

**RAPPORT
TECHNIQUE
TECHNICAL
REPORT**

**CEI
IEC
1218**

Première édition
First edition
1993-05

Fibres optiques – Guide de sécurité

Fibre optics – Safety guide



IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC TR 61218:1993

Withdrawn

RAPPORT TECHNIQUE TECHNICAL REPORT

**CEI
IEC
1218**

Première édition
First edition
1993-05

Fibres optiques – Guide de sécurité

Fibre optics – Safety guide

© CEI 1993 Droits de reproduction réservés — Copyright — all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher.

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale 3, rue de Varembé Genève, Suisse



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	4
Articles	
1 Généralités	8
2 Classification	8
2.1 Classes d'instruments	8
2.2 Formules d'éclairement énergétique	14
2.3 Fonctionnement pulsé	16
2.4 Prescriptions de fabrication	18
2.5 Précautions pour l'utilisateur	18
3 Champs d'application	20
3.1 Sources	20
3.2 Système de transmission à fibres optiques	20
3.3 Mesures et essais	22
4 Exemples de classification	24
4.1 Emetteur à fibres optiques	24
4.2 Réflectomètre optique dans le domaine temporel	26
Annexe A	
Tableaux I à IV de la CEI 825 applicables aux fibres optiques	28

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
Clause	
1 General	9
2 Classification	9
2.1 Instrument classes	9
2.2 Irradiance formulas	15
2.3 Pulsed operation	17
2.4 Manufacturing requirements	19
2.5 User precautions	19
3 Areas of application	21
3.1 Sources	21
3.2 Fibre optic transmission system	21
3.3 Measuring and testing	23
4 Classification examples	25
4.1 Fibre optic transmitter	25
4.2 Optical time-domain reflectometer (OTDR)	27
Annex A	
Tables I to IV of IEC 825 as they apply to fibre optics	29

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

FIBRES OPTIQUES – GUIDE DE SÉCURITÉ

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes internationales. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par les comités d'études où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 3) Ces décisions constituent des recommandations internationales publiées sous forme de normes, de rapports techniques ou de guides et agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

La tâche principale des comités d'études de la CEI est d'élaborer des Normes internationales. Exceptionnellement, un comité d'études peut proposer la publication d'un rapport technique de l'un des types suivants:

- type 1, lorsque, en dépit de maints efforts, l'accord requis ne peut être réalisé en faveur de la publication d'une Norme internationale;
- type 2, lorsque le sujet en question est encore en cours de développement technique ou lorsque, pour une raison quelconque, la possibilité d'un accord pour la publication d'une Norme internationale peut être envisagée pour l'avenir mais pas dans l'immédiat;
- type 3, lorsqu'un comité d'études a réuni des données de nature différente de celles qui sont normalement publiées comme Normes internationales, cela pouvant comprendre, par exemple, des informations sur l'état de la technique.

Les rapports techniques de types 1 et 2 font l'objet d'un nouvel examen trois ans au plus tard après leur publication afin de décider éventuellement de leur transformation en Normes internationales. Les rapports techniques de type 3 ne doivent pas nécessairement être révisés avant que les données qu'ils contiennent ne soient plus jugées valables ou utiles.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

FIBRE OPTICS – SAFETY GUIDE

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international cooperation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. The IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, prepared by technical committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 3) They have the form of recommendations for international use published in the form of standards, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.

The main task of IEC technical committees is to prepare International Standards. In exceptional circumstances, a technical committee may propose the publication of a technical report of one of the following types:

- type 1, when the required support cannot be obtained for the publication of an International Standard, despite repeated efforts;
- type 2, when the subject is still under technical development or where for any other reason there is the future but not immediate possibility of an agreement on an International Standard;
- type 3, when a technical committee has collected data of a different kind from that which is normally published as an International Standard, for example "state of the art".

Technical reports of types 1 and 2 are subject to review within three years of publication to decide whether they can be transformed into International Standards. Technical reports of type 3 do not necessarily have to be reviewed until the data they provide are considered to be no longer valid or useful.

La CEI 1218, rapport technique de type 3, a été établie par le comité d'études 86 de la CEI: Fibres optiques.

Le texte de ce rapport technique est issu des documents suivants:

Projet de comité	Rapport de vote
86(SEC)27	RM 3496/CE 86

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

Ce guide est une interprétation de la CEI 825 pour ce qui concerne les systèmes de transmission à fibres optiques.

Ce guide n'a pas valeur de norme en lui-même.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC TR 61218:1993

IEC 1218, which is a technical report of type 3, has been prepared by IEC technical committee 86: Fibre optics.

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

Committee draft	Report on Voting
86(SEC)27	RM 3496/TC 86

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

This guide is an interpretation of IEC 825 with respect to fibre optic transmission systems.

This guide is not normative on its own.

Withdrawing
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC TR 61219-1:1993

FIBRES OPTIQUES – GUIDE DE SÉCURITÉ

1 Généralités

Le présent guide est informatif. C'est une interprétation de la CEI 825*, par rapport aux systèmes de transmission à fibres optiques. Quelques additions ont été apportées dans ce guide chaque fois que la CEI 825 et son amendement ne couvrent pas le sujet spécifique des fibres optiques. Ce guide s'applique aux longueurs d'onde dans la gamme de 400 nm à 10^5 nm. La CEI 825 s'applique seulement aux équipements basés sur les lasers.

Les DEL devraient être traitées comme suit:

- les sources DEL ne doivent pas être classées, parce que la procédure de classification de la CEI 825 ne s'applique qu'aux sources laser;
- il convient que les dangers potentiels et réels soient évalués de la même manière que pour les sources laser;
- il convient que la longueur d'onde utilisée pour l'évaluation du danger soit la longueur d'onde du pic d'émission de la DEL;
- il convient que des mesures appropriées de contrôle soient prises comme indiqué ci-dessous.

2 Classification

L'article 9 de la CEI 825 définit cinq classes d'équipements laser basées sur les limites d'émission accessible (LEA):

- Classe 1: sûr dans toutes conditions;
- Classe 2: gamme visible, sécurité basée sur le battement des paupières;
- Classe 3A: sécurité sans aide optique d'observation pour un temps limité;
- Classe 3B: la vision dans le faisceau ou après réflexion est dangereuse;
- Classe 4: danger dû à l'exposition à un faisceau et aux réflexions spéculaires et diffuses.

Les limites d'émission accessible (LEA) (tableaux I, II, III et IV de la CEI 825 – voir annexe A de ce rapport) sont dérivées de l'exposition maximale permise de l'oeil humain et de la peau (EMP dans la CEI 825).

Dans les termes de la CEI 825, les sources à fibres optiques (par exemple les extrémités de fibres ou les diodes laser) sont souvent des sources ponctuelles. La raison est que, à la distance normalisée de 100 mm, les sources à fibre optique apparaissent à l'oeil plus petites que $\alpha_{\min}$ (voir 9.3 e) et notes du tableau VI de la CEI 825).

2.1 Classes d'instruments

Pour des raisons de simplicité, seules les sources de type continu sont discutées dans ce paragraphe. Voir 2.3 pour le fonctionnement pulsé.

* CEI 825: 1984, Sécurité du rayonnement des appareils à laser, classification des matériels, prescriptions et guide de l'utilisateur. Modification n° 1 (1990).

FIBRE OPTICS – SAFETY GUIDE

1 General

This guide is informative. It is an interpretation of IEC 825*, with respect to fibre optic transmission systems. Some additions have been made in this guide wherever IEC 825 and its amendment do not cover a specific fibre optic subject. This guide applies to the wavelength range of 400 nm to 10^5 nm. IEC 825 addresses only equipments based on lasers.

LEDs should be treated as follows:

- LED-based sources shall not be classified, because the classification procedure of IEC 825 applies to laser sources;
- the potential and actual hazards should be evaluated in the same manner as for laser sources;
- the wavelength used for hazard evaluation should be the peak emission wavelength of the LED;
- appropriate control measures should be taken as outlined below.

2 Classification

Clause 9 of IEC 825 defines five classes of laser equipment based on accessible emission limits (AEL):

- Class 1: safe under any condition;
- Class 2: visible range, safety based on blink reflex;
- Class 3A: safe without optical viewing aids for a limited time;
- Class 3B: looking into the beam or into specular reflections is dangerous;
- Class 4: danger from exposure to beam, specular and diffuse reflections.

The AELs (tables I, II, III and IV of IEC 825 – see annex A of this report) are derived from the maximum permissible exposure of the human eye and skin (MPE in IEC 825).

In the terms of IEC 825, fibre optic sources (e.g. fibre ends or laser diodes) are usually point-type sources. The reason is that, at the standardized distance of 100 mm, fibre optic sources appear to the eye smaller than $\alpha_{\min}$ (see 9.3 e) and notes to table VI of IEC 825).

2.1 Instrument classes

For reasons of simplicity, only continuous-wave (CW) type sources are discussed in this subclause. See 2.3 for pulsed operation.

* IEC 825: 1984, Radiation safety of laser products, equipment classification, requirements, and user's guide. Amendment No. 1 (1990).

Il faut noter que toutes les LEA ci-dessous doivent être maintenues dans les conditions de premier défaut (voir 8.1 de la CEI 825).

2.1.1 Classe 1

Les sources optiques de classe 1 doivent satisfaire aux prescriptions du tableau I de la CEI 825. Seules les limites indiquées dans les lignes supérieures du tableau I de la CEI 825 s'appliquent (limites absolues de puissance pour les sources ponctuelles, voir 9.3 d) de la CEI 825). La base de temps pour la classe 1 est 1 000 s, lorsque l'observation visuelle n'est pas nécessaire pour la fonction prévue.

La mesure de la puissance doit collecter la puissance dans une ouverture circulaire de 50 mm (voir 8.2 de la CEI 825), ce qui, pour les sources ponctuelles, signifie la puissance totale de sortie, si la source est totalement accessible.

λ/nm	400 à 550	550 à 700	700 à 1 050	1 050 à 1 400	1 400 à 10^5
LEA/mW	$3,9 \times 10^{-3}$	$3,9 \times 10^{-3} C_3$	$0,12 C_4$	0,6	0,8

avec $C_3 = 10^{0,015 (\lambda - 550)}$ λ en nm

$C_4 = 10^{(\lambda - 700)/500}$

Extrait du tableau I (CEI 825):

Limites d'émission accessible pour les sources de classe 1, de type continu.

2.1.2 Classe 2

La classe 2 est réservée à la gamme de longueurs d'onde entre 400 nm et 700 nm. La limite de 1 mW est établie par le battement des paupières, qui est censé fermer l'oeil en moins de 0,25 s. Noter que la base de temps est 1 000 s.

λ/nm	400 à 700
LEA	1 mW

Extrait du tableau II (CEI 825):

Limites d'émission accessible pour les sources de classe 2, de type continu.

Note that all of the AELs below have to be maintained under any single fault condition (see 8.1 of IEC 825).

2.1.1 Class 1

Optical sources of class 1 shall meet the requirements of table I of IEC 825. Only the limits in the upper lines of table I of IEC 825 apply (absolute power limits for point-type sources, see 9.3 d) of IEC 825). The time base in class 1 is 1 000 s, assuming that intentional viewing is not necessary for the intended function.

The power measurement shall collect the power within a 50 mm circular aperture (see 8.2 of IEC 825), which, for point-type sources, means the total power output, if the source is fully accessible.

λ/nm	400 to 550	550 to 700	700 to 1 050	1 050 to 1 400	1 400 to 10^5
AEL/mW	$3,9 \times 10^{-3}$	$3,9 \times 10^{-3} C_3$	$0,12 C_4$	0,6	0,8

with $C_3 = 10^{0,015 (\lambda - 550)}$

λ in nm

$C_4 = 10^{(\lambda - 700)/500}$

Extract from table I (IEC 825):

Accessible emission limits for class 1, CW-type sources.

2.1.2 Class 2

Class 2 is reserved to the wavelength range of 400 nm to 700 nm. The limit of 1 mW is set by the blink reflex, which is assumed to close the eye within 0,25 s. Note that the time base is 1 000 s.

λ/nm	400 to 700
AEL	1 mW

Extract from table II (IEC 825):

Accessible emission limits for class 2, CW-type sources.

2.1.3 Classe 3A

Les sources optiques de classe 3A doivent satisfaire aux prescriptions du tableau III de la CEI 825. Les limites indiquées dans les lignes supérieures et inférieures du tableau III de la CEI 825 s'appliquent (puissance absolue et éclairement énergétique).

Deux bases de temps s'appliquent:

- a) 100 s pour la gamme de longueurs d'onde de 700 nm à 1 400 nm, et
- b) 1 000 s pour toutes les autres longueurs d'onde.

Deux distances de mesure s'appliquent pour la mesure de l'éclairement:

- a) 100 mm pour la gamme de longueurs d'onde de 400 nm à 1 400 nm. Cette distance a été choisie comme étant la plus petite distance d'accommodation de l'oeil humain. Elle est égale à la distance du plus grand danger pour la rétine.
- b) 0 mm pour toutes les longueurs d'onde en dehors de la gamme de 400 nm à 1 400 nm. Pour ces longueurs d'onde, le plus grand danger est une lésion du cristallin ou de la cornée; donc, la distance est nulle. Une plus grande distance est applicable si la source de rayonnement n'est pas directement accessible, par exemple par application de l'extrémité de la fibre contre la face avant de l'instrument. Voir les formules de 2.2 pour la dépendance de l'éclairement énergétique avec la distance.

La mesure de la puissance doit collecter la puissance dans une ouverture circulaire de 50 mm, ce qui, pour les sources ponctuelles, signifie la puissance totale de sortie, si la source est complètement accessible.

Une ouverture circulaire de 7 mm doit être utilisée pour les mesures d'éclairement énergétique dans la gamme de longueurs d'onde de 400 nm à 1 400 nm.

λ/nm	400 à 700	700 à 1 050	1 050 à 1 400	1 400 à 10^5
LEA	5 mW et 25 Wm^{-2}	$1,11 C_4 \text{ mW}$ et $5,7 C_4 \text{ Wm}^{-2}$	5,7 mW et $28,5 \text{ Wm}^{-2}$	4 mW et $1 000 \text{ Wm}^{-2}$

avec $C_4 = 10^{(\lambda - 700)/500}$ λ en nm

Extrait du tableau III (CEI 825):

Limites d'émission accessible pour les sources de classe 3A, de type continu.

La base de temps appliquée est 100 s entre 700 nm et 1 400 nm et 1 000 s pour toutes les autres longueurs d'onde.

L'analyse du tableau ci-dessus pour les fibres les plus fréquemment utilisées conduit aux résultats indiqués dans le tableau suivant. Les données du tableau ont été calculées avec les formules d'éclairement énergétique de 2.2, en utilisant les distances de mesure de 100 mm et 0 mm.

2.1.3 Class 3A

Optical sources of class 3A must meet the requirements of table III of IEC 825. Both the limits in the upper and the lower lines of table III of IEC 825 apply (absolute power and irradiance).

Two time bases apply:

- a) 100 s for the wavelength range of 700 nm to 1 400 nm, and
- b) 1 000 s for all other wavelengths.

Two measurement distances apply for the irradiance measurement:

- a) 100 mm for the wavelength range of 400 nm to 1 400 nm. This distance was chosen as the shortest accommodation distance of the human eye. It is equal to the distance of greatest hazard for the retina.
- b) 0 mm for all wavelengths outside of the 400 nm to 1 400 nm range. At these wavelengths, the greatest hazard is a damage of the lens or cornea; therefore, the distance is zero. A longer distance is applicable if the radiation source is not directly accessible, e.g. by recessing the fibre end against the front panel of the instrument. See the formulas in 2.2 for the dependence of the irradiance on distance.

The power measurement shall collect the power within a 50 mm circular aperture, which, for point-type sources, means the total power output, if the source is fully accessible.

A 7 mm circular aperture shall be used for irradiance measurements in the wavelength range of 400 nm to 1 400 nm.

λ/nm	400 to 700	700 to 1 050	1 050 to 1 400	1 400 to 10^5
AEL	5 mW and 25 Wm^{-2}	$1,11 C_4 \text{ mW}$ and $5,7 C_4 \text{ Wm}^{-2}$	5,7 mW and $28,5 \text{ Wm}^{-2}$	4 mW and $1 000 \text{ Wm}^{-2}$

with $C_4 = 10^{(\lambda - 700)/500}$ λ in nm

Extract from table III (IEC 825):

Accessible emission limits for class 3A, CW-type sources.

The applied time base is 100 s between 700 nm and 1 400 nm and 1 000 s at all other wavelengths.

This analysis of the above table for the most frequently used fibres yields the results listed in the following table. The table was calculated with the irradiance formulas in 2.2, using measurement distances of 100 mm and 0 mm.

λ/nm	400 à 700	700 à 1 050	1 050 à 1 400	1 400 à 10^5
LEA/M	5 mW ¹⁾	1,11 C_4 mW ¹⁾	5,7 mW ¹⁾	
LEA/S			3,0 mW ²⁾	0,8 mW ³⁾

avec $C_4 = 10^{(\lambda - 700)/500}$

λ en nm

¹⁾ La puissance absolue est plus restrictive que l'éclairement énergétique à 100 mm de distance.

²⁾ L'éclairement énergétique à 100 mm de distance est plus restrictif que la puissance absolue.

³⁾ Cette limite est obtenue par un éclairement énergétique à une distance nulle et moyennée sur l'ouverture limitée (1 mm) du tableau VI de la CEI 825. La limite peut être dépassée si un espace mécanique est utilisé; voir l'exemple en 4.1.

Interprétation du tableau III (CEI 825):

Limites de puissance maximale pour les sources de classe 3A, de type continu.

S = fibre monomode,

M = fibre multimode avec $NA \geq 0,2$.

2.1.4 Classe 3B

Les sources optiques de classe 3B doivent satisfaire aux prescriptions du tableau IV de la CEI 825. Pour les sources de type continu fonctionnant aux longueurs d'onde de 400 nm à 10^5 nm, cela signifie que leur sortie doit avoir une puissance maximale de 0,5 W.

2.1.5 Classe 4

Les sources optiques de classe 4 sont celles qui ne satisfont pas aux prescriptions de la classe 3B.

2.2 Formules d'éclairement énergétique

Les sources de classe 3A doivent être essayées à la fois pour la puissance absolue et pour l'éclairement énergétique en champ lointain. Souvent, la puissance totale est connue ou peut être facilement mesurée alors que l'éclairement énergétique est inconnu. Les formules suivantes donnent l'éclairement énergétique axial (maximal) avec la puissance de sortie totale pour des sources et des fibres typiques libre-type. Ces formules peuvent être utilisées pour une estimation grossière de l'éclairement énergétique réel, pour les besoins de classification ou d'évaluation du danger potentiel.

Les symboles suivants sont utilisés dans les formules:

E_o = éclairement énergétique axial à partir d'une fibre avec une puissance P_{total} ;

d = distance de mesure entre l'extrémité d'une fibre et le détecteur;

NA = ouverture numérique = sinus du demi-angle quand l'intensité a atteint 5 % de sa valeur maximale;

λ = longueur d'onde de fonctionnement;

$w(d)$ = rayon du faisceau défini par le point à $1/e^2$ de la densité de puissance à la distance d ;

w_o = rayon de champ de mode défini par le point de $1/e^2$ de densité de puissance.

λ/nm	400 to 700	700 to 1 050	1 050 to 1 400	1 400 to 10^5
AEL/M	5 mW ¹⁾	1,11 C_4 mW ¹⁾	5,7 mW ¹⁾	
AEL/S			3,0 mW ²⁾	0,8 mW ³⁾

with $C_4 = 10^{(\lambda - 700)/500}$ λ in nm

1) The absolute power is more restrictive than the irradiance at 100 mm distance.

2) The irradiance at 100 mm distance is more restrictive than the absolute power.

3) This limit is set by the irradiance at zero distance and averaging over the limiting aperture (1 mm) of table VI of IEC 825. The limit can be exceeded if mechanical spacing is used; see the example in 4.1.

Interpretation of table III (IEC 825):

Maximum power limits for class 3A, CW-type fibre sources.

S = single-mode fibre,

M = multimode fibre with $NA \geq 0,2$.

2.1.4 Class 3B

Optical sources of class 3B shall meet the requirements of table IV of IEC 825. For CW-type sources operating at wavelengths from 400 nm to 10^5 nm, this means that their output shall have a maximum of 0,5 W.

2.1.5 Class 4

Optical sources of class 4 are those which do not meet the requirements of class 3B.

2.2 Irradiance formulas

Class 3A sources shall be tested for both absolute power and far-field irradiance. Often, the total power is known or can easily be measured, whereas the irradiance is unknown. The following formulas relate the (maximum) on-axis irradiance with the total power output for typical fibre-type sources. These formulas can be used for a rough estimation of the actual irradiance, for the purpose of classification or evaluation of the potential hazard.

The following symbols are used in the formulas:

E_o = on-axis irradiance from a fibre with power P_{total} ;

d = measurement distance between fibre end and detector;

NA = numerical aperture = sine of the half angle where the intensity has decreased to 5 % of its maximum value;

λ = operating wavelength;

$w(d)$ = beam radius defined by the point of $1/e^2$ power density at distance d ;

w_o = mode field radius defined by the point of $1/e^2$ power density.

«Fibre multimode à saut d'indice» avec pleine excitation de tous les modes de coeur; la relation entre éclairement énergétique et puissance totale ($P_{\text{total}} = \text{LEA}$) est:

$$\text{LEA} = \pi d^2 NA^2 E_0$$

«Fibre multimode à gradient d'indice» avec profil parabolique et pleine excitation de tous les modes du coeur:

$$\text{LEA} = 0,5 \pi d^2 NA^2 E_0$$

«Fibre monomode à saut d'indice» à une longueur d'onde supérieure à la longueur d'onde de coupure, pourvu que la fibre émette un faisceau Gaussien:

a) basé sur l'ouverture numérique dans le champ lointain:

$$\text{LEA} = 1,05 d^2 NA^2 E_0$$

b) basé sur le rayon du champ de mode w_0 :

$$\text{LEA} = 0,5 \pi w(d)^2 E_0 = 0,5 \pi \left(\frac{\lambda_0}{\pi w_0} \right)^2 E_0$$

2.3 Fonctionnement pulsé

En plus des limites LEA pour le fonctionnement continu, les tableaux I, II, III et IV de la CEI 825 donnent aussi les limites pour le fonctionnement pulsé. Deux cas doivent être distingués.

2.3.1 Fonctionnement en impulsion unique

Une impulsion unique est définie par pas plus d'une impulsion pendant le temps défini par la base de temps. Dans ce cas, les LEA des tableaux peuvent être directement appliquées, comme indiqué en 2.1 de ce rapport.

2.3.2 Fonctionnement en impulsions répétitives

Le fonctionnement en impulsions répétitives ou fonctionnement en rafales est défini par plus d'une impulsion pendant la base de temps. Pour la gamme de longueurs d'onde de 400 nm à 1 400 nm, les deux limites ci-dessous doivent être respectées. Pour toutes les autres longueurs d'onde, seule la limite a) doit être observée:

a) la puissance moyenne pendant le temps T ne doit pas dépasser la LEA d'une impulsion unique de durée T . Le temps T peut être la base de temps applicable ou la durée d'une impulsion unique en rafale (voir 9.4.1 b) de la CEI 825).

b) la LEA d'une impulsion unique dans le train doit être réduite par la formule suivante (voir 9.4.1 c) de la CEI 825):

$$\text{LEA} = \text{LEA}_{\text{unique}} \times N^{-1/4}$$

où $\text{LEA}_{\text{unique}}$ = LEA pour une impulsion unique, comme défini dans les tableaux;

N = nombre d'impulsions pendant la base de temps applicable.

Les LEA réduites doivent être utilisées pour la classification, comme indiqué en 2.1 de ce rapport.

"Step-index multimode fibre" with full excitation of all core modes; the relation between the irradiance and the total power ($P_{\text{total}} = \text{AEL}$) is:

$$\text{AEL} = \pi d^2 NA^2 E_0$$

"Graded-index multimode fibre" with parabolic profile and full excitation of all core modes:

$$\text{AEL} = 0,5 \pi d^2 NA^2 E_0$$

"Step-index single-mode fibre" at a wavelength longer than the cut-off wavelength, assuming that the fibre emits a Gaussian beam:

a) based on the numerical aperture in the far field:

$$\text{AEL} = 1,05 d^2 NA^2 E_0$$

b) based on the mode field radius w_0 :

$$\text{AEL} = 0,5 \pi w_0^2 E_0 = 0,5 \pi \left(\frac{\lambda d}{\pi w_0} \right)^2 E_0$$

2.3 Pulsed operation

In addition to the AEL limits for CW-operation, the tables I, II, III and IV of IEC 825 also provide limits for pulse-type operation. Two cases must be distinguished.

2.3.1 Single-pulse operation

A single pulse is defined by not more than a single pulse during the time defined by the time base. In this case, the AELs of the tables can be directly applied as outlined in 2.1 of this report.

2.3.2 Repetitive-pulse operation

Repetitive-pulse operation or burst operation is defined by more than one pulse during the time base. For the wavelength range 400 nm to 1 400 nm, both of the limits below must be observed. For all other wavelengths, only limit a) need be observed:

a) the average power during the time T shall not exceed the AEL of a single pulse of duration T . The time T can be the applicable time base or the duration of a single-pulse burst (see 9.4.1 b) of IEC 825).

b) The AEL of a single pulse in the train shall be reduced by the following formula (see 9.4.1 c) of IEC 825):

$$\text{AEL} = \text{AEL}_{\text{single}} \times N^{-1/4}$$

where $\text{AEL}_{\text{single}} = \text{AEL}$ for a single pulse, as defined by the tables;

N = number of pulses during the applicable time base.

The reduced AELs shall be used for classification as outlined in 2.1 of this report.

2.4 Prescriptions de fabrication

Pour toutes les sources laser, les prescriptions suivantes sont les plus importantes à respecter par le fabricant:

- a) enveloppe de protection pour éviter les émissions supérieures à la classification (voir 4.2 de la CEI 825);
- b) verrouillages de sécurité sur les panneaux d'accès si l'émission du laser encapsulé peut dépasser 3A (voir 4.3 de la CEI 825);
- c) étiquettes de classification sur l'appareil à laser (voir article 5 de la CEI 825); pour un appareil à laser de la classe 1, la combinaison de couleurs (noir sur fond jaune) n'est pas obligatoire;
- d) étiquette d'entrée en service (voir 5.9.1 de la CEI 825);
- e) étiquette de verrouillages de sécurité (voir 5.9.2 de la CEI 825);
- f) information de sécurité pour l'utilisateur dans les manuels d'utilisation et de réglage (voir 6.1 de la CEI 825);
- g) information pour l'achat et le réglage (voir 6.2 de la CEI 825).

Les prescriptions additionnelles pour les classes 2 et 3A sont les suivantes. Noter que les sources de classe 3B avec pas plus de cinq fois la LEA de classe 2 dans la gamme de longueurs d'onde de 400 nm à 700 nm doivent satisfaire aux mêmes prescriptions que les sources de classe 3A:

- h) plaque d'avertissement triangulaire pour appareil à laser (voir article 5 de la CEI 825).

Les prescriptions additionnelles à celles mentionnées ci-dessus pour les classes 3B et 4 sont:

- i) connecteur de verrouillage à distance permettant la mise hors service à distance (voir 4.4 de la CEI 825);
- j) commande à clé (voir 4.5 de la CEI 825);
- k) avertissement d'émission auditif ou visuel (voir 4.6 de la CEI 825);
- l) atténuateur de faisceau empêchant l'accès aux rayonnements laser dépassant 3A (voir 4.7 de la CEI 825);
- m) étiquette d'ouverture indiquant l'endroit de la sortie du rayonnement (voir 5.7 de la CEI 825);

2.5 Précautions pour l'utilisateur

Pour les appareils à laser de classe 1, il n'y a pas de prescriptions.

Pour les appareils à laser de classe 2, les plus importantes précautions à prendre par l'utilisateur sont les suivantes:

- a) terminer le faisceau à sa longueur utile (voir 10.6 de la CEI 825);

2.4 Manufacturing requirements

For all laser sources, the most important requirements to be met by the manufacturer are as follows:

- a) protective housing to prevent higher than classified emission (see 4.2 of IEC 825);
- b) safety interlocks at access panels if emission from embedded laser exceeds 3A (see 4.3 of IEC 825);
- c) classification labels on the laser product (see clause 5 of IEC 825); for class 1 laser product, regular colour combination (black on a yellow background) is not mandatory;
- d) service entry label (see 5.9.1 of IEC 825);
- e) safety interlock label (see 5.9.2 of IEC 825);
- f) user safety information in operating and service manuals (see 6.1 of IEC 825);
- g) purchasing and service information (see 6.2 of IEC 825).

Classes 2 and 3A additional requirements are as follows. Note that class 3B sources with not more than five times the AEL of class 2 in the wavelength range of 400 nm to 700 nm have to meet the same requirements as class 3A sources:

- h) triangular laser warning label (see clause 5 of IEC 825).

Classes 3B and 4 additional requirements to all of the above are:

- i) remote interlock connector to allow remote disabling (see 4.4 of IEC 825);
- j) key control (see 4.5 of IEC 825);
- k) audible or visible emission warning (see 4.6 of IEC 825);
- l) beam attenuator to prevent access to laser radiation exceeding 3A (see 4.7 of IEC 825);
- m) aperture label to indicate the location of the radiation output (see 5.7 of IEC 825);

2.5 User precautions

For laser products of class 1 there are no requirements.

For laser products of class 2, the most important precautions to be met by the user are as follows:

- a) terminate the beam at its useful length (see 10.6 of IEC 825);

Pour les appareils à laser de classe 3A, les prescriptions supplémentaires suivantes doivent être appliquées. Noter que pour les sources de classe 3B avec pas plus de cinq fois les LEA de classe 2 dans la gamme de longueurs d'onde de 400 nm à 700 nm, les mêmes précautions que pour les sources de classe 3A doivent être prises:

- b) formation de tous les opérateurs et personnel d'entretien (voir 10.10 de la CEI 825);
- c) nomination d'un responsable chargé de la sécurité (voir 10.1 de la CEI 825).

Pour les appareils à laser de classes 3B et 4, en plus des prescriptions ci-dessus, les prescriptions additionnelles suivantes sont applicables:

- d) connecter le verrouillage à distance à la porte d'entrée (voir 10.2 de la CEI 825);
- e) retirer la clé quand le système n'est pas en fonctionnement (voir 10.3 de la CEI 825);
- f) suivre les indications des signaux d'alarme (voir 10.5 de la CEI 825);
- g) éviter les réflexions involontaires (voir 10.7 de la CEI 825);
- h) utiliser une protection oculaire (voir 10.8 de la CEI 825);
- i) utiliser des vêtements de protection (classe 4 seulement, voir 10.9 de la CEI 825).

3 Champs d'application

Dans le domaine des fibres optiques, différentes sortes d'équipements laser doivent être considérées.

3.1 Sources

Des exemples typiques sont les transmetteurs, les répéteurs, les instruments de mesure, les machines à épissurer avec injection locale et détection.

Pour les sources, la classification des articles 8 et 9 de la CEI 825 s'applique sans exception et le constructeur des produits doit répondre aux prescriptions de sécurité du constructeur, par exemple aux prescriptions relatives au matériel ou avertisseur de danger comme prescrit aux articles 4 et 5 de la CEI 825. Un résumé est donné à l'article 2 de ce rapport.

Si une source laser est contenue dans une enveloppe secondaire (par exemple unité de transmission) cette enveloppe doit aussi être classée (voir 4.1.1 de la CEI 825).

3.2 Système de transmission à fibres optiques

L'entreprise ou l'autorité chargée du fonctionnement est responsable du respect des prescriptions de sécurité pour les systèmes de transmission à fibres optiques.

Les conditions suivantes doivent être considérées.

3.2.1 Installation

Avant l'installation d'un système de transmission à fibres optiques, le niveau potentiel de danger doit être déterminé par classes (voir articles 8 et 9 de la CEI 825) pour toutes les parties du système complet de transmission.

Il convient de prendre les précautions appropriées, comme indiqué aux articles 10, 11 et 12 de la CEI 825.

For laser products of class 3A, additional requirements are as follows. Note that for class 3B sources with not more than five times the AEL of class 2 in the wavelength range of 400 nm to 700 nm, the same precautions as for class 3A sources have to be met:

- b) training of all operator and maintenance personnel (see 10.10 of IEC 825);
- c) appointment of a laser safety officer (see 10.1 of IEC 825).

For laser products of classes 3B and 4, additional requirements to all of the above are as follows:

- d) connect the remote interlock to door circuit (see 10.2 of IEC 825);
- e) remove the key when not in use (see 10.3 of IEC 825);
- f) follow the precautions on warning signs (see 10.5 of IEC 825);
- g) prevent unintentional reflections (see 10.7 of IEC 825);
- h) use eye protection (see 10.8 of IEC 825);
- i) use protective clothing (class 4 only, see 10.9 of IEC 825).

3 Areas of application

In fibre optics the following kinds of laser equipment have to be considered.

3.1 Sources

Typical examples are transmitters, repeaters, measurement instruments, splicing machines with local injection and detection.

For the sources the classification clauses 8 and 9 of IEC 825 apply without exception, and the manufacturer of the products has to meet the manufacturer's safety requirements, e.g. hardware requirements or hazard warning as prescribed in clauses 4 and 5 of IEC 825. A summary is given in clause 2 of this report.

If a laser source is contained in a secondary housing (e.g. transmission unit) this housing must also be classified (see 4.1.1 of IEC 825).

3.2 Fibre optic transmission system

The operating company or authority is responsible for meeting the safety requirements for the optical fibre transmission system.

The following conditions have to be considered.

3.2.1 Installation

Before installing a fibre optic transmission system the potential level of hazard has to be determined by class (see clauses 8 and 9 of IEC 825) for all parts of the entire transmission system.

Appropriate precautions as listed in clauses 10, 11 and 12 of IEC 825 should be observed.

3.2.2 Conditions de fonctionnement

Pendant le fonctionnement normal, le système de transmission complet peut être considéré comme étant contenu dans une enveloppe de protection. Donc, la classe 1 de la CEI 825 s'applique. Seules les sources optiques doivent répondre aux prescriptions du constructeur comme indiqué en 3.1 de ce rapport.

3.2.3 Conditions d'utilisation ou interruption intentionnelle

Si l'émission accessible peut dépasser les limites de la classe 1, les prescriptions et les précautions suivantes doivent être appliquées:

- a) une étiquette d'alarme (voir 5.9 de la CEI 825) est prescrite sur chaque panneau d'accès (par exemple embout de câble, épissure mécanique, connecteur ou tout autre composant passif);
- b) il convient que l'ouverture d'un panneau d'accès soit effectuée seulement par du personnel qualifié;
- c) il convient de prendre des précautions lorsqu'on utilise des loupes ou des microscopes;
- d) si le niveau accessible de rayonnement dépasse la classe 3A, les connecteurs utilisés dans la liaison de transmission à fibres optiques doivent alors être des connecteurs de sécurité. Un connecteur de sécurité peut être ouvert seulement avec un outil. Il occulte les disjoncteurs qui permettent l'émission au travers de connecteurs ouverts pendant une durée suffisamment courte pour éviter l'exposition à des niveaux de rayonnement dépassant la classe 3A (voir 7.2 de la CEI 825) et devrait déclencher une alarme auditive ou visuelle.

3.2.4 Conditions de défaut ou interruption non intentionnelle

Dans ce cas, du personnel non formé peut entrer en contact avec l'équipement à fibres optiques et peut être exposé à des rayonnements dangereux. Si, en un point quelconque du système de transmission, le niveau de rayonnement peut dépasser celui de la classe 3A, une atténuation ou une coupure instantanées du faisceau sont nécessaires en cas d'ouverture de l'enveloppe de protection (par exemple rupture accidentelle du câble ou de l'épissure, voir 7.2 de la CEI 825).

Pour détecter des interruptions dans les liaisons à fibres optiques, on peut utiliser un dispositif qui envoie des signaux en retour à l'émetteur. Celui-ci est coupé quand le dispositif de surveillance lance un signal d'alarme.

3.3 Mesures et essais

Lors de mesures ou d'essais de composants à fibres optiques (par exemple fibres, câbles, connecteurs, épissures ou tout autre composant passif):

- a) le niveau de danger à la sortie du dispositif en essai doit être déterminé par des classes (voir articles 8 et 9 de la CEI 825), et
- b) il convient que des précautions appropriées, comme celles indiquées dans les articles 10, 11 et 12 de la CEI 825, soient prises.

3.2.2 *Operating conditions*

During normal operation, the whole transmission system can be considered to be contained in a protective housing. Therefore class 1 of IEC 825 applies. Only the optical sources in the transmission system shall meet the manufacturer's requirements as stated in 3.1 of this report.

3.2.3 *Service conditions or intentional interruption*

If the accessible emission can exceed the limits of class 1, the following requirements and precautions shall be met:

- a) a warning label (see 5.9 of IEC 825) is required at each access panel (e.g. cable closure, mechanical splice, connector or any other passive component);
- b) opening of an access panel should only be done by trained service personnel;
- c) care should be taken when using loupes or microscopes;
- d) if the accessible radiation level exceeds class 3A the connectors used in the fibre optic transmission link must be safety connectors. A safety connector can only be opened by a tool. It closes over disconnected emitting connectors within a time sufficiently short to avoid exposure to radiation levels exceeding class 3A (see 7.2 of IEC 825) and should actuate an audible or visible warning.

3.2.4 *Failure conditions or unintentional interruption*

In this case, untrained people can come into contact with fibre optic equipment and can possibly be exposed to hazardous radiation. If at any point of the transmission system the radiation level can exceed class 3A then instantaneous beam attenuation or beam stop is necessary in the case of opening of the protective housing (e.g. accidental rupture of the cable or of a splice, see 7.2 of IEC 825).

A possible implementation of a device suitable for detection of any fibre optic link interruption is a feedback to the transmitter. The transmitter is switched off when the supervising system sends an alarm signal.

3.3 *Measuring and testing*

When measuring or testing fibre optic components (e.g. fibres, cables, connectors, splices or any other passive components):

- a) the level of hazard at the output of the device under test has to be determined by class (see clauses 8 and 9 of IEC 825), and
- b) appropriate precautions, as listed in clauses 10, 11 and 12 of IEC 825, should be observed.

4 Exemples de classification

Plusieurs exemples de classification de sources de fibres optiques de type continu sont donnés en annexe A, section E de la CEI 825. Les tableaux de 2.1 résument ces exemples.

Cet article contient des exemples de sources de fibres optiques de type pulsé.

4.1 Emetteur à fibres optiques

L'émetteur peut avoir les caractéristiques suivantes: sortie de fibres unimodale, $NA = 0,1$, longueur d'onde 1 550 nm, modulation d'impulsions codées avec 600 MBd, format non-retour-à-zéro, en moyenne nombre égal de uns et de zéros. Les zéros logiques coïncident avec une puissance de niveau 0.

Quelle est la puissance de sortie maximale permise pour la classe 3A?

La plus petite largeur d'impulsion est $\tau = 1,67$ ns.

Les essais selon 2.3.2 a) (puissance moyenne) pendant 1 000 s (base de temps pour 1 550 nm) conduisent à:

$$LEA = 4 \text{ mW et } 1\,000 \text{ Wm}^{-2} \text{ (temps moyen)}$$

En utilisant une distance nulle et un moyennage de l'ouverture de 1 mm comme défini dans le tableau VI de la CEI 825, on est conduit à:

$$LEA = 4 \text{ mW et } 0,8 \text{ mW (temps moyen)}$$

$$LEA_a = 1,6 \text{ mW (puissance de crête dans le train d'impulsions, en utilisant la plus basse des deux valeurs)}$$

Les essais selon 2.3.2 b) (puissance de l'impulsion unique, en utilisant le tableau III de la CEI 825) conduisent à:

$$\begin{aligned} LEA_{\text{unique}} &= 100 \text{ J/m}^2 \\ &= 8 \times 10^{-5} \text{ J (avec un moyennage de l'ouverture de 1 mm)} \\ &= 47,9 \times 10^3 \text{ W (en prenant } \tau = 1,67 \text{ ns)} \end{aligned}$$

Le nombre d'impulsions, N , pendant la base de temps de 1 000 s est:

$$N = 1\,000 \text{ s} / (2 \times 1,67 \text{ ns}) = 300 \times 10^9$$

$$N^{-1/4} = 1,35 \times 10^{-3}$$

$$LEA_b = LEA_{\text{unique}} \times N^{-1/4} = 64,7 \text{ mW (puissance de crête dans le train d'impulsions)}$$

En conséquence, la puissance de crête dans le train d'impulsions peut être de 1,6 mW, qui est la valeur la plus basse des deux en question. Comme dans cet exemple, la puissance de sortie d'un transmetteur de type communication est généralement limitée par les conditions de temps moyen de 2.3.2 a).

4 Classification examples

Several examples for the classification of CW-type fibre optic sources are given in appendix A, section E of IEC 825. The tables in 2.1 summarize these examples.

This clause contains examples of pulsed-type fibre optic sources.

4.1 Fibre optic transmitter

The transmitter may have the following characteristics: single-mode fibre output, NA = 0,1, wavelength 1 550 nm, pulse-code modulation with 600 MBd, non-return-to-zero format, on average equal number of ones and zeros. Logical zeros coincide with a power level of 0.

What is the maximum allowed output power for class 3A?

The shortest pulse width is $\tau = 1,67$ ns.

Testing with 2.3.2 a) (average power) during 1 000 s (time base for 1 550 nm) yields:

$$AEL = 4 \text{ mW and } 1\,000 \text{ Wm}^{-2} \text{ (time-average)}$$

Using a distance of zero and averaging over the limiting aperture of 1 mm, as defined in table VI of IEC 825, yields:

$$AEL = 4 \text{ mW and } 0,8 \text{ mW (time-average)}$$

$$AEL_a = 1,6 \text{ mW (peak power in the pulse train, using the lower of both values)}$$

Testing with 2.3.2 b) (single-pulse power, using table III of IEC 825) yields:

$$\begin{aligned} AEL_{\text{single}} &= 100 \text{ J/m}^2 \\ &= 8 \times 10^{-5} \text{ J (when averaged over the aperture of 1 mm)} \\ &= 47,9 \times 10^3 \text{ W (using } \tau = 1,67 \text{ ns)} \end{aligned}$$

The number of pulses, N , during the time base of 1 000 s is:

$$N = 1\,000 \text{ s} / (2 \times 1,67 \text{ ns}) = 300 \times 10^9$$

$$N^{-1/4} = 1,35 \times 10^{-3}$$

$$AEL_b = AEL_{\text{single}} \times N^{-1/4} = 64,7 \text{ mW (peak power in pulse train)}$$

Accordingly, the peak power in the pulse train can be 1,6 mW, which is the lower value of the two in question. As in this example, the output power of a communication-type transmitter is usually limited by the time-average condition of 2.3.2 a).

Ce niveau de puissance peut être augmenté par l'élimination de l'accès direct à l'extrémité de la fibre, c'est-à-dire par une distance mécanique. L'éclairement énergétique maximal est déterminé au tableau III de la CEI 825:

$$LEA = 1\,000 \text{ W/m}^2 \text{ (temps moyen d'éclairement énergétique)}$$

En utilisant la formule de mode unique a) en 2.2, une ouverture numérique $NA = 0,1$ et une distance $d = 16,9 \text{ mm}$ (choisie arbitrairement) conduisent à l'augmentation suivante du niveau de puissance permise:

$$LEA_{\text{moy}} = 3,0 \text{ mW} \text{ ou } LEA_{\text{crête}} = 6,0 \text{ mW}$$

4.2 Réflectomètre optique dans le domaine temporel

La rétrodiffusion peut avoir les caractéristiques suivantes: sortie de fibre à gradient d'indice, $NA = 0,2$, longueur d'onde 850 nm , largeur d'impulsion $\tau = 0,1 \text{ }\mu\text{s}$, fréquence de répétition des impulsions $f = 1 \text{ kHz}$ (période = 1 ms). Quelle est la puissance maximale permise de l'impulsion pour la classe 3A?

Les essais selon 2.3.2 a) (puissance moyenne) pendant 100 s (base de temps pour 850 nm) conduisent à:

$$m = 0,1 \text{ }\mu\text{s} / 1 \text{ ms} = 10^{-4} \text{ (cycle de travail dans le train d'impulsions)}$$

$$LEA_a) = 2,22 \text{ mW (puissance moyenne dans le train d'impulsions)}$$

$$LEA_a) = 2,22 \text{ mW} / m = 22,2 \text{ W (puissance de crête dans le train d'impulsions)}$$

Les essais selon 2.3.2 b) (puissance de l'impulsion unique, en utilisant le tableau III de la CEI 825) conduisent à:

$$\begin{aligned} LEA_{\text{unique}} &= 10^{-6} C_4 J \\ &= 20 \text{ W (en utilisant une largeur d'impulsion de } 0,1 \text{ }\mu\text{s)} \end{aligned}$$

Le nombre d'impulsions, N , pendant la base de temps de $1\,000 \text{ s}$ est:

$$N = 100 \text{ s} / 1 \text{ ms} = 10^5 \text{ (base de temps divisée par la période de l'impulsion)}$$

$$N^{-1/4} = 56,2 \times 10^{-3}$$

$$LEA_b) = LEA_{\text{unique}} \times N^{-1/4} = 1,12 \text{ W (puissance de crête dans le train d'impulsions)}$$

En conséquence, la puissance dans le train d'impulsions est définie par le critère d'impulsion unique: la puissance de crête permise est $1,12 \text{ W}$, qui est la valeur la plus basse des deux en question.