

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Safety of laser products –
Part 2: Safety of optical fibre communication systems (OFCs)**

**Sécurité des appareils à laser –
Partie 2: Sécurité des systèmes de télécommunications par fibres optiques
(STFO)**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60825-2:2021



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2021 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
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 corrigendum or an amendment might have been published.

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.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 once a month by email.

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: sales@iec.ch.

IEC online collection - oc.iec.ch

Discover our powerful search engine and read freely all the publications previews. With a subscription you will always have access to up to date content tailored to your needs.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 000 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 18 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

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.

Recherche de publications IEC -

webstore.iec.ch/advsearchform

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 une fois par mois par email.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

IEC online collection - oc.iec.ch

Découvrez notre puissant moteur de recherche et consultez gratuitement tous les aperçus des publications. Avec un abonnement, vous aurez toujours accès à un contenu à jour adapté à vos besoins.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 000 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 16 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Safety of laser products –

Part 2: Safety of optical fibre communication systems (OFCs)

Sécurité des appareils à laser –

Partie 2: Sécurité des systèmes de télécommunications par fibres optiques (STFO)

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 31.260; 33.180.01

ISBN 978-2-8322-9366-9

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 and definitions	8
4 Requirements	12
4.1 General	12
4.2 Protective housing of OFCS	12
4.3 Fibre cables	13
4.4 Cable connectors	13
4.4.1 General	13
4.4.2 Unrestricted locations	13
4.4.3 Restricted locations	13
4.4.4 Controlled locations	13
4.5 Labelling and marking	14
4.5.1 General requirements	14
4.5.2 Marking of connectors of optical transmitters and optical amplifiers	17
4.5.3 Markings for groups of connectors	18
4.5.4 Durability – Indelibility requirements for safety markings	18
4.5.5 Warning for invisible radiation	18
4.6 Organizational requirements	18
4.6.1 Manufacturers of ready-to-use OFCSs or turnkey systems	18
4.6.2 Installation and service organization	19
4.6.3 Operating organization	19
4.7 Assessment of hazard level	20
4.7.1 Determination of hazard level and the use of Condition 2	20
4.7.2 Hazard level assignment of OFCS	20
4.7.3 Additional requirements applicable to all hazard levels	22
4.7.4 Requirements for transient accessible exposures when using APR	23
4.7.5 Conditions for tests and assessment	23
4.8 Automatic power reduction (APR)	24
4.8.1 General	24
4.8.2 Automatic restart	24
4.8.3 Manual restart with assured continuity	24
4.8.4 Manual restart without assured continuity	24
4.8.5 Disabling of the APR	24
4.9 Hazard level requirements by location type	25
4.9.1 General	25
4.9.2 Unrestricted locations	25
4.9.3 Restricted locations	25
4.9.4 Controlled locations	26
Annex A (informative) Rationale	27
Annex B (informative) Clarification of the meaning of "hazard level"	28
B.1 General	28
B.2 Class	28
B.3 Hazard level	28

B.4	Rationale to 4.7	28
B.5	Rationale to Clause D.5	29
Annex C (informative)	Methods of hazard/safety analysis	30
Annex D (informative)	Application notes for the safe use of OFCS	31
D.1	Overview	31
D.2	Areas of application	31
D.2.1	Typical OFCS installations	31
D.2.2	Typical system components	32
D.2.3	Typical operating functions	33
D.3	OFCS power limits	33
D.4	Hazard level evaluation examples	35
D.4.1	Single wavelength over the same fibre	35
D.4.2	Multiple wavelengths over the same fibre	41
D.4.3	Bi-directional (full duplex) transmission	43
D.4.4	Automatic power reduction	43
D.4.5	Multiple fibres	45
D.4.6	Ribbon cable	45
D.4.7	Power diminution due to power splitters and fibre losses	47
D.4.8	General considerations and examples	47
D.5	Fault analysis – Explanation and guidance	48
D.5.1	General	48
D.5.2	Commonly used fault analysis techniques	48
D.5.3	Failure modes, effects, and criticality analysis	48
D.5.4	Consequence analysis	48
D.6	Suggested working practices	50
D.6.1	General working practices	50
D.6.2	Live working practices for hazard levels 1, 1M, 2, 2M and 3R	51
D.6.3	Working practices for hazard level 3B	51
D.6.4	Formal power-down and power-up procedure for hazard level 3B	51
D.7	Maximum output power during shutdown	52
Annex E (informative)	Guidance for service and maintenance	54
E.1	Tests and measurements	54
E.2	Safety precautions	54
E.2.1	General remarks	54
E.2.2	Precautions in locations with hazard levels 1M, 2M, 3R and 3B	55
E.2.3	Training programme	55
Bibliography		56
Figure D.1	– PON (passive optical network)-based system	47
Table 1	– Marking in unrestricted locations	15
Table 2	– Marking in restricted locations	16
Table 3	– Marking in controlled locations	17
Table 4	– Measurement aperture diameters and distances for the default (simplified) evaluation	20
Table 5	– Summary of requirements for location types in OFCS	26
Table D.1	– OFCS power limits for 11 µm mode field diameter (MFD) single-mode (SM) fibres and 0,18 numerical aperture multimode (MM) fibres (core diameter 50 µm)	34

Table D.2 – Relation between the number of fibres in a ribbon fibre and the maximum permitted power (example)	46
Table D.3 – Examples of power limits for optical fibre communication systems having automatic power reduction to reduce emissions to a lower hazard level	53

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60825-2:2021

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

SAFETY OF LASER PRODUCTS –

Part 2: Safety of optical fibre communication systems (OFCs)

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 60825-2 has been prepared by IEC technical committee 76: Optical radiation safety and laser equipment.

This fourth edition cancels and replaces the third edition published in 2004, Amendment 1:2006 and Amendment 2:2010. This edition constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition.

- a) Recommendations for individual components and subassemblies have been clarified; see Clause 1, paragraph 3.
- b) C_7 has been revised in accordance with IEC 60825-1:2014, but with an additional limitation related to the skin MPE; see 4.7.2.
- c) Condition 2 has been changed, and a detailed description of the measurement and determination method for hazard level has been added; see 4.7.1 and 4.7.2.
- d) Annex B has been moved into 4.9. Annex F has been moved forward as Annex B.
- e) Clause D.4 Hazard level evaluation examples – Additional examples have been added.
- f) Clause D.5 Fault analysis – Explanation and guidance has been simplified.

The text of this International Standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
76/670/FDIS	76/674/RVD

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

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

A list of all parts in the IEC 60825 series, published under the general title *Safety of laser products*, can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this document will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific document. At this date, the document will be

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60825-2:2021

INTRODUCTION

The objective of this document is to:

- protect people from optical radiation emitted by OFCSs;
- provide requirements for manufacturers, installation organizations, service organizations and operating organizations in order to establish procedures and supply information so that proper precautions can be adopted;
- ensure adequate warnings are provided to individuals regarding the potential hazards associated with OFCSs through the use of signs, labels and instructions.

Annex A gives a more detailed rationale for this document.

The safety of an OFCS depends to a significant degree on the characteristics of the equipment forming that system. Depending on the characteristics of the equipment, relevant safety information needs to be marked on the product or included within the instructions for use.

Where required by the level of potential hazard, the installation organization or end-user / operating organization or both are responsible for the safe deployment and use of OFCSs.

The installation organization and service organization are responsible for adherence to safety instructions during installation and service operations, respectively. The end-user or operating organization is responsible for adherence to safety instructions during operation and maintenance functions.

It is recognized that the user of this document can fall into one or more of the aforementioned categories of manufacturer, installation organization, end-user or operating organization.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF IEC 60825-2:2021

SAFETY OF LASER PRODUCTS –

Part 2: Safety of optical fibre communication systems (OFCSs)

1 Scope

This document provides requirements and specific guidance for the safe operation and maintenance of optical fibre communication systems (OFCSs). In these systems, optical power is possibly accessible outside the confines of the transmitting equipment and/or at great distance from the optical source.

This document requires the assessment of hazard level at each accessible location of the OFCS as a replacement for product classification according to IEC 60825-1. It applies to the installed OFCS as an engineered, end-to-end assembly for the generation, transfer and receipt of optical radiation arising from lasers, light-emitting diodes (LEDs) or optical amplifiers, in which the transference is by means of optical fibre for communication and/or control purposes.

NOTE 1 Throughout this document, a reference to 'laser' is taken to include LEDs and optical amplifiers.

Individual components and subassemblies that fall under the definition of a laser product are subject to the applicable subclause(s) of IEC 60825-1. This document is applicable to individual components and subassemblies intended to be installed within OFCSs.

This document does not apply to optical fibre systems primarily designed to transmit optical power for applications such as material processing or medical treatment.

In addition to the hazards resulting from laser radiation, OFCSs possibly give rise to other hazards, such as fire.

This document does not address safety issues associated with explosion or fire with respect to OFCSs deployed in explosive atmospheres.

NOTE 2 The hazard presented by optical radiation emerging from a fibre is determined by the wavelength and power emerging from the fibre and also by the optical characteristics of the fibre itself (see Annex A).

2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60825-1:2014, *Safety of laser products – Part 1: Equipment classification and requirements*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 60825-1 and the following apply.

ISO and IEC maintain terminological databases for use in standardization at the following addresses:

- IEC Electropedia: available at <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: available at <http://www.iso.org/obp>

3.1

accessible location

part or location within an OFCS at which, under reasonably foreseeable events, human access to laser radiation is possible without the use of a tool

3.2

automatic power reduction

APR

feature of an OFCS whereby the accessible power is reliably reduced to a specified level within a specified time, whenever there is an event which could result in human exposure to radiation

Note 1 to entry: The term "automatic power reduction" (APR) used in this document encompasses the following terms used in ITU-T Recommendation G.664 [1]:

- automatic laser shutdown (ALS);
- automatic power reduction (APR);
- automatic power shutdown (APSD).

Note 2 to entry: The term automatic laser shut off (ALSO) has also been used by some manufacturers in the industry.

Note 3 to entry: A fibre-cable break is an example of an event which could result in human exposure to radiation.

3.3

end-user

person or organization using the OFCS in the manner the system was designed to be used

Note 1 to entry: The end-user cannot necessarily control the power generated and transmitted within the system.

Note 2 to entry: If the person or organization is using the OFCS for a communications application in a manner other than as designed by the manufacturer, then that person/organization assumes the responsibilities defined in this document applicable to a manufacturer or installation organization.

3.4

hazard level

level of potential hazard at any accessible location within an OFCS

Note 1 to entry: It is based on the level of laser radiation which could become accessible in a reasonably foreseeable event, e.g. a fibre cable break. It is closely related to the laser classification procedure defined in 5.3 in IEC 60825-1:2014. The meaning of hazard level is clarified in Annex B.

3.5

hazard level 1

hazard level at which, under a reasonably foreseeable event, human access to laser radiation (accessible emission), evaluated by the measurement conditions for hazard level 1 as defined in 4.7.2 a) and 4.7.3, will not exceed the accessible emission limits of Class 1 in IEC 60825-1 for the applicable wavelength and emission duration, with additional constraints as defined in 4.7.2 a)

Note 1 to entry: "Additional constraints" refers to additional and stricter constraints than 4.7.2 a) of this document places on the values specified in IEC 60825-1:2014 for the accessible emission limits of Class 1 in the wavelength range 1200 nm to 1400 nm.

3.6

hazard level 1M

hazard level at which, under a reasonably foreseeable event, human access to laser radiation (accessible emission), evaluated by the measurement conditions for hazard level 1M as defined in 4.7.2 a) and 4.7.3, will not exceed the accessible emission limits of Class 1 in IEC 60825-1 for the applicable wavelength and emission duration, with additional constraints as defined in 4.7.2 a)

Note 1 to entry: "Additional constraints" refers to additional and stricter constraints than 4.7.2 a) of this document places on the values specified in IEC 60825-1:2014 for the accessible emission limits of Class 1 in the wavelength range 1200 nm to 1400 nm.

3.7

hazard level 2

hazard level at which, under a reasonably foreseeable event, human access to laser radiation (accessible emission), evaluated by the measurement conditions for hazard level 2 as defined in 4.7.2 b) and 4.7.3, will not exceed the accessible emission limits of Class 2 in IEC 60825-1 for the applicable wavelength and emission duration

3.8

hazard level 2M

hazard level at which, under a reasonably foreseeable event, human access to laser radiation (accessible emission), evaluated by the measurement conditions for hazard level 2M as defined in 4.7.2 b) and 4.7.3, will not exceed the accessible emission limits of Class 2 in IEC 60825-1 for the applicable wavelength and emission duration

3.9

hazard level 3R

hazard level at which, under a reasonably foreseeable event, human access to laser radiation (accessible emission), evaluated by the measurement conditions for hazard level 3R as defined in 4.7.2 c) and 4.7.3, will not exceed the accessible emission limits of Class 3R in IEC 60825-1 for the applicable wavelength and emission duration, with additional constraints as defined in 4.7.2 c)

Note 1 to entry: "Additional constraints" refers to additional and stricter constraints than 4.7.2 c) of this document places on the values specified in IEC 60825-1:2014 for the accessible emission limits of Class 3R in the wavelength range 1200 nm to 1400 nm.

3.10

hazard level 3B

hazard level at which, under a reasonably foreseeable event, human access to laser radiation (accessible emission), evaluated by the measurement conditions for hazard level 3B as defined in 4.7.2 d) and 4.7.3, will not exceed the accessible emission limits of Class 3B in IEC 60825-1 for the applicable wavelength and emission duration

3.11

hazard level 4

hazard level at which, under a reasonably foreseeable event, human access to laser radiation (accessible emission), evaluated by the measurement conditions for hazard level 4 as defined in 4.7.2 e) and 4.7.3, will exceed the accessible emission limits of Class 3B in IEC 60825-1 for the applicable wavelength and emission duration

Note 1 to entry: This document is applicable for the operation and maintenance of OFCS. In order to achieve an adequate level of safety for persons who might come into contact with the optical transmission path, hazard level 4 is not permitted within this document. It is permitted to use protection systems, such as automatic power reduction, to achieve the required hazard level where the transmitted power under normal operating conditions (e.g. no fault exists in the fibre path) exceeds that permitted for a particular location type. For instance, it is possible for accessible parts of an OFCS to be hazard level 1 even though the power transmitted down the fibre under normal operating conditions is Class 4.

3.12

installation organization

organization or individual that is responsible for the installation of an OFCS

3.13**controlled location****location with controlled access**

accessible location where an engineering or administrative control is present to make it inaccessible, except to authorized personnel with appropriate laser safety training

Note 1 to entry: For examples, see D.2.1 a).

3.14**restricted location****location with restricted access**

accessible location that is normally inaccessible by the general public by means of any administrative or engineering control measure, but that is accessible to authorized personnel who might not have laser safety training

Note 1 to entry: For examples, see D.2.1 b).

3.15**unrestricted location****location with unrestricted access**

accessible location where there are no measures restricting access to members of the general public

Note 1 to entry: For examples, see D.2.1 c).

3.16**manufacturer**

organization or individual that constructs or modifies OFCSs by assembling or incorporating optical devices and other components

Note 1 to entry: Typical components in OFCSs are shown in D.2.2.

3.17**operating organization**

organization or individual that is responsible for the operation of an OFCS

3.18**optical fibre communication system****OFCS**

engineered, end-to-end assembly for the generation, transfer and reception of optical radiation arising from lasers, LEDs or optical amplifiers, in which the transference is by means of optical fibre for communication and/or control purposes

3.19**reasonably foreseeable event**

event whose occurrence under given circumstances can be predicted fairly accurately, and the occurrence probability or frequency of which is not low or very low

Note 1 to entry: Examples of reasonably foreseeable events might include the following: fibre cable break, optical connector disconnection, operator error or inattention to safe working practices.

Note 2 to entry: Any intentional act to create a hazard is not considered as a reasonably foreseeable event.

3.20**service organization**

organization or individual that is responsible for the servicing of an OFCS

3.21

subassembly

discrete unit, subsystem, network element, or module of an OFCS which contains an optical emitter or optical amplifier

Note 1 to entry: The definition of subassembly is different from that of optical sub-assembly defined in IEC TS 62538 [2].

4 Requirements

4.1 General

Clause 0 defines the restrictions that are to be placed on an OFCS and on the location types in which an OFCS can operate, in accordance with the hazard that arises from optical radiation becoming accessible as a result of a reasonably foreseeable event, such as an open connector or fibre break, etc. Whenever one or more alterations are made to an OFCS, the organization responsible for such alteration(s) shall determine whether each alteration could affect the originally assigned hazard level. If the originally assigned hazard level has changed, the organization responsible for the alteration(s) shall, if necessary, re-label those locations in the system that are accessible so as to ensure continued compliance with this document.

Each accessible location within an OFCS shall be separately assessed to determine the hazard level at that location. Where multiple communications systems are present at a location, the hazard level for the location shall be evaluated by the following methods depending on the types of the fibre cables.

- a) For a conventional loose tube fibre optic cable without ribbon fibre structures, the radiation shall be assessed individually from each of the fibres in a cable, and the maximum radiation from one fibre shall be used as the basis for the hazard level evaluation.
- b) For a ribbon fibre optic cable, the cumulative radiation from one flat ribbon fibre shall be assessed as either an extended source or a point source, as appropriate.

It is noted that there is no need to perform the complete evaluation for extended sources if the simplified point source analysis for the ribbon fibres results in a hazard level acceptable to the operating organization. Additionally, in order to perform the extended source analysis, it is necessary to know the radiation from each individual fibre in the ribbon. If this information is not available then a point source analysis using $C_6 = 1$ is applied.

Based on the determined hazard level, appropriate actions shall be taken to ensure compliance with this document. These actions could for example involve restriction of access to the location, or the implementation of additional safety features or redesign of the optical communications system to reduce the hazard level.

Visual observation of fibre tips using magnifying optics should be avoided in situations where there is potential for optical emission from the fibre.

Electric power transmitting cables comprising OFCSs with optical fibre cables defined in the IEC 60794-4 series [3]¹ shall meet the requirements of any applicable electrical standard besides this document.

4.2 Protective housing of OFCS

Each OFCS shall have a protective housing which, when in place, prevents human access to laser radiation in excess of hazard level 1 limits under normal operating conditions.

¹ Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

4.3 Fibre cables

For all hazard levels, the fibre optic cable shall have mechanical properties appropriate to its physical location. Cables for various physical locations are described in the IEC 60794-2 series [4], IEC 60794-3 series [5] and IEC 60794-4 series [3]. Where necessary, additional protection, for example ducting, conduit or raceway, might be required for locations where the fibre would otherwise be susceptible to damage. Even if the potential hazard at any accessible location within an OFCS is the lowest hazard level, the mechanical properties need to be considered as optical power in fibre cable can exceed the MPE.

4.4 Cable connectors

4.4.1 General

The following requirements for cable connectors can be achieved by the mechanical design of the connectors, or by the positioning of the connector, or by any other suitable means. Whichever means is chosen, human access to radiation above that permitted for connectors in a particular location type shall be prevented.

Hazard level is required to be assigned more strictly for connectors than that for fibre cables. For example in an unrestricted location, accessible radiation level is allowed up to hazard level 1M for cables whereas the accessible radiation from an optical connector is limited to hazard level 1.

NOTE The use of a tool for disconnection is one example of a mechanical solution.

4.4.2 Unrestricted locations

In unrestricted locations,

- if the accessible radiation level exceeds hazard level 2 within the wavelength range 400 nm to 700 nm, then suitable means shall limit access to the radiation exceeding hazard level 2 from the connector,
- if the accessible radiation level exceeds hazard level 1 in all other cases, then suitable means shall limit access to the radiation exceeding hazard level 1 from the connector.

NOTE In an unrestricted location the highest hazard levels are hazard level 2M for the wavelength range 400 nm to 700 nm and hazard level 1M in all other cases (see 4.9.2).

4.4.3 Restricted locations

In restricted locations,

- if the accessible radiation level exceeds hazard level 2M within the wavelength range 400 nm to 700 nm, then suitable means shall limit access to the radiation exceeding hazard level 2M from the connector,
- if the accessible radiation level exceeds hazard level 1M in all other cases, then suitable means shall limit access to the radiation exceeding hazard level 1M from the connector.

NOTE In a restricted location the highest hazard level is hazard level 1M, 2M or 3R, whichever is the higher (see 4.9.3).

4.4.4 Controlled locations

In controlled locations,

- if the accessible radiation level exceeds hazard level 2M within the wavelength range 400 nm to 700 nm, then suitable means shall limit access to the radiation exceeding hazard level 2M from the connector,
- if the accessible radiation level exceeds hazard level 1M in all other cases, then suitable means shall limit access to the radiation exceeding hazard level 1M from the connector.

NOTE In a controlled location the highest hazard level is hazard level 3B (see 4.9.4).

4.5 Labelling and marking

4.5.1 General requirements

Where required by 4.5, each optical connector, splice box or other part emitting radiation when opened, shall be marked (e.g. with a label, sleeve, tag, tape, etc.), if the hazard level at the location is in excess of hazard level 1. The information shall consist of the information identified in Table 1, Table 2 or Table 3, as applicable.

Where the accessible radiation at points of disconnection is hazard level 1 or hazard level 1M, it is permitted for the above information to be provided in information for the user instead of as a marking on the product.

Labelling of hazard level 1M is permitted but not mandatory since it is only in restricted or controlled locations that the connector outputs assigned as hazard level 1M are allowed and only appropriately trained technical staff are allowed to work in such locations.

Markings shall be coloured black on a yellow background. Labels reproduced in the documentation provided by the manufacturer or by the operating organization are permitted to be black on a white background.

It is acceptable to reduce the marking in size, provided that the result is legible. All hazard level labelling is the responsibility of the installation organization or end-user / operating organization, including the labelling of subassemblies containing lasers or optical amplifiers. This is because hazard level is a feature of the (end-to-end) OFCS, and might therefore depend on system wide features such as APR, etc.

Except for the case of subassemblies used for stand-alone applications, each optical connector, splice box or other part that is intended to permit access to optical radiation when opened shall be marked (e.g. with a label, sleeve, tag, tape, etc.) in accordance with Table 1, Table 2 or Table 3, as applicable.

Subassemblies used for stand-alone applications shall be allocated a class and marked according to IEC 60825-1.

Subassemblies that are installed as part of an OFCS shall be allocated a hazard level and marked according to this document.

Table 1 – Marking in unrestricted locations

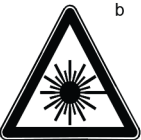
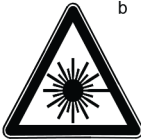
Accessible hazard level	Required marking – Unrestricted location
1	No marking required
1M	No marking required ^a
2	 ^b CAUTION HAZARD LEVEL 2 LASER RADIATION DO NOT STARE INTO BEAM ^{c d e} IEC
2M	 ^b CAUTION HAZARD LEVEL 2M LASER RADIATION DO NOT STARE INTO BEAM OR VIEW DIRECTLY WITH NON-ATTENUATING OPTICAL INSTRUMENTS ^{c d e} IEC
3R	Not permitted
3B	Not permitted
NOTE See 4.5.5 regarding invisible laser beam hazards.	
^a 4.4.2 requires access to radiation from a connector to be limited to hazard level 1 by suitable means, and the mechanical design of the fibre cables is consistent with the relevant parts of IEC 60794 [3], [4], [5] (see 4.3) . Therefore, hazard level 1M is exempt from marking requirements. ^b Hazard symbol warning label according to Figure 3 of IEC 60825-1:2014. ^c Where the source of the radiation is a light emitting diode, the word "LASER" above shall be replaced by "LED". ^d Replacing the word "RADIATION" with "LIGHT" for radiation in the range 400 nm to 700 nm is optional. ^e Explanatory label (outline) according to Figure 4 of IEC 60825-1:2014. It is permitted for this outline to also encompass the hazard symbol according to Figure 3 of IEC 60825-1:2014.	

Table 2 – Marking in restricted locations

Accessible hazard level	Required marking – Restricted location
1	No marking required
1M	Marking required only for those cases where the requirements for cable connectors in unrestricted locations are not met (see 4.4.2): ^e
	 ^a CAUTION HAZARD LEVEL 1M LASER RADIATION DO NOT VIEW DIRECTLY WITH NON-ATTENUATING OPTICAL INSTRUMENTS ^{b c d} IEC
2	 ^a CAUTION HAZARD LEVEL 2 LASER RADIATION DO NOT STARE INTO BEAM ^{b c d} IEC
2M	 ^a CAUTION HAZARD LEVEL 2M LASER RADIATION DO NOT STARE INTO BEAM OR VIEW DIRECTLY WITH NON-ATTENUATING OPTICAL INSTRUMENTS ^{b c d} IEC
3R	 ^a CAUTION HAZARD LEVEL 3R LASER RADIATION AVOID DIRECT EYE EXPOSURE ^{b c d} IEC
3B	Not permitted.
NOTE See 4.5.5 regarding invisible laser beam hazards.	
^a Warning label according to Figure 3 of IEC 60825-1:2014. ^b Where the source of the radiation is a light emitting diode, the word "LASER" above shall be replaced by "LED". ^c If the radiation is in the range 400 nm to 700 nm it is optional to replace the word "RADIATION" with "LIGHT". ^d Explanatory label (outline) according to Figure 4 of IEC 60825-1:2014. It is permitted for this outline to also encompass the hazard symbol according to Figure 3 of IEC 60825-1:2014. ^e Where the accessible radiation at points of disconnection is hazard level 1 or hazard level 1M, it is permitted for this to be noted in information for the user instead of as a marking on, for example, the product, fibre or connector.	

Table 3 – Marking in controlled locations

Accessible hazard level	Required marking – Controlled location	
1	No marking required	
1M	No marking required ^e	
2		CAUTION HAZARD LEVEL 2 LASER RADIATION DO NOT STARE INTO BEAM b c d IEC
2M		CAUTION HAZARD LEVEL 2M LASER RADIATION DO NOT STARE INTO BEAM OR VIEW DIRECTLY WITH NON-ATTENUATING OPTICAL INSTRUMENTS b c d IEC
3R		CAUTION HAZARD LEVEL 3R LASER RADIATION AVOID DIRECT EYE EXPOSURE b c d IEC
3B		CAUTION HAZARD LEVEL 3B LASER RADIATION AVOID EXPOSURE TO BEAM b c d IEC
NOTE See 4.5.5 regarding invisible laser beam hazards.		
^a Warning label according to Figure 3 of IEC 60825-1:2014. ^b Where the source of the radiation is a light emitting diode, the word "LASER" above shall be replaced by "LED". ^c If the radiation is in the range 400 nm to 700 nm it is optional to replace the word "RADIATION" with "LIGHT". ^d Explanatory label (outline) according to Figure 4 of IEC 60825-1:2014. It is permitted for this outline to also encompass the hazard symbol according to Figure 3 of IEC 60825-1:2014. ^e It is recommended but not required to identify those connectors having an optical output by using the warning label according to Figure 3 of IEC 60825-1:2014.		

4.5.2 Marking of connectors of optical transmitters and optical amplifiers

For connectors of optical transmitters and optical amplifiers in each of which an optical port (optical connector) can be connected to an optical fibre, the requirements of 4.5.1 are modified as below. The same applies to a group of optical ports (optical connectors), see 4.5.3.

If 4.5.1 requires a marking to be provided, then the wavelength range shall be added to the information already required by Table 1, Table 2 or Table 3. Preferred values of wavelength ranges are:

- 400 nm to 700 nm;
- 700 nm to 1 150 nm;
- 1 200 nm to 1 250 nm;
- 1 400 nm to 1 600 nm.

From 1 150 nm to 1 200 nm and from 1 250 nm to 1 400 nm, the exact wavelength shall be marked.

NOTE 1 From 1 150 nm to 1 200 nm and from 1 250 nm to 1 400 nm, the value of C_7 (and hence the value of the respective AEL) increases significantly with wavelength (see IEC 60825-1:2014).

NOTE 2 The above are examples of wavelength ranges: the actual wavelength range of operation is included in the marking, e.g. 1 300 nm to 1 600 nm.

Input ports of, for example, Raman Amplifiers are also to be labelled accordingly so as to prove a warning that hazardous levels of optical radiation can be emitted from such ports.

4.5.3 Markings for groups of connectors

Groups of connectors such as patch panels may be marked as a group, with just a single clearly visible hazard level marking rather than having each connector individually marked. If a group of connectors is enclosed within a housing and it is a foreseeable event that exposure to optical radiation above hazard level 1M could result from accessing the connectors in that housing, then a marking shall be clearly visible both before and after the housing is opened. This might require the use of more than one marking.

4.5.4 Durability – Indelibility requirements for safety markings

Any marking required by this document shall be durable and legible. In considering the durability of the marking, the effect of normal use shall be taken into account.

NOTE The requirement and test for durability are contained in 1.7.11 of IEC 60950-1:2005 [6] and IEC 62368-1 [7].

4.5.5 Warning for invisible radiation

If the output of the laser is outside the wavelength range 400 nm to 700 nm, the wording 'LASER RADIATION' in the labels in Table 1, Table 2 or Table 3 shall be modified to read 'INVISIBLE LASER RADIATION', or if the output is at wavelengths both inside and outside this wavelength range, to read 'VISIBLE AND INVISIBLE LASER RADIATION'. If a product is classified on the basis of the level of visible laser radiation and also emits in excess of the AEL of Class 1 at invisible wavelengths, the label shall include the words 'VISIBLE AND INVISIBLE LASER RADIATION' in lieu of 'LASER RADIATION'.

4.6 Organizational requirements

4.6.1 Manufacturers of ready-to-use OFCSs or turnkey systems

Manufacturers of OFCSs or turnkey end-to-end systems shall:

- a) ensure that the equipment satisfies the applicable requirements of this document;
- b) provide the following information:
 - 1) adequate description of the engineering design features incorporated into the product to prevent exposure to radiation above the MPE values;
 - 2) adequate instructions for proper assembly, maintenance and safe use including clear warnings concerning precautions to avoid possible exposure to radiation above the MPE values;

- 3) adequate instructions to installation organizations and service organizations to ensure the product can be installed and serviced in such a manner that the radiation accessible under reasonably foreseeable events meets the requirements of Clause 0;
- 4) the hazard levels at accessible locations within the system and the parameters upon which those hazard levels are based;
- 5) for systems with APR:
 - the reaction time and operating parameters of the APR;
 - where installation or service requires overriding an APR, information shall be included to enable the operating organization to specify safe work practices while the APR is overridden and safe procedures for reinstating and testing such systems;
 - if a manual initiated restart temporarily inactivates the APR, the timing of the restart shall be stated clearly in the user manual;
 - all scenarios (e.g. removal or failure of a controller or other element) where the APR would not be operable including appropriate precautions that need to be taken under such conditions.
- 6) any other information relevant to the safe use of the OFCS;
- 7) a statement that the equipment shall be installed according to the manufacturer's instructions, including the warning "CAUTION: Use of controls or adjustments or performance of procedures other than those specified herein might result in hazardous radiation exposure."

4.6.2 Installation and service organization

The organization responsible for the installation and servicing of OFCS shall follow the manufacturer's instructions for installation of equipment in a manner that will ensure that the accessible radiation under reasonably foreseeable events satisfies the requirements of Clause 4.

Before placing an OFCS into service, the installation organization or service organization, as applicable, shall ensure that APR, if used, is in appropriate working condition as designated in 4.7.3, 4.7.4, 4.7.5 and 4.8.

For systems with accessible locations other than hazard level 1 or 2, the installation organization and/or the service organization shall:

- a) provide adequate laser safety training of personnel responsible for carrying out installation and service activities;
- b) ensure that suitable access controls and warning labels are employed on controlled and restricted locations.

4.6.3 Operating organization

The operating organization has the ultimate responsibility for the safety of the end-to-end system. This includes, especially:

- a) identification of the location type at all accessible locations of the entire OFCS;
- b) ensuring that the hazard levels are not exceeded for those location types under reasonably foreseeable events;
- c) ensuring that installation and service is performed only by organizations with the capability of satisfying the requirements of 4.2 to 4.9;
- d) ensuring that access to restricted and controlled locations is appropriately addressed with respect to laser safety;
- e) ensuring continuous compliance with system manufacturing, operating, installation, service and safety requirements.

NOTE Guidance for service and maintenance is described in Annex E.

4.7 Assessment of hazard level

4.7.1 Determination of hazard level and the use of Condition 2

The hazard level is determined by the measurement of the optical radiation that could become accessible following any reasonably foreseeable event (e.g. fibre break) during operation and maintenance. The methods for the determination of compliance with the specified radiation limit values for Condition 2 are used as specified in Table 4 and 4.7.2 in addition to Conditions 1 and 3 that are the same as those described for classification in IEC 60825-1.

For all wavelengths, refer to Table 4 to establish the hazard levels.

Table 4 – Measurement aperture diameters and distances for the default (simplified) evaluation

Wavelength	Condition 1		Condition 2 ^a		Condition 3	
	applies to collimated beams where, for example, use of a telescope or binoculars increases the hazard		applies to divergent beams where, for example, eye loupes or high power magnifiers increases the hazard		applies to naked eye viewing or viewing with low power magnifiers	
	Aperture stop	Distance	Aperture stop	Distance	Aperture stop/limiting aperture	Distance
nm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
< 302,5	–	–	–	–	See IEC 60825-1	See IEC 60825-1
≥ 302,5 to 400	See IEC 60825-1	See IEC 60825-1	3,5	35	See IEC 60825-1	See IEC 60825-1
≥ 400 to 1 400	See IEC 60825-1	See IEC 60825-1	3,5	35	See IEC 60825-1	See IEC 60825-1
≥ 1 400 to 4 000	See IEC 60825-1	See IEC 60825-1	3,5	14	See IEC 60825-1	See IEC 60825-1
≥ 4 000 to 10 ⁵	–	–	–	–	See IEC 60825-1	See IEC 60825-1
≥ 10 ⁵ to 10 ⁶	–	–	–	–	See IEC 60825-1	See IEC 60825-1
Limitations of the classification scheme are discussed in Clause C.3 of IEC 60825-1:2014, suggesting cases where additional risk analysis and warnings might be appropriate.						
NOTE The descriptions below the "Condition" headings are typical cases for information only and are not intended to be exclusive.						
^a The definition of Condition 2 in this table is modelled on ×7 and ×18 magnifying optics for the wavelength ranges of 302,5 nm to 1 400 nm and 1 400 nm to 4 000 nm, respectively. This is represented by a 3,5 mm aperture stop at a distance of 35 mm or 14 mm from the end of the fibre. The aperture stop diameter of 3,5 mm (rather than 7 mm) is used because a magnifying optics would only be used in a situation where there is sufficient light, and thus the pupil would be constricted. Also note that when multimode fibres having large core diameters are used for OFCSs, the mitigating effect of the large angular subtense is considered.						

4.7.2 Hazard level assignment of OFCS

a) Hazard level 1 and 1M

For wavelengths less than 302,5 nm and greater than 4 000 nm, if the accessible emission is

- less than or equal to the AEL of Class 1 for Condition 3, then the OFCS is assigned to hazard level 1.

For wavelengths between 302,5 nm and 4 000 nm, if the accessible emission is

- less than or equal to the AEL of Class 1 for Condition 1, and Condition 2 and Condition 3, then the OFCS is assigned to hazard level 1;
- otherwise, if the accessible emission is
 - greater than the AEL of Class 1 for Condition 1 or Condition 2, and
 - less than the AEL of Class 3B for Condition 1 and Condition 2, and
 - less than or equal to the AEL of Class 1 for Condition 3,
 then the OFCS is assigned to hazard level 1M.

NOTE 1 AEL is defined in IEC 60825-1:2014, 3.3.

NOTE 2 Typically, the accessible emission of hazard level 1M exceeds the Class 1 AEL for either Condition 1 or Condition 2. However, it is also classified as hazard level 1M when it exceeds that AEL for both Condition 1 and Condition 2.

NOTE 3 The reason for verifying the AEL of Class 3B is to limit the maximum power passing through an optical instrument.

For wavelengths between 1 200 nm and 1 400 nm, the AEL of Class 1 shall be limited to the equivalent radiant power corresponding to the skin MPE evaluated with a 3,5 mm diameter aperture (see D.4.1).

NOTE 4 The above-mentioned check on the skin MPE is additional to, and stricter than, the test on the Class 3B AEL specified in footnotes d) and f) to Tables 3 and 4 of IEC 60825-1:2014, respectively.

NOTE 5 The rationale for the skin MPE limit is based on the following footnote in Tables A.1 to A.4 of IEC 60825-1:2014: "In the wavelength range between 1 250 nm and 1 400 nm, the limits to protect the retina given in this table might not adequately protect the anterior part of the eye (cornea, iris) and caution needs to be exercised. There is no concern for the anterior parts of the eye if the exposure does not exceed the skin MPE values". The values of the skin MPE are shown in Table A.5 of IEC 60825-1:2014.

For all wavelengths, in hazard levels 1 and 1M, the accessible emission determined with a 3,5 mm diameter aperture placed at the fibre tip shall not exceed the AEL of Class 3B.

NOTE 6 It is possible that a Class 1M laser product with a highly diverging beam can produce high enough irradiance levels near to or in contact with the source (for instance a fibre tip) so that skin injury is possible.

b) Hazard level 2 and 2M

Hazard Level 2 and 2M are applicable to the wavelength range of 400 nm to 700 nm. If the accessible emission exceeds the limits as required for Class 1 and for Class 1M, and is

- less than or equal to the AEL of Class 2 for Condition 1, and Condition 2 and Condition 3, then the OFCS is assigned to hazard level 2.

If the accessible emission exceeds the limits as required for Class 1 and for Class 1M and is

- greater than the AEL of Class 2 for Condition 1 or Condition 2, and
- less than the AEL of Class 3B for Condition 1 and Condition 2, and
- less than or equal to the AEL of Class 2 for Condition 3,

then the OFCS is assigned to hazard level 2M.

NOTE 7 Typically, the accessible emission of hazard level 2M exceeds the AEL of Class 2 for either Condition 1 or Condition 2. However, it is also classified as hazard level 2M when it exceeds the AEL of Class 2 for both Conditions 1 and Condition 2.

NOTE 8 The reason for verifying the AEL of Class 3B is to limit the maximum power passing through an optical instrument, and to preclude high irradiance levels near to or in contact with diverging sources so as not to lead to skin injury.

In hazard levels 2 and 2M, the accessible emission determined with a 3,5 mm diameter aperture placed at the fibre tip shall not exceed the AEL of Class 3B.

NOTE 9 It is possible that a Class 2M laser product with a highly diverging beam can produce high enough irradiance levels near to or in contact with the source (for instance, a fibre tip) so that skin injury is possible.

c) Hazard level 3R

For wavelengths less than 302,5 nm and greater than or equal to 4 000 nm, if the accessible emission for Condition 3

- is less than or equal to the AEL of Class 3R, and
- exceeds the AEL of Class 1,

then the OFCS is assigned to hazard level 3R.

For wavelengths greater than or equal to 302,5 nm and less than 4 000 nm, if the accessible emission

- is less than or equal to the AEL of Class 3R for Condition 1, and Condition 2 and Condition 3, and
- exceeds the AEL for Class 1 and Class 2 for Condition 3,

then the OFCS is assigned to hazard level 3R.

For wavelengths between 1 200 nm and 1 400 nm, the AEL of Class 3R shall be limited to the equivalent radiant power corresponding to five times the skin MPE evaluated with a 3,5 mm diameter aperture.

NOTE 10 The above-mentioned check on the five times the skin MPE is additional to, and stricter than, the test on the Class 3B AEL specified in footnotes d) and c) to Tables 6 and 7 of IEC 60825-1:2014, respectively.

NOTE 11 See D.4.1.

For all wavelengths, in hazard level 3R, the accessible emission determined with a 3,5 mm diameter aperture placed at the fibre tip shall not exceed the AEL of Class 3B.

d) Hazard level 3B

For wavelengths less than 302,5 nm and greater than or equal to 4 000 nm, if the accessible emission for Condition 3

- is less than or equal to the AEL of Class 3B, and
- exceeds the AEL of Class 3R,

then the OFCS is assigned to hazard level 3B.

For wavelengths greater than or equal to 302,5 nm and less than 4 000 nm, if the accessible emission

- is less than or equal to the AEL of Class 3B for Condition 1, and Condition 2 and Condition 3, and
- exceeds the AEL for Class 3R for Condition 1, or Condition 2 or Condition 3, and
- exceeds the AEL for Class 1 and Class 2 for Condition 3,

then the OFCS is assigned to hazard level 3B.

For all wavelengths, in hazard levels 3B, the accessible emission determined with a 3,5 mm diameter aperture placed at the fibre tip shall not exceed the AEL of Class 3B.

e) Hazard level 4

If the total accessible emission from the fibre end (or measured with a 3,5 mm diameter aperture placed at the fibre tip) exceeds the AEL for Class 3B, the OFCS is assigned to hazard level 4.

4.7.3 Additional requirements applicable to all hazard levels

The assessment of the hazard level with and without automatic power reduction shall take place:

- 1 s after the reasonably foreseeable event (e.g. fibre break) for unrestricted locations, unless measurement at a later time would result in a larger exposure;
- 3 s after the reasonably foreseeable event for restricted and controlled locations, unless measurement at a later time would result in a larger exposure.

In circumstances where it is difficult to carry out direct measurements, an assessment of hazard level based on calculations is acceptable. For example, the knowledge of the laser or amplifier power and fibre attenuation can allow an assessment of the hazard at any particular location.

For OFCS with automatic power reduction, the hazard level will be determined by the accessible emission (pulse or continuous wave) after the time interval given above (1 s for unrestricted locations, 3 s for restricted locations or controlled locations). Additionally, the MPE requirement in 4.7.4 shall be met.

NOTE 1 The level of exposure is determined at a location where it is reasonably foreseeable that a person could be exposed to radiation coming from the OFCS. If the OFCS incorporates an APR system, the exposure level is kept to a level that does not exceed the MPE value, which in this case is determined by considering the full period to complete the APR system as specified in 4.7.4.

NOTE 2 MPEs for the eye and the skin of employees in the workplace and the general public are in many countries specified in national laws. These legally-binding national exposure limits might differ from and override the MPEs given in the informative Annex A of IEC 60825-1:2014.

4.7.4 Requirements for transient accessible exposures when using APR

An OFCS uses an automatic power reduction feature so as to meet the limits of a hazard level that is lower than that which would have to be assigned if no automatic power reduction feature were present. During the maximum time to reach the lower hazard level specified in 4.7.1, which is not greater than 1 s for unrestricted locations, 3 s for restricted or controlled locations, the irradiance or radiant exposure shall not exceed their limits for either the eye or skin (equivalent to MPEs for the eye and skin), corresponding to the shutdown period of the APR. For unrestricted/restricted locations and controlled locations the measurement distances are 100 mm and 250 mm, respectively, for 4.7.4 only.

NOTE 1 If the shutdown period of the APR is larger than 1 s for unrestricted locations, or 3 s for restricted/controlled locations, then the above MPE evaluations are conducted for the exposure time of 1 s for unrestricted locations or that of 3 s for restricted/controlled locations.

NOTE 2 See also Clause D.7.

4.7.5 Conditions for tests and assessment

Tests and assessments shall be carried out under reasonably foreseeable fault conditions.

In some complex systems (e.g. where the optical output is dependent on the integrity of other components and the performance of circuit design and software), other recognized methods for hazard/safety assessment may be used where necessary (see Annex C).

However, faults which result in the emission of radiation in excess of the hazard level need not be considered if:

- it is a fault that relates only to a limited time period during which the level of the radiation exceeds the hazard level; and
- it is not reasonably foreseeable that human access to the radiation will occur before the product is taken out of service.

NOTE When applying the relevant MPE requirement in 4.7 in relation to a beam exiting, e.g. a broken fibre-end or un-made connector, two questions are important:

- a) Is it reasonably foreseeable that a person's eye could be exposed to the beam?
- b) Is it reasonably foreseeable that a person's skin could be irradiated by the beam?

When determining what is reasonably foreseeable, consideration is given to the physical location of the beam exit point, the distance between the exit point and the eye or skin, and the time taken for the APR to reduce the exposure to the level required by 4.9.

Even if naked eye or skin exposure is not reasonably foreseeable, the possibility of fire hazard is also to be considered.

4.8 Automatic power reduction (APR)

4.8.1 General

If an OFCS makes use of an automatic power reduction (APR) function in order to meet its required hazard level, then the restart function shall operate according to restrictions which are described in 4.8.2, 4.8.3 or 4.8.4, as applicable. In addition, the APR shall be designed to have an adequate level of reliability.

NOTE 1 Examples of calculating the reliability of APR systems are given in Clause D.5.

NOTE 2 The restart interval described in the following scenarios is wavelength dependent.

NOTE 3 For further information on APR, see ITU-T Recommendation G.664 [1].

4.8.2 Automatic restart

In the case where the restart is initiated automatically, the timing and optical power of the restart process shall be restricted such that the hazard level assigned to each accessible location of the system shall not be exceeded.

4.8.3 Manual restart with assured continuity

In the case where the restart is initiated manually and the continuity of the communications path is assured by the use of administrative controls or other means, the timing and optical power of the restart process is not restricted.

NOTE Since in this case the timing and optical power of the restart process is not restricted, the administrative or other controls will need to take into consideration any increased risk of new hazards (such as fire). It is important that these additional controls be documented in the appropriate service instructions.

The manufacturer's instructions shall specify that administrative controls (or other means) shall take into account that the assigned hazard level at any accessible location might be exceeded during this restart procedure.

4.8.4 Manual restart without assured continuity

In the case where the restart is initiated manually and the continuity of the communications path is not assured, the timing and optical power of the restart process shall be restricted such that the hazard level assigned to each accessible location of the system is not exceeded.

4.8.5 Disabling of the APR

If a manual initiated reboot of the system temporarily deactivates the APR, the system shall indicate that the APR is not operable for the duration of the reboot so that the operating organization can take the appropriate precautions. Unless these conditions are met, the hazard level shall be assigned using the transmitting power level assuming that the APR is not in place.

Disabling of the APR mechanism shall not be permitted for Class 3B and 4 transmitting powers, unless all of the conditions are met:

- a) such disabling is necessary only for the infrequent incidences of system installation and service;
- b) such disabling can only be done via suitably reliable software commands or a manual lockout key system;

NOTE 1 For software reliability issues see the IEC 61508 series [8].

- c) if disabling is done via software commands, incorporated in such software is a security system that prevents inadvertent disabling of the APR mechanism;
- d) such software incorporates a warning indicator that the APR will be disabled if the procedure is continued;

- e) continuous operation of the traffic-carrying OFCS with the APR disabled is prevented by suitable engineering means;

NOTE 2 Regarding condition e), an example of a 'suitable engineering means' is a control system that automatically re-enables the APR as soon as practicable after a time interval that is long enough to complete the task that caused the APR to be initially deactivated.

- f) proper instructions on the safe use of the equipment with the disabled APR are included in the documentation;
- g) it is not possible to disable the APR permanently – the APR is automatically re-enabled (see also NOTE 2 in 4.8.5 e);
- h) it is only possible to disable the APR by action taken locally at the transmitting equipment (i.e. remote disabling of the APR is not normally permitted), except when in direct communication with persons (possibly at remote locations) likely to be exposed to higher levels of radiation than before the APR is disabled;

NOTE 3 Raman systems usually emit high power from the receive termination.

- i) a clear and unambiguous warning is displayed continuously while the APR remains disabled;
- j) high power systems with APR disabled are rebooted only by means of manual start-up or manual re-start.

It is recognized that long-distance transmission systems (by their very nature) commonly use high powers to ensure continuity. Therefore, it is permitted to use high powers (Class 4) at initial system start-up, provided this is done by trained personnel under defined conditions.

An administrative organization shall make effort to ensure system continuity [e.g. optical time domain reflectometry (OTDR) continuity test] and to ensure personnel are not exposed to Class 3B or Class 4 radiation. This can also be done by rigorous administrative controls.

Except where otherwise explicitly stated, this document does not permit end-to-end OFCS to operate if accessible locations within that system are hazard level 4.

NOTE 4 If the transmitting power of a transmitter, amplifier, etc. is Class 4 and the APR has been disabled, then the result would be accessible locations operating at hazard level 4. Nevertheless, it is recognized that sometimes it is necessary to disable the APR in certain conditions, but these conditions are well controlled and time-limited so that the probability of exposure to Class 4 radiation is very low.

NOTE 5 One hour is a suitable time after which the APR is re-enabled, either manually or automatically.

4.9 Hazard level requirements by location type

4.9.1 General

The required hazard level shall be determined for each accessible location within an OFCS.

NOTE 1 This includes access to optical fibres that can become broken.

NOTE 2 This document is applicable for the operation and maintenance of OFCS. Where systems employ normal transmitting power levels exceeding the acceptable hazard level for the particular location type, the use of protection systems such as automatic power reduction determines the actual hazard level.

Table 5 shows the summary of location types in OFCS.

4.9.2 Unrestricted locations

At a location with unrestricted access the hazard level shall be 1, 1M, 2 or 2M.

NOTE If the applicable limit of hazard level 1M is larger than the limit of hazard level 2 and less than the limit of hazard level 3B, hazard level 1M is allocated (see the definition of hazard level 1M in 4.7.2 a)).

4.9.3 Restricted locations

At a location with restricted access the hazard level shall be 1, 1M, 2, 2M or 3R.

NOTE 1 If the applicable limit of hazard level 1M or 2M is larger than the limit of hazard level 3R and less than the limit of hazard level 3B, hazard level 1M or 2M is allocated, respectively (see the definitions of hazard level 1M and 2M in 4.7.2 a) and b), respectively).

NOTE 2 If the applicable limit of hazard level 1M is larger than the limit of hazard level 2 and less than the limit of hazard level 3B, hazard level 1M is allocated (see the definition of hazard level 1M in 4.7.2 a)).

4.9.4 Controlled locations

At a location with controlled access the hazard level shall be 1, 1M, 2, 2M, 3R or 3B.

Table 5 – Summary of requirements for location types in OFCS

Hazard level	Location type		
	Unrestricted	Restricted	Controlled
1	No requirements	No requirements	No requirements
1M	Hazard level 1 for output power from connectors that can be opened by an end-user ^a No labelling or marking required ^b	No labelling or marking required if output power from connectors that can be opened by end-user are hazard level 1. If output is hazard level 1M then labelling or marking is required ^b	No requirements
2	Labelling or marking ^b	Labelling or marking ^b	Labelling or marking ^b
2M	Labelling or marking ^b , and hazard level 2 from connector ^a	Labelling or marking ^b	Labelling or marking ^b
3R	Not permitted ^c	Labelling or marking ^b , and hazard level 1M or 2M from connector ^a	Labelling or marking ^b , and hazard level 1M or 2M from connector ^a
3B	Not permitted ^c	Not permitted ^c	Labelling or marking ^b , and hazard level 1M or 2M from connector ^a
4	Not permitted ^c	Not permitted ^c	Not permitted ^c
^a See 4.4. ^b See 4.5. ^c Where systems employ normal transmitting power levels exceeding the acceptable hazard level for the particular location type (see 4.9), protection systems such as automatic power reduction may be used to determine the actual hazard level. See 4.7.2 and 4.8.			

Annex A (informative)

Rationale

The safety of laser products, equipment classification, requirements and user's guide are covered by IEC 60825-1 and IEC TR 60825-14 [9]. IEC 60825-1 is primarily aimed at self-contained products which are under effective local control. An OFCS will be safe under normal operating conditions because the optical radiation is totally enclosed under intended operation. However, because of the extended nature of these systems (where optical power, under certain conditions, might be accessible many kilometres from the optical source), the precautions to minimize the hazard will be different from those concerning laser sources which are normally under local operator control. It should be noted that many OFCSs contain LEDs, which are excluded from the scope of IEC 60825-1.

The potential hazard of an OFCS depends on the likelihood of the protective housing being breached (e.g. a disconnected fibre connector or a broken cable) and on the nature of the optical radiation that might subsequently become accessible. The engineering requirements and user precautions that are required to minimize the hazard are specified in this document.

Each accessible location within an OFCS is allocated, by the system operating organization or its delegate, a hazard level that gives a guide as to the potential hazard if optical radiation becomes accessible. These hazard levels are described as hazard levels 1 to 4, in a fashion similar to the classification procedure described in IEC 60825-1. In fibre optic applications the limits of hazard levels 1M and 2M are often higher than the limit of hazard level 3R, but less than the limit of hazard level 3B. For these applications hazard level 3R is not applicable.

Where operating organizations subcontract the installation, operation or maintenance of fibre optic communication systems, the responsibilities in relation to laser safety should be clearly defined by the operator.

In summary, the primary differences between IEC 60825-1 and this document are as follows.

- An OFCS will not be classified as required by IEC 60825-1. This is because under intended operation, the optical radiation is totally enclosed, and it can be argued that a rigorous interpretation of IEC 60825-1 would give a Class 1 allocation to all systems, which might not reflect the potential hazard accurately. However, if the source can be operated separately, it should be classified according to IEC 60825-1.
- Each accessible location in the extended enclosed optical transmission system will be designated by a hazard level by following similar procedures as those for classification in IEC 60825-1. However, this level will be based not on accessible radiation but on radiation that could become accessible under reasonably foreseeable circumstances (fibre cable break, disconnected fibre connector, etc.).
- The nature of the safety precautions required for any particular hazard level will depend on the type of location, i.e. domestic premises, industrial areas where there would be limited access, and switching centres where there could be controlled access. For example, it is specified that in the home a disconnected fibre connector should only be able to emit radiation corresponding to Class 1 or 2, whilst in controlled locations it could be higher.
- In this document, measurement under Condition 2 with magnifying optics is applied for the determination of hazard levels as well as Conditions 1 and 3.

Annex B (informative)

Clarification of the meaning of "hazard level"

B.1 General

In Annex B, the difference between "laser class" defined in IEC 60825-1 and "hazard level" defined in this document is further clarified.

B.2 Class

The word "class" refers to a scheme by which, based on emission levels, a product or internal emitter can be classified with respect to its safety. These levels are described in the accessible emission limit tables in IEC 60825-1. Classes range from Class 1, which is safe under reasonably foreseeable conditions, to Class 4, which is potentially the most hazardous case. In IEC 60825-1, the classification of products is based on reasonably foreseeable operating conditions including single fault conditions.

B.3 Hazard level

"Hazard level" is a term used in this document which refers to the potential hazard from laser emissions at any location in an end-to-end fibre optic communication system that might be accessible during use or maintenance or in the event of a failure or fibre disconnection or other fibre discontinuity such as a fibre break. The assessment of the hazard level uses the class accessible emission limit tables which are applied to determine the product class defined in IEC 60825-1. The assessment of hazard level is described in 4.7. The assessment can be an actual measurement or be based upon calculation of emitted powers and known time constants.

Annex A gives the following additional clarification: "An OFCS will not be classified in the same way as required by IEC 60825-1. This is because, under intended operation, the optical radiation is totally enclosed and it can be argued that a rigorous interpretation of IEC 60825-1 would give a Class 1 allocation to all systems, which might not reflect the potential hazard accurately." Based upon this statement, a complete OFCS can be regarded as a Class 1 laser product because, under normal conditions, the emissions are completely enclosed (like a laser printer) and no light should be emitting outside the protective housing. It is not until the fibre becomes broken or an optical connector is unplugged that someone might be exposed to a level of optical radiation which is potentially hazardous (if the internal emitters or amplifier outputs are of high enough power).

Therefore, for each optical output port, the hazard level should be assessed. The hazard level limits are dependent on the "dominant" wavelength range, taking into consideration that IEC 60825-1:2014 defines different limits for different wavelength ranges and spectral additivity rules for the eye as shown in IEC 60825-1:2014, Figure 1. Furthermore, this document allows the use of automatic power reduction (APR) techniques to achieve a lower (less hazardous) hazard level based on the normal power in the fibre and the speed of automatic power reduction.

B.4 Rationale to 4.7

The philosophy of 4.7.1 is based on assumptions that already exist in IEC 60825-1 and IEC 60825-2. However, large portions of OFCS can sometimes be classed as "not accessible under reasonably foreseeable conditions".

Subclause 4.7.4 requires that the MPE not be exceeded if any person is exposed to radiation emerging from the port or fracture from the instant of the break or disconnection. The power is assumed to remain constant at its maximum value until the shutdown time has expired.

a) Unrestricted locations:

The 1 s shutdown requirements in 4.7.3 are based on the assumption that even if a fibre is intentionally cut, it is highly unlikely that, within 1 s, a person can get within 100 mm and position magnifying optics so as to be adversely exposed. Also, one should keep in mind that optical signals are attenuated as they move down the fibre, so the output at the failure in the unrestricted location might be considerably lower than at the transmitter or amplifier.

b) Restricted locations:

The 3 s shutdown requirements in 4.7.3 are based on the assumption that any failure of the system within a restricted location would be of an accidental nature and the 3 s limit for shutdown or power reduction would be an acceptable time period "after the reasonably foreseeable event". It is also highly unlikely that, in this time period, a person can get within 100 mm and position collimating optics so as to be adversely exposed. One should also keep in mind that optical signals are attenuated as they move down the fibre, so the output at the failure in the restricted location might be considerably lower than at the transmitter or amplifier.

c) Controlled locations:

Persons working in locations with controlled access should have received adequate training in laser safety, which should include an understanding that a broken fibre should only be viewed if the system has been properly deactivated.

B.5 Rationale to Clause D.5

Annex D is informative. The use of the term "recommended" should not be construed as forbidding the use of alternative methods of analysis. The method of fault analysis and the adoption of a suitable safety level is the prerogative of the user.

Annex C (informative)

Methods of hazard/safety analysis

Some methods of hazard/safety analysis include the following:

- a) preliminary hazard analysis (PHA) including circuit analysis. This method may be used in its own right, but is an essential first stage in the application of other methods of hazard/safety assessment;
- b) consequence analysis – see the IEC 61508 series [8];
- c) failure modes and effects analysis (FMEA);
- d) failure modes, effects, and criticality analysis (FMECA) (see IEC 60812 [10]);
- e) fault tree analysis (FTA);
- f) event tree analysis;
- g) hazards and operability studies (HAZOPS).

Appropriate testing should be implemented to supplement the analysis whenever necessary. The method of analysis and any assumptions made in the performance of the analysis should be stated by the manufacturer/operator.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60825-2:2021

Annex D (informative)

Application notes for the safe use of OFCS

D.1 Overview

Annex D provides guidance on the application of this document to specific practical situations. It is an informative annex to assist the users of this document in applying the requirements of IEC 60825-1 and this document to their specific application. It does not contain any requirements.

This document applies to OFCS. In such systems the optical power can be transmitted for long distances beyond the optical source and measures need to be taken to ensure that the potential hazards from a broken communications path are minimized. In order to know the extent of the potential hazard existing in an OFCS, a hazard level needs to be assigned to those locations that can become accessible: this is similar to, but replaces, the designation of a Class to the equipment within IEC 60825-1.

It is possible to configure an optical fibre communications system to act as a closed-loop control system, such that when the communications path is broken the transmitted signal is automatically reduced in power within a short period of time to a safe value. It is therefore possible to have two systems, one with automatic power reduction (APR) and another without APR, both having the same hazard level (and therefore the same degree of safety): the signal level under normal operating conditions in the system with APR can then be much higher than the signal level in the system without APR. Because the APR feature is critical to safety, the reliability of this feature should be adequate and recommendations are provided in Annex D.

Whereas IEC 60825-1 applies to discrete laser products, this document applies to complete end-to-end systems. Because the subassemblies that generate or amplify optical radiation are critical to the safety of the OFCS, and because they have to meet part of the requirements, these items are also included within the scope of this document. The manufacturers of individual passive components or passive subassemblies that are not yet incorporated into the end-to-end system can not know the associated hazard level and so these items are excluded from the scope of this document.

This document does not address safety issues associated with explosion or fire with respect to OFCS deployed in hazardous locations.

D.2 Areas of application

D.2.1 Typical OFCS installations

a) Locations with controlled access (see 3.13):

- cable ducts;
- street cabinets;
- dedicated and delimited areas of distribution centres;
- test rooms in cable ships.

Where service access to cable ducts and street cabinets could expose the general public to radiation in excess of the accessible emission limit of Class 1, appropriate temporary exclusion provisions (e.g. a hut) should be provided.

b) Locations with restricted access (see 3.14):

- secured areas within industrial premises not open to the public;
- secured areas within business/commercial premises not open to the public (for example telephone private automatic branch exchange (PABX) rooms, computer system rooms, etc.);
- general areas within switching centres;
- delimited areas not open to the public on trains, ships or other vehicles.

c) Locations with unrestricted access (see 3.15):

- domestic premises;
- services industries that are open to the general public (e.g. shops and hotels);
- public areas on trains, ships or other vehicles;
- open public areas such as parks, streets, etc.;
- non-secured areas within business/industrial/commercial premises where members of the public are permitted to have access, such as some office environments.

OFCSS might pass through unrestricted public areas (for example in the home), restricted locations within industrial premises, as well as controlled locations such as cable ducts or street cabinets.

Optical local area networks (LANs) can be deployed entirely within restricted business premises.

Fibre systems can be entirely in unrestricted domestic premises such as hi-fi interconnections.

For requirements on infra-red (IR) wireless LANs or free space optical communication systems, see IEC 60825-12 [11].

D.2.2 Typical system components

a) Fibre cables:

- 1) single fibre/multiple fibre/ribbon construction;
- 2) single-mode/multimode;
- 3) all dielectric or hybrid construction;
- 4) carrying single/multiple wavelengths;
- 5) uni/bidirectional fibre;
- 6) communications/power feeding.

b) Optical sources:

- 1) LEDs, vertical-cavity surface-emitting lasers (VCSELs), Fabry-Perot or distributed feedback (DFB) lasers, pump lasers;
- 2) optical amplifiers;
- 3) bulk/distributed;
- 4) continuous, low-/high-frequency emission.

c) Connectors:

- 1) simplex/duplex/multiway;
- 2) hybrid.

d) Passive components:

- 1) power combiners/splitters;
- 2) wavelength multiplexers/demultiplexers;
- 3) attenuators.

- e) Protective enclosures and housings.
- f) Fibre distribution frames.

D.2.3 Typical operating functions

- a) Installation.
- b) Operation.
- c) Maintenance.
- d) Servicing.
- e) Fault-finding.
- f) Measurement (including OTDR).

D.3 OFCS power limits

The maximum mean power within the fibre for each hazard level for the most important wavelengths and optical fibre types used in OFCS is presented in Table D.1. The values shown assume that APR is not in operation. For most typical systems with duty cycles between 10 % and 100 %, the peak power can be allowed to increase with duty cycle in an inversely proportional manner. However, for duty cycles ≤ 50 %, it is most straightforward to limit the peak powers to twice these mean power limits, although IEC 60825-1 can be used for a more sophisticated analysis in order to identify any increase in peak powers permissible for these types of systems. This is especially valid when "visible sources" with wavelengths in the photochemical hazard area are used.

For the most common single-mode fibres, the point source limits need to be applied while for graded index multimode fibres with a core diameter of 62,5 μm (GI 62.5), the effect of angular subtense, which is linked to C_6 , needs to be considered for wavelengths between 400 nm and 1 400 nm. See NOTE 5 in Table D.1 for multimode fibres which need to be considered as extended sources.

The following aperture diameter and measurement distances are to be used for Condition 2 measurements:

- 3,5 mm at 35 mm for wavelengths $\geq 302,5$ nm and $< 1\,400$ nm.
- 3,5 mm at 14 mm for wavelengths $\geq 1\,400$ nm and $< 4\,000$ nm.

NOTE 1 For single-mode fibres at wavelengths $\geq 1\,400$ nm, for the vast majority of cases this condition will measure all the emission from the fibre, and will therefore account for any level of magnification.

NOTE 2 An alternative to this condition for single-mode fibres at wavelengths $\geq 1\,400$ nm is simply to measure the total emission from the fibre while recognizing that in certain cases this can result in an overestimate of the actual hazard.

NOTE 3 For hazard level 3B systems, the total emission from the fibre is limited to be less than the AEL of Class 3B (thus effectively capping the optical power in the fibre at 500 mW for exposures in excess of 0,25 s, and at the appropriate level for shorter exposures including, for example, system restart pulses).

Wavelength and fibre type	Hazard level					
	1	1M	2	2M	3R	3B
633 nm (MM)	1,95 mW	3,77 mW	5,00 mW	9,66 mW	25,0 mW	500 mW
	(+2,9 dBm)	(+5,8 dBm)	(+7,0 dBm)	(+9,9 dBm)	(+14,0 dBm)	(+27,0 dBm)
780 nm (MM)	2,82 mW	5,45 mW	–	–	14,5 mW	500 mW
	(+4,5 dBm)	(+7,4 dBm)			(+11,6 dBm)	(+27,0 dBm)
850 nm (MM)	3,89 mW	7,52 mW	–	–	20,0 mW	500 mW
	(+5,9 dBm)	(+8,8 dBm)			(+13,0 dBm)	(+27,0 dBm)
980 nm (MM)	7,08 mW	13,7 mW	–	–	36,3 mW	500 mW
	(+8,5 dBm)	(+11,4 dBm)			(+15,6 dBm)	(+27,0 dBm)
980 nm (SM)	1,80 mW	2,66 mW	–	–	9,21 mW	500 mW
	(+2,5 dBm)	(+4,2 dBm)			(+9,6 dBm)	(+27,0 dBm)
1 270 nm (MM)	140 mW	270 mW	–	–	500 mW	500 mW
	(+21,4 dBm)	(+24,3 dBm)			(+27,0 dBm)	(+27,0 dBm)
1 270 nm (SM)	46,2 mW	76,5 mW	–	–	237 mW	500 mW
	(+16,6 dBm)	(+18,8 dBm)			(+23,7 dBm)	(+27,0 dBm)
1 310 nm (MM)	481 mW	500 mW	–	–	500 mW	500 mW
	(+26,8 dBm)	(+27,0 dBm)			(+27,0 dBm)	(+27,0 dBm)
1 310 nm (SM)	166 mW	277 mW	–	–	500 mW	500 mW
	(+22,2 dBm)	(+24,4 dBm)			(+27,0 dBm)	(+27,0 dBm)
1 400 nm to 1 600 nm (MM)	13,3 mW	371 mW	–	–	See Note 1 in 4.3.9	500 mW
	(+11,2 dBm)	(+25,7 dBm)				(+27,0 dBm)
1 420 nm (SM)	10,1 mW	115 mW	–	–	See Note 1 in 4.3.9	500 mW
	(+10,0 dBm)	(+20,6 dBm)				(+27,0 dBm)
1 550 nm (SM)	10,2 mW	136 mW	–	–	See Note 1 in 4.3.9	500 mW
	(+10,1 dBm)	(+21,3 dBm)				(+27,0 dBm)

The maximum power shown in the table for 11 μm fibre is limited by the power density. The precise fibre power limit is therefore determined by the minimum expected beam divergence, which is in turn dependent on the MFD of a single-mode fibre. This can change for different values of the MFD and there are significant changes in Class limits as the MFD changes. Some connectors use enlarged MFD and the far field divergence is lower. These connectors can result in a higher hazard level and the higher hazard level is assigned when using these connectors.

Wavelength 1 270 nm corresponds to the shortest wavelength in the datacom applications, e.g. LAN-WDM 8.

The fibre parameters used are the most conservative cases; single-mode figures are calculated for a fibre with an 11 μm MFD, and multimode figures for a fibre with a numerical aperture of 0.18. Many systems operating at 980 nm and 1 550 nm use fibres with smaller MFDs. For example, the limit for hazard level 1M when a wavelength of 1 550 nm is transmitted along dispersion shifted fibre cables having upper limit values of MFD of 9.1 μm is 197 mW.

NOTE 4 Hazard level 1M limits for < 1 310 nm

The hazard level 1M limits for single-mode fibres at 900 nm and below are not presented here, as the divergence that these wavelengths will undergo is rather variable. This is because these wavelengths are in fact multimoded in standard 1 310 nm single-mode fibre, and the exact divergence will depend on the rather unpredictable degree of mode mixing. This mode mixing variability is also a potential problem when trying to evaluate these wavelengths on true multimode fibre. If it is necessary to calculate a value for these cases, the assumption that the fibre carries all of its power in the fundamental mode and use of the single-mode equations will yield a conservative value.

NOTE 5 Multimode fibre cables with a single core

For wavelengths between 400 nm and 1 400 nm, the AEL of Class 1 is calculated considering an angular subtense of the core diameter even for low magnifying optics (See D.4.1.2). When an angular subtense exceeds 1,5 mrad, therefore these fibres are considered as extended sources. Under Condition 3, i.e. measured from a distance of 100 mm, a fibre with a core diameter of larger than 150 µm measured is an extended source. For example, hard clad silica (HCS) fibres with 200 µm or plastic optical fibres with 1 000 µm core diameter are (intermediate) extended sources. The applicable source size depends on the degree of mode filling and is determined in detail before calculating the limit values. Even under Condition 2, i.e. measured from a distance of 35 mm, a fibre with a core diameter of larger than 52,5 µm measured is considered as an extended source. GI 50 fibres as shown in this table are therefore regarded as point sources and GI 62.5 fibres as extended sources under Condition 2.

NOTE 6 Multiple fibres and ribbon cables

The limits in the table are calculated for single fibres only. If multiple fibres or ribbon fibres with single fibres located in close proximity to each other have to be assessed, each individual fibre and each possible grouping of the fibres is evaluated (see D.4.6).

NOTE 7 1 420 nm power limit

The 1 420 nm power limits are calculated for the wavelength range of Raman amplification from 1 420 nm (pump) to 1 500 nm (signal).

D.4 Hazard level evaluation examples

D.4.1 Single wavelength over the same fibre

D.4.1.1 General considerations

The diameter of a divergent beam d_{63} , that contains 63 % of the total power or energy at a distance r from the apparent point source such as an optical fibre end is required to calculate AEL and MPE involving aperture and specified with a numerical aperture or NA. The NA of a point source is defined as the sine of one-half the divergence angle φ of the output beam, as measured at the 5 % of peak-irradiance points. That is

$$\frac{\varphi}{2} = \arcsin(\text{NA}).$$

For a Gaussian beam, the beam diameter d_{63} is given by

$$d_{63} = \frac{2r}{1,7} \tan[\arcsin(\text{NA})] \approx \frac{2r \text{ NA}}{1,7},$$

where the denominator 1,7 is the ratio of the beam diameter d_{95} that corresponds to the 5 %-of-peak-irradiance points to d_{63} , i.e. $d_{95} / d_{63} = 1,7$.

In case of a single-mode fibre that is a special case of a point source, the beam diameter d_{63} , at a distance r is approximated by

$$d_{63} = \frac{2\sqrt{2} r \lambda}{\pi \omega_0},$$

where λ is the wavelength, and ω_0 is the fibre MFD at a $1/e^2$ power density.

According to the measurement specifications given in 4.7.1, the maximum hazard level 1 output power $P_{1,\max}$ is defined so that the AEL of Class 1 P_{AEL} is equal to the total power passing through a circular aperture of diameter of $d_{a,1} = 3,5$ mm at a distance of r specified in Condition 2. P_{AEL} can be estimated according to Table 3 of IEC 60825-1:2014 when the angular subtense α from a distance of r is less than $\alpha_{\min} = 1,5$ mrad, i.e. the intrabeam viewing is applied, or Table 4 of IEC 60825-1:2014 when α exceeds $\alpha_{\min}$ (see D.4.1.2).

The maximum hazard level 1 output power $P_{1,\max}$ is given as

$$P_{1,\max} = P_{\text{AEL}} / \eta_1$$

where η_1 is a collecting efficiency of a Gaussian beam passing through the aperture, which is defined as

$$\eta_1 = 1 - \exp\left[-\left(\frac{d_{a,1}}{d_{63}}\right)^2\right].$$

When $d_{63} \ll d_{a,1}$, $P_{1,\max}$ is given as P_{AEL} since the total power from the point source passes through the aperture.

As shown in Table A.5 in IEC 60825-1:2014, the skin MPE at $700 \text{ nm} < \lambda < 1\,400 \text{ nm}$ is

$$2\,000 \times C_4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} = 2\,000 \times 5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} = 10 \text{ mW} \cdot \text{mm}^{-2}.$$

From the aperture diameter for skin of 3,5 mm in Table A.6 in IEC 60825-1:2014, the aperture area is $\pi (3,5 / 2)^2 = 9,62 \text{ mm}^2$. Hence the upper limit of P_{AEL} is obtained as

$$10 \text{ mW} \cdot \text{mm}^{-2} \times 9,62 \text{ mm}^2 = 96,2 \text{ mW}.$$

The maximum hazard level 1M output power $P_{1M,\max}$ emitted from a point source is defined so that P_{AEL} is equal to the total power passing through a circular aperture having a diameter of $d_{a,1M} = 7$ mm for wavelengths from 400 nm to 1 400 nm and 3,5 mm for wavelengths from 1 400 nm to 4 000 nm, placed at a distance of $r = 100$ mm, as specified in Condition 3.

Hence $P_{1M,\max}$ is given as

$$P_{1M,\max} = P_{\text{AEL}} / \eta_{1M}$$

where η_{1M} is a collecting efficiency of a Gaussian beam passing through the aperture, which is defined as

$$\eta_{1M} = 1 - \exp\left[-\left(\frac{d_{a,1M}}{d_{63}}\right)^2\right].$$

When $d_{63} \ll d_{a,1M}$, $P_{1,max}$ is given as P_{AEL} since the total power from the point source passes through the aperture.

D.4.1.2 Multimode fibre

For wavelengths between 400 nm and 1 400 nm, a multimode fibre with a single core is regarded as

- a) an extended source when the core diameter is larger than 52,5 μm , which corresponds to angular subtense of $\alpha_{min} = 1,5$ mrad from a distance of 35 mm, or
- b) a point source otherwise.

Therefore, the AEL of Class 1 P_{AEL} needs to be calculated considering an angular subtense of the core diameter.

Let us calculate the maximum hazard levels for standard multimode fibres with a core diameter of 50 μm or 62,5 μm and a numerical aperture of 0,18 which emits CW optical output at a wavelength of 850 nm. The time base used for a Class 1 system is therefore 100 s.

For a point source, that is, angular subtense α from a distance of $r = 35$ mm is less than $\alpha_{min} = 1,5$ mrad, P_{AEL} is given according to Table 3 of IEC 60825-1:2014 by

$$P_{AEL} = 3,9 \times 10^{-4} C_4 C_7 W,$$

where $C_4 = 10^{0,002(\lambda - 700)}$ and C_7 are correction factors for the wavelength in Table 9 of IEC 60825-1:2014. In the example of core diameter 50 μm that corresponds to an angular subtense $\alpha = 1,43$ mrad ($< \alpha_{min}$), P_{AEL} is calculated to be 0,78 mW, where $C_4 = 10^{0,002(\lambda - 700)} = 2,00$ and $C_7 = 1,00$.

For an extended source, that is, α exceeds α_{min} (and is less than $\alpha_{max} = 100$ mrad), P_{AEL} is given according to Table 4 of IEC 60825-1:2014 by

$$P_{AEL} = 7 \times 10^{-4} C_4 C_6 C_7 T_2^{-0,25} W,$$

where $C_6 = \alpha / \alpha_{min}$ and $T_2 = 10 \times 10^{(\alpha - \alpha_{min})/98,5}$ s are also correction factors from Table 9 of IEC 60825-1:2014. In the example of core diameter 62,5 μm that corresponds to angular subtenses $\alpha = 1,79$ mrad (between α_{min} and α_{max}), P_{AEL} is calculated to be 0,934 mW, where $C_4 = 10^{0,002(\lambda - 700)} = 2,00$, $C_6 = \alpha / \alpha_{min} = 1,19$, $C_7 = 1,00$ and $T_2 = 10 \times 10^{(\alpha - \alpha_{min})/98,5} = 10,1$ s. In the above examples therefore P_{AEL} does not exceed the upper limit of 96,2 mW determined by the skin MPE (see 4.7.2 a)).

According to Table 4, measurement is performed at $r = 35$ mm. Hence d_{63} is

$$d_{63} \approx \frac{2 r NA}{1,7} = \frac{2 \times 35 \text{ mm} \times 0,18}{1,7} = 7,41 \text{ mm}.$$

The maximum hazard level 1 output power $P_{1,\max}$ is therefore obtained by

$$P_{1,\max} = \frac{P_{\text{AEL}}}{\eta_1} = \frac{P_{\text{AEL}}}{\left\{ 1 - \exp \left[- \left(\frac{3,5 \text{ mm}}{7,41 \text{ mm}} \right)^2 \right] \right\}} = \frac{P_{\text{AEL}}}{0,2} \text{ W.}$$

For the 50 μm core (point source) and the 62,5 μm core (extended source), $P_{1,\max}$ are calculated to be 3,89 mW and 4,67 mW, respectively.

The OFCS is assigned to hazard level 1M when the level of radiation as determined according to Table 4 is larger than the AEL of Class 1 for Condition 1 and Condition 2 and less than 500 mW which is the AEL of Class 3B, but the level of radiation measured with an aperture stop of 7 mm diameter at a distance of 100 mm from the point source is less than or equal to the AEL of Class 1. A single multimode fibre is therefore regarded as an extended source when the core diameter is larger than 150 μm , which corresponds to angular subtense of $\alpha_{\min} = 1,5 \text{ mrad}$ from a distance of 100 mm, and as a point source otherwise.

At the distance 100 mm, the angular subtenses α of the 50 μm core and 62,5 μm core are calculated to be 0,5 mrad and 0,625 mrad, respectively, which are lower than $\alpha_{\min}$. Thus P_{AEL} is given according to Table 3 in IEC 60825-1:2014 by

$$P_{\text{AEL}} = 3,9 \times 10^{-4} C_4 C_7 \text{ W} = 0,78 \text{ mW.}$$

The beam diameter at the measurement distance of 100 mm is

$$d_{63} = \frac{2 r \text{ NA}}{1,7} = \frac{2 \times 100 \text{ mm} \times 0,18}{1,7} = 21,2 \text{ mm.}$$

The maximum hazard level 1M output power $P_{1\text{M},\max}$ is obtained by the fraction of the total emitted power that passes through the measurement aperture:

$$P_{1\text{M},\max} = P_{\text{AEL}} / \eta_{1\text{M}} = 0,78 \text{ mW} / \left\{ 1 - \exp \left[- \left(\frac{7 \text{ mm}}{21,2 \text{ mm}} \right)^2 \right] \right\} = 7,52 \text{ mW.}$$

This value is less than the AEL of Class 3B. Therefore, in this example, $P_{1\text{M},\max}$ is 7,52 mW.

In case of CW optical output at a wavelength of 1 270 nm, the maximum hazard level 1 output power $P_{1,\max}$ varies due to increase in C_7 as follows.

In this example, the angular subtenses α of the 50 μm core and 62,5 μm core are 1,43 mrad ($< \alpha_{\min}$) and 1,79 mrad (between $\alpha_{\min}$ and $\alpha_{\max}$), respectively; thus, the point source P_{AEL} and the (intermediate) extended source P_{AEL} are applied, respectively. When applying the wavelength and the time base of 100 s to Table 3 and Table 4 in IEC 60825-1:2014, P_{AEL} for the point source and the extended source are therefore given by

$$P_{\text{AEL}} = 3,9 \times 10^{-4} C_4 C_7 \text{ W} = 27,9 \text{ mW} \quad \text{for point source}$$

and

$$P_{AEL} = 7 \times 10^{-4} C_4 C_6 C_7 T_2^{-0,25} W = 33,4 \text{ mW} \quad \text{for extended source,}$$

where $C_4 = 5$, $C_6 = \alpha / \alpha_{\min} = 1,19$, $C_7 = 8 + 10^{0,04 (\lambda - 1250)} = 14,3$ and $T_2 = 10 \times 10^{(\alpha - \alpha_{\min})/98,5} = 10,1 \text{ s}$. Therefore, in this example, P_{AEL} does not exceed the upper limit of 96,2 mW calculated in D.4.1.1.

For this wavelength, d_{63} is 7,41 mm. The maximum hazard level 1 output power $P_{1,\max}$ for the 50 μm core (point source) and the 62,5 μm core (extended source) are therefore obtained by

$$P_{1,\max} = \frac{P_{AEL}}{\eta_1} = \frac{P_{AEL}}{\left\{ 1 - \exp \left[- \left(\frac{3,5 \text{ mm}}{7,41 \text{ mm}} \right)^2 \right] \right\}} = \frac{P_{AEL}}{0,2} W$$

to be 140 mW and 167 mW, respectively.

Let us calculate the maximum hazard level 1M output power $P_{1M,\max}$.

In this example, at the distance 100 mm, the angular subtenses α of the 50 μm core and 62,5 μm core are calculated to be 0,5 mrad and 0,625 mrad, respectively, which are lower than $\alpha_{\min}$. Thus P_{AEL} is given according to Table 3 in IEC 60825-1:2014 by

$$P_{AEL} = 3,9 \times 10^{-4} C_4 C_7 W = 27,9 \text{ mW}.$$

The beam diameter at the distance of 100 mm is

$$d_{63} \approx \frac{2 r \text{ NA}}{1,7} = \frac{2 \times 100 \text{ mm} \times 0,18}{1,7} = 21,2 \text{ mm}.$$

The maximum hazard level 1M output power $P_{1M,\max}$ is obtained by the fraction of the total emitted power that passes through the measurement aperture:

$$P_{1M,\max} = 27,9 \text{ mW} / \left\{ 1 - \exp \left[- \left(\frac{7 \text{ mm}}{21,2 \text{ mm}} \right)^2 \right] \right\} = 270 \text{ mW}.$$

This value is less than the AEL of Class 3B. Therefore, in this example, $P_{1M,\max}$ is 270 mW.

D.4.1.3 Single-mode fibre

Let us calculate the maximum hazard levels for a single-mode fibre with an MFD of 11 μm which emits CW optical output at a wavelength of 1 270 nm.

By applying the wavelength and the time base used for a Class 1 system of 100 s to Table 3 of IEC 60825-1:2014, P_{AEL} is given by

$$P_{AEL} = 3,9 \times 10^{-4} C_4 C_7 W$$

where $C_4 = 5$ and $C_7 = 8 + 10^{0,04 (\lambda - 1250)} = 14,3$ from Table 9 in IEC 60825-1:2014. Hence $P_{AEL} = 27,9$ mW, which does not exceed the upper limit of 96,2 mW.

In this example, measurement is performed at $r = 35$ mm. Hence d_{63} is

$$d_{63} = \frac{2\sqrt{2} r \lambda}{\pi \omega_0} = \frac{2\sqrt{2} \times 35 \text{ mm} \times 1270 \text{ nm}}{\pi \times 11 \text{ } \mu\text{m}} = 3,64 \text{ mm}$$

The maximum hazard level 1 output power $P_{1,\max}$ is therefore obtained as

$$P_{1,\max} = \frac{P_{AEL}}{\eta_1} = \frac{27,9 \text{ mW}}{\left\{ 1 - \exp \left[- \left(\frac{3,5 \text{ mm}}{3,64 \text{ mm}} \right)^2 \right] \right\}} = 46,2 \text{ mW}.$$

Let us calculate the maximum hazard level 1M output power $P_{1M,\max}$.

In this example, the beam diameter at the measurement distance of 100 mm is

$$d_{63} = \frac{2\sqrt{2} r \lambda}{\pi \omega_0} = \frac{2\sqrt{2} \times 100 \text{ mm} \times 1270 \text{ nm}}{\pi \times 11 \text{ } \mu\text{m}} = 10,4 \text{ mm}$$

The maximum hazard level 1M output power $P_{1M,\max}$ is obtained by the fraction of the total emitted power that passes through the measurement aperture of 7 mm diameter:

$$P_{1M,\max} = P_{AEL} / \eta_{1M} = 27,9 \text{ mW} / \left\{ 1 - \exp \left[- \left(\frac{7 \text{ mm}}{10,4 \text{ mm}} \right)^2 \right] \right\} = 76,5 \text{ mW}.$$

This value is less than the AEL of Class 3B. In this example, therefore, $P_{1M,\max}$ is 76,5 mW.

In case of CW optical output at a wavelength of 1310 nm, the maximum hazard level 1 output power $P_{1,\max}$ increases due to the wavelength dependence of C_7 as follows.

When applying the wavelength and the time base of 100 s to Table 3 in IEC 60825-1:2014, P_{AEL} is given by

$$P_{AEL} = 3,9 \times 10^{-4} C_4 C_7 \text{ W},$$

where $C_4 = 5$ and $C_7 = 8 + 10^{0,04 (\lambda - 1250)} = 259,19$. Hence $P_{AEL} = 505,4$ mW. The obtained P_{AEL} exceeds the upper limit to be substituted by $P_{AEL} = 96,2$ mW.

From Condition 2 shown in Table 4, measurement is performed at $r = 35$ mm. Hence d_{63} is

$$d_{63} = \frac{2\sqrt{2} r \lambda}{\pi \omega_0} = \frac{2\sqrt{2} \times 35 \text{ mm} \times 1310 \text{ nm}}{\pi \times 11 \text{ } \mu\text{m}} = 3,75 \text{ mm}.$$

The maximum hazard level 1 output power $P_{1,\max}$ is therefore obtained as

$$P_{1,\max} = \frac{P_{\text{AEL}}}{\eta_1} = \frac{96,2 \text{ mW}}{\left\{ 1 - \exp \left[- \left(\frac{3,5 \text{ mm}}{3,75 \text{ mm}} \right)^2 \right] \right\}} = 165 \text{ mW}.$$

Let us calculate the maximum hazard level 1M output power $P_{1\text{M},\max}$.

For this wavelength, the beam diameter at the measurement distance of 100 mm is

$$d_{63} = \frac{2\sqrt{2} r \lambda}{\pi \omega_0} = \frac{2\sqrt{2} \times 100 \text{ mm} \times 1310 \text{ nm}}{\pi \times 11 \text{ } \mu\text{m}} = 10,7 \text{ mm}.$$

The maximum hazard level 1M output power $P_{1\text{M},\max}$ is obtained by the fraction of the total emitted power that passes through the measurement aperture:

$$P_{1\text{M},\max} = P_{\text{AEL}} / \eta_{1\text{M}} = 96,2 \text{ mW} / \left\{ 1 - \exp \left[- \left(\frac{7 \text{ mm}}{10,7 \text{ mm}} \right)^2 \right] \right\} = 277 \text{ mW}.$$

This value is less than the AEL of Class 3B. Therefore, in this example, the maximum hazard level 1M output power is 277 mW.

D.4.2 Multiple wavelengths over the same fibre

D.4.2.1 General

When more than one wavelength is transmitted along a single fibre, such as on a wavelength division multiplexing (WDM) system, then the hazard level depends on both the power levels and on whether the wavelengths are additive. For skin exposure to wavelengths usually used in OFCS, the hazards are always additive. For most fibre systems, 1 400 nm is the point at which addition conditions change:

- if two wavelengths are both below 1 400 nm, they add, i.e. the combined hazard is higher;
- if two wavelengths are both above 1 400 nm, they add, i.e. the combined hazard is higher;
- if one wavelength is above 1 400 nm and one is below, then hazards do not add, i.e. the combined hazard does not increase.

Skin and retinal hazards need to be calculated separately.

To calculate the hazard level for a multi-wavelength system, the system power needs to be calculated at each wavelength as a proportion of the AEL for that Class at that wavelength (for example 25 %, 60 %, etc., up to 100 %), and then add these components together. If the totalled proportion exceeds 1 (100 %), then the hazard level exceeds the accessible emission limits for that Class. This procedure should also be used when determining the APR timing by using the MPE table instead of the AEL tables.

D.4.2.2 Multi-wavelength example

An optical transmission system using single-mode fibre of an 11 μm MFD carries six optical signals: at wavelengths of 1 270 nm, 1 280 nm, 1 290 nm, 1 300 nm, 1 310 nm and 1 320 nm. Each of these signals has a maximum time-averaged power of 10 dBm (10 mW). Determine the hazard level at the transmitter site.

In the absence of any other information concerning the transmitter emission duration when a connector is removed, assume that no shutdown system operates, and then determine the hazard level based on the power levels accessible at the transmitter connector (removing the connector is a reasonably foreseeable event).

Assess on the basis of $t = 100$ s emission duration for unintended viewing (see 4.3 e) of IEC 60825-1:2014).

Table 1 of IEC 60825-1:2014 indicates that the effects of all wavelengths are additive. The evaluation should therefore be made on the basis of the ratio of the accessible emission at each wavelength to the AEL for the applicable class at that wavelength (see 4.3 b) of IEC 60825-1:2014).

First compare the emission levels with the AEL for Class 1.

Since we have a small source with an 11 μm MFD the angular subtense α of the source is less than $\alpha_{\min}$, thus the case for $C_6 = 1$. From Table 3 of IEC 60825-1:2014, AELs

$$P_{\text{AEL}} = 3,9 \times 10^{-4} C_4 C_7 \text{ W},$$

where

$C_4 = 5$ for wavelengths $\geq 1\,050$ nm

and

$C_7 = 8 + 10^{0,04 (\lambda - 1\,250)}$ for wavelengths $\geq 1\,200$ nm.

Hence for wavelengths 1 270 nm, 1 280 nm, 1 290 nm, 1 300 nm, 1 310 nm and 1 320 nm, the AELs are 27,9 mW, 46,5 mW, 93,2 mW, 96,2 mW, 96,2 mW and 96,2 mW, respectively, where AELs for the wavelengths longer than 1 290,4 nm are limited to 96,2 mW by the values derived from skin MPE.

The measurement specifications given in 5.4 of IEC 60825-1:2014 require the most restrictive condition in Table 4 to be applied. For a divergent beam from an optical fibre the most restrictive condition is 2. Using Table 4, the aperture diameter is 3,5 mm and the measurement distance is 35 mm for thermal limits.

Using the expression for the beam diameter at distance r from an optical fibre, the diameter at the 63 % (1/e) points for the single-mode fibre with ω_0 which is the MFD defined at a $1/e^2$ power density is

$$d_{63} = \frac{2\sqrt{2} r \lambda}{\pi \omega_0} = \frac{2\sqrt{2} \times 35 \text{ mm} \times 1\,310 \text{ nm}}{\pi \times 11 \mu\text{m}} = 3,75 \text{ mm}.$$

Thus, the collecting efficiency η_1 passing through a 3,5 mm aperture is calculated to be

$$\eta_1 = 1 - \exp \left[- \left(\frac{3,5 \text{ mm}}{3,75 \text{ mm}} \right)^2 \right] = 0,582.$$

Thus, in this case, 58,2 % of the fibre power would be collected by the 3,5 mm aperture at the distance of 35 mm from the single-mode fibre end. Although the collecting efficiency η_1 depends on the wavelength, the most conservative collecting efficiency η_1 of 60 % at 1 270 nm wavelength is applied in the following.

Summing the ratios of the respective collecting power to the corresponding AEL, $P_{AEL,k}$ at each wavelength yields

$$\sum_k \left[\frac{(\text{Power})}{P_{AEL,k}} \right] = \frac{10 \text{ mW} \times 0,6}{27,9 \text{ mW}} + \frac{10 \text{ mW} \times 0,6}{46,5 \text{ mW}} + \frac{10 \text{ mW} \times 0,6}{93,2 \text{ mW}} + 3 \times \frac{10 \text{ mW} \times 0,6}{96,2 \text{ mW}} = 0,594$$

This ratio is less than 1; thus, the accessible emission is within Class 1 limits and so hazard level 1 applies at that location.

D.4.3 Bi-directional (full duplex) transmission

There is no additive effect from each separate direction of transmission, as each broken fibre cable end represents a separate hazard if the fibre breaks. The hazard level is determined by the transmission direction with the higher power.

D.4.4 Automatic power reduction

D.4.4.1 General

By using automatic power reduction in an end-to-end OFCS it is possible to assign a lower hazard level than would otherwise have been the case. This is important when the hazard level of the internal optical transmitters/amplifiers of a system can put a limitation on where that system can be deployed. See Annex B.

Automatic power reduction should not take the place of good working practices and proper servicing and maintenance. Also, the reliability of the APR mechanism should be taken into account when assessing the hazard level.

Assessment of the hazard level should take place at the time of reasonably foreseeable human access to radiation (for example after a fibre break), unless measurement at a later time would result in a larger exposure (see 4.7.1 and 4.7.2).

Automatic power reduction is not regarded as a universally protective measure because, after a fibre break, it is common practice to use an optical test set (usually an optical time domain reflectometer, OTDR) to determine the location of the break. This instrument launches laser power down the fibre under test. Therefore, even if the normal telecommunications transmitter is shut down or removed, the diagnostic instrument could, at a later time, apply laser power to the fibre.

These OTDRs typically operate at Class 1, so no potential hazard is present at such sources. However, higher power systems have a longer range and can require Class 1M, Class 3R or Class 3B OTDRs to detect the break. Also, OTDR signals can be amplified to a higher Class if sent through an optically amplified system.

Except for turnkey systems designed for use in unrestricted locations, it is important that a laser safety professional or the OFCS operator decide for each location (or for the entire span of a network) the hazard level that should be permitted, consistent with the level of laser training provided to their staff and others who could access their network. Hazard level 1M or hazard level 3R are often chosen because workers would be instructed not to use any optical (collimating) instruments that would increase the hazard and typically they would have no need to examine the fibre at a close range. Hazard level 3B is acceptable in controlled locations with proper labelling and connector conditions.

Subclause D.4.4 will examine APR under several circumstances:

- in systems with optical amplifiers;
- on a readily accessible fibre in a splice tray;
- at a fibre optic connector;
- on a fibre not readily accessible in a submerged/buried cable;
- in restricted and unrestricted locations;
- in the case of ribbon cables.

For upper limit values of typical wavelengths, see Clause D.3 and Table D.1.

D.4.4.2 Optical amplifiers

Optical amplifiers have the capability to generate significant levels of optical power. Powers of the order of ≥ 500 mW are not uncommon. This can result in a potential hazard without the use of protection mechanisms. For this reason it is important that a suitable means is employed for limiting such power levels when amplifiers are accessed for repair or maintenance. Consideration of appropriate mechanisms including, but not limited to, APR to reduce the hazard level and the use of shuttered connectors might be necessary.

D.4.4.3 APR for distributed optical amplification systems

APR for distributed optical amplification systems (e.g. Raman) is required not only on main signal sources but also on pump lasers. The response of such a distributed optical amplification system could have shorter time-periods than other (lower power) systems, depending on the actual pump power in the Raman amplification system of interest.

D.4.4.4 Fibre in a splice tray

As powers increase in an OFCS, it is important that splicing operations on potentially energized fibres of hazard level 3B take into consideration the safety of the operator, and a fully enclosed splicing system should be employed in such cases. If splicing is not to take place in a protective enclosure, automatic power reduction is an option for reducing the hazard level and, therefore, the exposure.

D.4.4.5 Connectorized systems

Another occurrence where access to energized fibre is reasonably foreseeable is when an energized system has one or several of its fibres disconnected at an optical connector.

A number of solutions exist to achieve a safer hazard level when disconnecting optical connectors. For example, one mechanical solution that can be considered is the use of shuttered connectors. Such a solution, provided the connectors meet the reliability characteristics outlined in Clause D.5, provides control of the exposure from unmated connectors. These shutters should operate within 1 s in unrestricted locations and 3 s in restricted and controlled locations. It should be noted that shutters might not be practical or desirable for controlling optical power levels exceeding hazard levels 1M, 2M or 3R. In these situations, APR might be the only solution.

D.4.4.6 Submerged/buried cable for undersea systems

Certain undersea systems have the potential to carry substantial optical power levels. Typically, damage to fibre cable is incurred on the submerged portion, not on the buried land portion. Because the fibre cable is submerged, an appropriate shipping vessel is necessary to retrieve the cable and repair it, which can take hours or days to accomplish. As automatic power reduction might not be appropriate or practical for these systems, rigorous administrative controls, including manual laser shutdown procedures, might need to be employed. This will ensure that proper working conditions are maintained below hazard level 4, as specified in this document.

Manual shutdown of the system under repair/maintenance/service conditions is currently the practice for many operators because of the hazardous electric power associated with the submerged cable. This electric power is used to power the undersea repeaters along the route. In the future, for repeaterless systems, this electric power might no longer be a part of the cable. However, the work practice to de-energize fibre before extraction should be continued and maintained because of the hazards of the associated optical power.

D.4.4.7 APR for restricted and unrestricted locations

OFCS designers need to be aware of the restrictions in 4.9 regarding restricted and unrestricted locations. For these locations the designers should consider the incorporation of APR into any system that has the potential to expose humans to optical power of Class 3B or above. Appropriate break detection and reliability precautions should be taken when designing this power down system.

D.4.4.8 APR for ribbon cables

The use of ribbon cables can place the OFCS in a more restrictive hazard level. A careful hazard assessment, as explained in D.4.6, should take place, and appropriate APR, shuttering and splicing considerations should be evaluated and implemented with respect to the potentially increased hazard level and the location of the OFCS.

D.4.5 Multiple fibres

The hazard from bundles of broken (i.e. not cleaved) fibre within a broken fibre cable does not increase beyond that of the worst case fibre within that cable. This has been shown by a considerable number of measurements on broken fibre ends, consideration of reflection and scattering at fibre ends, and random alignment and movement of fibre ends.

These measurements and considerations have also been shown to apply to broken ribbon fibre, but not to ribbon fibre cleaved as a unit (see D.4.6).

D.4.6 Ribbon cable

D.4.6.1 General

Ribbon fibre ends cleaved as a unit can exhibit a higher hazard level than that of a single fibre. An example would be eight fibres within a ribbon, each carrying a power level just within hazard level 1M. Individually, they are of a relatively safe 1M hazard level; however, when cleaved as an unseparated unit, the hazard level might become 3B, thus presenting a genuine eye risk. This results from the small centre-centre separation distances of typical ribbon fibre of 150 μm to 250 μm . The low angular separation of several equally spaced fibres leads to a cumulative effect. At the evaluation distance of 35 mm, the α of one single-mode fibre is less than $\alpha_{\min}$ for CW emission [$\alpha_{\min} = 1,5 \text{ mrad}$, see 4.3 c) of IEC 60825-1:2014].

The angular subtense of the ribbon in its plane will depend on the number of fibres and their separation (for example an eight-fibre ribbon with fibres spaced at 200 μm will subtend 21 mrad at 35 mm distance for the mean α value). This subtense exceeds $\alpha_{\min}$ and the ribbon is considered as an extended source and the point source AEL can be increased by factor C_6 . Any angular dimension that is more than $\alpha_{\max}$ ($\alpha_{\max} = 100 \text{ mrad}$) or less than $\alpha_{\min}$ (1,5 mrad) should be limited to $\alpha_{\max}$ or $\alpha_{\min}$, respectively, before determining the mean.

The total power permitted in the ribbon fibre is determined by the worst case combination of any individual fibres. For details see 4.3 d) classification rules for non-uniform, non-circular or multiple apparent sources of IEC 60825-1:2014.

D.4.6.2 Ribbon fibre example calculation

The ribbon consists of eight equally spaced (by 200 μm) single-mode fibres with MFDs of 11 μm . What is the maximally allowed hazard level 1 CW output power per fibre for a wavelength of a) 1 310 nm and b) 1 550 nm?

a) Evaluation at 1 310 nm

Evaluations should be made for every single fibre or assembly of fibres, necessary to assure that the source does not exceed the AEL for each possible angle α subtended by each partial area, where $\alpha_{\min} < \alpha \leq \alpha_{\max}$. Table D.2 shows the AEL per combination of fibres as well as the resulting maximum permitted power within one single fibre of the combination. Here, the hazard level 1 output power for a single-mode fibre with a 11 μm MFD is derived from the Class 1 AEL of 96,2 mW to be 165 mW, taking into account the collecting efficiency of 0,582 for the single-mode fibre with an MFD of 11 μm . Note that any combination of fibres does not represent the worst case due to the larger C_6 values as compared with the number of fibres. Therefore, the maximum power for one single fibre of the ribbon is 165 mW, corresponding to the case of single fibre.

Table D.2 – Relation between the number of fibres in a ribbon fibre and the maximum permitted power (example)

Combination (No. of fibres)	1	2	3	4	5	6	7	8
C_6	1,0	2,51	4,41	6,32	8,22	10,1	12,0	13,9
T_2	10,0	10,5	11,3	12,1	12,9	13,8	14,7	15,7
AEL mW	165	409	706	995	1 273	1 538	1 797	2 048
Resulting limit per fibre mW	165	205	235	249	255	256	257	256

b) Evaluation at 1 550 nm

At 1 550 nm, the hazard for the cornea dominates. Consequently, there is no correction factor C_6 . The maximum power per fibre is simply the corresponding AEL for one source, divided by the number of fibres, i.e. 10,2 mW / 8 = 1,28 mW.

D.4.6.3 Ribbon fibre issues

The additive property of the radiation hazard from ribbon fibre sources, therefore, means that the hazard level of a location can depend on the choice of cable type. For instance it is impractical to switch off essential systems if they are designed for live maintenance and if the resulting hazard level at the location is not compatible with the location type. A solution will be required to reduce the hazard if ribbon fibres are to be used in this fibre network.

The solution is recommended not to be too difficult. As broken ribbon fibres do not present a problem, it is only the cleaving and splicing operations that require consideration. Separated ribbon, being no different from normal fibre, also does not present a problem.

If access to unseparated cleaved fibre end can be assuredly prevented, then, as the hazard level relates to accessible emission limits, the hazard level can be prevented from increasing. Any method would have to prevent access under reasonably foreseeable circumstances (i.e. not just an instruction "not to look!"). A possibility might be to use a cleaving tool that stayed attached to the cleaved fibre end until it was inserted into a ribbon splicer that likewise prevented access during the whole operation.

Once ribbon fibre is used in the network, it will be difficult to control what type of system is put onto it.

D.4.7 Power diminution due to power splitters and fibre losses

This power diminution might be taken into account; for example, at the customer side of a distribution network, the hazard level after some length of fibre can be lower than at the distribution point.

Figure D.1 shows the layout of a typical passive optical network (PON).

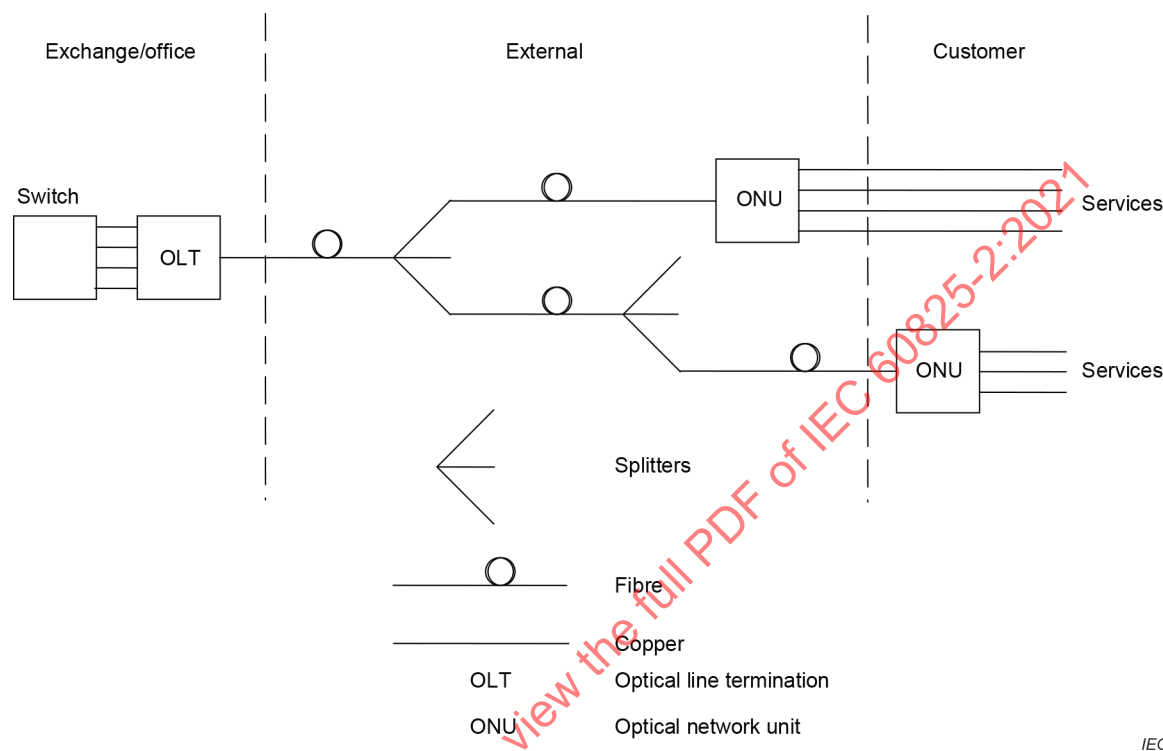


Figure D.1 – PON (passive optical network)-based system

D.4.8 General considerations and examples

- The assessment of hazard levels should always consider reasonably foreseeable fault conditions (see 4.7.3) resulting from random failures in hardware components and systematic failures (e.g. failure of software controlling the APR function). Consequently, it can be necessary to include multiple fault conditions: a determination of the probability of such conditions occurring is conducted by the responsible organization.

NOTE Whereas IEC 60825-1 refers to single fault conditions, it can be reasonably foreseeable that more than one fault will combine to cause a dangerous situation.

- Service conditions can result in higher hazard levels (see 4.8.5). These should be considered by the responsible organization and persons. Examples are: introduction of high power or amplified optical time domain reflectometer pulses into an operating fibre network; failure or overriding of the APR [see 5) of 4.6.1 b)].
- Changing of components, system parameters or the network structure can result in changed hazard levels. Examples are: replacement of conventional bundled fibre cables by ribbon cables (this might be beyond the direct supervision of the network manager); change of the modulation scheme; change in transmitter circuit pack power or wavelength; addition/change of optical amplifiers, etc.

D.5 Fault analysis – Explanation and guidance

D.5.1 General

Fault analysis is necessary for systems where the optical output is dependent on the integrity of other components and the performance of the circuit design. The manufacturer or operator should carry out a fault analysis.

Hazard levels are assessed under reasonably foreseeable fault conditions. The purpose of fault analysis is to identify failures in the optical control circuits that could have significant consequences affecting the assigned hazard level. For example, it is permitted for the lasers used in locations with hazard level 1M to emit optical power exceeding the upper limit of hazard level 1M under normal operating conditions, if an adequate APR feature is provided. However, in case of a fibre break, the accessible radiation is reduced so that it is within the limits of hazard level 1M. If, however, a fault in a component in the laser drive circuit or in the APR were to result in radiation exceeding the limits for hazard level 1M, then a higher hazard level would need to be assigned.

An APR feature can comprise both hardware and software components: both components should be taken into account when determining the reliability of the APR feature.

No system is 100 % fail-safe since there is always a non-zero probability that failures will occur. To quantify the risk of exposure to hazardous radiation, OFCS should be subject to fault analysis using recognized techniques.

D.5.2 Commonly used fault analysis techniques

Commonly used fault analysis techniques are:

- simulation of those faults that could be expected under reasonably foreseeable conditions;
- failure modes, effects, and criticality analysis (FMECA, see IEC 60812 [10]);
- consequence analysis (see the IEC 61508 series [8]).

D.5.3 Failure modes, effects, and criticality analysis

If the chosen method of fault analysis is failure modes, effects, and criticality analysis then the probability of exceeding the accessible emission limits (under reasonably foreseeable circumstances) for the target hazard level should not exceed 500 FITs. The manufacturer or operator should carry out a fault analysis.

NOTE On the basis of 500 FITs and the estimated amount of time an engineer works on live fibres throughout their working life, the incident rate for the risk of injury to the eye is less than five HITs. (HITs is the number of hazard incidents per 10^9 h. For example in the UK, the Health and Safety Executive considers an occupational risk of less than 5,43 HITs for accidents to be trivial.)

The following steps are a typical procedure of failure modes, effects, and criticality analysis (FMECA):

- Step 1: identify critical components;
- Step 2: identify component failure modes;
- Step 3: determine beta values (beta values depend on the criticality of the failure mode);
- Step 4: determine failure rates.

D.5.4 Consequence analysis

The IEC 61508 series [8] is one example of a standards-based approach that can be used to quantify the reliability of automatic power reduction (APR) safety systems.

The typical procedure is the following:

- Step 1: consequence evaluation;
- Step 2: frequency evaluation;
- Step 3: evaluation of the possibility of avoiding the hazard;
- Step 4: evaluation of the probability of the hazardous event taking place without any safety-related systems;
- Step 5: mapping onto the graph;
- Step 6: determination of the reliability of the system;
- Step 7: reducing the risk from systematic failures consequence evaluation;
- Step 8: FIT rate determination.

Concerning random hardware failures, the safety integrity level (SIL) or probability of failure of an automatic power reduction system is the APR unavailability. If the APR is continually monitored with alarms to alert to a malfunction of the APR or periodically tested, this unavailability is determined by both the APR equipment reliability and the operator repair time (mean time to repair or MTTR) in the event of an APR failure. Equipment reliability is often expressed as FIT rate (failures in 10^9 hours).

The reliability of the APR system is a continuum that is dependent on the responsible use and maintenance of these systems. For APR functions with a very low FIT rate, no maintenance of the APR function is needed if the product is taken out of service within the specified lifetime of the APR function. For all other systems the APR unavailability, and consequently the FIT rate, is dependent on the possibility that any failure of the APR can be detected and the operator alerted in a reasonable time for repair, as well as the responsiveness of the operator to respond to any alarms that would indicate a failure in the APR.

Since equipment manufacturers do not have control over the maintenance of their systems, it can be useful to propose specific FIT rates – rather than the combination of SILs and mean time to repair. Manufacturers are likely to supply APR systems that either 1) have frequent or continuous diagnostic testing (proof testing) or 2) are not tested or monitored. For continuous diagnostic testing, monitoring, and alarming, it is likely that a failure in an optical fibre communications system would be repaired within one day, therefore MTTR is 24 h. Systems that do not test the safety-related systems can operate unattended for long periods, but sometimes these systems are likely to be upgraded, repaired, tested or replaced every couple of years. Therefore, MTTR can sometimes be considered to be 10^4 h, which is in the order of one year.

With this information, the FIT rate can now be determined. As an example, consider a communication system operating at 1 550 nm where the optical power under normal operation (no fault detected) exceeds Class 1M but is below the upper limit of Class 3B. Let us say that we wish to enable the OFCS to operate in an unrestricted location. To facilitate this, the radiation accessible under reasonably foreseeable fault conditions needs to be limited to hazard level 1, and, given the Class of laser emitter, an APR system is needed. The maximum permitted FIT rate should be assigned as the upper limit of a SIL 1 level system. By the detail calculation, it can be derived that the minimum requirement (i.e. the maximum acceptable FIT rate) would be 4×10^6 FITs for a continuously diagnosed system with an MTTR of 24 h, 10^4 FITs for a system with an MTTR of one year, and 500 FITs for a system without continuous diagnostics.

FIT rate specifications can similarly be determined for other consequence risk levels (see the IEC 61508 series [8]).

D.6 Suggested working practices

D.6.1 General working practices

The following working practices can be regarded as examples of good practice, and are recommended when working with OFCS. Different working practices can apply in different circumstances.

a) Viewing fibre:

Do not stare with unprotected eyes or with any unapproved collimating optics at the fibre ends or connector faces, or point them at other people.

b) Viewing aids:

Use only approved filtered or attenuating viewing aids.

c) Fibre ends (single or multiple):

Any single or multiple fibre end(s) found not to be terminated (for example, matched, spliced) should be individually or collectively covered with material appropriate for the wavelength and power when not being worked on. They should not be readily visible and sharp ends should not be exposed.

Suitable methods for covering include the use of a splice protector or tape. Always attach end caps to unmated connectors.

d) Ribbon fibres:

Do not cleave ribbon fibres as an unseparated ribbon, or use ribbon splicers, unless authorized.

e) Test cords:

When using optical test cords, the optical power source should be the last to be connected and the first to be disconnected.

f) Fibre off-cuts:

Collect all fibre off-cuts and dispose of them in an approved container. The container itself should be disposed of in an approved manner.

g) Maintenance:

Follow only approved instructions for operating and maintaining the system being worked on.

h) Cleaning:

Use only approved methods for cleaning and preparing optical fibres and optical connectors.

i) Modification:

Do not make any unauthorized modifications to any OFCS or associated equipment.

j) Board extenders:

Board extenders should not be used on optical transmitter cards. Do not power optical sources when they are outside transmitter racks.

k) Label damage:

Report damaged or missing optical safety labels to line management.

l) Key control:

For equipment with key control, the keys should be placed under the control of a person appointed by management who should ensure their safe use, storage and overall control. Spare keys should be retained under strict control procedures by a nominated line manager.

m) Test equipment:

Use test equipment of the lowest class necessary and practical for the task. Do not use test equipment of a higher class than the location hazard level.

n) Signs:

Area warning signs are required for locations exceeding hazard level 1M. Area signs may be displayed in locations of lower classification.

o) Alarms:

System alarms, especially those indicating that the APR or any other safety system is inoperable, should be responded to so that repair takes place within specified time.

D.6.2 Live working practices for hazard levels 1, 1M, 2, 2M and 3R

When working on live/energized systems (e.g. when optical signals are being transmitted along the fibre of an OFCS), the working practices listed in D.6.1 should be used.

D.6.3 Working practices for hazard level 3B

Working on an energized system (sometimes referred to as 'live working') in locations with hazard level 3B allocated is not recommended.

Responsible and adequate OFCS safety and training programmes should be established and maintained by management. Personnel engaged in the installation and servicing of OFCS should observe all rules, and report to management any potentially unsafe conditions or abnormal exposures to optical radiation.

If working on energized systems in locations with hazard level 3B is not permitted (as described above), then the following working practices should be used.

- All general practices defined in D.6.1.
- The equipment generating the optical radiation should be de-energized, thereby de-energizing the OFCS (as detailed in D.6.4).
- Check that there is no optical power in the fibre by using an approved optical power meter capable of withstanding the highest power transmitted in the system without damage.
- Cover the ends of all exposed fibres not being worked on. Always ensure unmated connectors are appropriately attenuated, using the in-built connector shutter mechanism or an end cap.
- Use only indirect viewing aids (for example televised or shadow imaging splicing machines). Do not use microscopes or eye loupes without authorization.
- When using optical test cords, the optical power source should be the last to be connected and the first to be disconnected.

D.6.4 Formal power-down and power-up procedure for hazard level 3B

When de-energizing an OFCS (if working on energized systems is not permitted), the following procedure should be adopted.

- a) A nominated person at an optical power source should:
 - have been trained to an appropriate level on the type of equipment which has to be switched on and off;
 - be conversant with the instructions and safety requirements relating to the previous paragraph and with any additional local instructions and circumstances;
 - have a responsible attitude to safety.
- b) Nominated persons should be appointed by line management and be notified of their appointment.
- c) A list of nominated persons at each installation should be recorded and prominently displayed.

- d) Before starting work, the person authorized to carry out the work (the originator) should:
- contact a nominated person at the appropriate optical power source and request that the power on the relevant fibres be switched off;
 - on duplex systems, contact a nominated person at each end;
 - on being informed that the power has been switched off, complete the necessary forms, which should be retained by the originator. These forms need not be completed if the originator and the nominated person are one and the same;
 - verify (with an energized/live fibre identifier or optical power meter) that the power is off;
 - on completion of the work, inform a nominated person at the appropriate optical power source(s).
- e) On receipt of a request from an originator to switch off an optical power source, the nominated person should:
- record the time and date of the request and the details of the originator. Forms should be kept on file at the location of the optical source;
 - switch off the appropriate power source (with key control, if fitted);
 - complete the warning label and affix it to the appropriate station equipment at the point of disconnection, for example equipment rack, distribution frame; a label should be attached for each originator;
 - contact the originator and give him or her the job number and the time that the source was switched off;
 - on being informed that the work has been completed, record the details appropriately and remove the warning label from the equipment before re-energizing the source. When more than one originator requires the same power source to be switched off, the source should not be re-energized before all work is completed.

D.7 Maximum output power during shutdown

Table D.3 lists the maximum output power (mW), during the shutdown time, for single-mode OFCS which shut down to lower hazard level limits in 1 s for unrestricted locations and 3 s for restricted and controlled locations (see 4.7.2). Engineering requirements as outlined in Table 5 should be employed as appropriate to that lower hazard level.

The equation used to derive Table D.3 was

$$\text{NOHD} = \frac{\omega_0 \pi d}{2\sqrt{2}\lambda} \times \frac{1}{\sqrt{\ln \left(\frac{P}{P - \frac{\pi d^2 \text{MPE}}{4t}} \right)}}$$

An alternative form of this equation is

$$P = \frac{\pi d^2 \text{MPE}}{4t} \times \frac{1}{1 - \exp \left[-0,125 \left(\frac{\pi \omega_0 d}{\lambda \text{NOHD}} \right)^2 \right]}$$

where

- ω_0 is the MFD ($1/e^2$ power density) (m);
- P is the total power in fibre (W);
- d is the limiting aperture diameter (m);

MPE is the MPE value (Jm^{-2});

NOHD is the nominal ocular hazard distance (m);

t is the shutdown time (s);

λ is the wavelength (m).

Table D.3 – Examples of power limits for optical fibre communication systems having automatic power reduction to reduce emissions to a lower hazard level

Wavelength nm	MFD μm	Maximum power output unrestricted mW	Maximum power output restricted mW	Maximum power output controlled mW	Shutdown time s	Measurement distance m
980	7	9,4	9,4	N/A	1	0,1
980	7	N/A	7,2	N/A	3	0,1
980	7	N/A	N/A	39	3	0,25
1 310	11	2 587	2 587	N/A	1	0,1
1 310	11	N/A	1 966	N/A	3	0,1
1 310	11	N/A	N/A	10 347	3	0,25
1 400 to 1 500	11	1 598	1 598	N/A	0,3	0,1
1 400 to 1 500	11	650	650	N/A	1	0,1
1 400 to 1 500	11	N/A	389	N/A	2	0,1
1 400 to 1 500	11	N/A	288	N/A	3	0,1
1 400 to 1 500	11	N/A	N/A	2 403	2	0,25
1 400 to 1 500	11	N/A	N/A	1 774	3	0,25
1 550	11	2 539	2 539	N/A	0,5	0,1
1 550	11	1 273	1 273	N/A	1	0,1
1 550	11	N/A	639	N/A	2	0,1
1 550	11	N/A	428	N/A	3	0,1
1 550	11	N/A	N/A	2 640	3	0,25

NOTE 1 The fibre parameters used are the most conservative case. Listed figures for $\lambda = 1\,310\text{ nm}$ to $1\,550\text{ nm}$ are calculated for a fibre with an $11\text{ }\mu\text{m}$ MFD and those for $\lambda = 980\text{ nm}$ are for $7\text{ }\mu\text{m}$ MFD.

Many systems operating at $1\,550\text{ nm}$ with the use of erbium-doped fibre amplifiers (EDFAs) pumped by $1\,480\text{ nm}$ or 980 nm lasers use transmission fibres with smaller MFDs. For example, $1\,550\text{ nm}$ dispersion shifted fibre cables have upper limit values of MFD of $9,1\text{ }\mu\text{m}$. In this case, the maximum power outputs for unrestricted and restricted locations at $1\,480\text{ nm}$ and $1\,550\text{ nm}$ are 1,44 times the values in Table D.3, and those for controlled locations at $1\,480\text{ nm}$ and $1\,550\text{ nm}$ are 1,46 times the values in the same table.

NOTE 2 Times given in the table are examples. The shutdown times shown include shorter times than the maximum. Shorter shutdown times enable the use of higher powers. The maximum times are 1 s for unrestricted locations and 3 s for restricted and controlled locations, respectively.

NOTE 3 The high power density in an optical fibre cable can cause a fibre fuse [12], [13], which leads to high temperature along the fibre cable (see 4.5.1 in IEC TR 60825-17:2015 [14] and IEC TR 61292-4 [15]).

Annex E (informative)

Guidance for service and maintenance

E.1 Tests and measurements

- a) Tests, measurements and operations in cable ducts and switching centres should be considered as service or maintenance operations. Wherever possible, diagnostic tests should be carried out in such a way as not to increase the hazard level at any location. It can be necessary to have administrative controls which, in some cases, might involve a permit to work system. When connecting test equipment, due regard should be given to establishing the actual power levels introduced into the system in assessing the hazard.

- b) The operating organization should develop and maintain clearly defined conditions under which the automatic power reduction feature can be overridden.

When the automatic power reduction feature has been overridden, the hazard level should be reassessed by the operating organization. Safety precautions described in 4.8 should be taken as appropriate to the reassessed hazard level.

- c) Any viewing optics for fibre examination and splicing should be selected so that they reduce exposure to below the relevant MPE value and should be approved for use by the operating organization.

NOTE 1 The marking of approved viewing optics with a label by the operating organization is often an acceptable solution.

NOTE 2 A video scope avoiding direct viewing is an effective option.

- d) Wherever reasonably practical, servicing, maintenance and repair should be carried out with no power propagating in the fibre. Where this is not reasonably practicable, the system should be operated at the lowest power consistent with the functional need.
- e) The operating organization should establish working practices that prevent human exposure to radiation in excess of the eye MPE and/or the skin MPE, for the applicable time base.

E.2 Safety precautions

E.2.1 General remarks

- a) In locations where, during service or maintenance, optical or laser radiation above the MPE values can be encountered (e.g. during switching, in controlled locations), appropriate eye protection should be provided. Persons having access to any energized fibre end or connector end should be instructed not to view such points directly. Under all circumstances, only those viewing aids which provide the appropriate level of attenuation should be used.
- b) Before working on any optical fibre cable or system, the end-user should check the hazard level at accessible locations. In the case of systems that are installed and activated, the hazard level should be identified at accessible locations by warning labels. Precautions appropriate to the hazard level should be taken on systems that are known to be, or could become, operational. During installation, it is possible that hazard level labelling (according to this document) has not been provided yet. In the absence of such labelling, precautions appropriate to the classification (according to IEC 60825-1) of any transmitters or test equipment containing optical sources connected to the fibre should be used.
- c) During the installation or testing of an optical fibre cable or network, only test equipment having a corresponding output evaluated to be hazard level 1, 1M, 2 or 2M according to this document or Class 1, 1M, 2 or 2M according to IEC 60825-1:2014 should be used.

For optical fibre communications systems located in a restricted location or a controlled location, it is permitted to use test equipment with higher optical output powers, provided the accessible fibre ends and connectors at all locations are secured and labelled with the appropriate hazard level before testing proceeds.

- d) Entry points to controlled locations with a hazard level of 3B should have:
- a sign bearing the warning label according to Figure 3 in IEC 60825-1:2014 and the explanatory label of Figure 4 of IEC 60825-1:2014 bearing the words "Hazard level 3B";
 - a sign limiting access to authorized persons only and explaining the existence of a potential hazard.
- e) Each person engaged in the operation, installation or service of an OFCS should:
- observe all rules, procedures and practices established for the safe operation of OFCS;
 - immediately notify the supervisor of conditions or practices that have the potential to cause injury to personnel or damage to property;
 - immediately report to the supervisor any known or suspected abnormal exposure to optical radiation.

E.2.2 Precautions in locations with hazard levels 1M, 2M, 3R and 3B

- a) Where possible, optical transmission or test equipment should be shut down, put into a low-power state or disconnected before any work is done on exposed fibres, connectors, etc. In that case, unintentional switching on should be prevented by a remote control switch or another suitable method. The status of the line (power on or off) should be clearly indicated.
- b) Only staff who have attended an optical fibre safety training course should be permitted to work on OFCS in a hazard level 3B location.
- c) Staff installing, operating or maintaining OFCS and any associated test equipment in locations with hazard level 3B should ensure that untrained personnel are adequately protected.
- d) At high loss points in the system, it is possible that high temperatures could occur when extremely high power levels (hundreds of milliwatts to several watts) are injected into the fibre.

NOTE An example of such a system is one that uses distributed Raman amplification technology.

The high temperature can lead to dangerous situations in equipment and offices. Therefore, in systems that normally transmit extremely high power, connectors should be cleaned very carefully so that the loss induced by connectors, splices or bending at any point is reduced as far as possible. See also IEC TR 60825-17 [14].

E.2.3 Training programme

The employer of staff installing or maintaining OFCS should establish and maintain an adequate programme for the control of fibre optic hazards. Safety and training programmes should be instituted for staff working on fibre optic communication systems with a hazard level of 3B. Such programmes should be directed by individuals competent in the field of laser and OFCS safety. The programmes should provide, as a minimum,

- background information on OFCS, and
- safety information concerning the laser product classification scheme according to IEC 60825-1 and hazard level scheme according to this document.

Bibliography

- [1] ITU-T Recommendation G.664, *Optical safety procedures and requirements for optical transport systems*
- [2] IEC TS 62538, *Categorization of optical devices*
- [3] IEC 60794-4 (all parts), *Optical fibre cables – Part 4: Aerial optical cables along electrical power lines*
- [4] IEC 60794-2 (all parts), *Optical fibre cables – Part 2: Indoor cables*
- [5] IEC 60794-3 (all parts), *Optical fibre cables – Part 3: Outdoor cables*
- [6] IEC 60950-1:2005, *Information technology equipment – Safety – Part 1: General requirements*
- [7] IEC 62368-1, *Audio/video, information and communication technology equipment – Part 1: Safety requirements*
- [8] IEC 61508 (all parts), *Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems*
- [9] IEC TR 60825-14, *Safety of laser products – Part 14: A user's guide*
- [10] IEC 60812, *Failure modes and effects analysis (FMEA and FMECA)*
- [11] IEC 60825-12, *Safety of laser products – Part 12: Safety of free space optical communication systems used for transmission of information*
- [12] SEO, K, NISHIMURA, N, SHINO, M, YUGUCHI, R, and SASAKI, H. Evaluation of high power endurance in optical fibre links: *Furukawa Review*, 2003, no. 24, pp. 17-22
- [13] ROCHA, A.M., DOMINGUES, F, FACAO, M, and ANDRE, P.S. Threshold power of fiber fuse effect for different types of optical fiber: *Proc. ICTON 2011*. Tu.P.13
- [14] IEC TR 60825-17, *Safety of laser products – Part 17: Safety aspects for use of passive optical components and optical cables in high power optical fibre communication systems*
- [15] 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*

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60825-2:2021

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	61
INTRODUCTION	63
1 Domaine d'application	64
2 Références normatives	64
3 Termes et définitions	65
4 Exigences.....	68
4.1 Généralités	68
4.2 Capot de protection du STFO.....	69
4.3 Câbles à fibres optiques	69
4.4 Connecteurs de câbles	69
4.4.1 Généralités	69
4.4.2 Zones non limitées	69
4.4.3 Zones limitées	70
4.4.4 Zones contrôlées	70
4.5 Étiquetage et marquage	70
4.5.1 Exigences générales	70
4.5.2 Marquage des connecteurs des émetteurs et amplificateurs optiques	74
4.5.3 Marquages relatifs aux groupes de connecteurs	74
4.5.4 Durabilité – Exigences d'indélébilité relatives aux marquages de sécurité	74
4.5.5 Avertissement concernant le rayonnement invisible	74
4.6 Exigences concernant les organismes	75
4.6.1 Fabricants de STFO prêts à l'emploi ou de systèmes clés en main	75
4.6.2 Organisme d'installation et d'entretien	75
4.6.3 Organisme d'exploitation	76
4.7 Évaluation du niveau de danger	76
4.7.1 Détermination du niveau de danger et utilisation de la condition 2	76
4.7.2 Assignation des niveaux de danger des STFO	77
4.7.3 Exigences complémentaires applicables à tous les niveaux de danger	79
4.7.4 Exigences relatives aux expositions accessibles transitoires lors de l'utilisation d'un dispositif RAP	80
4.7.5 Conditions relatives aux essais et aux évaluations	80
4.8 Réduction automatique de puissance (RAP)	81
4.8.1 Généralités	81
4.8.2 Redémarrage automatique.....	81
4.8.3 Redémarrage manuel sans interruption	81
4.8.4 Redémarrage manuel avec interruption	81
4.8.5 Désactivation du dispositif RAP	81
4.9 Exigences de niveau de danger par type de zone	82
4.9.1 Généralités	82
4.9.2 Zones non limitées	83
4.9.3 Zones limitées	83
4.9.4 Zones contrôlées	83
Annexe A (informative) Justification	85
Annexe B (informative) Clarification de la signification de "niveau de danger"	86
B.1 Généralités	86

B.2	Classe	86
B.3	Niveau de danger.....	86
B.4	Justification du 4.7	87
B.5	Justification de l'Article D.5.....	87
Annexe C (informative) Méthodes d'analyse du danger/de la sécurité		88
Annexe D (informative) Notes d'application pour l'utilisation en toute sécurité des STFO.....		89
D.1	Vue d'ensemble	89
D.2	Domaines d'application	89
D.2.1	Installations STFO types.....	89
D.2.2	Composants systèmes types	90
D.2.3	Fonctions d'exploitation types.....	91
D.3	Limites de puissance des STFO.....	91
D.4	Exemples d'évaluation du niveau de danger.....	93
D.4.1	Longueur d'onde unique sur la même fibre	93
D.4.2	Longueurs d'onde multiples sur la même fibre	99
D.4.3	Transmission bidirectionnelle (duplex intégral)	101
D.4.4	Réduction automatique de puissance.....	101
D.4.5	Câbles multifibres.....	104
D.4.6	Câble ruban.....	104
D.4.7	Diminution de puissance due aux diviseurs de puissance et aux pertes dans la fibre.....	106
D.4.8	Considérations générales et exemples.....	106
D.5	Analyse des pannes – Explication et recommandations.....	107
D.5.1	Généralités.....	107
D.5.2	Techniques communément utilisées pour l'analyse des pannes	107
D.5.3	Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité	107
D.5.4	Analyse de conséquence	108
D.6	Méthodes de travail proposées	109
D.6.1	Méthodes générales de travail.....	109
D.6.2	Méthodes de travail sous tension pour les niveaux de danger 1, 1M, 2, 2M et 3R.....	110
D.6.3	Méthodes de travail pour le niveau de danger 3B	110
D.6.4	Procédure formelle de mise hors tension et sous tension pour le niveau de danger 3B.....	111
D.7	Puissance de sortie maximale pendant la coupure	112
Annexe E (informative) Recommandations pour l'entretien et la maintenance		114
E.1	Essais et mesurages.....	114
E.2	Mesures de sécurité.....	114
E.2.1	Remarques générales.....	114
E.2.2	Mesures de précaution dans les zones avec des niveaux de danger 1M, 2M, 3R et 3B	115
E.2.3	Programme de formation	115
Bibliographie.....		117
Figure D.1 – Système fondé sur un PON.....		106
Tableau 1 – Marquage dans les zones non limitées		71
Tableau 2 – Marquage dans les zones limitées		72

Tableau 3 – Marquage dans les zones contrôlées	73
Tableau 4 – Diamètres d'ouverture de mesure et distances de mesure pour l'évaluation par défaut (simplifiée)	77
Tableau 5 – Synthèse des exigences relatives aux types de zones d'un STFO	84
Tableau D.1 – Limites de puissance d'un STFO pour des fibres unimodales (SM - single mode) avec un diamètre du champ de mode (MFD - mode field diameter) de 11 µm et des fibres multimodales (MM - multimode) à ouverture numérique 0,18 (diamètre de cœur 50 µm)	92
Tableau D.2 – Relation entre le nombre de fibres dans un câble ruban et la puissance maximale autorisée (exemple)	105
Tableau D.3 – Exemples de limites de puissance pour des systèmes de télécommunications par fibres optiques comportant un dispositif de réduction automatique de puissance afin de réduire les émissions à un niveau de danger inférieur	113

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60825-2:2021

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

SÉCURITÉ DES APPAREILS À LASER –

Partie 2: Sécurité des systèmes de télécommunications par fibres optiques (STFO)

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Électrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. À cet effet, l'IEC – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de l'IEC"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IEC, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de l'IEC, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale IEC 60825-2 a été établie par le comité d'études 76 de l'IEC: Sécurité des rayonnements optiques et matériels laser.

Cette quatrième édition annule et remplace la troisième édition parue en 2004, l'Amendement 1:2006, ainsi que l'Amendement 2:2010. Cette édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente.

- a) Les recommandations concernant les composants individuels et les sous-ensembles ont été clarifiées; voir l'alinéa 3 de l'Article 1,

- b) C₇ a été révisé conformément à l'IEC 60825-1:2014, mais avec une limite supplémentaire relative à l'EMP de la peau; voir 4.7.2.
- c) La condition 2 a été modifiée et une description détaillée de la méthode de mesure et de détermination du niveau de danger a été ajoutée; voir 4.7.1 et 4.7.2.
- d) L'Annexe B a été déplacée en 4.9. L'Annexe F est devenue l'Annexe B.
- e) Article D.4 Exemples d'évaluation du niveau de danger – Des exemples supplémentaires ont été ajoutés.
- f) L'Article D.5 Analyse des pannes – Explications et recommandations a été simplifié.

Le texte de cette Norme internationale est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
76/670/FDIS	76/674/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 internationale.

La version française de la norme n'a pas été soumise au vote.

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 60825, publiées sous le titre général *Sécurité des appareils laser*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu de ce document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives au document recherché. À cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

INTRODUCTION

L'objectif du présent document est de:

- protéger les personnes contre le rayonnement optique émis par les STFO;
- fournir des exigences à l'usage des fabricants et des organismes d'installation, d'entretien et d'exploitation, dans le but d'établir des procédures et de fournir des informations, de telle sorte que des précautions appropriées puissent être prises;
- vérifier que des mises en garde adaptées, concernant les dangers potentiels liés aux STFO, sont adressées aux individus par le biais d'une signalisation, d'étiquettes et d'instructions.

L'Annexe A fournit une justification plus détaillée du présent document.

La sécurité d'un STFO dépend en grande partie des caractéristiques des matériels qui le constituent. Selon les caractéristiques des matériels, il est nécessaire d'inscrire les informations de sécurité appropriées sur l'appareil ou de les inclure dans les instructions d'utilisation.

Lorsque le niveau de danger potentiel l'exige, l'organisme d'installation ou l'utilisateur final/l'organisme d'exploitation, ou les deux, sont responsables du déploiement et de l'utilisation en toute sécurité des STFO.

L'organisme d'installation et l'organisme d'entretien sont responsables du respect des instructions de sécurité au cours des opérations d'installation et d'entretien, respectivement. L'utilisateur final ou l'organisme d'exploitation est responsable du respect des instructions de sécurité pendant les fonctions d'exploitation et de maintenance.

Il est admis que l'utilisateur du présent document peut entrer dans une ou plusieurs des catégories susmentionnées, à savoir fabricant, organisme d'installation, utilisateur final ou organisme d'exploitation.

SÉCURITÉ DES APPAREILS À LASER –

Partie 2: Sécurité des systèmes de télécommunications par fibres optiques (STFO)

1 Domaine d'application

Le présent document fournit des exigences et des recommandations spécifiques pour l'exploitation et la maintenance en toute sécurité des systèmes de télécommunications par fibres optiques (STFO). Dans ces systèmes, il est possible que la puissance optique soit accessible en dehors des confinements des matériels d'émission et/ou à grande distance de la source optique.

Le présent document exige l'évaluation du niveau de danger dans chaque zone accessible des STFO en remplacement de la classification de l'appareil conformément à l'IEC 60825-1. Il s'applique au STFO installé en tant qu'assemblage technique complet, destiné à la génération, au transfert et à la réception d'un rayonnement optique provenant de lasers, de diodes électroluminescentes (LED) ou d'amplificateurs optiques, dans lequel la transmission est assurée au moyen de fibres optiques, à des fins de communication et/ou commande.

NOTE 1 Dans tout le document, la référence au terme "laser" signifie qu'il inclut les LED et les amplificateurs optiques.

Les composants individuels et les sous-ensembles qui relèvent de la définition d'un appareil à laser sont soumis au(x) paragraphe(s) applicable(s) de l'IEC 60825-1. Le présent document est applicable aux composants individuels et aux sous-ensembles destinés à être installés dans des STFO.

Ce document ne s'applique pas aux systèmes à fibres optiques conçus principalement pour émettre une puissance optique pour des applications telles que le traitement des matériaux ou les traitements médicaux.

Outre les dangers provenant du rayonnement laser, il est possible que les STFO engendrent d'autres dangers, tels qu'un incendie.

Ce document ne traite pas des questions de sécurité liées aux explosions ou à l'incendie, dans le cas de STFO déployés dans des atmosphères explosives.

NOTE 2 Le danger que représente le rayonnement optique provenant d'une fibre est déterminé par la longueur d'onde et la puissance de la fibre, ainsi que par les caractéristiques optiques de la fibre elle-même (voir Annexe A).

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

IEC 60825-1:2014, *Sécurité des appareils à laser – Partie 1: Classification des matériels et exigences*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de l'IEC 60825-1, ainsi que les suivants s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <http://www.iso.org/obp>

3.1

zone accessible

partie ou zone d'un STFO pour laquelle, par suite d'événements raisonnablement prévisibles, l'accès de personnes à un rayonnement laser est possible sans l'utilisation d'un outil

3.2

réduction automatique de puissance

RAP

fonction d'un STFO par laquelle la puissance accessible est réduite de manière fiable à un niveau spécifié dans un temps spécifié, chaque fois qu'un événement peut entraîner une exposition des personnes au rayonnement

Note 1 à l'article: Le terme "réduction automatique de puissance" (RAP) utilisé dans le présent document englobe les termes suivants utilisés dans la Recommandation G.664 de l'UIT-T [1]:

- coupure automatique du laser (ALS - automatic laser shutdown);
- réduction automatique de puissance (RAP);
- coupure automatique de puissance (APSD - automatic power shutdown);

Note 2 à l'article: Le terme "arrêt automatique du laser" (ALSO - automatic laser shut off) est également utilisé par certains fabricants dans le secteur industriel.

Note 3 à l'article: La rupture d'un câble à fibres optiques est un exemple d'événement qui peut entraîner une exposition des personnes au rayonnement.

3.3

utilisateur final

personne ou organisme qui utilise le STFO de la manière pour laquelle il a été conçu

Note 1 à l'article: L'utilisateur final ne contrôle pas nécessairement la puissance générée et transmise dans le système.

Note 2 à l'article: Si la personne ou l'organisme utilise le STFO pour une application de télécommunications d'une manière autre que celle pour laquelle il a été conçu par le fabricant, alors cette personne ou cet organisme endosse les responsabilités définies dans le présent document et applicables à un fabricant ou un organisme d'installation.

3.4

niveau de danger

niveau de danger potentiel dans toute zone accessible d'un STFO

Note 1 à l'article: Ce niveau est fondé sur le niveau du rayonnement laser susceptible de devenir accessible en cas d'événement raisonnablement prévisible, par exemple, rupture d'un câble à fibres optiques. Il est étroitement lié à la procédure de classification des lasers définie au 5.3 de l'IEC 60825-1:2014. L'Annexe B. clarifie la signification du niveau de danger.

3.5

niveau de danger 1

niveau de danger auquel, par suite d'un événement raisonnablement prévisible, l'accès de personnes à un rayonnement laser (émission accessible) évalué par les conditions de mesure pour le niveau de danger 1 tel que défini en 4.7.2 a) et 4.7.3, ne dépasse pas les limites d'émission accessible de la classe 1 définies dans l'IEC 60825-1, pour la longueur d'onde et

la durée d'émission applicables, avec des contraintes supplémentaires telles que définies en 4.7.2 a)

Note 1 à l'article: Les "contraintes supplémentaires" font référence à des contraintes supplémentaires plus strictes que le 4.7.2 a) du présent document impose aux valeurs spécifiées dans l'IEC 60825-1:2014 pour les limites d'émission accessible de la classe 1 dans la plage de longueurs d'onde de 1 200 nm à 1 400 nm.

3.6

niveau de danger 1M

niveau de danger auquel, par suite d'un événement raisonnablement prévisible, l'accès de personnes à un rayonnement laser (émission accessible) évalué par les conditions de mesure pour le niveau de danger 1M tel que défini en 4.7.2 a) et 4.7.3, ne dépasse pas les limites d'émission accessible de la classe 1 définies dans l'IEC 60825-1, pour la longueur d'onde et la durée d'émission applicables, avec des contraintes supplémentaires telles que définies en 4.7.2 a)

Note 1 à l'article: Les "contraintes supplémentaires" font référence à des contraintes supplémentaires plus strictes que le 4.7.2 a) du présent document impose aux valeurs spécifiées dans l'IEC 60825-1:2014 pour les limites d'émission accessible de la classe 1 dans la plage de longueurs d'onde de 1 200 nm à 1 400 nm.

3.7

niveau de danger 2

niveau de danger auquel, par suite d'un événement raisonnablement prévisible, l'accès de personnes à un rayonnement laser (émission accessible) évalué par les conditions de mesure pour le niveau de danger 2 tel que défini en 4.7.2 b) et 4.7.3, ne dépasse pas les limites d'émission accessible de la classe 2 définies dans l'IEC 60825-1, pour la longueur d'onde et la durée d'émission applicables

3.8

niveau de danger 2M

niveau de danger auquel, par suite d'un événement raisonnablement prévisible, l'accès de personnes à un rayonnement laser (émission accessible) évalué par les conditions de mesure pour le niveau de danger 2M tel que défini en 4.7.2 b) et 4.7.3, ne dépasse pas les limites d'émission accessible de la classe 2 définies dans l'IEC 60825-1, pour la longueur d'onde et la durée d'émission applicables

3.9

niveau de danger 3R

niveau de danger auquel, par suite d'un événement raisonnablement prévisible, l'accès de personnes à un rayonnement laser (émission accessible) évalué par les conditions de mesure pour le niveau de danger 3R tel que défini en 4.7.2 c) et 4.7.3, ne dépasse pas les limites d'émission accessible de la classe 3R définies dans l'IEC 60825-1, pour la longueur d'onde et la durée d'émission applicables, avec des contraintes supplémentaires telles que définies en 4.7.2 c)

Note 1 à l'article: Les "contraintes supplémentaires" font référence à des contraintes supplémentaires plus strictes que le 4.7.2 c) du présent document impose aux valeurs spécifiées dans l'IEC 60825-1:2014 pour les limites d'émission accessible de la classe 3R dans la plage de longueurs d'onde de 1 200 nm à 1 400 nm.

3.10

niveau de danger 3B

niveau de danger auquel, par suite d'un événement raisonnablement prévisible, l'accès de personnes à un rayonnement laser (émission accessible) évalué par les conditions de mesure pour le niveau de danger 3B tel que défini en 4.7.2 d) et 4.7.3, ne dépasse pas les limites d'émission accessible de la classe 3B définies dans l'IEC 60825-1, pour la longueur d'onde et la durée d'émission applicables

3.11

niveau de danger 4

niveau de danger auquel, par suite d'un événement raisonnablement prévisible, l'accès de personnes à un rayonnement laser (émission accessible) évalué par les conditions de mesure pour le niveau de danger 4 tel que défini en 4.7.2 e) et 4.7.3, ne dépasse pas les limites

d'émission accessible de la classe 3B définies dans l'IEC 60825-1, pour la longueur d'onde et la durée d'émission applicables

Note 1 à l'article: Le présent document est applicable pour l'exploitation et la maintenance d'un STFO. Afin d'atteindre un niveau de sécurité satisfaisant pour les personnes qui peuvent entrer en contact avec le trajet de transmission optique, le niveau de danger 4 n'est pas autorisé dans ce document. Il est admis d'utiliser des dispositifs de protection, tels que la réduction automatique de puissance, pour atteindre le niveau de danger exigé, lorsque la puissance transmise dans des conditions normales d'exploitation (par exemple, absence de défaut sur le trajet de la fibre) dépasse celle autorisée pour un type de zone particulier. Par exemple, il est possible que les parties accessibles d'un STFO présentent un niveau de danger 1 bien que la puissance transmise dans la fibre, dans des conditions normales d'exploitation, soit de classe 4.

3.12

organisme d'installation

organisme ou individu responsable de l'installation d'un STFO

3.13

zone contrôlée

zone à accès contrôlé

zone accessible dans laquelle il existe un moyen de contrôle technique ou administratif qui la rend inaccessible, excepté au personnel autorisé ayant une formation appropriée à la sécurité laser

Note 1 à l'article: Voir les exemples donnés en D.2.1 a).

3.14

zone limitée

zone à accès limité

zone accessible qui est normalement inaccessible au grand public du fait d'un moyen de contrôle administratif ou technique, mais qui est accessible au personnel autorisé, qui peut ne pas avoir de formation à la sécurité laser

Note 1 à l'article: Voir les exemples donnés en D.2.1 b).

3.15

zone non limitée

zone à accès non limité

zone accessible dans laquelle il n'existe aucune disposition limitant l'accès du grand public

Note 1 à l'article: Voir les exemples donnés en D.2.1 c).

3.16

fabricant

organisme ou individu qui construit ou modifie les STFO par assemblage ou intégration de dispositifs optiques et d'autres composants

Note 1 à l'article: Les composants types des STFO sont présentés en D.2.2.

3.17

organisme d'exploitation

organisme ou individu responsable de l'exploitation d'un STFO

3.18

système de télécommunications par fibres optiques

STFO

assemblage technique complet, destiné à la génération, au transfert et à la réception d'un rayonnement optique provenant de lasers, de LED ou d'amplificateurs optiques, dans lequel la transmission est assurée au moyen de fibres optiques, à des fins de communication et/ou commande

3.19

événement raisonnablement prévisible

événement dont la survenue, dans des circonstances données, peut être prévue avec une certaine exactitude, et dont la probabilité de réalisation ou la fréquence n'est ni faible, ni très faible

Note 1 à l'article: Les événements suivants peuvent constituer des exemples d'événements raisonnablement prévisibles: rupture d'un câble à fibres optiques, déconnexion d'un connecteur optique, erreur ou inattention d'un opérateur dans l'application des méthodes de travail en sécurité.

Note 2 à l'article: Toute action délibérée de génération d'un danger n'est pas considérée comme un événement raisonnablement prévisible.

3.20

organisme d'entretien

organisme ou individu responsable de l'entretien d'un STFO

3.21

sous-ensemble

unité discrète, sous-système, élément de réseau ou module d'un STFO qui contient un émetteur ou un amplificateur optique

Note 1 à l'article: La définition du terme "sous-ensemble" est différente de celle du terme "sous-ensemble optique" donnée dans l'IEC TS 62538 [2]

4 Exigences

4.1 Généralités

L'Article 4 définit les restrictions qui doivent s'appliquer à un STFO et aux types de zones dans lesquelles celui-ci peut fonctionner conformément au danger qui résulte du rayonnement optique devenant accessible par suite d'un événement raisonnablement prévisible, tel que la rupture d'un connecteur ouvert ou d'un câble à fibres optiques, etc. Chaque fois qu'une ou plusieurs modifications sont effectuées sur un STFO, l'organisme responsable de cette ou ces modifications doit déterminer si chacune des modifications est susceptible d'affecter ou non le niveau de danger assigné à l'origine. En cas de modification du niveau de danger assigné à l'origine, l'organisme responsable de la ou des modifications doit redéfinir si nécessaire l'étiquetage des zones du système qui sont accessibles, afin de conserver la conformité au présent document.

Chaque zone accessible d'un STFO doit être évaluée séparément pour déterminer le niveau de danger la concernant. Dans le cas où plusieurs systèmes de télécommunications coexistent dans une zone, le niveau de danger pour cette zone doit être évalué par les méthodes suivantes selon les types de câbles à fibres optiques.

- a) Pour un câble classique à fibres optiques à tubes sans structures de câbles rubans, le rayonnement doit faire l'objet d'une évaluation individuelle à partir de chacune des fibres du câble, et le rayonnement maximal d'une fibre doit servir de base d'évaluation du niveau de danger.
- b) Pour un câble ruban optique, le rayonnement cumulé d'un câble ruban plat doit être évalué soit comme source étendue, soit comme source ponctuelle, selon le cas.

Il est constaté qu'il n'est pas nécessaire d'effectuer une évaluation complète des sources étendues si l'analyse simplifiée de la source ponctuelle des câbles rubans produit un niveau de danger acceptable pour l'organisme d'exploitation. De plus, pour l'analyse de la source étendue, il est nécessaire de connaître le rayonnement de chaque fibre individuelle du ruban. En l'absence de cette information, une analyse de la source ponctuelle utilisant $C_6 = 1$ est alors effectuée.

En s'appuyant sur le niveau de danger déterminé, des mesures appropriées doivent être prises pour garantir la conformité au présent document. Ces mesures peuvent, par exemple,

impliquer une restriction d'accès à la zone ou la mise en œuvre de dispositifs de sécurité supplémentaires, voire une nouvelle conception du système de communication optique, pour réduire le niveau de danger.

Il convient d'éviter toute observation visuelle des extrémités de fibres au moyen d'un dispositif optique à grossissement dans les situations où il existe un risque d'émission optique par les fibres.

Les câbles de transmission de puissance électrique comprenant des STFO à câbles à fibres optiques définis dans la série IEC 60794-4 [3]¹ doivent satisfaire aux exigences de toute norme électrique applicable outre le présent document.

4.2 Capot de protection du STFO

Chaque STFO doit posséder un capot de protection, qui, lorsqu'il est en place, empêche l'accès des personnes à un rayonnement laser dépassant les limites du niveau de danger 1, dans les conditions normales d'exploitation.

4.3 Câbles à fibres optiques

Pour tous les niveaux de danger, le câble à fibres optiques doit avoir des propriétés mécaniques adaptées à son emplacement physique. Les câbles pour différents emplacements physiques sont décrits dans les séries IEC 60794-2 [4], IEC 60794-3 [5] et IEC 60794-4 [3]. Lorsque cela est nécessaire, une protection complémentaire (par exemple, mise sous fourreau, conduit ou chemin de câbles) peut être exigée pour des emplacements auxquels la fibre est sinon susceptible d'être endommagée. Même si le danger potentiel dans une quelconque zone accessible du STFO est le niveau de danger le plus faible, il est nécessaire de prendre en considération les propriétés mécaniques car la puissance optique d'un câble à fibres optiques peut dépasser l'exposition maximale permise (EMP).

4.4 Connecteurs de câbles

4.4.1 Généralités

Les exigences suivantes pour les connecteurs de câbles peuvent être satisfaites par la conception mécanique des connecteurs ou par le positionnement du connecteur, voire par tout autre moyen approprié. Quel que soit le moyen choisi, l'accès des personnes à un rayonnement supérieur à celui permis pour les connecteurs situés dans un type particulier de zone doit être empêché.

Le niveau de danger doit être attribué de manière plus stricte aux connecteurs qu'aux câbles à fibres optiques. Par exemple, dans une zone non limitée, le rayonnement accessible est admis jusqu'au niveau de danger 1M pour les câbles, tandis que le rayonnement accessible d'un connecteur optique est limité au niveau de danger 1.

NOTE L'utilisation d'un outil pour désaccoupler le connecteur constitue un exemple de solution mécanique.

4.4.2 Zones non limitées

Dans les zones non limitées,

- si le niveau du rayonnement accessible dépasse le niveau de danger 2 dans la plage de longueurs d'onde de 400 nm à 700 nm, alors des moyens appropriés doivent limiter l'accès au rayonnement provenant du connecteur et dépassant le niveau de danger 2,
- si le niveau du rayonnement accessible dépasse le niveau de danger 1 dans tous les autres cas, alors des moyens appropriés doivent limiter l'accès au rayonnement provenant du connecteur et dépassant le niveau de danger 1.

¹ Les chiffres entre crochets se réfèrent à la Bibliographie.

NOTE Dans une zone non limitée, les niveaux de danger les plus élevés sont le niveau de danger 2M, pour la plage de longueurs d'onde de 400 nm à 700 nm, et le niveau de danger 1M, dans tous les autres cas (voir 4.9.2).

4.4.3 Zones limitées

Dans les zones limitées,

- si le niveau du rayonnement accessible dépasse le niveau de danger 2M dans la plage de longueurs d'onde de 400 nm à 700 nm, alors des moyens appropriés doivent limiter l'accès au rayonnement provenant du connecteur et dépassant le niveau de danger 2M,
- si le niveau du rayonnement accessible dépasse le niveau de danger 1M dans tous les autres cas, alors des moyens appropriés doivent limiter l'accès au rayonnement provenant du connecteur et dépassant le niveau de danger 1M.

NOTE Dans une zone limitée, le plus haut niveau de danger est le niveau de danger 1M, 2M ou 3R, selon le niveau le plus élevé (voir 4.9.3).

4.4.4 Zones contrôlées

Dans les zones contrôlées,

- si le niveau du rayonnement accessible dépasse le niveau de danger 2M dans la plage de longueurs d'onde de 400 nm à 700 nm, alors des moyens appropriés doivent limiter l'accès au rayonnement provenant du connecteur et dépassant le niveau de danger 2M,
- si le niveau du rayonnement accessible dépasse le niveau de danger 1M dans tous les autres cas, alors des moyens appropriés doivent limiter l'accès au rayonnement provenant du connecteur et dépassant le niveau de danger 1M.

NOTE Dans une zone contrôlée, le plus haut niveau de danger est le niveau de danger 3B (voir 4.9.4).

4.5 Étiquetage et marquage

4.5.1 Exigences générales

Lorsque cela est exigé par le 4.5, chaque connecteur optique, boîte à épissures ou toute autre pièce émettant un rayonnement après son ouverture, doivent être marqués (par exemple, avec une étiquette, un manchon, un repère, une bande, etc.), si le niveau de danger dans la zone est supérieur au niveau de danger 1. Les informations doivent comporter les informations données dans le Tableau 1, le Tableau 2 ou le Tableau 3, selon le cas.

Lorsque le rayonnement accessible aux points de déconnexion est de niveau de danger 1, ou de niveau de danger 1M, il est permis de fournir les informations ci-dessus sous forme d'informations pour l'utilisateur au lieu d'un marquage sur l'appareil.

L'étiquetage du niveau de danger 1M est admis, mais non obligatoire étant donné que les sorties de connecteurs auxquelles le niveau de danger 1M est assigné sont autorisées uniquement dans les zones limitées ou contrôlées et que seul du personnel technique de formation appropriée est autorisé à travailler dans de telles zones.

Les marquages doivent être de couleur noire sur fond jaune. Il est permis que les étiquettes reproduites dans la documentation fournie par le fabricant ou par l'organisme d'exploitation utilisent une couleur noire sur fond blanc.

La réduction de la taille du marquage est acceptable, à condition que le résultat soit lisible. L'étiquetage de tous les niveaux de danger relève de la responsabilité de l'organisme d'installation ou de l'utilisateur final / organisme d'exploitation, y compris l'étiquetage des sous-ensembles contenant des lasers ou des amplificateurs optiques. Le niveau de danger qui constitue une caractéristique du STFO complet et qui peut par conséquent dépendre des caractéristiques de l'ensemble du système telles que la RAP, etc. est à l'origine de cette situation.

À l'exception des sous-ensembles utilisés pour les applications autonomes, chaque connecteur optique, boîte à épissures ou toute autre pièce qui, après son ouverture, est destinée à permettre l'accès à un rayonnement optique, doivent être marqués (par exemple, avec une étiquette, un manchon, un repère, une bande, etc.), conformément au Tableau 1, Tableau 2 ou Tableau 3, selon le cas.

Une classe et un marquage conformes à l'IEC 60825-1 doivent être attribués aux sous-ensembles utilisés pour les applications autonomes.

Un niveau de danger et un marquage conformes au présent document doivent être attribués aux sous-ensembles installés comme partie intégrante d'un STFO.

Tableau 1 – Marquage dans les zones non limitées

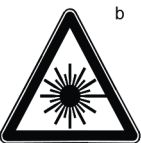
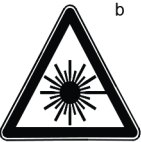
Niveau de danger accessible	Marquage exigé – Zone non limitée
1	Pas de marquage exigé
1M	Pas de marquage exigé ^a
2	 ATTENTION NIVEAU DE DANGER DE RAYONNEMENT LASER 2 NE PAS REGARDER DANS LE FAISCEAU c d e IEC
2M	 ATTENTION NIVEAU DE DANGER DE RAYONNEMENT LASER 2M NE PAS REGARDER DANS LE FAISCEAU NI OBSERVER DIRECTEMENT AVEC DES INSTRUMENTS OPTIQUES NON ATTÉNUANTS c d e IEC
3R	Non autorisé
3B	Non autorisé
NOTE Voir 4.5.5 en ce qui concerne les dangers liés aux faisceaux laser invisibles.	
^a Les dispositions de 4.4.2 exigent qu'un accès au rayonnement à partir d'un connecteur soit limité au niveau de danger 1 par des moyens appropriés et que la conception mécanique des câbles à fibres optiques soit conforme aux parties correspondantes de l'IEC 60794 [3], [4], [5] (voir 4.3). Par conséquent, le niveau de danger 1M est exempté des exigences de marquage. ^b Plaque d'avertissement du symbole de danger selon la Figure 3 de l'IEC 60825-1:2014. ^c Lorsque la source de rayonnement est une diode électroluminescente, le mot "LASER" cité ci-dessus doit être remplacé par "LED". ^d Le remplacement du mot "RAYONNEMENT" par "LUMIÈRE" pour un rayonnement dans la plage de longueurs d'onde de 400 nm à 700 nm est facultatif. ^e Plaque indicatrice explicative (bordure) selon la Figure 4 de l'IEC 60825-1:2014. Il est permis que cette bordure entoure également le symbole de danger selon la Figure 3 de l'IEC 60825-1:2014.	

Tableau 2 – Marquage dans les zones limitées

Niveau de danger accessible	Marquage exigé – Zone limitée
1	Pas de marquage exigé
1M	Le marquage est exigé seulement dans les cas pour lesquels les exigences relatives aux connecteurs de câble dans les zones non limitées ne sont pas satisfaites (voir 4.4.2). ^e
	 a ATTENTION NIVEAU DE DANGER DE RAYONNEMENT LASER 1M NE PAS REGARDER DIRECTEMENT AVEC DES INSTRUMENTS OPTIQUES NON ATTÉNUANTS b c d IEC
2	 a ATTENTION NIVEAU DE DANGER DE RAYONNEMENT LASER 2 NE PAS REGARDER DANS LE FAISCEAU b c d IEC
2M	 a ATTENTION NIVEAU DE DANGER DE RAYONNEMENT LASER 2M NE PAS REGARDER DANS LE FAISCEAU NI OBSERVER DIRECTEMENT AVEC DES INSTRUMENTS OPTIQUES NON ATTÉNUANTS b c d IEC
3R	 a ATTENTION NIVEAU DE DANGER DE RAYONNEMENT LASER 3R ÉVITER TOUTE EXPOSITION DIRECTE DES YEUX b c d IEC
3B	Non autorisé.
NOTE Voir 4.5.5 en ce qui concerne les dangers liés aux faisceaux laser invisibles.	
^a Plaque d'avertissement du symbole de danger selon la Figure 3 de l'IEC 60825-1:2014. ^b Lorsque la source de rayonnement est une diode électroluminescente, le mot "LASER" cité ci-dessus doit être remplacé par "LED". ^c Si le rayonnement se situe dans la plage de longueurs d'onde de 400 nm à 700 nm, le remplacement du mot "RAYONNEMENT" par "LUMIÈRE" est facultatif. ^d Plaque indicatrice explicative (bordure) selon la Figure 4 de l'IEC 60825-1:2014. Il est permis que cette bordure entoure également le symbole de danger selon la Figure 3 de l'IEC 60825-1:2014. ^e Lorsque le rayonnement accessible aux points de déconnexion est de niveau de danger 1, ou de niveau de danger 1M, il est permis de le noter dans les informations pour l'utilisateur au lieu d'un marquage sur, par exemple, l'appareil, la fibre ou le connecteur.	

Tableau 3 – Marquage dans les zones contrôlées

Niveau de danger accessible	Marquage exigé – Zone contrôlée
1	Pas de marquage exigé
1M	Pas de marquage exigé ^e
2	^a  ATTENTION NIVEAU DE DANGER DE RAYONNEMENT LASER 2 NE PAS REGARDER DANS LE FAISCEAU ^{b c d} IEC
2M	^a  ATTENTION NIVEAU DE DANGER DE RAYONNEMENT LASER 2M NE PAS REGARDER DANS LE FAISCEAU NI OBSERVER DIRECTEMENT AVEC DES INSTRUMENTS OPTIQUES NON ATTÉNUANTS ^{b c d} IEC
3R	^a  ATTENTION NIVEAU DE DANGER DE RAYONNEMENT LASER 3R ÉVITER TOUTE EXPOSITION DIRECTE DES YEUX ^{b c d} IEC
3B	^a  ATTENTION NIVEAU DE DANGER DE RAYONNEMENT LASER 3B ÉVITER TOUTE EXPOSITION AU FAISCEAU ^{b c d} IEC
NOTE Voir 4.5.5 en ce qui concerne les dangers liés aux faisceaux laser invisibles.	
^a Plaque d'avertissement du symbole de danger selon la Figure 3 de l'IEC 60825-1:2014. ^b Lorsque la source de rayonnement est une diode électroluminescente, le mot "LASER" cité ci-dessus doit être remplacé par "LED". ^c Si le rayonnement se situe dans la plage de longueurs d'onde de 400 nm à 700 nm, le remplacement du mot "RAYONNEMENT" par "LUMIÈRE" est facultatif. ^d Plaque indicatrice explicative (bordure) selon la Figure 4 de l'IEC 60825-1:2014. Il est permis que cette bordure entoure également le symbole de danger selon la Figure 3 de l'IEC 60825-1:2014. ^e Il est recommandé, mais non exigé, d'identifier les connecteurs qui ont une sortie optique en utilisant la plaque d'avertissement selon la Figure 3 de l'IEC 60825-1:2014.	

4.5.2 Marquage des connecteurs des émetteurs et amplificateurs optiques

Pour les connecteurs d'émetteurs et amplificateurs optiques dans chacun desquels un accès optique (connecteur optique) peut être relié à une fibre optique, les exigences de 4.5.1 sont modifiées comme suit. La même modification s'applique à un groupe d'accès optiques (connecteurs optiques), voir 4.5.3.

Si les dispositions de 4.5.1 exigent qu'un marquage soit fourni, alors la plage de longueurs d'onde doit être rajoutée aux informations déjà exigées dans le Tableau 1, le Tableau 2 ou le Tableau 3. Les valeurs préférentielles des plages de longueurs d'onde sont les suivantes:

- 400 nm à 700 nm;
- 700 nm à 1 150 nm;
- 1 200 nm à 1 250 nm;
- 1 400 nm à 1 600 nm.

Entre 1 150 nm et 1 200 nm et entre 1 250 nm et 1 400 nm, la longueur d'onde exacte doit être marquée.

NOTE 1 Entre 1 150 nm et 1 200 nm et entre 1 250 nm et 1 400 nm, la valeur de C_7 (et de fait la valeur de la LEA respective) augmente de manière significative avec la longueur d'onde (voir l'IEC 60825-1:2014).

NOTE 2 Les exemples ci-dessus sont des exemples de plages de longueurs d'onde: la plage réelle de longueurs d'onde de fonctionnement est comprise dans le marquage, par exemple 1 300 nm à 1 600 nm.

Les accès d'entrée des amplificateurs Raman par exemple doivent également porter une plaque d'avertissement en conséquence signifiant que des niveaux dangereux de rayonnement optique peuvent être émis depuis ces accès.

4.5.3 Marquages relatifs aux groupes de connecteurs

Les groupes de connecteurs, tels que les tableaux de raccordement, peuvent être marqués en tant que groupe, avec un unique marquage du niveau de danger clairement visible, plutôt qu'un marquage individuel apposé sur chaque connecteur. Si un groupe de connecteurs se trouve à l'intérieur d'une enveloppe et que l'exposition au rayonnement optique dépassant le niveau de danger 1M constitue un événement prévisible susceptible de résulter de l'accès aux connecteurs à l'intérieur de cette enveloppe, un marquage doit alors être clairement visible, avant et après ouverture de l'enveloppe. Cette situation peut exiger l'utilisation de plusieurs marquages.

4.5.4 Durabilité – Exigences d'indélébilité relatives aux marquages de sécurité

Tout marquage exigé par le présent document doit être durable et lisible. L'effet d'une utilisation normale doit être pris en compte lors de l'examen de la durabilité du marquage.

NOTE L'exigence et l'essai de durabilité figurent au 1.7.11 de l'IEC 60950-1:2005 [6] et dans l'IEC 62368-1 [7].

4.5.5 Avertissement concernant le rayonnement invisible

Si la sortie du laser se situe en dehors de la plage de longueurs d'onde de 400 nm à 700 nm, la mention "RAYONNEMENT LASER" des étiquettes dans le Tableau 1, Tableau 2 ou Tableau 3 doit être modifiée en "RAYONNEMENT LASER INVISIBLE", ou si la sortie se situe à des longueurs d'onde à l'intérieur et à l'extérieur de cette plage, la mention doit indiquer "RAYONNEMENT LASER VISIBLE ET INVISIBLE". Si un appareil est classé sur la base du niveau de rayonnement laser visible et émet également des émissions supérieures aux LEA de la classe 1 à des longueurs d'onde invisibles, l'étiquette doit mentionner "RAYONNEMENT LASER VISIBLE ET INVISIBLE" au lieu de "RAYONNEMENT LASER".

4.6 Exigences concernant les organismes

4.6.1 Fabricants de STFO prêts à l'emploi ou de systèmes clés en main

Les fabricants de STFO ou de systèmes clés en main complets doivent:

- a) vérifier que les matériels satisfont aux exigences applicables du présent document;
- b) fournir les informations suivantes:
 - 1) une description adéquate des caractéristiques techniques de conception présentées par l'appareil, suffisante pour prévenir une exposition au rayonnement supérieur aux valeurs d'EMP;
 - 2) des instructions adéquates pour le montage correct, la maintenance et l'utilisation en toute sécurité, comprenant des mises en garde claires quant aux précautions à prendre pour éviter une éventuelle exposition aux rayonnements supérieures aux valeurs d'EMP;
 - 3) des instructions adéquates aux organismes d'installation et d'entretien afin de vérifier que l'appareil peut être installé et entretenu de telle manière que le rayonnement accessible, lors d'événements raisonnablement prévisibles, satisfasse aux exigences de l'Article 4;
 - 4) les niveaux de danger des zones accessibles dans le système et les paramètres sur lesquels ces niveaux de danger sont fondés;
 - 5) pour les systèmes avec RAP:
 - le temps de réaction et les paramètres de fonctionnement du dispositif RAP;
 - lorsque l'installation ou l'entretien exige la neutralisation du dispositif RAP, des informations doivent être incluses pour permettre à l'organisme d'exploitation de spécifier les bonnes pratiques en matière de sécurité du travail, pendant que le dispositif RAP est neutralisé, ainsi que les méthodes de travail en sécurité afin de rétablir les fonctions et de soumettre ces systèmes à des essais;
 - si un redémarrage initialisé manuellement inactive temporairement le dispositif RAP, la synchronisation du redémarrage doit être clairement décrite dans le manuel de l'utilisateur;
 - tous les scénarii (par exemple, retrait ou défaillance d'un contrôleur ou de tout autre élément) dans lesquels le dispositif RAP n'est pas fonctionnel, y compris les précautions appropriées qu'il est nécessaire de prendre dans de telles conditions;
 - 6) toute autre information concernant l'utilisation en toute sécurité du STFO;
 - 7) une indication mentionnant que le matériel doit être installé selon les instructions du fabricant et comportant l'avertissement "ATTENTION: L'utilisation de commandes ou de réglages ou l'exécution de procédures autres que celles spécifiées ici peut avoir comme conséquence une exposition dangereuse au rayonnement."

4.6.2 Organisme d'installation et d'entretien

L'organisme responsable de l'installation et de l'entretien du STFO doit suivre les instructions du fabricant pour l'installation du matériel de manière à assurer que le rayonnement accessible, lors d'événements raisonnablement prévisibles, satisfait aux exigences de l'Article 4.

Avant de mettre en service un STFO, l'organisme d'installation ou l'organisme d'entretien, suivant le cas, doit vérifier que le dispositif RAP, s'il est utilisé, est en bon état de fonctionnement, comme cela est indiqué en 4.7.3, 4.7.4, 4.7.5 et 4.8.

Pour les systèmes avec des zones accessibles autres que celles de niveau de danger 1 ou 2, l'organisme d'installation et/ou l'organisme d'entretien doivent:

- a) dispenser une formation à la sécurité laser adéquate au personnel chargé des activités d'installation et d'entretien;
- b) vérifier que des contrôles d'accès et des plaques d'avertissement adaptés sont utilisés sur les zones contrôlées et limitées.

4.6.3 Organisme d'exploitation

L'organisme d'exploitation a la responsabilité finale de la sécurité du système complet. Cette responsabilité comprend en particulier:

- a) l'identification du type de zone pour toutes les zones accessibles du STFO dans son ensemble;
- b) l'assurance que les niveaux de danger ne sont pas dépassés pour ces types de zones, lors d'événements raisonnablement prévisibles;
- c) l'assurance que l'installation et l'entretien sont exécutés uniquement par des organismes capables de satisfaire aux exigences du 4.2 au 4.9;
- d) l'assurance que l'accès aux zones limitées et contrôlées est convenablement pris en compte en ce qui concerne la sécurité laser;
- e) l'assurance de la conformité permanente aux exigences de fabrication, d'exploitation, d'installation, d'entretien et de sécurité du système.

NOTE Des recommandations d'entretien et de maintenance sont décrites à l'Annexe E.

4.7 Évaluation du niveau de danger

4.7.1 Détermination du niveau de danger et utilisation de la condition 2

Le niveau de danger est déterminé par le mesurage du rayonnement optique susceptible de devenir accessible lors d'un événement raisonnablement prévisible quelconque (par exemple, rupture de fibre optique) pendant l'exploitation et la maintenance. Les méthodes de détermination de la conformité aux valeurs limites de rayonnement spécifiées pour la condition 2 sont utilisées telles que spécifiées dans le Tableau 4 et en 4.7.2 en plus des conditions 1 et 3 qui sont identiques à celles décrites pour la classification dans l'IEC 60825-1.

Pour toutes les longueurs d'onde, se reporter au Tableau 4 afin d'établir les niveaux de danger.

Tableau 4 – Diamètres d'ouverture de mesure et distances de mesure pour l'évaluation par défaut (simplifiée)

Longueur d'onde	Condition 1		Condition 2 ^a		Condition 3	
	s'applique aux faisceaux collimatés pour lesquels, l'utilisation d'un télescope ou de jumelles, par exemple, augmente le danger		s'applique aux faisceaux divergents pour lesquels des loupes ou des dispositifs optiques à grossissement élevé, par exemple, augmentent le danger		s'applique à une observation à l'œil nu ou une observation au moyen de dispositifs optiques à faible grossissement	
	Diaphragme	Distance	Diaphragme	Distance	Diaphragme/ouverture délimitante	Distance
nm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
< 302,5	–	–	–	–	Voir l'IEC 60825-1	Voir l'IEC 60825-1
≥ 302,5 à 400	Voir l'IEC 60825-1	Voir l'IEC 60825-1	3,5	35	Voir l'IEC 60825-1	Voir l'IEC 60825-1
≥ 400 à 1 400	Voir l'IEC 60825-1	Voir l'IEC 60825-1	3,5	35	Voir l'IEC 60825-1	Voir l'IEC 60825-1
≥ 1 400 à 4 000	Voir l'IEC 60825-1	Voir l'IEC 60825-1	3,5	14	Voir l'IEC 60825-1	Voir l'IEC 60825-1
≥ 4 000 à 10 ⁵	–	–	–	–	Voir l'IEC 60825-1	Voir l'IEC 60825-1
≥ 10 ⁵ à 10 ⁶	–	–	–	–	Voir l'IEC 60825-1	Voir l'IEC 60825-1
Les limites du modèle de classification sont présentées à l'Article C.3 de l'IEC 60825-1:2014, avec des suggestions de cas dans lesquels une analyse du risque et des mises en garde supplémentaires peuvent être appropriées.						
NOTE Les descriptions figurant sous les titres "condition" constituent des cas types donnés uniquement à titre d'information et ne sont pas destinées à être exclusives.						
^a La définition de la condition 2 dans ce tableau est modélisée sur la base des dispositifs optiques à grossissement ×7 et ×18 pour les plages de longueurs d'ondes 302,5 nm à 1 400 nm et 1 400 nm à 4 000 nm, respectivement. Cette modélisation est représentée par un diaphragme de 3,5 mm à une distance de 35 mm ou 14 mm de l'extrémité de la fibre. Le diamètre de diaphragme de 3,5 mm (et non de 7 mm) est appliqué étant donné qu'un dispositif optique à grossissement est utilisé uniquement dans une situation dans laquelle l'intensité de lumière est suffisante, avec une contraction de la pupille. Noter également que lorsque des fibres multimodales avec de grands diamètres de cœur sont utilisées pour les STFO, l'effet d'atténuation du grand diamètre apparent est pris en considération.						

4.7.2 Assignation des niveaux de danger des STFO

a) Niveaux de danger 1 et 1M

Pour les longueurs d'onde inférieures à 302,5 nm et supérieures à 4 000 nm, si l'émission accessible est

- inférieure ou égale à la LEA de la classe 1 pour la condition 3, alors le STFO est assigné au niveau de danger 1.

Pour les longueurs d'onde comprises entre 302,5 nm et 4 000 nm, si l'émission accessible est

- inférieure ou égale à la LEA de la classe 1 pour les conditions 1, 2 et 3, alors le STFO est assigné au niveau de danger 1;

à défaut, si l'émission accessible est:

- supérieure à la LEA de la classe 1 pour la condition 1 ou la condition 2, et
- inférieure à la LEA de la classe 3B pour les conditions 1 et 2, et
- inférieure ou égale à la LEA de la classe 1 pour la condition 3,

alors le STFO est assigné au niveau de danger 1M.

NOTE 1 La LEA est définie en 3.3 de l'IEC 60825-1:2014.

NOTE 2 En règle générale, l'émission accessible du niveau de danger 1M dépasse la LEA de la classe 1 pour la condition 1 ou la condition 2. Toutefois, elle est également classée comme de niveau de danger 1M lorsqu'elle dépasse cette LEA pour les conditions 1 et 2.

NOTE 3 La raison de la vérification de la LEA de la classe 3B consiste à limiter la puissance maximale traversant un instrument optique.

Pour les longueurs d'onde entre 1 200 nm et 1 400 nm, la LEA de la classe 1 doit être limitée à la puissance rayonnante équivalente correspondant à l'EMP de la peau évaluée avec une ouverture de 3,5 mm de diamètre (voir D.4.1).

NOTE 4 La vérification susmentionnée de l'EMP de la peau complète l'essai concernant la LEA de la classe 3B spécifiée dans les notes d) et f) des Tableaux 3 et 4 de l'IEC 60825-1:2014, respectivement. Cette vérification est également plus stricte que l'essai.

NOTE 5 La justification de la limite de l'EMP de la peau repose sur la note suivante des Tableaux A.1 à A.4 de l'IEC 60825-1:2014: "Dans la plage des longueurs d'onde entre 1 250 nm et 1 400 nm, les limites permettant de protéger la rétine mentionnées dans ce tableau peuvent ne pas fournir de protection adéquate aux parties antérieures de l'œil (cornée et iris) et nécessitent une attention particulière sauf si l'exposition n'excède pas les valeurs d'EMP pour la peau". Les valeurs de l'EMP de la peau sont présentées dans le Tableau A.5 de l'IEC 60825-1:2014.

Pour toutes les longueurs d'onde, avec les niveaux de danger 1 et 1M, l'émission accessible déterminée avec une ouverture de 3,5 mm de diamètre au niveau de l'extrémité de la fibre ne doit pas dépasser la LEA de la classe 3B.

NOTE 6 Il est possible qu'un appareil à laser de classe 1M avec un faisceau fortement divergent puisse produire des niveaux d'éclairement énergétique suffisamment élevés près de la source ou en contact avec elle (par exemple, une extrémité de fibre), de telle sorte qu'une lésion de la peau est possible.

b) Niveaux de danger 2 et 2M

Les niveaux de danger 2 et 2M sont applicables à la plage de longueurs d'onde de 400 nm à 700 nm. Si l'émission accessible dépasse les limites exigées pour la classe 1 et la classe 1M et est

- inférieure ou égale à la LEA de la classe 2 pour les conditions 1, 2 et 3,

alors le STFO est assigné au niveau de danger 2.

Si l'émission accessible dépasse les limites exigées pour la classe 1 et la classe 1M et est

- supérieure à la LEA de la classe 2 pour la condition 1 ou la condition 2, et
- inférieure à la LEA de la classe 3B pour les conditions 1 et 2, et
- inférieure ou égale à la LEA de la classe 2 pour la condition 3,

alors le STFO est assigné au niveau de danger 2M.

NOTE 7 En règle générale, l'émission accessible du niveau de danger 2M dépasse la LEA de la classe 2 pour la condition 1 ou la condition 2. Toutefois, elle est également classée comme de niveau de danger 2M lorsqu'elle dépasse la LEA de la classe 2 pour les conditions 1 et 2.

NOTE 8 La raison de la vérification de la LEA de la classe 3B consiste à limiter la puissance maximale traversant un instrument optique et à exclure des niveaux d'éclairement énergétique élevés près de sources divergentes ou en contact avec elles, de manière à ne pas entraîner une lésion de la peau.

Avec les niveaux de danger 2 et 2M, l'émission accessible déterminée avec une ouverture de 3,5 mm de diamètre au niveau de l'extrémité de la fibre ne doit pas dépasser la LEA de la classe 3B.

NOTE 9 Il est possible qu'un appareil à laser de classe 2M avec un faisceau fortement divergent puisse produire des niveaux d'éclairement énergétique suffisamment élevés près de la source ou en contact avec elle (par exemple, une extrémité de fibre), de telle sorte qu'une lésion de la peau est possible.

c) Niveau de danger 3R

Pour les longueurs d'onde inférieures à 302,5 nm et supérieures ou égales à 4 000 nm, si l'émission accessible pour la condition 3

- inférieure ou égale à la LEA de la classe 3R, et
- dépasse la LEA de la classe 1,

alors le STFO est assigné au niveau de danger 3R.

Pour les longueurs d'onde supérieures ou égales à 302,5 nm et inférieures à 4 000 nm, si l'émission accessible

- est inférieure ou égale à la LEA de la classe 3R pour les conditions 1, 2 et 3, et
- dépasse la LEA pour la classe 1 et la classe 2 pour la condition 3,

alors le STFO est assigné au niveau de danger 3R.

Pour les longueurs d'onde entre 1 200 nm et 1 400 nm, la LEA de la classe 3R doit être limitée à la puissance rayonnante équivalente correspondant à cinq fois l'EMP de la peau évaluée avec une ouverture de 3,5 mm de diamètre.

NOTE 10 La vérification susmentionnée de la puissance correspondant à cinq fois l'EMP de la peau complète l'essai concernant la LEA de la classe 3B spécifiée dans les notes d) et e) des Tableaux 6 et 7 de l'IEC 60825-1:2014, respectivement. Cette vérification est également plus stricte que l'essai.

NOTE 11 Voir D.4.1.

Pour toutes les longueurs d'ondes, avec le niveau de danger 3R, l'émission accessible déterminée avec une ouverture de 3,5 mm de diamètre au niveau de l'extrémité de la fibre ne doit pas dépasser la LEA de la classe 3B.

d) Niveau de danger 3B

Pour les longueurs d'onde inférieures à 302,5 nm et supérieures ou égales à 4 000 nm, si l'émission accessible pour la condition 3

- est inférieure ou égale à la LEA de la classe 3B, et
- dépasse la LEA de la classe 3R,

alors le STFO est assigné au niveau de danger 3B.

Pour les longueurs d'onde supérieures ou égales à 302,5 nm et inférieures à 4 000 nm, si l'émission accessible

- est inférieure ou égale à la LEA de la classe 3B pour les conditions 1, 2 et 3, et
- dépasse la LEA de la classe 3R pour la condition 1, 2 ou 3, et
- dépasse la LEA pour la classe 1 et la classe 2 pour la condition 3,

alors le STFO est assigné au niveau de danger 3B.

Pour toutes les longueurs d'onde, avec le niveau de danger 3B, l'émission accessible déterminée avec une ouverture de 3,5 mm de diamètre au niveau de l'extrémité de la fibre ne doit pas dépasser la LEA de la classe 3B.

e) Niveau de danger 4

Si l'émission accessible totale provenant de l'extrémité de la fibre (ou mesurée avec une ouverture de 3,5 mm de diamètre au niveau de l'extrémité de la fibre) dépasse la LEA pour la classe 3B, le STFO est assigné au niveau de danger 4.

4.7.3 Exigences complémentaires applicables à tous les niveaux de danger

L'évaluation du niveau de danger avec et sans réduction automatique de puissance doit avoir lieu

- 1 s après l'événement raisonnablement prévisible (par exemple, rupture de fibre optique) pour les zones non limitées, sauf dans le cas où une plus grande exposition résulte d'un mesurage postérieur;
- 3 s après l'événement raisonnablement prévisible pour les zones limitées et contrôlées, sauf dans le cas où une plus grande exposition résulte d'un mesurage postérieur.

Dans des circonstances dans lesquelles des mesurages directs sont difficiles à réaliser, une évaluation du niveau de danger fondée sur des calculs est acceptable. Par exemple, la connaissance de la puissance du laser ou de l'amplificateur et de l'atténuation de la fibre peut permettre une évaluation du danger dans toute zone particulière.

Pour un STFO avec réduction automatique de puissance, le niveau de danger est déterminé par l'émission accessible (en impulsions ou en émission continue) après l'intervalle de temps indiqué ci-dessus (1 s pour les zones non limitées, 3 s pour les zones limitées ou les zones contrôlées). De plus, l'exigence de l'EMP de 4.7.4 doit être satisfaite.

NOTE 1 Le niveau de l'exposition est déterminé dans une zone dans laquelle il est raisonnablement prévisible qu'une personne puisse être exposée au rayonnement provenant du STFO. Si le STFO comporte un système RAP, le niveau d'exposition est maintenu à un niveau qui ne dépasse pas la valeur d'EMP qui, dans ce cas, est déterminée en prenant en considération la durée complète de constitution du système RAP telle que spécifiée en 4.7.4.

NOTE 2 Les valeurs d'EMP pour l'œil et la peau des employés sur le lieu de travail, ainsi que du grand public sont spécifiées par la législation nationale dans de nombreux pays. Ces limites d'exposition à l'échelle nationale légalement contraignantes peuvent différer des valeurs d'EMP mentionnées dans l'Annexe A informative de l'IEC 60825-1:2014. Ces limites peuvent également neutraliser ces valeurs.

4.7.4 Exigences relatives aux expositions accessibles transitoires lors de l'utilisation d'un dispositif RAP

Un STFO utilise un dispositif de réduction automatique de puissance pour satisfaire aux limites d'un niveau de danger inférieur à celui qui doit être assigné en l'absence d'un dispositif de réduction automatique de puissance. Pendant le temps maximal pour atteindre le niveau de danger inférieur spécifié en 4.7.1, qui n'est pas supérieur à 1 s pour les zones non limitées, 3 s pour les zones limitées ou contrôlées, l'éclairement énergétique et l'exposition énergétique ne doivent pas dépasser leurs limites pour l'œil ou la peau (équivalant aux valeurs d'EMP pour l'œil et la peau), correspondant au temps de coupure du dispositif RAP. Pour les zones non limitées/limitées et les zones contrôlées, les distances de mesure sont de 100 mm et de 250 mm respectivement, pour le 4.7.4 uniquement.

NOTE 1 Si le temps de coupure du dispositif RAP est supérieur à 1 s pour les zones non limitées, ou à 3 s pour les zones limitées/contrôlées, alors les évaluations de l'EMP ci-dessus sont effectuées pendant une durée d'exposition de 1 s pour les zones non limitées, ou de 3 s pour les zones limitées/contrôlées.

NOTE 2 Voir aussi l'Article D.7.

4.7.5 Conditions relatives aux essais et aux évaluations

Les essais et les évaluations doivent être effectués dans des conditions de défaut raisonnablement prévisibles.

Dans certains systèmes complexes (par exemple, dans lesquels la sortie optique dépend de l'intégrité d'autres composants et des performances de la conception des circuits et du logiciel), d'autres méthodes reconnues pour l'évaluation du danger/de la sécurité peuvent être utilisées au besoin (voir l'Annexe C).

Cependant, il n'est pas nécessaire de prendre en considération les défauts ayant comme conséquence l'émission d'un rayonnement supérieur au niveau de danger si:

- il s'agit d'un défaut qui se rapporte uniquement à une période limitée pendant laquelle le niveau du rayonnement dépasse le niveau de danger; et
- il n'est pas raisonnablement prévisible que des personnes aient accès au rayonnement avant que l'appareil ne soit mis hors service.

NOTE En appliquant l'exigence de l'EMP appropriée de 4.7 relative à un faisceau sortant, par exemple une extrémité de fibre cassée ou un connecteur débranché, deux questions sont importantes:

- a) Est-il raisonnablement prévisible que l'œil d'une personne puisse être exposé au faisceau?
- b) Est-il raisonnablement prévisible que la peau d'une personne puisse être irradiée par le faisceau?

La détermination de ce qui est raisonnablement prévisible prend en considération l'emplacement physique du point de sortie du faisceau, la distance entre le point de sortie et l'œil ou la peau, et le temps nécessaire pour que le dispositif RAP réduise l'exposition au niveau exigé par 4.9.

Même si l'exposition de l'œil non protégé ou de la peau n'est pas raisonnablement prévisible, il doit être également pris en considération la possibilité d'un danger d'incendie.

4.8 Réduction automatique de puissance (RAP)

4.8.1 Généralités

Si un STFO utilise une fonction de réduction automatique de puissance (RAP) afin de satisfaire à son niveau de danger exigé, alors la fonction de redémarrage doit fonctionner selon les restrictions décrites en 4.8.2, 4.8.3 ou 4.8.4, selon le cas. En outre, le dispositif RAP doit être conçu pour avoir un niveau de fiabilité adapté.

NOTE 1 Des exemples de calcul de la fiabilité des dispositifs RAP sont donnés à l'Article D.5.

NOTE 2 L'intervalle de redémarrage décrit dans les scénarii suivants dépend de la longueur d'onde.

NOTE 3 Pour de plus amples informations concernant la RAP, voir la Recommandation G.664 de l'UIT-T [1].

4.8.2 Redémarrage automatique

Lorsque le redémarrage est initialisé automatiquement, la synchronisation et la puissance optique du processus de redémarrage doivent être limitées de sorte que le niveau de danger assigné à chaque zone accessible du système ne doit pas être dépassé.

4.8.3 Redémarrage manuel sans interruption

Lorsque le redémarrage est initialisé manuellement et que la continuité du trajet des communications est assurée par l'utilisation de moyens de contrôle administratif ou par d'autres moyens, la synchronisation et la puissance optique du processus de redémarrage ne sont pas limitées.

NOTE Puisque dans ce cas, la synchronisation et la puissance optique du processus de redémarrage ne sont pas limitées, il est nécessaire que les moyens de contrôle administratif ou autres moyens prennent en considération toute augmentation du risque lié à de nouveaux dangers (tel que le risque d'incendie). Il est important que des instructions d'entretien appropriées documentent ces contrôles supplémentaires.

Les instructions du fabricant doivent spécifier que les moyens de contrôle administratif (ou d'autres moyens) doivent tenir compte du fait que le niveau de danger assigné à toute zone accessible peut être dépassé pendant cette procédure de redémarrage.

4.8.4 Redémarrage manuel avec interruption

Lorsque le redémarrage est initialisé manuellement et que la continuité du trajet des communications n'est pas assurée, la synchronisation et la puissance optique du processus de redémarrage doivent être limitées de sorte que le niveau de danger assigné à chaque zone accessible du système n'est pas dépassé.

4.8.5 Désactivation du dispositif RAP

Si une réinitialisation manuelle du système désactive temporairement le dispositif RAP, le système doit indiquer que ce dispositif n'est pas fonctionnel pendant la durée de la réinitialisation, de sorte que l'organisme d'exploitation puisse prendre les précautions appropriées. Si ces conditions ne sont pas satisfaites, le niveau de danger doit être assigné en utilisant le niveau de puissance d'émission sur l'hypothèse de l'absence du dispositif RAP.

La désactivation du mécanisme RAP ne doit pas être autorisée pour les puissances d'émission des classes 3B et 4, sauf si toutes les conditions sont satisfaites:

- a) une telle désactivation n'est nécessaire que pour des cas peu fréquents, lors de l'installation et de l'entretien du système;
- b) une telle désactivation ne peut être effectuée qu'au moyen de commandes logicielles fiables adaptées ou par un système manuel de verrouillage à clé;

NOTE 1 Pour les questions liées à la fiabilité logicielle, voir la série IEC 61508 [8].

- c) si la désactivation est effectuée au moyen de commandes logicielles, un système de sécurité empêchant la désactivation involontaire du mécanisme RAP est incorporé au logiciel;
- d) un tel logiciel comprend un indicateur avertissant que la poursuite de la procédure entraîne la désactivation du dispositif RAP;
- e) le dispositif RAP étant désactivé, le fonctionnement continu du STFO assurant le trafic est inhibé par des moyens techniques appropriés;

NOTE 2 Concernant la condition e), un dispositif de commande qui réactive automatiquement le dispositif RAP, dès que cela est réalisable, après un intervalle de temps suffisant pour permettre l'exécution complète de la tâche ayant entraîné la désactivation initiale du dispositif RAP, constitue un exemple "de moyen technique approprié".

- f) des instructions appropriées relatives à l'utilisation en toute sécurité du matériel avec le dispositif RAP désactivé sont incorporées à la documentation;
- g) il n'est pas possible de désactiver le dispositif RAP de façon permanente – ce dernier est réactivé automatiquement (voir aussi NOTE 2 de 4.8.5 e);
- h) il est uniquement possible de désactiver le dispositif RAP par une action locale au niveau du matériel d'émission (c'est-à-dire qu'une désactivation à distance du dispositif RAP n'est normalement pas autorisée) sauf en communication directe avec les personnes (se trouvant éventuellement à distance) susceptibles d'être exposées à des niveaux de rayonnement supérieurs à ceux émis avant la désactivation du dispositif RAP.

NOTE 3 Les systèmes Raman émettent habituellement une puissance élevée à partir de la terminaison de réception.

- i) un avertissement clair et sans ambiguïté est affiché de manière continue tant que le dispositif RAP reste désactivé;
- j) la réinitialisation des systèmes à puissance élevée avec le dispositif RAP désactivé s'effectue uniquement par un démarrage ou un redémarrage manuel.

Il est reconnu que les systèmes de transmission à longue distance (de par leur nature intrinsèque) utilisent couramment des puissances élevées pour assurer la continuité. Par conséquent, il est admis d'utiliser des puissances élevées (classe 4) au démarrage initial du système, sous réserve que l'opération soit réalisée par du personnel formé dans des conditions définies.

Un organisme administratif doit entreprendre des efforts pour assurer la continuité du système [par exemple, essai de continuité par réflectométrie optique dans le domaine temporel (OTDR - optical time domain reflectometry)] et pour vérifier que le personnel n'est pas exposé à des rayonnements de classe 3B ou 4. Cette démarche peut aussi être réalisée par des contrôles administratifs rigoureux.

Sauf indication contraire explicite, le présent document n'autorise pas le fonctionnement d'un STFO complet, si des zones accessibles de ce système présentent un niveau de danger 4.

NOTE 4 Si la puissance émise par un émetteur, par un amplificateur, etc. est de classe 4 avec le dispositif RAP désactivé, alors il en résulte des zones accessibles fonctionnant avec un niveau de danger 4. Néanmoins, il est manifeste qu'il est parfois nécessaire de désactiver le dispositif RAP dans certaines conditions. Ces conditions sont cependant bien maîtrisées et limitées dans le temps, de sorte que la probabilité d'exposition à un rayonnement de classe 4 soit très faible.

NOTE 5 Une heure est un délai approprié, au-delà duquel le dispositif RAP est réactivé, soit manuellement soit automatiquement.

4.9 Exigences de niveau de danger par type de zone

4.9.1 Généralités

Le niveau de danger exigé doit être déterminé pour chaque zone accessible à l'intérieur d'un STFO.

NOTE 1 Cette situation inclut l'accès aux fibres optiques qui peuvent se rompre.

NOTE 2 Le présent document est applicable pour l'exploitation et la maintenance d'un STFO. Lorsque les systèmes emploient des niveaux normaux de puissance d'émission dépassant le niveau de danger acceptable pour un type de zone particulier, l'utilisation de dispositifs de protection, comme la réduction automatique de puissance, détermine le niveau de danger réel.

Le Tableau 5 présente la synthèse des types de zones d'un STFO.

4.9.2 Zones non limitées

Dans une zone à accès non limité, le niveau de danger doit être 1, 1M, 2 ou 2M.

NOTE Si la limite applicable du niveau de danger 1M est supérieure à la limite du niveau de danger 2 et inférieure à la limite du niveau de danger 3B, le niveau de danger 1M est alloué (voir la définition de niveau de danger 1M en 4.7.2 a)).

4.9.3 Zones limitées

Dans une zone à accès limité, le niveau de danger doit être 1, 1M, 2, 2M ou 3R.

NOTE 1 Si la limite applicable du niveau de danger 1M ou 2M est supérieure à la limite du niveau de danger 3R et inférieure à la limite du niveau de danger 3B, le niveau de danger 1M ou 2M est alloué respectivement (voir les définitions de niveau de danger 1M et 2M en 4.7.2 a) et b), respectivement).

NOTE 2 Si la limite applicable du niveau de danger 1M est supérieure à la limite du niveau de danger 2 et inférieure à la limite du niveau de danger 3B, le niveau de danger 1M est alloué (voir la définition de niveau de danger 1M en 4.7.2 a)).

4.9.4 Zones contrôlées

Dans une zone à accès contrôlé, le niveau de danger doit être 1, 1M, 2, 2M, 3R ou 3B.

Tableau 5 – Synthèse des exigences relatives aux types de zones d'un STFO

Niveau de danger	Type de zone		
	Non limitée	Limitée	Contrôlée
1	Aucune exigence	Aucune exigence	Aucune exigence
1M	Niveau de danger 1 pour la puissance de sortie à partir des connecteurs qui peuvent être ouverts par un utilisateur final ^a Aucun étiquetage ou marquage exigé ^b	Aucun étiquetage ou marquage exigé si la puissance de sortie des connecteurs qui peuvent être ouverts par l'utilisateur final sont de niveau de danger 1. Si la sortie est de niveau de danger 1M, alors l'étiquetage ou le marquage est exigé ^b	Aucune exigence
2	Étiquetage ou marquage ^b	Étiquetage ou marquage ^b	Étiquetage ou marquage ^b
2M	Étiquetage ou marquage ^b , et niveau de danger 2 depuis le connecteur ^a	Étiquetage ou marquage ^b	Étiquetage ou marquage ^b
3R	Non autorisé ^c	Étiquetage ou marquage ^b , et niveau de danger 1M ou 2M depuis le connecteur ^a	Étiquetage ou marquage ^b , et niveau de danger 1M ou 2M depuis le connecteur ^a
3B	Non autorisé ^c	Non autorisé ^c	Étiquetage ou marquage ^b , et niveau de danger 1M ou 2M depuis le connecteur ^a
4	Non autorisé ^c	Non autorisé ^c	Non autorisé ^c
^a Voir 4.4. ^b Voir 4.5. ^c Lorsque des systèmes emploient des niveaux normaux de puissance d'émission dépassant le niveau de danger acceptable pour un type de zone particulier (voir 4.9), des dispositifs de protection, comme la réduction automatique de puissance, peuvent être utilisés pour déterminer le niveau de danger réel. Voir 4.7.2 et 4.8.			

Annexe A **(informative)**

Justification

La sécurité des appareils à laser, la classification des matériels, les exigences et le guide de l'utilisateur sont couverts par l'IEC 60825-1 et l'IEC TR 60825-14 [9]. L'IEC 60825-1 concerne principalement les appareils autonomes qui sont sous un contrôle local effectif. Un STFO est sûr dans des conditions normales d'exploitation, parce que le rayonnement optique est totalement confiné lors du fonctionnement pour lequel il est prévu. Toutefois, en raison de la nature étendue de ces systèmes (avec lesquels la puissance optique, dans certaines conditions, peut être accessible à des kilomètres de la source optique), les précautions pour réduire le plus possible le danger sont différentes de celles relatives aux sources laser habituellement sous le contrôle local d'un opérateur. Il convient de noter que de nombreux STFO contiennent des LED, exclues du domaine d'application de l'IEC 60825-1.

Le danger potentiel d'un STFO dépend de la probabilité de violation du capot de protection (par exemple, un connecteur de fibres débranché ou un câble cassé) et de la nature du rayonnement optique qui peut devenir accessible par suite de cette violation. Les exigences techniques et les précautions à prendre par l'utilisateur exigées pour réduire le plus possible le danger sont spécifiées dans le présent document.

Un niveau de danger est assigné à chaque zone accessible d'un STFO par l'organisme d'exploitation du système ou par son représentant. Ce niveau de danger sert de guide pour déterminer le danger potentiel, si le rayonnement optique devient accessible. Ces niveaux de danger sont décrits comme niveaux de danger 1 à 4, d'une manière similaire à la procédure de classification décrite dans l'IEC 60825-1. Dans les applications à fibres optiques, les limites des niveaux de danger 1M et 2M sont souvent plus élevées que la limite du niveau de danger 3R, mais inférieures à la limite du niveau de danger 3B. Pour ces applications, le niveau de danger 3R n'est pas approprié.

Lorsque les organismes d'exploitation sous-traitent l'installation, l'exploitation ou la maintenance des systèmes de télécommunication à fibres optiques, il convient que l'opérateur définisse clairement les responsabilités vis-à-vis de la sécurité laser.

En résumé, les principales différences entre l'IEC 60825-1 et le présent document sont décrites ci-dessous.

- Un STFO n'est pas classé comme l'exige l'IEC 60825-1. Cette situation a pour origine le confinement total du rayonnement optique dans le cadre d'une exploitation prévue. Il peut par ailleurs être affirmé qu'une interprétation rigoureuse de l'IEC 60825-1 affecte la classe 1 à tous les systèmes, ce qui peut ne pas refléter avec exactitude le danger potentiel. Toutefois, si la source peut être exploitée séparément, il convient de la classer conformément à l'IEC 60825-1.
- Chaque zone accessible du système de transmission optique confiné étendu est désignée par un niveau de danger en suivant des procédures similaires à celles données dans l'IEC 60825-1 pour la classification. Ce niveau est toutefois fondé non pas sur le rayonnement accessible, mais sur le rayonnement qui peut devenir accessible dans des circonstances raisonnablement prévisibles (par exemple, rupture d'un câble à fibres optiques, connecteur de fibres débranché, etc.).
- La nature des mesures de sécurité exigées pour tout niveau de danger particulier dépend du type de zone, c'est-à-dire locaux d'habitation, sites industriels avec accès limité, et centres de commutation dont l'accès peut être contrôlé. Par exemple, il est spécifié que dans un local d'habitation, il convient qu'un connecteur de fibres débranché ne puisse émettre qu'un rayonnement correspondant à la classe 1 ou 2, alors que dans des zones contrôlées, il peut être plus élevé.
- Dans le présent document, un mesurage dans la condition 2 au moyen d'un dispositif optique à grossissement permet de déterminer les niveaux de danger, ainsi que les conditions 1 et 3.

Annexe B (informative)

Clarification de la signification de “niveau de danger”

B.1 Généralités

L'Annexe B explicite la différence entre la “classe laser” définie dans l'IEC 60825-1 et le “niveau de danger”, défini dans le présent document.

B.2 Classe

Le terme “classe” renvoie à un schéma fondé sur les niveaux d'émission, dans lequel un appareil ou un émetteur interne peut être classé du point de vue de sa sécurité. Ces niveaux sont décrits dans les tableaux de limites d'émission accessible de l'IEC 60825-1. Les classes vont de la classe 1, qui est sûre dans des conditions raisonnablement prévisibles, à la classe 4, qui constitue potentiellement le cas le plus dangereux. Dans l'IEC 60825-1, la classification des appareils est fondée sur des conditions d'exploitation raisonnablement prévisibles, comprenant des conditions de premier défaut.

B.3 Niveau de danger

Le “niveau de danger” est un terme utilisé dans le présent document, qui se rapporte au danger potentiel lié aux émissions laser en un point quelconque dans un système de télécommunications par fibres optiques de bout en bout, qui peut être accessible pendant l'utilisation ou la maintenance, ou dans l'éventualité d'une défaillance ou d'une déconnexion de fibre, voire toute autre discontinuité de fibre telle qu'une rupture. L'évaluation du niveau de danger utilise les tableaux de limites d'émission accessible des classes qui sont appliqués pour déterminer la classe d'appareil définie dans l'IEC 60825-1. L'évaluation du niveau de danger est décrite en 4.7. Cette évaluation peut être un mesurage réel ou être fondée sur le calcul des puissances émises et de constantes de temps connues.

L'Annexe A fournit l'éclaircissement supplémentaire suivant: “Un STFO n'est pas classé de la même façon que l'exige l'IEC 60825-1. Cette situation a pour origine le confinement total du rayonnement optique dans le cadre d'une exploitation prévue. Il peut par ailleurs être affirmé qu'une interprétation rigoureuse de l'IEC 60825-1 affecte la classe 1 à tous les systèmes, ce qui peut ne pas refléter avec exactitude le danger potentiel.” À partir de cette indication, un STFO complet peut être considéré comme un appareil à laser de classe 1 parce que, dans des conditions normales, les émissions sont complètement confinées (comme une imprimante laser) et parce qu'il convient de n'émettre aucune lumière à l'extérieur du capot de protection. L'exposition potentielle d'un individu à un niveau de rayonnement optique potentiellement dangereux n'est pas uniquement due à la rupture de la fibre ou au débranchement d'un connecteur optique (si les émetteurs internes ou les sorties d'amplificateurs ont une puissance suffisamment élevée).

Par conséquent, il convient d'évaluer le niveau de danger pour chaque accès optique de sortie. Les limites de niveau de danger dépendent de la plage de longueurs d'onde “dominante”, en tenant compte du fait que l'IEC 60825-1:2014 définit différentes limites pour différentes plages de longueurs d'onde et règles d'additivité spectrale pour l'œil comme le représente la Figure 1 de l'IEC 60825-1:2014. Par ailleurs, le présent document permet d'utiliser des techniques de réduction automatique de puissance (RAP) pour obtenir un niveau de danger plus faible (moins dangereux), fondées sur la puissance normale dans la fibre et la vitesse de la réduction automatique de puissance.

B.4 Justification du 4.7

La philosophie de 4.7.1 est fondée sur des hypothèses qui existent déjà dans l'IEC 60825-1 et l'IEC 60825-2. Toutefois, de grandes parties d'un STFO peuvent parfois être classées comme "non accessibles dans des conditions raisonnablement prévisibles".

Les dispositions du 4.7.4 exigent de ne pas dépasser l'EMP si une personne quelconque est exposée au rayonnement émergeant de l'accès ou de la rupture, à partir de l'instant de la coupure ou de la déconnexion. La puissance est réputée constante à sa valeur maximale, jusqu'à l'écoulement du temps de coupure.

a) Zones non limitées:

Les exigences concernant un temps de coupure de 1 s spécifiées en 4.7.3 reposent sur l'hypothèse selon laquelle même en cas de coupure intentionnelle d'une fibre, il est très peu probable qu'en moins de 1 s, une personne puisse s'en approcher à moins de 100 mm et positionner un dispositif d'optique à grossissement, pour s'exposer dangereusement. En outre, il convient de se rappeler que les signaux optiques sont atténués au fur et à mesure de leur progression le long de la fibre. Ainsi, la puissance de sortie au niveau de la défaillance dans la zone non limitée peut être considérablement inférieure à celle issue de l'émetteur ou de l'amplificateur.

b) Zones limitées:

Les exigences concernant un temps de coupure de 3 s spécifiées en 4.7.3 reposent sur l'hypothèse selon laquelle toute défaillance du système dans une zone limitée est de nature accidentelle et la limite de 3 s pour la coupure ou la réduction de puissance constitue une durée acceptable "après l'événement raisonnablement prévisible". Il est également très peu probable qu'au cours de cette durée une personne puisse s'en approcher à moins de 100 mm et positionner un instrument d'optique collimateur, pour s'exposer dangereusement. En outre, il convient de se rappeler que les signaux optiques sont atténués au fur et à mesure de leur progression le long de la fibre. Ainsi, la puissance de sortie au niveau de la défaillance dans la zone limitée peut être considérablement inférieure à celle issue de l'émetteur ou de l'amplificateur.

c) Zones contrôlées:

Il convient que les personnes travaillant dans des zones à accès contrôlé aient reçu une formation adéquate dans le domaine de la sécurité laser. Il convient que cette formation sensibilise au principe selon lequel il convient de n'observer une fibre cassée que si le système a été correctement désactivé.

B.5 Justification de l'Article D.5

L'Annexe D est informative. Il convient de ne pas interpréter l'emploi du terme "recommandé" de façon inexacte comme étant une interdiction d'utiliser des méthodes alternatives d'analyse. La méthode d'analyse des pannes et l'adoption d'un niveau de sécurité adapté relèvent de la prérogative de l'utilisateur.

Annexe C (informative)

Méthodes d'analyse du danger/de la sécurité

Certaines méthodes d'analyse du danger/de la sécurité comprennent les méthodes suivantes:

- a) analyse préliminaire des dangers (PHA - preliminary hazard analysis), comprenant une analyse du circuit. Cette méthode peut être utilisée indépendamment, mais elle constitue une première étape essentielle pour l'application d'autres méthodes d'évaluation du danger/de la sécurité;
- b) analyse des conséquences - voir la série IEC 61508 [8];
- c) analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE);
- d) analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC) (voir l'IEC 60812 [10]);
- e) analyse par arbre de panne (AAP);
- f) analyse par arbre d'événement;
- g) études de danger et d'exploitabilité (HAZOPS - hazards and operability studies).

Il convient de procéder à des essais appropriés pour compléter l'analyse, lorsque nécessaire. Il convient que le fabricant/l'opérateur indique la méthode d'analyse, ainsi que toutes les hypothèses concernant sa réalisation.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60825-2:2021

Annexe D (informative)

Notes d'application pour l'utilisation en toute sécurité des STFO

D.1 Vue d'ensemble

L'Annexe D fournit des recommandations concernant l'application du présent document à des situations pratiques spécifiques. Il s'agit d'une annexe informative destinée à aider les utilisateurs du présent document lors de l'application des exigences de l'IEC 60825-1 et de ce même document à leur utilisation spécifique. Elle ne contient aucune exigence.

Le présent document s'applique AUX STFO. Dans ces systèmes, la puissance optique peut être transmise au-delà de la source optique sur de longues distances. Par ailleurs, il est nécessaire de prendre des mesures pour vérifier que les dangers potentiels provenant d'une interruption du trajet de communication sont réduits le plus possible. Afin de connaître l'ampleur du danger potentiel existant au sein d'un STFO, il est nécessaire d'assigner un niveau de danger aux zones qui peuvent devenir accessibles: cette procédure est similaire à la désignation d'une classe de matériel dans l'IEC 60825-1, mais se substitue à celle-ci.

Il est possible de configurer un système de télécommunications par fibres optiques pour qu'il se comporte comme un système asservi, de telle manière que lorsque le trajet de communication est interrompu, l'énergie du signal transmis soit automatiquement réduite à une valeur de sécurité, en un laps de temps court. Il est donc possible d'avoir deux systèmes, l'un avec un dispositif de réduction automatique de puissance (RAP) et l'autre sans dispositif RAP, les deux ayant le même niveau de danger (et donc le même degré de sécurité): le niveau du signal dans des conditions normales d'exploitation du système avec le dispositif RAP peut alors être beaucoup plus élevé que le niveau du signal dans le système sans le dispositif RAP. Puisque le dispositif RAP est déterminant pour la sécurité, il convient que la fiabilité de ce dispositif soit adéquate, des recommandations étant par ailleurs fournies dans l'Annexe D.

Alors que l'IEC 60825-1 s'applique aux appareils à laser individuels, le présent document s'applique aux systèmes complets, de bout en bout. Comme les sous-ensembles qui génèrent ou amplifient un rayonnement optique sont déterminants pour la sécurité du STFO et qu'ils doivent satisfaire à une partie des exigences, ils sont également inclus dans le domaine d'application du présent document. Les fabricants des différents composants passifs ou des sous-ensembles passifs, non encore incorporés au système de bout en bout, ne peuvent pas connaître le niveau de danger associé. Ces éléments sont ainsi exclus du domaine d'application du présent document.

Ce document ne traite pas des questions de sécurité liées aux explosions ou à l'incendie, dans le cas de STFO déployés dans des zones dangereuses.

D.2 Domaines d'application

D.2.1 Installations STFO types

a) Zones à accès contrôlé (voir 3.13):

- conduits de câbles;
- coffrets techniques extérieurs;
- aires dédiées et délimitées de centres de distribution;
- salles d'essai dans les navires câbliers.

Lorsqu'un accès à des conduits de câbles ou des coffrets techniques extérieurs pour entretien est susceptible d'exposer le grand public à des rayonnements qui dépassent la limite d'émission accessible de classe 1, il convient de prendre des dispositions d'exclusion temporaires appropriées (par exemple, présence d'une cabane de chantier).

b) Zones à accès limité (voir 3.14):

- aires sécurisées dans des locaux industriels non ouverts au public;
- aires sécurisées dans des locaux commerciaux non ouverts au public (par exemple, salles d'autocommutateurs numériques (PABX - private automatic branch exchange), salles de systèmes informatiques, etc.);
- aires générales dans des centres de commutation;
- zones délimitées non ouvertes au public, dans les trains, les navires ou d'autres véhicules.

c) Zones à accès non limité (voir 3.15):

- locaux d'habitation;
- industries de services ouvertes au grand public (par exemple, commerces et hôtels);
- aires publiques dans les trains, les navires ou d'autres véhicules;
- lieux ouverts au public, tels que parcs, rues, etc.;
- aires non sécurisées dans des locaux industriels/commerciaux, ouverts au public, tels que certains environnements de bureaux.

Un STFO peut traverser des aires publiques non limitées (par exemple dans un local d'habitation), des zones limitées dans les locaux industriels, ainsi que des zones contrôlées, telles que des conduits de câbles ou des coffrets techniques extérieurs.

Les réseaux locaux (LAN - local area networks) optiques peuvent être entièrement déployés dans des locaux commerciaux limités.

Les systèmes à fibres optiques peuvent être entièrement situés dans les locaux d'habitation non limités, tels que les interconnexions des appareils haute fidélité.

Pour les exigences concernant les réseaux locaux sans fil à infrarouge (IR) ou les systèmes de communication optiques en espace libre, voir l'IEC 60825-12 [11].

D.2.2 Composants systèmes types

a) Câbles à fibres optiques:

- 1) assemblages monofibre/multifibres/à rubans;
- 2) unimodaux/multimodaux;
- 3) construction "tout diélectrique" ou hybride;
- 4) à longueur d'onde unique/longueurs d'onde multiples;
- 5) fibre uni/bidirectionnelle;
- 6) communications/alimentation en énergie.

b) Sources optiques:

- 1) LED, lasers à émission par la surface (VCSEL - vertical-cavity surface-emitting lasers), lasers de Fabry-Perot ou lasers à rétroaction distribuée (DFB - distributed feedback), lasers à pompe;
- 2) amplificateurs optiques;
- 3) émission volumique/distribuée;
- 4) émission continue/basse fréquence/ haute fréquence.

c) Connecteurs:

- 1) simplex/duplex/à plusieurs voies;
- 2) hybrides.

- d) Composants passifs:
 - 1) Groupeurs/diviseurs de puissance;
 - 2) multiplexeurs/démultiplexeurs en longueurs d'onde;
 - 3) atténuateurs.
- e) Enveloppes et capots de protection.
- f) Répartiteurs de fibres.

D.2.3 Fonctions d'exploitation types

- a) Installation.
- b) Exploitation.
- c) Maintenance.
- d) Entretien.
- e) Recherche de panne.
- f) Mesurage (y compris OTDR).

D.3 Limites de puissance des STFO

Le Tableau D.1 présente la puissance moyenne maximale dans la fibre pour chaque niveau de danger, pour les longueurs d'onde les plus importantes et les types de fibres optiques utilisés dans un STFO. Les valeurs présentées intègrent par hypothèse le non-fonctionnement du dispositif RAP. Pour la plupart des systèmes types, avec des cycles de service compris entre 10 % et 100 %, l'augmentation de manière inversement proportionnelle de la puissance de crête et du cycle de service peut être admise. Toutefois, pour des cycles de service ≤ 50 %, il est plus simple de limiter les puissances de crête à deux fois ces limites de puissance moyenne, bien que l'IEC 60825-1 puisse être utilisée pour une analyse plus fine, afin d'identifier toute augmentation des puissances de crête admissibles pour ces types de systèmes. Cette disposition est particulièrement valable lors de l'utilisation de "sources visibles" dont les longueurs d'onde se situent dans la zone de danger photochimique.

Pour les fibres unimodales les plus courantes, les limites de la source ponctuelle ont besoin d'être appliquées. En revanche, pour les fibres multimodales à gradient d'indice avec un diamètre de cœur de 62,5 μm (GI 62.5), il est nécessaire de prendre en considération l'effet du diamètre apparent associé à C_6 pour les longueurs d'onde comprises entre 400 nm et 1 400 nm. Voir la NOTE 5 dans le Tableau D.1 pour les fibres multimodales qu'il est nécessaire de considérer comme des sources étendues.

Le diamètre d'ouverture et les distances de mesure qui suivent doivent être utilisés pour les mesurages de la condition 2:

- 3,5 mm à une distance de 35 mm pour les longueurs d'onde comprises entre $\geq 302,5$ nm et $< 1\,400$ nm.
- 3,5 mm à une distance de 14 mm pour les longueurs d'onde comprises entre $\geq 1\,400$ nm et $< 4\,000$ nm.

NOTE 1 Pour les fibres unimodales avec des longueurs d'onde $\geq 1\,400$ nm, cette condition mesure toute l'émission de la fibre et tient compte par conséquent de tout niveau de grossissement dans la grande majorité des cas.

NOTE 2 Une variante à cette condition pour les fibres unimodales avec des longueurs d'onde $\geq 1\,400$ nm consiste simplement à mesurer l'émission totale de la fibre tout en reconnaissant que cette opération peut donner lieu à une surestimation du danger réel dans certains cas.

NOTE 3 Pour les systèmes de niveau de danger 3B, l'émission totale de la fibre est limitée pour être inférieure à la LEA de la classe 3B (atténuant ainsi de manière efficace la puissance optique dans la fibre à 500 mW pour des expositions d'une durée supérieure à 0,25 s, et au niveau approprié pour des expositions d'une durée plus courte y compris, par exemple, les impulsions de redémarrage du système).

Tableau D.1 – Limites de puissance d'un STFO pour des fibres unimodales (SM - single mode) avec un diamètre du champ de mode (MFD - mode field diameter) de 11 µm et des fibres multimodales (MM - multimode) à ouverture numérique 0,18 (diamètre de cœur 50 µm)

Longueur d'onde et type de fibre	Niveau de danger					
	1	1M	2	2M	3R	3B
633 nm (MM)	1,95 mW	3,77 mW	5,00 mW	9,66 mW	25,0 mW	500 mW
	(+2,9 dBm)	(+5,8 dBm)	(+7,0 dBm)	(+9,9 dBm)	(+14,0 dBm)	(+27,0 dBm)
780 nm (MM)	2,82 mW	5,45 mW	–	–	14,5 mW	500 mW
	(+4,5 dBm)	(+7,4 dBm)			(+11,6 dBm)	(+27,0 dBm)
850 nm (MM)	3,89 mW	7,52 mW	–	–	20,0 mW	500 mW
	(+5,9 dBm)	(+8,8 dBm)			(+13,0 dBm)	(+27,0 dBm)
980 nm (MM)	7,08 mW	13,7 mW	–	–	36,3 mW	500 mW
	(+8,5 dBm)	(+11,4 dBm)			(+15,6 dBm)	(+27,0 dBm)
980 nm (SM)	1,80 mW	2,66 mW	–	–	9,21 mW	500 mW
	(+2,5 dBm)	(+4,2 dBm)			(+9,6 dBm)	(+27,0 dBm)
1 270 nm (MM)	140 mW	270 mW	–	–	500 mW	500 mW
	(+21,4 dBm)	(+24,3 dBm)			(+27,0 dBm)	(+27,0 dBm)
1 270 nm (SM)	46,2 mW	76,5 mW	–	–	237 mW	500 mW
	(+16,6 dBm)	(+18,8 dBm)			(+23,7 dBm)	(+27,0 dBm)
1 310 nm (MM)	481 mW	500 mW	–	–	500 mW	500 mW
	(+26,8 dBm)	(+27,0 dBm)			(+27,0 dBm)	(+27,0 dBm)
1 310 nm (SM)	166 mW	277 mW	–	–	500 mW	500 mW
	(+22,2 dBm)	(+24,4 dBm)			(+27,0 dBm)	(+27,0 dBm)
1 400 nm à 1 600 nm (MM)	13,3 mW	371 mW	–	–	Voir Note 1 de 4.3.9	500 mW
	(+11,2 dBm)	(+25,7 dBm)				(+27,0 dBm)
1 420 nm (SM)	10,1 mW	115 mW	–	–	Voir Note 1 de 4.3.9	500 mW
	(+10,0 dBm)	(+20,6 dBm)				(+27,0 dBm)
1 550 nm (SM)	10,2 mW	136 mW	–	–	Voir Note 1 de 4.3.9	500 mW
	(+10,1 dBm)	(+21,3 dBm)				(+27,0 dBm)

NOTE 1 Niveaux de danger 1M et 2M

La puissance maximale indiquée dans le tableau pour une fibre de 11 µm est limitée par la densité de puissance. La limite de puissance précise de la fibre est donc déterminée par la divergence minimale attendue du faisceau, dépendant à son tour du MFD d'une fibre unimodale. Celle-ci peut varier pour différentes valeurs du MFD et il y a des variations importantes des limites de classe en fonction des variations du MFD. Certains connecteurs utilisent un MFD élargi et la divergence en champ lointain est plus faible. Ces connecteurs peuvent conduire à un niveau de danger plus élevé et ce niveau de danger est attribué lors de l'utilisation de ces connecteurs.

NOTE 2 Longueur d'onde de 1 270 nm

La longueur d'onde de 1 270 nm correspond à la longueur d'onde la plus courte dans les applications de transmission de données (par exemple, LAN-WDM 8).

NOTE 3 Paramètres de fibre

Les paramètres de fibre utilisés correspondent aux cas les plus prudents; les valeurs pour une fibre unimodale sont calculées pour un MFD de 11 µm et les valeurs pour une fibre multimodale avec une ouverture numérique de 0,18. De nombreux systèmes, fonctionnant à 980 nm et à 1 550 nm, utilisent des fibres avec des MFD ayant des valeurs inférieures. Par exemple, la limite pour le niveau de danger 1M est de 197 mW, quand une longueur d'onde de 1 550 nm est transmise dans des câbles à fibres optiques à dispersion décalée, ayant des valeurs limites supérieures de MFD de 9,1 µm.

NOTE 4 Limites du niveau de danger 1M pour $\lambda < 1\,310\text{ nm}$

Les limites du niveau de danger 1M pour des fibres unimodales à 900 nm et au-dessous ne sont pas présentées ici, car la divergence que ces longueurs d'onde vont subir est assez variable. Cette situation est due au fait que ces longueurs d'onde sont à plusieurs modes dans une fibre unimodale normale de 1 310 nm et la divergence exacte dépend du degré assez imprévisible du mélange de modes. Cette variabilité du mélange de modes constitue également un problème potentiel lorsqu'il s'agit d'évaluer ces longueurs d'onde sur une vraie fibre multimodale. S'il est nécessaire de calculer une valeur pour ces cas, l'hypothèse selon laquelle la fibre véhicule toute son énergie en mode fondamental et l'utilisation des équations pour une fibre unimodale produisent une valeur prudente.

NOTE 5 Câbles à fibres multimodales avec un cœur unique

Pour les longueurs d'onde comprises entre 400 nm et 1 400 nm, la LEA de la classe 1 est calculée en prenant en considération un diamètre apparent du diamètre de cœur même pour un dispositif optique à faible grossissement (Voir D.4.1.2). Lorsqu'un diamètre apparent dépasse 1,5 mrad, ces fibres sont alors considérées comme des sources étendues. Sous la condition 3, c'est-à-dire avec un mesurage effectué à une distance de 100 mm, une fibre mesurée et dont le diamètre de cœur dépasse 150 μm est une source étendue. Par exemple, les fibres en silice à gaine dure (HCS - hard clad silica) avec un diamètre de cœur de 200 μm ou les fibres optiques plastiques avec un diamètre de cœur de 1 000 μm sont des sources étendues (intermédiaires). La dimension de la source applicable dépend du degré de remplissage du mode et est déterminée de façon détaillée avant de calculer les valeurs limites. Également sous la condition 2, c'est-à-dire avec un mesurage effectué à une distance de 35 mm, une fibre mesurée et dont le diamètre de cœur dépasse 52,5 μm est considérée comme une source étendue. Les fibres GI 50 telles que présentées dans ce tableau sont donc considérées comme des sources ponctuelles et les fibres GI 62.5 comme des sources étendues sous la condition 2.

NOTE 6 Câbles multifibres et câbles rubans

Les limites du tableau ne sont calculées que pour des monofibres. Si plusieurs fibres (multifibres) ou des câbles rubans avec des monofibres très proches les unes des autres, doivent être évalués, chaque fibre individuelle et chaque groupement possible de fibres sont évalués (voir D.4.6).

NOTE 7 Limite de puissance de 1 420 nm

Les limites de puissance de 1 420 nm sont calculées pour la plage de longueurs d'ondes de l'amplification Raman de 1 420 nm (pompe) à 1 500 nm (signal).

D.4 Exemples d'évaluation du niveau de danger

D.4.1 Longueur d'onde unique sur la même fibre

D.4.1.1 Considérations générales

Le calcul de la LEA et de l'EMP avec ouverture et définie avec une ouverture numérique ou ON exige le diamètre d'un faisceau divergent d_{63} , contenant 63 % de la puissance ou de l'énergie totale à une distance r de la source ponctuelle apparente telle que l'extrémité d'une fibre optique. L'ON d'une source ponctuelle est définie comme le sinus du demi-angle de divergence φ du faisceau de sortie, tel que mesuré à un point équivalent à 5 % des points d'éclairement énergétique de crête. C'est-à-dire

$$\frac{\varphi}{2} = \arcsin(\text{NA})$$

Le diamètre d_{63} d'un faisceau gaussien est donné par

$$d_{63} = \frac{2r}{1,7} \tan[\arcsin(\text{NA})] \approx \frac{2r \text{ NA}}{1,7},$$

où le dénominateur 1,7 est le rapport du diamètre de faisceau d_{95} correspondant à un point équivalent à 5 % des points d'éclairement énergétique de crête sur d_{63} , c'est-à-dire $d_{95} / d_{63} = 1,7$.

Dans le cas d'une fibre unimodale qui constitue un cas particulier de source ponctuelle, le calcul approché du diamètre de faisceau d_{63} , à une distance r s'effectue comme suit:

$$d_{63} = \frac{2\sqrt{2} r \lambda}{\pi \omega_0},$$

où λ est la longueur d'onde, et ω_0 est le MFD des fibres à une densité de puissance $1/e^2$.

Selon les spécifications de mesure indiquées en 4.7.1, la puissance de sortie maximale du niveau de danger 1 $P_{1,max}$ est définie de sorte que la LEA de la classe 1 P_{AEL} est égale à la puissance totale traversant une ouverture circulaire d'un diamètre $d_{a,1} = 3,5$ mm à une distance de r spécifiée dans la condition 2. La valeur P_{AEL} peut être estimée selon le Tableau 3 de l'IEC 60825-1:2014 lorsque le diamètre apparent α à une distance de r est inférieure à $\alpha_{min} = 1,5$ mrad, c'est-à-dire avec application de la vision intrafaisceau, ou selon le Tableau 4 de l'IEC 60825-1:2014 lorsque α dépasse α_{min} (voir D.4.1.2).

La puissance de sortie maximale du niveau de danger 1 $P_{1,max}$ est donnée par

$$P_{1,max} = P_{AEL} / \eta_1$$

où η_1 est le rendement de collecte d'un faisceau gaussien traversant l'ouverture défini sous la forme

$$\eta_1 = 1 - \exp \left[- \left(\frac{d_{a,1}}{d_{63}} \right)^2 \right].$$

Lorsque $d_{63} \ll d_{a,1}$, $P_{1,max}$ est donnée sous la forme P_{AEL} puisque la puissance totale de la source ponctuelle traverse l'ouverture.

Comme l'indique le Tableau A.5 de l'IEC 60825-1:2014, l'EMP de la peau à $700 \text{ nm} < \lambda < 1\,400 \text{ nm}$ est égale à

$$2\,000 \times C_4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} = 2\,000 \times 5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} = 10 \text{ mW} \cdot \text{mm}^{-2}.$$

Sur la base du diamètre d'ouverture pour la peau de 3,5 mm indiqué dans le Tableau A.6 de l'IEC 60825-1:2014, la surface d'ouverture est $\pi (3,5 / 2)^2 = 9,62 \text{ mm}^2$. De fait, la limite supérieure de P_{AEL} est obtenue sous la forme

$$10 \text{ mW} \cdot \text{mm}^{-2} \times 9,62 \text{ mm}^2 = 96,2 \text{ mW}.$$

La puissance de sortie maximale du niveau de danger 1M $P_{1M,max}$ émise par une source ponctuelle est définie de sorte que P_{AEL} est égale à la puissance totale traversant une ouverture circulaire d'un diamètre de $d_{a,1M} = 7$ mm pour les longueurs d'onde de 400 nm à 1 400 nm et de 3,5 mm pour les longueurs d'onde de 1 400 nm à 4 000 nm, à une distance de $r = 100$ mm, telle que spécifiée dans la condition 3.

De fait, $P_{1M,max}$ est donnée sous la forme

$$P_{1M,max} = P_{AEL} / \eta_{1M}$$

où η_{1M} est le rendement de collecte d'un faisceau gaussien traversant l'ouverture défini sous la forme

$$\eta_{1M} = 1 - \exp \left[- \left(\frac{d_{a,1M}}{d_{63}} \right)^2 \right]$$

Lorsque $d_{63} \ll d_{a,1M}$, $P_{1,max}$ est donnée sous la forme P_{AEL} puisque la puissance totale de la source ponctuelle traverse l'ouverture.

D.4.1.2 Fibre multimodale

Pour les longueurs d'onde comprises entre 400 nm et 1 400 nm, une fibre multimodale avec un seul cœur est considérée comme

- a) une source étendue lorsque le diamètre de cœur est supérieur à 52,5 μm , qui correspond à un diamètre apparent de $\alpha_{\min} = 1,5$ mrad à une distance de 35 mm, ou
- b) une source ponctuelle.

Il est donc nécessaire de calculer la LEA de la classe 1 P_{AEL} en prenant en considération un diamètre apparent du diamètre de cœur.

Calculer les niveaux de danger maximaux pour des fibres multimodales normalisées avec un diamètre de cœur de 50 μm ou 62,5 μm et une ouverture numérique de 0,18 qui émet une puissance optique en émission continue à une longueur d'onde de 850 nm. La base de temps de 100 s est alors utilisée pour un système de classe 1.

Pour une source ponctuelle, c'est-à-dire, le diamètre apparent α à une distance de $r = 35$ mm est inférieur à $\alpha_{\min} = 1,5$ mrad, P_{AEL} est donnée selon le Tableau 3 de l'IEC 60825-1:2014 par la formule

$$P_{AEL} = 3,9 \times 10^{-4} C_4 C_7 W,$$

où $C_4 = 10^{0,002(\lambda - 700)}$ et C_7 sont des facteurs de correction de la longueur d'onde spécifiés dans le Tableau 9 de l'IEC 60825-1:2014. Dans l'exemple du diamètre de cœur de 50 μm correspondant à un diamètre apparent $\alpha = 1,43$ mrad ($< \alpha_{\min}$), P_{AEL} calculée est égale à 0,78 mW, avec $C_4 = 10^{0,002(\lambda - 700)} = 2,00$ et $C_7 = 1,00$.

Pour une source étendue, c'est-à-dire, α dépasse $\alpha_{\min}$ (et est inférieure à $\alpha_{\max} = 100$ mrad), P_{AEL} est donnée selon le Tableau 4 de l'IEC 60825-1:2014 par la formule

$$P_{AEL} = 7 \times 10^{-4} C_4 C_6 C_7 T_2^{-0,25} W,$$

où $C_6 = \alpha / \alpha_{\min}$ et $T_2 = 10 \times 10^{(\alpha - \alpha_{\min})/98,5}$ s sont également des facteurs de correction du Tableau 9 de l'IEC 60825-1:2014. Dans l'exemple du diamètre de cœur de 62,5 μm correspondant à des diamètres apparents $\alpha = 1,79$ mrad (compris entre $\alpha_{\min}$ et $\alpha_{\max}$), P_{AEL} calculée est égale à 0,934 mW, avec $C_4 = 10^{0,002(\lambda - 700)} = 2,00$, $C_6 = \alpha / \alpha_{\min} = 1,19$, $C_7 = 1,00$ et $T_2 = 10 \times 10^{(\alpha - \alpha_{\min})/98,5} = 10,1$ s.