge) skew relative to a reference port is a time deference from an ideal response relative to the response at the reference port. A (rising edge and falling edge) skew width is the maximum of absolute values of skews relative to all ports.

In the definitions above, the skew can be defined not only in a single-channel fibre optic subsystem, but also in multiport fibre optic subsystems, as the interport skew in the parallel transmission systems. For a single-channel system, the absolute skew can be determined with regard to a single rising or falling edge during a change of the environment condition. It should be noted that the skew definition is different from the jitter, as an average deviation of all the waveform edge.



IEC 2744/02

Figure 3 – Définition d'obliquité en interconnexion optique parallèle

3.2 Mécanismes de génération d'obliquité dans des systèmes d'interconnexion

3.2.1 Obliquité de câble à fibres optiques

Dans le ruban à fibres optiques, il existe un écart de temps de propagation entre les fibres, attribué aux éléments suivants:

- les différences de répartition d'indice de réfraction le long de la fibre;
- l'écart de tension de fibre pendant la production du ruban à fibres;
- l'écart de longueur du chemin optique causé par la courbure ou la torsion pendant le câblage.

Dans la Figure 3, (a) et (b) sont causés pendant la production du câble de ruban à fibres optiques. Les valeurs liées à l'indice et la tension sont inférieures à 1 ps/m pour une fibre monomode (SMF), et inférieures à 10 ps/m pour une fibre multimode (MMF). L'obliquité du chemin optique peut être réduite à moins de 10 ps/m environ, avec un soin suffisant pendant le câblage.

3.2.2 Obliquité de convertisseur électrique-à-optique (E/O)

Dans l'émetteur à diode laser (LD), il existe un écart de temps de retard de laser dû à l'injection de courant pour la sortie de signaux optiques.

Le retard de laser varie en fonction du niveau d'injection de courant, du niveau de courant biaise et de la température, et il cause l'écart de flanc avant dans le signal de sortie optique dans l'émetteur optique parallèle. Ce délai provient de la durée de vie de porteur dans la LD, qui est de l'ordre des nanosecondes, et devient un problème sérieux dans le débit binaire par voie de plus de 100 Mb/s.

Dans la mesure d'obliquité de la sortie optique de l'émetteur, il convient qu'un convertisseur O/E soit utilisé avec une largeur de bande suffisamment large (au moins trois fois plus rapide dans le temps de montée/descente que la valeur minimale de la sortie optique de l'émetteur. Il convient que la largeur de bande de mesure soit large même dans la mesure d'obliquité électrique.

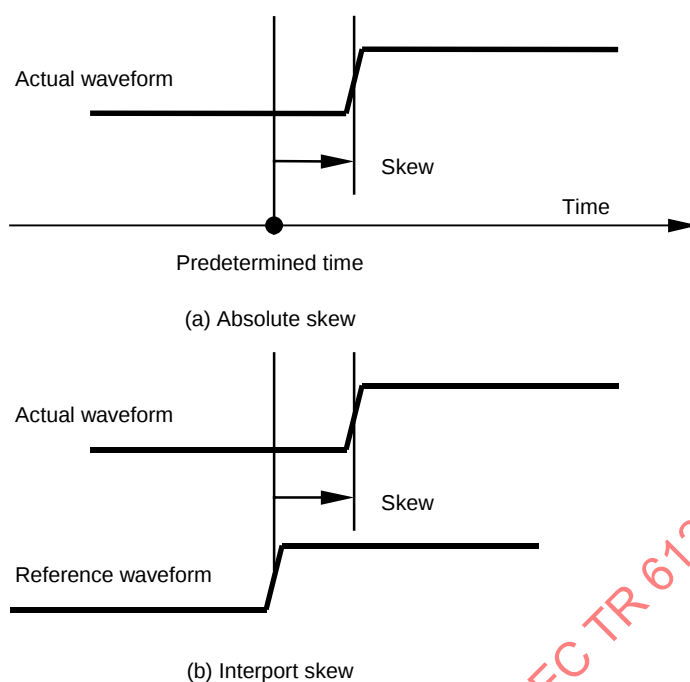


Figure 3 – Definition of skew in an optical parallel interconnection

3.2 Mechanisms of skew generation in interconnection systems

3.2.1 Optical fibre cable skew

In the optical fibre ribbon, there are propagation time deviations among the individual fibres, which are attributed to the:

- refractive index distribution differences along the fibre length;
- fibre tension deviation during fibre-ribbon production;
- optical path length deviation caused by bending or twisting during cabling.

In Figure 3, (a) and (b) are caused during the optical fibre ribbon cable production. The values associated with the index and tension are less than 1 ps/m for single-mode fibre (SMF), and less than 10 ps/m for multi-mode fibre (MMF). The skew of the optical path can be reduced to less than around 10 ps/m with sufficient care during the cabling.

3.2.2 Electrical-to-optical (E/O) converter skew

In the laser diode (LD) transmitter, there is a lasing delay time deviation due to the current injection for the optical signal output.

The lasing delay varies with the current injection level, the bias current level and temperature, and causes the rising edge deviation in the optical output signal in the parallel optical transmitter. This delay derives from the carrier lifetime in the LD, which is in the order of nanoseconds, and becomes a serious problem in the channel bit rate of over 100 Mb/s.

In the skew measurement of the optical output of the transmitter, an O/E converter should be used with a sufficiently wide bandwidth (at least three times faster in the rising/falling time than the minimum value of the optical output from the transmitter). The measurement bandwidth should be large also in the electrical skew measurement.

3.2.3 Obliquité de convertisseur optique-à-électrique (O/E)

Dans le récepteur, l'écart de flanc du signal dans le détecteur est causé par la variation du niveau d'entrée optique provenant de la différence de perte du connecteur optique ou de l'affaiblissement de couplage optique entre les dispositifs optiques (lasers et photodiodes) et la fibre.

L'écart de flanc O/E est plutôt sérieux dans le récepteur connecté à courant continu avec un niveau de seuil fixe pour la discrimination des données, parce que la différence du niveau optique modifie directement le temps de montée et de descente du signal optique dans le convertisseur O/E et le rythme du signal croisant le seuil (Figure 4).

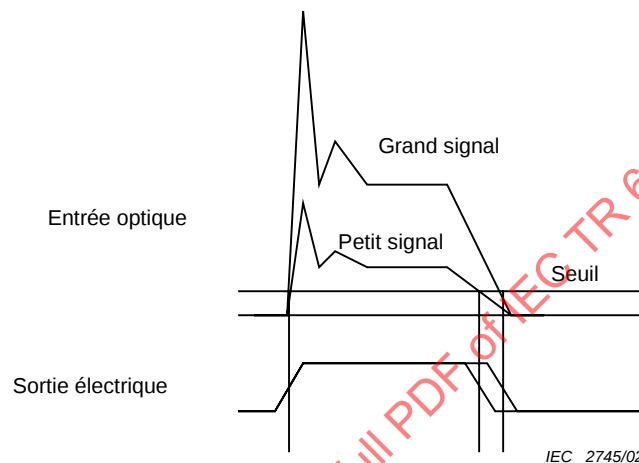


Figure 4 – Obliquité du récepteur à partir de la différence de niveau optique

3.3 Tolérance dans le temps de montage/maintien d'obliquité

Dans l'interconnexion de type verrou, la tolérance dans l'obliquité peut être définie à partir des conditions de rythme pour le verrouillage des données optiques/électriques d'entrée, ainsi que dans le temps de montage/maintien électrique.

La condition pour le temps de montage/maintien T_{su}/T_{ho} dans le récepteur peut être décrite en utilisant la largeur d'obliquité d'un groupe de fibres $|T_{sfibre}|$ et la variation du service Δd d'horloge comme suit:

$$T/2 - \text{Max} (T_{ssrc,max} + T_{srr,max}, T_{ssfc,max} + T_{srf,max}) - |T_{sfibre}| - \Delta d \cdot T > T_{su}$$

$$T/2 + \text{Min} (T_{ssrc,min} + T_{srr,min}, T_{ssfc,min} + T_{srf,min}) - |T_{sfibre}| - \Delta d \cdot T > T_{ho}$$

3.2.3 Optical-to-electrical (O/E) converter skew

In the receiver, the edge deviation of the signal in the detector is caused by the optical input level variation derived from the optical connector loss difference or optical coupling loss between the optical devices (lasers and photodiodes) and the fibre.

The O/E edge deviation is rather serious in the DC-connected receiver with a fixed threshold level for the discrimination of the data, because the optical level difference directly varies the rising and falling time of the optical signal in the O/E converter and the timing of the signal crossing the threshold (Figure 4).

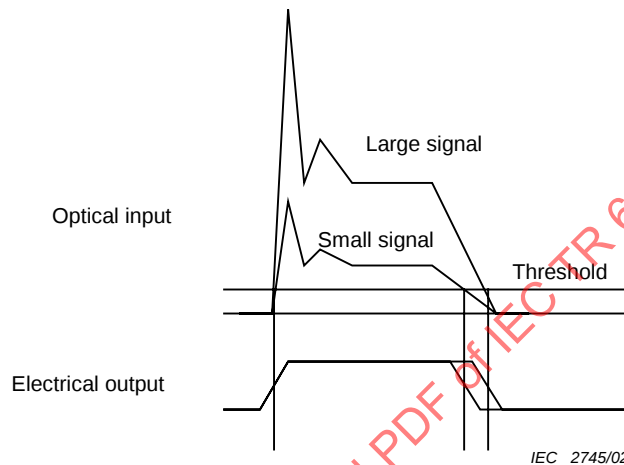


Figure 4 – Receiver skew from the optical level difference

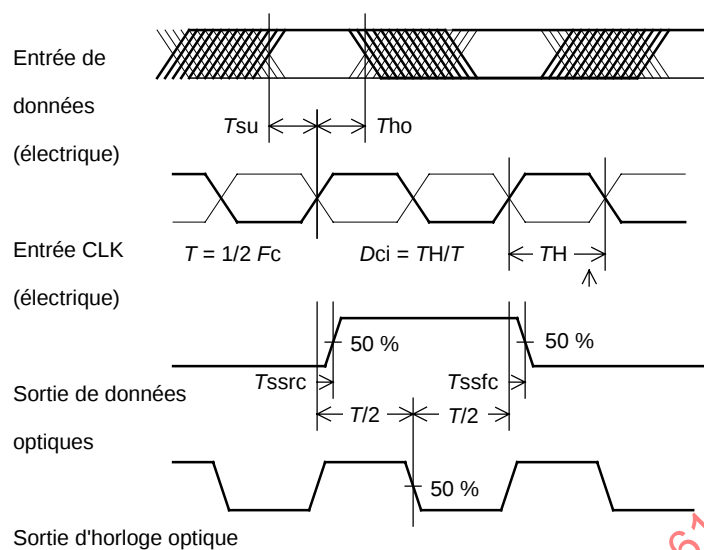
3.3 Tolerance in the skew-setup/hold time

In the latch-type interconnection, tolerance in the skew can be defined from the timing conditions for latching of the input optical/electrical data, as well as in the electrical setup/hold time.

The condition for the setup/hold time T_{su}/T_{ho} in the receiver, can be described using the skew width of a fibre array $|T_{sfibre}|$ and the clock duty variation Δd as:

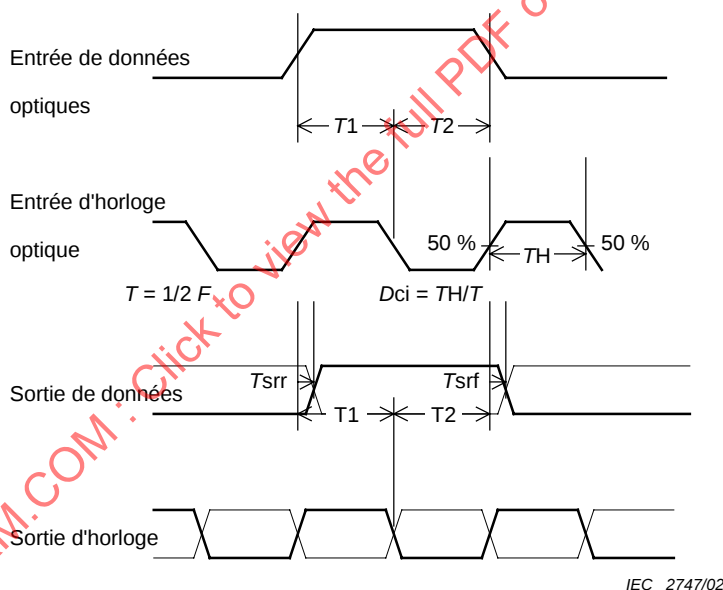
$$T/2 - \text{Max} (T_{ssrc,max} + T_{srr,max}, T_{ssfc,max} + T_{srf,max}) - |T_{sfibre}| - \Delta d \cdot T > T_{su}$$

$$T/2 + \text{Min} (T_{ssrc,min} + T_{srr,min}, T_{ssfc,min} + T_{srf,min}) - |T_{sfibre}| - \Delta d \cdot T > T_{ho}$$



IEC 2746/02

Figure 5 – Définition de l'obliquité d'émetteur



IEC 2747/02

Figure 6 – Définition de l'obliquité d'émetteur

4 Méthode pratique de conception d'obliquité

4.1 Description générale d'une conception d'obliquité

Dans la conception d'obliquité d'un système d'interconnexion optique parallèle, il faut que l'obliquité totale du système satisfasse à la spécification de système. L'obliquité totale peut être répartie et spécifiée dans un sous-système à fibres optiques comme ci-dessous:

- le débit binaire en ligne de la ligne de transmission parallèle;
- la longueur de transmission prescrite;
- le moyen de transmission et l'obliquité de la ligne de transmission, par exemple l'installation de câbles à fibres optiques multi-accès (un ruban à fibres monomode/multimode etc.);

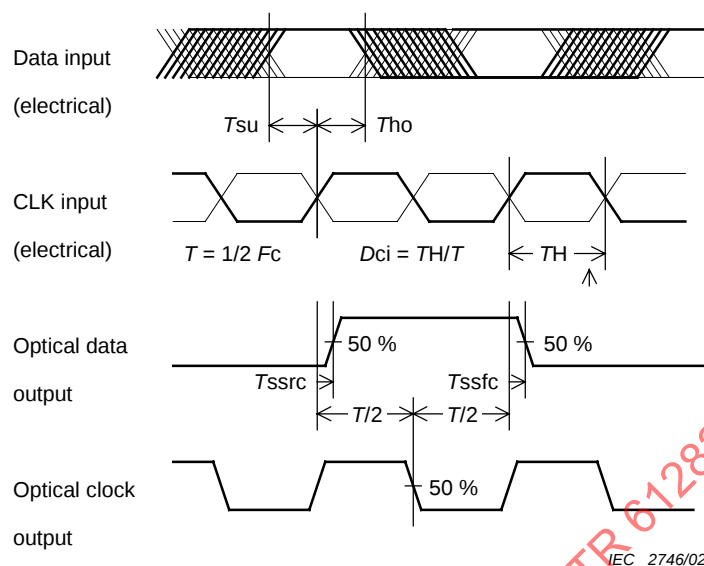


Figure 5 – Definition of transmitter skew

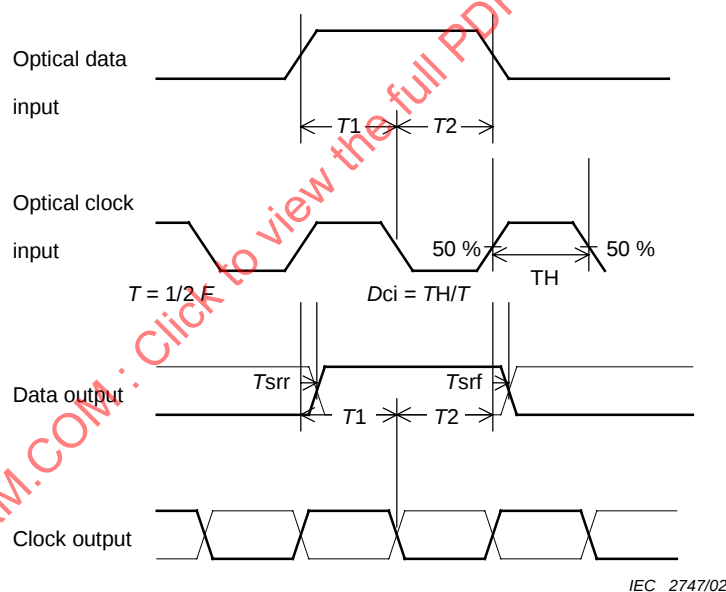


Figure 6 – Definition of receiver skew

4 Practical skew design method

4.1 General description of a skew design

In the skew design of a parallel optical interconnection system, the total system skew must satisfy the system specification. The total skew can be distributed and specified in a fibre optic subsystem as below:

- the line bit rate of the parallel transmission line;
- the required transmission length;
- the transmission medium and the skew of the transmission line, for example multiport fibre optic cable plant (a single-mode/multimode fibre ribbon etc.);

- d) les caractéristiques de la F/F suivant l'O/E;

NOTE En d), les caractéristiques F/F sont spécifiées par le temps de montage/maintien. Pour le type du récepteur de verrou, il convient de prendre en considération le temps de montage/maintien du verrou dans le récepteur. Pour le type du récepteur sans verrou, il convient de prendre en considération le temps de montage/maintien du verrou après le récepteur (O/E).

- e) l'obliquité de chaque partie du système conformément aux plans de transmission d'horloge en 2.3.

NOTE L'étape e) est décrite en 4.2.

4.2 Détermination et vérification de l'obliquité

Dans le système d'interconnexion optique parallèle, la méthode de détermination d'obliquité de chaque partie du système dépend des plans de transmission d'horloge.

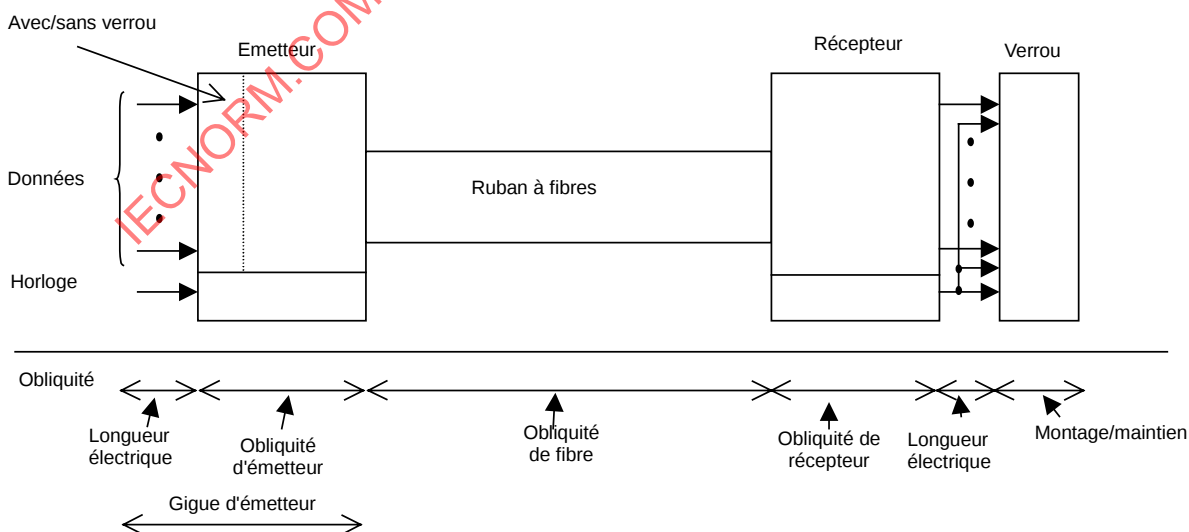
4.2.1 Transmission simultanée de l'horloge

La configuration du système en cas de transmission d'horloge simultanée est illustrée à la Figure 7. La procédure fondamentale de conception d'obliquité pour ce système est le suivant (voir Figure 8).

- Déterminer l'obliquité d'émetteur et la gigue d'émetteur.
- Déterminer l'obliquité de récepteur.
- A partir de a), b) et l'obliquité de la ligne de transmission (par exemple l'installation de câbles à fibres optiques multi-accès), la marge de montage/maintien de la sortie du convertisseur O/E peut être calculée par rapport au bord d'horloge mis dans la F/F pour le verrouillage.

Il faut que la marge de montage/maintien de la sortie du convertisseur O/E par rapport au bord d'horloge satisfasse aux caractéristiques de la F/F, ou qu'elle soit plus grande que le temps de montage/maintien de la F/F.

Il convient de prendre en considération l'obliquité totale comme la sommation linéaire simple de la valeur maximale des facteurs individuels ci-dessus, même dans le cas d'un usage de production multi-source, ainsi que celui de la source unique. Cependant, dans la conception pratique des systèmes de transmission parallèles, certains de ces facteurs peuvent être considérés dans une valeur totale à la discrétion du concepteur.



IEC 2748/02

Figure 7 – Configuration de système en cas de transmission d'horloge simultanée

- d) the characteristics of the F/F following the O/E;

NOTE In d), the F/F characteristics are specified by the setup/hold time. For the latch type of receiver, the setup/hold time of the latch in the receiver should be considered. For the non-latch type of a receiver, the setup/hold time of the latch after the receiver (O/E) is considered.

- e) the skew of each part of the system according to the clock transmission schemes in 2.3.

NOTE Step e) is described in 4.2.

4.2 Skew determination and verification

In the parallel optical interconnection system, the skew determination method of each part of the system depends on the clock transmission schemes.

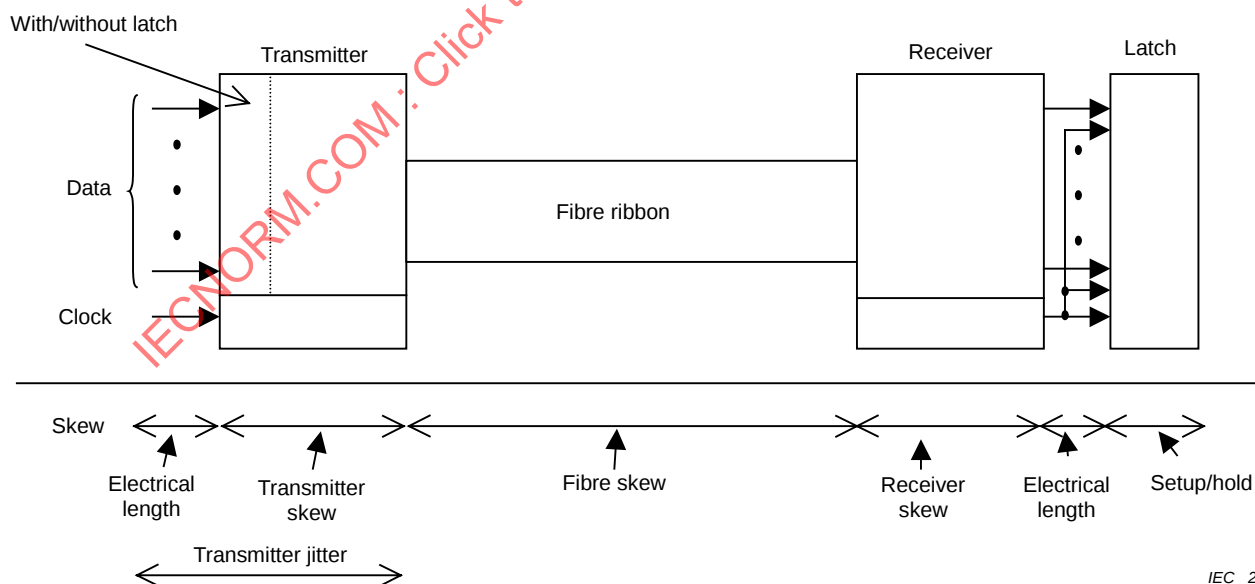
4.2.1 Simultaneous clock transmission

The system configuration in case of simultaneous clock transmission is shown in Figure 7. The fundamental procedure of skew design for this system is as follows (see Figure 8).

- Determine the transmitter skew and the transmitter jitter.
- Determine the receiver skew.
- From a), b) and the skew of the transmission line (for example, multiport fibre optic cable plant), the setup/hold margin of the O/E converter output can be calculated relative to the clock edge put into the F/F for latching.

The setup/hold margin of the O/E converter output relative to the clock edge must satisfy the characteristics of the F/F, or must be larger than the setup/hold time of the F/F.

The total skew should be considered as the simple linear summation of the maximum value of the individual factors above, even in the case of a multi-source production usage, as well as of the single-source. In the practical design of the parallel transmission systems, however, some of those factors can be considered in a total value in the designers' discretion.



IEC 2748/02

Figure 7 – System configuration in case of simultaneous clock transmission

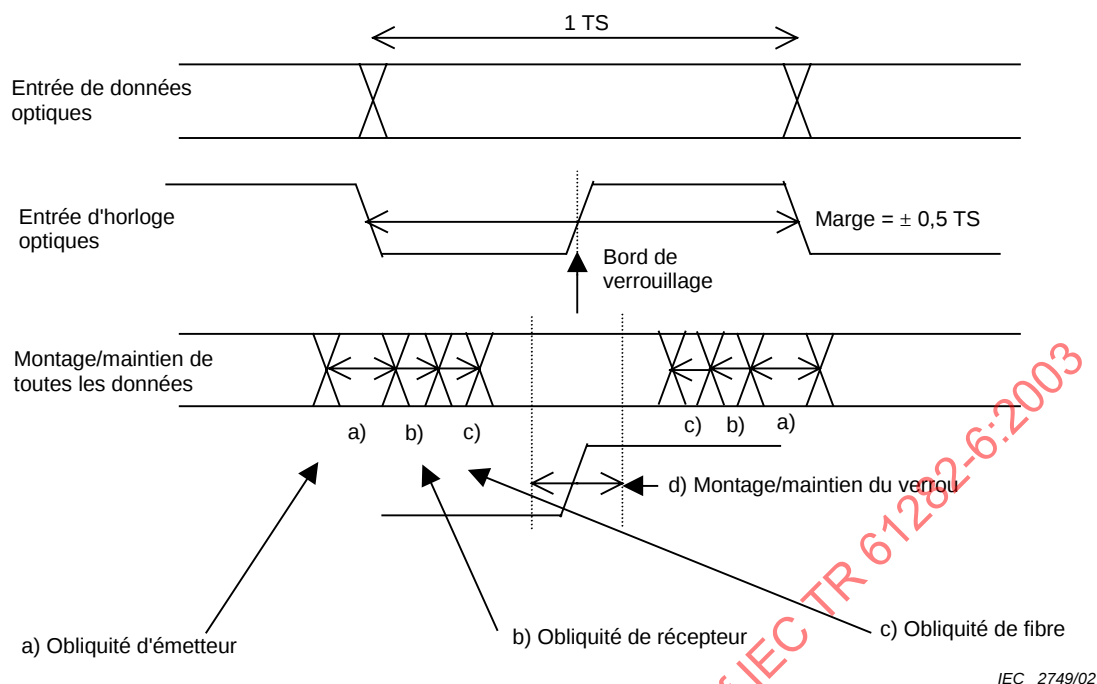


Figure 8 – Schéma d'explication d'obliquité en cas de transmission d'horloge simultanée

4.2.2 Récupération d'horloge de l'accès représentatif

La configuration du système en cas de récupération d'horloge à partir de l'accès représentatif est illustrée à la Figure 9. La procédure fondamentale de conception d'obliquité pour ce système est le suivant (voir la Figure 10).

- Déterminer l'obliquité d'émetteur et la gigue d'émetteur.
- Déterminer l'obliquité de récepteur.
- A partir de a), b) et l'obliquité de la ligne de transmission (par exemple l'installation de câbles à fibres optiques multi-accès), la marge de montage/maintien de la sortie du convertisseur O/E peut être calculée par rapport au bord d'horloge mis dans la F/F pour le verrouillage.

Il faut que la marge de montage/maintien de la sortie de convertisseur O/E par rapport au bord d'horloge extrait satisfasse aux caractéristiques de la F/F, ou qu'elle soit plus grande que le temps de montage/maintien de la F/F. En plus du temps de montage/maintien de la F/F, il faut que la gigue et la déviation de phase du CLK soient prises en considération, principalement à partir du circuit d'extraction de rythme, la longueur de ligne sur la carte de circuit imprimé, et le circuit de distribution d'horloge.

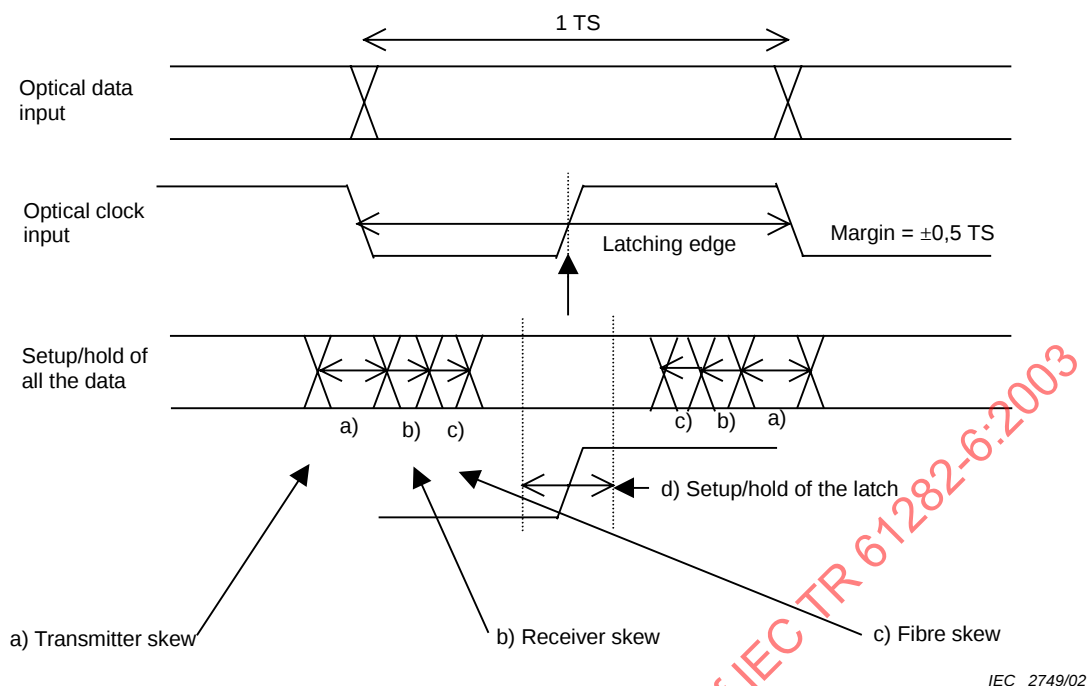


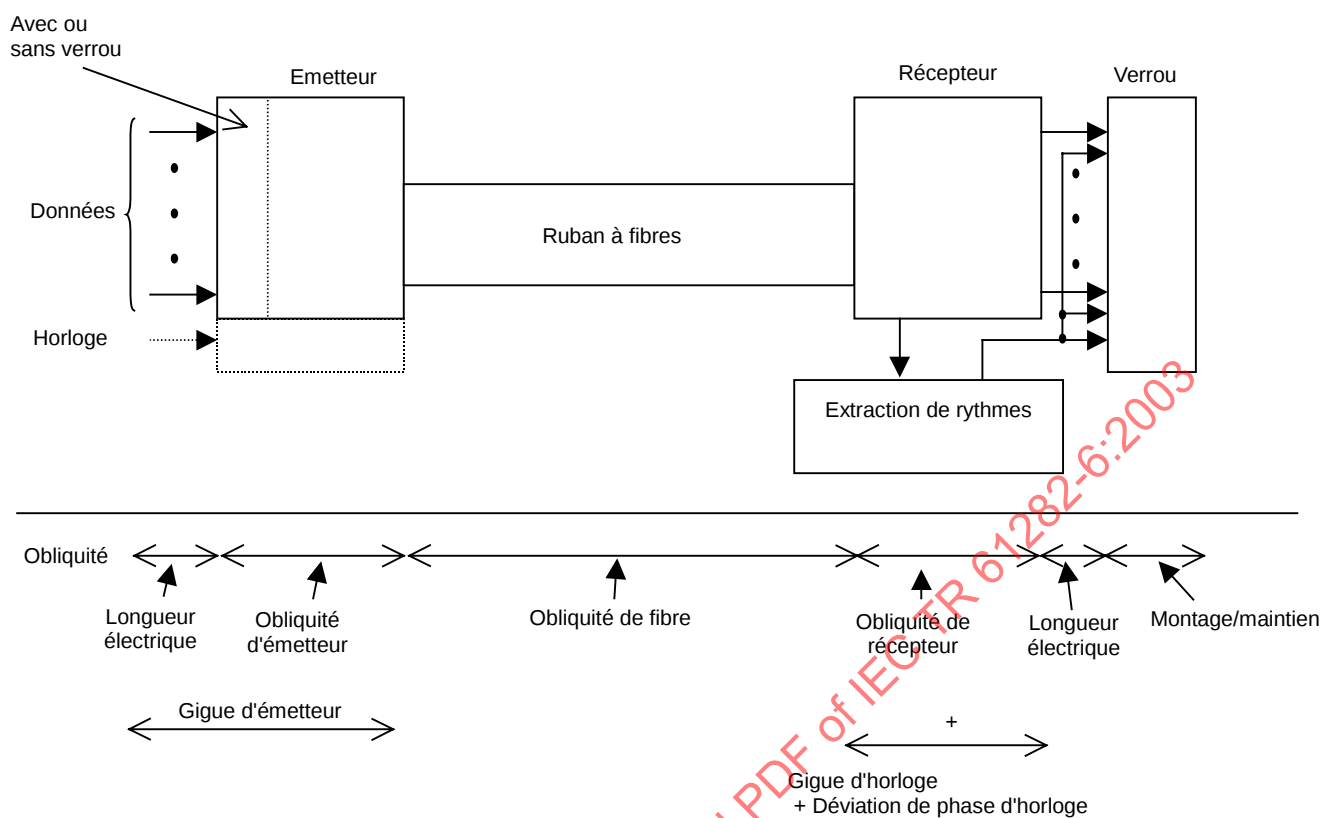
Figure 8 – Explanation diagram of skew in case of simultaneous clock transmission

4.2.2 Clock recovery from the representative port

The system configuration in case of clock recovery from the representative port is shown in Figure 9. The fundamental procedure of skew design for this system is as follows (see Figure 10).

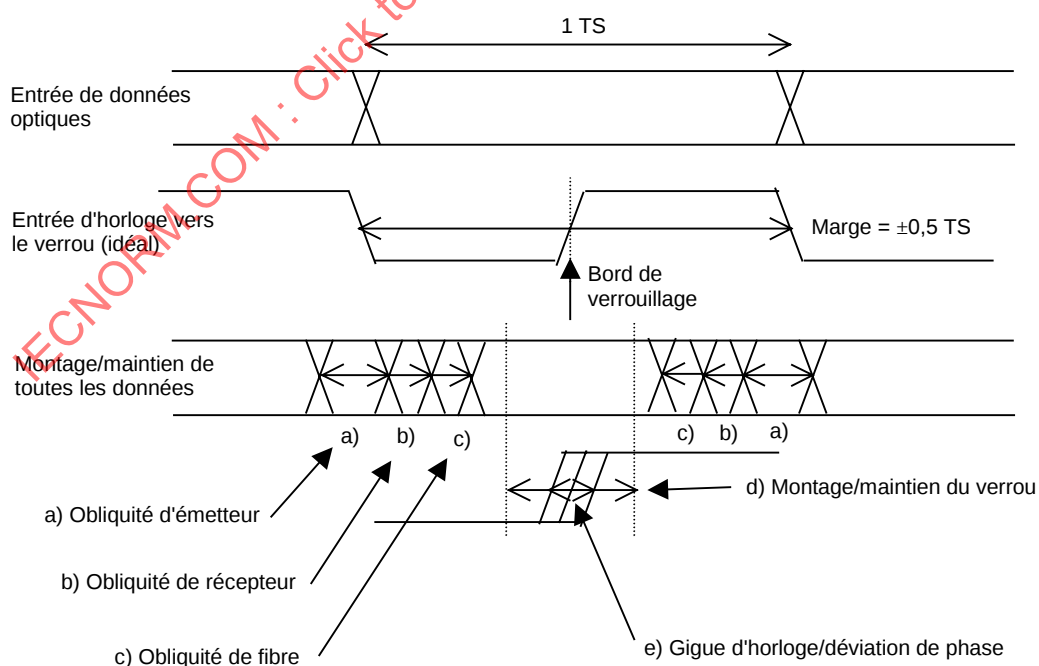
- Determine the transmitter skew and the transmitter jitter.
- Determine the receiver skew.
- From a), b) and the skew of the transmission line (for example, multiport fibre optic cable plant), the setup/hold margin of the O/E converter output can be calculated relative to the clock edge put into the F/F for latching.

The setup/hold margin of the O/E converter output relative to the extracted clock edge must satisfy the characteristics of the F/F, or must be larger than the setup/hold time of the F/F. In addition to the setup/hold time of the F/F, the jitter and the phase deviation of the CLK must be considered, mainly from the clock extraction circuit, line-length on the printed circuit board, and clock distribution circuit.



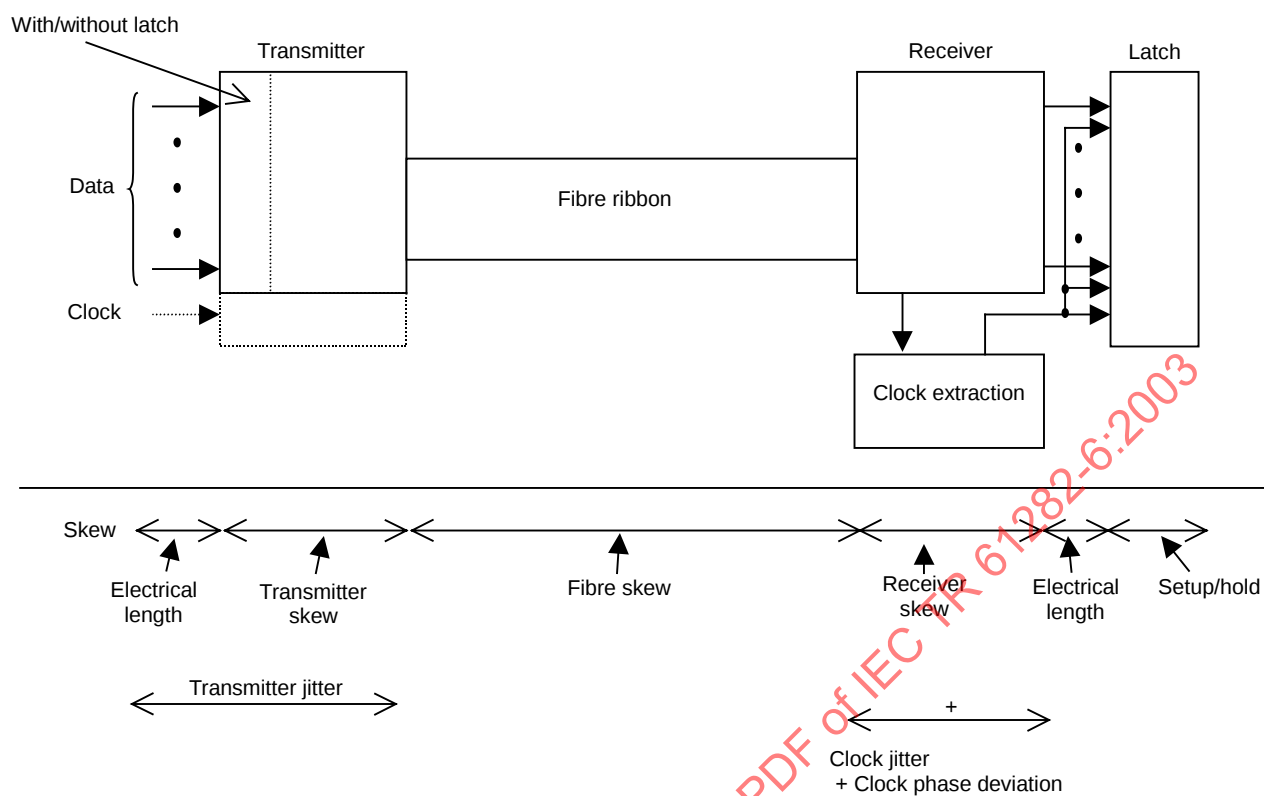
IEC 2750/02

Figure 9 – Configuration de système en cas d'extraction de rythme de l'accès représentatif



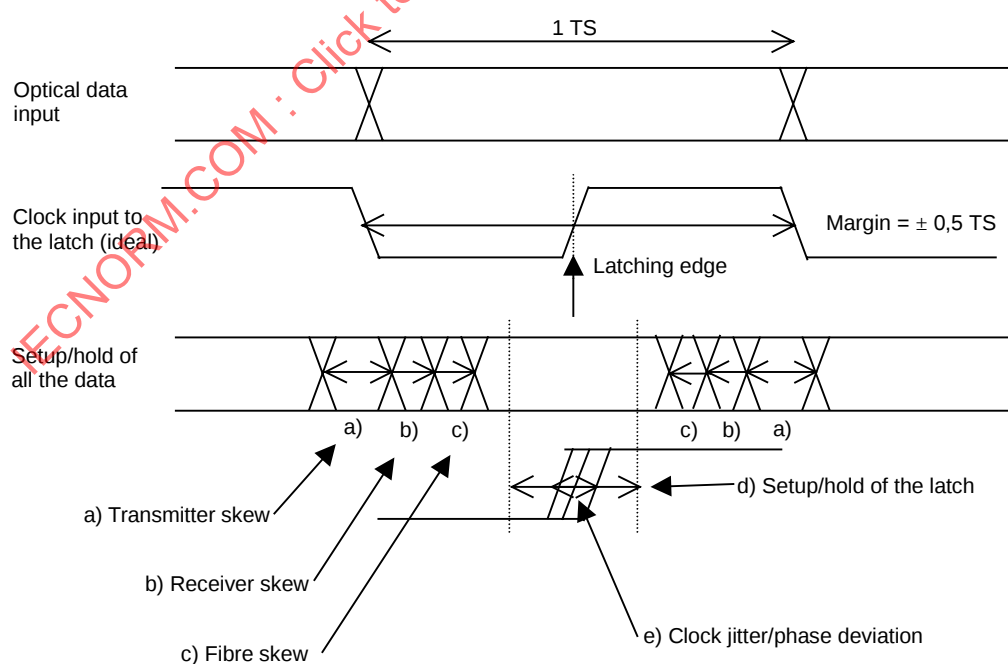
IEC 2751/02

Figure 10 – Schéma d'explication d'obliquité en cas d'extraction de rythme de l'accès représentatif



IEC 2750/02

Figure 9 – System configuration in case of clock extraction from the representative port



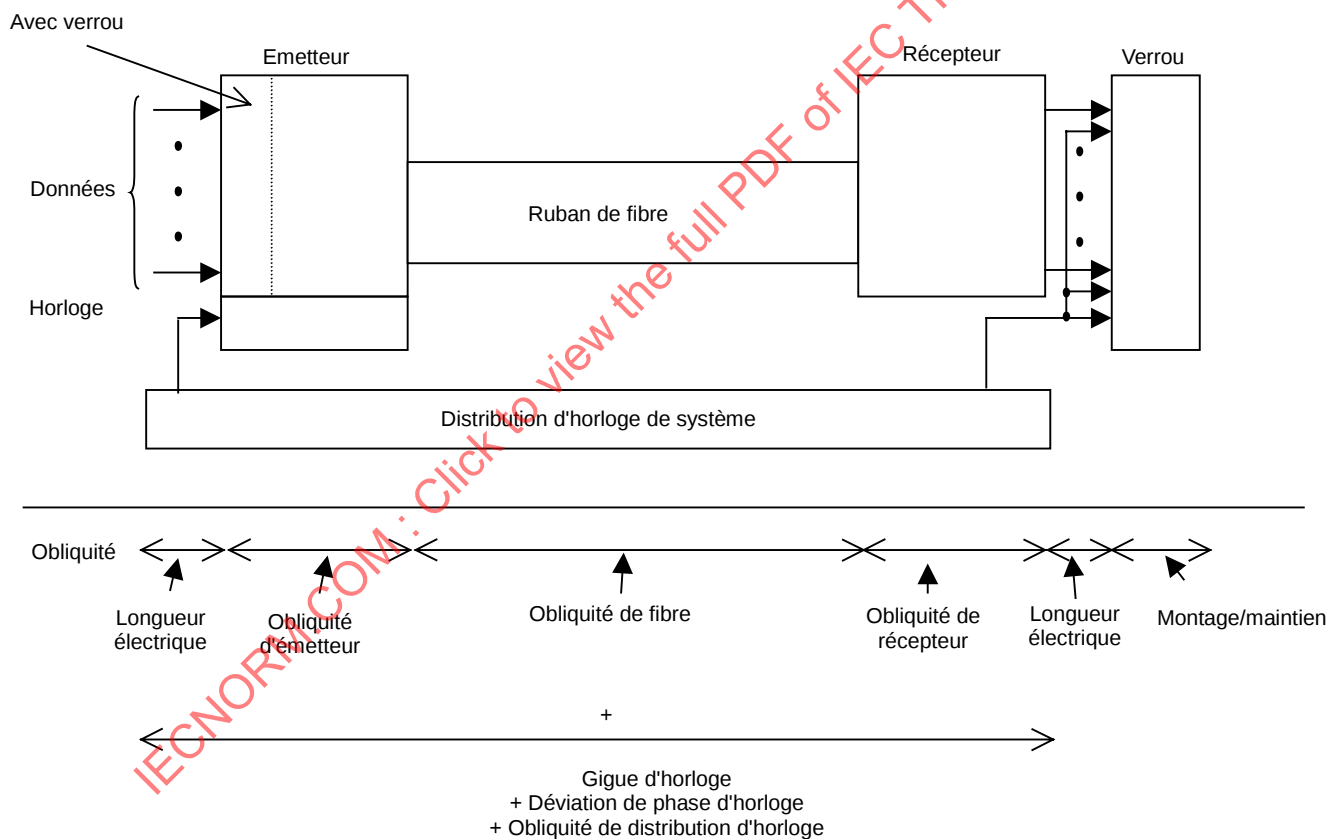
IEC 2751/02

Figure 10 – Explanation diagram of skew in case of clock extraction from the representative port

4.2.3 Alimentation d'horloge du système

La configuration du système en cas d'alimentation d'horloge du système est illustrée à la Figure 11. La procédure fondamentale de conception d'obliquité pour ce système est le suivant (voir la Figure 12).

- Déterminer l'obliquité d'émetteur et la gigue d'émetteur.
- Déterminer l'obliquité de récepteur.
- A partir de a), b) et l'obliquité de la ligne de transmission (par exemple l'installation de câbles à fibres optiques multi-accès), la marge de montage/maintien de la sortie du convertisseur O/E peut être calculée par rapport au bord d'horloge mis dans la F/F pour le verrouillage.
- Il faut que la marge de montage/maintien de la sortie de convertisseur O/E par rapport au bord d'horloge du système distribué satisfasse aux caractéristiques de la F/F ou qu'elle soit plus grande que le temps de montage/maintien de la F/F. En plus du temps de montage/maintien de la F/F, il faut que la gigue et la déviation de phase du CLK soient prises en considération, principalement à partir de la longueur de ligne sur la carte de circuit imprimé, et le circuit de distribution d'horloge.



IEC 2752/02

Figure 11 – Configuration de système en cas d'alimentation d'horloge de système

4.2.3 System clock supply

The system configuration in case of system clock supply is shown in Figure 11. The fundamental procedure of skew design for this system is as follows (see Figure 12).

- Determine the transmitter skew and the transmitter jitter.
- Determine the receiver skew.
- From a), b) and the skew of the transmission line (for example, multiport fibre optic cable plant), the setup/hold margin of the O/E converter output can be calculated relative to the clock edge put into the F/F for latching.
- The setup/hold margin of the O/E converter output relative to the distributed system clock edge must satisfy the characteristics of the F/F, or must be larger than the setup/hold time of the F/F. In addition to the setup/hold time of the F/F, the jitter and the phase deviation of the CLK must be considered, mainly from the line-length on the printed circuit board, and clock distribution circuit.

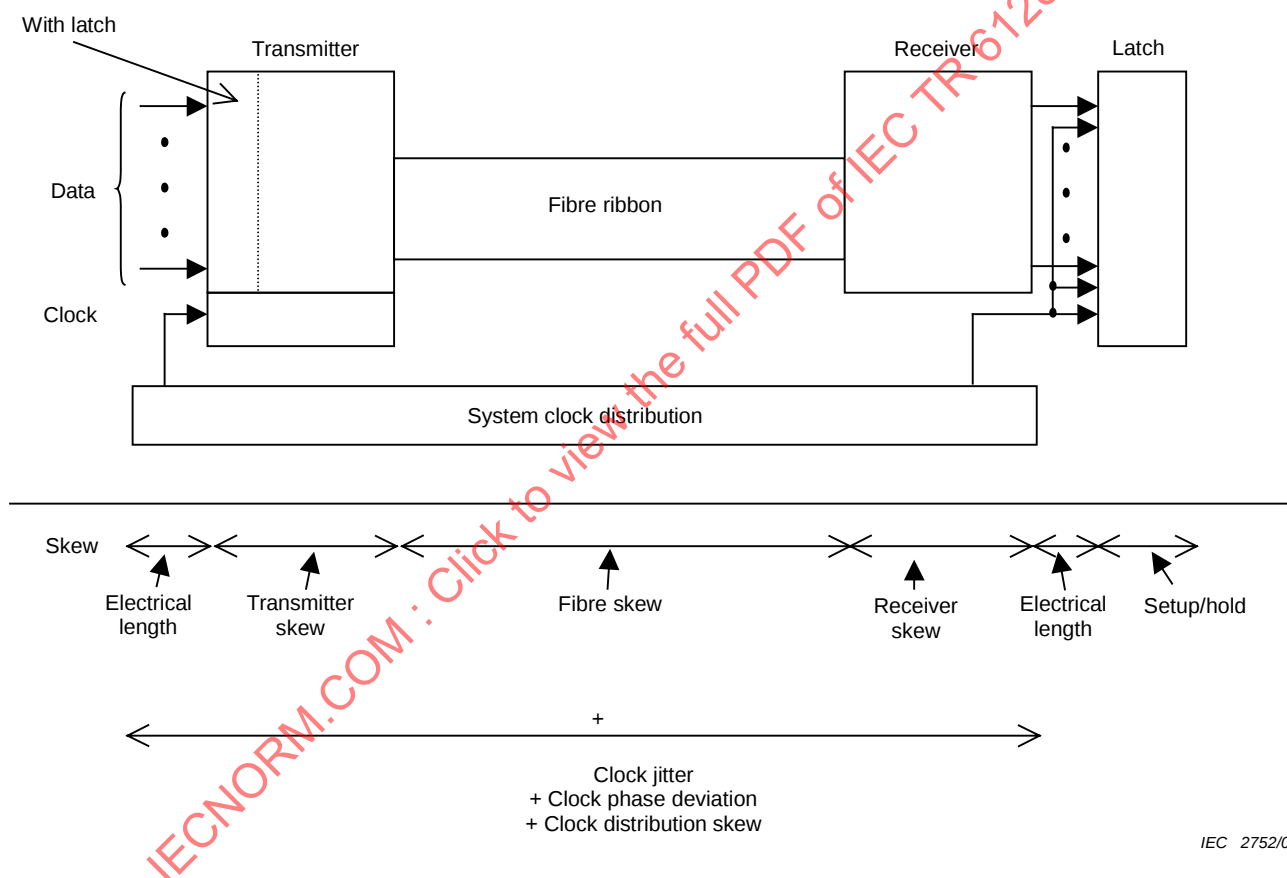


Figure 11 – System configuration in case of system clock supply

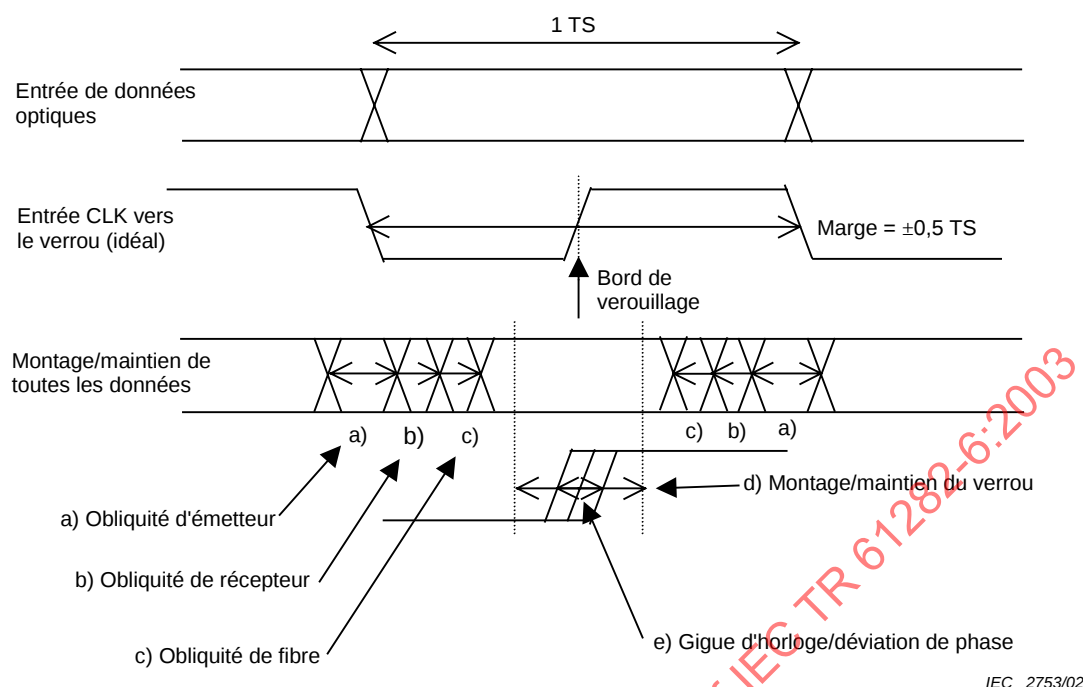


Figure 12 – Schéma d'explication d'obliquité en cas d'alimentation d'horloge de système

5 Exemples des mesures d'obliquité

5.1 Configuration

La Figure 13 est un schéma de l'exemple émetteur et récepteur. L'émetteur aussi bien que le récepteur possèdent 12 accès: 11 accès de données (D00 à D10) et un accès d'horloge (CLK).

L'émetteur inclut les verrous de données (F/F) utilisant CLK (type A en 2.2). L'horloge et les données verrouillées sont transmises en parallèle (transmission d'horloge simultanée en 2.3). Les circuits de récepteurs de données sont réellement couplés à courant continu, tandis que le circuit de récepteur d'horloge est couplé à courant continu. Le récepteur ne comprend aucun verrou (type B en 2.2).

Les obliquités d'émetteur, de fibre et de récepteur sont définies. Comme les sources de lumière de l'émetteur sont des diodes lasers, l'obliquité de retard au déblocage est l'obliquité principale. Dans le récepteur, l'obliquité dépendante de la puissance d'entrée est dominante, comme illustré plus loin.

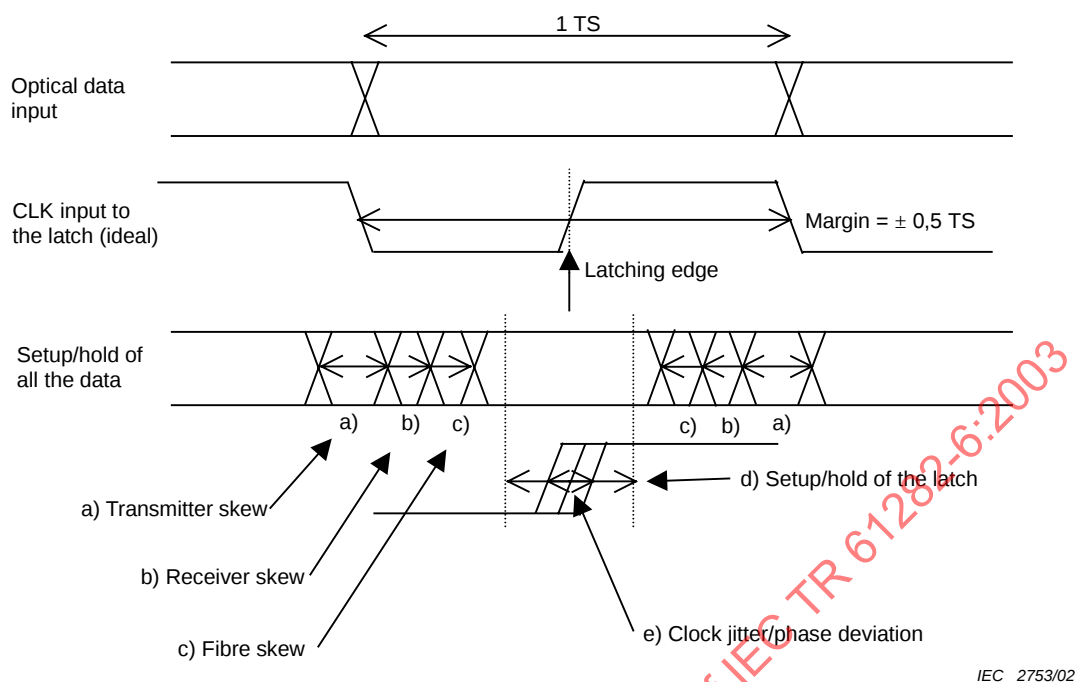


Figure 12 – Explanation diagram of skew in case of system clock supply

5 Examples of skew measurements

5.1 Configuration

Figure 13 is a schematic diagram of the example transmitter and receiver. Both transmitter and receiver have 12 ports: 11 data ports (D00 to D10) and one clock port (CLK).

The transmitter includes data latches (F/F) using CLK (type A in 2.2). The latched data and clock are transmitted in parallel (simultaneous clock transmission in 2.3). The data receiver circuits are true DC coupled, while the clock receiver circuit is AC coupled. The receiver includes no latches (type B in 2.2).

The transmitter, fibre and receiver skews are defined. As the light sources of the transmitter are laser diodes, the turn-on delay skew is the main skew. In the receiver, the input power dependent skew is dominant, as shown later.

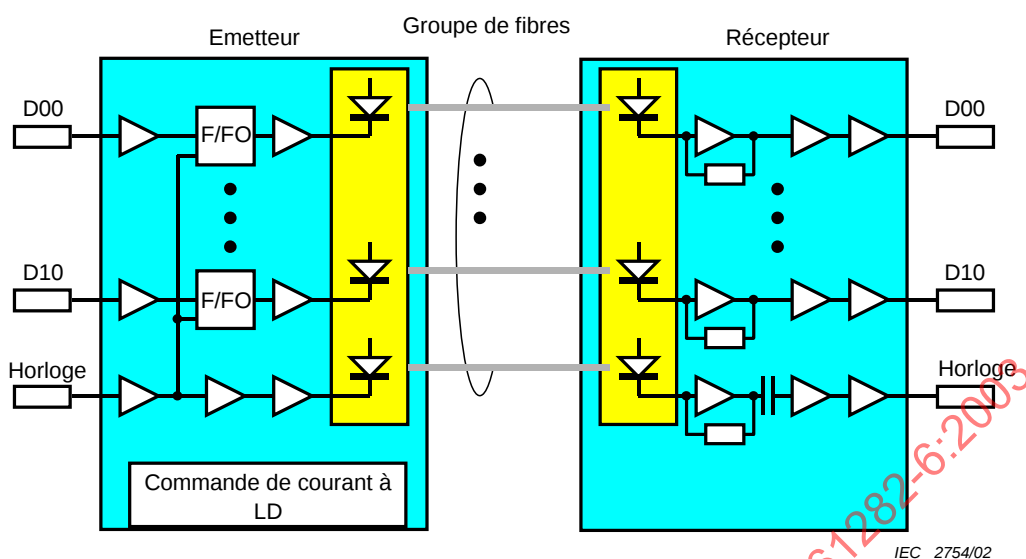


Figure 13 – Schéma du module d'émetteur et récepteur

5.2 Dépendance de température d'obliquité d'émetteur

La définition d'obliquité d'émetteur est illustrée à la Figure 5. L'obliquité est définie comme l'écart de temps du flanc avant et arrière par rapport à la sortie d'horloge. Le point de rythme de référence est la moitié du créneau temporel à partir du flanc arrière de la sortie d'horloge.

L'obliquité d'émetteur est principalement causée par l'écart de temps de retard au déblocage au niveau du flanc avant, et cela dépend fortement de la température. La Figure 14 illustre la dépendance de température en fonction de l'obliquité d'émetteur. L'obliquité des flancs avant et arrière sont différentes caractéristiques mesurées.

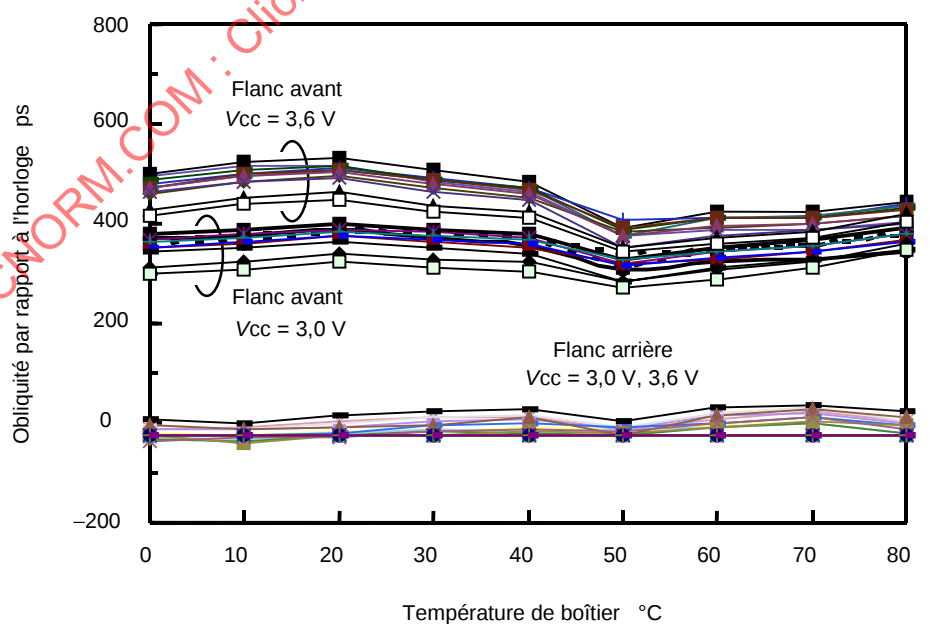


Figure 14 – Dépendance de température de l'obliquité d'émetteur

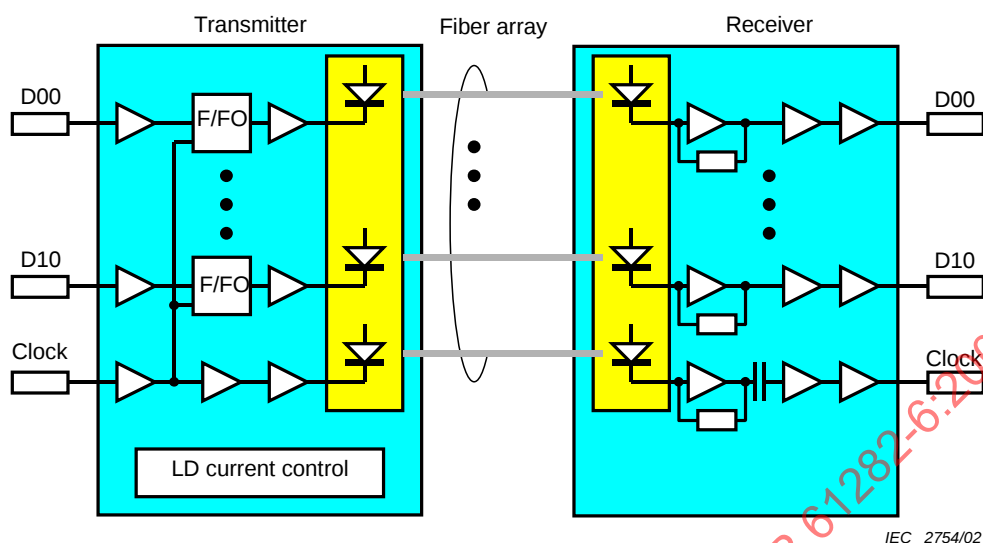
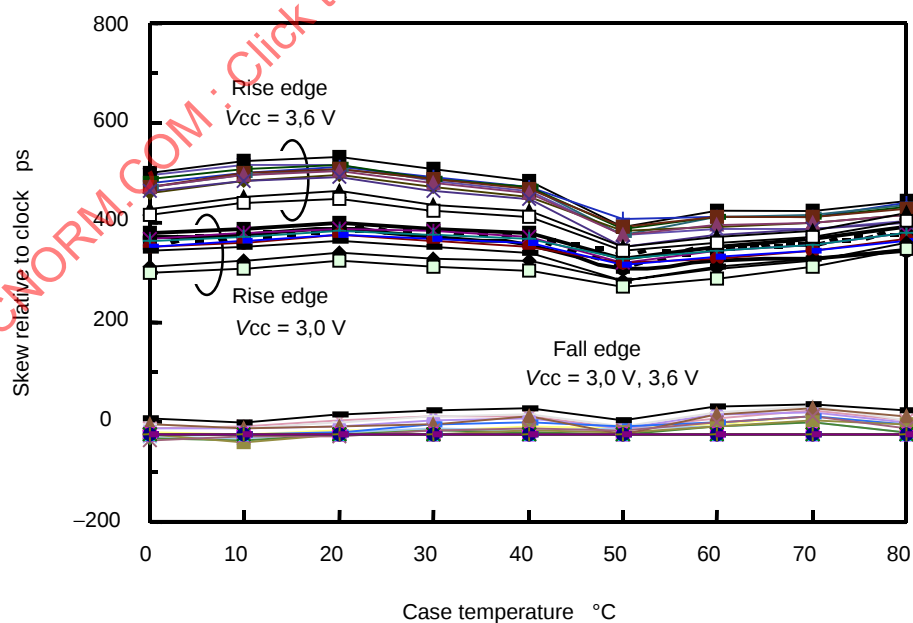


Figure 13 – A schematic diagram of the transmitter and receiver module

5.2 Temperature dependence of transmitter skew

The definition of transmitter skew is shown in Figure 5. The skew is defined as the time deviation of rising and falling edge relative to the clock output. The reference timing point is the half slot time from the falling edge of clock output.

Transmitter skew is mainly caused by the turn-on delay time deviation at the rising edge, and this is strongly dependent on temperature. Figure 14 shows the temperature dependence on transmitter skew. The skew of rising and falling edges are measured different characteristics.



IEC 2755/02

Figure 14 – Temperature dependence of transmitter skew