

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

IEC 60825-1 Edition 3.0 2014-05

SAFETY OF LASER PRODUCTS –

Part 1: Equipment classification and requirements

INTERPRETATION SHEET 1

This interpretation sheet has been prepared by IEC technical committee 76: Optical radiation safety and laser equipment.

The text of this interpretation sheet is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
76/587/FDIS	76/593/RVD

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

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

Subclause 4.3 Classification rules

This subclause is clarified by the following:

Introduction

For some complex extended sources or irregular temporal emissions, the application of the rules of subclause 4.3 may require clarification because of changes from IEC 60825-1:2007.

NOTE 1 For the purpose of this interpretation sheet, the abbreviation “AE” is used for “accessible emission”.

NOTE 2 The clarifications also apply in an equivalent way to MPE analysis, i.e. for Annex A.

1 Subclause 4.3 b) Radiation of multiple wavelengths

See IEC 60825-1:2014/ISH2.

2 Subclause 4.3 c) Radiation from extended sources

When using the default (simplified) evaluation method (subclause 5.4.2) for wavelengths ≥ 400 nm and $< 1\,400$ nm, the angle of acceptance may be limited to 100 mrad for determining the accessible emission to be compared against the accessible emission limit, except in the wavelength range 400 nm to 600 nm for durations longer than 100 s where the circular-cone angle of acceptance is not limited. When evaluating the emissions for comparison to the Class 3B AELs, the angle of acceptance is not limited.

3 Subclause 4.3 d) Non-uniform, non-circular or multiple apparent sources

In subclause 4.3 d), for comparison with the thermal retinal limits, the requirement to vary the angle of acceptance in each dimension might appear to contradict the labelling in Figure 1 and Figure 2 of subclause 5.4.3 where the field stop is labelled as circular.

Interpretation

A circular field stop is applicable for circularly symmetric images of the apparent source and for this case is consistent with the procedure given in subclause 4.3 d). For images of the apparent source that are not circularly symmetric, the simple example below clarifies the application of subclause 4.3 d).

A circular field stop with an angular subtense equal to $\alpha_{\max}$ is, however, applicable for non-circularly symmetric profiles if the analysis performed according to subclause 4.3 d), following variation of the angle of acceptance in each dimension, results in a solution which is equal to $\alpha_{\max}$ in both dimensions.

As a general principle, for whatever emission duration t the AEL is determined (such as the pulse duration, the pulse group duration or the time base for averaging of the power), the same emission duration t is also used to calculate $\alpha_{\max}(t)$.

The following example demonstrates the method described in subclause 4.3 d) to analyse irregular or complex images of a source. It is noted that the example is equivalent to the second part of the example ("Additional Remarks"; 6 mrad spacing instead of 3 mrad) B.9.1 of IEC TR 60825-14:2004 (however, for 6 mrad element spacing, the result in terms of which grouping is critical was not correct). The source is a diode array (Figure 1). The task is to determine the applicable AEL that limits the AE for Class 2. Each diode contributes a partial accessible emission AE of 1 mW that passes through a 7 mm aperture stop at the distance where the analysis is performed (i.e. a total power of 20 mW passes through the aperture stop), and the emission is continuous wave. The analysis requires determination of the most restrictive (maximum) ratio of AE over AEL by variation of the angle of acceptance in position and size to achieve different fields of view.

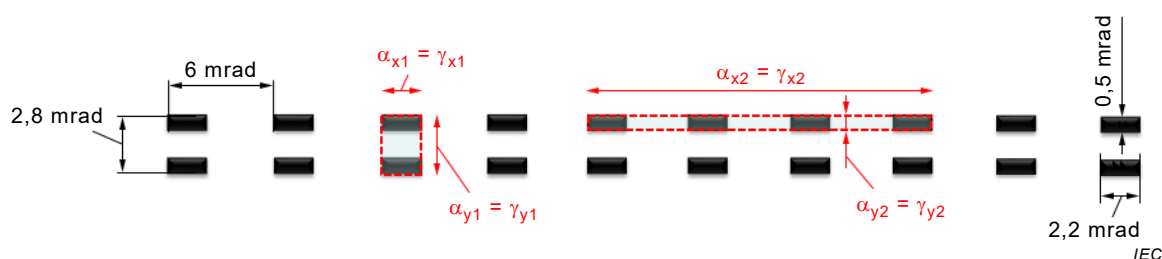


Figure 1 – Image of a source pattern for the example of 20 emitters. Two possible groupings are defined by the respective angle of acceptance α_x and γ_y

The analysis of a sub-group of sources is associated with a certain value of α for that group, and a certain accessible emission associated with that sub-group. For instance α of a single element equals $(1,5 \text{ mrad} + 2,2 \text{ mrad})/2 = 1,85 \text{ mrad}$ so that the AEL = 1,23 mW. The applicable AE = 1 mW and $\text{AE/AEL} = 1 \text{ mW}/1,23 \text{ mW} = 0,8$. For a vertical two-element group, as shown in the figure with γ_{x1} and γ_{y1} , $\alpha = (2,8 + 2,2)/2 = 2,5 \text{ mrad}$ so that AEL = 1,66 mW; AE = $2 \times 1 \text{ mW} = 2 \text{ mW}$ and $\text{AE/AEL} = 1,2$, which is more restrictive than AE/AEL for only one element. For one row of 10 diodes $\alpha = (1,5 + 56,2)/2 = 28,9 \text{ mrad}$, AEL = 19,2 mW, the AE = $10 \times 1 \text{ mW} = 10 \text{ mW}$ and $\text{AE/AEL} = 0,5$. Analysis of all possible groupings shows that the vertical two-element group has the maximum AE/AEL and therefore is the solution of the analysis. This means that the AEL of Class 2 is exceeded by a factor 1,2. Note that only a portion of the power of 20 mW that passes through the 7 mm aperture stop is considered as the AE (2 mW; as partial power within the angle of acceptance that is associated to the part of the image with the maximum ratio of AE/AEL) that is compared against the AEL. The entire array represents the highest ratio of AE/AEL in cases where the element spacing is sufficiently close, e.g. when the contributions of extra elements to the AE are not dominated by the increased AEL due to the larger subtended angle.

For pulsed emission, for the determination of α according to the above method (4.3 d)) where the ratio of AE to AEL is maximized, requirement 3) of 4.3 f) is not applied, i.e. the AEL_{single} is not reduced by C_5 . Due to the dependence of α_{max} on emission duration t , the analysis of the image of the apparent source may result in different values of α and of the partial accessible emission, depending which emission duration is analysed for the requirements of 4.3 f). For example, for emission durations shorter than 625 μs ($\alpha_{\text{max}} = 5 \text{ mrad}$), the maximum partial array to consider in the image analysis is a vertical two element group.

Ref.: Classification of extended source products according to IEC 60825-1, K. Schulmeister, ILSC 2015 Proceedings Paper, p 271 – 280; *Download:*
<https://www.filesanywhere.com/fs/v.aspx?v=8b70698a595e75bcaa69>

4 Subclause 4.3 f) 3) determination of α

For an analysis of pulsed emission, α_{max} , which is a function of time $\alpha_{\text{max}}(t)$, limits both the value of α for the determination of $C_6(\alpha)$ as well as the angle of acceptance γ for the determination of the accessible emission (see 4.3 c) and d)) and Clause 3 of this interpretation sheet; in this process, $\alpha_{\text{max}}(t)$ is determined for the same emission duration t that is used to determine AEL(t) (i.e. the pulse duration or the pulse group duration for 4.3 f) 3) and the averaging duration for 4.3 f) 2), respectively). However, the parameter α is also used in subclause 4.3 f) 3) in the criteria which C_5 is applied. For these criteria, the parameter α is not limited in the same way as for the determination of C_6 according to 4.3 d).

For the criterion “Unless $\alpha > 100 \text{ mrad}$ ”, the angular subtense of the apparent source α is not restricted by α_{max} . For non-uniform (oblong, rectangular, or linear) sources, the inequality needs to be satisfied by both angular dimensions of the source in order for $C_5 = 1$ to apply.

To calculate $T_2(\alpha)$ and in the criteria “ $\alpha \leq 5 \text{ mrad}$ ”, “ $5 \text{ mrad} < \alpha \leq \alpha_{\max}$ ”, and “ $\alpha > \alpha_{\max}$ ”, the quantity α is limited to a maximum value of 100 mrad, equivalent to $\alpha_{\max}$ that applies for 0,25 s emission duration and longer. For T_2 and these inequalities, α is not limited to a value of $\alpha_{\max}(t)$ smaller than 100 mrad, and is therefore the same as the value that applies for the determination of C_6 for an emission duration of 0,25 s and longer. As is generally defined (see subclause 4.3 d)) the arithmetic mean is applied to determine α , i.e. it is not necessary that both dimensions satisfy the criterion “For $\alpha \leq 5 \text{ mrad}$ ” independently.

For the determination of the applicable value of C_5 in 4.3. f) 3) in an analysis of moving apparent sources (originating from scanned emission when not accommodating to the pivot point or vertex) the value of α in the respective inequalities relating to the choice of C_5 in 4.3 f) 3) is determined for the *stationary* apparent source and the respective accommodation condition that is analysed (such as accommodation to infinity).

5 Subclause 4.3 f) 3) groups of pulses with group duration longer than T_i

For non-uniform repetitive pulse patterns, i.e. groups of pulses (see Figure 2 for an example), when $\alpha > 5 \text{ mrad}$ and the duration of the group of pulses is longer than T_i , it is not clearly stated how the thermal additivity expressed by requirement 3) of 4.3 f) is applied. For *uniform* (i.e. constant peak power, duration and period) repetitive pulse trains, it is not necessary to analyse the emission patterns in terms of groupings of pulses.

When individual pulses are close together, they are thermally grouped and thermally represent one “effective” pulse so that C_5 also (additionally to analysing the pulse train based on the actual pulses and the average power) applies to these “effective” pulses, where N is the number of pulse groups within T_2 or within the time base, whichever is shorter.

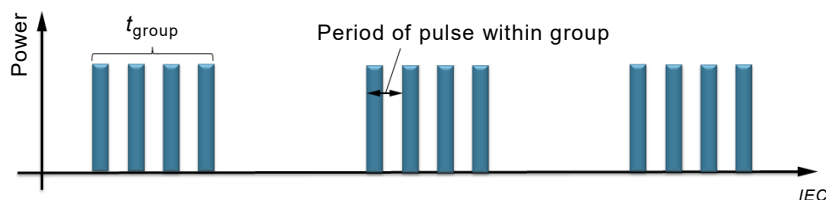


Figure 2 – Example of three groups of pulses (each group duration is longer than T_i) where each group is considered as one “effective” pulse and C_5 is applied to the AEL that applies to the group duration, where C_5 is determined with the number of pulse groups within the evaluation duration (in the example of the figure $N = 3$)

For the analysis of pulse groups, the value of AEL_{single} is determined for the corresponding pulse group duration t_{group} . For the determination of C_5 , N is the number of pulse groups within T_2 or the time base, whichever is smaller. The respective value of C_5 is applied to AEL_{single} to obtain $AEL_{\text{s.p.train}}$ that limits the AE of the pulse groups, where AE is the sum of the energy of the pulses contained within the pulse group.

For the application of C_5 to groups of pulses, the $AEL(t_{\text{group}})$ applicable to the group needs to be determined, as well as the energy per group (AE_{group}). For groups of pulses where the peak power of the pulses within the group varies, the group duration is not well defined. In order to simplify the evaluation, t_{group} can be set equal to the integration duration for which the energy per group (i.e. AE_{group}) was determined; it is not necessary to determine the group duration based on the FWHM criterion, which for groups of pulses with varying peak power is not well defined. By setting t_{group} equal to the integration duration that is used to determine AE_{group} (expressed as energy), the application of C_5 to groups of pulses is a simple extension of requirement 2) of 4.3 f) where the average power per group (equal to the energy within the averaging duration t_{average} divided by the averaging duration) needs to be below the $AEL(t_{\text{average}})$ determined for the duration over which the power was averaged (AE_{group} and $AEL(t_{\text{group}})$ expressed as power). As is common for the average power requirement, for irregular pulse trains, the averaging duration window (when expressed as energy: the

integration duration window) has to be varied in temporal position and duration (for instance, if there are pulses with relatively low energy per pulse at the beginning or the end of the group of pulses, integration durations that exclude those low-energy pulses need to be considered also, not only the total group).

If individual pulses have sufficient temporal spacing (period larger than T_{crit} , see below), as a simplified analysis, they need not be considered for an analysis as a pulse group under 4.3 f) 3). The temporal spacing that is necessary for pulses to only be considered separate (and not analysed additionally as a group) depends on the angular subtense of the apparent source and the duration of the pulses t_{pulse} within the group. Note that there can be several levels of grouping, so that individual elements (with pulse duration t) within the group could themselves be “effective pulses”, i.e. subgroups.

When the

- pulse group (t_{group}) durations are between T_i and 0,25 s, and
- the angular subtense of the apparent source is larger than 5 mrad, and
- the period of the pulses (see Figure 2) is shorter than a critical period T_{crit} (if $t_{pulse} < T_i$, the value of t_{pulse} is set equal to T_i ; further, for the determination of T_{crit} , α_{max} is determined for t_{pulse} , not the group duration) where:

for $\alpha \leq \alpha_{max}$: $T_{crit} = 2 \cdot t_{pulse}$ where t_{pulse} is in seconds

for $\alpha > \alpha_{max}$: $T_{crit} = 0,01 \alpha t_{pulse}^{0,5}$ where t_{pulse} is in seconds, and α is in mrad, not being limited to α_{max} ,

then these pulses constitute a pulse group which is treated as effective pulses and C_5 (where N is the number of groups within the time base or T_2 , whichever is shorter) is applied to the AEL applicable to the pulse group. For the determination of AE, α_{max} is determined using the duration of the evaluated pulse group, t_{group} . If above conditions are not fulfilled, then the pulses within the group of pulses that is considered to be analysed as “effective pulse” need not be grouped, i.e. the group of pulses does not need to be analysed as one “effective” pulse.

Note that if multiple pulses occur within T_i , the rule as stated in 4.3 f) 3) applies in parallel, i.e. they are counted as a single pulse to determine N and the energies of the individual pulses that occur within T_i are added to be compared to the $AEL_{s.p.train}$ of T_i where the corresponding C_5 for emission durations $t \leq T_i$ is applied.

6 Subclause 4.3 f) simplifications

a) Constant peak power but shorter pulses

Depending on the angular subtense of the apparent source, it can be the case that the value of C_5 is more restrictive for pulses with pulse durations less than T_i than for pulses with durations longer than T_i which is against general biophysical principles for cases where the peak power is the same.

Interpretation

For the case of varying pulse duration within a pulse train, if the accessible emission for pulses longer than T_i is below the applicable AEL, then it can be assumed for the analysis that pulses with durations less than T_i but with the same (or lower) peak power as the longer pulses, are less critical. The rationale for this interpretation follows the principle that when pulses have the same peak power, the shorter pulse cannot be more restrictive than the longer one.

NOTE This interpretation can also be used to smooth the step function at T_i for the classification of products, i.e. the classification of a product may be based on the assumption of pulse durations longer than T_i even if they are shorter than T_i provided that the longer pulses satisfy the applicable AEL and the shorter pulses have the same or lower peak power compared to the longer pulses.

b) Larger image of apparent source

For emission durations exceeding T_i , due to the step-function of C_5 at 5 mrad and at $\alpha_{\max}$, the AEL (as a function of C_5 and C_6) can be more restrictive for larger values of the angular subtense of the apparent source as compared to smaller ones, which is contrary to general biophysical principles.

Interpretation

When the class of a laser product is determined with the extended analysis (subclause 5.4.3) and the apparent source is larger than 5 mrad, the classification may be based on a value of the angular subtense of the apparent source less than 5 mrad (resulting in a smaller C_6 but also larger C_5). That is, when the AE is below the AEL for an assumed smaller apparent source, the resulting class is applicable even though the image of the apparent source is larger than 5 mrad. This also applies in an equivalent way to the step function of C_5 at $\alpha_{\max}$.

c) Using a square aperture stop

In some cases, such as 2D scanned laser beams, the use of a circular aperture stop to determine the accessible emission creates very complex pulse patterns.

Interpretation

Analysis performed with a square aperture stop with 7 mm side length (for determination of accessible emission and pulse duration) can be assumed to be equivalent to, or more restrictive than, a circular aperture stop and is therefore a valid analysis.

d) Applicability of simplified default analysis

For pulse durations longer than T_i , the value of C_5 is smaller (more restrictive) for angular subtense values α larger than 5 mrad compared to $\alpha \leq 5$ mrad. The assumption of $\alpha = 1,5$ mrad is the basis of the simplified (default) evaluation. It is therefore not obvious if the simplified (default) analysis still applies in terms of being a restrictive simplifying analysis even for the case that the angular subtense of the apparent source is actually larger than 5 mrad, where $C_5 < 1$.

Interpretation

It is acceptable to make use of the simplified restrictive assumption of $\alpha = 1,5$ mrad ($C_6 = 1$, $C_5 = 1$) even for the case that the angular subtense of the source is larger than 5 mrad. This means it is not necessary to show that $\alpha < 5$ mrad in order to apply $C_6 = 1$ and $C_5 = 1$ for the simplified (default) analysis, because overall this is a conservative simplification. Note that the simplified default analysis implies that the determination of the accessible emission is not limited by an angle of acceptance equal to $\alpha_{\max}$.

e) Determination of the most restrictive position

For the extended analysis, it is necessary to vary the position in the beam. For each position in the beam, the accommodation is varied and the most restrictive image is determined. For determining the most restrictive image (where the ratio AE/AEL is maximum) at a given position, requirement 3) of 4.3 f) is not applied. Otherwise a blurred (larger) image of the apparent source, resulting from variation of the accommodation, could appear more restrictive, which is contrary to general biophysical principles. Once the most restrictive image (and associated α) is identified for each position in the beam, all three requirements 4.3 f) are applied to determine the most restrictive position (identifying the position with the maximum ratio of AE/AEL).

f) Application of total-on-time-pulse method

For regular pulse trains, as well as for varying pulse durations and/or varying period of pulses (but excluding strongly varying peak powers; see below), the total-on-time pulse (TOTP) method (see also IEC 60825-1:2007, subclause 8.3 f) 3b)) may be used as alternative to requirement 3) of 4.3 f), i.e. as alternative to the application of C_5 to the single pulse AEL, provided that $\alpha_{\max}$ is determined for the TOTP (or using the worst case value of 100 mrad). This is more restrictive than the rules of 4.3 f) because it is equivalent to an unlimited C_5 (C_5 not limited to 0,2 or 0,4), and because the value of $\alpha_{\max}$ is typically larger for the TOTP as compared to the value applicable to the single pulse.

For total-on-time-pulse (TOTP) method the following applies, as reproduced from IEC 60825-1:2007.

The AEL is determined by the duration of the TOTP, which is the sum of all pulse durations within the emission duration or T_2 , whichever is smaller. Pulses with durations less than T_i are assigned pulse durations of T_i . If two or more pulses occur within a duration of T_i these pulse groups are assigned pulse durations of T_i . For comparison with the AEL for the corresponding duration, all individual pulse energies are added.

Note that the TOTP method in IEC 60825-1:2007 (incl. Corrigendum 1) was specified “For varying pulse widths or varying pulse intervals” and did not refer to varying peak powers. For the case of strongly varying peak powers, the TOTP method is not applicable, as adding pulses to the pulse train with small peak powers and low contributing energy-per-pulse values might increase the AEL (by increasing the total-on-time) more than this increases the total energy, and thus would make the emission less critical as compared to an emission based on the pulses with the large peak power only.

g) Varying peak power but constant pulse duration

For varying peak power but constant pulse durations (both less than or larger than T_i), requirement 3) of 4.3 f) can be applied by counting the pulses for the determination of N based on the relative peak power, i.e. N is increased by 1,0 for each pulse with the maximum peak power, and by a value of less than 1,0 for pulses with lower peak power, such as for a pulse with 70 % peak power compared to the maximum peak power in the pulse train, N is increased by 0,7. For this, based on the strong non-linearity of thermally induced injury with temperature, it is justified not to count pulses with peak powers that are more than a factor of 10 below the pulse with the maximum peak power (i.e. less than 10 % of the maximum peak power). Note that the resulting $AEL_{s.p.train}$ is applied to the pulse with the largest AE, i.e. the largest energy per pulse, and that the interpretation in this paragraph applies only for the case of pulse trains with constant pulse durations.

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

IEC 60825-1
Edition 3.0 2014-05

SÉCURITÉ DES APPAREILS À LASER –

Partie 1: Classification des matériels et exigences

FEUILLE D'INTERPRÉTATION 1

Cette feuille d'interprétation a été établie par le comité d'études 76 de l'IEC: Sécurité des rayonnements optiques et matériels laser.

Le texte de cette feuille d'interprétation est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
76/587/FDIS	76/593/RVD

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

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

Paragraphe 4.3 Règles de classification

Le présent paragraphe est clarifié par ce qui suit:

Introduction

Pour certaines sources étendues complexes ou émissions temporelles irrégulières, l'application des règles du paragraphe 4.3 peut exiger d'être clarifiée compte tenu des modifications par rapport à l'IEC 60825-1:2007.

NOTE 1 Pour les besoins de cette feuille d'interprétation, l'abréviation "AE" est utilisée pour "émission accessible" (Accessible Emission).

NOTE 2 Les clarifications s'appliquent également de manière équivalente à l'analyse EMP, c'est-à-dire pour l'Annexe A.

1 Paragraphe 4.3 b) Rayonnement de longueurs d'ondes multiples

Voir l'IEC 60825-1:2014/ISH2.

2 Paragraphe 4.3 c) Rayonnement depuis des sources étendues

Si la méthode d'évaluation par défaut (simplifiée) est utilisée (5.4.2) pour les longueurs d'ondes ≥ 400 nm et $< 1\,400$ nm, l'angle d'admission peut être limité à 100 mrad pour déterminer l'émission accessible à comparer à la limite d'émission accessible, sauf dans la plage de longueurs d'ondes comprise entre 400 nm et 600 nm pendant plus de 100 s, où l'angle d'admission de cône circulaire n'est pas limité. Lors de l'évaluation des émissions pour la comparaison aux LEA de Classe 3B, l'angle d'admission n'est pas limité.

3 Paragraphe 4.3 d) Sources apparentes non uniformes, non circulaires ou multiples

Au paragraphe 4.3 d), afin de comparer avec les limites thermiques pour la rétine, les exigences de variation de l'angle d'admission dans chaque dimension peuvent apparaître contradictoires par rapport aux indications de la Figure 1 et de la Figure 2 de 5.4.3, dans lesquelles le diaphragme de champ est présenté comme circulaire.

Interprétation

Un diaphragme de champ circulaire est applicable pour les images symétriques circulaires de la source apparente, auquel cas il est cohérent avec la procédure indiquée en 4.3 d). Pour les images de la source apparente qui ne sont pas symétriques circulaires, l'exemple simple ci-dessous clarifie l'application indiquée en 4.3 d).

Un diaphragme de champ circulaire présentant un diamètre apparent égal à $\alpha_{\max}$ est toutefois applicable pour les profils symétriques non circulaires si l'analyse réalisée selon 4.3 d), après la variation de l'angle d'admission dans chaque dimension, donne une solution qui est égale à $\alpha_{\max}$ dans les deux dimensions.

En principe général, quelle que soit la durée d'émission t pour laquelle la LEA est déterminée (la durée d'impulsion, la durée de groupe d'impulsions ou la base de temps pour le moyennage de la puissance, par exemple), la même durée d'émission t est également utilisée pour calculer $\alpha_{\max}(t)$.

L'exemple suivant démontre la méthode décrite en 4.3 d) pour analyser les images irrégulières ou complexes d'une source. Il est noté que l'exemple équivaut à la deuxième partie de l'exemple ("Remarques supplémentaires"; espacement de 6 mrad au lieu de 3 mrad) B.9.1 de l'IEC TR 60825-14:2004 (toutefois, pour un espacement d'élément de 6 mrad, le résultat en matière de regroupement critique n'était pas correct). La source est un réseau de diodes (Figure 1). Il s'agit de déterminer la LEA applicable qui limite l'AE pour la Classe 2. Chaque diode contribue à une émission accessible partielle de 1 mW qui traverse un diaphragme de 7 mm à la distance à laquelle l'analyse est réalisée (c'est-à-dire qu'une puissance totale de 20 mW traverse le diaphragme), et l'émission est une onde entretenue. L'analyse exige de déterminer le rapport le plus restrictif (maximal) de l'AE sur la LEA par variation de l'angle d'admission et de la taille afin d'obtenir un champ visuel différent.

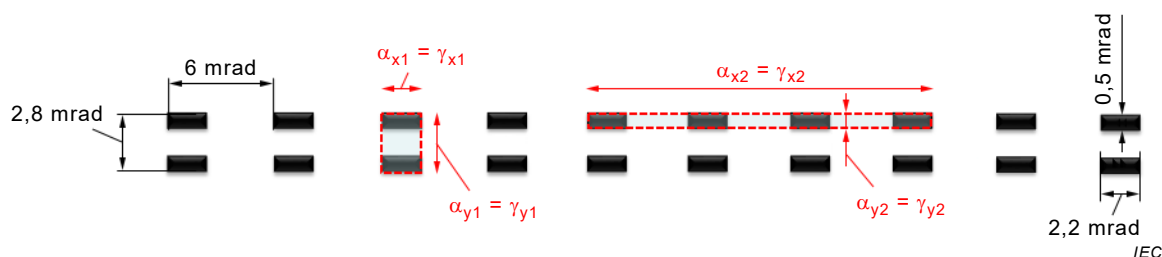


Figure 1 – Image d'un modèle de source pour l'exemple des 20 émetteurs. Deux groupements possibles sont définis en fonction de l'angle d'admission respectif γ_x et γ_y

L'analyse d'un sous-groupe de sources est associée à une certaine valeur de α pour le groupe concerné et une certaine émission accessible associée à ce sous-groupe. Par exemple, α d'un seul élément est égal à $(1,5 \text{ mrad} + 2,2 \text{ mrad})/2 = 1,85 \text{ mrad}$, de sorte que la LEA = 1,23 mW. La LEA applicable = 1 mW, et $AE/LEA = 1 \text{ mW}/1,23 \text{ mW} = 0,8$. Pour un groupe de deux éléments verticaux, comme représenté dans la figure avec γ_{x1} et γ_{y1} , $\alpha = (2,8 + 2,2)/2 = 2,5$ de sorte que la LEA = 1,66 mW; $AE = 2 \times 1 \text{ mW} = 2 \text{ mW}$ et $AE/LEA = 1,2$, ce qui est plus restrictif que AE/LEA pour un seul élément. Pour une rangée de 10 diodes, $\alpha = (1,5 + 56,2)/2 = 28,9 \text{ mrad}$, LEA = 19,2 mW, l'AE = $10 \times 1 \text{ mW} = 10 \text{ mW}$ et $AE/LEA = 0,5$. L'analyse de tous les groupements possibles indique que le groupe de deux éléments verticaux présente l'AE/LEA maximal, et donc qu'il s'agit de la solution de l'analyse. Cela signifie que la LEA de Classe 2 est dépassée selon un facteur 1,2. Noter que seule une partie de la puissance de 20 mW qui traverse le diaphragme de 7 mm est considérée comme l'AE (2 mW, comme puissance partielle dans les limites de l'angle d'admission associé à la partie de l'image présentant le rapport maximal AE/LEA) comparée à la LEA. L'ensemble du réseau représente le rapport AE/LEA le plus élevé lorsque l'espacement d'élément est suffisamment proche, par exemple lorsque les contributions d'éléments supplémentaires à l'AE ne sont pas dominées par une augmentation de LEA en raison de l'angle sous-tendu plus important.

Pour les émissions d'impulsions, pour la détermination de α selon la méthode ci-dessus (4.3 d)), dont le rapport de AE sur LEA est optimisé, l'exigence 3) de 4.3 f) n'est pas appliquée, c'est-à-dire que LEA_{unique} n'est pas réduit de C_5 . Étant donné que α_{max} dépend de la durée d'émission t , l'analyse de l'image de la source apparente peut donner lieu à des valeurs différentes de α et de l'émission accessible partielle, en fonction de la durée d'émission analysée pour les exigences de 4.3 f). Par exemple, pour des durées d'émission inférieures à 625 μs ($\alpha_{max} = 5 \text{ mrad}$), le réseau partiel maximal à prendre en compte dans l'analyse d'image est un groupe de deux éléments verticaux.

Réf.: Classification of extended source products according to IEC 60825-1, K. Schulmeister, ILSC 2015 Proceedings Paper, p 271 – 280; [Télécharger: https://www.filesanywhere.com/fs/v.aspx?v=8b70698a595e75bcaa69](https://www.filesanywhere.com/fs/v.aspx?v=8b70698a595e75bcaa69)

4 Paragraphe 4.3 f) 3) détermination de α

Pour une analyse des émissions d'impulsions, α_{max} , qui est fonction du temps $\alpha_{max}(t)$, limite la valeur de α pour la détermination de $C_6(\alpha)$ et l'angle d'admission γ pour la détermination des émissions accessibles (voir 4.3 c) et d) et l'Article 3 de la présente feuille d'interprétation). Dans ce processus, $\alpha_{max}(t)$ est déterminé pour la même durée d'émission t que celle utilisée pour déterminer $LEA(t)$ (c'est-à-dire la durée d'impulsions ou la durée de groupe d'impulsions de 4.3 f) 3) et la durée moyenne pour 4.3 f) 2), respectivement). Toutefois, le paramètre α est également utilisé en 4.3 f) 3) dans le critère C_5 appliqué. Pour ces critères, le paramètre α n'est pas limité de la même manière que pour la détermination de C_6 selon 4.3 d).

Pour le critère "À moins que $\alpha > 100 \text{ mrad}$ ", le diamètre apparent de la source apparente α n'est pas restreint par α_{max} . Pour les sources non uniformes (oblongues, rectangulaires ou

linéaires), il est nécessaire que l'inégalité soit satisfaite par les deux dimensions angulaires de la source afin que $C_5 = 1$ s'applique.

Pour calculer $T_2(\alpha)$ et le critère " $\alpha \leq 5$ mrad", " $5 \text{ mrad} < \alpha \leq \alpha_{\max}$ " et " $\alpha > \alpha_{\max}$ ", la grandeur α est limitée à une valeur maximale de 100 mrad, équivalent à $\alpha_{\max}$ qui s'applique pendant une durée d'émission d'au moins 0,25 s. Pour T_2 et ces inégalités, α n'est pas limité à une valeur de $\alpha_{\max}(t)$ inférieure à 100 mrad, et est donc égal à la valeur qui s'applique pour la détermination de C_6 pendant une durée d'émission d'au moins 0,25 s. Comme cela est généralement défini (voir 4.3 d)), la moyenne arithmétique est appliquée pour déterminer α , c'est-à-dire qu'il n'est pas nécessaire que les deux dimensions satisfassent au critère "Pour $\alpha \leq 5$ mrad".

Pour la détermination de la valeur applicable de C_5 de 4.3. f) 3) dans le cadre d'une analyse des sources apparentes mobiles (à partir d'une émission à balayage en l'absence d'accommodation au point de pivot ou au sommet), la valeur de α dans les inégalités respectives en fonction du choix de C_5 en 4.3 f) 3) est déterminée pour la source apparente *stationnaire* et la condition de formation respective analysée (comme l'accommodation à l'infini).

5 Paragraphe 4.3 f) 3) groupes d'impulsions avec une durée de groupe supérieure à T_i

Pour les séquences d'impulsions répétitives non uniformes, c'est-à-dire les groupes d'impulsions (voir la Figure 2 pour un exemple), si $\alpha > 5$ mrad et que la durée du groupe d'impulsions est supérieure à T_i , la manière dont est appliquée l'additivité thermique exprimée par l'exigence 3) de 4.3 f) n'est pas clairement établie. Pour les trains d'impulsions répétitives *uniformes* (c'est-à-dire puissance de crête, durée et période constantes), il n'est pas nécessaire d'analyser les modèles d'émissions en matière de groupements d'impulsions.

Si des impulsions individuelles sont proches, elles sont thermiquement groupées et représentent d'un point de vue thermique une impulsion "efficace", de sorte que C_5 (en plus de l'analyse du train d'impulsions en fonction des impulsions réelles et de la puissance moyenne) s'applique également aux impulsions "efficaces", où N est le nombre de groupes d'impulsions dans les limites de T_2 ou de la base de temps, selon la valeur la plus courte.

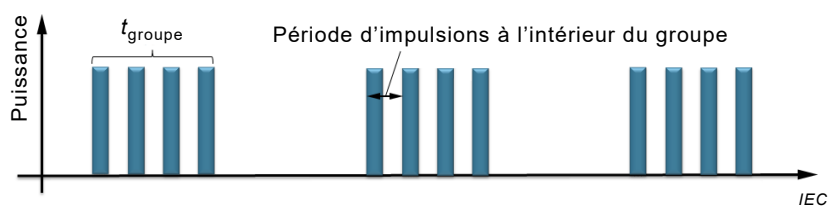


Figure 2 – Exemple de trois groupes d'impulsions (la durée de chaque groupe étant supérieure à T_i), où chaque groupe est considéré comme étant une impulsion "efficace" et C_5 est appliqué à la LEA qui s'applique à la durée de groupe, C_5 étant déterminé avec le nombre de groupes d'impulsions dans les limites de la durée d'évaluation (dans l'exemple de la figure: $N = 3$)

Pour l'analyse des groupes d'impulsions, la valeur de LEA_{unique} est déterminée pour la durée de groupe d'impulsions correspondante t_{groupe} . Pour la détermination de C_5 , N est le nombre de groupes d'impulsions dans les limites de T_2 ou de la base de temps, selon la valeur la plus petite. La valeur respective de C_5 est appliquée à LEA_{unique} pour obtenir $LEA_{\text{i.u.train}}$ qui limite l'AE des groupes d'impulsions, où AE est égale à la somme de l'énergie des impulsions contenues dans le groupe d'impulsions.

Pour l'application de C_5 aux groupes d'impulsions, il est nécessaire de déterminer la $LEA(t_{\text{groupe}})$ applicable au groupe, ainsi que l'énergie par groupe (AE_{groupe}). Pour les groupes

d'impulsions dont la puissance de crête à l'intérieur du groupe varie, la durée de groupe n'est pas bien définie. Pour simplifier l'évaluation, t_{groupe} peut être défini comme égal à la durée d'intégration pour laquelle l'énergie par groupe (c'est-à-dire AE_{groupe}) a été déterminée. Il n'est pas nécessaire de déterminer la durée de groupe selon le critère FWHM, qui n'est pas bien défini pour les groupes d'impulsions dont la puissance de crête varie. En définissant t_{groupe} comme égal à la durée d'intégration utilisée pour déterminer AE_{groupe} (exprimée en énergie), l'application de C_5 aux groupes d'impulsions est une simple extension de l'exigence 2) de 4.3 f), pour laquelle il est nécessaire que la puissance moyenne par groupe (égale à l'énergie dans les limites de la durée moyenne t_{moyenne} divisée par la durée moyenne) soit inférieure à $LEA(t_{\text{moyenne}})$ déterminée pour la durée pendant laquelle la puissance a été moyennée (AE_{groupe} et $LEA(t_{\text{groupe}})$ exprimée en puissance). Comme il est d'usage pour l'exigence de puissance moyenne, pour les trains d'impulsions irrégulières, la fenêtre de durée moyenne (si elle est exprimée en énergie: la fenêtre de durée d'intégration) doit varier en position temporelle et en durée (par exemple, en présence d'impulsions avec relativement peu d'énergie par impulsion au début ou à la fin du groupe d'impulsions, il est nécessaire de tenir compte également des durées d'intégration qui excluent ces impulsions basse énergie, et pas uniquement de l'ensemble du groupe).

Si les impulsions individuelles disposent d'un espacement temporel suffisant (durée plus longue que T_{crit} , voir ci-dessous), et pour simplifier l'analyse, il n'est pas nécessaire de les considérer comme un groupe d'impulsions relevant de 4.3 f) 3) pour une analyse. L'espacement temporel nécessaire pour que les impulsions soient uniquement considérées comme étant séparées (et pas en plus analysées comme un groupe) dépend du diamètre apparent de la source apparente et de la durée des impulsions $t_{\text{impulsion}}$ à l'intérieur du groupe. Noter qu'il peut y avoir plusieurs niveaux de groupement, de sorte que les éléments individuels (de durée d'impulsions t) à l'intérieur du groupe puissent eux-mêmes être des "impulsions efficaces", c'est-à-dire des sous-groupes.

Si les

- durées de groupes d'impulsions (t_{groupe}) sont comprises entre T_i et 0,25 s, et que
- le diamètre apparent de la source apparente est supérieur à 5 mrad, et que
- la durée des impulsions (voir la Figure 2) est plus courte qu'une durée critique T_{crit} (si $t_{\text{impulsion}} < T_i$, la valeur de $t_{\text{impulsion}}$ est définie comme égale à T_i . De plus, pour la détermination de T_{crit} , α_{max} est déterminé pour $t_{\text{impulsion}}$, pas pour la durée de groupe) où:
 - pour $\alpha \leq \alpha_{\text{max}}$: $T_{\text{crit}} = 2 \cdot t_{\text{impulsion}}$ où $t_{\text{impulsion}}$ est exprimé en secondes
 - pour $\alpha > \alpha_{\text{max}}$: $T_{\text{crit}} = 0,01 \cdot \alpha \cdot t_{\text{impulsion}}^{0,5}$ où $t_{\text{impulsion}}$ est exprimé en secondes, et α en mrad, sans se limiter à α_{max} ,

alors, ces impulsions constituent un groupe d'impulsions traitées comme des impulsions efficaces, et C_5 (N étant le nombre de groupes dans les limites de la base de temps ou de T_2 , selon celui qui est le plus court) est appliqué à la LEA applicable au groupe d'impulsions. Pour la détermination de l'AE, α_{max} est déterminé en utilisant la durée du groupe d'impulsions évalué, t_{groupe} . Si les conditions ci-dessus ne sont pas remplies, il n'est pas nécessaire de grouper les impulsions à l'intérieur du groupe d'impulsions prises en compte pour l'analyse comme étant des "impulsions efficaces", c'est-à-dire qu'il n'est pas utile d'analyser le groupe d'impulsions comme étant une impulsion "efficace".

Noter que si plusieurs impulsions se produisent dans les limites de T_i , la règle établie en 4.3 f) 3) s'applique en parallèle, c'est-à-dire qu'elles sont comptées comme une seule impulsion pour déterminer N , les énergies des impulsions individuelles qui se produisent dans les limites de T_i étant ajoutées pour être comparées à la $LEA_{i.u.\text{train}}$ de T_i lorsque le C_5 correspondant pour les durées d'émission $t \leq T_i$ est appliqué.

6 Paragraphe 4.3 f) Simplifications

a) Puissance de crête constante mais impulsions plus courtes

En fonction du diamètre apparent de la source apparente, il peut arriver que la valeur de C_5 soit plus restrictive pour des impulsions de durée inférieure à T_i que pour des impulsions de durée supérieure à T_i , ce qui va à l'encontre des principes biophysiques généraux pour les cas où la puissance de crête est la même.

Interprétation

Si la durée d'impulsion varie dans un train d'impulsions, et si l'émission accessible pour des impulsions plus longues que T_i est inférieure à la LEA applicable, l'analyse peut partir du principe que des impulsions de durées inférieures à T_i , mais avec une puissance de crête identique (ou inférieure) aux impulsions plus longues, sont moins critiques. Cette interprétation s'appuie sur le principe selon lequel, lorsque des impulsions ont la même puissance de crête, l'impulsion la plus courte ne peut pas être plus restrictive que la plus longue.

NOTE Cette interprétation peut également être utilisée pour lisser la fonction échelon à T_i pour la classification des appareils, c'est-à-dire que la classification d'un appareil peut reposer sur l'hypothèse de durées d'impulsions plus longues que T_i , même si elles sont plus courtes que T_i , à condition que les impulsions plus longues satisfassent à la LEA applicable et que les impulsions plus courtes présentent une puissance de crête identique ou inférieure comparées aux impulsions plus longues.

b) Image plus grande de la source apparente

Pour les durées d'émission dépassant T_i , en raison de la fonction échelon de C_5 à 5 mrad et à $\alpha_{\max}$, la LEA (en fonction de C_5 et de C_6) peut être plus restrictive pour des valeurs plus importantes du diamètre apparent de la source apparente comparées à des valeurs plus petites, ce qui va à l'encontre des principes biophysiques généraux.

Interprétation

Si la classe d'un appareil à laser est déterminée dans le cadre de l'analyse étendue (5.4.3) et que la source apparente est supérieure à 5 mrad, la classification peut reposer sur une valeur du diamètre apparent de la source apparente inférieure à 5 mrad (ce qui donne un C_6 plus petit, mais également un C_5 plus grand). En d'autres termes, si l'AE est inférieure à la LEA pour une source apparente censée être plus petite, la classe obtenue s'applique même si l'image de la source apparente est supérieure à 5 mrad. Cela s'applique également de manière équivalente à la fonction échelon de C_5 à $\alpha_{\max}$.

c) Utilisation d'un diaphragme carré

Dans certains cas (des faisceaux laser à balayage 2D, par exemple), l'utilisation d'un diaphragme circulaire pour déterminer les émissions accessibles crée des séquences d'impulsions très complexes.

Interprétation

L'analyse réalisée avec un diaphragme carré de 7 mm de côté (pour la détermination des émissions accessibles et de la durée d'impulsions) peut par hypothèse être équivalente à un diaphragme circulaire ou plus restrictive. Il s'agit donc d'une analyse valide.

d) Applicabilité de l'analyse par défaut simplifiée

Pour des durées d'impulsions plus longues que T_i , la valeur de C_5 est plus petite (plus restrictive) pour des valeurs de diamètre apparent α supérieures à 5 mrad comparées à $\alpha \leq 5$ mrad. L'hypothèse $\alpha = 1,5$ mrad est la base de l'évaluation simplifiée (par défaut). Il ne paraît donc pas évident que l'analyse simplifiée (par défaut) s'applique toujours en matière d'analyse de simplification restrictive, même si le diamètre apparent de la source apparente est réellement supérieur à 5 mrad, où $C_5 < 1$.

Interprétation

Il est acceptable d'utiliser l'hypothèse restrictive simplifiée de $\alpha = 1,5$ mrad ($C_6 = 1$, $C_5 = 1$) même si le diamètre apparent de la source est supérieur à 5 mrad. Cela signifie qu'il n'est pas nécessaire de démontrer que $\alpha < 5$ mrad pour appliquer $C_6 = 1$ et $C_5 = 1$ pour l'analyse simplifiée (par défaut), car globalement, il s'agit d'une simplification

prudente. Noter que l'analyse simplifiée par défaut implique que la détermination des émissions accessibles ne se limite pas à un angle d'admission égal à $\alpha_{\max}$.

e) Détermination de la position la plus restrictive

Pour l'analyse étendue, il est nécessaire de faire varier la position dans le faisceau. Pour chaque position dans le faisceau, l'accommodation est modifiée et l'image la plus restrictive est déterminée. Pour déterminer l'image la plus restrictive (dans laquelle le rapport AE/LEA est maximal) à une position donnée, l'exigence 3) de 4.3 f) ne s'applique pas. Sinon, une image (plus grande) floue de la source apparente, résultant de la variation de l'accommodation, peut apparaître plus restrictive, ce qui va à l'encontre des principes biophysiques généraux. Une fois identifiée l'image la plus restrictive (et α associé) pour chaque position dans le faisceau, les trois exigences 4.3 f) s'appliquent pour déterminer la position la plus restrictive (en identifiant la position avec le rapport maximal AE/LEA).

f) Application de la méthode du temps total d'impulsions

Pour les trains d'impulsions régulières, et pour la variation des durées d'impulsions et/ou de période d'impulsions (mais à l'exclusion des fortes variations de puissance de crête, voir ci-dessous), la méthode du temps total d'impulsions (TOTP - *Total-On-Time Pulse*) (voir également l'IEC 60825-1:2007, 8.3 f) 3b)) peut être utilisée en variante à l'exigence 3) de 4.3 f), c'est-à-dire en variante à l'application de C_5 à la LEA à une impulsion unique, à condition que $\alpha_{\max}$ soit déterminé pour le TOTP (ou à l'aide de la valeur la plus défavorable de 100 mrad). Cela est plus restrictif que les règles de 4.3 f), car cela équivaut à un C_5 illimité (C_5 non limité à 0,2 ou 0,4), et car la valeur de $\alpha_{\max}$ est en général supérieure pour le TOTP comparée à la valeur applicable à l'impulsion unique.

Pour la méthode du temps total d'impulsions (TOTP), ce qui suit s'applique (voir l'IEC 60825-1:2007):

La LEA est déterminée par la durée du TOTP, qui est égale à la somme de toutes les durées d'impulsions dans les limites de la durée d'émission ou de T_2 , selon la valeur la plus petite. Les durées d'impulsions de T_i sont attribuées aux impulsions dont la durée est inférieure à T_i . Si au moins deux impulsions se produisent sur une durée de T_i , les durées d'impulsions de T_i sont attribuées à ces groupes d'impulsions. Pour la comparaison avec la LEA pour la durée correspondante, toutes les énergies d'impulsions individuelles sont ajoutées.

Noter que la méthode TOTP de l'IEC 60825-1:2007 (y compris le Corrigendum 1) a été spécifiée "Pour des largeurs d'impulsion ou des durées d'impulsion variables" et ne faisait pas référence à des puissances de crête variables. Pour le cas de puissances de crête extrêmement variables, la méthode du TOTP ne s'applique pas, l'ajout d'impulsions au train d'impulsions avec de petites puissances de crête et de faibles valeurs d'énergie par impulsion pouvant augmenter la LEA (en augmentant le temps total) plus que l'énergie totale, et rendant donc les émissions moins critiques comparées à celles reposant sur les impulsions avec la grande puissance de crête uniquement.

g) Puissance de crête variable, mais durée d'impulsions constante

Pour une puissance de crête variable, mais des durées d'impulsions constantes (chacune inférieure ou supérieure à T_i), l'exigence 3) de 4.3 f) peut être appliquée en comptant les impulsions pour déterminer N en fonction de la puissance de crête relative, c'est-à-dire que N augmente de 1,0 pour chaque impulsion avec la puissance de crête maximale, et d'une valeur inférieure à 1,0 pour des impulsions à puissance de crête inférieure. Par exemple, pour une impulsion à 70 % de puissance de crête comparée à la puissance de crête maximale dans le train d'impulsions, N augmente de 0,7. Pour ce faire, compte tenu de la forte non-linéarité des blessures thermiques liées à la température, il est justifié de ne pas compter les impulsions dont les puissances de crête sont inférieures d'un facteur de 10 à l'impulsion présentant la puissance de crête maximale (c'est-à-dire inférieures à 10 % de la puissance de crête maximale). Noter que la $LEA_{i,u,train}$ qui en résulte s'applique à l'impulsion présentant l'AE la plus importante, c'est-à-dire l'énergie par impulsion la plus importante, et que l'interprétation indiquée dans le présent alinéa s'applique uniquement aux trains d'impulsions présentant des durées d'impulsions constantes.