

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Cable networks for television signals, sound signals and interactive services –
Part 14: Optical transmission systems using RFoG technology**

**Réseaux de distribution par câbles pour signaux de télévision, signaux de
radiodiffusion sonore et services interactifs –
Partie 14: Systèmes de transmission optique appliquant la technologie RFoG**





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.



IEC 60728-14

Edition 1.0 2014-03

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Cable networks for television signals, sound signals and interactive services –
Part 14: Optical transmission systems using RFoG technology**

**Réseaux de distribution par câbles pour signaux de télévision, signaux de
radiodiffusion sonore et services interactifs –
Partie 14: Systèmes de transmission optique appliquant la technologie RFoG**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

XA

ICS 33.060.40; 33.160; 33.180

ISBN 978-2-8322-1439-8

**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.....	5
INTRODUCTION.....	7
1 Scope	8
2 Normative references.....	8
3 Terms, definitions, symbols and abbreviations.....	10
3.1 Terms and definitions	10
3.2 Symbols	16
3.3 Abbreviations	16
4 System reference model	17
5 RFoG ONU reference architecture	18
6 Method of measurements.....	19
6.1 Optical power	19
6.2 Centroidal wavelength and spectral width under modulation	19
6.3 Optical wavelength	20
6.4 Linewidth and chirping of transmitters with single mode lasers	20
6.5 Optical modulation index	20
6.6 Reference output level of an optical receiver.....	20
6.7 Noise parameters of optical transmitters and optical receivers	20
6.8 Relative intensity noise (<i>RIN</i>), optical modulation index and equivalent input noise current (<i>EINC</i>)	20
6.9 Carrier level and carrier-to-noise ratio	20
6.10 Noise power ratio (<i>NPR</i>)	20
6.11 Carrier-to-noise ratio defined by optical signal	21
6.12 Carrier-to-crosstalk ratio (<i>CCR</i>).....	21
7 System performance requirements.....	21
7.1 Digital data system	21
7.1.1 ODN	21
7.1.2 Performance allocation	21
7.2 Forward path and return path frequency split	22
8 RFoG equipment specifications.....	22
8.1 General specifications	22
8.1.1 Safety	22
8.1.2 Electromagnetic compatibility (EMC)	22
8.1.3 Environmental conditions	22
8.1.4 Marking	23
8.2 R-ONU	23
8.2.1 Indicators.....	23
8.2.2 R-ONU forward path receiver specifications	23
8.2.3 Return path performance of R-ONU	25
8.2.4 Remote control functions	29
8.3 Headend specifications	34
8.3.1 Headend forward path specifications	34
8.3.2 Headend return path specifications: R-RRX.....	34

Annex A (informative) Implementation notes.....	36
Annex B (informative) System loss specification	38
B.1 General.....	38
B.2 Forward path considerations.....	38
B.3 Return path considerations.....	39
Annex C (informative) Optical beat interference.....	42
C.1 General.....	42
C.2 Operating conditions of ODN	42
C.3 Operating conditions of optical receiver at the headend system.....	42
C.4 Operating conditions of CMTS	43
C.5 Environmental conditions.....	43
C.6 Relation between optical transmission loss and OMI	43
C.7 Design margin of ODN	44
C.8 Example of system design.....	45
C.9 Method of measurement of OBI	46
C.9.1 Purpose	46
C.9.2 Measurement setup	46
C.9.3 Example of measurement conditions	46
C.9.4 Procedure	47
C.9.5 Presentation of results	47
C.10 Method of measurement of OBI (measurement with CW signals)	47
C.10.1 Purpose	47
C.10.2 Measurement setup	47
C.10.3 Procedure	48
Annex D (normative) Optional remote control manager	49
Annex E (informative) Outdoor housings for R-ONU protection	50
Annex F (informative) Effect of off-state optical power on C/N ratio of transmission signal.....	51
Bibliography	53
Figure 1 – Optical system reference model for RFoG	18
Figure 2 – Principle schematics of R-ONU	19
Figure 3 – Measurement of optical wavelength using WDM coupler	20
Figure 4 – R-ONU turn-on and turn-off diagram	29
Figure 5 – Example of the remote control system configuration.....	30
Figure 6 – Data format	31
Figure 7 – Structure of data packet.....	31
Figure 8 – Control transfer process	32
Figure 9 – Timing of data transmission	32
Figure A.1 – Placement of attenuators when system loss is too low	37
Figure B.1 – Performance allocation of the return path transmission system	39
Figure B.2 – Section C/N specification for SDU and MDU in-house wiring.....	41
Figure C.1 – Optical transmission loss and OMI.....	44
Figure C.2 – ODN design margin.....	44
Figure C.3 – Setup used for the measurement of OBI	46

Figure C.4 – Setup used for the measurement of OBI (CW method).....	48
Table 1 – ODN Specifications.....	21
Table 2 – RF frequencies	22
Table 3 – Classification of R-ONU optical receivers	24
Table 4 – Data publication requirements for R-ONU optical receivers.....	24
Table 5 – Recommendations for R-ONU optical receivers.....	24
Table 6 – Performance requirements for R-ONU optical receivers.....	25
Table 7 – Classes of optical return path transmitters	25
Table 8 – Data publication requirements for optical return path transmitters.....	26
Table 9 – Performance requirements for optical parameters and interfaces.....	26
Table 10 – Electrical properties requirements for R-ONU optical return path transmitters	27
Table 11 – R-ONU turn-on and turn-off specifications	27
Table 12 – Remote control items	30
Table 13 – Fundamental specification of data communication	31
Table 14 – Content of data packets	31
Table 15 – R-ONU address	32
Table 16 – Recommendation for timing of data transmission.....	33
Table 17 – Remote control command codes	33
Table 18 – Specification of modulation for the remote control signal	34
Table 19 – Data publication requirements for return path optical receivers	35
Table 20 – Performance requirements for optical return path receivers	35
Table C.1 – Operating conditions related to ODN parameters	42
Table C.2 – Operating conditions related to ODN parameters	43
Table C.3 – Environmental conditions for system evaluation	43
Table C.4 – Factors affecting the transmission loss of ODN.....	45
Table C.5 – System design example 1.....	45
Table C.6 – System design example 2.....	45
Table C.7 – Example of list of measurement conditions	46
Table C.8 – Presentation of OBI measurement results.....	47
Table C.9 – Presentation of OBI measurement results.....	48
Table D.1 – Performance requirements for the FSK transmitter	49

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**CABLE NETWORKS FOR TELEVISION SIGNALS,
SOUND SIGNALS AND INTERACTIVE SERVICES –****Part 14: Optical transmission systems using RFoG technology****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.

International Standard IEC 60728-14 has been prepared by technical area 5: Cable networks for television signals, sound signals and interactive services, of IEC technical committee 100: Audio, video and multimedia systems and equipment.

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

FDIS	Report on voting
100/2248/FDIS	100/2284/RVD

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

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

The list of all the parts of the IEC 60728 series, under the general title *Cable networks for television signals, sound signals and interactive services*, can be found on the IEC website.

This standard follows closely (where applicable) the ANSI/SCTE 174 2010 standard “Radio Frequency over Glass / Fiber-to-the-Home Specification”. In agreement with SCTE¹ major parts of ANSI/SCTE 174:2010 have been copied into this standard.

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.

¹ SCTE = Society of Cable Telecommunications Engineers

INTRODUCTION

Standards and other deliverables of the IEC 60728 series deal with cable networks including equipment and associated methods of measurement for headend reception, processing and distribution of television and sound signals and for processing, interfacing and transmitting all kinds of data signals for interactive services using all applicable transmission media. These signals are typically transmitted in networks by frequency-multiplexing techniques.

- regional and local broadband cable networks,
- extended satellite and terrestrial television distribution systems,
- individual satellite and terrestrial television receiving systems,

and all kinds of equipment, systems and installations used in such cable networks, distribution and receiving systems.

The extent of this standardization work is from the antennas and/or special signal source inputs to the headend or other interface points to the network up to the terminal input of the customer premises equipment.

The standardization work will consider coexistence with users of the RF spectrum in wired and wireless transmission systems.

The standardization of any user terminals (i.e., tuners, receivers, decoders, multimedia terminals, etc.) as well as of any coaxial, balanced and optical cables and accessories thereof is excluded.

The Annexes provide the following information.

Annex A	describes implementation notes with design consideration based on this standard
Annex B	describes the system loss specification
Annex C	describes multiple CMTS operation
Annex D	contains specifications for an optional remote control system
Annex E	gives a design guideline of housings for R-ONU protection
Annex F	contains information on the effect of off-state optical power on C/N ratio of transmission signal

CABLE NETWORKS FOR TELEVISION SIGNALS, SOUND SIGNALS AND INTERACTIVE SERVICES –

Part 14: Optical transmission systems using RFoG technology

1 Scope

This part of IEC 60728 describes the system and equipment specification of FTTH/FTTB (fibre to the home/fibre to the building) networks where information is transmitted in both, forward and return path directions using RF subcarrier multiplexing technology, and where the return path transmission uses additionally time division multiple access technique imposed by the transmission of the return path signals using a TDMA (e.g. TDMA mode of DOCSIS) protocol. Such systems are called RF over Glass (RFoG) and consist of an RFoG optical network unit (R-ONU), an optical distribution network based on xPON structure, and an RFoG optical return path receiver. This standard specifies the basic system parameters and methods of measurement for RFoG systems in order to assess the system performance and its performance limits.

The detailed description of physical layer is out of the scope of this standard and it does not include IP transport technologies.

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 60068-1:1988, *Environmental testing – Part 1: General and guidance*

IEC 60068-2-1, *Environmental testing – Part 2-1: Tests – Test A: Cold*

IEC 60068-2-2, *Environmental testing – Part 2-2: Tests – Test B: Dry heat*

IEC 60068-2-6:2007, *Environmental testing – Part 2-6: Tests – Test Fc: Vibration (sinusoidal)*

IEC 60068-2-14, *Environmental testing – Part 2-14: Tests – Test N: Change of temperature*

IEC 60068-2-27, *Environmental testing – Part 2-27: Tests – Test Ea and guidance: Shock*

IEC 60068-2-30, *Environmental testing – Part 2-30: Tests – Test Db: Damp heat, cyclic (12 h + 12 h cycle)*

IEC 60068-2-31, *Environmental testing – Part 2-31: Tests – Test Ec: Rough handling shocks, primarily for equipment-type specimens*

IEC 60068-2-40, *Environmental testing – Part 2-40: Tests – Test Z/AM: Combined cold/low air pressure tests*

IEC 60529, *Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)*

IEC 60728-1, *Cable networks for television signals, sound signals and interactive services – Part 1: System performance of forward paths*

IEC 60728-2, *Cable networks for television signals, sound signals and interactive services – Part 2: Electromagnetic compatibility of equipment*

IEC 60728-3, *Cable networks for television signals, sound signals and interactive services – Part 3: Active wideband equipment for cable networks*

IEC 60728-6:2011, *Cable networks for television signals, sound signals and interactive services – Part 6: Optical equipment*

IEC 60728-10:2014, *Cable networks for television signals, sound signals and interactive services – Part 10: System performance of return path*

IEC 60728-11, *Cable networks for television signals, sound signals and interactive services – Part 11: Safety*

IEC 60728-13:2010, *Cable networks for television signals, sound signals and interactive services – Part 13: Optical systems for broadcast signal transmissions*

IEC 60728-13-1:2012, *Cable networks for television signals, sound signals and interactive services – Part 13-1: Bandwidth expansion for broadcast signal over FTTH system*

IEC 60793-2-50:2012, *Optical fibres – Part 2-50: Product specifications – Sectional specification for class B single-mode fibres*

IEC 60794-3-11:2010, *Optical fibre cables – Part 3-11: Outdoor cables – Product specification for duct, directly buried, and lashed aerial single-mode optical fibre telecommunication cables*

IEC 60825-1, *Safety of laser products – Part 1: Equipment classification and requirements*

IEC 61169-2, *Radio-frequency connectors – Part 2: Sectional specification – Radio frequency coaxial connectors type 9,52*

IEC 61169-24, *Radio-frequency connectors – Part 24: Sectional specification – Radio-frequency coaxial connectors with screw coupling, typically for use in 75 ohm cable distribution systems (Type F)*

IEC 61280-1-1, *Fibre optic communication subsystem basic test procedures – Part 1-1: Test procedures for general communication subsystems – Transmitter output optical power measurement for single-mode optical fibre cable*

IEC 61280-1-3, *Fibre optic communication subsystem test procedures – Part 1-3: General communication subsystems – Central wavelength and spectral width measurement*

IEC 61754-4, *Fibre optic interconnecting devices and passive components – Fibre optic connector interfaces – Part 4: Type SC connector family*

IEC/TR 61931:1998, *Fibre optics – Terminology*

IEEE Standard 802.3-2008, *Carrier sense multiple access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications (Includes the EPON standard)*. See also subsequent corrigenda

IEEE Standard 802.3av-2009, *IEEE Standard for Information Technology-Part 3: Amendment 1: Physical Layer Specifications and Management Parameters for 10Gb/s Passive Optical Networks, October 2009*

3 Terms, definitions, symbols and abbreviations

3.1 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 60728-1 and IEC/TR 61931 as well as the following apply.

3.1.1

carrier-to-crosstalk ratio

CCR

level difference of desired signal carrier level and worst case of other services single frequency crosstalk signal measured at RF output port of optical receiver

Note 1 to entry: CCR is defined by the following equation:

$$CCR = D - U_{\text{OtherService}} \quad (1)$$

where

D is the nominal level of the desired signal in dB(μV) at RF output port of optical receiver;

$U_{\text{OtherService}}$ is the worst case level of another service's single frequency crosstalk in dB(μV) at RF output port of the optical receiver.

Note 2 to entry: CCR is expressed in dB.

3.1.2

equivalent input noise current density

notional input noise current density which, when applied to the input of an ideal noiseless device, produces an output noise current density equal in value to that observed at the output of the actual device under consideration

Note 1 to entry: It can be calculated from the carrier-to-noise ratio C/N (see IEC 60728-6) of a device or system using:

$$I_r = \sqrt{\frac{C}{Z 10^{\frac{1}{10} C/N}}} \quad (2)$$

where

C is the power of the carrier at the input of the device or system, in W/Hz;

Z is its input impedance, in Ω.

Note 2 to entry: The equivalent input noise current density is expressed in A/√Hz.

3.1.3

extended satellite television distribution network or system

distribution network or system designed to provide sound and television signals received by satellite receiving antenna to households in one or more buildings

Note 1 to entry: This kind of network or system can be combined with terrestrial antennas for the additional reception of TV and/or radio signals via terrestrial networks.

Note 2 to entry: This kind of network or system can also carry control signals for satellite switched systems or other signals for special transmission systems (e.g. MoCA or WiFi) in the return path direction.

3.1.4**extended terrestrial television distribution network or system**

distribution network or system designed to provide sound and television signals received by terrestrial receiving antenna to households in one or more buildings

Note 1 to entry: This kind of network or system can be combined with a satellite antenna for the additional reception of TV and/or radio signals via satellite networks.

Note 2 to entry: This kind of network or system can also carry other signals for special transmission systems (e.g. MoCA or WiFi) in the return path direction.

3.1.5**fibre optic branching device**

<optical> <fibre> branching device

<optical> splitter

DEPRECATED: <optical> <fibre> coupler

device, possessing three or more optical ports, which shares optical power among its ports in a predetermined fashion, at the same wavelength or wavelengths, without wavelength conversion

Note 1 to entry: The ports may be connected to fibres, sources, detectors, etc.

[SOURCE: IEC/TR 61931:1998, definition 2.6.21]

3.1.6**flatness**

difference between the maximum and the minimum RF gain or attenuation not taking into account the slope within the specified modulation frequency range of a device or system

3.1.7**headend system**

system comprising modulators, demodulators, CMTS, an optical transmitter with optional optical amplifiers and a WDM for the transmission of analogue video as well as digitally modulated signals located at the central office side of the optical network

Note 1 to entry: The headend system is equipped with an optical return path receiver receiving digitally modulated signals of data in the return path direction to enable e.g. VoIP, VOD and internet services.

Note 2 to entry: V-OLT is a part of the headend system and deals with video transmission in the forward path only.

3.1.8**individual satellite television receiving system**

system designed to provide sound and television signals received from satellite(s) to an individual household

Note 1 to entry: This kind of system can also carry control signals for satellite switched systems or other signals for special transmission systems (e.g. MoCA or WiFi) in the return path direction.

3.1.9**individual terrestrial television receiving system**

system designed to provide sound and television signals received via terrestrial broadcast networks to an individual household

Note 1 to entry: This kind of system can also carry other signals for special transmission systems (e.g. MoCA or WiFi) in the return path direction.

3.1.10**local broadband cable network**

network designed to provide sound and television signals as well as signals for interactive services to a local area (e.g. one town or one village)

3.1.11
multiplexing device
WDM device

wavelength selective branching device (used in WDM transmission systems) in which optical signals can be transferred between two predetermined ports, depending on the wavelength of the signal

[SOURCE: IEC/TR 61931:1998, definition 2.6.51]

3.1.12
noise power ratio
NPR

ratio of the signal power density to the power density of the combined noise and intermodulation distortion

3.1.13
off-state optical power

residual optical output power emitted from the fibre of the R-ONU when the laser is switched to off-state

Note 1 to entry: In a typical burst mode transmitter, for fast switching operation, the laser bias may be kept near the threshold bias level to avoid turn-on and turn-off delays. The off-state optical power affects the system performance when a large number of transmitters are connected to the same distribution network.

3.1.14
optical amplifier
OA

optical waveguide device containing a suitably pumped, active medium which is able to amplify an optical signal

[SOURCE: IEC/TR 61931:1998, definition 2.7.75]

3.1.15
optical distribution network
ODN

passive optical network (PON) mainly consisting of optical fibres and splitters

3.1.16
optical receiving unit
optical receiver
Rx

receive fibre optic terminal device accepting at its input port a modulated optical carrier, and providing at its output port the corresponding demodulated electrical signal (with the associated clock, if digital)

[SOURCE: IEC/TR 61931:1998, definition 2.9.7]

Note 1 to entry: For the purposes of this standard, optical receivers may have more than one output port providing electrical RF signals.

3.1.17
optical modulation index
index defined as

$$m = \frac{\phi_h - \phi_l}{\phi_h + \phi_l} \quad (3)$$

where ϕ_h is the highest and ϕ_l is the lowest instantaneous optical power of the intensity modulated optical signal

Note 1 to entry: This definition does not apply to systems where the input signals are converted and transported as digital baseband signals. In this case, the terms modulation depth or extinction ratio defined in 2.6.79 and 2.7.46 of IEC/TR 61931:1998 are used. A test procedure for extinction ratio is described in IEC 61280-2-2.

[SOURCE: IEC 60728-6:2011, definition 3.1.10, modified – repetition of "optical modulation" has been deleted.]

3.1.18 optical return loss return loss ORL

ratio of the total reflected power to the incident power from an optical fibre, optical device, or optical system, and defined as:

$$-10 \lg \frac{P_r}{P_i} \quad (4)$$

where

P_r is the reflected power;

P_i is the incident power

Note 1 to entry: When referring to a reflected power from an individual component, reflectance is the preferred term.

[SOURCE: IEC/TR 61931:1998, definition 2.6.49]

Note 2 to entry: For the purposes of this standard, the term reflectance is used for optical amplifiers only. The term optical return loss is used for ports of all other types of equipment.

Note 3 to entry: The term return loss is also used for electrical ports. The definition relates to electrical powers in this case.

Note 4 to entry: The ratio is expressed in dB.

3.1.19 optical transmitting unit optical transmitter Tx

transmit fibre optic terminal device accepting at its input port an electrical signal and providing at its output port an optical carrier modulated by that input signal

[SOURCE: IEC/TR 61931:1998, definition 2.9.6]

Note 1 to entry: For the purposes of this standard, optical transmitters may have more than one input port accepting electrical RF signals.

3.1.20 radio frequency over glass RFoG

transmission technology on optical networks where information is transmitted in both, forward and return path directions, using RF subcarrier multiplexing technology, and where the return path transmission uses additionally time division multiple access technique imposed by the transmission of the return path signals using a TDMA (e.g. TDMA mode of DOCSIS) protocol

3.1.21 reference output level of an optical receiver

offset x by which the electrical output level of an optical receiver can be calculated from the optical input level at a modulation index of $m = 0,05$ using the following equation:

$$U = 2 P_{\text{opt,RX}} + x \text{ dB}(\mu\text{V}) \quad (5)$$

where

U is the electrical output level in dB(μV)

$P_{\text{opt,RX}}$ is the optical input level in dB(mW)

x is the reference output level in dB(μV)

3.1.22 responsivity

ratio of an optical detector's electrical output to its optical input at a given wavelength

Note 1 to entry: The responsivity is expressed in ampere per watt (A/W) or volts per watt (V/W) of incident radiant power.

Note 2 to entry: Sensitivity is sometimes used as an imprecise synonym for responsivity.

[SOURCE: IEC 60050-731:1991, 731-06-36, modified – "given wavelength" has been added and Note 1 has been clarified.]

Note 3 to entry: The wavelength interval around the given wavelength may be specified.

[SOURCE: IEC/TR 61931:1998, definition 2.7.56]

3.1.23 relative intensity noise RIN

ratio of the mean square of the intensity fluctuations in the optical power of a light source to the square of the mean of the optical output power

Note 1 to entry: The RIN is usually expressed in dB(Hz⁻¹) resulting in negative values.

Note 2 to entry: The value for the RIN can be calculated from the results of a carrier-to-noise measurement for the system.

[SOURCE: IEC 60728-6:2011, 3.1.12]

3.1.24 RFoG optical network unit R-ONU

fibre optic terminal comprising an optical receiver for reception of analogue signals and an optical transmitter for the transmission of analogue signals originating from the customer side of the optical network and a coaxial interface for the transmission of analogue signals to the customer network and reception of analogue signals from the customer network generally consisting of digital data using a TDMA (e.g. TDMA mode of DOCSIS) protocol

3.1.25**slope**

gain or attenuation difference at two defined frequencies between two ports of a device or system

Note 1 to entry: In this standard the term slope relates only to the electrical gain or attenuation of equipment.

Note 2 to entry: In equipment for cable networks a line of best fit of the amplitude frequency response is considered at the band limits (see IEC 60728-6).

[SOURCE: IEC 60728-6:2011, 3.1.29]

3.1.26**<stimulated> Brillouin scattering****SBS**

non-linear scattering of optical radiation characterized by a frequency shift as for the Raman scattering, but accompanied by a lower frequency (acoustical) vibration of the medium lattice; the light is scattered backward with respect to the incident radiation

Note 1 to entry: In silica fibres the frequency shift is typically around 10 GHz.

[SOURCE: IEC/TR 61931:1998, definition 2.1.88]

3.1.27**video optical network unit****V-ONU**

terminal unit that changes the forward path optical signal into an electrical signal

Note 1 to entry: This functionality of this device is a part of an R-ONU.

3.1.28**wavelength**

distance covered in a period by the wavefront of a harmonic plane wave

[SOURCE: IEC/TR 61931:1998, definition 2.2.9]

Note 1 to entry: The wavelength λ of light in vacuum is given by

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (6)$$

where

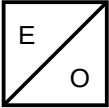
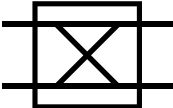
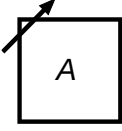
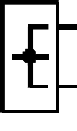
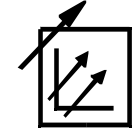
c is the speed of light in vacuum ($c \approx 2,997\,92 \times 10^8$ m/s);

f is the optical frequency.

Note 2 to entry: Although the wavelength in dielectric material such as fibres is shorter than in vacuum, only the wavelength of light in vacuum is used.

3.2 Symbols

The following graphical symbols are used in the figures of this standard. These symbols are either listed in IEC 60617 or based on symbols defined in IEC 60617.

	Optical transmitter based on [IEC 60617-S00213 (2001-07)]		Optical receiver based on [IEC 60617-S00213 (2001-07)]
	Optical amplifier based on [IEC 60617-S00127 (2001-07) and IEC 60617-S01239 (2001-07)]		Optical fibre [IEC 60617-S01318 (2001-07)]
	Low-pass filter [IEC 60617-S01248 (2001-07)]		High-pass filter [IEC 60617-S01247 (2001-07)]
	Directional coupler based on [IEC 60617-S00059 (2001-07) and IEC 60617-S01193 (2001-07)]		WDM
	Electrical spectrum analyzer based on [IEC 60617-S00059 (2001-07) and IEC 60617-S00910 (2001-07)]		Cable modem
	TV set		Optical spectrum analyzer based on [IEC 60617-S00059 (2001-07) and IEC 60617-S00910 (2001-07)]
	Variable attenuator [IEC 60617-S01245 (2001-07)]		splitter/combiner
	Polarisation control device [IEC 60617-S001430 (under consideration)]		

3.3 Abbreviations

The following abbreviations are used in this standard:

AC	alternating current	AGC	automatic gain control
CATV	community antenna television (network)	C/N	carrier-to-noise ratio
CCR	carrier-to-crosstalk ratio	CM	cable modem
CMTS	cable modem termination system	CSO	composite second order
CTB	composite triple beat	CW	continuous wave

DOCSIS	data over cable service interface specification	DS	downstream
EINC	equivalent input noise current	EMC	electromagnetic compatibility
EPON	Ethernet passive optical network (defined in IEEE Standard 802.3-2008)	FSK	frequency shift keying
FTTB	Fibre to the building	FTTH	fibre to the home
GEAPON	Gigabit Ethernet passive optical network (defined in IEEE Standard 802.3-2008)	GPON	Gigabit-capable passive optical networks (defined in ITU-T Recommendation G.984)
HFC	hybrid fibre coaxial	MDU	multiple dwelling unit
MTBF	mean time between failure	NPR	noise power ratio
OBI	optical beat interference	ODN	optical distribution network
OFDM	orthogonal frequency division multiplex	OMI	optical modulation index
ONU	optical network unit	PON	passive optical network
QAM	quadrature amplitude modulation	QPSK	quadrature phase shift keying
RF	radio frequency	RFoG	RF over glass
RIN	relative intensity noise	R-ONU	RFoG optical network unit
Rx	(optical) receiver	SBS	stimulated Brillouin scattering
SDU	single dwelling unit	Tx	(optical) transmitter
US	upstream	V-ONU	video optical network unit
WDM	wavelength division multiplexing	XG-PON	10-Gigabit-capable passive optical network (defined in ITU-T Recommendation G.987)

4 System reference model

Figure 1 shows the optical system reference model for forward path signal transmission and return path signal transmission. The forward path signal transmission system is the subject of IEC 60728-13. Compared to Figure 1 in IEC 60728-13:2010 the V-ONU has been replaced by an R-ONU which adds a WDM and a burst mode return path transmitter to the V-ONU. The R-ONU is capable of transmitting interactive signals and is therefore connected to a cable modem (CM) as well.

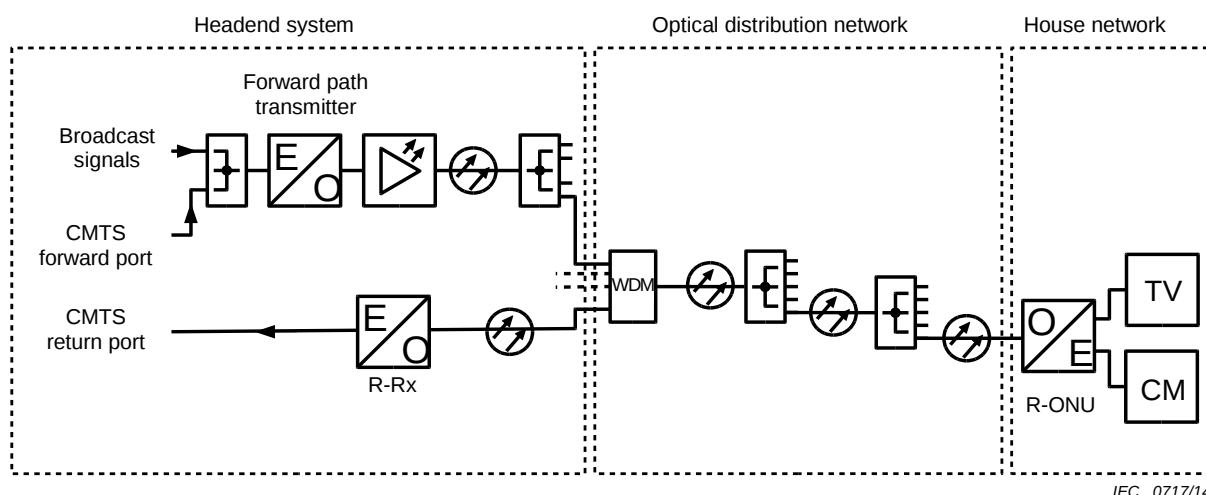


Figure 1 – Optical system reference model for RFoG

Figure 1 illustrates the reference architecture of the system. In the reference architecture, the headend system, the start of the RFoG system, comprises an optical forward path transmitter operating nominally on 1 550 nm, optical amplification and splitting as appropriate, and an optical return path receiver which receives optical return path signals on λ_{up} (defined below), and converts them to RF form. The wavelength division multiplexer used to combine and separate the two wavelengths is a part of the headend system. For the purpose of optical loss budget calculation the WDM optical loss shall be included in the total loss of ODN, consistent with the ODN definition in EPON and GPON.

Specifications contained in this standard apply between the electrical signal terminal of the headend system and the RF electrical terminal from the R-ONU. The system designer is responsible for making sure that the effects of any signal degradation are properly accounted for in the network design. Return path system performance will vary by choice of optical return path receiver hardware. Receiver noise performance and technology choice determines interoperability. The ODN is defined to start at the input of the WDM at the optical headend system and to end at the pigtail on the R-ONU at the home.

The ODN is shown with a single point splitter. However, the ODN may also be implemented as a series of optical taps or as a multi-layer splitter, such as a 1:4 split followed by a set of 1:8 splitters at a different location. So long as the maximum distance, loss budget, and split ratio are respected, the architecture of the splitting is at the discretion of the operator.

5 RFoG ONU reference architecture

Figure 2 illustrates the ONU reference architecture. The ONU comprises a wave division multiplexer (WDM) which separates the optical forward path signal at 1 550 nm nominal and the optical return path signal at λ_{up} . The forward path receiver recovers RF forward path signals from the 1 550 nm (nominal) forward path optical carrier and supplies them to the output via a diplexer.

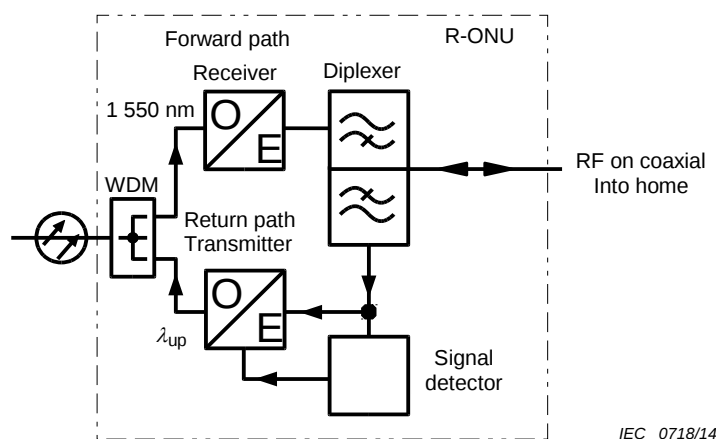


Figure 2 – Principle schematics of R-ONU

The low port of the diplexer supplies return path signals to a return path transmitter whose output is at λ_{up} . It also supplies signals to a signal detector, whose job it is to turn on the return path transmitter when RF signals in the return path band are detected at a level exceeding a specified minimum threshold.

The specification permits either of two return path wavelengths λ_{up} . One permitted wavelength is 1 310 nm nominal, and the other is 1 610 nm nominal. Use of 1 610 nm permits an optional overlay of an RFoG system with either an IEEE 802.3-2008 / IEEE 802.3av-2009 (EPON) system or an ITU G.984 / ITU G.987 (GPON) system. Both systems use 1 310 nm or lower wavelengths for return path data communications. Both return path wavelengths work with the same physical network. Note that if the 1 310 nm return path wavelength is used for RFoG, then neither EPON nor GPON will coexist in the same physical passive optical network.

For compatibility with 10G-EPON or XG-PON systems, the 1 610 nm return path option may be used, but will need an external optical trap at 1 577 nm (nominal) to eliminate that forward path carrier. Alternatively, a manufacturer may offer an R-ONU with a built-in optical trap, or the operator may choose to deploy RFoG and 10G-EPON or XG-PON on separate networks with co-located splitting.

6 Method of measurements

6.1 Optical power

The measurement of optical power at single wavelength shall be carried out according to IEC 61280-1-1. For measuring the total average optical power of multiple wavelengths emanating from the end of a test fibre, the method described in IEC 60728-13 shall be used.

NOTE In general, there is no wavelength selectivity in the optical power meter that is calculated and is displayed as total optical power. Therefore, it is necessary to separate wavelength by the WDM coupler or WDM filter. In that case, it is necessary to compensate the loss of the WDM filter used.

6.2 Centroidal wavelength and spectral width under modulation

For measuring the centroidal wavelength λ_0 of the spectrum and the spectral width $\Delta\lambda$ of a transmitter under modulation, the method described in IEC 61280-1-3 shall be used. The centroidal wavelength and the spectral width shall be expressed in nanometres. This method is not suitable for light sources and transmitters with very narrow spectral width (single mode laser) or for measuring the chirping of transmitters.

6.3 Optical wavelength

The optical wavelength, in the RFoG system, shall be measured following the description given below.

If a single R-ONU is used to receive multiple wavelengths simultaneously without any WDM filter, a test WDM filter shall be used to measure the individual optical wavelength at the input of R-ONU. The measurement setup is shown in Figure 3.

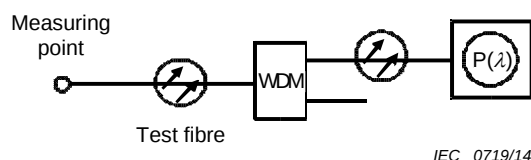


Figure 3 – Measurement of optical wavelength using WDM coupler

For measuring the central wavelength λ_0 of the spectrum of an optical signal under modulation, the method described in IEC 61280-1-3 shall be used. The central wavelength shall be expressed in nm.

6.4 Linewidth and chirping of transmitters with single mode lasers

The measurement of linewidth and chirping of transmitter with single mode lasers shall be carried out according to 4.7 of IEC 60728-6:2011.

6.5 Optical modulation index

The measurement of optical modulation index shall be carried out according to 4.8 of IEC 60728-6:2011.

6.6 Reference output level of an optical receiver

The measurement of reference output of an optical receiver shall be carried out according to 4.9 of IEC 60728-6:2011.

6.7 Noise parameters of optical transmitters and optical receivers

The measurement of noise parameters of optical transmitters and optical receivers shall be carried out according to 4.16 of IEC 60728-6:2011.

6.8 Relative intensity noise (RIN), optical modulation index and equivalent input noise current (EINC)

The method of measurement for relative intensity noise (RIN), optical modulation index (OMI) and equivalent input noise current (EINC) shall be carried out according to 4.17 of IEC 60728-6:2011.

6.9 Carrier level and carrier-to-noise ratio

The method of measurement for carrier level and carrier-to-noise ratio in the electrical domain shall be carried out according to 6.3 of IEC 60728-13:2010.

6.10 Noise power ratio (NPR)

The measurement of noise power ratio (NPR) shall be carried out according to 4.12 of IEC 60728-10:2014.

6.11 Carrier-to-noise ratio defined by optical signal

The measurement method for carrier level and carrier-to-noise ratio in the optical domain shall be carried out according to 6.4 of IEC 60728-13:2010.

6.12 Carrier-to-crosstalk ratio (CCR)

This method of measurement is applicable when other services (i.e. digital communication signals like GPON, GEAPON or Ethernet-Point-to-Point) besides forward path signals of regional and local broadband cable networks (i.e. AM-VSB, 64/256QAM, OFDM, TC8PSK and QPSK) are transmitted in the optical network. Other services may produce crosstalk effects in optical fibres and in optical receiver devices with high linearity. The carrier-to-crosstalk ratio (CCR) of broadcast signals shall be measured according to the method described in 6.6 of IEC 60728-13:2010.

7 System performance requirements

7.1 Digital data system

7.1.1 ODN

The optical distribution network shall meet the requirements in Table 1.

Table 1 – ODN Specifications

Specification	Value
Operating distance, optical hub to R-ONU (D) for 1:32 split ratio ^{a,b}	0 km to 20 km
Highest loss budget under which the system shall operate (L)	25 dB ^c
Lowest loss budget under which the system shall operate	5 dB lower than the highest loss. If the system design has even less loss (e.g., if the split ratio is low) then the system design shall make up the loss. See Annex A, for a discussion of the minimum loss budget.
Assumed optical fibre type	IEC 60794-3-11 cable standard using B1.3 or B6 category optical fibres (IEC 60793-2-50) ^d
^a Longer distances may be possible, but the designer should keep the distance limits of EPON and GPON in mind if migration to either standard is contemplated. ^b Any ratio may be used so long as the total loss budget is respected. Depending on the splitting architecture, stimulated Brillouin scattering (SBS) may limit operation to a lower split ratio (see Annex B for more information). Typical PON implementations normally use split ratios of 32 and, rarely, 64, limited by available optics, so using a higher split ratio may make use of those standards infeasible unless an intermediate interface is used. ^c Operation with loss budgets greater than 25 dB is optional. See Annex B for a discussion. ^d A cross-reference between IEC fibre categories and ITU-T G.65x Recommendations can be found in either IEC 60793-2-50:2012 (Table I.1) or in IEC 60794-3-11:2010 (Table A.1)	

7.1.2 Performance allocation

The general system specification for the forward path transmission is specified in Table 9 of IEC 60728-13:2010 and/or in Table 7, of IEC 60728-13-1:2012.

The general system specification for the return path transmission is specified in Table 6 of IEC 60728-10:2014. An example for the return path performance allocation is given in Clause B.3.

The required values for minimum system RIN and corresponding C/N are laid down in 7.3 of IEC 60728-13:2010.

7.2 Forward path and return path frequency split

The crossover between return path and forward path RF frequencies shall meet the requirements of one of the options in Table 2. The frequencies given in Table 2 are the values that the R-ONU shall be specified to support. The inequalities are given to allow for R-ONU implementations that are manufacturer-specified to include a maximum return path and/or minimum forward path frequency that provides a wider passband than the listed value.

Table 2 – RF frequencies

Option	Upper limit of return path frequency band $f_{US,max}$ MHz	Lower limit of forward path frequency band $f_{DS,min}$ MHz
Option 42/54	≥ 42	≤ 54
Option 55/70	≥ 55	≤ 70
Option 65/85	≥ 65	≤ 85
Option 85/105	≥ 85	≤ 105

8 RFoG equipment specifications

8.1 General specifications

8.1.1 Safety

The relevant safety requirements of all equipment shall conform to IEC 60728-11, where applicable. Concerning laser safety, optical transmitters and optical amplifiers shall additionally fulfil the requirements of IEC 60825-1.

8.1.2 Electromagnetic compatibility (EMC)

The limits of radiation and susceptibility to interference for all equipment covered by this standard are laid down in IEC 60728-2.

8.1.3 Environmental conditions

8.1.3.1 Requirements

Manufacturers shall publish relevant environmental information on their products in accordance with the requirements of the relevant parts of IEC 60068 as specified below:

8.1.3.2 Storage

Climatic category of component or equipment for storage and operation IEC 60068-1

8.1.3.3 Transportation

Air freight (combined cold and low pressure)	IEC 60068-2-40
Road transport (shock test)	IEC 60068-2-27

8.1.3.4 Installation or maintenance

Rough handling test	IEC 60068-2-31
---------------------	----------------

8.1.3.5 Operation

IP Class: Protection provided by enclosures	IEC 60529
Climatic category of component or equipment for storage and operation as defined in	Appendix A of IEC 60068-1:1988
Cold	IEC 60068-2-1
Dry heat	IEC 60068-2-2
Damp heat	IEC 60068-2-30
Change of temperature (test Nb)	IEC 60068-2-14
Vibration (sinusoidal)	Annex B of IEC 60068-2-6:2007

This will enable users to judge the product's suitability with regard to four main requirements: storage, transportation, installation and operation.

8.1.4 Marking

Equipment shall be legibly and durably marked with the manufacturer's name and type number.

It is recommended that symbols in accordance with IEC 80416 and IEC 60417 are used when marking ports.

8.2 R-ONU**8.2.1 Indicators**

The R-ONU shall provide visual indication of the presence of DC power and of forward path optical power.

The visual indication of forward path optical power shall be on at levels above –13 dB(mW).

8.2.2 R-ONU forward path receiver specifications

Optical receivers for various applications are specified in 6.3 of IEC 60728-6:2011. Classes A to D in Table 3 correspond with these types. Additionally classes H to J are introduced, class J reflects the requirements on forward path receivers for applications as specified in IEC 60728-13-1:2012.

Table 3 – Classification of R-ONU optical receivers

Class	Characteristics
A	High electrical output level 1GHz
B	Low electrical output level 1 GHz
D	Fibre to the building 1 GHz FTTB
H	Low electrical output level 1 GHz RFoG
I	High electrical output level 1 GHz RFoG
J	Low electrical output level 2,6 GHz RFoG

The manufacturer shall at least publish information on the parameters listed in Table 4. Given figures are recommended values.

Table 4 – Data publication requirements for R-ONU optical receivers

Parameter	Class A	Class B	Class D	Class H	Class I	Class J
Equivalent input noise current density in pA/√Hz	<6	<6	<5	<6	<6	<8
Reference output level at 862 MHz and OMI = 5 %	–			(80±3) dB(μV)	(98±3) dB(μV)	(80±3) dB(μV)
Receiver intermodulation at OMI = 3,5 %						
– second order	>60 dB			>60 dB	>60 dB	>60 dB
– triple beat	>70 dB			>60 dB	>60 dB	>60 dB
Fibre connection	Connector/splice type and type of fibre			High return loss connector according to IEC 61754-4	High return loss connector according to IEC 61754-4	High return loss connector according to IEC 61754-4
Power consumption	–					

The manufacturer shall additionally publish information on parameters deviating from the recommendations as specified in Table 5.

Table 5 – Recommendations for R-ONU optical receivers

Parameter	Class A	Class B	Class D	Class H	Class I	Class J
Wavelength range ^a	1 540 nm to 1 560 nm					
Optical input power ^b	(–7 to 0) dB(mW)	(–4 to 3) dB(mW)	(–10 to –1) dB(mW)	(–8 to 0) dB(mW)	(–8 to 0) dB(mW)	(–12 to –6) dB(mW)
Output level adjustment range	>10 dB				N/A	
Slope (f_{DSmin} to 1 006 MHz)	(0 to 12) dB	(0 to 6) dB	0	(5±2) dB	(5±2) dB	(5±2) dB
Flatness (f_{DSmin} to 1 006 MHz)	<3 dB	<2 dB	<4 dB	<4 dB	<4 dB	<4 dB
(f_{DSmin} to 2 400 MHz)	–	–	–	–	–	8 dB
Frequency range f_{DSmin} to	1 006 MHz			1 006 MHz	1 006 MHz	2 600 MHz

Supply voltage	One of the following: DC 48 V / 120 V or AC 65 V / 230 V		At least one of the following: DC (10,5 to 18) V (12 V nominal) or AC 100 V or AC 230 V ^c	At least one of the following: DC (10,5 to 18) V (12 V nominal) or AC 100 V or AC 230 V	At least one of the following: DC (10,5 to 18) V (12 V nominal) or AC 100 V or AC 230 V ^c
DC monitor output for optical input power	10 V/mW	1 V/mW	1 V/mW	1 V/mW	1 V/mW
Mechanical dimensions	For operation in buildings: 19" (482,6 mm) rack mountable		Outdoor use / Indoor use	Outdoor use / Indoor use	Outdoor use / Indoor use
^a Refer to Annex A for comments on 10 Gbit/s compatibility.					
^b Received optical power over which RF output level, slope, and frequency response specifications shall be met. At optical powers below specified optical input power range AGC may not be effective. Thus, the RF output level is allowed to decrease 2 dB for every 1 dB decrease in optical power.					
^c DC powering shall be capable to be fed through the RF connector with centre conductor positive with respect to ground. Additional power connection methods may be supplied.					

The forward path receiver of the R-ONU shall meet all the requirements in Table 6.

Table 6 – Performance requirements for R-ONU optical receivers

Parameter	Classes A and B	Class D	Class H and I	Class J
Responsivity of the internal photo diode	≥0,9 A/W for the whole wavelength range			
Electrical output port	Impedance: 75 Ω Connector: IEC 60169-2 female or IEC 61169-24 Return loss: according to category B defined in IEC 60728-3		Impedance: 75 Ω Connector: IEC 61169-24 Return loss: according to category B defined in IEC 60728-3	
Optical return loss	>45 dB	>40 dB	>40 dB	
Indicators	Optical input level failure			
Alarms	Optical input level failure Out of AGC range (if AGC available)		N/A	

8.2.3 Return path performance of R-ONU

8.2.3.1 Classification

Two wavelength options, as classified in Table 7, are provided in the return path. The return path wavelength may be 1 310 nm for maximum cost effectiveness, or 1 610 nm in order to allow the same PON to be used for RFoG and GPON or EPON applications. The return path band shall be specified in purchase documents, and a corresponding WDM and return path receiver shall be used at the optical hub.

Table 7 – Classes of optical return path transmitters

Class	Application
R1R	Secondary wavelength, only for systems not needing compatibility with EPON or GPON
R2R	Primary wavelength, compatible with EPON or GPON.

8.2.3.2 Data publication requirements

Manufacturers shall at least publish information on the parameters listed in Table 8. Given figures are recommended values.

Table 8 – Data publication requirements for optical return path transmitters

Parameter	Class R1R	Class R2R
Type of light source	FP or DFB	DFB
Fibre connection	High return loss connector according to IEC 61754-4	
Power consumption	–	
Test point output attenuation	if test point provided	

8.2.3.3 Optical performance requirements

Optical return path transmitters of the R-ONU according to this standard shall meet the requirements of one of the following classes as listed in Table 9. All specifications shall be met when the same fibre is carrying either EPON or GPON signalling. This does not necessarily include 10 Gbit/s systems unless the R-ONU manufacturer claims coexistence with 10 Gbit/s systems. Otherwise, coexistence with 10 Gbit/s systems may require a blocking filter (see Annex A for more information).

Table 9 – Performance requirements for optical parameters and interfaces

Parameter	Class R1R		Class R2R	
Wavelength in nm	1 310		1 610	
Wavelength tolerance in nm (includes effects of temperature)	±50		±10	
Output power in dB(mW)	Indoor units	Outdoor units	Indoor units	Outdoor units
Low power version	1,5 ± 1	1,5 ± 1,5	1,5 ± 1	1,5 ± 1,5
Medium power version	3 ± 1	3 ± 1,5	3 ± 1	3 ± 1,5
High power version	6 ± 1 (DFB only)	6 ± 1,5 (DFB only)	6 ± 1	6 ± 1,5
Maximum “off state” optical power in dB(mW)	−30			
<i>RIN</i> in dB(Hz ^{−1})	< −130		< −145	
Minimum optical return loss of the system to be tolerated (discrete reflections only) in dB	−45			
Fibre connection	Connector/splice type and type of fibre			
Coexistence with EPON or GPON	not required		required	

8.2.3.4 Performance requirements for electrical parameters and interfaces

Optical return path transmitters according to this standard shall fulfil the requirements on the electrical properties of one of the following classes, see Table 10.

Table 10 – Electrical properties requirements for R-ONU optical return path transmitters

Parameter	Class R1R	Class R2R
RF input level for obtaining $m = 0,35$	+99 dB(μ V)	+99 dB(μ V)
Variation of OMI for constant RF input level over full rated temperature range ^a	± 3 dB	
Nominal channel capacity ^b	Four 6,4 MHz wide channels	
Nominal RF input level per channel (return path RF into R-ONU)	93 dB(μ V) per carrier	
Flatness	± 2 dB, 5 MHz to $f_{US,max}$ MHz	
Noise Power Ratio (<i>NPR</i>) ^c	≥ 38 dB over a ≥ 10 dB dynamic range	
Maximum power level (total power, continuous, no damage)	120 dB(μ V)	
Electrical input port (for stand-alone equipment only)	Impedance: 75 Ω Connector: IEC 61169-2 female or IEC 61169-24 Return loss: according to category B defined in IEC 60728-3	
Supply voltage	One of the following: DC 48 V / 120 V or AC 65 V / 100 V / 230 V (if used as stand-alone equipment)	
Indicators	Laser “on” indicator, indicating when light is emitted	
dBc = decibel referred to carrier signal level		
^a The OMI is measured with a CW carrier inserted at the specified carrier amplitude. The specified OMI and carrier amplitude are the recommended design level for total composite RF power at the R-ONU coaxial port when fully loaded. If a four channel operation is used, the level of each channel at the R-ONU coaxial port will be 6 dB lower. See Annex A for guidance on channel characteristics.		
^b The nominal channel capacity is used to derive the nominal RF input level per channel specification and to estimate the performance of a return path channel in a typical deployment. These values are suggested and are not mandatory. R-ONUs should function with higher channel loads, but performance may be reduced. See Annex A for guidance on channel characteristics and additional considerations.		
^c R-ONU return path <i>NPR</i> cannot easily be measured in a link with high optical loss. To measure <i>NPR</i> , it is necessary to use a link with relatively low optical loss. The noise loading for the <i>NPR</i> test shall be 37 MHz of broadband noise from 5 MHz to 42 MHz with a nominally centred notch. <i>NPR</i> shall be tested with 20 km of fibre and additional attenuation resulting in -10 dB(mW) optical power into the test receiver. The test receiver shall have an EINC over the return band of 5 MHz to 42 MHz of no greater than 2,5 pA $\sqrt$ Hz and two tone IM2 and IM3 products better than -60 dBc at 20 % OMI per tone and 0 dB(mW) total optical received power. The test setup should have the optical attenuation placed between the transmitter and the fibre.		

8.2.3.5 Dynamical properties of the R-ONU return path transmitter

The R-ONU shall meet the turn-on and turn-off characteristics specified in Table 11. The characteristics are illustrated in Figure 4. The turn-on and turn-off characteristics shall be tested with a single continuous wave (CW) RF carrier.

Table 11 – R-ONU turn-on and turn-off specifications

Interval	Specification	Value
N/A	Power at which R-ONU shall not turn on	≤ 67 dB(μ V)
N/A	Power at which R-ONU shall turn on ^a	≥ 76 dB(μ V)
N/A	Power at which R-ONU should turn on ^a	≥ 73 dB(μ V)
N/A	Power of "on" level at which R-ONU laser should not turn on with pulsed on/off RF input (50 % duty cycle, 100 ns period)	≤ 70 dB(μ V)

Interval	Specification	Value
N/A	Power of “on” level at which the R-ONU laser should turn on within time T1 (defined below and in Figure 4), when tested using a continuous 50 % duty cycle pulsed on/off RF input, 50 ns on and 50 ns off.	$\geq 76 \text{ dB}(\mu\text{V})$
N/A	Power at which R-ONU shall not turn off ^b	$\geq 61 \text{ dB}(\mu\text{V})$
N/A	Power at which R-ONU should not turn off ^b	$\geq 58 \text{ dB}(\mu\text{V})$
N/A	Power at which R-ONU shall turn off	$\leq 52 \text{ dB}(\mu\text{V})$
T1: Don't turn on too late	Maximum time from application of RF to 90 % optical power (read to late-side mask)	1,3 μs
T2: Don't turn on too fast	Minimum 10 % to 90 % optical power rise time (read from late-side mask 10 % to early-side mask 90 %)	100 ns
T3: Don't turn on too slow	Maximum optical power rise time (read from early-side mask 10 % to late-side mask 90 %). If there is overshoot on the optical power, use the value after the overshoot has dissipated.	1,0 μs
Don't turn on by mistake	Power at which a single isolated pulse ≤ 90 ns long should not turn on the laser	$\leq 125 \text{ dB}(\mu\text{V})$
T11: Don't turn off too late	Maximum time from removal of RF (defined as RF dropping to 52 dB(μV)) to the time the optical carrier falls to 10 % of its steady-state amplitude (read to late-side mask)	1,6 μs
T12: Don't turn off too fast	Minimum (90 to 10) % optical power fall time	100 ns
T13: Don't turn off too slow	Maximum (90 to 10) % optical power fall time	1,0 μs
T14: Don't turn off by mistake	When the turn-off threshold is $>58 \text{ dB}(\mu\text{V})$, the R-ONU shall not drop the laser power below 90 % for a sudden drop in RF input power to $\leq 52 \text{ dB}(\mu\text{V})$ that lasts ≤ 600 ns. For the same turn-off threshold, the R-ONU may allow the laser power to remain above 90 % for a sudden drop in RF input power to $\leq 52 \text{ dB}(\mu\text{V})$ that lasts >600 ns. When turn-off threshold is $\leq 58 \text{ dB}(\mu\text{V})$, the R-ONU shall not drop the laser power below 90 % for a sudden drop in RF input power to $\leq 52 \text{ dB}(\mu\text{V})$ that lasts ≤ 400 ns. For the same turn-off threshold, the R-ONU may allow the laser power to remain above 90 % for a sudden drop in RF input power to $\leq 52 \text{ dB}(\mu\text{V})$ that lasts >400 ns ^c.	See left column
Should maintain turn on with ramp up input	Upon reaching 90 % optical power during turn on, subsequent time during which optical power should not drop below 90 % of its steady-state amplitude	$\leq 12 \mu\text{s}$
Should reach and maintain steady-state stability upon turn on	Maximum time after application of a valid turn on RF input in which the optical modulator should achieve and maintain RF signal level stability within $\pm 0,1 \text{ dB}$, observed at the output of a reference optical-to-electrical converter (also reach and maintain NPR required performance)	1,3 μs
^a To allow flexibility in the laser activation implementation and provide greater noise immunity in the RFoG system, the “shall turn on” level may be increased by up to 3 dB relative to the “should turn on” level. This will delay the absolute start of laser activation by less than 1/3 of a symbol period. ^b To allow flexibility in the laser de-activation implementation and provide greater noise immunity in the RFoG system, the “shall not turn off” level may be increased by up to 3 dB relative to the “should not turn off” level. ^c For a sudden drop in RF input power to 52 dB(μV), a valid input signal will remain below the higher threshold (61 dB(μV)) for more time than below the lower threshold (58 dB(μV)).		

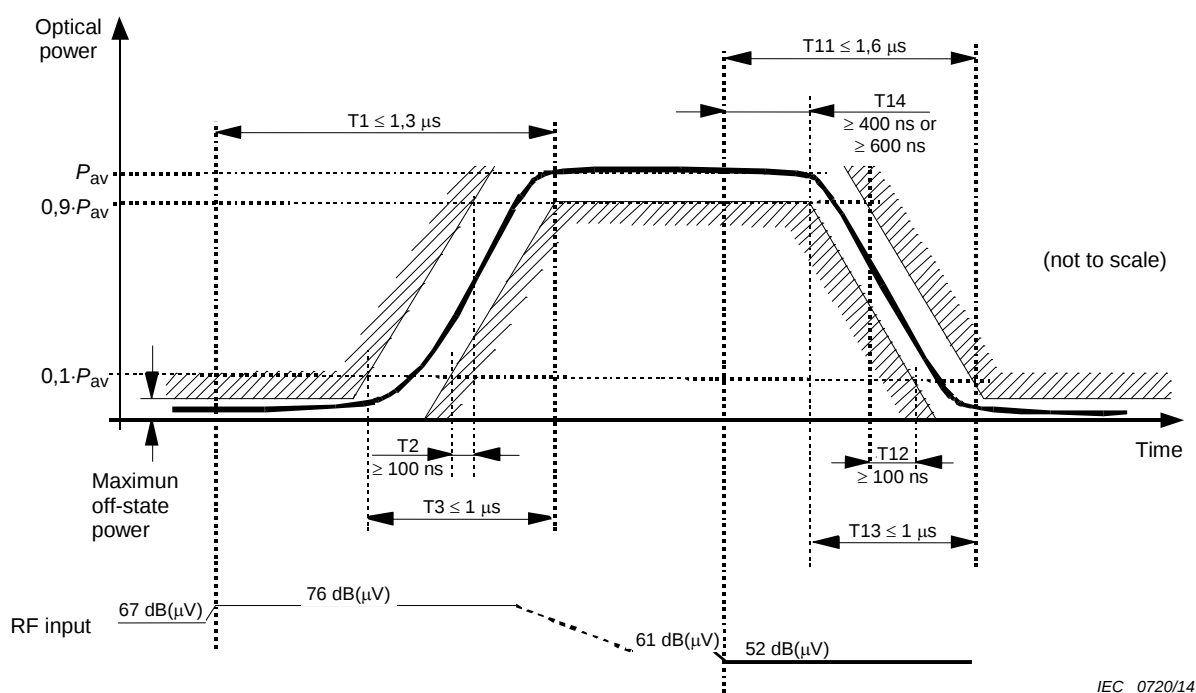


Figure 4 – R-ONU turn-on and turn-off diagram

Note that the turn-on and turn-off characteristics shown in Figure 4 apply for transitions between any RF power within the “off” power range and any RF power within the normal operating range of the R-ONU.

8.2.4 Remote control functions

8.2.4.1 General description

This standard defines the optional remote control function of an R-ONU (RFoG optical network unit) device. The R-ONU is a fibre node used in RFoG (RF over glass) networks to convert optical signals into RF signals for forward path signals and RF signals into optical signals for return path signals.

The remote control specified in this standard comprises forward and return path RF signal functions and the return path optical signal functions of the R-ONU device.

For remote control, an RFoG remote control manager device installed in the headend is required. The remote control manager provides the remote control commands, which are transmitted “in band” via RFoG network forward transmission path.

8.2.4.2 Remote control system configuration

An example of the remote control system configuration is shown in Figure 5.

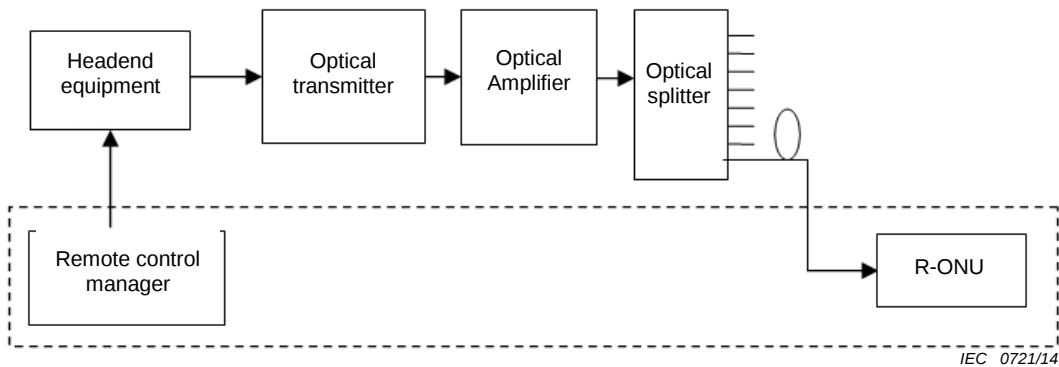


Figure 5 – Example of the remote control system configuration

The remote control signal is generated by the remote control manager situated in the headend, and is frequency-multiplexed with the forward path signals in the forward path. In the R-ONU, the remote control signal is demodulated and processed.

8.2.4.3 Remote control items

The remote control items defined in this standard are shown in Table 12.

Setting the RF output to ON in all R-ONUs should be performed simultaneously.

Table 12 – Remote control items

Controlled item	Function
Forward path RF output signal	Control forward path RF output signal of R-ONU OFF / ON by the remote control manager, individually.
	Set RF output signal ON in all R-ONUs by the remote control manager, simultaneously. ^a
Return path optical signal	Control return path optical signal of R-ONU OFF / ON by the remote control manager, individually.
^a When not performing the simultaneous control, control the R-ONU based on the information from the remote control manager.	

8.2.4.4 Specification of data communication

8.2.4.4.1 Fundamental specification of data communication

The fundamental data communication is shown in Table 13.

Table 13 – Fundamental specification of data communication

Item	Specification
Data transfer rate	19,2 kbit/s $\pm$ 0,5 %
Synchronisation	Asynchronous mode
Communication mode	One-way communication
Data format	1 start bit 8 data bits 1 stop bit 1 parity bit, even
Error check	BCC (XOR)

8.2.4.4.2 Data format

The data format of asynchronous mode is shown in Figure 6.

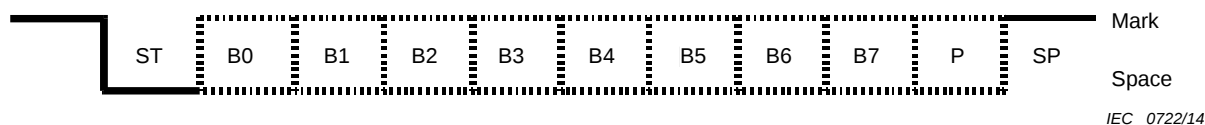


Figure 6 – Data format

8.2.4.4.3 Data packet

The structure of data packet is shown in Figure 7 and its content is listed in Table 14 and Table 15.

Header (1 B)	R-ONU address (6 B)	Control command (1 B)	Error check (1 B)
-----------------	------------------------	--------------------------	----------------------

Figure 7 – Structure of data packet

Table 14 – Content of data packets

Header (1 B)	Used in combination with control command below
R-ONU address (6 B)	R-ONU address: 6 B, see Table 15
Control command (1 B)	R-ONU control commands are implemented by combining the header byte and the control command byte, as defined in 8.2.4.5.
Error check (1 B)	The XOR calculation for each data from header to control command in the packet structure

Table 15 – R-ONU address

3 B	Vendor_ID	Vendor specific ID (same as IEEE standards OUI)
3 B	Decoder_ID	R-ONU unique ID

8.2.4.5 Control transfer process

The control transfer process is shown in Figure 8.

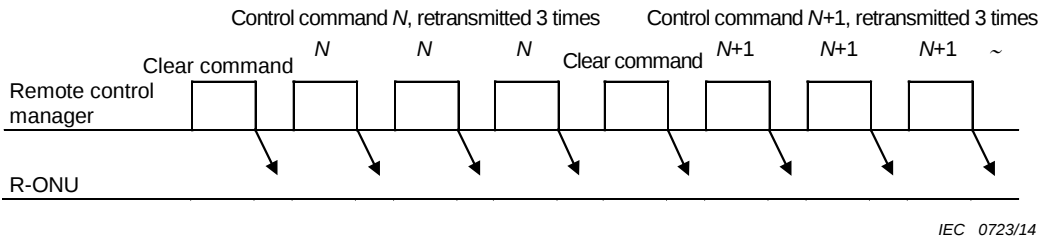


Figure 8 – Control transfer process

Each control transfer process from the remote manager to the R-ONU consists of 4 data packets. One "clear command" packet (defined in 8.2.4.7) followed by a control command packet retransmitted 3 times. The timing specification for a complete control transfer process is specified in 8.2.4.6.

The R-ONU has to receive a "clear command" packet followed by at least 2 (of 3) error free command packets of same content within the specified time window to execute the desired command.

8.2.4.6 Timing of control transfer process

The specification of the timing of the data transmission is shown in Figure 9 and Table 16.

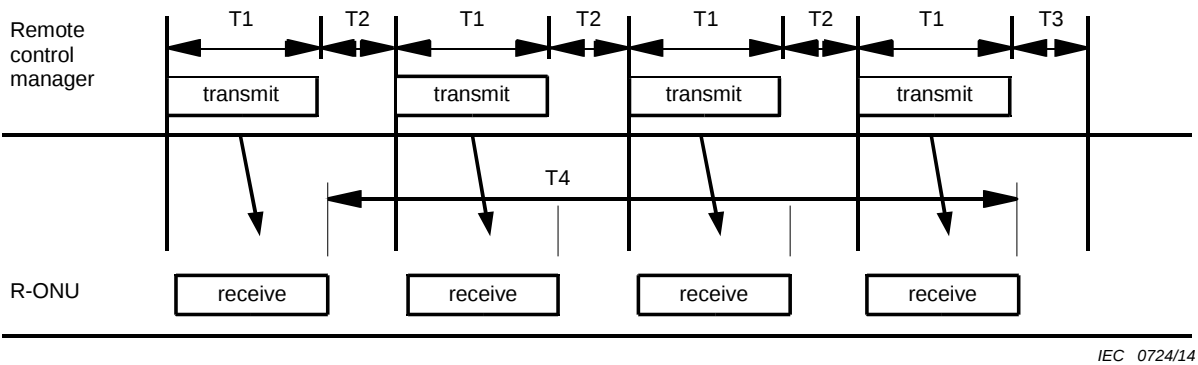


Figure 9 – Timing of data transmission

Table 16 – Recommendation for timing of data transmission

Item	Time ms	
T1: Transmitting time of control signal	$(5,156 \pm 0,5) \%$	Corresponding to the bit length, 99 bit
T2: Transmitting interval of control signal	$3 < T2 < 90$	10 ms, typical
T3: Time before transmitting next control signal set after transmitting the third control signal	$3 < T3 < 90$	10 ms, typical In case the interrupt processing (updating the database, etc.) is not done by PC
T4: Waiting time per R-ONU	<300	The buffer is cleared after 300 ms

8.2.4.7 Command bytes

The command bytes for the remote control system are listed in Table 17. For all command bytes the header shall be 0xF0.

Table 17 – Remote control command codes

Command	Control command byte
Clear command	0xF1
Turn on RF forward path of R-ONU	0xF2
Turn off RF forward path of R-ONU	0xF3
Turn on RF return R-ONU	0xF4
Turn off RF return path of R-ONU	0xF5
Turn on 6 dB RF attenuator in the return path of R-ONU	0xF6
Turn on optical return path of R-ONU	0xF7
Turn off optical return path of R-ONU	0xF8
Reserved for future expansion	0xF9 to 0xFF
NOTE In Japan different remote control command bytes are valid, which are protected by Japan Cable Labs IPR policy.	

8.2.4.8 Modulation for the remote control signal

The specification of the carrier signal of the remote control manager is shown in Table 18. The modulation is FSK.

Table 18 – Specification of modulation for the remote control signal

Item	Specification
Modulation	FSK
Coding	NRZ
Data transfer rate in kbit/s	$19,2 \pm 0,5 \%$
Carrier level in dB	0 to 10 ^a
Carrier frequency in MHz	70 to 120 ^b
Frequency accuracy in kHz	± 15
Frequency shift in kHz	± 75 ^c
Bandwidth in kHz	± 250 ^d
^a Compared with the digital broadcast signal level ^b Network operators shall define appropriate carrier frequency with vendors. In Japan, basically the carrier will be 75,5 MHz. In case this carrier interferes with other systems, Japanese network operators are likely to specify a frequency in the range of 70 MHz to 76 MHz instead of 75,5 MHz. ^c Mark: –75 kHz, Space: +75 kHz ^d Less than –45 dB against the peak level of FSK signal. In this case, the measurement conditions are as follows: SPAN 1 MHz, RBW 30 kHz, VBW 30 kHz, CF set to carrier frequency.	

8.3 Headend specifications

8.3.1 Headend forward path specifications

A V-OLT in general consists of a forward path optical transmitter followed by one or several cascaded optical amplifiers to obtain the desired total optical output power to feed the ODN.

Optical forward path transmitters for various applications are specified in 6.1 of IEC 60728-6:2011. Class F1 is the one which requests specifications for the SBS threshold capability of this transmitter and therefore is the recommended class for RFoG systems. Additional information can be obtained from IEC 60728-13-1:2012 where frequency extensions of forward path optical transmitters up to 2 600 MHz are included. The optical wavelength range specification, however, has to be restricted to $1\,555\text{ nm} \pm 5\text{ nm}$ in order to obtain compatibility with the GPON and EPON specifications.

8.3.2 Headend return path specifications: R-RRX

Optical return path receivers are specified in 6.3 of IEC 60728-6:2011 in class E. For RFoG applications, however, significantly better noise performance is requested which leads to the definition of the classes E1R and E2R (Table 19). Class E1R receivers will be applied in extended reach applications with highest ODN loss budget. This subclause describes specifications for RFoG return path receivers (R-RRX) that, when used, should provide proper operation of the RFoG system. The requirement specifications suggest that DOCSIS 3.0 modems with four simultaneous return path carriers from one home shall operate, using the highest density modulation formats permitted under the DOCSIS 3.0 specification.

Manufacturers shall at least publish information on the parameters listed in Table 19. Given figures are recommended values.

Table 19 – Data publication requirements for return path optical receivers

Parameter	Class E1R	Class E2R
Equivalent input noise current density in pA/√Hz ^a	<1	<2,5
Reference output level at OMI = 0,35	>76 dB(μV)	
receiver NPR in dB ^b	>38	
Fibre connection	Connector/splice type and type of fibre	
Power consumption	–	
Wavelength range	1 250 nm to 1 650 nm	
Optical input power	(–25 to –16) dB(mW)	(–21 to –12) dB(mW)
Output level adjustment range	>18 dB	
Output level AGC range	no AGC	
Receiver turn-on time ^c	<0,25 μs	
Flatness	<2 dB	
Frequency range	5 to $f_{US,max}$ MHz	
Supply voltage	One of the following: DC 48 V / 120 V or AC 65 V / 230 V (class E: only for stand-alone equipment)	
Mechanical dimensions	For operation in buildings: 19" (482,6 mm) rack mountable	
^a Measured at the lowest optical input power.		
^b For ≥5 dB optical input power variation at OMI = 0,35.		
^c Measured from when the optical input signal first reaches 90 % of its nominal value to when the electrical output signal reaches 90 % of its steady-state value.		

Optical receivers according to this standard shall fulfil the requirements given in Table 20.

Table 20 – Performance requirements for optical return path receivers

Parameter	Class E1R	Class E2R
Responsivity of the internal photo diode	≥0,8 A/W for the whole wavelength range	
Electrical output port	Impedance: 75 Ω Connector: IEC 61169-2 female or IEC 61169-24 Return loss: according to category B defined in IEC 60728-3	
Optical return loss	>40 dB	
Indicators	Optical input level failure	
Alarms	Optical input level failure	

Annex A (informative)

Implementation notes

For implementing RFoG systems the following notes should be taken into account.

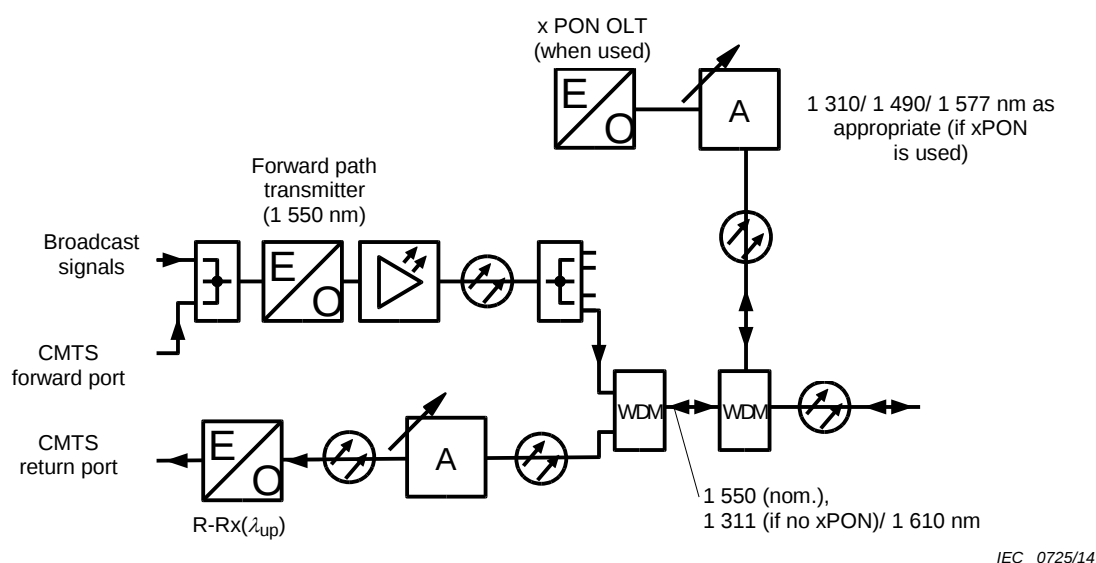
- a) It is possible that, on the same PON or a group of PONs combined to one optical return path receiver, a combination of two devices (cable modem or set top) will transmit at the same time. If this happens, two optical transmitters will turn on at the same time. If they happen to be close enough in wavelength, it is possible that the two will generate mutual interference at the return path receiver, and neither transmission may get through.
- b) Cable modems preferably should be restricted by the CMTS such that only one cable modem in a headend optical receiver group is transmitting at any given time. If several ODNs are combined to a single optical receiver, then the restriction should apply to all cable modems in the combined group.
- c) For RFoG operation with burst profiles using 64-QAM modulation, preamble lengths of 32 symbols or more may be required. For lower orders of modulation, shorter preambles may work acceptably, but the CMTS vendor should be consulted. If CMTS default values of preamble length are to be changed, the CMTS vendor should also be consulted.
- d) To assure proper operation of the R-ONU, the operating level of return path signals of special set top boxes at the R-ONU should be equal to the level of a DOCSIS channel.
- e) If a return path wavelength of 1 310 nm is chosen, then it will not be possible to share the physical passive optical network with either an EPON or GPON standard network, as EPON and GPON both use 1 310 nm for return path signalling.
- f) Compatibility with 10 Gbit/s PONs is optional due to the cost of blocking the 1 577 nm forward path data wavelength. An R-ONU manufacturer may choose to support it, or an external blocking filter may be used, or a separate 10 Gbit/s PON may be made available at the same splitting location.
- g) Blocking filters may also be required if an optical carrier at 1 530 nm is used in the same fibre.
- h) The minimum loss budget for any PON is set as 5 dB less loss than the maximum loss budget. The primary purpose is to minimize the variation in return path performance. In mixed RFoG and PON systems, there is an additional consideration of crosstalk from the PON into RFoG. If loss were to be added to an RFoG system, it may be added in the RFoG system only in the return path signal path. The forward path may be accommodated by simply supplying a lower amplitude 1 550 nm forward path optical carrier. For mixed RFoG and PON systems, additional loss will need to be added in the PON interface. See Figure A.1 for an explanation of where to add attenuation in order to place the entire plant within specification. Note that WDM loss is included in the system loss budget. Also note that covers two cases, with and without an xPON (either EPON or GPON). The 1 310 nm wavelength (if used) is handled in different ways with and without xPON.
- i) The return path channel capacity is assumed to be four 6,4 MHz wide DOCSIS channels, as shown in Table 10: return path R-ONU input level and response specifications.

Table 10 also states the “nominal RF input level per channel” and the “RF input level for obtaining $m = 0,35$ ”. Note that the per-carrier level is 6 dB lower than the total power level. This accounts for the assumption that the system is loaded with four channels. The link loss and performance assumptions are based on four-channel operation. The system could be designed for operation with fewer channels, which would result in a higher OMI and CNR for each channel, but less channel capacity for the system. Or, the system could be designed for operation with more channels, which would result in a lower OMI and CNR for each channel, but allow for more capacity in the system. The “nominal channel capacity” and “nominal RF input level per channel” are not mandatory specifications. The “RF input level for obtaining $m = 0,35$ ” specification is a normative requirement. However, one shall be careful to not deviate too far from the nominal RF input level per channel specification or

the turn-on and turn-off thresholds of the R-ONU may not operate correctly with the actual channel level.

- j) The turn-on and turn-off characteristics specified in 8.2.3.5 shall be measured with a CW signal. The actual laser turn-on and turn-off times will be different when the R-ONU is fed with actual DOCSIS traffic. When consecutive bursts from different cable modems behind different R-ONUs exist with the minimum guard times allowed in the DOCSIS 3.0 specification, the specifications in 8.2.3.5 allow a second R-ONU to turn on before the first R-ONU is off, thus allowing for the possibility of optical beat interference.
- k) The CMTS or other long loop AGC controller will command the return path RF transmitters in the premise to raise or lower their transmit level until the proper level is achieved at the input to the CMTS or other controller. It is important to align the RFoG return path network such that the RF level into the R-ONU is at the proper level when the input to the CMTS or other controller is also at the proper level.

It is recommended that the alignment be conducted on an R-ONU with high optical loss between it and the return path receiver because R-ONUs that feed high optical loss budgets will require high RF input levels to compensate. As a result, R-ONUs with lower optical loss budgets will be driven with lower RF levels. If alignment were instead conducted on an R-ONU with a low optical loss budget, the RF input to R-ONUs with a high optical loss budget will have their return path transmitters driven into clipping. R-ONUs with a high optical loss budget will have lower than average *NPR* at the nominal RF input level but will be driven by higher than nominal RF levels. R-ONUs with a low optical loss budget will have a higher than average *NPR* at the nominal RF input level but will be driven by lower than normal RF levels.



NOTE The two WDMs may be located in either order on the signal path, or they may be in the same optical block.

Figure A.1 – Placement of attenuators when system loss is too low

Annex B (informative)

System loss specification

B.1 General

The RFoG system shall operate with a system loss in either direction of at least 25 dB. Note from Figure 1 that this loss is defined from the input to the WDM that combines the return path and optical forward path signals, to the input of any R-ONU. The RFoG system may work at higher loss levels. This annex is intended to provide guidance concerning the loss that can be tolerated. Both return path and forward path directions shall be considered, as either may be the limiting factor. Besides other considerations, one may want to keep in mind an ultimate conversion or overlay (to coexist with RFoG) to some other form of PON, looking at the loss budgets it will tolerate. One factor to be considered in an overlay would include additional system loss due to added WDM devices (added to or substituted for the original devices) and the potential impact on both the RFoG and PON system.

B.2 Forward path considerations

Using conventional HFC optical transmitters, the maximum launch power into a long fibre may be 16 dB(mW), resulting in a tolerable loss budget of 16 dB – (–5 dB) = 21 dB, less than required. However, an operator can improve the loss budget in various ways:

- a) Many optical transmitters today employ SBS-mitigating strategies, resulting in higher output power without encountering the SBS threshold. Typically, the SBS threshold might be raised by up to 4 dB, just getting to the 25 dB loss budget.
- b) Shorter lengths of fibre permit higher launch powers. For example, if the distance from the headend to the splitter is 5 km, then the launch power can be approximately 4 dB higher than the launch power for a 20 km PON. Note that in calculating the effect on SBS, only the fibre distance to the first split needs to be included, as power usually will drop enough at that point to not be much of a problem. Also, note that the PON is defined to include the WDM, and typically the WDM is located so close to the transmitter that the launch power contributing to SBS is the optical power after the loss of the WDM. Thus, the power used in calculating SBS effects will be 1 dB or so lower than the actual launch power, reduced by the loss in the WDM.
- c) Newer fibre types offer improved SBS limitation, so if new fibre is installed from the headend system, it might be considered using this fibre in order to improve performance.

Note that at higher optical power levels there may be additional safety regulations which shall be observed. Also, there are additional possibilities for damage to connectors and other components. A service provider contemplating operation at higher optical levels shall be aware of these issues.

Of course, if digital-only transmission is planned over the RFoG network, then the optical power at the R-ONU may be lower, and the above considerations modified accordingly. In this case, it may be possible to reduce the optical power by 3 dB to 5 dB compared with that needed if analogue signals are carried. This operation does not represent a violation of this standard.

For forward path considerations IEC 60728-13 and IEC 60728-13-1 should also be taken into account.

B.3 Return path considerations

In the return path direction, the maximum tolerable loss is determined by the launch power of the R-ONU, the type of modulation of the return path carriers, the number of return path carriers, and the sensitivity of the return path receiver. Note that the tolerable return path loss budget is different from the calculation of return path levels from the RF sources in the home. Once the return path optical loss is set for a particular PON, the expected receive level at the headend system needs to be chosen such that the OMI of the return path transmitter is “correct”, as defined elsewhere in this standard.

As an example, consider a return path minimum launch power of 2 dB(mW), four 64-QAM signals, and a receiver that can provide 28 dB C/N at an input level of –23 dB(mW). This yields a maximum system loss of 25 dB as suggested. There may be some ways to improve the loss, however.

- Some manufacturers are providing optical receivers with greater sensitivity.
- If only two return path carriers are planned to operate rather than four, a 3 dB higher OMI at the R-ONU may be used, improving the loss budget.
- Some vendors are proposing optical amplifiers that can be strategically placed in the plant.
- Use of the higher-powered 1 610 nm option will permit more system loss.

Some combination of these methods may be used to allow for optically combining two return path PONs, thus saving return path receivers. But a number of possible degrading issues should be allowed for, as listed below.

- System loss may turn out to be higher than anticipated after a break that is repaired under adverse conditions. Standard design techniques provide a “repair margin” (at least 1 dB and up to 3 dB) to allow for this. This means that 25 dB available loss would allow the designer 24 dB of day-one loss.
- There can be up to 1 dB degradation in optical budget due to dispersion issues in the plant.
- There can be several decibels of variation in OMI at the home, depending on actual losses in the system, receiver output, loss between the receiver and the CMTS, accuracy of the CMTS level setting, etc.

An example for the performance allocation for the return path transmission system is specified as shown in Figure B.1.

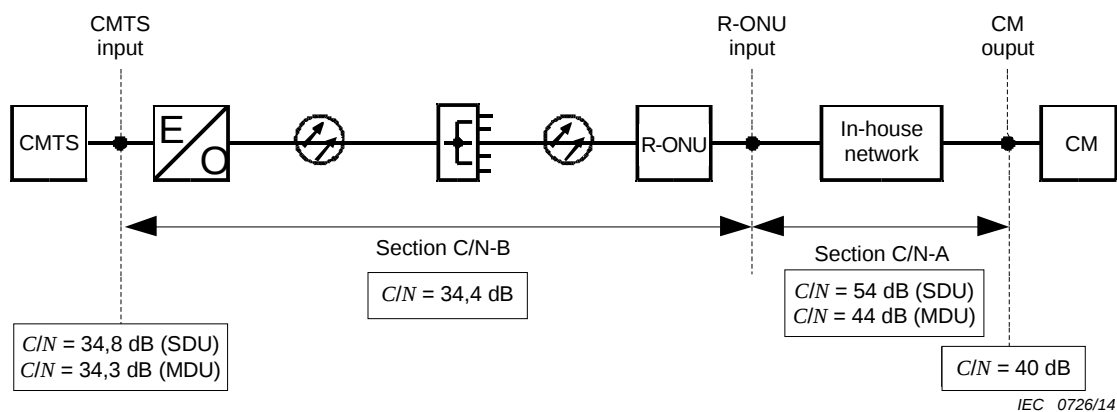


Figure B.1 – Performance allocation of the return path transmission system

The minimum carrier to noise ratio at the RF output of a cable modem is derived from the spurious emissions of the cable modem permitted under the DOCSIS physical layer specification.

The carrier-to-noise ratio of the in-house network (section C/N-A) is specified based on currently available installation methods and minimum RF output levels recommended in the DOCSIS physical layer specifications. *C/N* allocation for in-house/in-building wiring section is illustrated in Figure B.1. The *C/N* allocation for in-house wiring for a single dwelling unit (SDU) and a multiple dwelling unit (MDU) are 54 dB and 44 dB, respectively, as shown in Figure B.2. These values are specified taking into account the *C/N* degradation due to only the distribution network.

With regard to optical distribution network, the carrier-to-noise ratio (section C/N-B) is specified assuming the following system parameters (refer to Clause 8 of this standard for detailed description).

Assuming an optical modulation index of **OMI** = 17,5 %, a *RIN* of the return path optical transmitter of $RIN = -130 \text{ dB(Hz}^{-1}\text{)}$, an optical input power to the return path receiver of $P_{\text{opt,in}} = -23,5 \text{ dB(mW)}$, a responsivity of the receiver photodiode of $r = 0,8 \text{ A/W}$, an equivalent input noise current density of the return path optical receiver of $I_r = 2,5 \text{ pA}/\sqrt{\text{Hz}}$ and a Nyquist bandwidth of $B = 5,12 \text{ MHz}$, the section C/N-B can be calculated to 36,4 dB.

The *C/N* ratio at the output of the return path optical receiver is 34,8 dB for SDUs and 34,3 dB for MDUs, which are derived by adding all the section *C/N* values. These values are greater than the 26 dB, a minimum acceptable *C/N* value for 64-QAM under DOCSIS operation.

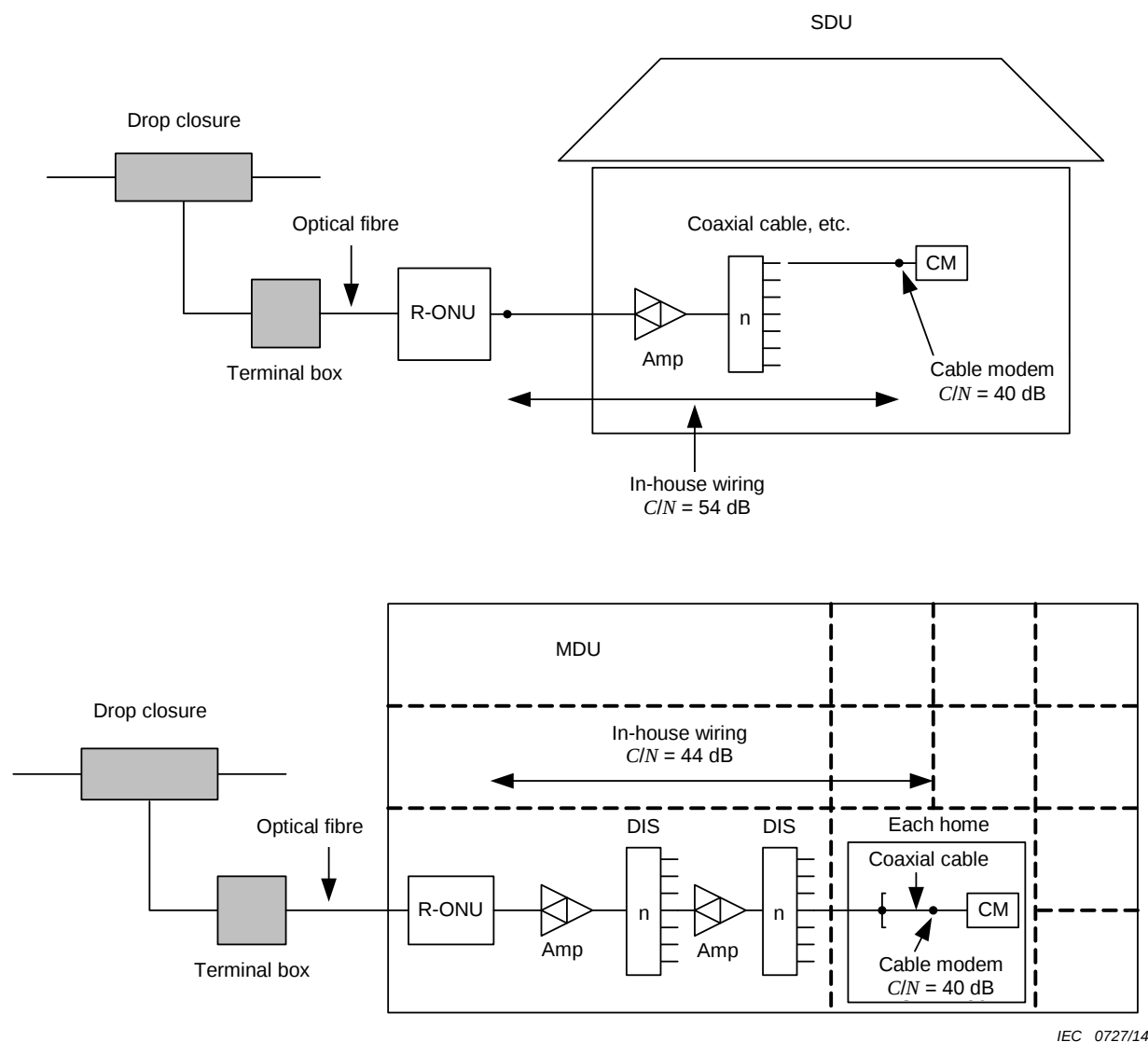


Figure B.2 – Section C/N specification for SDU and MDU in-house wiring

Annex C (informative)

Optical beat interference

C.1 General

In some cases, dedicated CMTSs are used for individual services within the same PON group or more than one return path input of a single CMTS is connected to the same PON. If the CMTSs used within the same PON group or the inputs of the single CMTS are not synchronized (i.e. coordinated / do not use a common scheduling), multiple R-ONUs may transmit return path signals simultaneously, and the return path optical signals interfere with each other if the optical wavelengths are not sufficiently separated. This phenomenon is called optical beat interference (OBI) and is caused by the heterodyne process within the optical receiver.

Occurrence of OBI results in generation of wideband noise within the return path bandwidth and deterioration of CNR performance. Maintaining the quality of an IP telephone service is of prime concern. To maintain the quality of IP telephone service, a guideline for the system design and operation, based on the results of experimental evaluations, is described in the following clauses.

C.2 Operating conditions of ODN

The ODN parameters used for the experiments are listed in Table C.1.

Table C.1 – Operating conditions related to ODN parameters

Parameter	Operating condition	Remark
Transmission distance	0 km to 20 km	Transmission distance can be extended for systems with smaller distribution loss
Maximum optical loss of ODN (loss budget)	25 dB ^a 29 dB (optional) ^b	
Number of split	64	
^a Optical output power of R-ONU is +3 dB(mW) and input to the optical receiver at the headend system is -22 dB(mW) ^b Optical output power of R-ONU is +3 dB(mW) and input to the optical receiver at the headend system is -26 dB(mW) or optical output power of R-ONU is +6 dB(mW) and input to the optical receiver at the headend system is -23 dB(mW).		

C.3 Operating conditions of optical receiver at the headend system

Under the condition that the maximum optical system loss budget is 25 dB and multiple R-ONUs are connected in the same PON group, significant OBI has been observed if the optical output power of R-ONU is not well controlled and their optical signals are transmitted at the same time. When there is a difference in optical output power exceeding a tolerable limit among R-ONUs, the performance deterioration on the weaker channel due to OBI can be severe. It has been confirmed through experiments that an optical power difference of 4 dB among R-ONUs can be tolerated. The 4 dB tolerance is measured by adjusting the polarization states of interfering signals to determine the worst case performance.

In a practical network, it was confirmed that imperfect overlapping of polarization states relaxes the above tolerance by approximately 1 dB. Therefore, the optical output power level difference among R-ONUs between the interfering signals may be allowed to be within 5 dB as a practical limit.

C.4 Operating conditions of CMTS

The effect of OBI is even more severe if the number of RF return path channels is increased. It has been confirmed through experimental evaluations that the quality of IP telephone service can be maintained even if three return path channels are used in the same PON group. The operating conditions used for the evaluations are listed in Table C.2.

Table C.2 – Operating conditions related to ODN parameters

Parameter	Operating condition	Remark
Number of return channels	3 channels or less ^a	Includes one channel for IP telephone service
Return path modulation profile used for IP telephone service	QPSK/3,2 MHz	
For operation with 4 channels or more, it is recommended to evaluate and confirm the system performance following the measurement method of OBI described below.		
^a Not synchronized by CMTS.		

C.5 Environmental conditions

Unless otherwise mentioned, the evaluation of system performance is conducted under the environmental conditions stated in Table C.3.

Table C.3 – Environmental conditions for system evaluation

Equipment	Environmental parameter	Condition
R-ONU	Ambient temperature	0 °C to +40 °C (indoor installation) –20 °C to +40 °C (outdoor installation) ^a
	Humidity	20 % to 90 % non-condensing
Optical receiver at the headend system	Ambient temperature	0 °C to +40 °C
	Humidity	20 % to 90 % (non-condensing)
^a Except the rising temperature due to solar radiation.		

C.6 Relation between optical transmission loss and OMI

The optical transmission loss (L) and OMI (m) in a typical return path system is illustrated in Figure C.1. If there is any change in the return path RF input power, P_{RF} due to change in the optical transmission loss, the CMTS controls the RF output of CM to maintain a preset RF input power, P_{RF} . The return path RF power, P_{RF} is proportional to square of (OMI / transmission loss). Therefore, even if the constant RF input power, P_{RF} is maintained, there will be a change in OMI.

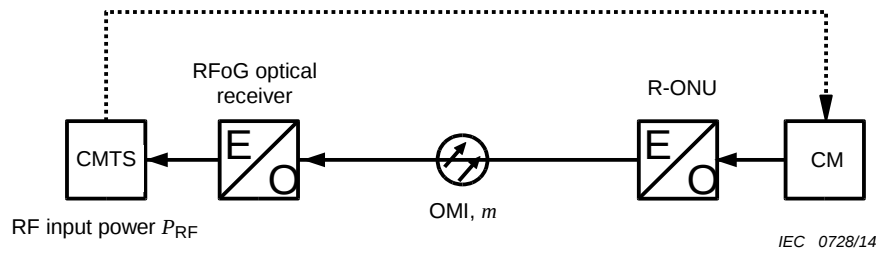


Figure C.1 – Optical transmission loss and OMI

C.7 Design margin of ODN

The network should be designed with a design margin to support the optical power loss variation during the operation of the network. The factors that cause the power loss variation are

- a) error in the output power of individual R-ONU,
- b) fluctuation of the optical power of the individual R-ONU,
- c) power fluctuation in the transmission line (temperature dependent and/or stress induced micro and macro-bending losses),
- d) loss variation due to network alteration and repair margin, etc.

The factors that cause the variation of transmission loss of ODN are listed in Table C.4 and the overall loss variation, K can be calculated using Equation (C.1), and can be assumed to be around 5 dB (refer to Figure C.2).

$$K = \sqrt{2^2 + 2^2 + 3^2 + 2,5^2} = 4,8 \quad (\text{C.1})$$

where

K is the optical loss variation

Accordingly, OMI of the network should be designed by taking the loss variation in the range of +2 dB to –3 dB into account to support the 5 dB loss margin described above.

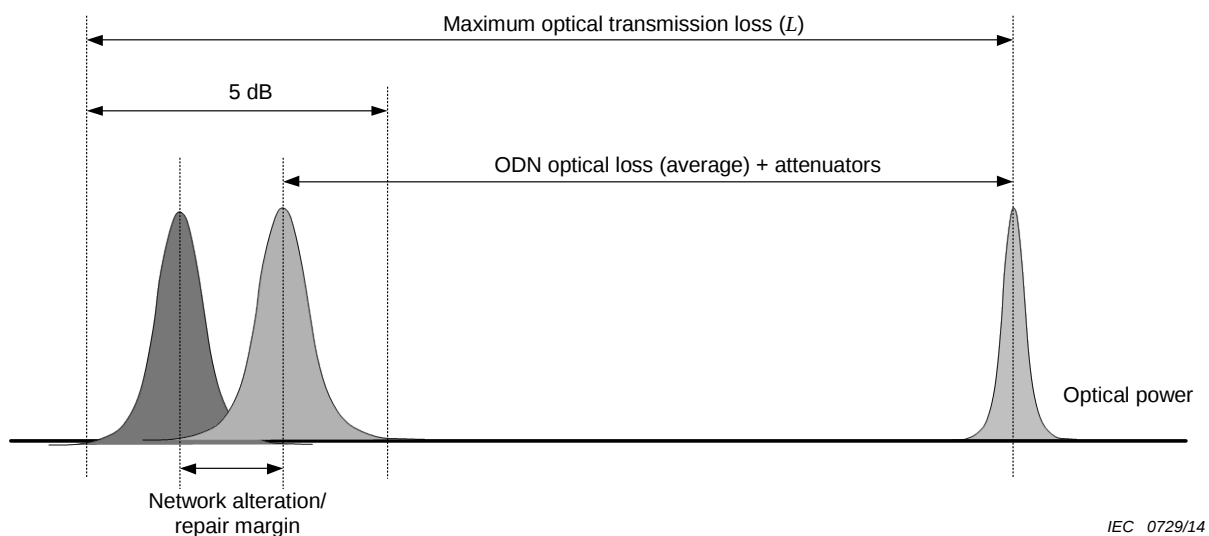


Figure C.2 – ODN design margin

Table C.4 – Factors affecting the transmission loss of ODN

Parameter	Value
Deviation in ODN loss from different ONUs to the headend system	within $\pm 1,0$ dB
Fluctuation of optical power from individual R-ONU	within $\pm 1,0$ dB
Power fluctuation in the transmission line (temperature dependent micro and macro-bending losses) (Assuming a transmission length of 20 km)	within $\pm 1,5$ dB
Loss variation due to network alteration and repair margin	within 2,5 dB

C.8 Example of system design

If the transmission quality needs to be maintained even during the occurrence of OBI, an appropriate OMI should be kept. The CMTS controls the RF output power of CM and in turn the OMI of R-ONU, the OMI becomes maximum when the transmission loss becomes maximum. The total OMI of R-ONU depends on the number of carriers and the modulation format, clipping effect may cause intermodulation distortion among telephone lines which deal with all return path services.

In Clause C.6, a variation of optical power received at the headend system in the +2 dB to –3 dB range is described. Taking this variation into account, the OMI of individual channels and total OMI can be designed as described below.

In Table C.5, a system design example is given in which the OMI/channel is fixed at 20 %. In Table C.6, a similar example is given in which the OMI of channels others than IP telephone channel are modulated with lower OMI.

Table C.5 – System design example 1

	+2 dB	0 dB	–3 dB
Maximum number of interfering channels (Number of R-ONU simultaneously transmitting return path signals)	3 channels or less		
Modulation format of IP telephone channel	QPSK		
Channel width for IP telephone channel	3,2 MHz		
OMI of IP telephone channel	12,6 %	20 %	39,9 %
OMI of channels other than IP telephone channel	12,6 %	20 %	39,9 %
Total OMI (Maximum)	21,9 %	34,6 %	69,1 %

Table C.6 – System design example 2

	+2 dB	0 dB	–3 dB
Maximum number of interfering channels (Number of R-ONU simultaneously transmitting return path signals)	3 channels or less		
Modulation format of IP telephone channel	QPSK		
Channel width for IP telephone channel	3,2 MHz		
OMI of IP telephone channel	12,6 %	20 %	39,9 %
OMI of channels other than IP telephone channel	7,1 %	11,2 %	22,4 %
Total OMI (maximum)	16,1 %	25,6 %	51 %

C.9 Method of measurement of OBI

C.9.1 Purpose

This measurement is to evaluate the system performance when OBI is occurring due to multiple return path channels operating simultaneously in the same PON group.

C.9.2 Measurement setup

The measurement setup is shown in Figure C.3.

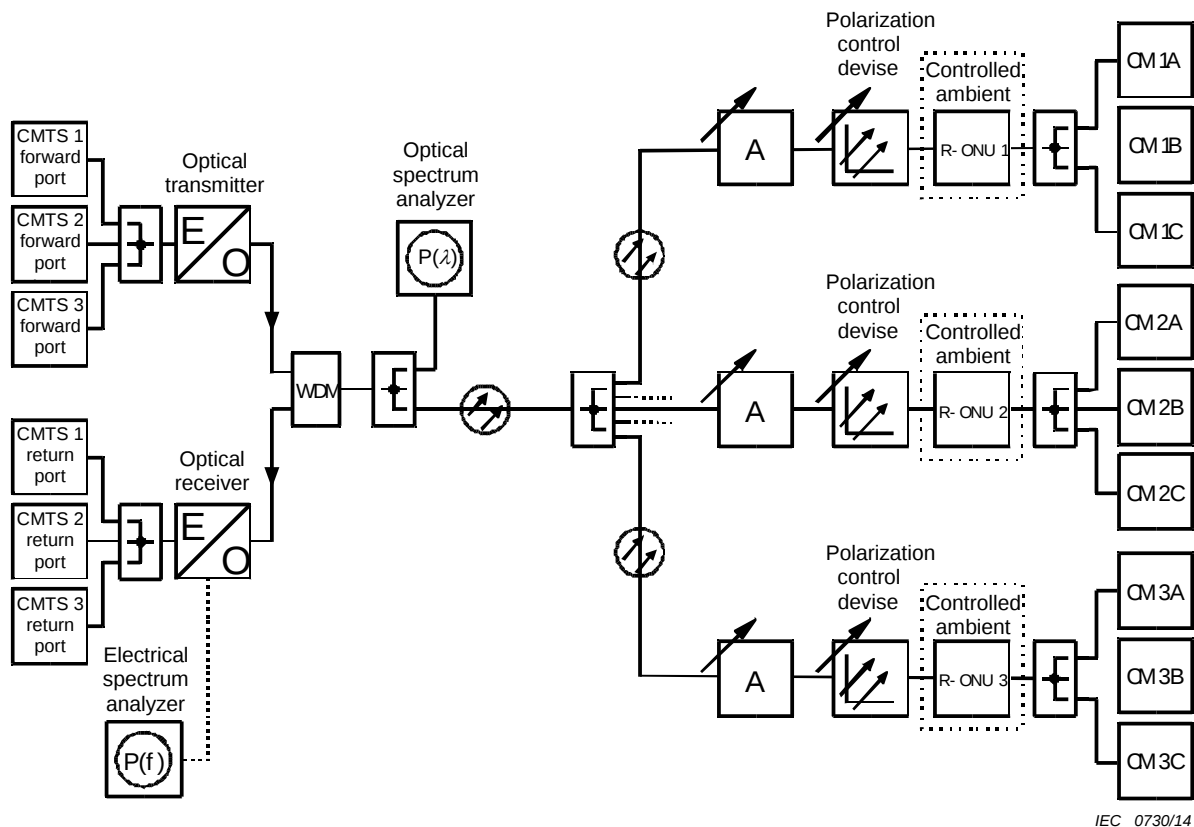


Figure C.3 – Setup used for the measurement of OBI

C.9.3 Example of measurement conditions

An example of measurement conditions is indicated in Table C.7.

Table C.7 – Example of list of measurement conditions

	Frequency in MHz	Bandwidth in MHz	Modulation format
CM 1 Measurement signal			
CM 2 Interfering signal 1			
CM 3 Interfering signal 2			
CPE setup: Measurement signal (1 460 + 42) byte x_____ F/S UDP packet			
Interfering signal (1 460 + 42) byte x_____ F/S UDP packet			

C.9.4 Procedure

For the measurement proceed as follows.

- Ensure the optical inputs to the receiver from the individual R-ONU are equal by adjusting the optical attenuators.
- By controlling the ambient temperature of R-ONU, adjust the wavelengths of all the three interfering signals so that they overlap each other.
- Adjust the polarization controller in order to create worst case CNR at the output of the headend system optical receiver.
- Observe the SNR and FEC counter values through the MIB information of CMTS and simultaneously record the CNR measured at the RF output of the headend system optical receiver.
- Repeat the procedure d) by increasing the optical power of interfering signals in steps of 1 dB.

C.9.5 Presentation of results

The measuring results should be presented as shown in Table C.8.

Table C.8 – Presentation of OBI measurement results

				Spectrum analyser			CMTS		
Optical input power to headend system receiver in dB(mW)			Optical power difference	Carrier level	Noise level	CNR	Forward path SNR	FEC corrected	FEC uncorrected
Meas-ure-ment signal	Inter-fering signal 1	Inter-fering signal 2	dB	dB(μV)	dB(μV)	dB	dB		

C.10 Method of measurement of OBI (measurement with CW signals)

C.10.1 Purpose

This measurement is to evaluate the system performance when OBI is occurring due to multiple CMTS operating in the same PON group. The measurement is carried out using unmodulated RF carriers.

C.10.2 Measurement setup

The setup for measurement of OBI with CW signals is shown in Figure C.4.

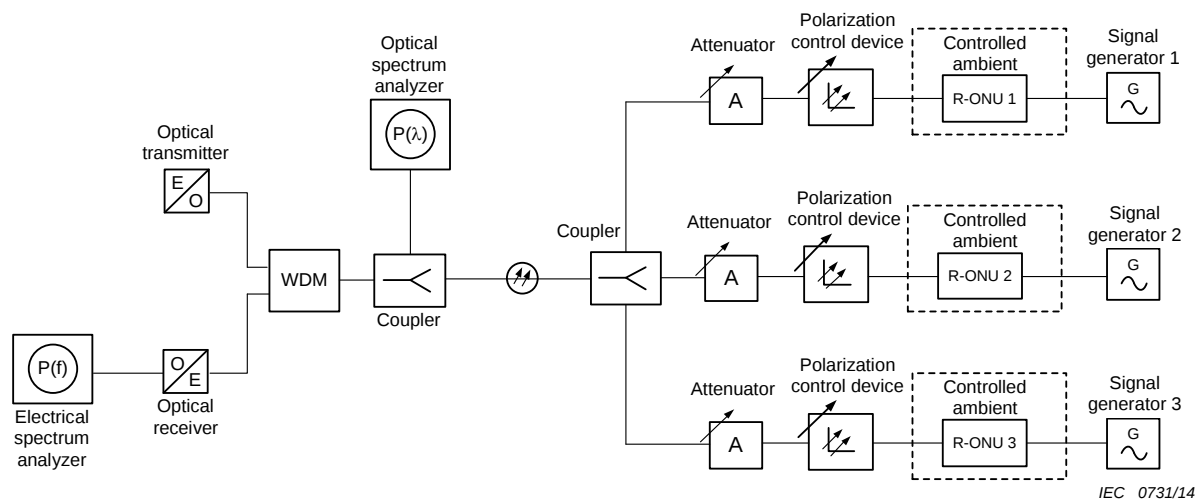


Figure C.4 – Setup used for the measurement of OBI (CW method)

C.10.3 Procedure

For the measurement proceed as follows.

- a) Ensure the optical input to the receiver from the individual R-ONU are equal by adjusting the optical attenuators.
- b) By controlling the ambient temperature of R-ONU, adjust the wavelengths of all the three interfering signals so that they overlap each other.
- c) Adjust the polarization controller in order to create worst case CNR at the output of headend system optical receiver.
- d) Adjust the signal generators to obtain the specified OMI, and record the CNR measure at the RF output of the headend system optical receiver.
- e) Repeat the procedure d) by increasing the optical power of interfering signal in steps of 1 dB.

The measuring results should be presented as shown in Table C.9.

Table C.9 – Presentation of OBI measurement results

Optical input power to headend system receiver in dB(mW)			Optical power difference	Carrier level	Noise level	CNR
Measurement signal	Interfering signal 1	Interfering signal 2	dB	dB(μV)	dB(μV)	dB

Annex D (normative)

Optional remote control manager

This annex describes the performance requirement for the connection and interoperability tests in the laboratory by an optional remote control equipment. Requirement values are indicated not as specification but as reference values here.

The performance requirements listed in Table D.1 are dedicated to the FSK transmitter part of the remote control manager being the primary part of the manager.

Table D.1 – Performance requirements for the FSK transmitter

Item	Unit	Specification	Remark
Modulation		FSK	
Encoding		NRZ	
Data transfer rate	kbit/s	19,2 ± 0,5 %	
Carrier frequency	MHz	70 to 120	Network operator shall define appropriate carrier frequency with vendors. In Japan, basically the carrier will be 75,5 MHz. In case this carrier interferes with other systems, Japanese network operators are likely to specify a frequency in the range of 70 MHz to 76 MHz instead of 75,5 MHz.
Frequency accuracy	ppm	±50	
Bandwidth	kHz	±250	
Max. RF output level	dB(μV)	>100	
RF output adjustment range	dB	> -10	Against the maximum output level
RF output stability	dB	< ±1,5	
Output impedance	Ω	75	
Spurious	dB	< -60	Against FSK Carrier in whole forward frequency range

Annex E (informative)

Outdoor housings for R-ONU protection

R-ONUs should be deployed inside weather-resistant housings for the purpose of environmental/physical protection as well as to store cable slack, prevent tampering, facilitate access for network testing and the like. Housings used for this purpose should follow these guidelines:

Minimum features:

- The housing should be designed to prevent the ingress of water, wind-driven rain, sand and dust, according to IP54 (IEC 60529).
- The standard entry/exit port size should accommodate optical drop cables as well as electrical power, optical, coaxial and twisted pair cables that run to/from the customer premises.
- The housing should allow for a minimum bend radius of 10× the cable outside diameter, or as recommended by the cable manufacturer.
- Any metallic housing should provide suitable means for grounding and bonding of the R-ONU, cable shielding and other devices according to building codes and manufacturer recommendations.
- The housing should provide a suitable means (such as a backplane or substrate) for mounting and securing the R-ONU.

Additional features:

- The housing may permit storage of drop cable slack.
- The housing may support pigtail splicing and/or optical adapters necessary to interconnect the drop cable and the R-ONU or inside optical cables to the drop or R-ONU.
- The housing may allow for coaxial splitters, power inserters and similar devices needed to complete the installation.

Annex F (informative)

Effect of off-state optical power on C/N ratio of transmission signal

The laser inside the R-ONU is basically kept in the off-state when there is no RF signal at the input of R-ONU. However, due to implementation difficulties, a minimum amount of optical power is allowed to be emitted from the laser even when switched to off-state. If the off-state optical power is large, it will affect the system performance when a large number of transmitters are connected to the same distribution network.

The off-state optical power is specified in this standard in such a way that the transmission characteristics of a specific R-ONU will not be affected due to the residual optical power from the rest of R-ONUs in the same PON group. This can be clarified through the following discussion.

The C/N ratio of the main transmitted signal at the output of an optical receiver can be calculated from equation E.1.

$$(C/N) = 10 \lg \left(\frac{1}{B_N} \cdot \frac{\frac{1}{2} \cdot (m \cdot R \cdot P_{r1})^2}{\sum_{n=1}^{N_T} \{RIN_n \cdot (R \cdot P_{rn})^2\} + 2 \cdot e \cdot \left(I_{d0} + \sum_{n=1}^{N_T} R \cdot P_{rn} \right) + I_{eq}^2} \right) [\text{dB}] \quad (\text{E.1})$$

where

B_N	noise bandwidth (5,12 MHz)
m	optical modulation index of the main optical signal (17,5 %)
P_{r1}	received optical power of the main optical signal (–23,5 dB(mW))
P_{rn}	received optical power of n -th optical signal (–55 dB(mW))
RIN_n	RIN of the n -th optical signal for optical noise level calculation (–130 dB(Hz ^{–1}))
e	charge of an electron (1,602·10 ^{–19} As)
R	responsivity of V-ONU (0,8 A/W)
I_{d0}	dark current of V-ONU (1 nA)
I_{eq}	optical receiver equivalent input noise current density (2,5 pA/√Hz)
N_T	number of simultaneously transmitted optical signals (32)

NOTE The RIN of a laser turned on differs from the RIN of a laser turned off. This may lead to results deviating from measured C/N figures. The numerator and denominator of Equation (E.1) correspond to carrier and noise power respectively.

If the off-state optical power is zero, then the noise power is generated only by the main optical signal, and is calculated to be $4,44 \cdot 10^{-17} \text{ A}^2$.

When an off-state optical power of –30 dB(mW) is assumed to be emitted from individual R-ONUs, the combined noise level is calculated to be $4,45 \times 10^{-17} \text{ A}^2$. The total noise level due to interfering signals is about four hundred times smaller than the noise level generated due only to the main optical signal.

Therefore, the effect of off-state optical power can be ignored as long as it is kept within the values specified in this standard.

Bibliography

The following documents may provide valuable information to the reader but are not required when complying with this standard.

IEC 60050-731:1991, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 731: Optical fibre communication*

IEC 60068 (all parts), *Environmental testing*

IEC 60169-24, *Radio-frequency connectors – Part 24: Radio-frequency coaxial connectors with screw coupling, typically for use in 75 ohm cable distribution systems (Type F)*

IEC 60417, *Graphical symbols for use on equipment*

IEC 60617, *Graphical symbols for diagrams*

IEC 60728-5, *Cable networks for television signals, sound signals and interactive services – Part 5: Headend equipment*

IEC/TR 60728-6-1, *Cable networks for television signals, sound signals and interactive services – Part 6-1: System guidelines for analogue optical transmission systems*

IEC 60793-2-50, *Optical fibres – Part 2-50: Product specifications – Sectional specification for class B single-mode fibres*

IEC 60825-2, *Safety of laser products – Part 2: Safety of optical fibre communication systems (OFCS)*

IEC 61281-1:1999, *Fibre optic communication subsystems – Part 1: Generic specification*

IEC 61280-2-2, *Fibre optic communication subsystem test procedures – Part 2-2: Digital systems – Optical eye pattern, waveform and extinction ratio measurement*

IEC 61280-4-2, *Fibre optic communication subsystem basic test procedures – Part 4-2: Fibre optic cable plant – Single-mode fibre optic cable plant attenuation*

IEC 61282-4, *Fibre optic communication system design guides – Part 4: Accommodation and utilization of non-linear effects*

IEC 61290-1-1, *Optical amplifiers – Test methods – Part 1-1: Power and gain parameters – Optical spectrum analyzer method*

IEC 61290-1-2, *Optical amplifiers – Test methods – Part 1-2: Power and gain parameters – Electrical spectrum analyzer method*

IEC 61290-6-1, *Optical fibre amplifiers – Basic specification – Part 6-1: Test methods for pump leakage parameters – Optical demultiplexer*

IEC 61291-4, *Optical amplifiers – Part 4: Multichannel applications – Performance specification template*

IEC/TR 61292-4, *Optical amplifiers – Part 4: Maximum permissible optical power for the damage-free and safe use of optical amplifiers, including Raman amplifiers*

IEC 80416 (all parts), *Basic principles for graphical symbols for use on equipment*

ITU G.692, *Optical interfaces for multichannel systems with optical amplifiers*

ITU J.186, *Transmission equipment for multi-channel television signals over optical access networks by sub-carrier multiplexing (SCM)*

ANSI/SCTE 96 2008, *Cable Telecommunications Testing Guidelines*

GR-49-CORE, Issue 2, *Generic Requirements for Outdoor Telephone Network Interface Devices*

GR-487-CORE, Issue 3, *Generic Requirements for Electronic Equipment Cabinets*

Multimedia over Coax Alliance (MoCA), <http://www.mocalliance.org>

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	59
INTRODUCTION.....	61
1 Domaine d'application	62
2 Références normatives	62
3 Termes, définitions, symboles et abréviations.....	64
3.1 Termes et définitions	64
3.2 Symboles	70
3.3 Abréviations	70
4 Modèle de référence du système	72
5 Architecture de référence de l'ONU RFoG	73
6 Méthode de mesure	74
6.1 Puissance optique.....	74
6.2 Longueur d'onde centroïdale et largeur spectrale sous modulation	74
6.3 Longueur d'onde optique.....	74
6.4 Largeur de raie et fluctuation de longueur d'onde des émetteurs avec des lasers monomodes.....	74
6.5 Indice de modulation optique	75
6.6 Niveau de sortie de référence d'un récepteur optique.....	75
6.7 Paramètres de bruit des émetteurs optiques et des récepteurs optiques	75
6.8 Intensité relative de bruit (<i>RIN</i>), indice de modulation optique et courant de bruit équivalent d'entrée (EINC)	75
6.9 Niveau de porteuse et rapport porteuse sur bruit.....	75
6.10 Rapport de puissance de bruit (<i>NPR</i>).....	75
6.11 Rapport porteuse sur bruit défini par le signal optique.....	75
6.12 Rapport porteuse sur diaphonie (CCR)	75
7 Exigences de performances du système	75
7.1 Système de données numériques	75
7.1.1 ODN	75
7.1.2 Répartition de performance	76
7.2 Répartition des fréquences de voie directe et de voie de retour	76
8 Spécifications des matériels RFoG	77
8.1 Spécifications générales	77
8.1.1 Sécurité	77
8.1.2 Compatibilité électromagnétique (CEM)	77
8.1.3 Conditions ambiantes	77
8.1.4 Marquage	78
8.2 R-ONU.....	78
8.2.1 Indicateurs.....	78
8.2.2 Spécifications du récepteur de voie directe R-ONU.....	78
8.2.3 Performance de voie de retour de R-ONU.....	81
8.2.4 Fonctions de commande à distance	85
8.3 Spécifications de la tête de réseau	90
8.3.1 Spécifications de la voie directe de la tête de réseau.....	90

8.3.2	Spécifications de la voie de retour de la tête de réseau: R-RRX.....	90
Annexe A (informative)	Notes relatives à la mise en œuvre	92
Annexe B (informative)	Spécification de l'affaiblissement du système	95
B.1	Généralités	95
B.2	Considérations relatives à la voie directe	95
B.3	Considérations relatives à la voie de retour.....	96
Annexe C (informative)	Battement optique	99
C.1	Généralités	99
C.2	Conditions d'exploitation du réseau ODN	99
C.3	Conditions d'exploitation du récepteur optique au niveau du système de tête de réseau.....	99
C.4	Conditions d'exploitation du CMTS.....	100
C.5	Conditions environnementales	100
C.6	Relation entre l'affaiblissement de transmission optique et l'OMI	100
C.7	Marge de calcul du réseau ODN	101
C.8	Exemple de conception du système	102
C.9	Méthode de mesure de l'OBI	103
C.9.1	Objet	103
C.9.2	Montage de mesure	103
C.9.3	Exemple de conditions de mesure	104
C.9.4	Procédure.....	104
C.9.5	Présentation des résultats	105
C.10	Méthode de mesure de l'OBI (mesure avec des signaux à ondes entretenues)	105
C.10.1	Objet	105
C.10.2	Montage de mesure	105
C.10.3	Procédure.....	106
Annexe D (normative)	Gestionnaire facultatif de commande à distance	107
Annexe E (informative)	Boîtiers extérieurs pour la protection des dispositifs R-ONU.....	108
Annexe F (informative)	Effet de la puissance optique à l'état bloqué sur le rapport C/N du signal de transmission	109
	Bibliographie.....	111
	Figure 1 – Modèle de référence du système optique pour RFoG	72
	Figure 2 – Schéma de principe du dispositif R-ONU.....	73
	Figure 3 – Mesure de la longueur d'onde optique au moyen d'un coupleur MRL.....	74
	Figure 4 – Schéma d'activation et de désactivation R-ONU	85
	Figure 5 – Exemple de configuration du système de commande à distance	86
	Figure 6 – Format de données	87
	Figure 7 – Structure du paquet de données	87
	Figure 8 – Processus de transfert de commande	88
	Figure 9 – Synchronisation de la transmission des données	88
	Figure A.1 – Installation des atténuateurs lorsque l'affaiblissement du système est trop faible	94
	Figure B.1 – Répartition de performance du système de transmission de voie de retour	97

Figure B.2 – Spécification de section C/N pour le câblage à l'intérieur du logement dans le cas des SDU et MDU	98
Figure C.1 – Affaiblissement de transmission optique et OMI	101
Figure C.2 – Marge de calcul ODN	102
Figure C.3 – Montage utilisé pour la mesure de l'OBI	104
Figure C.4 – Montage utilisé pour la mesure de l'OBI (méthode à ondes entretenues)	105
Tableau 1 – Spécifications ODN	76
Tableau 2 – Fréquences RF	77
Tableau 3 – Classification des récepteurs optiques R-ONU	78
Tableau 4 – Exigences de publication des données pour les récepteurs optiques R-ONU	79
Tableau 5 – Recommandations applicables aux récepteurs optiques R-ONU	80
Tableau 6 – Exigences de performance pour les récepteurs optiques R-ONU	81
Tableau 7 – Classes d'émetteurs de voie de retour optique	81
Tableau 8 – Exigences de publication des données pour les émetteurs de voie de retour optique	81
Tableau 9 – Exigences de performance pour les paramètres et interfaces optiques	82
Tableau 10 – Exigences relatives aux propriétés électriques des émetteurs de voie de retour optique R-ONU	82
Tableau 11 – Spécifications d'activation et de désactivation R-ONU	83
Tableau 12 – Eléments de commande à distance	86
Tableau 13 – Spécification fondamentale de la communication de données	86
Tableau 14 – Contenu des paquets de données	87
Tableau 15 – Adresse R-ONU	87
Tableau 16 – Recommandation pour la synchronisation de la transmission des données	88
Tableau 17 – Codes d'instruction de commande à distance	89
Tableau 18 – Spécification de modulation pour le signal de commande à distance	89
Tableau 19 – Exigences de publication des données pour les récepteurs de voie de retour optique	91
Tableau 20 – Exigences de performance pour les récepteurs de voie de retour optique	91
Tableau C.1 – Conditions d'exploitation associées aux paramètres ODN	99
Tableau C.2 – Conditions d'exploitation liées aux paramètres ODN	100
Tableau C.3 – Conditions d'environnement pour l'évaluation du système	100
Tableau C.4 – Facteurs qui influent sur l'affaiblissement de transmission du réseau ODN	102
Tableau C.5 – Exemple 1 de conception du système	103
Tableau C.6 – Exemple 2 de conception du système	103
Tableau C.7 – Exemple de liste de conditions de mesure	104
Tableau C.8 – Présentation des résultats de mesure de l'OBI	105
Tableau C.9 – Présentation des résultats de mesure de l'OBI	106
Tableau D.1 – Exigences de performance pour l'émetteur MDF	107

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

RÉSEAUX DE DISTRIBUTION PAR CÂBLES POUR SIGNAUX DE TÉLÉVISION, SIGNAUX DE RADIODIFFUSION SONORE ET SERVICES INTERACTIFS –

Partie 14: Systèmes de transmission optique appliquant la technologie RFoG

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI 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 la CEI. La CEI 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 la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de brevet. La CEI 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 Norme internationale CEI 60728-14 a été établie par le domaine technique 5: Réseaux câblés pour les signaux de télévision, signaux sonores et services interactifs, du comité d'études 100 de la CEI: Systèmes et équipements audio, vidéo et services de données.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
100/2248/FDIS	100/2284/RVD

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

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

La liste de toutes les parties de la série CEI 60728, publiées sous le titre général *Réseaux de distribution par câbles pour signaux de télévision, signaux de radiodiffusion sonore et services interactifs*, peut être consultée sur le site web de la CEI.

La présente partie est très proche (le cas échéant) de la norme ANSI/SCTE 174:2010 "Radio Frequency over Glass / Fiber-to-the-Home Specification". En accord avec la SCTE¹, des parties importantes de la norme ANSI/SCTE 174:2010 ont été reproduites dans la présente norme.

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 la CEI sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

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

¹ SCTE = Society of Cable Telecommunications Engineers

INTRODUCTION

Les normes et autres documents à produire de la série CEI 60728 traitent des réseaux de distribution par câbles, y compris les matériels et méthodes associées de mesure pour la réception en tête de réseau, le traitement et la distribution des signaux de télévision et des signaux de radiodiffusion sonore, et pour le traitement, l'interfaçage et la transmission de toutes sortes de signaux de données pour les services interactifs, utilisant tout support de transmission applicable. Ces signaux sont généralement transmis dans des réseaux par des techniques à multiplexage en fréquence.

- réseaux de distribution par câbles à large bande régionaux et locaux,
- systèmes étendus de distribution de télévision terrestre et par satellite,
- systèmes individuels de réception de télévision terrestre et par satellite,

et tous types d'équipements, de systèmes et d'installations utilisés dans de tels réseaux de distribution par câbles, systèmes de distribution et de réception.

Ce travail de normalisation va des antennes et/ou des entrées pour source de signal particulière en tête de réseau ou encore d'autres points d'interface d'accès au réseau jusqu'à l'entrée du terminal de l'équipement de l'abonné.

Le travail de normalisation prend en compte la coexistence des utilisateurs du spectre RF dans les systèmes de transmission filaires et sans fil.

La normalisation des terminaux (c'est-à-dire, syntoniseurs, récepteurs, décodeurs, terminaux multimédias, etc.) et des câbles coaxiaux, symétriques et optiques et leurs accessoires, en est exclue.

Les Annexes donnent les informations suivantes.

Annexe A	décrit les notes de mise en œuvre, dont les aspects liés à la conception reposent sur la présente norme
Annexe B	décrit la spécification d'affaiblissement du système
Annexe C	décrit le fonctionnement à plusieurs CMTS
Annexe D	contient les spécifications concernant un système de commande à distance facultatif
Annexe E	fournit une directive de conception des logements pour la protection R-ONU
Annexe F	contient des informations sur les effets de la puissance optique à l'état bloqué sur le rapport C/N du signal de transmission

RÉSEAUX DE DISTRIBUTION PAR CÂBLES POUR SIGNAUX DE TÉLÉVISION, SIGNAUX DE RADIODIFFUSION SONORE ET SERVICES INTERACTIFS –

Partie 14: Systèmes de transmission optique appliquant la technologie RfoG

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60728 décrit les spécifications système et matériel des réseaux FTTH/FTTB (fibre optique jusqu'au domicile/fibre optique jusqu'à l'immeuble) où l'information est transmise à la fois dans le sens de voie directe et dans le sens de voie de retour, en utilisant la technologie de multiplexage par sous-porteuse RF, et où la transmission en voie de retour utilise de plus la technique d'accès multiple par répartition temporelle imposée par la transmission des signaux de voie de retour utilisant un protocole AMRT (par exemple, mode AMRT de DOCSIS). Ces systèmes sont appelés systèmes à radiofréquence sur fibre de verre (RfoG) et se composent d'une unité de réseau optique RfoG (R-ONU), d'un réseau de distribution optique basé sur la structure xPON et d'un récepteur de voie de retour optique RfoG. La présente norme spécifie les paramètres de base du système, ainsi que les méthodes de mesure pour les systèmes RfoG, pour évaluer tant les performances du système que ses limites.

La description détaillée de la couche physique ne relève pas du domaine d'application de la présente norme et ne comprend pas les technologies de transport IP.

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).

CEI 60068-1:1988, *Essais d'environnement – Partie 1: Généralités et guide*

CEI 60068-2-1, *Essais d'environnement – Partie 2-1: Essais – Essai A: Froid*

CEI 60068-2-2, *Essais d'environnement – Partie 2-2: Essais – Essai B: Chaleur sèche*

CEI 60068-2-6:2007, *Essais d'environnement – Partie 2-6: Essais – Essai Fc: Vibrations (sinusoïdales)*

CEI 60068-2-14, *Essais d'environnement – Partie 2-14: Essais – Essai N: Variation de température*

CEI 60068-2-27, *Essais d'environnement – Partie 2-27: Essais – Essai Ea et guide: Chocs*

CEI 60068-2-30, *Essais d'environnement – Partie 2-30: Essais – Essai Db: Essai cyclique de chaleur humide (cycle de 12 h + 12 h)*

CEI 60068-2-31, *Essais d'environnement – Partie 2-31: Essais – Essai Ec: Choc lié à des manutentions brutales, essai destiné en premier lieu aux matériels*

CEI 60068-2-40, *Essais d'environnement – Partie 2-40: Essais – Essai Z/AM: Essais combinés froid/basse pression atmosphérique*

CEI 60529, *Degrés de protection procurés par les enveloppes (Code IP)*

CEI 60728-1, *Réseaux de distribution par câbles pour signaux de télévision, signaux de radiodiffusion sonore et services interactifs – Partie 1: Performance des systèmes de voie directe*

CEI 60728-2, *Cable networks for television signals, sound signals and interactive services – Part 2: Electromagnetic compatibility for equipment* (disponible en anglais seulement)

CEI 60728-3, *Réseaux de distribution par câbles pour signaux de télévision, signaux de radiodiffusion sonore et services interactifs – Partie 3: Matériel actif à large bande pour réseaux de distribution par câbles*

CEI 60728-6:2011, *Cable networks for television signals, sound signals and interactive services – Part 6: Optical equipment* (disponible en anglais seulement)

CEI 60728-10:2014, *Réseaux de distribution par câbles pour signaux de télévision, signaux de radiodiffusion sonore et services interactifs – Partie 10: Performance des systèmes de voie de retour*

CEI 60728-11, *Cable networks for television signals, sound signals and interactive services - Part 11: Safety* (disponible en anglais seulement)

CEI 60728-13:2010, *Cable networks for television signals, sound signals and interactive services – Part 13: Optical systems for broadcast signal transmissions* (disponible en anglais seulement)

CEI 60728-13-1:2012, *Cable networks for television signals, sound signals and interactive services – Part 13-1: Bandwidth expansion for broadcast signal over FTTH system* (disponible en anglais seulement)

CEI 60793-2-50:2012, *Fibres optiques – Partie 2-50: Spécifications de produits – Spécification intermédiaire pour les fibres unimodales de classe B* (disponible en anglais seulement)

CEI 60794-3-11:2010, *Câbles à fibres optiques – Partie 3-11: Câbles extérieurs – Spécification de produits pour les câbles de télécommunication à fibres optiques unimodales destinés à être installés dans des conduites, directement enterrés et en aérien ligaturés*

CEI 60825-1, *Sécurité des appareils à laser – Partie 1: Classification des matériels et exigences*

CEI 61169-2, *Connecteurs pour fréquences radioélectriques – Partie 2: Spécification intermédiaire – Connecteurs coaxiaux pour fréquences radioélectriques de type 9,52*

CEI 61169-24, *Connecteurs pour fréquences radioélectriques – Partie 24: Spécification intermédiaire – Connecteurs coaxiaux pour fréquences radioélectriques avec couplage vissé, typiquement utilisés dans les réseaux de distribution par câbles de 75 ohms (type F)*

CEI 61280-1-1, *Fibre optic communication subsystem basic test procedures – Part 1-1: Test procedures for general communication subsystems – Transmitter output optical power measurement for single-mode optical fibre cable* (disponible en anglais seulement)

CEI 61280-1-3, *Procédures d'essai des sous-systèmes de télécommunication à fibres optiques – Partie 1-3: Sous-systèmes généraux de télécommunication – Mesure de la longueur d'onde centrale et de la largeur spectrale*

CEI 61754-4, *Fibre optic interconnecting devices and passive components – Fibre optic connector - Part 4: Type SC connector family* (disponible en anglais seulement)

CEI/TR 61931:1998, *Fibres optiques – Terminologie*

IEEE Standard 802.3-2008, *Carrier sense multiple access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications (Includes the EPON standard)*. Voir également les rectificatifs ultérieurs

IEEE Standard 802.3av-2009, *IEEE Standard for Information Technology – Part 3: Amendment 1: Physical Layer Specifications and Management Parameters for 10Gb/s Passive Optical Networks, October 2009*

3 Termes, définitions, symboles et abréviations

3.1 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de la CEI 60728-1, la CEI/TR 61931, ainsi que les suivants s'appliquent.

3.1.1

rapport porteuse sur diaphonie CCR

différence entre le niveau de la porteuse de signal souhaité et le niveau de signal de diaphonie de fréquence unique d'autres services dans le cas le plus défavorable, mesurée sur un accès sortie RF du récepteur optique

Note 1 à l'article: Le CCR est défini par l'équation suivante:

$$CCR = D - U_{\text{Autre sortie}} \quad (1)$$

où

D est le niveau nominal du signal souhaité en dB(μV) à l'accès sortie RF du récepteur optique;
 $U_{\text{Autre sortie}}$ est le niveau dans le cas le plus défavorable de la diaphonie de fréquence unique d'un autre service en dB(μV) sur l'accès sortie RF du récepteur optique.

Note 2 à l'article: CCR est exprimé en dB.

3.1.2

densité de courant de bruit équivalent d'entrée

densité de courant de bruit d'entrée théorique qui, lorsqu'elle est appliquée à l'entrée d'un dispositif non résonant théorique, produit une densité de courant de bruit de sortie égale en valeur à la densité observée à la sortie du dispositif réel à l'étude

Note 1 à l'article: La densité peut être calculée à partir du rapport porteuse sur bruit C/N (voir CEI 60728-6) d'un dispositif ou système utilisant:

$$I_r = \sqrt{\frac{C}{Z 10^{\frac{1}{10} C/N}}} \quad (2)$$

où

C est la puissance de la porteuse à l'entrée du dispositif ou du système, en W/Hz;

Z est l'impédance d'entrée, en Ω .

Note 2 à l'article: La densité de courant de bruit équivalent d'entrée est exprimée en $A/\sqrt{Hz}$.

3.1.3

réseau ou système étendu de distribution de télévision par satellite

réseau ou système de distribution prévu pour fournir aux logements d'un ou de plusieurs bâtiments des signaux de télévision et de radiodiffusion sonore reçus par l'antenne de réception satellite

Note 1 à l'article: Ce type de réseau ou de système peut être combiné à des antennes terrestres pour recevoir également des signaux de télévision et/ou de radio via des réseaux terrestres.

Note 2 à l'article: Ce type de réseau ou de système peut également transporter des signaux de commande pour les systèmes commutés sur satellite ou d'autres signaux pour des systèmes de transmission particuliers (MoCA ou WiFi, par exemple) dans le sens de voie de retour.

3.1.4

réseau ou système étendu de distribution de télévision terrestre

réseau ou système de distribution prévu pour fournir aux logements d'un ou de plusieurs bâtiments des signaux de télévision et de radiodiffusion sonore reçus par l'antenne de réception terrestre

Note 1 à l'article: Ce type de réseau ou de système peut être combiné à une antenne satellite pour recevoir également des signaux de télévision et/ou de radio via des réseaux satellites.

Note 2 à l'article: Ce type de réseau ou de système peut également transporter d'autres signaux pour des systèmes de transmission particuliers (MoCA ou WiFi, par exemple) dans le sens de voie de retour.

3.1.5

dispositif de couplage en fibre optique **dispositif de couplage <en fibre optique>** **diviseur <optique>**

DECONSEILLE: coupleur <optique>

dispositif en fibre optique, composé de trois accès optiques ou plus, qui répartit la puissance rayonnante entre les différents accès d'une manière prédéterminée, sur la ou les mêmes longueurs d'onde, sans conversion de longueur d'onde

Note 1 à l'article: Les accès d'un dispositif optique peuvent être connectés à des fibres optiques, des sources optiques, à des photodétecteurs, etc.

[SOURCE: CEI/TR 61931:1998, définition 2.6.21]

3.1.6

planéité

différence entre le gain ou l'affaiblissement RF maximum et minimum, qui ne tient pas compte de la pente dans la gamme de fréquences de modulation spécifiée d'un dispositif ou d'un système

3.1.7

système de tête de réseau

système composé de modulateurs, de démodulateurs, de CMTS, d'un module d'émission optique à amplificateurs optiques en option et d'un MRL pour la transmission de vidéo analogique et de signaux modulés numériquement côté centre de communication du réseau optique

Note 1 à l'article: Le système de tête de réseau est doté d'un récepteur de voie de retour optique recevant les signaux de données modulés numériquement dans le sens de voie de retour pour activer VoIP, VOD et les services Internet, par exemple.

Note 2 à l'article: V-OLT fait partie intégrante du système de tête de réseau et traite uniquement de la transmission vidéo dans la voie directe.

3.1.8

système individuel de réception de télévision par satellite

système prévu pour fournir à un logement individuel des signaux de télévision et de radiodiffusion sonore reçus par satellite(s)

Note 1 à l'article: Ce type de système peut aussi transporter des signaux de commande pour les systèmes commutés sur satellite ou d'autres signaux pour des systèmes de transmission particuliers (MoCA ou WiFi, par exemple) dans le sens de voie de retour.

3.1.9

système individuel de réception de télévision terrestre

système prévu pour fournir à un logement individuel des signaux de télévision et de radiodiffusion sonore reçus par réseaux de radiodiffusion terrestre

Note 1 à l'article: Ce type de système peut également transporter d'autres signaux pour des systèmes de transmission particuliers (MoCA ou WiFi, par exemple) dans le sens de voie de retour.

3.1.10

réseau local de distribution par câbles à large bande

réseau prévu pour fournir à une zone locale (par exemple une ville ou un village) des signaux de télévision et de radiodiffusion sonore, ainsi que des signaux pour des services interactifs

3.1.11

multiplexeur

dispositif MRL

dispositif de couplage qui sélectionne les longueurs d'onde (utilisé dans les systèmes de transmission MRL) et dans lequel les signaux optiques peuvent être transférés entre deux accès prédéterminés, selon la longueur d'onde du signal

[SOURCE: CEI/TR 61931:1998, définition 2.6.51]

3.1.12

rapport de puissance de bruit

NPR

rapport de la densité de puissance de signal sur la densité de puissance du bruit et de l'intermodulation combinés

3.1.13

puissance optique à l'état bloqué

puissance de sortie optique résiduelle émise par la fibre du R-ONU lorsque le laser est commuté sur l'état bloqué

Note 1 à l'article: Dans un émetteur en mode rafale typique, pour une commutation rapide, la polarisation du laser peut être maintenue proche du niveau de seuil de polarisation afin d'éviter les retards d'activation et de désactivation. La puissance optique à l'état bloqué affecte les caractéristiques du système lorsque de nombreux émetteurs sont reliés au même réseau de distribution.

3.1.14

amplificateur optique

OA

dispositif à guide d'ondes optique composé d'un milieu actif pompé de manière adéquate, pouvant amplifier un signal optique

[SOURCE: CEI/TR 61931:1998, définition 2.7.75]

Note 1 to entry: OA = Optical Amplifier.

3.1.15**réseau de distribution optique****ODN**

réseau optique passif (PON) composé principalement de fibres optiques et de diviseurs

3.1.16**module de transmission optique****récepteur optique****Rx**

récepteur qui tolère à son accès d'entrée une onde porteuse optique modulée et qui fournit à son accès de sortie le signal électrique démodulé correspondant (accompagné de l'horloge qui lui est associée s'il est numérique)

[SOURCE: CEI/TR 61931:1998, définition 2.9.7]

Note 1 à l'article: Pour les besoins de la présente norme, les récepteurs optiques peuvent contenir plusieurs accès de sortie fournissant des signaux électriques RF.

3.1.17**indice de modulation optique**

indice défini comme suit

$$m = \frac{\phi_h - \phi_l}{\phi_h + \phi_l} \quad (3)$$

où ϕ_h et ϕ_l sont respectivement la plus élevée et la plus faible puissance optique instantanée du signal optique modulé en intensité

Note 1 à l'article: Cette définition ne s'applique pas aux systèmes où les signaux d'entrée sont convertis et acheminés en tant que signaux numériques en bande de base. Dans ce cas, les termes profondeur de modulation ou rapport d'extinction définis en 2.6.79 et 2.7.46 de la CEI/TR 61931:1998 sont utilisés. Une procédure d'essai dédiée au rapport d'extinction est décrite dans la CEI 61280-2-2.

[SOURCE: CEI 60728-6:2011, définition 3.1.10, modifié – la répétition de "modulation optique" a été supprimée]

3.1.18**coefficient de réflexion****affaiblissement de réflexion****ORL**

rapport de la puissance réfléchie totale à la puissance incidente provenant d'une fibre, d'un dispositif ou d'un système optiques et représenté par la formule:

$$-10 \lg \frac{P_r}{P_i} \quad (4)$$

où

P_r est la puissance réfléchie;

P_i est la puissance incidente

Note 1 à l'article: Lorsque l'on fait référence à la puissance réfléchie pour un composant individuel, réflectance est le terme privilégié.

[SOURCE: CEI/TR 61931:1998, définition 2.6.49]

Note 2 à l'article: Pour les besoins de la présente norme, le terme réflectance ou facteur de réflexion est employé uniquement pour les amplificateurs optiques. Le terme coefficient de réflexion est utilisé pour les accès de tous les autres types de matériels.

Note 3 à l'article: Le terme affaiblissement de réflexion est également employé pour les accès électriques. La définition se rapporte aux alimentations électriques dans ce cas.

Note 4 à l'article: Le rapport est exprimé en dB.

3.1.19

module d'émission optique

émetteur optique

Tx

émetteur qui tolère à son accès d'entrée un signal électrique et qui fournit à son accès de sortie une onde porteuse optique modulée par un signal d'entrée

[SOURCE: CEI/TR 61931:1998, définition 2.9.6]

Note 1 à l'article: Pour les besoins de la présente norme, les émetteurs optiques peuvent contenir plus d'un accès d'entrée acceptant les signaux électriques RF.

3.1.20

radiofréquence sur fibre de verre

RfoG

technologie de transmission appliquée sur les réseaux optiques où l'information est transmise à la fois dans le sens de voie directe et dans le sens de voie de retour, en utilisant la technologie de multiplexage par sous-porteuse RF, et où la transmission en voie de retour utilise de plus la technique d'accès multiple par répartition temporelle imposée par la transmission des signaux de voie de retour utilisant un protocole AMRT (par exemple, mode AMRT de DOCSIS)

3.1.21

niveau de sortie de référence d'un récepteur optique

décalage x par lequel la grandeur électrique de sortie d'un récepteur optique peut être calculée à partir de la grandeur optique d'entrée selon un indice de modulation de $m = 0,05$ à l'aide de l'équation suivante:

$$U = 2 P_{\text{opt,RX}} + x \text{ dB}(\mu\text{V}) \quad (5)$$

où

U est la grandeur électrique de sortie en dB(μV)

$P_{\text{opt,RX}}$ est la grandeur optique d'entrée en dB(mW)

x est le niveau de sortie de référence en dB(μV)

3.1.22

sensibilité <énergétique>

quotient de la grandeur électrique de sortie d'un photodétecteur par la grandeur optique d'entrée à une longueur d'onde donnée

Note 1 à l'article: La sensibilité est généralement exprimée en ampères (A/W) ou en volts par watt (V/W) de puissance rayonnante incidente.

Note 2 à l'article: En anglais, le terme "sensitivity" est parfois utilisé de façon imprécise pour désigner la sensibilité énergétique.

[SOURCE: CEI 60050-731:1991, 731-06-36, modifiée]

Note 3 à l'article: L'intervalle de longueur d'onde autour de la longueur d'onde donnée peut être spécifié.

[SOURCE: CEI/TR 61931:1998, définition 2.7.56]

3.1.23**intensité relative de bruit*****RIN***

rapport du carré moyen des fluctuations d'intensité dans la puissance optique d'une source lumineuse au carré de la moyenne de la puissance de sortie optique

Note 1 à l'article: Le *RIN* est généralement exprimé en $\text{dB}(\text{Hz}^{-1})$ aboutissant à des valeurs négatives.

Note 2 à l'article: La valeur du *RIN* peut être calculée à partir des résultats d'une mesure du rapport porteuse sur bruit pour le système

[SOURCE: CEI 60728-6:2011, 3.1.12]

3.1.24**unité de réseau optique RFoG****R-ONU**

borne à fibres optiques comprenant un récepteur optique pour la réception des signaux analogiques et un émetteur optique pour la transmission des signaux analogiques provenant de l'abonné du réseau optique, ainsi qu'une interface coaxiale dédiée à la transmission et à la réception de signaux analogiques au/du réseau de l'abonné, consistant généralement en données numériques qui utilisent un protocole AMRT (par exemple, mode AMRT de DOCSIS)

3.1.25**pente**

différence de gain ou des affaiblissements à deux fréquences définies entre deux accès d'un dispositif ou d'un système

Note 1 à l'article: Dans la présente norme, le terme pente se rapporte uniquement au gain ou à l'affaiblissement électrique d'un équipement.

Note 2 à l'article: Avec les équipements destinés aux réseaux de distribution par câbles, une droite de meilleur ajustement de la réponse amplitude/fréquence est prise en compte aux limites de bande (voir CEI 60728-6).

[SOURCE: CEI 60728-6:2011, 3.1.29]

3.1.26**diffusion de Brillouin <stimulée>****DBS**

diffusion non linéaire du rayonnement optique caractérisée par un déplacement de fréquence comme dans le cas de la diffusion de Raman mais accompagnée d'une vibration (acoustique) de fréquence plus faible du réseau cristallin moyen; la lumière est diffusée en arrière en fonction du rayonnement incident

Note 1 à l'article: Dans les fibres de silice, le changement de longueurs d'onde se situe généralement à environ 10 GHz.

[SOURCE: CEI/TR 61931:1998, définition 2.1.88]

3.1.27**unité de réseau optique-vidéo****V-ONU**

unité terminale qui convertit le signal optique de voie directe en un signal électrique

Note 1 à l'article: Cette fonctionnalité de ce dispositif fait partie intégrante d'un R-ONU.

3.1.28**longueur d'onde**

distance couverte par la surface d'une harmonique plane, dans une période donnée

[SOURCE: CEI/TR 61931:1998, définition 2.2.9]

Note 1 à l'article: La longueur d'onde λ de la lumière dans le vide est obtenue par

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (6)$$

où

c est la vitesse de la lumière dans le vide ($c \approx 2,997\,92 \times 10^8$ m/s);

f est la fréquence optique

Note 2 à l'article: Bien que la longueur d'onde dans un matériau diélectrique tel que les fibres soit moins importante que dans le vide, seule la longueur d'onde de la lumière dans le vide est utilisée.

3.2 Symboles

Les symboles graphiques suivants sont utilisés dans les figures de la présente norme. Ces symboles sont soit énumérés dans la CEI 60617, soit basés sur des symboles définis dans la CEI 60617.

	Emetteur optique basé sur la [CEI 60617-S00213 (2001-07)]		Récepteur optique basé sur la [CEI 60617-S00213 (2001-07)]
	Amplificateur optique basé sur la [CEI 60617-S00127 (2001-07) et la CEI 60617-S01239 (2001-07)]		Fibre optique [CEI 60617-S01318 (2001-07)]
	Filtre passe-bas [CEI 60617-S01248 (2001-07)]		Filtre passe-haut [CEI 60617-S01247 (2001-07)]
	Coupleur directif basé sur la [CEI 60617-S00059 (2001-07) et la CEI 60617-S01193 (2001-07)]		MRL
	Analyseur de spectre électrique basé sur la [CEI 60617-S00059 (2001-07) et la CEI 60617-S00910 (2001-07)]		Modem par câble
	Téléviseur		Analyseur de spectre optique basé sur la [CEI 60617-S00059 (2001-07) et la CEI 60617-S00910 (2001-07)]
	Atténuateur variable [CEI 60617-S01245 (2001-07)]		diviseur/groupeur
	Dispositif de commande par polarisation [CEI 60617-S001430 (à l'étude)]		

3.3 Abréviations

Les abréviations suivantes sont utilisées dans la présente norme:

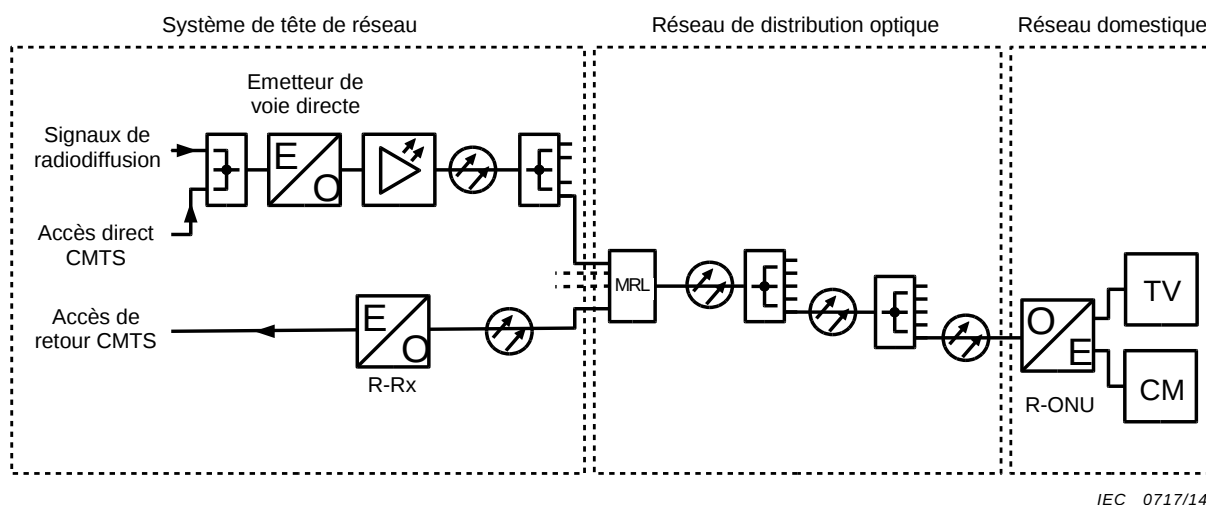
CA	courant alternatif	CAG	commande automatique de gain
----	--------------------	-----	------------------------------

CATV	antenne communautaire (réseau) (<i>community antenna television network</i>)	C/N	rapport porteuse sur bruit (carrier-to-noise ratio)
CCR	rapport porteuse sur diaphonie (<i>carrier-to-crosstalk ratio</i>)	CM	Modem par câble (<i>cable-modem</i>)
CMTS	système de terminaison par modem par câble (<i>cable modem termination system</i>)	CSO	composite d'ordre deux (<i>composite second order</i>)
CTB	battement triple composite (<i>composite triple beat</i>)	CW	onde entretenue (<i>continuous wave</i>)
DOCSIS	spécification d'interface du service de transmission de données par réseau câblé (<i>data over cable service interface specification</i>)	DS	dans le sens descendant (<i>downstream</i>)
EINC	courant de bruit équivalent d'entrée (<i>equivalent input noise current</i>)	CEM	compatibilité électromagnétique
EPON	réseau optique passif Ethernet (<i>Ethernet passive optical network</i>) (défini dans la norme IEEE 802.3-2008)	MDF	modulation par déplacement de fréquence (<i>frequency shift keying</i>)
FTTB	fibre jusqu'à l'immeuble (<i>fibre to the building</i>)	FTTH	fibre jusqu'au domicile (<i>fibre to the home</i>)
GEPON	réseau optique passif gigabit Ethernet (<i>Gigabit Ethernet passive optical network</i>) (défini dans la norme IEEE 802.3-2008)	GPON	réseaux optiques passifs gigabitaires (<i>Gigabit-capable passive optical networks</i>) (défini dans la recommandation UIT-T G.984)
HFC	hybride fibre coaxiale	MDU	unité résidentielle multiple (<i>multiple dwelling unit</i>)
MTBF	temps moyen entre défaillances (<i>mean time between failure</i>)	NPR	rapport de puissance de bruit
OBI	battement optique (<i>optical beat interference</i>)	ODN	réseau de distribution optique (<i>optical distribution network</i>)
OFDM	multiplexage par répartition orthogonale des fréquences (<i>orthogonal frequency division multiplex</i>)	OMI	indice de modulation optique (<i>optical modulation index</i>)
ONU	unité de réseau optique (<i>optical network unit</i>)	PON	réseau optique passif (<i>passive optical network</i>)
MAQ	modulation d'amplitude en quadrature	MDP4	modulation par quadrature de phase (<i>QPSK quadrature phase shift keying</i>)
RF	radiofréquence	RfoG	RF sur fibre de verre (RF over glass)
RIN	intensité relative de bruit (<i>relative intensity noise</i>)	R-ONU	unité de réseau optique RFoG (<i>RFoG optical network unit</i>)

Rx	récepteur (optique) (<i>optical receiver</i>)	DBS	diffusion Brillouin stimulée
SDU	logement ou bureau (<i>single dwelling unit</i>)	Tx	émetteur (optique)
US	dans le sens montant (<i>upstream</i>)	V-ONU	unité de réseau optique-vidéo (<i>video optical network unit</i>)
MRL	multiplexage par répartition en longueur d'onde	XG-PON	réseau optique passif à 10 gigabits (<i>10-Gigabit-capable passive optical network</i>) (défini dans la recommandation UIT-T G.987)

4 Modèle de référence du système

La Figure 1 illustre le modèle de référence du système optique pour la transmission de signaux de voie directe et de voie de retour. Le système de transmission de voie directe fait l'objet de la CEI 60728-13. Comparé à la Figure 1 de la CEI 60728-13:2010, un appareil V-ONU a été remplacé par un appareil R-ONU, qui ajoute un mode MRL et un émetteur de voie de retour en mode rafale à l'appareil V-ONU. L'appareil R-ONU est capable de transmettre des signaux interactifs et est par conséquent relié également à un modem par câble (CM).



IEC 0717/14

Figure 1 – Modèle de référence du système optique pour RFoG

La Figure 1 illustre l'architecture de référence du système. Dans l'architecture de référence, le système de tête de réseau, à savoir l'origine du système RFoG, comprend un émetteur de voie directe optique dont le fonctionnement nominal s'effectue sur une longueur d'onde de 1 550 nm, un appareil d'amplification optique et de répartition, selon le cas, et un récepteur de voie de retour optique qui reçoit les signaux de voie de retour optiques sur λ_{up} (défini ci-dessous), et les convertit au format RF. Le multiplexeur par répartition en longueur d'onde, qui permet de combiner et de séparer les deux longueurs d'onde, fait partie intégrante du système de tête de réseau. Pour les besoins du calcul du bilan des pertes optiques, l'affaiblissement optique MRL doit être inclus dans la perte totale de l'ODN, conformément à la définition de l'ODN dans les réseaux EPON et GPON.

Les spécifications de la présente norme s'appliquent entre la borne des signaux électriques du système de tête de réseau et la borne électrique RF du dispositif R-ONU. Le concepteur du système est tenu de s'assurer que la conception du ou des réseaux prend correctement en

compte les effets de toute dégradation de signal. Les performances du système de voie de retour varient selon le choix du matériel du récepteur de la voie de retour optique. La caractéristique de bruit et le choix de la technologie du récepteur déterminent l'interopérabilité. L'ODN est défini comme commençant à l'entrée du MRL du système de tête de réseau optique et finissant à l'amorce du dispositif R-ONU à domicile.

L'ODN est illustré avec un diviseur à point unique. Toutefois, l'ODN peut également être mis en œuvre en tant que série de prises optiques ou diviseur multicouche, tel qu'une division de 1:4 suivie d'un ensemble de diviseurs 1:8 en un emplacement différent. Tant qu'il est tenu compte de la distance maximale, du bilan des pertes et du rapport de division, l'architecture de répartition est laissée au choix de l'opérateur.

5 Architecture de référence de l'ONU RFoG

La Figure 2 illustre l'architecture de référence ONU. L'ONU est composé d'un multiplexeur par répartition en longueur d'onde (MRL) qui sépare le signal de voie directe optique à une longueur d'onde nominale de 1 550 nm et le signal de voie de retour optique à λ_{up} . Le récepteur de voie directe récupère les signaux de voie directe RF émis par la porteuse optique de voie directe d'une longueur d'onde (nominale) de 1 500 nm et les transmet à la sortie via un duplexeur.

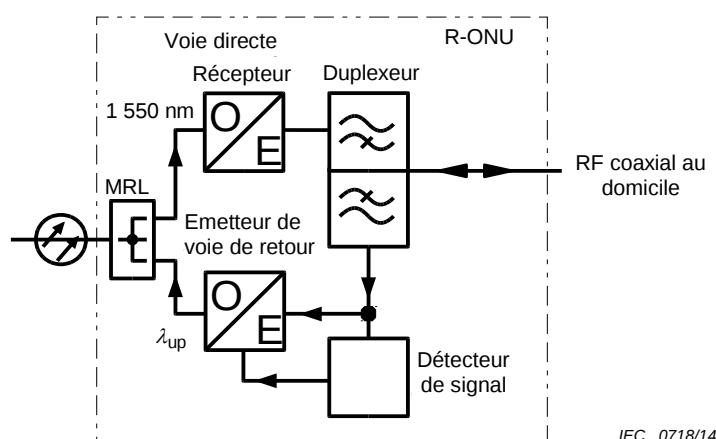


Figure 2 – Schéma de principe du dispositif R-ONU

L'accès inférieur du duplexeur transmet les signaux de voie de retour à un émetteur de voie de retour dont la sortie est à λ_{up} . Il fournit également des signaux à un détecteur de signal, dont la tâche est d'activer l'émetteur de voie de retour lorsque les signaux RF dans la bande de voie de retour sont détectés à un niveau supérieur à un seuil minimum spécifié.

La spécification autorise l'une des deux longueurs d'onde de voie de retour λ_{up} . Une longueur d'onde nominale admise est de 1 310 nm, et l'autre est de 1 610 nm. L'utilisation d'une longueur d'onde de 1 610 nm autorise la superposition facultative d'un système RFoG par un système IEEE 802.3-2008 / IEEE 802.3av-2009 (EPON) ou un système UIT G.984 / UIT G.987 (GPON). Les deux systèmes utilisent une longueur d'onde de 1 310 nm ou des longueurs d'onde inférieures pour les communications de données de voie de retour. Les deux longueurs d'onde de voie de retour fonctionnent avec le même réseau physique. Noter que si la longueur d'onde de voie de retour de 1 310 nm est utilisée pour le système RFoG, ni le système EPON ni le système GPON ne coexistent dans le même réseau optique passif physique.

Pour la compatibilité avec les systèmes 10G-EPON ou XG-PON, l'option de voie de retour de 1 610 nm peut être appliquée, mais nécessite une prise optique externe à une longueur d'onde (nominale) de 1 577 nm, pour supprimer cette onde porteuse de voie directe. En

variante, un fabricant peut proposer un dispositif R-ONU avec une prise optique intégrée, ou l'opérateur peut choisir d'utiliser un système RFoG et un système 10G-EPON ou XG-PON sur des réseaux distincts avec une répartition co-implantée.

6 Méthode de mesure

6.1 Puissance optique

La puissance optique à une seule longueur d'onde doit être mesurée conformément à la CEI 61280-1-1. Pour mesurer la puissance optique moyenne totale de plusieurs longueurs d'onde émanant de l'extrémité d'une fibre d'essai, la méthode décrite dans la CEI 60728-13 doit être utilisée.

NOTE Généralement, le wattmètre optique qui est calculé et affiché sous forme de puissance optique totale ne comporte pas de fonction de sélection de la longueur d'onde. Il est par conséquent nécessaire de séparer la longueur d'onde au moyen du coupleur ou du filtre MRL. Dans ce cas, il est nécessaire de compenser la perte du filtre MRL employé.

6.2 Longueur d'onde centroïdale et largeur spectrale sous modulation

La méthode décrite dans la CEI 61280-1-3 doit être utilisée pour mesurer la longueur d'onde centroïdale λ_0 du spectre et la largeur spectrale $\Delta\lambda$ d'un émetteur sous modulation. La longueur d'onde centroïdale et la largeur spectrale doivent être exprimées en nanomètres. Cette méthode ne convient pas aux sources de lumière et aux émetteurs de largeur spectrale très étroite (laser monomode), et ne peut pas être utilisée pour mesurer la fluctuation de longueur d'onde des émetteurs.

6.3 Longueur d'onde optique

La longueur d'onde optique, dans le système RFoG, doit être mesurée suivant la description ci-dessous.

Si un dispositif R-ONU unique est utilisé pour recevoir simultanément des longueurs d'onde multiples sans aucun filtre MRL, un filtre MRL d'essai doit être utilisé pour mesurer la longueur d'onde optique individuelle à l'entrée du dispositif R-ONU. Le montage de mesure est illustré à la Figure 3.

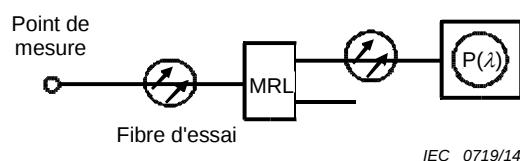


Figure 3 – Mesure de la longueur d'onde optique au moyen d'un coupleur MRL

La méthode décrite dans la CEI 61280-1-3 doit être utilisée pour mesurer la longueur d'onde centrale λ_0 du spectre d'un signal optique sous modulation. La longueur d'onde centrale doit être exprimée en nm.

6.4 Largeur de raie et fluctuation de longueur d'onde des émetteurs avec des lasers monomodes

Les mesures de la largeur de raie et de la fluctuation de longueur d'onde d'un émetteur avec des lasers monomodes doivent être effectuées selon 4.7 de la CEI 60728-6:2011.

6.5 Indice de modulation optique

Les mesures de l'indice de modulation optique doivent être effectuées selon 4.8 de la CEI 60728-6:2011.

6.6 Niveau de sortie de référence d'un récepteur optique

Les mesures de la sortie de référence d'un récepteur optique doivent être effectuées selon 4.9 de la CEI 60728-6:2011.

6.7 Paramètres de bruit des émetteurs optiques et des récepteurs optiques

Les mesures des paramètres de bruit des émetteurs optiques et des récepteurs optiques doivent être effectuées selon 4.16 de la CEI 60728-6:2011.

6.8 Intensité relative de bruit (*RIN*), indice de modulation optique et courant de bruit équivalent d'entrée (*EINC*)

La méthode de mesure de l'intensité relative de bruit (*RIN*), de l'indice de modulation optique (*OMI*) et du courant de bruit équivalent d'entrée (*EINC*) doit être appliquée selon 4.17 de la CEI 60728-6:2011.

6.9 Niveau de porteuse et rapport porteuse sur bruit

Le niveau de porteuse et le rapport porteuse sur bruit dans le domaine électrique doivent être mesurés selon 6.3 de la CEI 60728-13:2010.

6.10 Rapport de puissance de bruit (*NPR*)

Le rapport de puissance de bruit (*NPR*) doit être mesuré selon 4.12 de la CEI 60728-10:2014.

6.11 Rapport porteuse sur bruit défini par le signal optique

La méthode de mesure du niveau de la porteuse et du rapport porteuse sur bruit dans le domaine optique doit être appliquée selon 6.4 de la CEI 60728-13:2010.

6.12 Rapport porteuse sur diaphonie (*CCR*)

Cette méthode de mesure est applicable lorsque d'autres services (c'est-à-dire des signaux de communication numérique tels que GPON, GEAPON ou Ethernet point à point) que les signaux de voie directe des réseaux de distribution par câbles à large bande régionaux et locaux (c'est-à-dire AM-VSB, 64/256MAQ, OFDM, TC8PSK et QPSK) sont transmis sur le réseau optique. Ces autres services peuvent produire des effets de diaphonie dans les fibres optiques et dans les dispositifs récepteurs optiques à linéarité élevée. Le rapport porteuse sur diaphonie (*CCR*) des signaux de radiodiffusion doit être mesuré selon la méthode décrite en 6.6 de la CEI 60728-13:2010.

7 Exigences de performances du système

7.1 Système de données numériques

7.1.1 ODN

Le réseau de distribution optique doit satisfaire aux exigences du Tableau 1.

Tableau 1 – Spécifications ODN

Spécification	Valeur
Distance de fonctionnement, concentrateur optique vers R-ONU (D) pour le rapport de division 1:32 ^{a,b}	(0 – 20) km
Bilan des pertes maximal avec lequel le système doit fonctionner (L)	25 dB ^c
Bilan des pertes minimal avec lequel le système doit fonctionner	5 dB inférieur au bilan des pertes maximal. Si la conception du système comporte des pertes moins élevées (par exemple, si le rapport de division est faible), elle doit alors compenser ces pertes. Voir Annexe A pour plus de détails concernant le bilan des pertes minimal.
Type de fibre optique supposé	Câble CEI 60794-3-11 normalisé utilisant des fibres optiques de catégorie B1.3 ou B6 (CEI 60793-2-50) ^d
^a De plus grandes distances peuvent être possibles, mais il convient que le concepteur tienne compte des limites de distance relatives à EPON et GPON si l'adoption de l'une ou l'autre norme est envisagée. ^b Un rapport peut être utilisé tant que le bilan des pertes total est respecté. Selon l'architecture de répartition, la diffusion Brillouin stimulée (DBS) peut limiter le fonctionnement à un rapport de division inférieur (voir Annexe B, pour de plus amples informations). Les applications PON typiques utilisent normalement des rapports de division de 32, plus rarement de 64, limités par l'optique disponible. L'utilisation d'un rapport de division plus élevé peut donc rendre l'application de ces normes irréalisable à moins d'utiliser une interface intermédiaire. ^c Le fonctionnement avec des bilans de pertes supérieurs à 25 dB est facultatif. Voir Annexe B, pour plus de détails. ^d Une référence croisée entre les catégories de fibre CEI et les Recommandations UIT-T G.65x peut être établie dans la CEI 60793-2-50:2012 (Tableau I.1) ou dans la CEI 60794-3-11:2010 (Tableau A.1).	

7.1.2 Répartition de performance

La spécification système générale relative à la transmission de voie directe est donnée au Tableau 9 de la CEI 60728-13:2010 et/ou au Tableau 7, de la CEI 60728-13-1:2012.

La spécification système générale relative à la transmission de voie de retour est donnée au Tableau 4, "Exigences relatives aux caractéristiques pour différentes techniques de modulation pour $TEB = 10^{-4}$ " de la CEI 60728-10:2014. Un exemple de répartition de performance de voie de retour est donné à l'Article B.3.

Les valeurs requises pour le *RIN* système minimal et le rapport *C/N* correspondant sont données en 7.3 de la CEI 60728-13:2010.

7.2 Répartition des fréquences de voie directe et de voie de retour

La permutation entre les fréquences RF de voie directe et de voie de retour doit satisfaire aux exigences de l'une des options indiquées au Tableau 2. Les fréquences données au Tableau 2 sont les valeurs que le dispositif R-ONU doit prendre en charge par spécification. Les inégalités sont indiquées afin de permettre aux applications R-ONU spécifiées par le fabricant qu'elles incluent une fréquence de voie de retour maximale et/ou une fréquence de voie directe minimale qui offre une bande passante plus importante que la valeur énumérée.

Tableau 2 – Fréquences RF

Option	Limite supérieure de la bande de fréquences de voie de retour $f_{US,max}$	Limite inférieure de la bande de fréquences de voie directe $f_{DS,min}$
Option 42/54	42 MHz	54 MHz
Option 55/70	55 MHz	70 MHz
Option 65/85	65 MHz	85 MHz
Option 85/105	85 MHz	105 MHz

8 Spécifications des matériels RFoG

8.1 Spécifications générales

8.1.1 Sécurité

Les exigences de sécurité pertinentes concernant tous les équipements doivent être conformes à la CEI 60728-11, le cas échéant. Concernant la sécurité laser, les émetteurs et amplificateurs optiques doivent de plus satisfaire aux exigences de la CEI 60825-1.

8.1.2 Compatibilité électromagnétique (CEM)

Les limites de rayonnement et de sensibilité aux brouillages de tous les équipements couverts par la présente norme sont données dans la CEI 60728-2.

8.1.3 Conditions ambiantes

8.1.3.1 Exigences

Les fabricants doivent publier les informations appropriées relatives à l'environnement concernant leurs produits conformément aux exigences de la série CEI 60068:

8.1.3.2 Stockage

Catégorie climatique des composants ou du matériel pour le stockage CEI 60068-1
et le fonctionnement

8.1.3.3 Transport

Transport aérien (essais combinés froid/basse pression CEI 60068-2-40
atmosphérique)

Transport par route (essai de chocs) CEI 60068-2-27

8.1.3.4 Installation ou maintenance

Essai lié à des manutentions brutales CEI 60068-2-31

8.1.3.5 Utilisation

Classe IP: Protection procurée par les enveloppes CEI 60529

Catégorie climatique des composants ou de l'équipement pour le stockage et le fonctionnement comme défini dans	Annexe A de la CEI 60068-1:1988
Froid	CEI 60068-2-1
Chaleur sèche	CEI 60068-2-2
Chaleur humide	CEI 60068-2-30
Variation de température (essai Nb)	CEI 60068-2-14
Vibrations (sinusoïdales)	Annexe B de la CEI 60068-2-6:2007

Il s'agit de permettre aux utilisateurs de juger la pertinence des produits quant aux quatre exigences principales: le stockage, le transport, l'installation et l'utilisation.

8.1.4 Marquage

Le nom du fabricant et le numéro de type doivent être marqués lisiblement et durablement sur le matériel.

Pour marquer les accès, il convient d'utiliser les symboles conformément à la CEI 80416 et la CEI 60417.

8.2 R-ONU

8.2.1 Indicateurs

Le dispositif R-ONU doit fournir une indication visuelle de la présence de la puissance c.c. et de la puissance optique de voie directe.

L'indication visuelle de la puissance optique de voie directe doit être active à des niveaux supérieurs à -13 dB(mW).

8.2.2 Spécifications du récepteur de voie directe R-ONU

Les récepteurs optiques pour diverses applications sont spécifiés en 6.3 de la CEI 60728-6:2011. Les classes A à D du Tableau 3 correspondent à ces types. De plus, les classes H à J sont introduites, la classe J reflétant les exigences concernant les récepteurs de voie directe pour les applications spécifiées dans la CEI 60728-13-1:2012.

Tableau 3 – Classification des récepteurs optiques R-ONU

Classe	Caractéristiques
A	Grandeur électrique de sortie élevée 1 GHz
B	Grandeur électrique de sortie faible 1 GHz
D	Fibre jusqu'à l'immeuble 1 GHz FTTB
H	Grandeur électrique de sortie faible 1 GHz RFoG
I	Grandeur électrique de sortie élevée 1 GHz RFoG
J	Grandeur électrique de sortie faible 2,6 GHz RFoG

Le fabricant doit au moins publier les informations sur les paramètres énumérés au Tableau 4. Les chiffres indiqués sont des valeurs recommandées.

Tableau 4 – Exigences de publication des données pour les récepteurs optiques R-ONU

Paramètre	Classe A	Classe B	Classe D	Classe H	Classe I	Classe J
Densité de courant de bruit équivalent d'entrée en pA/√Hz	<6	<6	<5	<6	<6	<8
Niveau de sortie de référence à 862 MHz et OMI = 5 %	–			(80 ± 3) dB(μV)	(98 ± 3) dB(μV)	(80 ± 3) dB(μV)
Intermodulation des récepteurs à OMI = 3,5 %						
– d'ordre deux	60 dB			60 dB	60 dB	60 dB
– battement triple	70 dB			60 dB	60 dB	60 dB
Connexion des fibres	Type de connecteur/épissure et type de fibre			Connecteur à affaiblissement de réflexion élevé selon la CEI 61754-4	Connecteur à affaiblissement de réflexion élevé selon la CEI 61754-4	Connecteur à affaiblissement de réflexion élevé selon la CEI 61754-4
Consommation d'énergie	–					

Le fabricant doit de plus publier les informations sur les paramètres qui s'écartent des recommandations spécifiées au Tableau 5.

Tableau 5 – Recommandations applicables aux récepteurs optiques R-ONU

Paramètre	Classe A	Classe B	Classe D	Classe H	Classe I	Classe J
Plage de longueurs d'onde ^a	1 540 nm à 1 560 nm					
Puissance d'entrée optique ^b	(–7 à 0) dB(mW)	(–4 à 3) dB(mW)	(–10 à –1) dB(mW)	(–8 à 0) dB(mW)	(–8 à 0) dB(mW)	(–12 à –6) dB(mW)
Plage de réglage du niveau de sortie	>10 dB				N/A	
Pente (f_{DSmin} à 1 006 MHz)	(0 à 12) dB	(0 à 6) dB	0	(5 ± 2) dB	(5 ± 2) dB	(5 ± 2) dB
Planéité (f_{DSmin} à 1 006 MHz) (f_{DSmin} à 2 400 MHz)	<3 dB –	<2 dB –	<4 dB –	<4 dB –	<4 dB –	<4 dB 8 dB
Plage de fréquences f_{DSmin} à	1 006 MHz			1 006 MHz	1 006 MHz	2 600 MHz
Tension d'alimentation	L'une des suivantes: DC 48 V / 120 V c.c. ou 65 V / 230 V c.a.			Au moins une des tensions suivantes: (10,5 à 18) V c.c. (12 V nominal) ou 100 V ou 230 V c.a. ^c	Au moins une des tensions suivantes: (10,5 à 18) V c.c. (12 V nominal) ou 100 V ou 230 V c.a.	Au moins une des tensions suivantes: (10,5 à 18) V c.c. (12 V nominal) ou 100 V ou 230 V c.a. ^c
Sortie d'indicateur c.c. pour la puissance d'entrée optique	10 V/mW	1 V/mW		1 V/mW	1 V/mW	1 V/mW
Dimensions mécaniques	Pour une exploitation dans les immeubles: version baie 19" (482,6 mm)			Usage extérieur / usage intérieur	Usage extérieur / usage intérieur	Usage extérieur / usage intérieur

^a Se reporter à l'Annexe A pour les commentaires portant sur la compatibilité 10 Gbit/s.

^b Puissance optique reçue pour laquelle les spécifications concernant le niveau de sortie, la pente et la réponse en fréquence RF doivent être satisfaites. La CAG peut ne pas être efficace à des puissances optiques inférieures à la gamme de puissances d'entrée optiques spécifiée. Ainsi, le niveau de sortie RF peut diminuer de 2 dB pour chaque réduction de la puissance optique de 1 dB.

^c Une alimentation en c.c doit être possible par le biais du connecteur RF, le conducteur central étant positif par rapport à la terre. Des méthodes supplémentaires de raccordement d'alimentation peuvent être fournies.

Le récepteur de voie directe du dispositif R-ONU doit satisfaire à toutes les exigences du Tableau 6.

Tableau 6 – Exigences de performance pour les récepteurs optiques R-ONU

Paramètre	Classes A et B	Classe D	Classes H et I	Classe J
Sensibilité (énergétique) de la photodiode interne	≥0,9 A/W pour la gamme de longueurs d'onde complète			
Accès de sortie électrique	Impédance: 75 Ω Connecteur: femelle comme défini dans la CEI 60169-2 ou la CEI 61169-24 Affaiblissement de réflexion: conforme à la catégorie B de la CEI 60728-3		Impédance: 75 Ω Connecteur: CEI 61169-24 Affaiblissement de réflexion: conforme à la catégorie B de la CEI 60728-3	
Coefficient de réflexion	>45 dB	>40 dB	>40 dB	
Indicateurs	Défaillance de la grandeur optique d'entrée			
Alarmes	Défaillance de la grandeur optique d'entrée Hors de la plage CAG (si CAG disponible)		N/A	

8.2.3 Performance de voie de retour de R-ONU

8.2.3.1 Classification

Deux options de longueur d'onde, selon le classement du Tableau 7, sont prévues dans la voie de retour. La longueur d'onde de voie de retour peut être de 1 310 nm pour une rentabilité maximale ou de 1 610 nm afin de pouvoir utiliser le même PON pour les applications RFoG et GPON ou EPON. La bande de voie de retour doit être spécifiée dans les documents d'achat, et un MRL et un récepteur de voie de retour correspondants doivent être utilisés avec le concentrateur optique.

Tableau 7 – Classes d'émetteurs de voie de retour optique

Classe	Application
R1R	Longueur d'onde secondaire, uniquement pour les systèmes qui ne nécessitent pas de compatibilité avec EPON ou GPON
R2R	Longueur d'onde principale, compatible avec EPON ou GPON.

8.2.3.2 Exigences de publication des données

Les fabricants doivent au moins publier les informations sur les paramètres énumérés au Tableau 8. Les chiffres indiqués sont des valeurs recommandées.

Tableau 8 – Exigences de publication des données pour les émetteurs de voie de retour optique

Paramètre	Classe R1R	Classe R2R
Type de source de lumière	FP ou DFB	DFB
Connexion des fibres	Connecteur à affaiblissement de réflexion élevé selon la CEI 61754-4	
Consommation d'énergie	–	
Affaiblissement de sortie du point d'essai	si le point d'essai est prévu	

8.2.3.3 Exigences relatives à la performance optique

Les émetteurs de voie de retour optique du dispositif R-ONU selon la présente norme doivent satisfaire aux exigences de l'une des classes suivantes énumérées au Tableau 9. Toutes les spécifications doivent être satisfaites lorsque la même fibre achemine la signalisation EPON

ou GPON. Cela n'inclut pas nécessairement les systèmes 10 Gbit/s, sauf si le fabricant du dispositif R-ONU demande la coexistence avec ces systèmes 10 Gbit/s. A défaut, la coexistence avec les systèmes 10 Gbit/s peut exiger un filtre de blocage (voir Annexe A pour de plus amples informations).

Tableau 9 – Exigences de performance pour les paramètres et interfaces optiques

Paramètre	Classe R1R		Classe R2R	
Longueur d'onde en nm	1 310		1 610	
Tolérance de longueur d'onde en nm (inclut les effets de la température)	±50		±10	
Puissance de sortie en dB(mW)	Matériels intérieurs	Matériels extérieurs	Matériels intérieurs	Matériels extérieurs
Version à puissance faible	1,5 ± 1	1,5 ± 1,5	1,5 ± 1	1,5 ± 1,5
Version à puissance moyenne	3 ± 1	3 ± 1,5	3 ± 1	3 ± 1,5
Version à puissance élevée	6 ± 1 (DFB uniquement)	6 ± 1,5 (DFB uniquement)	6 ± 1	6 ± 1,5
Puissance optique maximale "à l'état bloqué" en dB(mW)	-30			
RIN en dB(Hz ⁻¹)	< -130		< -145	
Coefficient de réflexion minimal du système à tolérer (réflexions discrètes uniquement) en dB	-45			
Connexion des fibres	Type de connecteur/épissure et type de fibre			
Coexistence avec EPON ou GPON	non requis		requis	

8.2.3.4 Exigences de performance relatives aux paramètres et interfaces électriques

Les émetteurs de voie de retour optique selon la présente norme doivent satisfaire aux exigences relatives aux propriétés optiques de l'une des classes suivantes, voir Tableau 10.

Tableau 10 – Exigences relatives aux propriétés électriques des émetteurs de voie de retour optique R-ONU

Paramètre	Classe R1R	Classe R2R
Niveau d'entrée RF pour obtenir $m = 0,35$	+99 dB(μV)	+99 dB(μV)
Variation de l'OMI pour un niveau d'entrée RF constant sur une plage de températures assignées complète ^a	±3 dB	
Capacité de canal nominale ^b	Quatre canaux de 6,4 MHz	
Niveau d'entrée RF nominal par canal (voie de retour RF du dispositif R-ONU)	93 dB(μV) par porteuse	
Planéité	±2 dB, 5 MHz à $f_{US,max}$ MHz	
Rapport de puissance de bruit (NPR) ^c	≥38 dB sur une plage dynamique de ≥10 dB	
Niveau de puissance maximal (puissance totale, continu, aucun dommage)	120 dB(μV)	
Accès entrée électrique (pour les équipements autonomes uniquement)	Impédance: 75 Ω Connecteur: femelle comme défini dans la CEI 61169-2 ou la CEI 61169-24 Affaiblissement de réflexion: conforme à la catégorie B de la CEI 60728-3	

Tension d'alimentation	L'une des suivantes: 48 V/120 V c.c. ou 65 V / 100 V/230 V c.a. (si utilisé comme équipement autonome)
Indicateurs	Indicateur Laser actif, qui signale l'émission de lumière
dBc = décibel par rapport au niveau de signal de la porteuse	
^a L'OMI est mesuré avec insertion d'une porteuse à ondes entretenues à l'amplitude spécifiée. L'OMI et l'amplitude de porteuse spécifiés constituent le niveau de calcul recommandé pour la puissance RF composite totale à l'accès coaxial R-ONU à pleine charge. En cas d'application à quatre canaux, le niveau de chaque canal à l'accès coaxial R-ONU est inférieur de 6 dB. Voir l'Annexe A pour le guide concernant les caractéristiques de canaux. ^b La capacité de canal nominale permet de déduire le niveau d'entrée RF nominal par spécification de canal, et d'évaluer la performance d'un canal de voie de retour dans une application typique. Ces valeurs sont proposées et ne sont pas obligatoires. Il convient que les R-ONU fonctionnent avec des charges de canaux plus élevées, mais la performance peut toutefois être réduite. Voir l'Annexe A pour le guide concernant les caractéristiques de canaux et les considérations supplémentaires. ^c Il n'est pas facile de mesurer le rapport de puissance de bruit <i>NPR</i> de voie de retour R-ONU dans une liaison qui comporte un affaiblissement optique élevé. Pour mesurer le rapport de puissance de bruit, il est nécessaire d'utiliser une liaison qui comporte un affaiblissement optique relativement faible. La charge de bruit applicable à l'essai <i>NPR</i> doit correspondre à 37 MHz du bruit à large bande compris entre 5 MHz et 42 MHz avec une réjection à centrage nominal. Le <i>NPR</i> doit être vérifié par essai avec une longueur de fibre de 20 km et un affaiblissement supplémentaire produisant une puissance optique de -10 dB(mW) dans le récepteur de mesure. Le récepteur d'essai doit présenter un EINC, dans la bande de retour comprise entre 5 MHz et 42 MHz, de 2,5 pA/Hz au plus, ainsi que deux produits IM2 et IM3 avec porteuse dont la puissance est supérieure à -60 dBc à 20 % OMI par porteuse et une puissance de réception optique totale de 0 dB(mW). Il convient de placer l'affaiblissement optique dans le montage d'essai entre l'émetteur et la fibre.	

8.2.3.5 Propriétés dynamiques de l'émetteur de voie de retour R-ONU

Le dispositif R-ONU doit satisfaire aux caractéristiques d'activation et de désactivation spécifiées au Tableau 11. Les caractéristiques sont illustrées à la Figure 4. Les caractéristiques d'activation et de désactivation doivent être vérifiées par essai avec une porteuse RF à onde entretenue (CW) unique.

Tableau 11 – Spécifications d'activation et de désactivation R-ONU

Intervalle	Spécification	Valeur
N/A	Puissance à laquelle le dispositif R-ONU ne doit pas être activé	≤67 dB(μV)
N/A	Puissance à laquelle le dispositif R-ONU doit être activé ^a	≥76 dB(μV)
N/A	Puissance il convient d'activer le dispositif R-ONU ^a	≥73 dB(μV)
N/A	Puissance de niveau "actif" à laquelle il convient de ne pas activer le laser R-ONU avec une entrée RF activation/désactivation à impulsions (cycle de service de 50 %, période de 100 ns)	≤70 dB(μV)
N/A	Puissance de niveau "actif" à laquelle il convient d'activer le laser R-ONU dans la période T1 (définie ci-dessous et à la Figure 4), lorsque la vérification par essai est effectuée avec une entrée RF activation/désactivation à impulsions sous un cycle de service de 50 %, avec activation 50 ns et désactivation 50 ns.	≥76 dB(μV)
N/A	Puissance à laquelle le dispositif R-ONU ne doit pas être désactivé ^b	≥61 dB(μV)
N/A	Puissance à laquelle il convient de ne pas désactiver le dispositif R-ONU ^b	≥58 dB(μV)
N/A	Puissance à laquelle le dispositif R-ONU doit être désactivé	≤52 dB(μV)
T1: Ne pas activer trop tardivement	Durée maximale entre l'application de RF et la puissance optique de 90 % (lecture du masque côté tardif)	1,3 μs

Intervalle	Spécification	Valeur
T2: Ne pas activer trop rapidement	Temps de montée minimal de la puissance optique compris entre 10 % et 90 % (lecture entre le masque côté tardif de 10 % et le masque côté précoce de 90 %)	100 ns
T3: Ne pas activer trop lentement	Temps de montée maximal de la puissance optique (lecture entre le masque côté précoce de 10 % et le masque côté tardif de 90 %). En cas de dépassement de la puissance optique, appliquer la valeur une fois le dépassement supprimé.	1,0 μ s
Ne pas activer par erreur	Puissance à laquelle il convient qu'une impulsion isolée unique ≤ 90 ns n'active pas le laser	≤ 125 dB(μ V)
T11: Ne pas désactiver trop tardivement	Durée maximale qui s'écoule entre la suppression de RF (définie comme la réduction de RF à 52 dB(μ V)) et le moment où la porteuse optique chute à 10 % de son amplitude en régime permanent (lecture du masque côté tardif)	1,6 μ s
T12: Ne pas désactiver trop rapidement	Temps de descente minimal de la puissance optique à 90-10 %	100 ns
T13: Ne pas désactiver trop lentement	Temps de descente maximal de la puissance optique à 90-10 %	1,0 μ s
T14: Ne pas désactiver par erreur	Lorsque le seuil de désactivation est > 58 dB(μV), le dispositif R-ONU ne doit pas réduire la puissance laser en dessous de 90 % pour une baisse subite de la puissance d'entrée RF à ≤ 52 dB(μV) dont la durée est ≤ 600 ns. Pour le même seuil de désactivation, le dispositif R-ONU peut permettre à la puissance laser de rester au-dessus de 90 % pour une baisse subite de la puissance d'entrée RF à ≤ 52 dB(μV) dont la durée est > 600 ns. Lorsque le seuil de désactivation est ≤ 58 dB(μV), le dispositif R-ONU ne doit pas réduire la puissance laser en dessous de 90 % pour une baisse subite de la puissance d'entrée RF à ≤ 52 dB(μV) dont la durée est ≤ 400 ns. Pour le même seuil de désactivation, le dispositif R-ONU peut permettre à la puissance laser de rester au-dessus de 90 % pour une baisse subite de la puissance d'entrée RF à ≤ 52 dB(μV) dont la durée est > 400 ns^c.	Voir colonne de gauche
Il convient de maintenir l'activation avec entrée d'accélération	Lorsqu'un niveau de puissance optique de 90 % est atteint lors de l'activation, il convient que la puissance optique ne baisse pas en dessous de 90 % de son amplitude en régime permanent	≤ 12 μ s
Il convient d'atteindre et de maintenir une stabilité en régime permanent lors de l'activation	Durée maximale après application d'une entrée RF d'activation valide au cours de laquelle il convient que le modulateur optique établisse et maintienne une stabilité de niveau de signal RF à $\pm 0,1$ dB, ladite stabilité étant observée à la sortie d'un convertisseur optique-électrique de référence (atteindre et maintenir également la performance requise NPR)	1,3 μ s
^a Pour permettre une certaine souplesse de mise en œuvre de l'activation du laser et assurer une meilleure immunité au bruit du système RFoG, le niveau "doit activer" peut être augmenté de 3 dB au plus par rapport au niveau "il convient d'activer". Ceci retarde le début absolu de l'activation du laser d'une durée inférieure à 1/3 d'une période de symbole. ^b Pour permettre une certaine souplesse de mise en œuvre de la désactivation du laser et assurer une meilleure immunité au bruit du système RFoG, le niveau "ne doit pas désactiver" peut être augmenté de 3 dB au plus par rapport au niveau "il convient de ne pas désactiver". ^c Pour une baisse subite de la puissance d'entrée RF à 52 dB(μV), un signal d'entrée valide demeure inférieur au seuil supérieur (61 dB(μV)) pendant une durée plus longue que celle où il demeure inférieur au seuil inférieur (58 dB(μV)).		

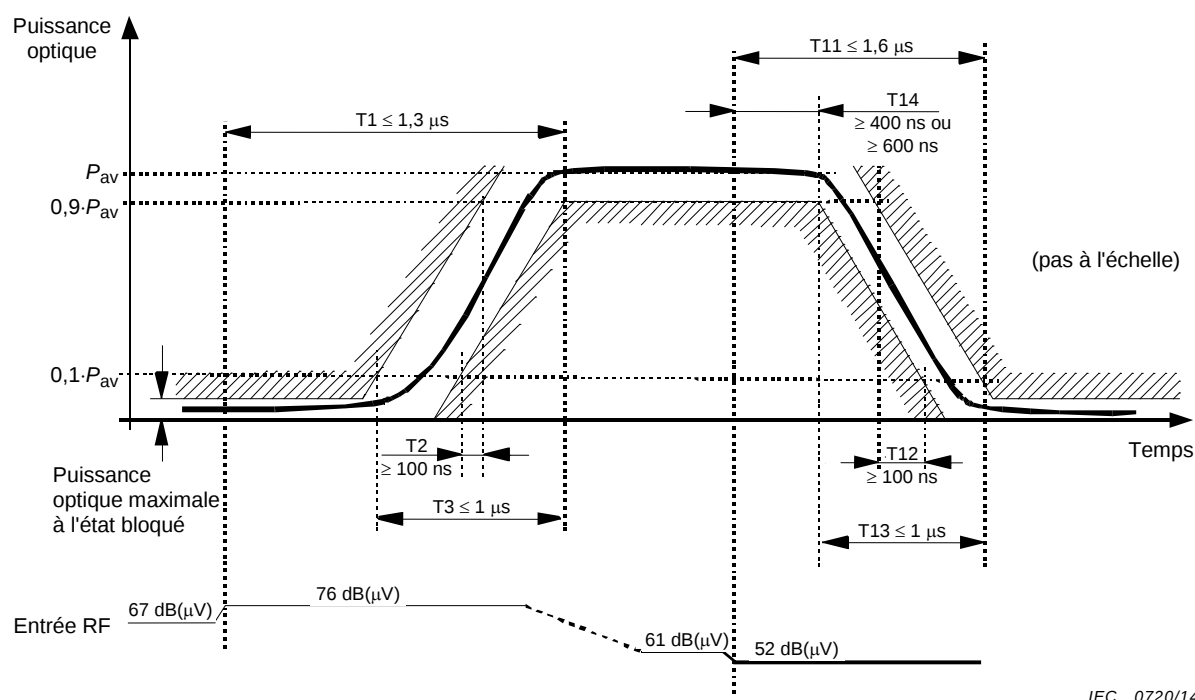


Figure 4 – Schéma d'activation et de désactivation R-ONU

Noter que les caractéristiques d'activation et de désactivation présentées à la Figure 4 s'appliquent aux transitions entre une puissance RF comprise dans le domaine de puissance "désactivation" et une puissance RF comprise dans la plage normale de fonctionnement du dispositif R-ONU.

8.2.4 Fonctions de commande à distance

8.2.4.1 Description générale

La présente norme définit la fonction de commande à distance facultative d'un dispositif R-ONU (unité de réseau optique RFoG). Ce dispositif est un nœud de fibres utilisé dans les réseaux RFoG (RF sur fibre de verre) pour convertir les signaux optiques en signaux RF pour les signaux de voie directe et les signaux RF en signaux optiques pour les signaux de voie de retour.

La commande à distance spécifiée dans le présent document comprend des fonctions de signal RF de voie directe et de voie de retour, ainsi que les fonctions de signal optique de voie de retour du dispositif R-ONU.

Pour la commande à distance, un gestionnaire de commande à distance RFoG installé dans la tête de réseau est exigé. Le gestionnaire de commande à distance fournit les instructions de commande à distance, qui sont transmises "dans une bande" via la voie de transmission directe de réseau RFoG.

8.2.4.2 Configuration du système de commande à distance

La Figure 5 donne un exemple de configuration du système de commande à distance.

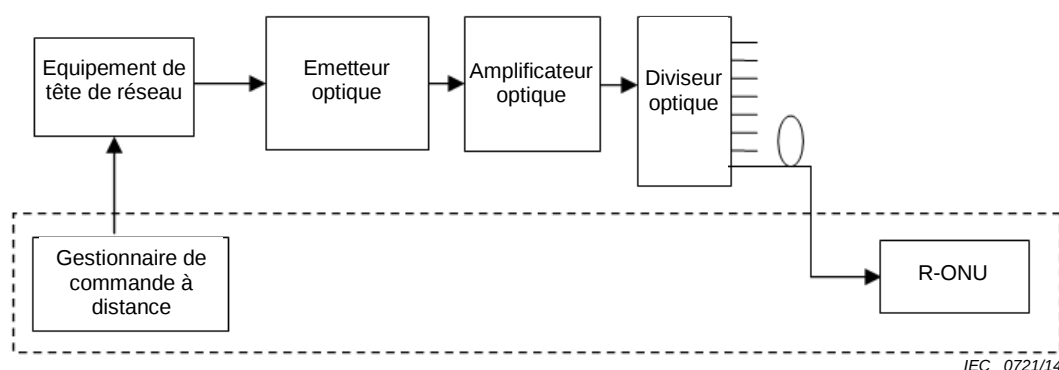


Figure 5 – Exemple de configuration du système de commande à distance

Le signal de commande à distance est généré par le gestionnaire de commande à distance situé dans la tête de réseau. Il s'agit d'un signal à multiplexage en fréquence avec les signaux de voie directe présents. Dans le dispositif R-ONU, le signal de commande à distance est démodulé, puis traité.

8.2.4.3 Eléments de commande à distance

Les éléments de commande à distance définis dans le présent document sont présentés au Tableau 12.

Il convient de régler simultanément la sortie RF sur ON dans tous les dispositifs R-ONU.

Tableau 12 – Eléments de commande à distance

Elément commandé	Fonction
Signal de sortie RF de voie directe	Commande du signal de sortie RF de voie directe de la fonction OFF/ON du dispositif R-ONU par le gestionnaire de commande à distance, de manière individuelle.
	Régler le signal de sortie RF ON dans tous les dispositifs R-ONU à l'aide du gestionnaire de commande à distance, simultanément. ^a
Signal optique de voie de retour	Commande du signal optique de voie de retour de la fonction OFF/ON du dispositif R-ONU par le gestionnaire de commande à distance, de manière individuelle.
^a En l'absence de commande simultanée, commander le dispositif R-ONU sur la base des informations fournies par le gestionnaire de commande à distance.	

8.2.4.4 Spécification de la communication de données

8.2.4.4.1 Spécification fondamentale de la communication de données

La communication de données fondamentale est présentée au Tableau 13.

Tableau 13 – Spécification fondamentale de la communication de données

Elément	Spécification
Taux de transfert des données	19,2 kbit/s ± 0,5 %
Synchronisation	Mode asynchrone
Mode de communication	Communication unilatérale

Format de données	1 bit de départ 8 bit utile 1 bit d'arrêt 1 bit de parité, paire
Contrôle d'erreurs	BCC (XOR)

8.2.4.4.2 Format de données

Le format de données du mode asynchrone est présenté à la Figure 6.

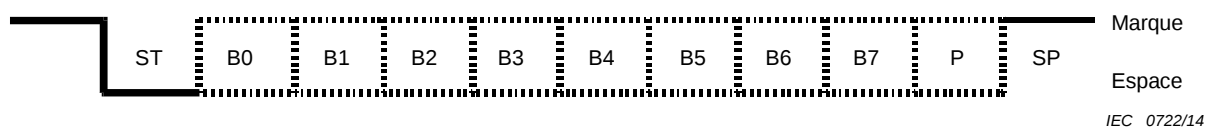


Figure 6 – Format de données

8.2.4.4.3 Paquet de données

La structure du paquet de données est présentée à la Figure 7 et son contenu figure au Tableau 14 et au Tableau 15.

En-tête (1 o)	Adresse R-ONU (6 o)	Commande de contrôle (1 o)	Contrôle d'erreurs (1 o)
------------------	------------------------	-------------------------------	-----------------------------

Figure 7 – Structure du paquet de données

Tableau 14 – Contenu des paquets de données

En-tête (1 o)	Utilisé avec la commande de contrôle ci-dessous
Adresse R-ONU (6 o)	Adresse R-ONU: 6 o, voir Tableau 15
Commande de contrôle (1 o)	Les commandes de contrôle R-ONU sont mises en œuvre par la combinaison de l'octet en-tête (header) et de l'octet commande de contrôle (control command), comme défini en 8.2.4.5.
Contrôle d'erreurs (1 o)	Calcul XOR pour chaque donnée entre l'en-tête et la commande de contrôle dans la structure de paquet

Tableau 15 – Adresse R-ONU

3 o	Vendor_ID	ID spécifique au fournisseur (identique à OUI des normes IEEE)
3 o	Decoder_ID	ID unique à R-ONU

8.2.4.5 Processus de transfert de commande

Le processus de transfert de commande est illustré à la Figure 8.

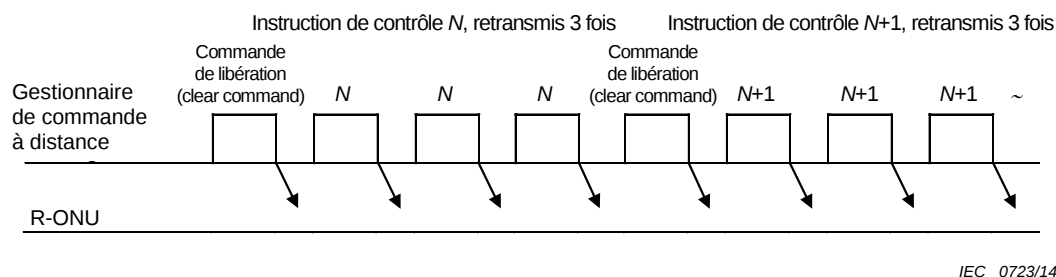


Figure 8 – Processus de transfert de commande

Chaque processus de transfert de commande entre le gestionnaire de commande à distance et le dispositif R-ONU comporte 4 paquets de données. Un paquet "commande de libération" ("Clear Command") (défini en 8.2.4.7) suivi d'un paquet d'instruction de commande, retransmis à 3 reprises. La spécification de synchronisation pour un processus de transfert de commande complet est spécifiée en 8.2.4.6.

Le dispositif R-ONU doit recevoir un paquet "Commande de libération" suivi d'au moins 2 (sur 3) paquets de commande sans erreur de même contenu dans la fenêtre temporelle spécifiée, afin d'exécuter la commande souhaitée.

8.2.4.6 Synchronisation du processus de transfert de commande

La spécification de la synchronisation de la transmission des données est présentée à la Figure 9 et au Tableau 16.

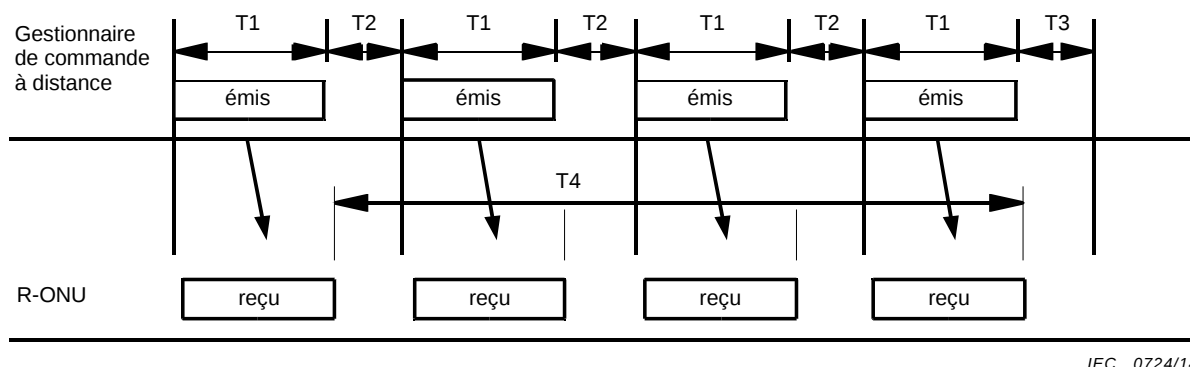


Figure 9 – Synchronisation de la transmission des données

Tableau 16 – Recommandation pour la synchronisation de la transmission des données

Elément	Temps ms	
T1: Temps de transmission du signal de commande	$5,156 \pm 0,5 \%$	Correspondant à la longueur en bits, 99 bits
T2: Intervalle de transmission du signal de commande	$3 < T2 < 90$	10 ms, typique
T3: Temps précédant la transmission du signal de commande suivant réglé après transmission du troisième signal de commande	$3 < T3 < 90$	10 ms, typique Dans le cas où le processus d'interruption (mise à jour de la base de données, etc.) n'est pas exécuté par ordinateur individuel

T4: Temps d'attente par R-ONU	<300	La mémoire tampon est libérée au bout de 300 ms
-------------------------------	------	---

8.2.4.7 Octets de commande

Les octets de commande pour le système de commande à distance sont énumérés au Tableau 17. Pour tous les octets de commande, l'en-tête doit être 0xF0.

Tableau 17 – Codes d'instruction de commande à distance

Commande	Octet d'instruction de commande
Commande de libération	0xF1
Activer la voie directe RF de R-ONU	0xF2
Désactiver la voie directe RF de R-ONU	0xF3
Activer la voie de retour RF de R-ONU	0xF4
Désactiver la voie de retour RF de R-ONU	0xF5
Activer l'atténuateur RF de 6 dB dans la voie de retour de R-ONU	0xF6
Activer la voie de retour optique de R-ONU	0xF7
Désactiver la voie de retour optique de R-ONU	0xF8
Réservé pour une extension ultérieure	0xF9 à 0xFF
NOTE Au Japon, différents octets d'instruction de commande à distance sont valides, qui sont protégés par la politique de DPI de Japan Cable Labs.	

8.2.4.8 Modulation du signal de commande à distance

La spécification du signal de porteuse du gestionnaire de commande à distance est présentée au Tableau 18. La modulation est MDF.

Tableau 18 – Spécification de modulation pour le signal de commande à distance

Élément	Spécification
Modulation	MDF
Codage	NRZ
Taux de transfert des données en kbit/s	19,2 ± 0,5 %
Niveau de la porteuse en dB	0 à 10 ^a
Fréquence porteuse en MHz	70 à 120 ^b
Précision de fréquence en kHz	±15
Déplacement de fréquence en kHz	75 ^c
Largeur de bande en kHz	±250 ^d
^a Comparé au niveau de signal de radiodiffusion numérique. ^b Les exploitants de réseaux doivent définir une fréquence porteuse appropriée avec les fournisseurs. Au Japon, la porteuse est en général de 75,5 MHz. Dans le cas où cette porteuse perturbe d'autres systèmes, les exploitants de réseaux japonais sont susceptibles de spécifier une plage de fréquences comprise entre 70 MHz et 76 MHz au lieu de 75,5 MHz. ^c Marque: -75 kHz, Espace: 75 kHz ^d Moins de -45 dB par rapport au niveau de crête du signal MDF. Dans ce cas, les conditions de mesure sont les suivantes: ÉTENDUE 1 MHz, RBW 30 kHz, VBW 30 kHz, CF définie sur la fréquence porteuse.	

8.3 Spécifications de la tête de réseau

8.3.1 Spécifications de la voie directe de la tête de réseau

Un dispositif V-OLT comprend généralement un émetteur optique de voie directe suivi d'un ou de plusieurs amplificateurs optiques en cascade afin d'obtenir la puissance de sortie optique totale souhaitée pour alimenter l'ODN.

Les émetteurs optiques de voie directe pour diverses applications sont spécifiés en 6.1 de la CEI 60728-6:2011. La classe F1 est celle qui sollicite les spécifications relatives à la capacité de seuil DBS de cet émetteur, et représente par conséquent la classe recommandée pour les systèmes RFoG. Des informations supplémentaires peuvent être obtenues auprès de la CEI 60728-13-1:2012 où les extensions de fréquences des émetteurs optiques de voie directe jusqu'à 2 600 MHz sont incluses. La spécification de gammes de longueurs d'ondes optiques doit toutefois être limitée à $1\,555\text{ nm} \pm 5\text{ nm}$, afin d'assurer la compatibilité avec les spécifications GPON et EPON.

8.3.2 Spécifications de la voie de retour de la tête de réseau: R-RRX

Les récepteurs de voie de retour optique sont spécifiés en 6.3 de la CEI 60728-6:2011 dans la classe E. Toutefois, pour les applications RFoG, de meilleures performances de bruit sont exigées, donnant lieu à la définition des classes E1R et E2R (Tableau 19). Les récepteurs de classe E1R sont appliqués dans les applications de portée étendue avec un bilan des pertes ODN maximal. Le présent paragraphe décrit les spécifications relatives aux récepteurs de voie de retour RFoG (R-RRX) dont il convient, lorsqu'ils sont utilisés, qu'ils assurent un fonctionnement correct du système RFoG. Les spécifications d'exigences proposent d'utiliser des modems 3.0 DOCSIS avec quatre porteuses de voie de retour simultanées provenant d'un logement, en utilisant les formats de modulation à densité la plus élevée autorisés au titre de la spécification 3.0 DOCSIS.

Les fabricants doivent au moins publier les informations sur les paramètres énumérés au Tableau 19. Les chiffres indiqués sont des valeurs recommandées.

**Tableau 19 – Exigences de publication des données
pour les récepteurs de voie de retour optique**

Paramètre	Classe E1R	Classe E2R
Densité de courant de bruit équivalent d'entrée en pA/√Hz ^a	<1	<2,5
Niveau de sortie de référence avec OMI = 0,35	>76 dB(μV)	
NPR du récepteur, en dB ^b	>38	
Connexion des fibres	Type de connecteur/épissure et type de fibre	
Consommation d'énergie	–	
Gamme de longueurs d'ondes	1 250 nm à 1 650 nm	
Puissance d'entrée optique	(-25 à -16) dB(mW)	(-21 à -12) dB(mW)
Plage de réglage du niveau de sortie	>18 dB	
Plage CAG du niveau de sortie	pas de CAG	
Temps d'activation du récepteur ^c	<0,25 μs	
Planéité	<2 dB	
Plage de fréquences	5 à f _{US,max} MHz	
Tension d'alimentation	L'une des suivantes: 48 V/120 V c.c. ou 65 V/230 V c.a. (classe E: pour les équipements autonomes uniquement)	
Dimensions mécaniques	Pour une exploitation dans les immeubles: version baie 19"	
^a Mesure effectuée à la puissance d'entrée optique la plus faible.		
^b Pour variation de la puissance d'entrée optique ≥5 dB avec OMI = 0,35.		
^c Mesure effectuée entre le moment où le signal d'entrée optique atteint tout d'abord 90 % de sa valeur nominale et où le signal de sortie électrique atteint 90 % de sa valeur en régime permanent.		

Les récepteurs optiques conformes à la présente norme doivent satisfaire aux exigences données au Tableau 20.

Tableau 20 – Exigences de performance pour les récepteurs de voie de retour optique

Paramètre	Classe E1R	Classe E2R
Sensibilité (énergétique) de la photodiode interne	$\geq 0,8$ A/W pour la gamme de longueurs d'onde complète	
Accès de sortie électrique	Impédance: 75 Ω Connecteur: femelle comme défini dans la CEI 61169-2 ou la CEI 61169-24 Affaiblissement de réflexion: selon la catégorie B définie dans la CEI 60728-3	
Coefficient de réflexion	>40 dB	
Indicateurs	Défaillance de la grandeur optique d'entrée	
Alarmes	Défaillance de la grandeur optique d'entrée	

Annexe A (informative)

Notes relatives à la mise en œuvre

Dans le cadre de la mise en œuvre de systèmes RFoG, il convient de tenir compte des notes ci-après:

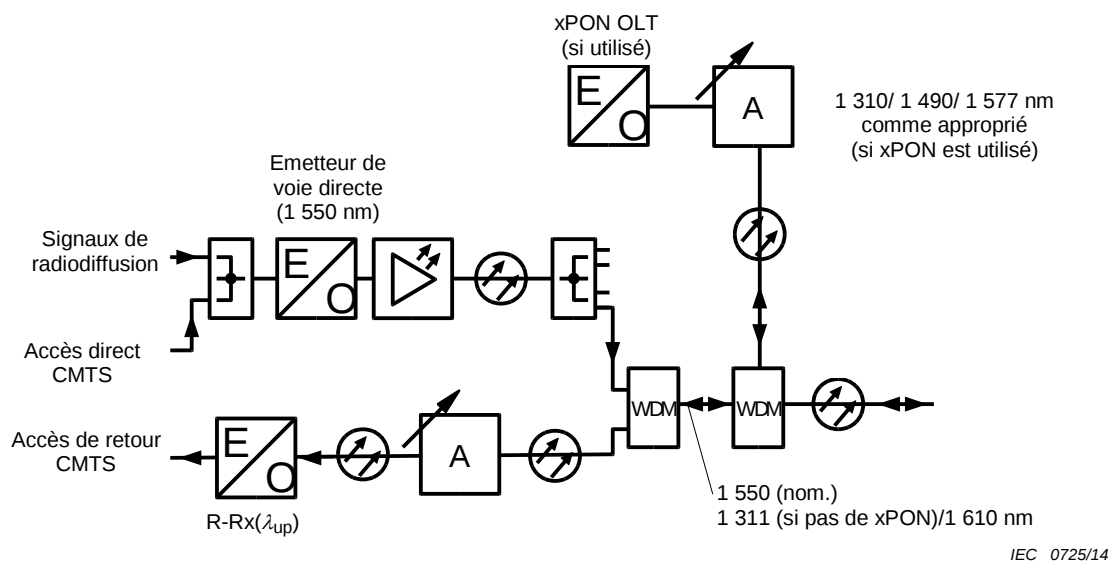
- a) Une combinaison de deux dispositifs (modem par câble ou décodeur) peuvent émettre en même temps sur le même PON ou groupe de PON combiné à un récepteur de voie de retour optique. Si cela se produit, deux émetteurs optiques s'activent simultanément. S'il s'avère que la longueur d'onde des émetteurs est suffisamment proche, il est possible que les deux émetteurs génèrent une interférence mutuelle au niveau du récepteur de voie de retour, et ne puissent permettre aucune transmission.
- b) Il convient de préférence que le CMTS limite les modems par câble de sorte que seul un modem-câble dans un groupe de récepteurs optiques de la tête de réseau transmet des données à tout moment spécifié. Si plusieurs ODN sont combinés à un récepteur optique unique, il convient alors d'appliquer la restriction à tous les modems par câble du groupe combiné.
- c) Pour un fonctionnement RFoG avec des profils de rafales utilisant une modulation 64-QAM, des longueurs de préambule de 32 symboles ou plus peuvent être requises. Pour des ordres de modulation inférieurs, des préambules plus courts peuvent fonctionner de manière acceptable, mais il convient cependant de consulter le fournisseur CMTS. Si les valeurs par défaut CMTS de la longueur de préambule doivent être modifiées, il convient également de consulter le fournisseur CMTS.
- d) Pour assurer le bon fonctionnement du dispositif R-ONU, il convient que le niveau de fonctionnement des signaux de voie de retour des boîtiers décodeurs spéciaux dudit dispositif, soit égal au niveau d'un canal DOCSIS.
- e) Lorsqu'une longueur d'onde de voie de retour de 1 310 nm est choisie, il n'est alors pas possible de partager le réseau optique passif physique avec un réseau EPON ou GPON, étant donné que ces deux réseaux standard utilisent une longueur d'onde de 1 310 nm pour la signalisation de voie de retour.
- f) La compatibilité avec les réseaux PON de 10 Gbit/s est facultative en raison du coût de blocage de la longueur d'onde des données de voie directe de 1 577 nm. Un fabricant R-ONU peut choisir de la prendre en charge, ou un filtre de blocage externe peut être utilisé, ou un réseau PON 10 Gbit/s distinct peut être mis à disposition au même emplacement de répartition.
- g) Des filtres de blocage peuvent également être requis si une porteuse optique à une longueur d'onde 1 530 nm est utilisée dans la même fibre.
- h) Le bilan des pertes minimum pour tout réseau PON est défini comme un bilan inférieur de 5 dB au bilan des pertes maximum. L'objectif principal est de réduire au minimum la variation de la performance de voie de retour. Les systèmes RFoG et PON mixtes tiennent également compte de la diaphonie entre le réseau PON et le système RFoG. Si un affaiblissement est à ajouter à un système RFoG, il peut être ajouté audit système uniquement dans le parcours du signal de voie de retour. La voie directe peut être adaptée en fournissant simplement une porteuse optique de voie directe d'une longueur d'onde de 1 550 nm et à amplitude réduite. Pour les systèmes RFoG et PON, il est nécessaire d'ajouter un affaiblissement supplémentaire à l'interface PON. Voir Figure A.1 pour une explication concernant l'emplacement d'ajout d'un affaiblissement afin que l'installation complète relève de la spécification. Noter que l'affaiblissement MRL est inclus dans le bilan des pertes du système. Noter également que la Figure A.1 couvre deux cas, à savoir avec et sans un réseau xPON (EPON ou GPON). La longueur d'onde de 1 310 nm (lorsqu'elle est utilisée) est traitée de différentes manières avec et sans xPON.

- i) La capacité de canal de voie de retour est supposée être de quatre canaux DOCSIS de 6,4 MHz, comme indiqué au Tableau 10: spécifications du niveau d'entrée R-ONU de voie de retour et des réponses.

Le Tableau 10 indique également le "niveau d'entrée RF nominal par canal" et le "niveau d'entrée RF pour obtenir $m = 0,35$ ". Noter que le niveau par porteuse est inférieur de 6 dB au niveau de puissance total. Ceci prend en compte l'hypothèse que le système est chargé avec quatre canaux. Les hypothèses d'affaiblissement de liaison et de performance reposent sur un fonctionnement à quatre canaux. Le système peut être conçu pour un fonctionnement avec un nombre de canaux réduit, ce qui produirait un OMI et un CNR plus élevés pour chaque canal, mais une capacité de canal moindre pour le système. Le système pourrait également être conçu pour un fonctionnement avec un plus grand nombre de canaux, ce qui produirait un OMI et un CNR moins élevés pour chaque canal, mais permettrait une plus grande capacité du système. La "capacité de canal nominale" et le "niveau d'entrée RF nominal par canal" ne sont pas des spécifications obligatoires. La spécification "niveau d'entrée RF pour obtenir $m = 0,35$ " constitue une exigence normative. On doit toutefois veiller à ne pas trop s'écarter de la spécification relative au niveau d'entrée RF nominal par canal, ou les seuils d'activation et de désactivation du dispositif R-ONU peuvent ne pas fonctionner correctement avec le niveau de canaux réel.

- j) Les caractéristiques d'activation et de désactivation spécifiées en 8.2.3.5, doivent être mesurées avec un signal à ondes entretenues. Les temps réels d'activation et de désactivation du laser sont différents lorsque le trafic DOCSIS réel alimente le dispositif R-ONU. Lorsque des rafales consécutives, provenant de modems par câble différents installés en aval de différents dispositifs R-ONU, se produisent avec les intervalles de garde minimum admis dans la spécification 3.0 DOCSIS, les spécifications définies en 8.2.3.5 permettent l'activation d'un second dispositif R-ONU avant la désactivation du premier dispositif R-ONU, ce qui rend ainsi possible un battement optique.
- k) Le CMTS ou tout autre contrôleur CAG à longue boucle ordonne aux émetteurs RF de voie de retour installés dans les locaux d'augmenter ou de réduire leur niveau de transmission jusqu'à l'obtention du niveau correct à l'entrée du CMTS ou d'un autre contrôleur. Il est important d'aligner le réseau de voie de retour RFoG de sorte que le niveau RF du dispositif R-ONU soit correct lorsque le niveau de l'entrée du CMTS ou d'un autre contrôleur est également correct.

Il est recommandé d'effectuer l'alignement sur un dispositif R-ONU avec un affaiblissement optique élevé entre ce dernier et le récepteur de voie de retour, dans la mesure où les dispositifs R-ONU qui alimentent des bilans des pertes optiques élevés requièrent des niveaux d'entrée RF élevés pour compensation. Ainsi, les dispositifs R-ONU avec des bilans des pertes optiques réduits sont exploités avec des niveaux RF également réduits. Si l'alignement est en revanche effectué sur un dispositif R-ONU avec un bilan des pertes optiques faible, les émetteurs de voie de retour de l'entrée RF des dispositifs R-ONU avec un bilan des pertes optiques élevé produisent un bruit d'écrêtage. Les dispositifs R-ONU avec un bilan des pertes optiques élevé présentent un *NPR* moyen inférieur au niveau d'entrée RF nominal, mais utilisent des niveaux RF supérieurs aux niveaux RF nominaux. Les dispositifs R-ONU avec un bilan des pertes optiques faible présentent un *NPR* moyen au niveau d'entrée RF nominal, mais utilisent des niveaux RF inférieurs aux niveaux RF normaux.



NOTE: les deux MRL peuvent être placés dans n'importe que ordre dans la voie de signal ou peuvent se trouver dans le même bloc.

Figure A.1 – Installation des atténuateurs lorsque l'affaiblissement du système est trop faible

Annexe B (informative)

Spécification de l'affaiblissement du système

B.1 Généralités

Le système RFoG doit fonctionner avec un affaiblissement du système d'au moins 25 dB dans toutes les directions. Sur la base de la Figure 1, noter que cet affaiblissement est défini entre l'entrée et le MRL qui combine les signaux de voie de retour et de voie directe à l'entrée d'un R-ONU. Le système RFoG peut fonctionner à des niveaux d'affaiblissement plus élevés. Cette annexe est destinée à fournir un guide concernant l'affaiblissement qui peut être toléré. Le sens de la voie de retour et de la voie directe doivent tous deux être considérés, comme l'un ou l'autre peut être le facteur de limitation. Outre d'autres considérations, on peut souhaiter noter une conversion ou une transition définitive (afin de conserver le système RFoG) vers une autre forme de PON, en observant les bilans des pertes qu'il tolère. Un facteur à prendre en considération dans une transition comprendrait un affaiblissement du système supplémentaire dû à des dispositifs MRL ajoutés (ajoutés ou se substituant aux dispositifs d'origine), et l'effet potentiel sur le dispositif RFoG et le système PON.

B.2 Considérations relatives à la voie directe

En utilisant des émetteurs optiques HFC traditionnels, la puissance d'injection maximale de la fibre de grande longueur peut être de 16 dB(mW), entraînant un bilan des pertes tolérable de $16 - (-5) = 21$ dB, inférieur au bilan requis. Toutefois, un exploitant peut améliorer le bilan des pertes de différentes manières:

- a) De nombreux émetteurs optiques utilisent aujourd'hui des stratégies d'atténuation DBS, qui génèrent une puissance de sortie plus élevée sans atteindre le seuil DBS. Le seuil DBS peut typiquement être élevé jusqu'à 4 dB au plus, produisant simplement un bilan des pertes de 25 dB.
- b) Des longueurs de fibres plus courtes permettent des puissances d'injection plus élevées. Par exemple, si la distance entre la tête de réseau et le diviseur est de 5 km, la puissance d'injection peut alors être d'environ 4 dB plus élevée que la puissance d'injection pour un réseau PON d'une portée de 20 km. Noter que pour calculer l'effet sur la DBS, il est nécessaire d'inclure uniquement la distance des fibres par rapport à la première division, étant donné que la puissance chute habituellement de manière suffisante à ce point, de sorte qu'elle ne constitue aucunement une source de problème. Noter également que le réseau PON est défini pour inclure le MRL, et que ce dernier se situe généralement si près de l'émetteur que la puissance d'injection qui contribue à la DBS représente la puissance optique après l'affaiblissement du MRL. Ainsi, la puissance qui permet de calculer les effets DBS est de 1 dB ou environ inférieure à la puissance d'injection réelle, réduite par l'affaiblissement du MRL.
- c) Les types de fibres plus récents proposent une meilleure limitation de la DBS. Ainsi, si une nouvelle fibre est installée à partir du système de tête de réseau, on peut envisager d'utiliser cette fibre afin d'améliorer la performance.

Noter qu'à des niveaux de puissance optique supérieurs, il peut exister des réglementations de sécurité supplémentaires qui doivent être observées. Des possibilités supplémentaires d'endommagement des connecteurs et d'autres composants existent également. Un fournisseur de services qui envisage une exploitation à des niveaux optiques plus élevés doit avoir connaissance de ces questions.

Bien évidemment, si une transmission exclusivement numérique est prévue sur le réseau RFoG, la puissance optique au niveau du dispositif R-ONU peut alors être inférieure, et les considérations ci-dessus peuvent être modifiées en conséquence. Dans ce cas, il peut être

possible de réduire la puissance optique de 3 dB à 5 dB, par comparaison à la puissance requise si des signaux analogiques sont acheminés. Une telle opération ne représente aucunement une violation de la présente norme.

Il convient également de tenir compte des normes CEI 60728-13 et CEI 60728-13-1 pour les considérations relatives à la voie directe.

B.3 Considérations relatives à la voie de retour

Dans le sens de la voie de retour, l'affaiblissement maximal admissible est déterminé par la puissance d'injection du dispositif R-ONU, le type de modulation des porteuses de voie de retour, le nombre de porteuses de voie de retour et la sensibilité du récepteur de voie de retour. Noter que le bilan des pertes de voie de retour admissible est différent du calcul des niveaux de voie de retour à partir des sources RF du logement. Une fois défini l'affaiblissement optique de voie de retour pour un PON particulier, le niveau de réception prévu du système de tête de réseau est à choisir de sorte que l'OMI de l'émetteur de voie de retour soit "correct", comme défini ailleurs dans la présente norme.

A titre d'exemple, considérer une puissance d'injection minimale de voie de retour de 2 dB(mW), quatre signaux 64-MAQ et un récepteur qui peut fournir 28 dB C/N à un niveau d'entrée de -23 dB(mW). Cela produit un affaiblissement du système maximum de 25 dB comme recommandé. Des méthodes d'amélioration de l'affaiblissement peuvent cependant exister:

- a) Certains fabricants fournissent des récepteurs optiques de plus grande sensibilité.
- b) Si l'on prévoit d'exploiter uniquement deux porteuses de voie de retour et non quatre, un OMI supérieur de 3 dB du dispositif R-ONU peut être utilisé, améliorant ainsi le bilan des pertes.
- c) Certains fournisseurs proposent des amplificateurs optiques qui peuvent être disposés de manière stratégique dans l'installation.
- d) L'utilisation de l'option avec une longueur d'onde de 1 610 nm et une plus grande puissance permet un plus grand affaiblissement du système.

Ces méthodes peuvent être combinées afin de permettre l'association optique de deux réseaux PON de voie de retour, préservant de ce fait les récepteurs de voie de retour. Il convient toutefois de prévoir de nombreux problèmes d'altération comme indiqué ci-dessous.

- e) L'affaiblissement du système peut se révéler être plus élevé que prévu après une rupture à laquelle il est remédié dans des conditions défavorables. Les techniques de conception normalisées prévoient une "marge de réparation" (au moins 1 dB et jusqu'à 3 dB au plus) pour ce genre de situation. Cela signifie qu'un affaiblissement effectif de 25 dB permettrait au concepteur de prévoir un affaiblissement de 24 dB pour le premier jour.
- f) Le bilan optique peut présenter une détérioration jusqu'à 1 dB en raison des problèmes de dispersion au niveau de l'installation.
- g) L'OMI au niveau du logement peut présenter plusieurs décibels de variation, selon les affaiblissements réels du système, la sortie du récepteur, l'affaiblissement entre le récepteur et le CMTS, la précision de réglage du niveau CMTS, etc.

Un exemple de répartition de performance pour le système de transmission en voie de retour est spécifié comme illustré à la Figure B.1.

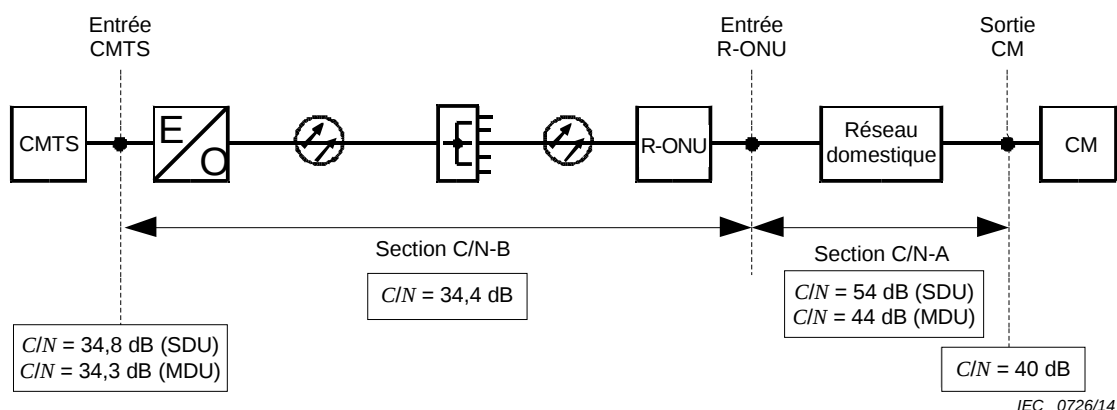


Figure B.1 – Répartition de performance du système de transmission de voie de retour

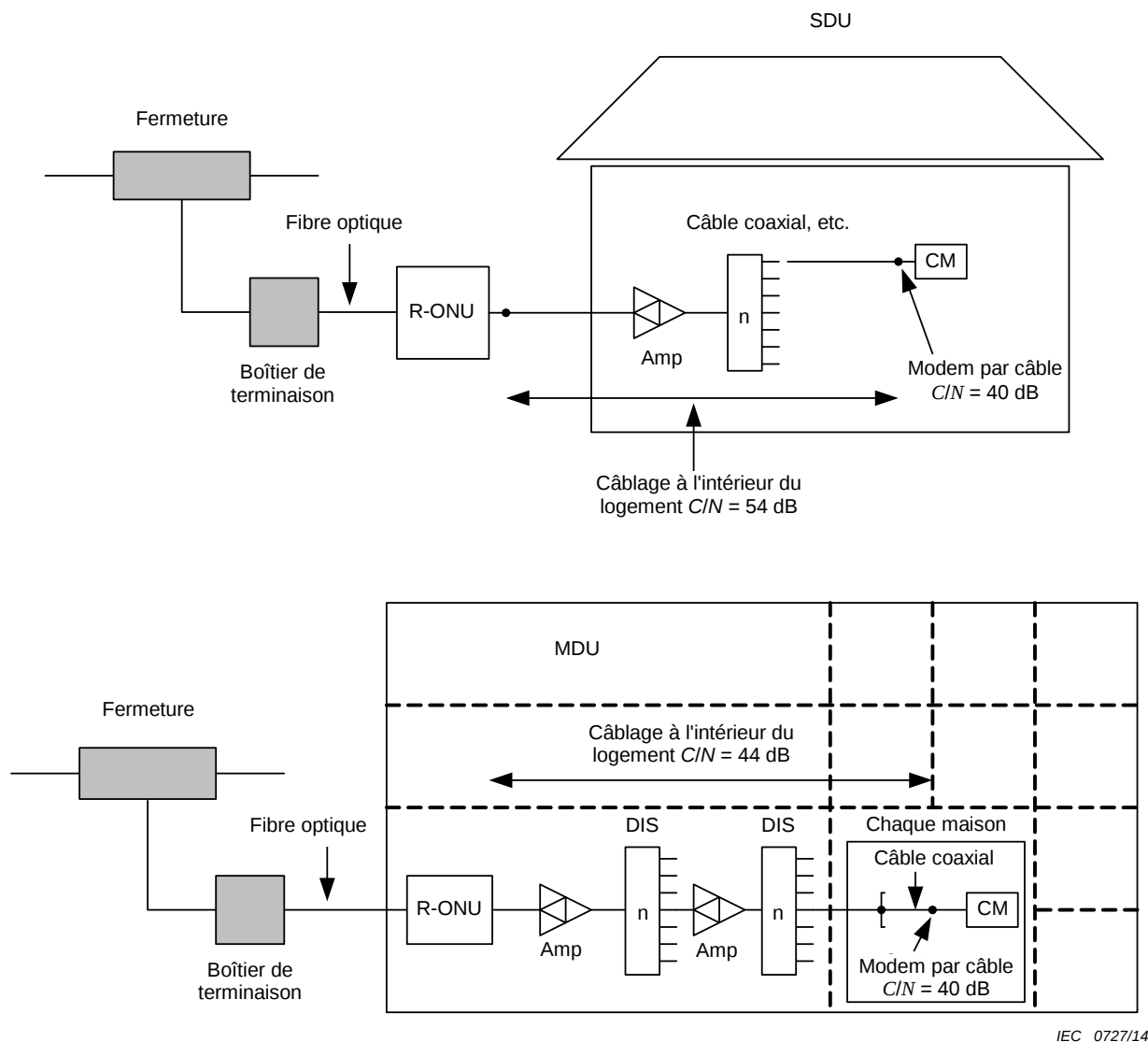
Le rapport porteuse sur bruit minimal à la sortie RF d'un modem par câble est déduit des émissions parasites de ce dernier, admises au titre de la spécification de la couche physique DOCSIS.

Le rapport porteuse sur bruit du réseau domestique (section C/N-A) est spécifié sur la base des méthodes d'installation actuelles et des niveaux de sortie RF minimaux recommandés dans les spécifications de la couche physique DOCSIS. La répartition du rapport C/N pour la section de câblage à l'intérieur du logement/du bâtiment est illustrée à la Figure B.1. La répartition du rapport C/N pour le câblage à l'intérieur du logement pour une unité résidentielle simple (SDU) et une unité résidentielle multiple (MDU) est de 54 dB et 44 dB, respectivement, comme l'illustre la Figure B.2. Ces valeurs sont spécifiées compte tenu de la détérioration C/N due au seul réseau de distribution.

Eu égard au réseau de distribution optique, le rapport porteuse sur bruit (section C/N-B) est spécifié en supposant les paramètres du système suivants (se reporter à l'Article 8 de la présente norme pour une description détaillée).

En supposant un indice de modulation optique $OMI = 17,5 \%$, un RIN de l'émetteur optique de voie de retour $RIN = -130 \text{ dB}(\text{Hz}^{-1})$, une puissance d'entrée optique du récepteur de voie de retour $P_{\text{opt, in}} = -23,5 \text{ dB(mW)}$, une sensibilité (énergétique) de la photodiode du récepteur $r = 0,8 \text{ A/W}$, une densité de courant de bruit équivalent d'entrée du récepteur optique de voie de retour $I_r = 2,5 \text{ pA}/\sqrt{\text{Hz}}$ et une largeur de bande de Nyquist $B = 5,12 \text{ MHz}$, la section C/N-B peut être calculée à 36,4 dB.

Le rapport C/N à la sortie du récepteur optique de voie de retour est de 34,8 dB pour les SDU et de 34,3 dB pour les MDU, ces valeurs étant déduites par l'ajout de toutes les valeurs de section C/N . Ces valeurs sont supérieures à 26 dB, valeur C/N minimale acceptable pour 64-MAQ dans le cadre d'une exploitation DOCSIS.



IEC 0727/14

Figure B.2 – Spécification de section C/N pour le câblage à l'intérieur du logement dans le cas des SDU et MDU

Annexe C (informative)

Battement optique

C.1 Généralités

Dans certains cas, des CMTS dédiés sont utilisés pour des services individuels dans le même groupe PON, ou deux entrées de voie de retour ou plus d'un CMTS unique sont reliées au même réseau PON. Si les CMTS utilisés dans le même groupe PON ou si les entrées du CMTS unique ne sont pas synchronisés (c'est-à-dire coordonnés/ n'utilisent pas un ordonnancement commun), plusieurs dispositifs R-ONU peuvent transmettre des signaux de voie de retour simultanément, et les signaux de voie de retour optique s'influencent mutuellement si les longueurs d'ondes optiques ne sont pas séparées de manière suffisante. Ce phénomène est appelé battement optique (OBI) et est provoqué par le processus hétérodyne qui se produit dans le récepteur optique.

L'occurrence du battement optique engendre un bruit à large bande dans la largeur de bande de voie de retour et une dégradation des performances CNR. Le maintien de la qualité du service téléphonique IP est une source de préoccupation principale. Afin de maintenir cette qualité, une directive consacrée à la conception et au fonctionnement du système, et basée sur les résultats des évaluations expérimentales, est décrite dans les articles suivants.

C.2 Conditions d'exploitation du réseau ODN

Les paramètres ODN utilisés dans les expériences sont énumérés dans le Tableau C.1.

Tableau C.1 – Conditions d'exploitation associées aux paramètres ODN

Paramètre	Condition d'exploitation	Remarque
Distance de transmission	0 km à 20 km	La distance de transmission peut être étendue pour les systèmes avec un affaiblissement de distribution moindre
Affaiblissement optique maximum du réseau ODN (bilan des pertes)	25 dB ^a 29 dB (facultatif) ^b	
Nombre de divisions	64	
^a La puissance de sortie optique du dispositif R-ONU est de +3 dB(mW) et l'entrée du récepteur optique au niveau du système de tête de réseau est de -22 dB(mW) ^b La puissance de sortie optique du dispositif R-ONU est de +3 dB(mW) et l'entrée du récepteur optique au niveau du système de tête de réseau est de -26 dB(mW) ou la puissance de sortie optique du dispositif R-ONU est de +6 dB(mW) et l'entrée du récepteur optique au niveau du système de tête de réseau est de -23 dB(mW).		

C.3 Conditions d'exploitation du récepteur optique au niveau du système de tête de réseau

Lorsque le bilan des pertes système optique maximum est de 25 dB et que plusieurs dispositifs R-ONU sont reliés au même groupe PON, un OBI important a été noté si la puissance de sortie optique du dispositif R-ONU n'est pas correctement régulée et si les signaux optiques de ces dispositifs sont transmis simultanément. En cas de différence de puissance de sortie optique supérieure à une limite admissible par les dispositifs R-ONU, la dégradation des performances du canal plus faible due à l'OBI peut être très importante. Les

expériences menées ont confirmé qu'une différence de puissance optique de 4 dB entre les différents dispositifs R-ONU peut être tolérée. La tolérance de 4 dB est mesurée par ajustement des états de polarisation des signaux brouilleurs afin de déterminer la performance la plus défavorable.

Dans un réseau pratique, il a été confirmé qu'un chevauchement anormal des états de polarisation libère la tolérance susmentionnée d'environ 1 dB. La différence de niveau de puissance de sortie optique parmi les différents dispositifs R-ONU entre les signaux brouilleurs peut donc être de l'ordre de 5 dB comme limite pratique.

C.4 Conditions d'exploitation du CMTS

L'impact de l'OBI est bien plus important lorsque les canaux de voie de retour RF sont plus nombreux. Les évaluations expérimentales ont confirmé que la qualité du service téléphonique IP peut être maintenue même si trois canaux de voie de retour sont utilisés dans le même groupe PON. Les conditions d'exploitation appliquées pour les évaluations sont énumérées dans le Tableau C.2.

Tableau C.2 – Conditions d'exploitation liées aux paramètres ODN

Paramètre	Condition d'exploitation	Remarque
Nombre de canaux de retour	3 canaux ou moins ^a	Inclut un canal pour le service téléphonique IP
Profil de modulation de voie de retour utilisé pour le service téléphonique IP	QPSK/3,2 MHz	
Pour une exploitation avec au moins 4 canaux, il convient d'évaluer et de confirmer les performances du système suivant la méthode de mesure de l'OBI décrite ci-dessous.		
^a Non synchronisé par le CMTS.		

C.5 Conditions environnementales

Sauf spécification contraire, les performances du système sont évaluées dans les conditions d'environnement indiquées au Tableau C.3.

Tableau C.3 – Conditions d'environnement pour l'évaluation du système

Équipement	Paramètre lié à l'environnement	Condition
R-ONU	Température ambiante	0 °C à +40 °C (installation intérieure) -20 °C à +40 °C (installation extérieure) ^a
	Humidité	20 % à 90 % sans condensation
Récepteur optique au niveau du système de tête de réseau	Température ambiante	0 °C à +40 °C
	Humidité	20 % à 90 % (sans condensation)
^a À l'exception de l'accroissement de la température dû au rayonnement solaire.		

C.6 Relation entre l'affaiblissement de transmission optique et l'OMI

L'affaiblissement de transmission optique (L) et l'OMI (m) dans un système à voie de retour typique est illustré à la Figure C.1. En cas de modification de la puissance d'entrée RF de

voie de retour, P_{RF} , due à une variation de l'affaiblissement de transmission optique, le CMTS régule la sortie RF de CM afin de maintenir une puissance d'entrée RF prédéfinie, P_{RF} . La puissance d'entrée RF de voie de retour, P_{RF} , est proportionnelle au carré de (OMI/affaiblissement de transmission). Par conséquent, l'OMI est modifié même si la puissance d'entrée RF constante, P_{RF} , est maintenue.

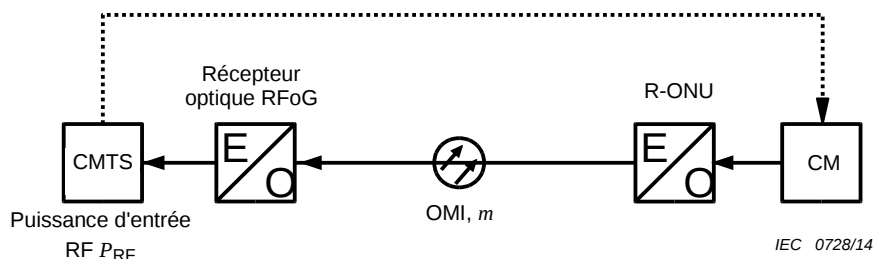


Figure C.1 – Affaiblissement de transmission optique et OMI

C.7 Marge de calcul du réseau ODN

Il convient de concevoir le réseau avec une marge de calcul, afin de tenir compte de la variation de l'affaiblissement de puissance optique lors de l'exploitation du réseau. Les facteurs à l'origine de la variation de l'affaiblissement de puissance sont les suivants

- erreur dans la puissance de sortie d'un dispositif R-ONU individuel,
- variation de puissance optique du dispositif R-ONU individuel,
- variation de puissance de la ligne de transmission (pertes par macro- ou micro-courbures dépendant de la température et/ou provoquées par les contraintes),
- variation de l'affaiblissement due à l'altération du réseau et à la marge de réparation, etc.

Les facteurs à l'origine de la variation de l'affaiblissement de transmission du réseau ODN sont donnés au Tableau C.4, et la variation de l'affaiblissement global, K peut être calculée à l'aide de l'équation C.1, et peut être supposée égale à 5 dB environ (se rapporter à la Figure C.2).

$$K = \sqrt{2^2 + 2^2 + 3^2 + 2,5^2} = 4,8 \quad (\text{C.1})$$

où

K est la variation de l'affaiblissement optique

En conséquence, il convient de calculer l'OMI du réseau en tenant compte de la variation d'affaiblissement dans la plage comprise entre +2 dB et -3 dB, afin de prendre en charge la marge d'affaiblissement de 5 dB décrite ci-dessus.

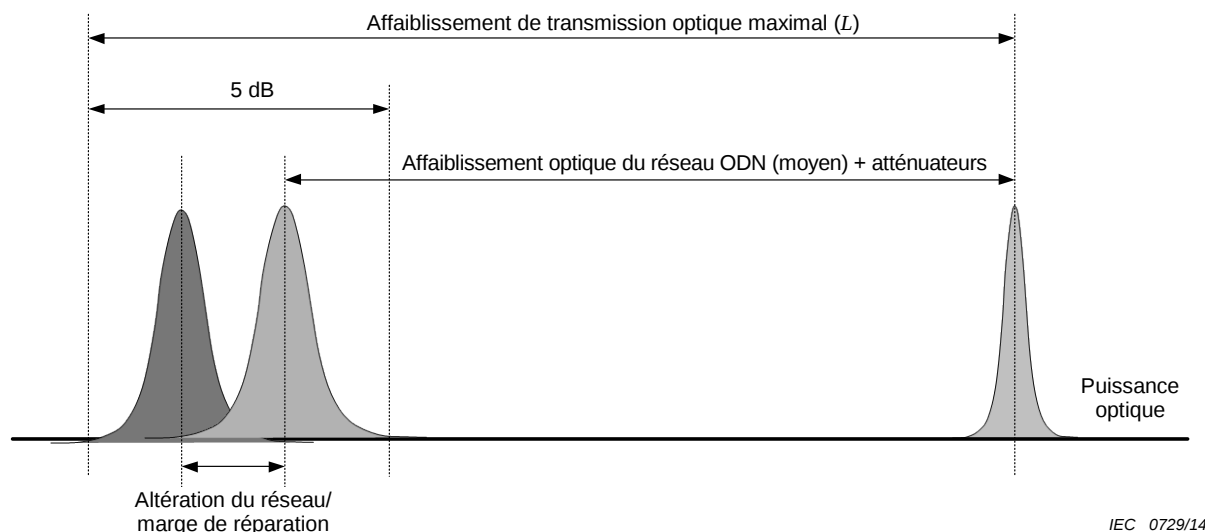


Figure C.2 – Marge de calcul ODN

Tableau C.4 – Facteurs qui influent sur l'affaiblissement de transmission du réseau ODN

Paramètre	Valeur
Ecart d'affaiblissement du réseau ODN entre différents dispositifs ONU et le système de tête de réseau	environ $\pm 1,0$ dB
Variation de la puissance optique par rapport à un dispositif R-ONU individuel	environ $\pm 1,0$ dB
Variation de puissance dans la ligne de transmission (pertes par macro- ou micro-courbures dépendant de la température) (en supposant une longueur de transmission de 20 km)	environ $\pm 1,5$ dB
Variation de l'affaiblissement due à l'altération du réseau et à la marge de réparation	2,5 dB environ

C.8 Exemple de conception du système

Si la qualité de transmission est à maintenir même lors de l'occurrence de l'OBI, il convient de conserver un OMI approprié. Le CMTS régule la puissance de sortie RF de CM, puis l'OMI du dispositif R-ONU, et l'OMI adopte une valeur maximale lorsque l'affaiblissement de transmission devient maximal. L'OMI total du dispositif R-ONU dépend du nombre de porteuses et du format de modulation, et l'effet de bruit d'écrêtage peut provoquer une intermodulation parmi les lignes téléphoniques qui traitent tous les services en voie de retour.

L'Article C.6 décrit une variation de la puissance de réception optique au niveau du système de tête de réseau dans la plage comprise entre +2 dB et –3 dB. Compte tenu de cette variation, l'OMI de chaque canal et l'OMI total peuvent être calculés comme décrit ci-dessous.

Le Tableau C.5 donne un exemple de conception du système dans lequel le rapport OMI/canal est fixé à 20 %. Le Tableau C.6 donne un exemple analogue dans lequel les indices OMI des canaux autres que la voie téléphonique IP sont modulés avec un OMI inférieur.

Tableau C.5 – Exemple 1 de conception du système

	2 dB	0 dB	–3 dB
Nombre maximum de canaux perturbateurs (Nombre de dispositifs R-ONU qui transmettent simultanément des signaux de voie de retour)	3 canaux ou moins		
Format de modulation de la voie téléphonique IP	MDP4		
Largeur de canal pour la voie téléphonique IP	3,2 MHz		
OMI de la voie téléphonique IP	12,6 %	20 %	39,9 %
OMI des canaux autres que la voie téléphonique IP	12,6 %	20 %	39,9 %
OMI total (Maximal)	21,9 %	34,6 %	69,1 %

Tableau C.6 – Exemple 2 de conception du système

	2 dB	0 dB	–3 dB
Nombre maximum de canaux perturbateurs (Nombre de dispositifs R-ONU qui transmettent simultanément des signaux de voie de retour)	3 canaux ou moins		
Format de modulation de la voie téléphonique IP	MDP4		
Largeur de canal pour la voie téléphonique IP	3,2 MHz		
OMI de la voie téléphonique IP	12,6 %	20 %	39,9 %
OMI des canaux autres que la voie téléphonique IP	7,1 %	11,2 %	22,4 %
OMI total (Maximal)	16,1 %	25,6 %	51 %

C.9 Méthode de mesure de l'OBI

C.9.1 Objet

Cette mesure consiste à évaluer les performances du système lorsque l'OBI se produit en raison du fonctionnement simultané de plusieurs canaux de voie de retour dans le même groupe PON.

C.9.2 Montage de mesure

Le montage de mesure est illustré à la Figure C.3.

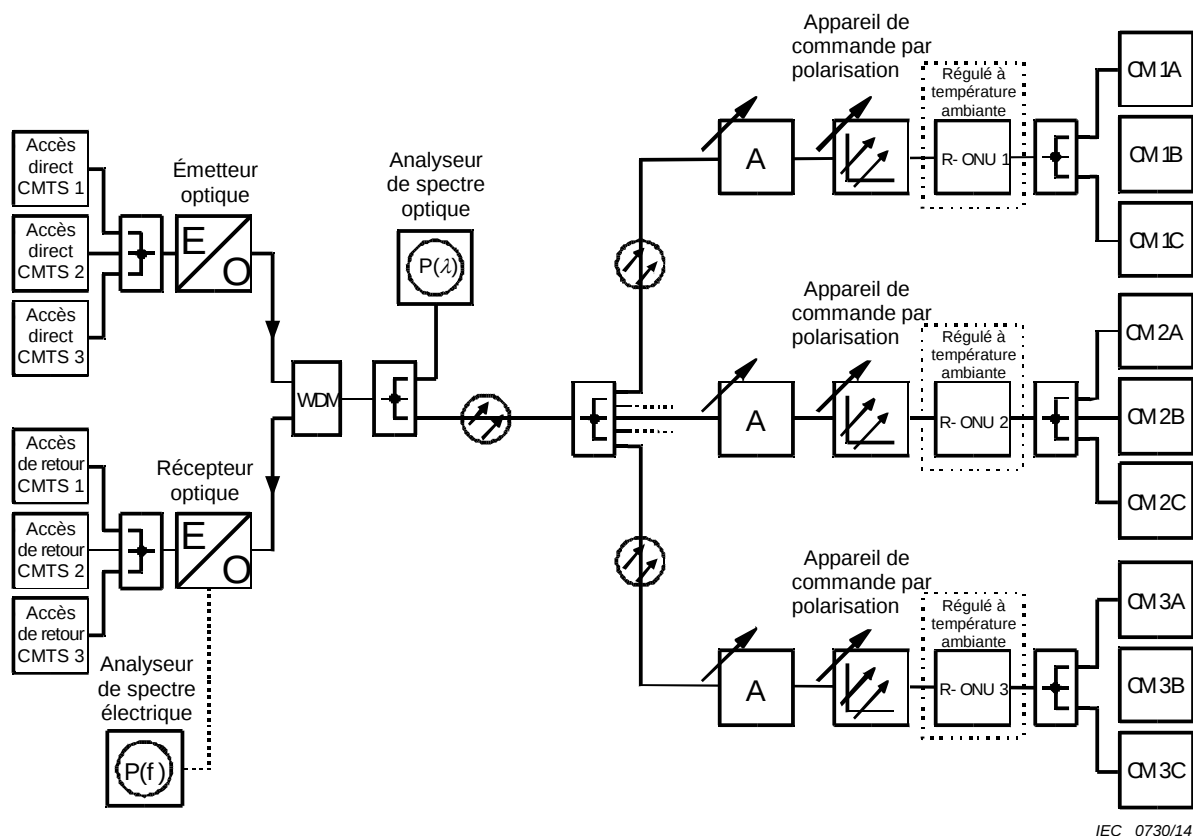


Figure C.3 – Montage utilisé pour la mesure de l'OBI

C.9.3 Exemple de conditions de mesure

Un exemple de conditions de mesure est donné dans le Tableau C.7.

Tableau C.7 – Exemple de liste de conditions de mesure

	Fréquence en MHz	Largeur de bande en MHz	Format de modulation
CM 1 Signal de mesure			
CM 2 Signal brouilleur 1			
CM 3 Signal brouilleur 2			
Montage CPE: signal de mesure (1460+42) octets x _____ F/S paquet UDP			
Signal brouilleur (1460+42) octets x _____ F/S paquet UDP			

C.9.4 Procédure

Appliquer la procédure de mesure suivante.

- S'assurer que les entrées optiques du dispositif R-ONU individuel au récepteur sont égales, en ajustant les atténuateurs optiques.
- Par une régulation de la température ambiante du dispositif R-ONU, ajuster les longueurs d'onde de l'ensemble des trois signaux brouilleurs afin qu'elles se chevauchent l'une l'autre.
- Ajuster le contrôleur de polarisation afin de générer un rapport CNR le plus défavorable à la sortie du récepteur optique du système de tête de réseau.

- d) Observer les contre-valeurs SNR et FEC grâce aux informations MIB du CMTS et enregistrer simultanément le CNR mesuré à la sortie RF du récepteur optique du système de tête de réseau.
- e) Répéter la procédure d) en augmentant la puissance optique des signaux brouilleurs par paliers de 1 dB.

C.9.5 Présentation des résultats

Il convient de présenter les résultats de mesure comme indiqué au Tableau C.8.

Tableau C.8 – Présentation des résultats de mesure de l'OBI

				Analyseur de spectre			CMTS		
Puissance d'entrée optique du récepteur du système de tête de réseau en dB(mW)				Niveau de la porteuse	Niveau de bruit	CNR	SNR de voie directe	FEC corrigé	FEC non corrigé
Signal de mesure	Signal brouilleur 1	Signal brouilleur 2	dB	dB(μ V)	dB(μ V)	dB	dB		

C.10 Méthode de mesure de l'OBI (mesure avec des signaux à ondes entretenues)

C.10.1 Objet

Cette mesure consiste à évaluer les performances du système lorsque l'OBI se produit en raison du fonctionnement de plusieurs CMTS dans le même groupe PON. La mesure est effectuée à l'aide de porteuses RF non modulées.

C.10.2 Montage de mesure

Le montage de mesure de l'OBI avec des signaux à ondes entretenues est présenté à la Figure C.4.

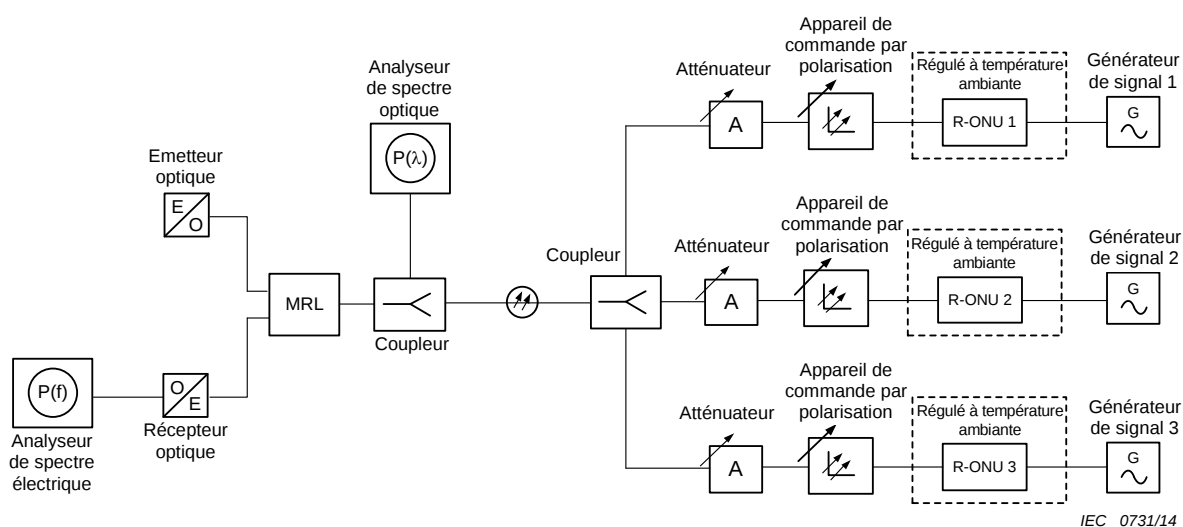


Figure C.4 – Montage utilisé pour la mesure de l'OBI (méthode à ondes entretenues)

C.10.3 Procédure

Appliquer la procédure de mesure suivante.

- S'assurer que les entrées optiques du dispositif R-ONU individuel au récepteur sont égales, en ajustant les atténuateurs optiques.
- Par une régulation de la température ambiante du dispositif R-ONU, ajuster les longueurs d'onde de l'ensemble des trois signaux brouilleurs afin qu'elles se chevauchent l'une l'autre.
- Ajuster le contrôleur de polarisation afin de générer un rapport CNR le plus défavorable à la sortie du récepteur optique du système de tête de réseau.
- Ajuster les générateurs de signaux afin d'obtenir l'OMI spécifié, et enregistrer la mesure CNR à la sortie RF du récepteur optique du système de tête de réseau.
- Répéter la procédure d) en augmentant la puissance optique des signaux brouilleurs par paliers de 1 dB.

Il convient de présenter les résultats de mesure comme indiqué au Tableau C.9.

Tableau C.9 – Présentation des résultats de mesure de l'OBI

Puissance d'entrée optique du récepteur du système de tête de réseau en dB(mW)			Différence de puissance optique	Niveau de la porteuse	Niveau de bruit	CNR
Signal de mesure	Signal brouilleur 1	Signal brouilleur 2	dB	dB(μV)	dB(μV)	dB

Annexe D (normative)

Gestionnaire facultatif de commande à distance

Cette annexe décrit l'exigence de performance concernant les essais de connexion et d'interopérabilité en laboratoire, réalisés par un équipement de commande à distance facultatif. Les valeurs d'exigence sont désignées ici non pas comme spécification mais comme valeurs de référence.

Les exigences de performance énumérées dans le Tableau D.1 concernent la partie émetteur MDF du gestionnaire de commande à distance, qui constitue sa partie principale.

Tableau D.1 – Exigences de performance pour l'émetteur MDF

Elément	Unité	Spécification	Remarque
Modulation		MDF	
Codage		NRZ	
Taux de transfert des données	kbit/s	$19,2 \pm 0,5 \%$	
Fréquence porteuse	MHz	70 à 120	L'exploitant de réseaux doit définir une fréquence porteuse appropriée avec les fournisseurs. Au Japon, la fréquence porteuse standard est de 75,5 MHz. Si cette porteuse perturbe d'autres systèmes, les exploitants de réseaux japonais sont susceptibles de spécifier une fréquence comprise dans la plage 70 MHz à 76 MHz au lieu de 75,5 MHz.
Précision de fréquence	ppm	± 50	
Largeur de bande	kHz	± 250	
Niveau de sortie RF max.	dB(μ V)	> 100	
Plage de réglage de sortie RF	dB	> -10	Par rapport au niveau de sortie maximum
Stabilité de sortie RF	dB	$< \pm 1,5$	
Impédance de sortie	Ω	75	
Parasite	dB	< -60	Par rapport à la porteuse MDF dans l'ensemble de la plage de fréquences directes

Annexe E (informative)

Boîtiers extérieurs pour la protection des dispositifs R-ONU

Il convient d'installer des dispositifs R-ONU à l'intérieur de boîtiers résistant aux intempéries à des fins de protection de l'environnement/physique, ainsi que de stockage de câbles lâches, de prévention de toute altération, de facilitation d'accès pour des essais de réseau et similaire. Il convient que les boîtiers utilisés à cette fin suivent ces directives:

Caractéristiques minimales:

- Il convient de concevoir le boîtier de manière à empêcher la pénétration d'eau, de pluie balayée par le vent, de sable et de poussière, selon la catégorie IP54 (CEI 60529).
- Il convient d'adapter la taille normale d'entrée/sortie aux câbles de dérivation optiques, ainsi qu'à la puissance électrique, aux câbles optiques, coaxiaux et à paires torsadées qui cheminent vers/en provenance des installations d'abonnés.
- Il convient que le boîtier permette un rayon de courbure minimal égal à 10× le diamètre extérieur du câble, ou tel que recommandé par le fabricant de câbles.
- Il convient que tout boîtier métallique prévoit les moyens appropriés de mise à la masse et de métallisation du dispositif R-ONU, du blindage des câbles et des autres dispositifs selon les codes de construction et les recommandations du fabricant.
- Il convient que le boîtier comporte un moyen adapté (tel qu'une face arrière ou un substrat) de montage et de fixation du dispositif R-ONU.

Caractéristiques supplémentaires:

- Le boîtier peut permettre le stockage de câbles de dérivation lâches.
- Le boîtier peut accepter une épissure d'amorce et/ou des adaptateurs optiques nécessaires pour interconnecter le câble de dérivation et le dispositif R-ONU ou des câbles optiques internes au câble de dérivation ou au dispositif R-ONU.
- Le boîtier peut admettre des diviseurs coaxiaux, des injecteurs de puissance et dispositifs analogues nécessaires pour achever l'installation.

Annexe F (informative)

Effet de la puissance optique à l'état bloqué sur le rapport C/N du signal de transmission

Le laser interne au dispositif R-ONU est maintenu fondamentalement à l'état bloqué en l'absence de signal RF à l'entrée du dispositif R-ONU. Toutefois, en raison de difficultés de mise en œuvre, le laser peut émettre une puissance optique minimale, même lorsque celui-ci est commuté sur l'état bloqué. Si la puissance optique à l'état bloqué est importante, cela affecte les performances du système si de nombreux émetteurs sont raccordés au même réseau de distribution.

La puissance optique à l'état bloqué est spécifiée dans la présente norme de manière à ne pas affecter les caractéristiques de transmission d'un dispositif R-ONU spécifique du fait de la puissance optique résiduelle des autres dispositifs R-ONU restants dans le même groupe PON. Cette situation peut être clarifiée avec les commentaires suivants.

Le rapport C/N du principal signal transmis à la sortie d'un récepteur optique peut être calculé à partir de l'équation E.1.

$$(C/N) = 10 \lg \left[\frac{1}{B_N} \cdot \frac{\frac{1}{2} \cdot (m \cdot R \cdot P_{r1})^2}{\sum_{n=1}^{N_T} \{RIN_n \cdot (R \cdot P_{rn})^2\} + 2 \cdot e \cdot \left(I_{d0} + \sum_{n=1}^{N_T} R \cdot P_{rn} \right) + I_{eq}^2} \right] \text{ [dB]} \quad (\text{E.1})$$

où

B_N	largeur de bande de bruit (5,12 MHz)
m	indice de modulation optique du signal optique principal (17,5 %)
P_{r1}	puissance optique reçue du signal optique principal (−23,5 dB(mW))
P_{rn}	puissance optique reçue du n-ième signal optique (−55 dB(mW))
RIN_n	RIN du n-ième signal optique pour le calcul du niveau de bruit optique (−130 dB(Hz ^{−1}))
e	charge d'un électron ($1,602 \cdot 10^{-19}$ As)
R	facteur de réponse de V-ONU (0,8 A/W)
I_{d0}	courant d'obscurité de V-ONU (1nA)
I_{eq}	densité de courant de bruit équivalent d'entrée du récepteur optique (2,5 pA/√Hz)
N_T	nombre de signaux optiques transmis simultanément (32)

NOTE Le RIN d'un laser activé est différent du RIN d'un laser désactivé. Cela peut donner lieu à des résultats s'écartant des chiffres C/N mesurés. Le numérateur et le dénominateur de l'Equation (E.1) correspondent à la porteuse et à la puissance de bruit respectivement.

Si la puissance optique à l'état bloqué est nulle, la puissance de bruit est alors générée uniquement par le signal optique principal, et est calculée comme étant égale à $4,44 \cdot 10^{-17} \text{ A}^2$.

Si une puissance optique supposée être à l'état bloqué de −30 dB(mW) est émise par des dispositifs R-ONU individuels, le niveau de bruit combiné est calculé comme étant égal à $4,45 \cdot 10^{-17} \text{ A}^2$. Le niveau de bruit total dû aux signaux brouilleurs est environ quatre cents fois inférieur au niveau de bruit généré, dû au seul signal optique principal.

Par conséquent, l'effet de la puissance optique à l'état bloqué peut être ignoré tant qu'il relève des valeurs spécifiées dans la présente norme.

Bibliographie

Les documents suivants peuvent fournir des informations utiles au lecteur, mais ne sont pas nécessaires lorsqu'ils satisfont à la présente norme.

CEI 60050-731:1991, *Vocabulaire Electrotechnique International – Chapitre 731: Télécommunications par fibres optiques*

CEI 60068 (toutes les parties), *Essais d'environnement*

CEI 60169-24, *Connecteurs pour fréquences radioélectriques – Vingt-quatrième partie: Connecteurs coaxiaux pour fréquences radioélectriques avec verrouillage à vis pour usage dans les systèmes de distribution par câbles à 75 ohms (Type F)*

CEI 60417, *Symboles graphiques utilisables sur le matériel*

CEI 60617, *Symboles graphiques pour schémas*

CEI 60728-5, *Cable networks for television signals, sound signals and interactive services – Part 5: Headend equipment* (disponibles en anglais seulement)

IEC/TR 60728-6-1, *Cable networks for television signals, sound signals and interactive services – Part 6-1: System guidelines for analogue optical transmission systems* (disponible en anglais seulement)

CEI 60793-2-50, *Fibres optiques – Partie 2-50: Spécifications de produits – Spécification intermédiaire pour les fibres unimodales de classe B*

CEI 60825-2, *Sécurité des appareils à laser – Partie 2: Sécurité des systèmes de télécommunication par fibres optiques (STFO)*

CEI 61281-1:1999, *Sous-systèmes de télécommunications par fibres optiques – Partie 1: Spécification générique*

CEI 61280-2-2, *Fibre optic communication subsystem test procedures – Part 2-2: Digital systems – Optical eye pattern, waveform and extinction ratio measurement* (disponible en anglais seulement)

CEI 61280-4-2, *Procédures d'essai de base des sous-systèmes de télécommunication à fibres optiques – Partie 4-2: Installation de câbles à fibres optiques – Affaiblissement des installations de câbles à fibres unimodales*

CEI/TR 61282-4, *Fibre optic communication system design guides – Part 4: Accommodation and utilization of non-linear effects* (disponible en anglais seulement)

CEI 61290-1-1, *Amplificateurs optiques – Méthodes d'essai – Partie 1-1: Paramètres de puissance et de gain – Méthode de l'analyseur de spectre optique*

CEI 61290-1-2, *Amplificateurs optiques – Méthodes d'essai – Partie 1-2: Paramètres de puissance et de gain – Méthode de l'analyseur de spectre électrique*

CEI 61290-6-1, *Amplificateurs à fibres optiques – Spécification de base – Partie 6-1: Méthodes d'essai pour les paramètres de fuite de pompe – Démultiplexeur optique*

CEI 61291-4, *Amplificateurs optiques – Partie 4: Applications multicanaux – Modèle de spécification de fonctionnement*

IEC/TR 61292-4, *Optical amplifiers – Part 4: Maximum permissible optical power for the damage-free and safe use of optical amplifiers, including Raman amplifiers* (disponible en anglais seulement)

CEI 80416 (toutes les parties), *Principes de base pour les symboles graphiques utilisables sur le matériel*

UIT G.692, *Interfaces optiques pour systèmes multicanaux avec amplificateurs optiques*

UIT J.186, *Equipements de transmission de signaux de télévision multicanaux sur les réseaux d'accès optique par multiplexage de sous-porteuses*

ANSI/SCTE 96 2008, *Cable Telecommunications Testing Guidelines*

GR-49-CORE, Issue 2, Generic Requirements for Outdoor Telephone Network Interface Devices

GR-487-CORE, Issue 3, Generic Requirements for Electronic Equipment Cabinets

Multimedia over Coax Alliance (MoCA), <http://www.mocalliance.org>

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