

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Industrial electroheating equipment – Test methods for infrared emitters

Chauffage électrique industriel – Méthodes d'essais des émetteurs de rayonnement infrarouge

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62798:2014



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2014 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester. If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigenda or an amendment might have been published.

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

The stand-alone application for consulting the entire bibliographical information on IEC International Standards, Technical Specifications, Technical Reports and other documents. Available for PC, Mac OS, Android Tablets and iPad.

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

The advanced search enables to find IEC publications by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...). It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details all new publications released. Available online and also once a month by email.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 30 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 14 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

More than 55 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

IEC Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: csc@iec.ch.

A propos de l'IEC

La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des Normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications IEC

Le contenu technique des publications IEC est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

Application autonome pour consulter tous les renseignements bibliographiques sur les Normes internationales, Spécifications techniques, Rapports techniques et autres documents de l'IEC. Disponible pour PC, Mac OS, tablettes Android et iPad.

Recherche de publications IEC - www.iec.ch/searchpub

La recherche avancée permet de trouver des publications IEC en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Restez informé sur les nouvelles publications IEC. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et aussi une fois par mois par email.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 30 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 14 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

Plus de 55 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Industrial electroheating equipment – Test methods for infrared emitters

Chauffage électrique industriel – Méthodes d'essais des émetteurs de rayonnement infrarouge

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX



ICS 25.180.10

ISBN 978-2-8322-1837-2

Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.
Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.

CONTENTS

FOREWORD.....	5
INTRODUCTION.....	6
1 Scope and object.....	7
2 Normative references.....	8
3 Terms and definitions	8
3.1 General.....	8
3.2 Radiation	9
4 Classification of infrared emitters	10
5 Type of tests and general conditions of their performance	12
5.1 General – list of tests	12
5.2 Test conditions.....	15
5.2.1 Operating conditions during tests	15
5.2.2 Standard environment for tests.....	15
5.2.3 Non-standard environment for tests	15
5.2.4 Supply voltage	15
5.3 Stationary condition	16
5.4 Number of emitters for tests	16
6 Measurements.....	16
6.1 General.....	16
6.2 Time resolution	16
6.3 Measurement of electric data.....	16
6.4 Temperature measurement.....	17
6.5 Irradiance and radiance measurement.....	17
6.6 Spectral measurements.....	18
6.6.1 General	18
6.6.2 Calculation as a surrogate for measurement	18
6.6.3 Required spectral range	18
6.6.4 Measurement conditions	18
6.6.5 Spectral measurements.....	19
7 Technical tests	19
7.1 General.....	19
7.2 Tests concerning cap and holder of emitter.....	19
7.2.1 General	19
7.2.2 Cap and holder interchangeability	19
7.2.3 Cap twist-off test.....	19
7.3 Power consumption characteristics	19
7.3.1 Rated power	19
7.3.2 Variation of power with voltage.....	19
7.3.3 Inrush current	20
7.3.4 Emitter resistivity as estimate for rated power	20
7.4 Emitter temperature tests	20
7.4.1 Rated temperature	20
7.4.2 Variation of source temperature with voltage	21
7.4.3 Source temperature rise time	21
7.4.4 Source temperature cooling time for quartz tube emitters.....	22

7.4.5	Source temperature cooling time for other emitters	22
7.4.6	Quartz tube cooling time for quartz tube emitters	22
7.4.7	Source temperature distribution	22
7.4.8	Average temperature calculation from a thermal image	23
7.4.9	Surface temperature distribution	23
7.4.10	Distribution temperature	24
7.4.11	Thermal ruggedness	25
7.4.12	Pinching temperature of pinched emitters	25
7.5	Radiation characteristics	25
7.5.1	General	25
7.5.2	Radial irradiation distribution of tubular emitters	26
7.5.3	Reflectivity of a tubular emitter with applied reflector	26
7.5.4	Planar irradiation field caused by an emitter	26
7.5.5	Angular irradiation distribution caused by an emitter	27
7.5.6	Emitted spectrum	27
7.5.7	Rated total radiant power	28
7.5.8	Irradiation reaction time	29
7.6	Mechanical ruggedness	29
7.6.1	Acceleration	29
7.6.2	Vibration	29
7.7	Lifetime of infrared emitters	29
7.7.1	General	29
7.7.2	Criteria defining end of life	30
7.7.3	Lifetime measurement	30
7.7.4	Induced lamp death for emitter with a tungsten coil	31
7.7.5	Induced lamp death for other emitter	31
7.7.6	Lifetime statement	31
8	Emitter efficiency	32
8.1	General	32
8.2	Conversion efficiency	32
8.3	Transfer efficiency	32
8.3.1	General	32
8.3.2	Simple approach	33
8.3.3	Ray-tracing	33
8.4	Irradiation efficiency	33
Annex A	(informative) Thermal infrared radiation	34
A.1	General	34
A.2	Spectral emission	34
A.3	Emissivity	36
A.4	Conservation of étendue	36
Annex B	(informative) Infrared classification not used in this standard	37
Annex C	(normative) Measurement of spectral emission and spectral data of the emitter	38
C.1	General	38
C.2	Comparative method	38
C.3	Measurement of the spectral emissivity	39
Annex D	(informative) Zonal spherical factors	40
Annex E	(informative) Distribution of measurement positions for temperature measurements	42

E.1	Reference operating temperature	42
E.2	Temperature distribution coefficient	42
Annex F (informative)	End of life criteria for infrared emitter	43
Annex G (normative)	Cold state resistivity and rated power	45
G.1	General	45
G.2	Measuring with high accuracy for comparison	45
G.3	Temperature influences on measurement accuracy	45
G.4	Emitter manufacturing effects	46
G.5	Error contributions	46
Bibliography		47
Figure A.1	Spectral emissive power and accumulated power of a grey emitter at 1 800 °C	35
Figure D.1	Illustration of the measurement geometry for zonal spherical factors	41
Table 1	Classification of infrared emitters by spectral emission	11
Table 2	List of tests, their applicability to different classes of infrared emitters and the number of emitters needed for the tests	13
Table A.1	The generalised Wien's displacement law	35
Table B.1	Classification based on terms defined in IEC 60050-841:2004	37
Table D.1	Zonal spherical factors and corresponding angles	40
Table F.1	Instantaneous end-of-life	43
Table F.2	Gradual degradation	44

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62798:2014

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

INDUSTRIAL ELECTROHEATING EQUIPMENT –**Test methods for infrared emitters****FOREWORD**

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 62798 has been prepared by IEC technical committee 27: Industrial electroheating and electromagnetic processing.

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

CDV	Report on voting
27/938/CDV	27/942/RVC

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

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

The contents of the corrigendum of November 2014 have been included in this copy.

INTRODUCTION

This standard on particular test methods for infrared electroheating emitters is one of TC 27 standards that describe test methods for various types of electroheating installations.

This standard is solely concerned with tests for infrared emitters. Tests that focus on the performance of infrared equipment or installations are covered by IEC 62693, *Industrial electroheating installations – Test methods for infrared electroheating installations*. The rationale for this separation is that infrared installations are usually manufactured by other companies than infrared emitters. Still, infrared emitters are a very important and distinct part of infrared installations and a set of tests that allow for proper characterisation, comparison of different infrared emitters is valuable to manufacturers of infrared installations.

The major guiding principle for this standard is to determine

- simple tests that define the basic characteristics of all infrared emitters and can be performed with the usual test and measuring equipment available to different kinds of companies, large or small;
- more complex tests that provide valuable extra information, but need a well-equipped laboratory.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62798:2014

INDUSTRIAL ELECTROHEATING EQUIPMENT –

Test methods for infrared emitters

1 Scope and object

This International Standard specifies test procedures, conditions and methods according to which the main parameters and the main operational characteristics of industrial infrared emitters are established.

A limitation of the scope of this standard is that the infrared emitters have a maximum spectral emission at longer wavelengths than 780 nm in air or vacuum, and are emitting wideband continuous spectra such as by thermal radiation or high pressure arcs.

IEC 60519-1:2010 [1]¹ defines infrared as optical radiation within the frequency range between about 400 THz and 300 GHz. This corresponds to the wavelength range between 780 nm and 1 mm in vacuum. Industrial infrared heating usually uses infrared sources with rated temperatures between 500 °C and 3 000 °C; the emitted radiation from these sources dominates in the wavelength range between 780 nm and 10 µm.

Industrial infrared emitters under the scope of this standard typically use the Joule effect for the conversion of electric energy in one or several sources into infrared radiation, which is emitted from one or several elements. Such infrared emitters are especially

- thermal infrared emitters in the form of tubular, plate-like or otherwise shaped ceramics with a resistive element inside;
- infrared quartz glass tube or halogen lamp emitters with a hot filament as a source;
- non-insulated elements made from molybdenum-disilicide, silicon-carbide, iron-chromium-aluminium alloys or comparable materials;
- wide-spectrum arc lamps.

This standard is not applicable to

- infrared emitters which are lasers or light-emitting diodes (LEDs);
- infrared emitters for use by the general public;
- infrared emitters for laboratory use.

Most of the tests described, especially the destructive tests, are for type testing.

The tests specified in this standard are intended to be used for evaluating or comparing the performance of emitters belonging to the same category.

Tests related to performance of industrial infrared electroheating installations are specified in IEC 62693:2013.

Most tests specified in this standard are applicable to wide-spectrum arc lamps, but not all.

¹ Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

2 Normative references

The following documents, in whole or in part, are normatively referenced in this document and are indispensable for its application. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60061-1, *Lamp caps and holders together with gauges for the control of interchangeability and safety – Part 1: Lamp caps*

IEC 60061-2, *Lamp caps and holders together with gauges for the control of interchangeability and safety – Part 2: Lampholders*

IEC 60061-3, *Lamp caps and holders together with gauges for the control of interchangeability and safety – Part 3: Gauges*

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

IEC 60068-2-7, *Basic environmental testing procedures – Part 2-7: Tests – Test Ga and guidance: Acceleration, steady state*

IEC 60432-1:1999, *Incandescent lamps – Safety specifications – Part 1: Tungsten filament lamps for domestic and similar general lighting purposes*

IEC 60432-1:1999/AMD1:2005

IEC 60432-1:1999/AMD2:2011

IEC 60519-12, *Safety in electroheating installations – Part 12: Particular requirements for infrared electroheating installations*

IEC 60682:1980, *Standard method of measuring the pinch temperature of quartz-tungsten-halogen lamps*

IEC 60682:1980/AMD1:1987

IEC 60682:1980/AMD2:1997

IEC 62693:2013, *Industrial electroheating installations – Test methods for infrared electroheating installations*

EN 993-11, *Methods of test for dense shaped refractory products – Part 11: Determination of resistance to thermal shock*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 60519-12, IEC 62693 as well as the following apply.

NOTE General definitions are given in the International Electrotechnical Vocabulary, IEC 60050 [2]. Terms relating to industrial electroheating are defined in IEC 60050-841.

3.1 General

3.1.1

infrared radiation

optical radiation for which the wavelengths are longer than those for visible radiation

Note 1 to entry: The infrared radiation range between 780 nm and 1 mm is commonly subdivided into:

IR-A 780 nm to 1 400 nm, or for a grey emitter 3 450 °C to 1 800 °C surface temperature;

IR-B 1 400 nm to 3 000 nm, or for a grey emitter 1 800 °C to 690 °C surface temperature;

IR-C 3 000 nm to 1 mm, or for a grey emitter less than 690 °C surface temperature.

The temperature corresponds to a spectrum where maximum intensity is at the wavelength of the limit.

These ranges comply with IEC 62471:2006 [3].

Note 2 to entry: In IEC 60050-841:2004 the following terms are defined:

841-24-04 – shortwave infrared radiation or near infrared radiation (780 nm to 2 µm);

841-24-03 – mediumwave infrared radiation or medium infrared radiation (2 µm to 4 µm);

841-24-02 – longwave infrared radiation or far infrared radiation (4 µm to 1 mm).

These terms are not used in this standard.

[SOURCE: IEC 60519-12:2013, 3.101]

3.1.2

emitter category

group of emitters using the same principle for applying thermal energy to the workload

3.1.3

inrush current

short term high lamp current occurring during the transient period from the moment of applying voltage to a cold emitter to steady state

3.1.4

average electrical lifetime

net operating time of infrared emitters at rated voltage under intended conditions when 50 % of all emitters are still operating

3.2 Radiation

3.2.1

radiant power

radiant flux

power emitted, transmitted or received in the form of radiation

3.2.2

irradiance

irradiation

quotient of the radiant power incident on a surface element containing the point, by the area of that element

3.2.3

radiance

quantity L defined by the formula
$$L = \frac{d\Phi}{dA \cdot \cos \theta \cdot d\Omega}$$

where

$d\Phi$ is the radiant power or flux transmitted by an elementary beam passing through the given point and propagating in the solid angle containing the given direction;

$d\Omega$ is the solid angle;

dA is the area of a section of that beam containing the given point;

$\cos \theta$ is the angle between the normal to that section and the direction of the beam.

3.2.4

radiant exitance, <of a body>

quotient of the radiant flux emitted by a body into the hemispherical space (2π sr) by the surface unit area of that body

Note 1 to entry: The body can be an infrared emitter or a source of an infrared emitter.

3.2.5

spectral distribution

spectrum

quotient of a radiant quantity $dX(\lambda)$ contained in an elementary range $d\lambda$ of wavelength at the wavelength λ by that range

Note 1 to entry: The term spectral distribution is preferred when dealing with the function $X\lambda(\lambda)$ over a wide range of wavelengths, not at a particular wavelength.

3.2.6

spectral radiance

ratio of the radiant power $d\Phi(\lambda)$ passing through a point and propagating within the solid angle $d\Omega$ in the given direction, to the product of the wavelength interval $d\lambda$ and the area of a section of that beam on a plane perpendicular to this direction ($\cos\theta \cdot dA$) containing the given point and to the solid angle $d\Omega$

3.2.7

spectral radiant exitance

quotient of the radiant flux emitted by a body into the hemispherical space (2π sr) by the surface unit area of that body and by the unit wavelength interval

3.2.8

radial irradiation distribution

irradiation caused by any emitter of axial symmetry on a circumference around the axis of symmetry of the emitter on a plane perpendicular to that axis and centred at mid-length of the emitter

Note 1 to entry: Axial symmetry does not imply round.

3.2.9

rated total radiant power

radiant power emitted by the emitter at rated voltage

4 Classification of infrared emitters

The most common industrial infrared emitters under the scope of this standard emit broadband thermal spectra. Annex A provides basic definitions and concepts of thermal infrared radiation. Thermal emitters usually have a clear correlation between the maximum of the spectral radiant power and the temperature of the source of the emitter, called Wien's law; in this case the rated temperature indicates the spectrum of the emitter. Arc lamps generate a non-thermal spectrum.

The most relevant design element of infrared emitters influencing the spatial irradiation pattern is the size and dimension of the surface of the source emitting the radiation. As industrial infrared emitters are usually used in close vicinity of the workload, there are

- very small sources which act like point sources – for example small light bulbs or arc lamps with a very short arc; infrared laser and LED are point sources as well, but are outside the scope of this standard;
- near ideal line sources – for example halogen emitter, tungsten coil emitter, arc or flash lamps; their source may be bent;
- tubular or line sources with a large diameter – for example ceramic tube emitters, heating rods made from materials like graphite or silicon carbide;
- planar or two-dimensional sources – for example ceramic tile type emitters.

Radiation sources can be divided into point like sources and extended sources depending on the size of the source and observation distance. If the distance between the radiation source

of the emitter and the observation point is greater than 10 to 50 times the maximum dimension of the radiation source, this source can be approximated as a point source. In most industrial installations the infrared emitters are in close vicinity to the workload and are thus extended sources. The approximate value of 10 to 50 depends on the problem and the intended accuracy of a measurement.

NOTE 1 When the observing distance is greater than 10 times the maximum dimension of the radiation source, the resulting error for calculating the irradiance is less than 1 %.

Commonly available industrial infrared emitters classified according to their spectral emission and rated temperatures are listed in Table 1.

NOTE 2 In industry a different classification than the one used in this standard and given in 3.1.1 is also known, it is provided for information in Annex B.

Table 1 – Classification of infrared emitters by spectral emission

Spectral band where maximum of emission occurs	Rated temperature of thermal emitter	Category	Comments
IR-A 780 nm to 1 400 nm	1 800 °C to 3 450 °C	– halogen emitter – tungsten quartz tube emitter – high power laser diodes¹ – light emitting diode¹ – arc lamp¹	Other names for this spectral range used in industry are: near infrared, NIR, short-wave ² .
IR-B 1 400 nm to 3 000 nm	690 °C to 1 800 °C	– halogen emitter – tungsten quartz tube emitter – ceramic emitter – heating wire made from nickel-chromium alloys – nichrome – heating wire made from alloys of nickel-chromium, or iron-chromium-aluminium – quartz tube emitter with heating wire coil (Cr, Al, Fe) – quartz tube emitter with carbon filament – quartz tube emitter with tungsten coil – silicon carbide heating rod – graphite heating rod – molybdenum disilicide heating element – high temperature metal tube element – high temperature ceramic element	Other name for this spectral range used in industry is "medium-wave" ² .
IR-C 3 000 nm to 1 mm	< 690 °C	– metal tube element – ceramic emitter element	Not in the scope of this standard, if convection dominates.
¹ included for reference only; rated temperature is not applicable			
² short wave and medium wave can denote differing spectral ranges, see Annex B			

5 Type of tests and general conditions of their performance

5.1 General – list of tests

Table 2 summarises the tests covered by this standard and their applicability to different categories of infrared emitters. It also includes references to other standards with applicable tests. Additional tests may be covered by commissioning and operation manuals issued by the manufacturer or may be agreed on between the manufacturer and user.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62798:2014

Table 2 – List of tests, their applicability to different classes of infrared emitters and the number of emitters needed for the tests

Test	Subclause	Emitter category			Manufacturing ¹		
		Open heating element	Ceramic heating element	Infrared quartz	Halogen quartz	Standard, mass produced	Made to order
emitter geometry	-	test is defined between the manufacturer and user					
interchangeability of cap and holder, standard	7.2.1	not applicable	If cap and holder combinations from Parts 1, 2 and 3 of the IEC 60061 series are used, IEC 60061-3 is applicable.				
interchangeability of cap and holder, other	7.2.2	as agreed on between the manufacturer and user					
cap twist-off test	7.2.3	not applicable	IEC 60432-1 is applicable for caps covered by that standard				
rated power	7.3.1	applicable			1/100	1/100 or 1/batch	
power variation with voltage	7.3.2						
inrush current	7.3.3	usually not necessary	usually applicable ¹	applicable ²	1/type	1/type	
emitter resistivity as estimate for rated power	7.3.4	may be applicable		not applicable			
rated temperature	7.4.1	applicable			IEC 60432-1 applies	1/batch	
variation of source temperature with voltage	7.4.2						
source temperature rise time	7.4.3						
cooling time	7.4.4, 7.4.5, 7.4.6	source cooling = surface cooling in 7.4.5		source cooling in 7.4.4 surface cooling time in 7.4.6	1/type after change in production	1/type	
temperature homogeneity	7.4.8	applicable					
surface temperature distribution	7.4.9						
distribution temperature	7.4.10						
thermal ruggedness	7.4.11	applicable	non applicable	application dependent		10/type	

5.2 Test conditions

5.2.1 Operating conditions during tests

Operating conditions during the tests shall be in the range of normal operating conditions of the emitter tested and thus reflect the manufacturer's intended use of the product while excluding extreme usage patterns, deliberate misuse or unauthorized modifications. Extreme usage pattern may be agreed on between the manufacturer and user.

All environmental conditions that affect measurement results shall be monitored during the tests and be part of the measurement report. This includes

- a) environmental temperature including hot surfaces in the vicinity;
- b) temperature of the air used for cooling;
- c) relative and absolute humidity of the air at temperatures when condensation is expected to occur, i.e. below 100 °C if applicable;
- d) vibration or infrasound.

All tests shall be performed with the emitter radiating into free space, or only onto sufficiently cooled and radiation absorbing surfaces at less than 50 °C in the vicinity to avoid any heating of the emitter through the vicinity.

The emitter shall be positioned so that free convection is not hindered. Free convection is not hindered if the distance to the next object in all directions including below the emitter is at least 10 times the diameter of the emitter tube or 10 times the largest dimension of a planar emitter.

5.2.2 Standard environment for tests

All tests shall be performed

- a) under standardised environmental conditions, at ambient temperature in the range between 5 °C and 40 °C and air relative humidity of less than 95 %,
- b) at the altitude above sea level less than 1 000 m,
- c) with no forced convection of the air applied unless otherwise stated.

The ambient temperature is considered as an average value. All quantities dependent on the ambient temperature shall refer to the ambient temperature of 20 °C, the so-called reference ambient temperature.

5.2.3 Non-standard environment for tests

All tests may be performed under conditions deviating from the standard environment as defined in 5.2.2 if the infrared emitters are intended to be used under these conditions. Examples are

- at vacuum pressure inside a vacuum chamber with cold walls – i.e. less than 70 °C;
- at elevated temperature of the surrounding air;
- with forced convection in an air stream of defined velocity or mass flow rate.

The manufacturer and user may decide to perform the tests under the available environmental conditions expected inside the equipment.

5.2.4 Supply voltage

The supply voltage limits shall not exceed those defined by the manufacturer for the intended purpose.

The supply voltage applied to the emitter shall be monitored during the tests.

All measurements of specific electrical values as defined in Clause 6 shall include the measured data of the supply voltage applied to the emitter during measurement.

5.3 Stationary condition

Emitters usually need time to reach a stationary condition after changes in environmental conditions or applied voltage. It is reached when current, power and temperature of the emitter no longer change with time.

Typical periods are 2 min to 5 min for quartz tube emitters and 10 min to 15 min for ceramic emitters.

5.4 Number of emitters for tests

The emitters used for tests shall be taken at random from a production lot. Broken emitters shall be replaced from the same production lot. Table 2 defines the minimum amount of emitters necessary for the tests given in this standard.

6 Measurements

6.1 General

More than a single measurement is recommended for the tests defined in this standard. A data logger or multi-channel electronic data acquisition system shall be used for time resolved measurements. Such a device automatically measures and stores the necessary data in a computer readable format.

6.2 Time resolution

The necessary time resolution of the measuring equipment and the data saving rate of the storage device depends on the emitter and the specific tests to be undertaken. The measurement and storage frequency shall be so high that all relevant signal variations are recorded.

6.3 Measurement of electric data

6.3.1 All equipment for voltage measurement shall be of class 2.0 or better. The measuring equipment for a.c. shall be able to show true RMS independent of the waveform.

6.3.2 All equipment for current measurement shall be of class 2.0 or better. The current measuring equipment for a.c. shall be able to measure true RMS independent of the waveform.

6.3.3 All equipment for energy consumption measurement shall be of class 2.0 or better. The energy consumption measuring equipment for a.c. shall be able to measure true RMS independent of the waveform.

6.3.4 Equipment for the measurement of transient effects like inrush current, real values of voltage, current or power shall not average or provide RMS; in deviation from the requirements in 6.3.1 to 6.3.3. It shall have a sufficient time resolution as defined in 6.2.

6.3.5 Measurements of all voltages applied to the emitter shall be performed at the conductors connected to the emitter or at the power outlet of the switchgear connected to the emitter.

6.3.6 Measurements of all currents flowing through the emitter shall be performed at a conductor connected to the emitter or at the power outlet of the switchgear connected to the emitters.

6.3.7 Measurements of power use of the infrared emitter shall be performed at the power outlet of the switchgear connected to the emitters.

6.3.8 All equipment for resistance measurement shall use a four point probe and be of class 2.0 or better.

6.3.9 Any measurements that shall be performed at rated voltage shall be performed at rated voltage $\pm 2\%$.

6.4 Temperature measurement

The kind of equipment used for temperature measurement depends on the task, the temperature range, available information on the condition of the surface being measured or the accessibility of the surface.

Contact thermocouples are simple to use and reliable. They provide reliable and exact results

- if an intimate and non-detachable contact to the surface of an object is established through the measurement and
- the object is having a sufficient high mass and good thermal conduction to the thermocouple is held throughout the measurement.

Pyrometers and infrared cameras summarised as thermographic methods may be used

- a) for all surfaces at elevated temperature,
- b) when the emissivity of the surface is well known,
- c) when the surface is considered as lambertian – i.e. following a cosine law of angular emissivity, and
- d) when the wavelength range used for detection is transmitted by any tube or window material protecting the source and being in the path of light between source and equipment.

The used value of the emissivity, the measurement wavelength and the presumed error of the emissivity shall be included in all measurement reports.

The relative measurement error for all temperature measurements in compliance with this standard shall not exceed 5 % of the temperature stated in °C of the measured value. Measurement accuracy shall be included in the measurement report.

NOTE The German VDI/VDE 3511 series [4] gives information on best practice for temperature measurement in industry.

6.5 Irradiance and radiance measurement

All measuring equipment for measurement of irradiance or radiance shall be of class 3.0 or better.

The measuring equipment shall have a flat or constant spectral response between 400 nm and 10 µm, a flat response between 200 nm and 20 µm is preferred.

The measuring equipment shall be sufficiently stabilised to avoid any drift exceeding the limits.

NOTE This can be a thermally stabilised pyro-electric detector.

6.6 Spectral measurements

6.6.1 General

The measurement of spectral functions of infrared emitters over a reasonably wide spectral range is well beyond the possibilities of most industrial companies. A meaningful spectral interval for full characterisation of an emitter can extend over the 1 % to 90 % of emitted power range (as defined in Table A.1), which corresponds to a wavelength range of about three times the wavelength at maximum emitted power. CIE 063:1984 [5] and CIE 130:1998 [6] provide methods for spectral measurements in the visible spectrum. In general, meaningful wideband spectral measurements in the infrared involve complex equipment, like some detectors and gratings in a single monochromator and the use of elaborate calibration procedures.

A measurement error of more than 20 % is to be expected unless very significant efforts are made to reduce this. Measurement data shall therefore include a description of the equipment used as well as the means used to compensate or avoid atmospheric absorption.

6.6.2 Calculation as a surrogate for measurement

Before one decides to measure any spectral data, one can consider the following: if the emissivity of the emitter is already well known from literature, Planck's law from Formula (A.1) allows the calculation of temperature dependent spectral emission with sufficient accuracy for most purposes of this standard.

6.6.3 Required spectral range

The measurement wavelength range shall cover most of the high intensity part of the spectrum, usually spanning at least from $E(\lambda, T) = 0,01 \cdot E(\lambda_{\max}, T)$ on the short wavelength side of the spectrum to $E(\lambda, T) = 0,1 \cdot E(\lambda_{\max}, T)$ on the long wavelength side. The wavelength range is derived using the generalised Wien's law data from Annex A, Table A.1. This spectral range amounts to about $3 \cdot \lambda_{\max}$ at rated temperature.

High spectral resolution does not matter for thermal infrared emitters due to the broad features of thermal radiation. That is unless emission is caused by a material that has very distinct spectral features in its emissivity.

Measurement of the spectral exitance of arc emitters can be done by methods developed for the visible and near infrared as defined in CIE 063:1984 [5] and CIE 130:1998 [6].

6.6.4 Measurement conditions

Any relevant measurement of infrared spectra shall take account of atmospheric absorption caused by water vapour and carbon dioxide. The fundamental bands of these molecules near 2,8 μm and 5,0 μm cause strong absorption even for short optical path lengths. Long path length leads to absorption by weaker bands and by less common molecules thus eventually covering most of the infrared spectrum. To reduce the influence of these gases the following may be applied:

- measurement in an atmosphere of nitrogen or argon,
- or comparison of the signal from the infrared emitter with that of a well-known reference light source; such a reference can be a high quality black body at comparable temperature as the source of the infrared emitter; the signal from that black body can be used to correct any atmospheric absorption.

The wavelength dependent optical transfer function of the measurement systems is either included in the measurement through a calibration using a well-known reference light source, like a halogen lamp conforming to CIE 149:2002 [7], or by using a high quality blackbody.

6.6.5 Spectral measurements

Information on spectral measurements is provided in Annex C.

7 Technical tests

7.1 General

The following test methods can be used to describe the performance of infrared emitters. The test requirements may be modified or amended as agreed upon by the manufacturer and user. If a test is modified or amended, the exact amendment or modification shall be part of any test report issued. Additional tests may be agreed between the manufacturer and user.

7.2 Tests concerning cap and holder of emitter

7.2.1 General

The following tests apply to emitters with a cap designed for a specific holder. They do not apply to emitters equipped with electric leads only.

7.2.2 Cap and holder interchangeability

If the infrared emitter has a standardized cap defined in IEC 60061-1 to be used in connection with a holder defined in IEC 60061-2, the interchangeability of cap and holder for such standard cap and holder combination shall be tested in accordance with IEC 60061-3.

The manufacturer and user may define other cap and holder combinations and shall agree in this case on specific tests or gauges to ensure interchangeability.

7.2.3 Cap twist-off test

The test according to 2.5 of IEC 60432-1:1999 and IEC 60432-1/AMD1:2005 applies.

7.3 Power consumption characteristics

7.3.1 Rated power

The rated power of the emitter shall be measured at rated voltage – see 6.5.

For emitters where the rated voltage is a standard line voltage, measurement of rated power shall include measurement at –10 % and +10 % of this rated voltage.

The electrical values at ± 10 % of rated voltage may be calculated instead, if the manufacturer has a reliable model for predicting these values based on the measurement at rated voltage. A reliable model is characterised by the ability to predict electrical values at error-margins comparable to measurements conforming to this standard.

7.3.2 Variation of power with voltage

Measurement of the dependency of electrical emitter power on voltage shall be done with the same emitters as that used for the measurement in 7.3.1.

The variation of power used by the emitter depending on the applied voltage shall be measured starting from 0 V up to 110 % of the rated voltage. The voltage increase between measurement points shall be 10 % of the rated voltage or smaller. The measurement shall be performed at stationary condition for each step.

NOTE Performing this measurement by decreasing the voltage can result in different values if stationary condition is not reached for each single measurement point.

The variation of electrical values with applied voltage may be calculated instead, if the manufacturer has a reliable model for this. A reliable model is characterised by the ability to predict electrical values at error-margins comparable to measurements conforming to this standard.

7.3.3 Inrush current

Inrush current of emitters depends on the impedance of the power supply used in an installation. This test shall assess unfavourable conditions. Therefore the power supply used shall have low impedance and shall be directly connected to a high current line supply.

The minimum time resolution shall be 1 ms as inrush current tends to peak early in the very first cycle after switch on. The inrush current is assessed by comparing the maximum measured current with a measurement of current under stationary condition.

The extent of inrush current depends critically on the exact moment of switch on during a single phase. Generally, switch on at zero voltage underestimates the effects. Switch on at peak voltage is preferred as this is the worst case.

Theoretical maximum inrush current may be calculated instead if the manufacturer has reliable data on the variation of electric resistivity with temperature of the filament material of the emitter and the rated temperature is known – see 7.4.1.

7.3.4 Emitter resistivity as estimate for rated power

The measurement of cold state electrical resistivity as an indication of rated electric power can provide a meaningful test for infrared emitter with small or negligible variation of the electric resistivity with temperature.

NOTE This typically applies for emitter where the conversion of electric energy into heat is confined to an element made from iron-chromium-aluminium alloys.

The minimum requirements for such a test, allowing comparison or estimation of rated power, are the following:

- a) For each emitter the rated power and the rated resistivity at room temperature shall be established by the manufacturer.
- b) Measurement accuracy for voltage, current and power shall be class 1.
- c) The measuring equipment for resistivity shall use a 4 point probe and shall be class 1.
- d) Calibration intervals for all measuring equipment shall be less than 1 year.
- e) The measurement of cold state resistivity of the emitter shall be performed at $20\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$ emitter temperature and air temperature of the testing room. The emitter shall have rested at this temperature over at least one hour without being touched or switched on, rest over 24 h is preferred.

When the comparison of results is intended, like in a quality check, a regular round robin test is mandatory. Usually all parties should use identical measuring equipment.

Annex G discusses error sources and possible application of such a test.

7.4 Emitter temperature tests

7.4.1 Rated temperature

7.4.1.1 General

The rated temperature is measured at rated voltage. It is measured under standard environmental conditions. Information on rated temperature measurements at deviating environmental conditions shall include a statement describing the conditions of measurement.

The test method for the rated temperature varies with the emitter type and with the intended accuracy; thus the employed method shall be part of the test report.

7.4.1.2 Filament emitters

In case of emitters where a filament like a tungsten coil or a carbon filament is placed inside a quartz tube or similar,

- a) temperature variations over the length and width of the filament are very hard to assess,
- b) the filament is dominated by surface areas at one temperature which is usually the highest temperature of the filament as well.

In this case the rated temperature is the maximum temperature measured on the emitting surface of the emitter source. The test shall be performed at stationary condition.

7.4.1.3 Other emitters

Emitters with extended sources usually show a broader variation of the temperature on the surface of the source.

In this case the rated temperature can be approximated through one of the following:

- a) The average temperature measured on the surface of the source of the emitter using the method defined in 7.4.7. This test slightly underestimates the temperature defining the spectral radiance. The measurement area for the average temperature shall be the effective radiant surface of the emitter or source.
- b) The maximum temperature measured on the surface of the source of the emitter. This test slightly overestimates the temperature defining the spectral radiance.
- c) The calculation of the distribution temperature from the spectral radiance as defined in 7.4.10.
- d) The effective temperature of the surface of the source – which usually corresponds to the radiant power being greater than 90 % of the total radiant power.

Unless the spectral emission is dominated by one area with homogenous temperature, method a) shall be used.

7.4.2 Variation of source temperature with voltage

Measurement of the dependency of source temperature on voltage shall be done with the same emitters as those used for the measurement in 7.4.1.

The variation of temperature of the emitter depending on the applied voltage shall be measured starting from 0 V up to 110 % of the rated voltage. The voltage increase between measurement points shall be 10 % of the rated voltage or smaller. The measurement shall be performed at stationary condition for each step.

NOTE Performing this measurement by decreasing the voltage can result in different values if stationary condition is not reached for each single measurement point.

The variation of source temperature with applied voltage may be calculated instead, if the manufacturer has a reliable model for this. A reliable model is characterised by the ability to predict electrical values at error-margins comparable to measurements conforming to this standard.

7.4.3 Source temperature rise time

The source temperature rise time is defined as the time needed for the radiation emitting surface to reach 90 % of rated temperature counted from the moment of applying the rated voltage to an emitter in the cold state.

The measurement shall be performed using the same emitter as that used for the measurement of rated temperature in 7.4.1.

7.4.4 Source temperature cooling time for quartz tube emitters

The source temperature cooling time for all types of infrared emitters where the source is inside an emitter tube is defined as the time needed for the radiation emitting surface of the source to cool down to 500 °C from rated temperature counting after power has been turned off.

The measurement shall be performed with the same emitter as that used for the measurement in 7.4.1. A source temperature of 500 °C is assumed the minimum temperature to create relevant infrared emission for this kind of emitter.

7.4.5 Source temperature cooling time for other emitters

The source temperature cooling time for all types of infrared emitters where the source is in direct contact to the environment is defined as the time needed for the radiation emitting surface to cool down below the following set of temperatures from rated temperature counting after power has been turned off.

These temperatures are $T_1 = 450$ °C, $T_2 = 300$ °C, $T_3 = 200$ °C, $T_4 = 135$ °C, $T_5 = 100$ °C, $T_6 = 85$ °C. The temperatures correspond to the temperatures used in the temperature classification according to IEC 60079-0 [8]. These values give the user an estimate after how much time such an emitter may come into contact with possibly flammable atmospheres.

The measurement shall be performed with the same emitter as that used for the measurement in 7.4.1.

7.4.6 Quartz tube cooling time for quartz tube emitters

The quartz tube cooling time is defined as the time needed for the hottest spot on the outer surface of the emitter to cool down from stationary condition temperature to below the following set of temperatures from the operating temperature counting after power has been turned off.

These temperatures are $T_1 = 450$ °C, $T_2 = 300$ °C, $T_3 = 200$ °C, $T_4 = 135$ °C, $T_5 = 100$ °C, $T_6 = 85$ °C. The temperatures correspond to the temperatures used in the temperature classification according to IEC 60079-0 [8]. These values give the user an estimate after how much time such an emitter may come into contact with possibly flammable atmospheres.

The measurement shall be performed with the same emitter as that used for the measurement in 7.4.1.

7.4.7 Source temperature distribution

A wide temperature distribution of the source of an emitter can indicate a variation of output power if

- in the case of quartz tube or halogen, emitter different coil segments between spacers show different maximum temperatures;
- in the case of tubular emitters, if temperature increases or decreases from one end to another;
- in case of planar sources, a variation of temperature between surface areas where resistive elements are below the surface.

It is preferred that this test is performed

- with a thermographic camera, or

- using a pyrometer.

When a thermographic camera is used, the complete source shall be measured at once, and the measurement points are all pixels of the thermal photo being part of the image of the source.

When a pyrometer is used the measurement points shall be

- distributed homogeneous on the surface of planar sources, the number of measurement points shall be sufficient to resolve major structures but not less than 9 or
- distributed equidistant over linear or tubular sources, the number of measurement points shall be sufficient to resolve major structures but not be less than 5.

The layout of measurement points shall be adapted to relevant structural features of an emitter.

For some emitters with complex geometry, a contact thermometer is preferred to perform this test. The measurement points shall be selected evenly, separately on the surface of heating parts and non-heating parts.

The measurement report shall indicate the measurement method, the measurement positions, average temperature, minimum, maximum and variance of the temperature.

7.4.8 Average temperature calculation from a thermal image

The average temperature is calculated using data from all pixels that are fully irradiated by the part or surface only (pixels not fully covering a hot surface show lower temperature due to lower signal).

$$\bar{T} = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i^4 \right)^{\frac{1}{4}} \quad (1)$$

where

n is the number of pixels of the thermal image clearly being part of the measured surface;

T_i is the temperature value of the i -th pixel of thermal image clearly being part of the measured surface.

7.4.9 Surface temperature distribution

It is preferred that this test be performed

- with a thermographic camera, or
- using a pyrometer.

When a thermographic camera is used, the complete visible surface shall be measured at once and the measurement points are all pixels of the thermal photo being part of the image of the surface of the emitter.

When a pyrometer is used the measurement points shall be

- distributed homogeneous on the surface of planar sources, the number of measurement points shall be sufficient to resolve major structures but not less than 9 or
- distributed equidistant over linear or tubular sources, the number of measurement points shall be sufficient to resolve major structures but not be less than 5.

The layout of measurement points shall be adapted to relevant structural features of an emitter.

For emitters with complex geometry, where part of the surface is optically not accessible or optical methods can provide limited accuracy, a contact thermometer is preferred to perform the test. The definition of measurement positions shall follow the same rule as for use of a pyrometer, i.e. the positions shall be distributed homogeneously and equidistant over the surface; in case only a part of the surface is heated, both heated and unheated parts shall be covered with measurement positions.

The measurement report shall indicate the measurement method, the measurement positions, average temperature, minimum, maximum and variance of the temperature.

7.4.10 Distribution temperature

Estimating the distribution temperature is discussed in CIE 114/4 [9] for visible light sources. The concept can be used for the description of the spectral emission of infrared emitters as well.

NOTE The procedure is valid for errors that scale with the measured irradiance.

The distribution temperature is determined from the measured or calculated emitted radiation spectrum of the emitter; the data is usually a set of spectral radiant power values at specific wavelengths $M(\lambda_i)$ – refer to 6.6 and Annex C for measurement or Annex A for calculation. When the spectral radiant power distribution of the emitter is comparable to the distribution of a blackbody $M_b(\lambda)$, the temperature of this blackbody is called the distribution temperature of the emitter.

The distribution temperature is calculated from a set of absolute radiation spectrums $M_b(T, \lambda)$ of the blackbody (i.e. the Planck function value) at different temperatures using Formula (A.1). The minimum of the following function defines the distribution temperature:

$$\sum_i \left(1 - \frac{M(\lambda_i)}{a \cdot M_b(\lambda_i, T)} \right)^2 = A(a, T) = \min \quad (2)$$

where

- $M(\lambda_i)$ is the measured radiant exitance of the emitter;
- $M_b(\lambda_i, T)$ is a measured or calculated blackbody radiant exitance;
- λ_i is a wavelength for which a measurement exists;
- a is a scaling factor;

The sums over the wavelength λ_i are taken for all measured values of $M(\lambda)$ at the measurement wavelengths.

The solution of Formula (2) is either directly generated or first the scaling factor a is minimised and then a separate calculation provides the minimum of

$$\sum_i \left(1 - \frac{M(\lambda_i) \cdot \sum_k \left(\frac{M(\lambda_k)}{M_b(\lambda_k)} \right)}{M_b(\lambda_i) \cdot \sum_k \left(\frac{M(\lambda_k)}{M_b(\lambda_k)} \right)^2} \right)^2 = A(T) = \min \quad (3)$$

where the corresponding blackbody temperature is the distribution temperature of the emitter.

7.4.11 Thermal ruggedness

The thermal ruggedness of emitters is their resilience to withstand thermal shock or strong thermal gradients inside the emitter:

- a) the resilience of quartz tube infrared emitters to thermal stress exceeds all relevant test conditions or operation conditions, so no test is needed;
- b) for emitters that resemble a tile or brick made from refractory material, the test defined in EN 993-11 shall be used.

7.4.12 Pinching temperature of pinched emitters

Method 3) of IEC 60682:1980/AMD1:1987 and IEC 60682:1980/AMD2:1997 shall be used, as methods 1) and 2) of IEC 60682:1980 are destructive.

7.5 Radiation characteristics

7.5.1 General

The emitted radiation of a specific infrared emitter can be characterised by the following radiometric values or functions:

- a) the spatial irradiance field generated by the emitter and depending on distance and angular direction from the emitter;
- b) the spectral distribution of the radiant power, being a function of the emissivity and the temperature distribution of the source (refer to Annex A);
- c) the spatial variation of the spectral radiant power, i.e. the spectral variation of the irradiation – this effect is negligible for most emitters;
- d) total radiant power or named total radiant flux or named radiant exitance (refer to 3.2.1, 3.2.3, 3.2.4, 3.2.9),
- e) the hemispherical or normal total emissivity and hemispherical or normal spectral emissivity;
- f) radiance field;
- g) irradiance field.

The spectrum depends on the source temperature (7.4) and the spectral emissivity of the source (Clauses A.2, C.3) and to a much smaller degree on other effects.

The spatial irradiance field on a workload position or on any other surface depends

- on the shape of the emitter,
- on the surface material and structure of the source,
- other elements that affect the distribution of radiation, like the emitter tube, fixtures inside the emitter tube, or electrodes.

The spatial irradiance field can further be affected by the applied voltage to the emitter and by the environment.

The measurement of irradiance is performed using a device as defined in 6.5.

Irradiance distribution on an intended workload position and the spectrum of the irradiance are relevant for the technical use of an infrared emitter. Thus 7.5.2 provides a test for the basic irradiation characteristic of a tubular emitter, from which the reflectivity of a reflector can be assessed by use of 7.5.3; an assessment of the irradiation on a surface of a potential workload position is given in 7.5.4, test methods for the spectrum are discussed in 7.5.5. The rated total radiant power or radiant flux and the calculation of the irradiation efficiency are given in 7.5.7 and 8.4.

7.5.2 Radial irradiation distribution of tubular emitters

The radial irradiation field is measured at rated power and in stationary condition.

The detector measuring irradiation is placed on a rotating unit that rotates the detector at constant radial distance around the emitter axis and orienting the detector so that it is always facing the emitter directly. The emitter may be rotated instead.

The measurements shall be taken with a constant angular step-width of 10° or 5°. A full circle of 360° shall be measured.

No smoothing of the data is allowed. The data may be presented on a normalised base, where the irradiance depending on angular position is divided by the average irradiation. The average irradiation is calculated using

$$\bar{E} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_i(\alpha_i) \quad (4)$$

where

E is the irradiance;

n is the number of measurement positions;

α is the angular position.

7.5.3 Reflectivity of a tubular emitter with applied reflector

For infrared emitters of tubular geometry and with a reflector placed on one side of the emitter tube the reflectivity of the reflector shall be calculated using the data from 7.5.2 and Formula (5).

$$\rho = 1 - \frac{E_\rho}{\bar{E}} \cdot \frac{360^\circ}{\alpha_\rho} \quad (5)$$

with

$$E_\rho = \sum_m E_i(\alpha_i) \quad (6)$$

where

ρ is the reflectivity;

m is the number of measurement positions in angular directions with a reflector;

α_ρ is the angle of the tubular emitter covered by a reflector.

In the case of a tubular emitter without a reflector and homogenous angular irradiation the reflectivity is zero. In the case no radiation is detected behind the reflector, Formula (5) gives a perfect reflectivity independent of the angle of the reflector-covering.

7.5.4 Planar irradiation field caused by an emitter

The irradiation caused by an emitter depends on the distance from detector to emitter and the angular orientation between emitter and detector. The following is defined for the measurement of the irradiation distribution on a surface irradiated by an infrared emitter:

- a) The irradiation detector scans the irradiated field below the infrared emitter in a distance d , this can be the intended working operation distance.
- b) The measurement positions on the plane of measurement shall be spaced apart at most for a length of $d/4$.
- c) The measurement plane shall be at least the size of the emitter plus a distance of $2 \cdot d$ in all four spatial directions to cover the sideways irradiation caused by the emitter.
- d) The measurement shall cover the complete plane unless symmetry of irradiation allows for less: measuring half of the plane or a quarter of the plane and assuming symmetry shall be stated with the measurement data.
- e) No smoothing of the data shall be performed.

The detector shall be oriented so that its direction of view is perpendicular to the measurement plane.

7.5.5 Angular irradiation distribution caused by an emitter

The test defined in 7.5.2 does not provide the full data for a tubular emitter. This test only provides a specific aspect of irradiation caused. This aspect is of major interest, as it allows the prediction of the radiation field caused by one straight tubular emitter or a number of straight tubular emitters oriented in parallel. The test defined in 7.5.4 provides the irradiation caused on a surface, which usually coincides with the position of a workload.

The measurement method defined in the following list can as well be used for the measurement of the total radiant power, if a data set at a specific distance between detector and emitter on a full spherical substance is needed:

- a) The emitter is placed on a goniometer such that the centre of the emitter is at the angle point of the goniometer.
- b) The emitter is operated in stationary condition and at constant voltage.
- c) The temperature dependent irradiation is measured using a detector with a non-wavelength dependent sensitivity. The range of constant sensitivity should at least cover the wavelength range defined in 6.5.
- d) The detector is placed at a specific distance. The minimum distance is defined as being larger than the longest half axis of the emitter, because an infrared emitter can be a large source for this kind of test.

The angular irradiation distribution measured by the detector depends for the so called near field on the distance between emitter and detector. Near field is defined as a distance less than 50 times the largest diameter of the emitter, far field is defined as a larger distance.

Detailed advice on goniometric tests can be drawn from EN 13032-1 [10]; the test methods introduced there may be transferred into the infrared if a sufficient detector is used.

7.5.6 Emitted spectrum

The emitted spectrum is a function which describes how the radiant exitance (or radiance or irradiance) of infrared emitters varies with the wavelength.

The spectral radiant power of thermal emitters depends on the temperature and to a much lower extent on the temperature and wavelength dependent emissivity of the source surface. The spectrum of the source may be altered further by emitter tubes or other parts of the emitter protecting the source as these parts may absorb and emit radiation as well.

Annex A provides the basic formulas to calculate the spectral radiant power at rated voltage from the rated temperature provided by test 7.4.1.

The emitted spectrum can be measured using methods discussed in 6.6 and in Annex C.

7.5.7 Rated total radiant power

7.5.7.1 Distributed radiometric method

A comparable test is applied for the measurement of luminous flux from lamps and described in CIE-084 [11]. The following list is an application of this distributed photometric test to the infrared:

- Ensure that the radiant surface of the emitter can be approximated as a point source relative to the detector of radiant power meter – this is the case, if the distance between emitter and detector is at least 10 times larger than the largest diameter of the emitter itself.
- Adjust the azimuth of the emitter to the centre of the emitter.
- Measure at every 5° between 0° to 60°, as well as every 10° between 60° to 90° relative to the axial line of the emitter.
- Measure the radiant power (or irradiance) for each measuring point.

An irradiance measuring device (6.5) is placed on a rotating sample holder or goniometer. During the emitter and the detector relative motion, the scanning measurement is performed on the complete measurement sphere.

The total radiant power can be calculated from the above measured data according to

$$P_{\text{tot}} = \frac{r^2}{S_d} \cdot \sum_{\theta=0^\circ}^{\theta=90^\circ} P_\theta \cdot a_\theta = r^2 \cdot \sum_{\theta=0^\circ}^{\theta=90^\circ} E_\theta \cdot a_\theta \quad (7)$$

where

- P_{tot} is the total radiant power in W;
- S_d is the responsive detector area of the radiant power-meter detector in m²;
- r is the distance between the source and the photo-surface of the detector in m;
- P_θ is the average radiant power of the zonal spherical for the corresponding angle in W;
- E_θ is the average irradiance of the zonal spherical for the corresponding angle in W/m²;
- a_θ is the zonal spherical factor, given in Table D.1.

7.5.7.2 Thermal imaging method

This test applies for grey-body emitters or emitters with approximate grey-body emissivity and a near homogenous source temperature.

The average temperature on the source surface of the emitter is measured with a pyrometer or an infrared camera and calculated according to 7.4.8 and Formula (A.1).

The emissivity correction of the measuring device is set to 1. The measured temperature is interpreted as the radiation temperature or equivalent blackbody temperature.

The total radiant power of the emitter is then calculated according to

$$P_{\text{tot}} = A \sigma (T_r^4 - T_0^4) \quad (8)$$

where

- A is the surface area of the emitter source in m²;
- T_r is the average temperature value of the emitter source in K;
- T_0 is the average temperature value of the environment in K;

σ is the Stefan-Boltzmann constant.

The rated total radiant power is calculated by an integral over the irradiance measured on the complete measurement sphere as defined in 7.5.5.

7.5.8 Irradiation reaction time

Irradiation reaction time is defined as the time after applying rated voltage to the emitter until the emitter reaches 80 % and 90 % of irradiation at stationary conditions, as well as decrease of irradiation to 50 % and 10 % after switch off.

The measurement position shall be in the intended irradiation direction of the emitter in the intended operation distance.

The emitter shall be turned to rated voltage immediately. The rise time to 80 % and to 90 % of stationary condition irradiation at rated voltage shall be stated.

The emitter is disconnected from the source after operating in continuous operation at rated voltage stationary condition. Then the time to 50 % and to 10 % of irradiation at stationary conditions is measured.

7.6 Mechanical ruggedness

7.6.1 Acceleration

Tests concerning acceleration performance of infrared emitters shall be conforming to IEC 60068-2-7 with the following exception:

Infrared emitters tend to differ strongly in their tolerance of maximum acceleration depending on their orientation to the direction of acceleration and they are usually accelerated during operation in one defined direction. Therefore, tests shall be performed for all relevant directions and results shall be stated separately. Relevant directions are the fundamental directions or axes of symmetry of the emitter, i.e. for a tubular straight emitter two directions for any 3D formed three directions are necessary.

Infrared emitters can be quite large, so linear acceleration is preferred to centrifugal acceleration.

7.6.2 Vibration

Tests to characterise the vibration performance of infrared emitters shall conform with IEC 60068-2-6 with the following exception:

Infrared emitters tend to differ strongly in their tolerance of maximum vibration depending on their orientation to the direction of acceleration. Direction of the vibrating during operation can be mainly in one preferred direction. Therefore tests shall be performed for all relevant directions and results shall be stated separately. Relevant directions are the fundamental directions or axes of symmetry of the emitter, i.e. for a tubular straight emitter two directions for any 3D formed three directions are necessary.

7.7 Lifetime of infrared emitters

7.7.1 General

The lifetime of infrared emitters with the exception of arc lamps is usually interpreted as the time elapsed after which 50 % of identical infrared emitters are still operable under the assumption that all emitters were operated as intended, never stressed throughout their lifetime and no mechanical cause for breakage occurred. Sometimes a Weibull statistics approach can be chosen to further identify when emitters tend to fault over time of operation.

In this standard, lifetime is understood as the cumulative operation time of an emitter until it no longer operates normally or provides the intended service at rated voltage under intended operation conditions.

Annex F discusses criteria that define this end of useful life. Thus any lifetime statement is only valid for a limited set of parameters. The actual lifetime of any infrared emitter can dramatically differ from the value given by the manufacturer, if any of the factors identified in Annex F differs from test conditions.

NOTE Stated lifetime for any emitter exceeding a value of 25 000 h is no longer reliable. 25 000 h amount to three years of continuous operation. Over such a long period factors outside the lifetime estimation or manufacturers experience or rare incidences like externally induced electric supply energy pulses are then the main cause of failure.

7.7.2 Criteria defining end of life

If an emitter reaches during a lifetime test one of the following states, it is supposed to have reached the end of its lifetime:

- a) the emitter breaks or is otherwise irreparably damaged;
- b) the sealing or pinching of the emitter tube fails or is broken;
- c) the electric power at rated voltage is lower than 75 % or higher than 115 % of the rated power;
- d) the conversion efficiency for total radiation (or total radiant power) is lower than 90 % of the initial value;
- e) the peak wavelength of the radiant spectrum or the distribution temperature differs by more than 10 % from the rated or initial value;
- f) the outside surface shows signs of severe melting, cracking, arcing or similar;
- g) the electric strength of emitter under operation temperature is significantly lower than a rated value;
- h) the leakage current of emitter under operation temperature significantly exceeds a rated value.

NOTE Electric strength and leakage current are strongly influenced by the temperature of insulating parts like the emitter tube and thus vary over orders of magnitude depending on the environment and the operating conditions.

7.7.3 Lifetime measurement

To get to statistically relevant numbers for

- the average electrical lifetime of a specific type of infrared emitter, or
- a Weibull statistic for the lifetime of a specific type of emitter,

a sufficient number of similar emitters shall be operated over a sufficient long time to fail at least 50 % of the emitters at constant and defined conditions. The measurement shall meet the following requirements:

- a) at least 100 identical emitters shall be used for a measurement of average electrical lifetime;
- b) all emitters shall be operated under identical conditions;
- c) operating conditions shall be monitored during operation and storing of all involved emitters; all emitters experiencing any variation in operating conditions or storage conditions that differ from intended conditions of the test and that can affect their actual lifetime shall be discarded from the test.

If the manufacturer provides lifetime data based on such extensive measurements, this data shall include the following

- the emitter type, batch and all other means to identify it exactly;

- the number of emitters used during the measurement, the number of discarded emitters;
- the duration of the test;
- the environmental conditions of the test, i.e. the atmospheric pressure, air temperature, air velocity, cross irradiation between emitters, and all variations of these parameters as well as all other parameters necessary to repeat the measurement.

NOTE The cost of measuring equipment is usually prohibitive to operate a large number of emitters at the same time. As one year has about 7 000 h, a lifetime measurement requires some time. The energy necessary for operating 100 emitters at a rated power of 2 kW over 15 000 h amounts to 3 000 000 kWh. This is a substantial cost factor when considering measuring lifetime.

7.7.4 Induced lamp death for emitter with a tungsten coil

The accelerated lifetime test, or induced lamp death as defined in Annex D of IEC 60432-1:1999 is applicable to quartz tube emitter, halogen emitter and all other infrared emitters with a tungsten coil as source. It can shorten the time for operation of the test emitters by a factor of up to 3,5 by increasing the applied voltage to a maximum of 110 % of rated voltage. The test applies for lamps with tungsten coils for general lighting purposes only.

Great care is needed in interpreting this kind of data:

- as such an increase in voltage can cause another failure mode than operation at rated voltage;
- this test has been developed for lamps for illumination and the exponents are only valid for the usual environmental conditions of lamps inside a luminaire;
- lamps for illumination tend to have quite different coils than infrared emitters.

7.7.5 Induced lamp death for other emitter

A comparable test like the induced lamp death may be agreed on between the manufacturer and user. Basic requirements are the following:

- a) an increase of operating voltage or another significant operation condition leads to shortened lifetime,
- b) a clear functional relationship between the degree of degrading operating condition and lifetime has been obtained and
- c) this functional relationship is sufficiently exact over a defined range to allow for a meaningful prediction.

Usually the varied operating condition is the applied voltage compared with the rated voltage. Functional dependency and the achievable error margin shall be part of the test report.

A method similar to the accelerated lifetime test included in IEC 60432-1:1999 can be chosen if the characteristics of infrared emitter are similar to incandescent lamps.

7.7.6 Lifetime statement

The manufacturer can give a lifetime statement based on experience, if he is unable or decides not to perform a lifetime measurement for a specific infrared emitter category. Such a lifetime statement shall include the following to identify the range and scope of the statement:

- a) the emitter categories and all necessary means to identify them;
- b) the intended purpose;
- c) the environmental conditions for which the statement is valid.

The statement shall clearly state that it is not based on measurements as defined in 7.7.2 or it shall explain how measurements are used as base for the statement.

8 Emitter efficiency

8.1 General

The transfer of energy from an emitter to a workload is influenced by the following non-independent factors:

- the conversion efficiency of electric energy into infrared radiation – see 8.2;
- the geometry of the problem, or how much of the radiation emitted by the emitter reaches the surface of the workload – see 8.3;
- the spectral match between the spectrum emitted by the emitter and the radiation absorbed by the workload – see 8.4;
- the absorption of radiation by the atmosphere between emitter and workload;
- the absorption of the spectrum reaching the surface of the workload by the workload – this depends on the geometry of the problem and on the absorptivity of the workload.

8.2 Conversion efficiency

The conversion efficiency may be approximated by use of the formulas given in Annex A as

$$\eta_{\text{conv}} \equiv \frac{(1) \int_0^{\infty} \frac{c_1}{\lambda^5} \frac{\varepsilon(\lambda, T)}{\exp(c_2/\lambda T) - 1} d\lambda}{P_{\text{el}}} \stackrel{(2)}{=} \frac{A \cdot \sigma \cdot \varepsilon(T) \cdot T^4}{P_{\text{el}}} \quad (9)$$

where

- A is the emitting surface of the material;
- c_1, c_2 are constants;
- λ is the wavelength,
- T is the temperature of the emitter in K;
- $\varepsilon(\lambda, T)$ is the spectral and temperature dependent emissivity of the surface;
- η_{conv} is the transfer efficiency;
- P_{el} is the actual measured electric power in W;
- σ is the Stefan-Boltzmann constant;
- $\varepsilon(T)$ is the spectrally weighted temperature dependent emissivity.

The first approximation (1) is based on the integration of the Planck Formula (A.1) from Annex A and assumes that the generated radiation is caused by a source of homogenous temperature. The second approximation (2) is based on the Stefan-Boltzmann Formula (A.2) from Annex A. It assumes that the emissivity is wavelength and temperature independent.

If the emitted spatial irradiation distribution is measured using the methods given in 7.5.7 and that data is integrated over the measurement sphere, this spectrally and spatially integrated radiation power may be used instead to calculate conversion efficiency.

8.3 Transfer efficiency

8.3.1 General

Transfer efficiency can be estimated through the amount of radiation reaching the workload divided by all radiation generated.

Optimisation of transfer efficiency is only one of the relevant issues during design of equipment, other issues are speed of processing, homogeneity of processing or energy efficiency of the complete installation.

Therefore, tests are usually performed in an installation or in a test installation as described in Annex A of IEC 62693:2013.

It may be necessary to study the interaction between emitter and workload without the interference and disturbances of a complete installation. This may be done numerically, but any calculation provides reasonable and meaningful results only if the used data represents the problem sufficiently well.

8.3.2 Simple approach

A simple method is the use of geometric radiation transfer functions for the geometric problem. A convolution of the emission spectrum with the absorption spectrum gives reasonable results for non-transmitting workloads with low reflectivity and especially for grey absorbers.

A convolution operation can be done using a spreadsheet software and sufficient wavelength resolution. Sufficient is either $0,1 \cdot \lambda_{\max}$ or a resolution that grasps the relevant spectroscopic features of emission and absorption spectrum.

Geometric radiation transfer functions can be drawn from handbooks such as *Thermal radiation heat transfer* by Siegel and Howell [12] or from Part 1A of ECSS-E-HB-31-01:2011 [13].

8.3.3 Ray-tracing

Use of ray-tracing gives very accurate results, if

- a) the geometry of the problem is well specified in the model;
- b) a sufficient number of rays is used;
- c) a sufficient number of different wavelength covering the complete emission spectrum is used;
- d) the optical behaviour of all materials and surfaces is sufficiently well modelled.

Generally, use of a numerical method shall include a documentation that allows to make the same calculation with a different software and on a different computer without any problems.

8.4 Irradiation efficiency

Irradiation efficiency is defined by the spectral match between emitted spectrum and absorption behaviour of a workload. It is calculated using the formulas as laid out in Annex A and a known absorption spectrum of the workload material.

Annex A (informative)

Thermal infrared radiation

A.1 General

Annex A discusses the basic concept of thermal infrared emission in so far as it is relevant for this standard and the motivation behind some requirements.

A.2 Spectral emission

The spectral emissive power of any material is governed by Planck's law ([12], [14])

$$M(\lambda, T) = \frac{c_1}{\lambda^5} \cdot \frac{\varepsilon(\lambda, T)}{\exp(c_2/\lambda T) - 1} \quad (\text{A.1})$$

where

$M(\lambda, T)$ is the spectral emissive power (i.e. spectral radiant exitance);

c_1, c_2 are constants;

λ is the wavelength,

T is the temperature;

$\varepsilon(\lambda, T)$ is the spectral and temperature dependent emissivity (i.e. spectral emissivity) of the surface.

The total emissive power (i.e. radiant exitance) or the heat flux can be calculated by using the generalised Stefan-Boltzmann equation which includes an emissivity

$$M(T) = \varepsilon(T) \cdot \sigma_{\text{SB}} \cdot T^4 \quad (\text{A.2})$$

where

σ_{SB} is the Stephan-Boltzmann constant;

$\varepsilon(T)$ is a spectrally weighted temperature dependent emissivity (i.e. total emissivity) of the surface material.

In the case of grey emitters where $\varepsilon(\lambda, T) = \text{constant}$, Wien's displacement law

$$\lambda_{\text{max}} = c_W/T \quad (\text{A.3})$$

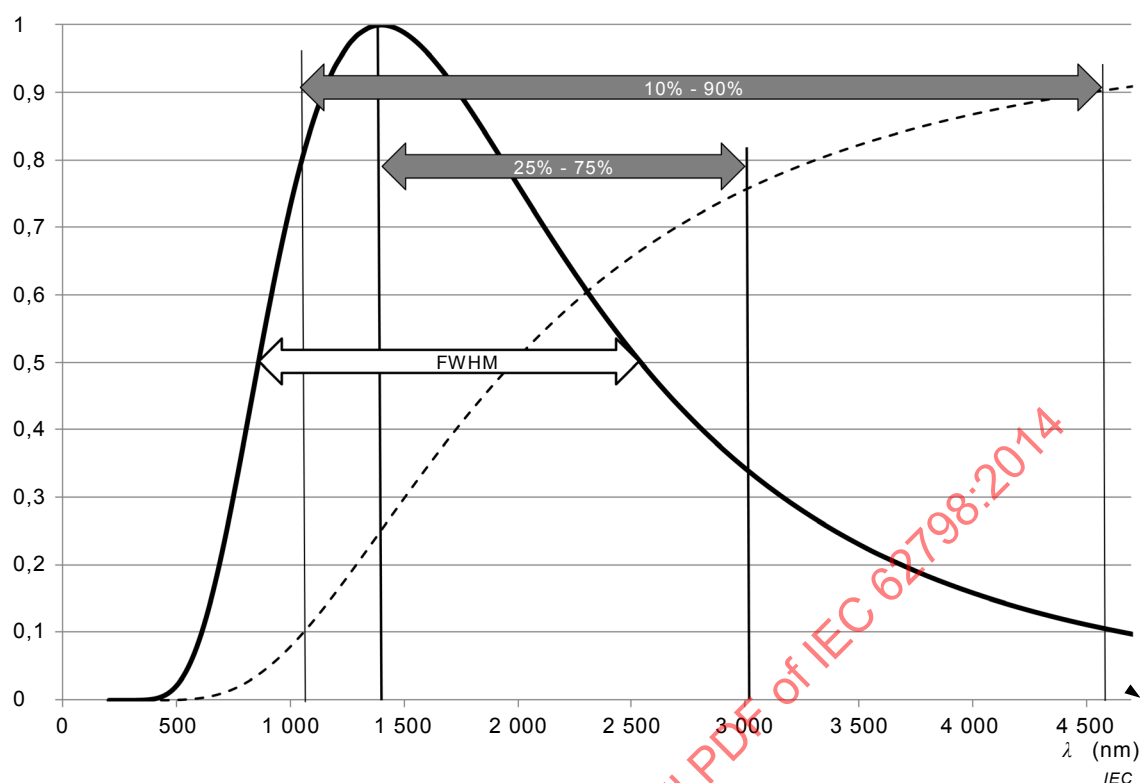
holds, where

c_W is Wien's displacement constant;

λ_{max} is the wavelength of maximum emitted power.

Figure A.1 illustrates Planck's formula for $T = 1\,800\text{ °C}$; included are some wavelength ranges which centre around the maximum of the spectral emissive power at $\lambda_{\text{max}} = 1\,400\text{ nm}$.

NOTE Another name for spectral emissive power is spectral radiant power. Another name for spectrally weighted temperature dependent emissivity is total emissivity, but the second term is usually implying that the emissivity is not temperature dependent contrary to Formula (A.3).

**Key:**

- is the spectral emissive power for a temperature of 1 800 °C, a grey or black emitter and normalised for maximum emissive power;
- - - is the accumulated emitted percentage of power for the emission shown;
- FWHM is full width at half maximum of the spectral emissive power;
- 25 % – 75 % is the spectral range of the central 50 % of the spectral emissive power;
- 10 % – 90 % is the spectral range of the central 50 % of the spectral emissive power.

Figure A.1 – Spectral emissive power and accumulated power of a grey emitter at 1 800 °C

Wien's law (A.3) does not only connect the wavelength of maximum spectral emissive power to the temperature, but does link all relevant features of Planck's curve to the temperature. This is illustrated in Table A.1 for the percentiles of power.

Table A.1 – The generalised Wien's displacement law

%	0,1	1	10	20	25	30	40	50	60	70	80	90	99	99,9
$\lambda \cdot T / c_W$	0,383	0,500	0,757	0,916	1	1,08	1,24	1,42	1,64	1,93	2,37	3,24	7,90	17,8

From this information one draws the following conclusions:

- it is sufficient to state the rated temperature of the emitter to give detailed information on the spectral emissive power;
- thermal emission is quite broadband, FWHM as well as the 25 % – 75 % range cover a wavelength range $\Delta\lambda \cong \lambda_{\max}$;
- arguments that centre on spectral match between $\lambda_{\max}$ and some specific feature of the workloads absorption spectrum are therefore quite often misleading;

- d) only for high rated temperatures is the spectral emissive power comparably small and line spectrum arguments with respect to irradiation efficiency can often be substantiated;
- e) especially the long wavelength tail of Planck's function often leads to heating of the workload independent of specific features of absorption;
- f) a strong argument in favour of higher rated temperature is the increase in available power density of the infrared emitter.

A.3 Emissivity

Materials used for infrared sources or emitting surfaces are usually

- refractory metals like tungsten,
- carbon,
- oxidic ceramics like silicon dioxide, alumina, zirconia, chromium oxide, but can contain a broad range of other oxides. In all cases, a high emissivity gives high emitted power at low temperature.

The spectral emissivity of these materials is well known, but the shape and structure of the emitting surface influences emissivity as well, especially the surface state

- tungsten is used in coils which leads to a near grey emissivity at about 0,5 to 0,7 for all relevant wavelengths;
- carbon filaments show very rugged surfaces with a grey emissivity between 0,9 and 1,0;
- oxidic surfaces can vary in spectral emissivity between 0,5 and 1,0.

These variations in spectral emissivity cause only small variation of the emitted spectrum due to the structure of Planck's law (A.1). To achieve meaningful observable difference of an emission spectrum to a grey emissive spectrum, a variation in spectral emissivity in the range of one order of magnitude is necessary in the 10 % to 90 % wavelength range.

A.4 Conservation of étendue

The optical area-solid angle invariant or étendue is relevant for understanding energy transfer in infrared electroheating [15]. Especially relevant and limiting is the concept of conservation of étendue for the engineering of optical systems intended for a high acceptance and transmission of power. It is one of the basic laws of physics. It states that an optical funnel is not feasible and limits the available power density on any surface irradiated by thermal sources to a value near the emitted power density of the source.

Annex B (informative)

Infrared classification not used in this standard

As many different names and concepts are used in infrared emitter technology, this Annex B gives a classification not used in this standard, but known to industry. This standard uses a classification that conforms to IEC 62471:2006 [3] and definition 3.1.1. An alternative, based on terminology according to IEC 60050-841:2004 is presented in Table B.1.

**Table B.1 – Classification based
on terms defined in IEC 60050-841:2004**

Spectral band (peak wavelength in which)	Rated temperature of thermal emitter	Common category	Comments
shortwave infrared radiation (IEV 841-24-04) 780 nm to 2 000 nm	more than 1 180 °C	– halogen emitter – tungsten quartz tube emitter – arc lamps – graphite heating rods – molybdenum disilicide heating elements	this includes all IR-A and large parts of IR-B
mediumwave infrared radiation (IEV 841-24-03) 2 000 nm to 4 000 nm	450 °C to 1 180 °C	– ceramic emitter – heating wire made from nickel-chromium alloys – nichrome – heating wire made from alloys of chromium, aluminum and iron – quartz tube emitter with heating wire coil (Cr, Al, Fe) – quartz tube emitter with carbon filament – quartz tube emitter with tungsten coil – silicon carbide heating rods	this includes parts of IR-B and parts of IR-C
longwave infrared radiation (IEV 841-24-02) 4 000 nm to 1 mm	less than 450 °C	– metal tube – ceramic emitter – electroheating film emitter	this wavelength range is not in the scope of this standard

Annex C (normative)

Measurement of spectral emission and spectral data of the emitter

C.1 General

The following comparative method for measuring of spectral data is recommended in this standard, as this method directly integrates the necessary calibration into the measurement and thus reduces error sources caused through absorption from atmospheric gases or drift of the equipment. Thus the temperature dependent emitted power as defined in Formula (A.1) can be measured with a simple approach.

C.2 Comparative method

A high quality blackbody operating preferably near the rated temperature of the measured surface is used as direct reference. Its temperature shall be known to ± 2 K and be kept at ± 2 % temperature variation throughout the measurement. Preferred are ITS90 [16] blackbodies with an emissivity exceeding 99 %.

The measurement is performed at stationary conditions of the emitter.

The spectral radiant exitance is measured spectrally and resolved by use of a grating monochromator. The spectral resolution of the grating monochromator shall at least be 1 % of the peak wavelength of the blackbody (e.g. 10 nm for $\lambda_{\max} = 1\,000$ nm). A pyroelectric detector is preferably used as a sensor in the infrared and a silicon detector is used as a sensor in the visible and UV.

The temperature of the blackbody is set close to the expected rated or maximum temperature of the test sample. The relative radiation spectra of the blackbody and of the tested emitter are measured under identical conditions either one after the other, or preferably by measuring both for each measurement wavelength.

The wavelength dependent spectral radiant exitance can be calculated by

$$M(\lambda, T) = \frac{S(\lambda, T)}{S_b(\lambda; T_b)} M_b(\lambda; T_b) \quad (\text{C.1})$$

where

$M(\lambda; T)$ is the spectral radiant exitance of the tested emitter in $\text{W}/(\text{cm}^2 \cdot \mu\text{m})$;

$M_b(\lambda; T_b)$ is the spectral radiant exitance of the blackbody in $\text{W}/(\text{cm}^2 \cdot \mu\text{m})$;

$S(\lambda; T)$ is the signal output of the measuring system for the tested emitter;

$S_b(\lambda; T_b)$ is the signal output of the measuring system for the reference blackbody;

T_b is the temperature of the blackbody

if the measurement signal is a voltage and this voltage is a linear function of the irradiance.

C.3 Measurement of the spectral emissivity

The spectral emissivity is defined as the ratio between the spectral radiant flux emitted by a surface and the spectral radiant flux emitted by a blackbody being at the same temperature as the surface. The surface may be the source of the emitter.

The spectral emissivity is measured by comparing the irradiation of the measured surface with the irradiation caused by a blackbody of identical temperature usually through using the comparative method as defined in Clause C.2. It is calculated using

$$\varepsilon(\lambda, T) = \frac{S(\lambda, T)}{S_b(\lambda, T)} \varepsilon_b(T) \quad (\text{C.2})$$

where

$\varepsilon_b(T)$ is the effective emissivity of the blackbody.

It is assumed that all geometrical effects can be neglected.

The surface temperature of the emitter may be controlled and measured by precision temperature controllers with contact thermometers or thermocouples.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62798:2014

Annex D (informative)

Zonal spherical factors

The zonal spherical factors needed in 7.5.7 and provided in Table D.1 are derived using the geometry of Figure D.1.

Table D.1 – Zonal spherical factors and corresponding angles

Angular range in °	Zonal spherical factor $\alpha/10^{-2}$
0 – 5	2,39
5 – 10	7,15
10 – 15	11,86
15 – 20	16,49
20 – 25	20,97
25 – 30	25,31
30 – 35	29,46
35 – 40	33,37
40 – 45	37,03
45 – 50	40,41
40 – 45	37,03
45 – 50	40,41
50 – 55	43,39
55 – 60	46,23
60 – 70	99,26
70 – 80	105,79
80 – 90	109,11

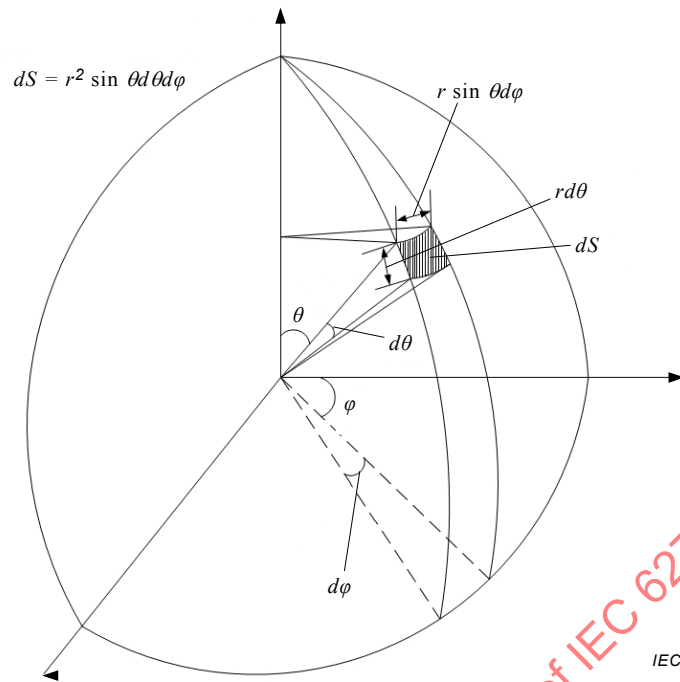


Figure D.1 – Illustration of the measurement geometry for zonal spherical factors

The irradiance on a spherical surface which fully encircles the emitter amounts to

$$E_{\text{tot}} = \iint E(\theta, \varphi) dS = \int_{\varphi=0}^{2\pi} \int_{\theta=0}^{\frac{\pi}{2}} E(\theta, \varphi) r^2 \sin \theta d\theta d\varphi \quad (\text{D.1})$$

where

$E(\theta, \varphi)$ is the irradiance on a sphere with the angular coordinates (θ, φ) ;

r is the radius of the sphere.

The distributed radiometric method is based on the assumption that $dE = E(\theta, \varphi) dS$. So if the spherical surface is divided into a number of zonal spherical rings in accordance with the different angles θ

$$E_{\text{tot}} = \iint E(\theta, \varphi) dS = \int_0^{2\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} E(\theta, \varphi) r^2 \sin \theta d\theta d\varphi = r^2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} E_{\theta} (2\pi \sin \theta) d\theta = r^2 \sum_{\theta=0}^{\theta=90^{\circ}} E_{\theta} \alpha_{\theta} \quad (\text{D.2})$$

where

E_{θ} is the average irradiance on a zonal spherical for the corresponding angle;

α_{θ} is the zonal factor;

Annex E (informative)

Distribution of measurement positions for temperature measurements

E.1 Reference operating temperature

The reference operating temperature corresponds to the total radiant power of the emitter; it usually differs from the rated temperature in 7.4.1 and is therefore included. It is defined as the average temperature measured on the effective emitting surface of the emitter.

The reference operating temperature is measured at rated voltage and standard environmental condition. Information on reference operating temperature measurements at deviating environmental conditions should include a statement describing the conditions of measurement. The measurement should be performed at stationary conditions. The reference operating temperature measuring points on the surface of emitters are indicated in 7.4.9.

In case of emitters where the source is clearly not the outer surface of the emitter (for example quartz tube emitter), the emitted radiation comes at the same time from the surface and the internal source (e.g. the filament of the emitter). In this case, the reference operating temperature may be defined as the distribution temperature.

In accordance with radiometric definitions, when the spectral radiant power distribution of the sample in a specific spectral range is identical (or similar) to the distribution of the blackbody, the blackbody temperature is called the distribution temperature of the sample.

The measurement method for distribution temperature as given in 7.4.10 can be used.

E.2 Temperature distribution coefficient

The temperature measuring points on the surface of emitters can be equally spaced over the surface of the emitter or non-equally spaced, depending on the aim of the tests.

The temperature of the geometric centre of the source is the highest measured temperature in many cases. Therefore, the geometric centre is artificially specified as a reference point for the measurement.

- The geometric centre of a cylinder surface can be determined when it is unfolded to become a rectangular plane.
- The radiant surface is the effective emitting outer surface of the emitter. Therefore the geometric centre is artificially specified as a reference point of measurement.

The temperature distribution coefficient of the temperature can be calculated using

$$a = \frac{1}{T_z} \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (T_i - T_z)^2} \quad (\text{E.1})$$

where

T_z is the temperature value at the geometrical centre of the radiant surface in K;

T_i is the temperature value of the i -th measurement position in K;

n is the number of measurement positions.

Annex F (informative)

End of life criteria for infrared emitter

The lifetime of an individual infrared emitter as well as the lifetime of a batch of emitters is affected at least by one of the following factors:

- a variation in production parameters during manufacturing of emitters intended to be identical, for example re-crystallisation of tungsten wire prior to use;
- a variation in the materials used for manufacturing of emitters intended to be identical;
- vibration, shock or acceleration of the emitter when transported, stored or idle;
- vibration, shock or acceleration of the emitter during operation;
- exposure to corrosive gases, dust, dirt or liquids during transport, storage and operation;
- atmospheric pressure when operating, vacuum conditions;
- temperature of the emitter or the emitter surface affected inter alia by gas temperature, gas movement, temperature of and irradiation from surrounding surfaces or the charge, irradiation from other infrared emitters;
- mechanical stress due to mounting or incorrect mounting;
- cycling operation of the emitter – number of cycles, temperature difference in cycle;
- robustness of the emitter itself depending on physical parameters and material strength;
- actual line voltage including voltage fluctuations;
- actual operating power setting of the emitter;
- operation errors and equipment faults;
- unavoidable external influences such as lightning strokes near the equipment causing field-waves or pulses to the equipment.

Therefore any lifetime statement is only valid for a limited set of parameters kept constant during a test.

Table F.1 lists instantaneous and usually clear indications that an emitter is no longer operating as intended.

Table F.2 lists gradual degradations that can lead to the point where the emitter is no longer able to perform as necessary for the process or as intended, but can strictly speaking be still operating.

Table F.1 – Instantaneous end-of-life

Failure	Description	Applicable	Root causes
electric	the moment, when resistivity of the emitter increases dramatically; usually when the filament or other conducting parts of the emitter break or fail	all emitter types	
mechanic	the moment, when the emitter breaks leading to failure of emission	all emitter types	
emitter tube	the moment, when the emitter tube loses integrity and air comes into contact with the filament, leading to electric failure	sealed emitter with for example tungsten or carbon filaments	devitrification, touching the emitter tube, tube blackening and subsequent overheating of the tube causing deformation (blow out)

Table F.2 – Gradual degradation

Degradation	Description	Applicable	Root causes
tube blackening ¹	The inner surface of the tube becoming opaque over time – radiation emitted by the filament is absorbed on this layer. A clear limit is hard to distinguish or to test for.	quartz tube emitter	evaporation of material from the filament
reflector	The reflector becomes less opaque and loses reflectivity on its functional side – accumulation of dirt on the outside may not be degrading. A clear limit is not defined. Reflectivity may be tested and assessed.	all emitter types, where reflectors are an integral part of the infrared emitter	In the case of gold reflectors it may be caused by a loss of the adhesion promoting elements from the gold layer above a specific temperature and thus indicates insufficient cooling.
emitter tube	The tube becomes opaque – radiation emitted by the filament is scattered diffusely on this layer and will be absorbed as well. Hard to assess, limits are not well defined.	quartz tube emitter	onset of devitrification of the tube or by transport of quartz glass of the tube
filament deformation	A variation filament geometry or coil pitch – leading to a variation of emitted power over the length of the emitter. Hard to assess, limits are not defined as they will depend on the process and equipment.	all emitter with a filament	
¹ A slight loss of electric power consumption is observed in tungsten coil emitter due to the increase of the filament temperature. The increasing temperature of the emitter tube in combination with absorption of radiation emitted from the filament can lead to a shift of emission to longer wavelength and an increased loss by convection. Thus radiation output decreases over time.			

Annex G (normative)

Cold state resistivity and rated power

G.1 General

This standard does not permit the use of cold-state resistivity for the estimation of rated power or other electric values of infrared emitter. Nonetheless, if a manufacturer intends to use this approach, Annex G provides minimum requirements to achieve meaningful data.

Major technical issues are:

- measurement of cold state resistivity tends to provide systematically overstated values caused by neglected external contributions dominating at ambient temperature;
- the use of different equipment or variation on measurement process will inevitably result in non-comparability of results;
- estimating the rated power from cold-state resistivity will result in systematically too low values;
- the established connection between cold-state resistivity and power will deteriorate with ageing.

G.2 Measuring with high accuracy for comparison

Independently of the feasibility of using cold state resistivity of an infrared emitter for estimation of rated power, the following defines minimum requirements for a measurement that enables comparison of data between the manufacturer and user.

For each emitter the rated power and the resistivity at room temperature are established. To make measurements comparable and reproducible, the measuring equipment shall be sufficiently exact, it shall be calibrated regularly, and the manufacturer and user shall agree on comparable measurement methods:

- Measurement accuracy for voltage over the emitter shall be class 1 or better.
- Measurement accuracy for current shall be class 1 or better.
- Resistivity measuring equipment shall use a 4 point probe and be class 1 or better.
- Calibration intervals shall not exceed one year.
- A regular round robin test is mandatory.

It is preferred that all parties involved use the same measuring equipment.

The resistivity shall be measured

- a) at constant environmental temperature, usually $20\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$;
- b) after the emitter has rested at this temperature over at least one hour without being touched or energised;
- c) the temperature needs to be kept constant and to be monitored. The temperature of the emitter shall be part of the measurement report.

G.3 Temperature influences on measurement accuracy

The temperature dependent conductivity of all metallic parts of an emitter, for example coil, internal leads, foils, external leads, cause errors in the cold state resistivity measurement if the temperature is varied. For commonly used materials in emitter manufacturing like tungsten

and molybdenum, a linear dependency between temperature and resistivity is a good estimation. Thus any error in temperature of 3 K at room temperature of approximately 293 K gives an error of 1,0 %. Measuring resistivity of an emitter that is not at the defined test temperature can easily provide an error exceeding some 10 %.

The resistivity of the coil is only part of the overall resistivity of an emitter. Small contributions come from the electrical leads, the lead through at the pinching where very small cross sections prevail and from inner connectors inside the emitter tube. These internal contributions can easily add some 10 % to the overall resistivity of the emitter.

Some electric contacts inside an emitter can contribute substantially to the overall resistivity. Resistivity can even depend on voltage applied, thus emitters having no conductivity at all in the cold state can operate very well.

G.4 Emitter manufacturing effects

The manufacturing process for emitter is usually optimised to provide a specific rated power. The resistivity of the filament can usually only be optimised for one specific voltage as resistivity depends on the following parameters:

- the actual temperature,
- the geometry of the filament, usually determined through wire diameter, pitch and diameter of the mandrel,
- the material used including its specific composition,
- manufacturing history of parts determined through mechanical rework and heating steps,
- specifics of the manufacturing process including atmosphere at heating steps.

G.5 Error contributions

The following contributes to the overall error estimation of rated power from measured cold state resistivity:

- a) a mismatch between actual source temperature and rated temperature – a difference exceeding 5 % is realistic in view of the methods for measuring rated power;
- b) the specific electric resistivity of the tungsten wire used in emitter manufacturing varies depending on material and manufacturing by up to 7 % from the specific electric resistivity of pure tungsten as given in the literature;
- c) the ageing of filaments over the emitter lifetime affects resistivity;
- d) slight changes in filament geometry are common even in a single batch, resulting in a variation of the rated temperature for each single emitter – contributing another 5 % of error.

Thus an error between 8 % under best conditions and up to 20 % is expected between estimated and true values.

Bibliography

- [1] IEC 60519-1:2010, *Safety in electroheating installations – Part 1: General requirements*
 - [2] IEC 60050 (all parts), *International Electrotechnical Vocabulary* (available at <http://www.electropedia.org>)
 - [3] IEC 62471:2006, *Photobiological safety of lamps and lamp systems*
 - [4] VDI/VDE 3511 series, *Temperature measurement in industry*
 - [5] CIE 063:1984, *The Spectroradiometric Measurement of Light Sources*
 - [6] CIE 130:1998, *Practical Methods for the Measurement of Reflectance and Transmittance*
 - [7] CIE 149:2002, *The Use of Tungsten Filament Lamps as Secondary Standard Sources*
 - [8] IEC 60079-0, *Explosive atmospheres – Part 0: Equipment – General requirements*
 - [9] CIE 114/4:1994, *CIE Collection in Photometry and Radiometry – Distribution temperature and ratio temperature*
 - [10] EN 13032-1:2004, *Light and lighting – Measurement and presentation of photometric data of lamps and luminaires – Part 1: Measurement and file format*
 - [11] CIE 084:1989, *The Measurement of Luminous Flux*
 - [12] R. Siegel, J.R. Howell, M.P. Pinar Menguc: *Thermal radiation heat transfer*. Taylor & Francis, Philadelphia: 1992
 - [13] ECSS-E-HB-31-01_Part 1A, *Thermal design handbook – Part 1: View factors*. European Cooperation for Space Standardisation, Noordwijk: 2011. (available at http://ecss.nl/forums/ecss/dispatch.cgi/publications/showFile/100198/d20111214144956/No/ECSS-E-HB-31-01_Part1A.pdf)
 - [14] M.M. Modest: *Radiative heat transfer*. Academic Press, Oxford: 2003
 - [15] R. Winston, J.C. Miñano, P. Benítez: *Nonimaging Optics*. Elsevier, Amsterdam: 2005
 - [16] ITS90, *International Temperature Scale of 1990* (available at <http://www.its-90.com>)
-

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	51
INTRODUCTION.....	52
1 Domaine d'application et objet	53
2 Références normatives	54
3 Termes et définitions	54
3.1 Généralités	55
3.2 Rayonnement.....	55
4 Classification des émetteurs de rayonnement infrarouge	56
5 Type d'essais et conditions générales pour leurs performances	58
5.1 Généralités – liste d'essais	58
5.2 Conditions d'essais	62
5.2.1 Conditions de fonctionnement pendant les essais	62
5.2.2 Environnement normalisé pour les essais	62
5.2.3 Environnement non normalisé pour les essais	62
5.2.4 Tension d'alimentation	63
5.3 Condition stationnaire	63
5.4 Nombre d'émetteurs soumis à essais	63
6 Mesures	63
6.1 Généralités	63
6.2 Résolution temporelle.....	63
6.3 Mesure des données électriques	63
6.4 Mesure de la température.....	64
6.5 Mesure d'éclairement et de luminance	65
6.6 Mesures spectrales	65
6.6.1 Généralités	65
6.6.2 Calcul destiné à remplacer la mesure	65
6.6.3 Plage spectrale requise.....	65
6.6.4 Conditions de mesure	66
6.6.5 Mesures spectrales	66
7 Essais techniques.....	66
7.1 Généralités	66
7.2 Essais concernant le culot et la douille de l'émetteur.....	66
7.2.1 Généralités	66
7.2.2 Interchangeabilité du culot et de la douille	66
7.2.3 Essai de dévissage du culot	66
7.3 Caractéristiques de consommation de l'énergie.....	67
7.3.1 Puissance assignée	67
7.3.2 Variation de la puissance avec la tension	67
7.3.3 Courant d'appel	67
7.3.4 Résistivité de l'émetteur estimée pour la puissance assignée	68
7.4 Essais de température de l'émetteur.....	68
7.4.1 Température assignée.....	68
7.4.2 Variation de la température de la source avec la tension.....	69
7.4.3 Durée d'échauffement de la source	69
7.4.4 Temps de refroidissement de la source pour les émetteurs à tube de quartz	69

7.4.5	Temps de refroidissement de la source pour les autres émetteurs.....	70
7.4.6	Temps de refroidissement du tube de quartz pour les émetteurs à tube de quartz	70
7.4.7	Répartition de la température de la source	70
7.4.8	Calcul de température moyenne d'après une image thermique	71
7.4.9	Répartition de la température de surface	71
7.4.10	Température de répartition	72
7.4.11	Robustesse thermique.....	73
7.4.12	Température de pincement des émetteurs pincés	73
7.5	Caractéristiques de rayonnement	73
7.5.1	Généralités	73
7.5.2	Répartition d'irradiation radiale des émetteurs tubulaires	74
7.5.3	Réflexivité d'un émetteur tubulaire auquel est appliqué un réflecteur	74
7.5.4	Champ d'irradiation plan produit par un émetteur	75
7.5.5	Répartition d'irradiation angulaire produite par un émetteur	75
7.5.6	Spectre émis.....	76
7.5.7	Puissance rayonnante totale assignée	76
7.5.8	Temps de réaction d'irradiation.....	77
7.6	Robustesse mécanique	77
7.6.1	Accélération.....	77
7.6.2	Vibration	78
7.7	Durée de vie des émetteurs de rayonnement infrarouge.....	78
7.7.1	Généralités	78
7.7.2	Critères de définition de la fin de vie.....	78
7.7.3	Mesure de la durée de vie	79
7.7.4	Fin de vie d'une lampe induite pour un émetteur avec enroulement en tungstène.....	79
7.7.5	Fin de vie d'une lampe induite pour un autre émetteur	80
7.7.6	Mention de la durée de vie	80
8	Rendement de l'émetteur.....	80
8.1	Généralités	80
8.2	Rendement de conversion	81
8.3	Rendement de transfert.....	81
8.3.1	Généralités	81
8.3.2	Approche simple	82
8.3.3	Lancer de rayons	82
8.4	Rendement d'irradiation	82
Annexe A (informative)	Rayonnement thermique infrarouge	83
A.1	Généralités	83
A.2	Émission spectrale	83
A.3	Émissivité	85
A.4	Conservation d'étendue.....	85
Annexe B (informative)	Classification des rayonnements infrarouges non utilisée dans la présente norme.....	86
Annexe C (normative)	Mesure de l'émission spectrale et des données spectrales de l'émetteur	87
C.1	Généralités	87
C.2	Méthode comparative	87
C.3	Mesure de l'émissivité spectrale	88

Annexe D (informative) Facteurs sphériques de zone	89
Annexe E (informative) Répartition des positions de mesure pour les mesures de température	91
E.1 Température de fonctionnement de référence	91
E.2 Coefficient de répartition de température	91
Annexe F (informative) Critères de fin de vie d'un émetteur de rayonnement infrarouge	93
Annexe G (normative) Résistivité à froid et puissance assignée	95
G.1 Généralités	95
G.2 Mesure de haute précision pour comparaison	95
G.3 Influences de la température sur l'exactitude de mesure	96
G.4 Effets de la fabrication de l'émetteur	96
G.5 Contributions aux erreurs	96
Bibliographie	97
Figure A.1 – Puissance d'émission spectrale et puissance cumulée d'un émetteur à corps gris à 1 800 °C	84
Figure D.1 – Illustration de la géométrie de mesure pour les facteurs sphériques de zone	90
Tableau 1 – Classification des émetteurs de rayonnement infrarouge par émission spectrale	58
Tableau 2 – Liste d'essais, leur application à différentes classes d'émetteurs de rayonnement infrarouge et le nombre d'émetteurs nécessaires pour les essais	60
Tableau A.1 – Loi de déplacement de Wien généralisée	84
Tableau B.1 – Classification fondée sur les termes définis dans l'IEC 60050-841:2004	86
Tableau D.1 – Facteurs sphériques de zone et angles correspondants	89
Tableau F.1 – Fin de vie instantanée	94
Tableau F.2 – Dégradation progressive	94

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

CHAUFFAGE ÉLECTRIQUE INDUSTRIEL –

Méthodes d'essais des émetteurs
de rayonnement infrarouge

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale IEC 62798 a été établie par le comité d'études 27 de l'IEC: Chauffage électrique industriel et traitement électromagnétique.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

CDV	Rapport de vote
27/938/CDV	27/942/RVC

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

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

Le contenu du corrigendum de novembre 2014 a été pris en considération dans cet exemplaire.

INTRODUCTION

La présente norme relative aux méthodes d'essais des émetteurs électrothermiques par rayonnement infrarouge fait partie des normes du CE 27 décrivant les méthodes d'essais pour divers types d'installations électrothermiques.

La présente norme n'a trait qu'aux essais relatifs aux émetteurs de rayonnement infrarouge. Les essais traitant de la performance des équipements ou des installations par rayonnement infrarouge sont couverts par l'IEC 62693, *Installations électrothermiques industrielles – Méthodes d'essais relatives aux installations électrothermiques par rayonnement infrarouge*. La raison de cette séparation réside dans le fait que les installations par rayonnement infrarouge sont généralement fabriquées par des entreprises distinctes de celles des émetteurs de rayonnement infrarouge. Pourtant, les émetteurs de rayonnement infrarouge constituent une partie très importante et distincte des installations par rayonnement infrarouge, et un ensemble d'essais permettant une caractérisation et une comparaison appropriées des différents émetteurs de rayonnement infrarouge constitue un élément précieux pour les fabricants d'installations par rayonnement infrarouge.

Le principe directeur majeur de la présente norme consiste à déterminer

- des essais simples définissant les caractéristiques de base de tous les émetteurs de rayonnement infrarouge et pouvant être réalisés à l'aide des équipements d'essai et de mesure habituels disponibles dans différents types d'entreprises, qu'elles soient grandes ou petites;
- des essais plus complexes fournissant des informations précieuses, mais nécessitant un laboratoire bien équipé.

CHAUFFAGE ÉLECTRIQUE INDUSTRIEL –

Méthodes d'essais des émetteurs de rayonnement infrarouge

1 Domaine d'application et objet

La présente Norme internationale spécifie les modes opératoires d'essais, les conditions et méthodes d'essais selon lesquels sont établis les principaux paramètres et les principales caractéristiques de fonctionnement des émetteurs industriels de rayonnement infrarouge.

Une limitation du domaine d'application de la présente norme réside dans le fait que les émetteurs de rayonnement infrarouge ont une émission spectrale maximale aux longueurs d'onde supérieures à 780 nm dans l'air ou dans le vide, et émettent des spectres continus à large bande tels que par rayonnement thermique ou arcs à haute pression.

L'IEC 60519-1:2010 [1]¹ définit le rayonnement infrarouge en tant que rayonnement optique dans la plage des fréquences comprises entre approximativement 400 THz et 300 GHz. Cela correspond à la plage des longueurs d'onde comprises entre 780 nm et 1 mm dans le vide. Le chauffage industriel par rayonnement infrarouge utilise habituellement des sources de rayonnement infrarouge dont les températures assignées sont comprises entre 500 °C et 3 000 °C; le rayonnement émis par ces sources prédomine dans la plage des longueurs d'onde comprises entre 780 nm et 10 µm.

Les émetteurs industriels de rayonnement infrarouge relevant du domaine d'application de la présente norme utilisent généralement l'effet Joule pour la conversion de l'énergie électrique à l'intérieur d'une ou de plusieurs sources en rayonnement infrarouge, émis par un ou plusieurs éléments. Ces émetteurs de rayonnement infrarouge sont en particulier

- des émetteurs de rayonnement infrarouge thermiques en céramique de forme tubulaire, en forme de plaque ou encore d'autres formes comportant à l'intérieur un élément résistif;
- des émetteurs de rayonnement infrarouge à lampe halogène ou tube en verre de quartz comportant un filament chaud en tant que source;
- des éléments non isolés constitués de disiliciure de molybdène, de carbure de silicium, d'alliages fer-chrome-aluminium ou de matériaux comparables;
- des lampes à arc à large spectre.

La présente norme ne s'applique pas aux

- émetteurs de rayonnement infrarouge qui sont des lasers ou des diodes électroluminescentes (DEL);
- émetteurs de rayonnement infrarouge destinés au grand public;
- émetteurs de rayonnement infrarouge de laboratoire.

La plupart des essais décrits, en particulier les essais destructifs, sont des essais de type.

Les essais spécifiés dans la présente norme sont destinés à être utilisés pour évaluer ou comparer la performance d'émetteurs appartenant à la même catégorie.

Les essais liés à la performance des installations électrothermiques industrielles par rayonnement infrarouge sont spécifiés dans l'IEC 62693:2013.

¹ Les chiffres entre crochets se réfèrent à la bibliographie.

La plupart des essais spécifiés dans la présente norme s'appliquent aux lampes à arc à large spectre, mais pas tous.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

IEC 60061-1, *Culots de lampes et douilles ainsi que calibres pour le contrôle de l'interchangeabilité et de la sécurité – Première partie: Culots de lampes*

IEC 60061-2, *Culots de lampes et douilles ainsi que calibres pour le contrôle de l'interchangeabilité et de la sécurité – Partie 2: Douilles*

IEC 60061-3, *Culots de lampes et douilles ainsi que calibres pour le contrôle de l'interchangeabilité et de la sécurité – Partie 3: Calibres*

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

IEC 60068-2-7, *Essais fondamentaux climatiques et de robustesse mécanique – Partie 2-7: Essais – Essai Ga et guide: Accélération constante*

IEC 60432-1:1999, *Lampes à incandescence – Prescriptions de sécurité – Partie 1: Lampes à filament de tungstène pour usage domestique et éclairage général similaire*

IEC 60432-1:1999/AMD1:2005

IEC 60432-1:1999/AMD2:2011

IEC 60519-12, *Sécurité dans les installations électrothermiques – Partie 12 Exigences particulières pour les installations électrothermiques par rayonnement infrarouge*

IEC 60682:1980, *Méthode normale pour la mesure de la température au pincement des lampes tungstène-halogène-quartz*

IEC 60682:1980/AMD1:1987

IEC 60682:1980/AMD2:1997

IEC 62693:2013, *Installations électrothermiques industrielles – Méthodes d'essais relatives aux installations électrothermiques par rayonnement infrarouge*

EN 993-11, *Méthodes d'essai pour produits réfractaires façonnés denses – Partie 11: Détermination de la résistance au choc thermique*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de l'IEC 60519-12, de l'IEC 62693, ainsi que les suivants, s'appliquent.

NOTE Les définitions générales figurent dans le Vocabulaire Électrotechnique International, IEC 60050 [2]. Les termes liés au chauffage électrique industriel sont définis dans l'IEC 60050-841.

3.1 Généralités

3.1.1

rayonnement infrarouge

rayonnement optique pour lequel les longueurs d'onde sont supérieures à celles du rayonnement visible

Note 1 à l'article: La gamme de rayonnement infrarouge comprise entre 780 nm et 1 mm est habituellement subdivisée en:

IR-A de 780 nm à 1 400 nm ou, pour un émetteur à corps gris, une température de surface comprise entre 3 450 °C et 1 800 °C;

IR-B de 1 400 nm à 3 000 nm ou, pour un émetteur à corps gris, une température de surface comprise entre 1 800 °C et 690 °C;

IR-C de 3 000 nm à 1 mm ou, pour un émetteur à corps gris, une température de surface inférieure à 690 °C;

La température correspond à un spectre où l'intensité maximale se situe à la longueur d'onde de la limite.

Ces gammes sont conformes à l'IEC 62471:2006 [3].

Note 2 à l'article: Les termes suivants sont définis dans l'IEC 60050-841:2004:

841-24-04 – rayonnement infrarouge court ou rayonnement dans le proche infrarouge (780 nm à 2 µm);

841-24-03 – rayonnement infrarouge moyen (2 µm à 4 µm);

841-24-02 – rayonnement infrarouge long (4 µm à 1 mm).

Ces termes ne sont pas utilisés dans la présente norme.

[SOURCE: IEC 60519-12:2013, 3.101]

3.1.2

catégorie d'émetteurs

groupe d'émetteurs utilisant le même principe pour appliquer l'énergie thermique à la charge de travail

3.1.3

courant d'appel

fort courant de courte durée dans une lampe, apparaissant pendant la période transitoire, depuis le moment de l'application d'une tension à un émetteur froid jusqu'au régime établi

3.1.4

durée de vie électrique moyenne

durée de fonctionnement nette des émetteurs de rayonnement infrarouge à tension assignée dans les conditions prévues lorsque 50 % de l'ensemble des émetteurs fonctionnent toujours

3.2 Rayonnement

3.2.1

puissance rayonnante

flux énergétique

puissance émise, transmise ou reçue sous forme de rayonnement

3.2.2

éclairage

irradiation

quotient de la puissance rayonnante incidente sur un élément de surface contenant le point, par l'aire de cet élément

3.2.3

luminance

grandeur L définie par la formule
$$L = \frac{d\Phi}{dA \cdot \cos \theta \cdot d\Omega}$$

où

$d\Phi$ est la puissance rayonnante ou le flux énergétique transmis par un faisceau élémentaire passant par le point donné et se propageant dans l'angle solide contenant la direction donnée;

$d\Omega$ est l'angle solide;

dA est l'aire d'une section de ce faisceau contenant le point donné;

$\cos\theta$ est l'angle entre la normale à cette section et la direction du faisceau.

3.2.4

exitance énergétique, <d'un corps>

quotient du flux énergétique émis par un corps dans l'espace hémisphérique (2π sr) par l'aire unitaire de surface de ce corps

Note 1 à l'article: Le corps peut être un émetteur de rayonnement infrarouge ou une source d'un émetteur de rayonnement infrarouge.

3.2.5

répartition spectrale

spectre

quotient d'une grandeur énergétique $dX(\lambda)$ contenue dans un intervalle élémentaire $d\lambda$ de longueur d'onde encadrant la longueur d'onde λ par cet intervalle

Note 1 à l'article: Le terme répartition spectrale est préféré lorsqu'on considère la fonction $X(\lambda)$ sur un large intervalle de longueurs d'onde, et pas à une longueur d'onde particulière.

3.2.6

luminance spectrale

rapport de la puissance rayonnante $d\Phi(\lambda)$ passant par un point et se propageant à l'intérieur de l'angle solide $d\Omega$ dans la direction donnée, sur le produit de l'intervalle de longueurs d'onde $d\lambda$ et l'aire d'une section de ce faisceau sur un plan perpendiculaire à cette direction ($\cos\theta \cdot dA$) contenant le point donné et sur l'angle solide $d\Omega$

3.2.7

exitance énergétique spectrale

quotient du flux énergétique émis par un corps dans l'espace hémisphérique (2π sr) par l'aire unitaire de surface de ce corps et par l'intervalle de longueurs d'onde unitaire

3.2.8

répartition d'irradiation radiale

irradiation produite par tout émetteur à symétrie axiale sur une circonférence autour de l'axe de symétrie de l'émetteur sur un plan perpendiculaire à cet axe et centré à mi-longueur de l'émetteur

Note 1 à l'article: La symétrie axiale ne signifie pas la circularité.

3.2.9

puissance rayonnante totale assignée

puissance rayonnante émise par l'émetteur à tension assignée

4 Classification des émetteurs de rayonnement infrarouge

Les émetteurs industriels de rayonnement infrarouge les plus courants qui entrent dans le domaine d'application de la présente norme émettent un spectre thermique à large bande. L'Annexe A donne les définitions et les concepts de base du rayonnement thermique infrarouge. Un émetteur thermique présente habituellement une corrélation nette entre le maximum de la puissance rayonnante spectrale et la température de la source de l'émetteur, appelée loi de Wien; dans ce cas, la température assignée indique le spectre de l'émetteur. Les lampes à arc génèrent un spectre non thermique.

L'élément de conception le plus pertinent des émetteurs de rayonnement infrarouge ayant une influence sur le diagramme d'irradiation spatiale est constitué de la taille et de la dimension de la surface de la source émettant le rayonnement. Puisque les émetteurs industriels de rayonnement infrarouge se trouvent habituellement au voisinage immédiat de la charge de travail, ils sont constitués de

- très petites sources pouvant être considérées comme des sources ponctuelles, par exemple de petites ampoules ou lampes à arc avec un arc très court; un laser infrarouge et une DEL sont également des sources ponctuelles, mais ne font pas partie du domaine d'application de la présente norme;
- sources linéaires presque idéales, par exemple émetteur à halogène, émetteur à bobine en tungstène, lampes à arc ou lampes flash; leur source peut être incurvée;
- sources tubulaires ou linéaires de grand diamètre, par exemple émetteurs à tube céramique, barreaux chauffants faits de matériaux tels que du graphite ou du carbure de silicium;
- sources planes ou bidimensionnelles, par exemple émetteurs du type carreau de céramique.

Les sources de rayonnement peuvent être divisées en sources quasi-ponctuelles et sources étendues selon les dimensions de la source et la distance d'observation. Si la distance entre la source de rayonnement de l'émetteur et le point d'observation est supérieure à 10 jusqu'à 50 fois la dimension maximale de la source de rayonnement, cette source peut être considérée comme ponctuelle. Dans la plupart des installations industrielles, les émetteurs de rayonnement infrarouge sont situés au voisinage immédiat de la charge de travail et sont ainsi des sources étendues. La valeur approximative de 10 à 50 dépend du problème et de l'exactitude prévue d'une mesure.

NOTE 1 Lorsque la distance d'observation est supérieure à 10 fois la dimension maximale de la source de rayonnement, l'erreur résultante du calcul de l'éclairement est inférieure à 1 %.

Des émetteurs industriels de rayonnement infrarouge couramment disponibles classés en fonction de leur émission spectrale et de leurs températures assignées sont énumérés dans le Tableau 1.

NOTE 2 Dans l'industrie, une classification différente de celle qui est utilisée dans la présente norme et qui est donnée en 3.1.1 est également connue. Elle est donnée pour information à l'Annexe B.

**Tableau 1 – Classification des émetteurs
de rayonnement infrarouge par émission spectrale**

Bande spectrale où se produit le maximum d'émission	Température assignée de l'émetteur thermique	Catégorie	Commentaires
IR-A 780 nm à 1 400 nm	1 800 °C à 3 450 °C	– émetteur à halogène – émetteur à tube de quartz au tungstène – diodes laser de forte puissance¹ – diode électroluminescente¹ – lampe à arc¹	Les autres noms de cette plage spectrale utilisés dans l'industrie sont: proche infrarouge, NIR, ondes courtes ² .
IR-B 1 400 nm à 3 000 nm	690 °C à 1 800 °C	– émetteur à halogène – émetteur à tube de quartz au tungstène – émetteur à céramique – fil chauffant fait d'alliages nickel-chrome, nichrome – fil chauffant fait d'alliages nickel-chrome ou fer-chrome-aluminium – émetteur à tube de quartz avec enroulement de fil chauffant (Cr, Al, Fe) – émetteur à tube de quartz avec filament en carbone – émetteur à tube de quartz avec enroulement en tungstène – barreau chauffant en carbure de silicium – barreau chauffant en graphite – élément chauffant en disiliciure de molybdène – élément tubulaire métallique à haute température – élément céramique à haute température	Un autre nom de cette plage spectrale utilisé dans l'industrie est "ondes moyennes" ² .
IR-C 3 000 nm à 1 mm	< 690 °C	– élément tubulaire métallique – élément émetteur céramique	N'appartient pas au domaine d'application de la présente norme, si la convection prédomine.
¹ inclus uniquement à titre indicatif; la température assignée n'est pas applicable			
² ondes courtes et ondes moyennes peuvent indiquer des plages spectrales différentes, voir l'Annexe B			

5 Type d'essais et conditions générales pour leurs performances

5.1 Généralités – liste d'essais

Le Tableau 2 résume les essais couverts par la présente norme et leur application à différentes catégories d'émetteurs de rayonnement infrarouge. Il comporte également des

références à d'autres normes avec les essais applicables. Des essais additionnels peuvent être couverts par les manuels de mise en service et de fonctionnement publiés par le fabricant ou ils peuvent être convenus entre le fabricant et l'utilisateur.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62798:2014

Tableau 2 – Liste d'essais, leur application à différentes classes d'émetteurs de rayonnement infrarouge et le nombre d'émetteurs nécessaires pour les essais

Essai	Paragraphes	Catégorie d'émetteur				Fabrication 1				
		Élément chauffant ouvert	Élément chauffant céramique	Quartz infrarouge	Quartz halogène	Normalisée, fabrication en grande quantité	Fabrication sur commande			
géométrie de l'émetteur	-	l'essai est défini entre le fabricant et l'utilisateur								
interchangeabilité du culot et de la douille, normalisée	7.2.1	non applicable	Si l'on utilise des combinaisons de culot et de douille selon les Parties 1, 2 et 3 de la série IEC 60061, l'IEC 60061-3 s'applique.							
interchangeabilité du culot et de la douille, autre	7.2.2	comme convenu entre le fabricant et l'utilisateur								
essai de dévissage du culot	7.2.3	non applicable	l'IEC 60432-1 est applicable aux culots couverts par la présente norme				1/100 ou 1/lot			
puissance assignée	7.3.1	applicable					1/100			
variation de puissance avec la tension	7.3.2									
courant d'appel	7.3.3	habituellement non nécessaire	habituellement applicable ¹	applicable ²	1/type					
résistivité de l'émetteur estimée pour la puissance assignée	7.3.4	peut s'appliquer		non applicable						
température assignée	7.4.1	applicable					l'IEC 60432-1 s'applique	1/lot		
variation de la température de la source avec la tension	7.4.2									
durée d'échauffement de la source	7.4.3									
durée de refroidissement	7.4.4, 7.4.5, 7.4.6	refroidissement de la source = refroidissement de la surface en 7.4.5	refroidissement de la source = refroidissement de la surface en 7.4.4	refroidissement de la source en 7.4.4	1/type					
homogénéité en température	7.4.8	applicable					1/type après modification de fabrication			
répartition de la température de surface	7.4.9									
température de répartition	7.4.10									
robustesse thermique	7.4.11	applicable		non applicable	dépend de l'application	10/type				

Tableau 2 (suite)

Essai	Paragraphes	Catégorie d'émetteur				Fabrication	
		Élément chauffant ouvert	Élément chauffant céramique	Quartz infrarouge	Quartz halogène	Normalisée, fabrication en grande quantité	Commande
température de pincement	7.4.12	non applicable	IEC 60682				
répartition d'irradiation radiale des émetteurs tubulaires	7.5.2	applicable aux émetteurs avec source linéaire ou tubulaire				1/type, après modification de fabrication	1/type
réflectivité de l'émetteur tubulaire	7.5.3						
champ d'irradiation sur une surface	7.5.4						
champ d'irradiation angulaire	7.5.5	applicable					
spectre émis	7.5.6, Annexe C						
puissance rayonnante totale assignée	7.5.7						
temps de réaction d'irradiation	7.5.8	se reporter au 7.7.1.				IEC 60432-1:1999, Annexe D	non applicable
résistivité d'accélération	7.6.1						
résistivité de vibration	7.6.2						
mesure de la durée de vie	7.7.3	non applicable, mais peut faire l'objet d'un accord entre le fabricant et l'utilisateur, se reporter au 7.7.1				IEC 60432-1:1999, Annexe D	non applicable
fin de vie de la lampe induite	7.7.4 7.7.5	applicable, se reporter au 7.7.1.				non applicable	non applicable
mention de la durée de vie	7.7.6	Les définitions utilisées sont les suivantes:					
1 lot est un lot de fabrication ou un lot d'un produit unique; type est un type identifiable se distinguant des autres émetteurs fabriqués par une caractéristique spécifique au moins; modifications de fabrication correspondent aux modifications pouvant avoir une influence sur les émetteurs fabriqués et pouvant avoir une influence sur les résultats des mesures.							
2 Applicable aux filaments réalisés dans des matériaux présentant une augmentation notable de résistivité spécifique avec la température, tels que le tungstène, le molybdène, l'osmium et le platine.							

¹ Les définitions utilisées sont les suivantes:

- lot est un lot de fabrication ou un lot d'un produit unique;
- type est un type identifiable se distinguant des autres émetteurs fabriqués par une caractéristique spécifique au moins;
- modifications de fabrication correspondent aux modifications pouvant avoir une influence sur les émetteurs fabriqués et pouvant avoir une influence sur les résultats des mesures.

² Applicable aux filaments réalisés dans des matériaux présentant une augmentation notable de résistivité spécifique avec la température, tels que le tungstène, le molybdène, l'osmium et le platine.

5.2 Conditions d'essais

5.2.1 Conditions de fonctionnement pendant les essais

Les conditions de fonctionnement pendant les essais doivent se situer dans la plage des conditions normales de fonctionnement de l'émetteur soumis à essai et représenter ainsi l'utilisation du produit prévue par le fabricant en excluant les configurations d'utilisation extrêmes, une mauvaise utilisation délibérée ou des modifications non autorisées. Des configurations d'utilisation extrêmes peuvent être convenues entre le fabricant et l'utilisateur.

Toutes les conditions d'environnement influant sur les résultats des mesures doivent être contrôlées pendant les essais et figurer dans le rapport de mesure. Ceci inclut

- a) la température de l'environnement, y compris les surfaces chaudes au voisinage;
- b) la température de l'air utilisé pour le refroidissement;
- c) l'humidité relative et l'humidité absolue de l'air aux températures où l'on s'attend à de la condensation, c'est-à-dire en dessous de 100 °C le cas échéant;
- d) les vibrations ou les infrasons.

Tous les essais doivent être effectués l'émetteur rayonnant en espace libre, ou seulement sur des surfaces suffisamment refroidies et absorbant les rayonnements à moins de 50 °C au voisinage pour éviter tout échauffement de l'émetteur par le voisinage.

L'émetteur doit être positionné de sorte à ne pas entraver la convection libre. La convection libre n'est pas entravée si la distance par rapport à l'objet suivant dans toutes les directions y compris au-dessous de l'émetteur est au moins égale à 10 fois le diamètre du tube émetteur ou 10 fois la plus grande dimension d'un émetteur plan.

5.2.2 Environnement normalisé pour les essais

Tous les essais doivent être effectués

- a) dans des conditions d'environnement normalisées, à température ambiante dans la plage comprise entre 5 °C et 40 °C et avec une humidité relative de l'air inférieure à 95 %,
- b) à une altitude inférieure à 1 000 m au-dessus du niveau de la mer,
- c) sans convection forcée de l'air appliqué sauf indication contraire.

La température ambiante est considérée comme une valeur moyenne. Toutes les grandeurs qui dépendent de la température ambiante doivent se référer à la température ambiante de 20 °C, dite température ambiante de référence.

5.2.3 Environnement non normalisé pour les essais

Tous les essais peuvent être effectués dans des conditions qui s'écartent de l'environnement normalisé défini en 5.2.2 si les émetteurs de rayonnement infrarouge sont destinés à être utilisés dans ces conditions. Des exemples sont

- à une pression de vide dans une chambre à vide avec parois froides, c'est-à-dire à moins de 70 °C;
- à une température élevée de l'air environnant;
- avec convection forcée dans un courant d'air de vitesse ou débit massique défini.

Le fabricant et l'utilisateur peuvent décider d'effectuer les essais dans les conditions d'environnement disponibles prévues à l'intérieur de l'équipement.

5.2.4 Tension d'alimentation

Les limites de la tension d'alimentation ne doivent pas dépasser celles qui sont définies par le fabricant pour l'objectif visé.

La tension d'alimentation appliquée à l'émetteur doit être contrôlée au cours des essais.

Toutes les mesures des valeurs électriques spécifiques définies à l'Article 6 doivent inclure les données mesurées de la tension d'alimentation appliquée à l'émetteur au cours de la mesure.

5.3 Condition stationnaire

Les émetteurs ont généralement besoin de temps pour atteindre une condition stationnaire après des modifications des conditions environnementales ou de la tension appliquée. Celle-ci est atteinte lorsque le courant, la puissance et la température de l'émetteur ne varient plus dans le temps.

Des périodes types sont de 2 min à 5 min pour les émetteurs à tube de quartz et de 10 min à 15 min pour les émetteurs à céramique.

5.4 Nombre d'émetteurs soumis à essais

Les émetteurs utilisés pour les essais doivent être prélevés au hasard dans un lot de fabrication. Les émetteurs brisés doivent être remplacés à partir du même lot de fabrication. Le Tableau 2 définit le nombre minimum d'émetteurs nécessaires pour les essais mentionnés dans la présente norme.

6 Mesures

6.1 Généralités

Il est recommandé plus d'une mesure pour les essais définis dans la présente norme. Un enregistreur de données ou un système électronique d'acquisition de données multicanaux doit être utilisé pour les mesures à résolution temporelle. Un tel dispositif mesure et enregistre automatiquement les données nécessaires dans un format lisible par un ordinateur.

6.2 Résolution temporelle

La résolution temporelle nécessaire de l'équipement de mesure et du taux de sauvegarde des données du dispositif de stockage dépend de l'émetteur et des essais spécifiques à entreprendre. La fréquence de mesure et la fréquence de stockage doivent être suffisamment élevées pour que toutes les variations de signal appropriées soient enregistrées.

6.3 Mesure des données électriques

6.3.1 Tous les équipements de mesure de la tension doivent être de classe 2.0 ou supérieure. L'équipement de mesure du courant alternatif doit être en mesure d'indiquer la valeur efficace vraie indépendamment de la forme d'onde.

6.3.2 Tous les équipements de mesure du courant doivent être de classe 2.0 ou supérieure. L'équipement de mesure du courant s'agissant du courant alternatif doit être à même de mesurer la valeur efficace vraie indépendamment de la forme d'onde.

6.3.3 Tous les équipements de mesure de la consommation d'énergie doivent être de classe 2.0 ou supérieure. L'équipement de mesure de la consommation d'énergie s'agissant du courant alternatif doit être à même de mesurer la valeur efficace vraie indépendamment de la forme d'onde.

6.3.4 L'équipement de mesure des effets transitoires tels que le courant d'appel, les valeurs réelles de tension, de courant ou de puissance, ne doit pas faire une moyenne ou fournir une valeur efficace, s'écartant ainsi des exigences du 6.3.1 au 6.3.3. Il doit avoir une résolution temporelle suffisante, comme défini en 6.2.

6.3.5 Les mesures de toutes les tensions appliquées à l'émetteur doivent être réalisées sur les conducteurs connectés à l'émetteur ou à la prise de courant de l'appareillage de commutation connecté à l'émetteur.

6.3.6 Les mesures de tous les courants circulant dans l'émetteur doivent être réalisées sur un conducteur connecté à l'émetteur ou à la prise de courant de l'appareillage de commutation connecté à l'émetteur.

6.3.7 Les mesures de l'utilisation de la puissance de l'émetteur de rayonnement infrarouge doivent être réalisées à la prise de courant de l'appareillage de commutation connecté aux émetteurs.

6.3.8 Tous les appareils de mesure de résistance doivent utiliser une sonde à quatre points et être de classe 2.0 ou supérieure.

6.3.9 Toutes les mesures qui doivent être réalisées à tension assignée doivent être effectuées à la tension assignée $\pm 2\%$.

6.4 Mesure de la température

Le type d'équipement utilisé pour la mesure de la température dépend de la tâche, de la plage de températures, des informations disponibles sur l'état des surfaces mesurées ou de l'accessibilité de la surface.

Les thermocouples de contact sont simples à l'utilisation et fiables. Ils donnent des résultats fiables et exacts

- si un contact étroit et inamovible à la surface d'un objet est établi par la mesure, et
- si l'objet a une masse suffisamment grande et si une bonne conduction thermique avec le thermocouple est maintenue pendant toute la mesure.

Les pyromètres et les caméras infrarouges regroupés sous la dénomination «méthodes thermographiques» peuvent être utilisés

- a) sur toutes les surfaces à température élevée,
- b) lorsque l'émissivité de la surface est bien connue,
- c) lorsque la surface est considérée comme lambertienne, c'est-à-dire qu'elle suit une loi d'émissivité angulaire en cosinus, et
- d) lorsque la plage de longueurs d'onde utilisée pour la détection est transmise par n'importe quel matériau de tube ou de fenêtre protégeant la source et se trouvant sur le trajet de la lumière entre la source et l'équipement.

La valeur utilisée d'émissivité, la longueur d'onde de mesure et l'erreur présumée d'émissivité doivent figurer dans tous les rapports de mesure.

L'erreur de mesure relative pour toutes les mesures de la température en conformité avec la présente norme ne doit pas dépasser 5 % de la température de la valeur mesurée indiquée en degrés Celsius. La précision de mesure doit être incluse dans le rapport de mesure.

NOTE La série de normes allemandes VDI/VDE 3511 [4] donne des informations sur la meilleure pratique de mesure de température dans le domaine industriel.

6.5 Mesure d'éclairement et de luminance

Tous les appareils de mesure pour la mesure de l'éclairement ou de la luminance doivent être de classe 3.0 ou supérieure.

Les appareils de mesure doivent avoir une réponse spectrale plate ou constante entre 400 nm et 10 µm, une réponse plate entre 200 nm et 20 µm est préférée.

Les appareils de mesure doivent être suffisamment stabilisés pour éviter toute dérive dépassant les limites.

NOTE Cela peut être réalisé par un détecteur pyroélectrique thermiquement stabilisé.

6.6 Mesures spectrales

6.6.1 Généralités

La mesure des fonctions spectrales des émetteurs de rayonnement infrarouge sur une plage spectrale raisonnablement large va bien au-delà des possibilités de la plupart des entreprises industrielles. Un intervalle spectral significatif pour caractérisation complète d'un émetteur peut s'étendre au-delà des 1 % à 90 % de la plage de puissances émises (comme défini dans le Tableau A.1), ce qui correspond à une plage de longueurs d'onde d'environ trois fois la longueur d'onde à la puissance maximale émise.

La CIE 063:1984 [5] et la CIE 130:1998 [6] fournissent des méthodes de mesure spectrale dans le spectre visible. En général, des mesures spectrales à large bande significatives dans l'infrarouge nécessitent un matériel complexe, tel que certains détecteurs et réseaux dans un monochromateur unique et l'utilisation de modes opératoires d'étalonnage élaborés.

On s'attend à une erreur de mesure de plus de 20 % sauf si des efforts très significatifs sont effectués pour la réduire. Les données de mesure doivent donc inclure une description du matériel utilisé ainsi que des moyens utilisés pour compenser ou éviter l'absorption atmosphérique.

6.6.2 Calcul destiné à remplacer la mesure

Avant de décider de mesurer des données spectrales, on peut considérer ce qui suit: si l'émissivité de l'émetteur est déjà bien connue d'après la littérature, la loi de Planck de la Formule (A.1) permet de calculer l'émission spectrale dépendant de la température avec une exactitude suffisante pour la plupart des objectifs de la présente norme.

6.6.3 Plage spectrale requise

La plage de longueurs d'onde de mesure doit couvrir la majeure partie de la portion à haute intensité du spectre, en utilisant un intervalle allant au moins de $E(\lambda, T) = 0,01 \cdot E(\lambda_{\max}, T)$ du côté des courtes longueurs d'onde du spectre jusqu'à $E(\lambda, T) = 0,1 \cdot E(\lambda_{\max}, T)$ du côté des grandes longueurs d'onde. La plage de longueurs d'onde est déterminée en utilisant les données de la loi de Wien généralisée d'après l'Annexe A, Tableau A.1. Cette plage spectrale est d'environ $3 \cdot \lambda_{\max}$ à la température assignée.

Une grande résolution spectrale importe peu pour les émetteurs de rayonnement infrarouge thermique en raison des larges caractéristiques de rayonnement thermique. Ceci est valable sauf si l'émission est produite par un matériau ayant des caractéristiques d'émissivité spectrale très différentes.

La mesure de l'exitance spectrale des émetteurs à arc peut être réalisée par des méthodes élaborées pour l'infrarouge visible et proche, comme défini dans la CIE 063:1984 [5] et la CIE 130:1998 [6].

6.6.4 Conditions de mesure

Les mesures pertinentes de spectre infrarouge doivent toutes tenir compte de l'absorption atmosphérique due à la vapeur d'eau et au dioxyde de carbone. Les bandes fondamentales de ces molécules proches de 2,8 μm et 5,0 μm produisent une forte absorption, même pour des courtes longueurs de trajets optiques. Les grandes longueurs de trajets optiques conduisent à une absorption par des bandes plus faibles et par des molécules moins courantes, finissant ainsi par couvrir la majeure partie du spectre infrarouge. Pour diminuer l'influence de ces gaz, on peut appliquer ce qui suit:

- une mesure dans une atmosphère d'azote ou d'argon,
- ou une comparaison du signal de l'émetteur de rayonnement infrarouge avec celui d'une source de lumière de référence bien connue, une telle référence peut être constituée d'un corps noir de haute qualité à une température comparable en tant que source de l'émetteur de rayonnement infrarouge; on peut utiliser le signal de ce corps noir pour corriger toute absorption atmosphérique.

La fonction de transfert optique dépendant de la longueur d'onde des systèmes de mesure est, soit incluse dans la mesure par un étalonnage utilisant une source de lumière de référence bien connue, telle qu'une lampe à halogène conforme à la CIE 149:2002 [7], soit en utilisant un corps noir de haute qualité.

6.6.5 Mesures spectrales

Des informations relatives aux mesures spectrales sont données à l'Annexe C.

7 Essais techniques

7.1 Généralités

Les méthodes d'essais suivantes peuvent être utilisées pour décrire la performance des émetteurs de rayonnement infrarouge. Les exigences d'essai peuvent être modifiées ou amendées selon accord entre le fabricant et l'utilisateur. Si un essai est modifié ou amendé, la modification ou l'amendement exact doit faire partie de tout rapport d'essai publié. Des essais supplémentaires peuvent être convenus entre le fabricant et l'utilisateur.

7.2 Essais concernant le culot et la douille de l'émetteur

7.2.1 Généralités

Les essais suivants s'appliquent aux émetteurs munis d'un culot conçu pour une douille spécifique. Ils ne s'appliquent pas aux émetteurs équipés uniquement de conducteurs électriques.

7.2.2 Interchangeabilité du culot et de la douille

Si l'émetteur de rayonnement infrarouge comporte un culot normalisé, défini dans l'IEC 60061-1, destiné à être utilisé pour le raccordement avec une douille, définie dans l'IEC 60061-2, l'interchangeabilité du culot et de la douille pour une telle combinaison de culot et de douille doit faire l'objet d'un essai conformément à l'IEC 60061-3.

Le fabricant et l'utilisateur peuvent définir d'autres combinaisons de culot et de douille et doivent dans ce cas conclure un accord sur des essais ou des calibres spécifiques pour garantir l'interchangeabilité.

7.2.3 Essai de dévissage du culot

L'essai selon le 2.5 de l'IEC 60432-1:1999 et de l'IEC 60432-1/AMD1:2005 s'applique.

7.3 Caractéristiques de consommation de l'énergie

7.3.1 Puissance assignée

La puissance assignée de l'émetteur doit être mesurée à la tension assignée, voir 6.5.

Pour des émetteurs pour lesquels la tension assignée est une tension de ligne normalisée, la mesure de la puissance assignée doit inclure une mesure à -10% et à $+10\%$ de cette tension assignée.

On peut en remplacement calculer les valeurs électriques à $\pm 10\%$ de la tension assignée, si le fabricant dispose d'un modèle fiable de prédiction de ces valeurs, fondé sur la mesure à la tension assignée. Un modèle fiable est caractérisé par l'aptitude à prédire des valeurs électriques à des marges d'erreur comparables aux mesures conformes à la présente norme.

7.3.2 Variation de la puissance avec la tension

La mesure de la dépendance de la puissance électrique de l'émetteur par rapport à la tension doit être effectuée avec les mêmes émetteurs que ceux qui sont utilisés pour la mesure du 7.3.1.

La variation de puissance utilisée par l'émetteur en fonction de la tension appliquée doit être mesurée de 0 V jusqu'à 110 % de la tension assignée. L'augmentation de tension entre les points de mesure doit être inférieure ou égale à 10 % de la tension assignée. La mesure doit être réalisée dans des conditions stationnaires à chaque étape.

NOTE L'exécution de cette mesure en diminuant la tension peut donner des valeurs différentes si la condition stationnaire n'est pas atteinte pour chacun des points de mesure.

On peut en remplacement calculer la variation des valeurs électriques avec la tension appliquée, si le fabricant dispose d'un modèle fiable pour cela. Un modèle fiable est caractérisé par l'aptitude à prédire des valeurs électriques à des marges d'erreur comparables aux mesures conformes à la présente norme.

7.3.3 Courant d'appel

Le courant d'appel des émetteurs dépend de l'impédance de l'alimentation utilisée dans une installation. Cet essai doit évaluer les conditions défavorables. L'alimentation utilisée doit donc avoir une faible impédance et doit être directement connectée à une ligne d'alimentation à fort courant.

La résolution temporelle minimale doit être de 1 ms, car le courant d'appel a tendance à produire une crête tôt dans le tout premier cycle après mise sous tension. Le courant d'appel est évalué en comparant le courant maximum mesuré avec une mesure du courant en condition stationnaire.

La valeur du courant d'appel dépend de manière critique du moment exact de la mise sous tension pendant une phase unique. Généralement, une mise sous tension à tension nulle conduit à une sous-estimation des effets. Une mise sous tension à la tension de crête est préférable car ceci constitue le cas le plus défavorable.

En remplacement, le courant d'appel maximum théorique peut être calculé, si le fabricant dispose de données fiables concernant la variation de résistivité électrique avec la température du matériau du filament de l'émetteur et si la température assignée est connue, voir 7.4.1.

7.3.4 Résistivité de l'émetteur estimée pour la puissance assignée

La mesure de la résistivité électrique à froid comme indication de la puissance électrique assignée peut constituer un essai significatif pour un émetteur de rayonnement infrarouge avec une variation faible ou négligeable de la résistivité électrique avec la température.

NOTE Cela s'applique généralement à un émetteur pour lequel la conversion d'énergie électrique en chaleur est limitée à un élément réalisé dans des alliages fer-chrome-aluminium.

Les exigences minimales pour un tel essai, permettant la comparaison ou l'estimation de la puissance assignée, sont les suivantes:

- a) Pour chaque émetteur, la puissance assignée et la résistivité assignée à la température ambiante doivent être déterminées par le fabricant.
- b) L'exactitude de mesure de la tension, du courant et de la puissance, doit être de classe 1.
- c) Les appareils de mesure de résistivité doivent utiliser une sonde à 4 points et doivent être de classe 1.
- d) Les intervalles d'étalonnage pour tous les appareils de mesure doivent être inférieurs à 1 an.
- e) La mesure de la résistivité à froid de l'émetteur doit être réalisée à une température de l'émetteur et une température de l'air de la salle d'essai de $20^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$. L'émetteur doit avoir été laissé au repos à cette température pendant au moins une heure sans être touché ou mis sous tension, une mise au repos de 24 h est préférable.

Lorsque la comparaison de résultats est prévue, par exemple pour un contrôle de qualité, un essai régulier interlaboratoire est obligatoire. Il convient généralement que toutes les parties utilisent des appareils de mesure identiques.

L'Annexe G présente les sources d'erreurs et l'application possible d'un tel essai.

7.4 Essais de température de l'émetteur

7.4.1 Température assignée

7.4.1.1 Généralités

La température assignée est mesurée à la tension assignée. Elle est mesurée dans les conditions d'environnement normalisées. Les informations concernant les mesures à température assignée dans des conditions d'environnement différentes doivent inclure une mention décrivant les conditions de la mesure.

La méthode d'essai de la température assignée varie avec le type d'émetteur et avec l'exactitude prévue. La méthode utilisée doit donc faire partie du rapport d'essai.

7.4.1.2 Émetteurs à filament

Dans le cas des émetteurs où un filament tel qu'un enroulement en tungstène ou un filament en carbone est placé dans un tube de quartz ou similaire,

- a) les variations de température sur la longueur et la largeur du filament sont très difficiles à évaluer,
- b) le filament est dominé par des aires de surface à une température qui est également habituellement la température la plus élevée du filament.

Dans ce cas, la température assignée est la température maximale mesurée sur la surface émettrice de la source de l'émetteur. L'essai doit être réalisé en condition stationnaire.

7.4.1.3 Autres émetteurs

Les émetteurs avec des sources étendues présentent généralement une variation plus large de température sur la surface de la source.

Dans ce cas, une approximation de la température assignée peut être donnée par l'une des températures suivantes:

- a) La température moyenne mesurée sur la surface de la source de l'émetteur en utilisant la méthode définie en 7.4.7. Cet essai sous-estime légèrement la température définissant la luminance spectrale. L'aire de mesure de la température moyenne doit être la surface rayonnante effective de l'émetteur ou de la source.
- b) La température maximale mesurée sur la surface de la source de l'émetteur. Cet essai surestime légèrement la température définissant la luminance spectrale.
- c) Le calcul de la température de répartition de la luminance spectrale comme défini en 7.4.10.
- d) La température effective de la surface de la source, qui correspond habituellement à la puissance rayonnante supérieure à 90 % de la puissance rayonnante totale.

Sauf si l'émission spectrale est dominée par une aire de température homogène, la méthode a) doit être utilisée.

7.4.2 Variation de la température de la source avec la tension

La mesure de la dépendance de la température de la source par rapport à la tension doit être effectuée avec les mêmes émetteurs que ceux qui sont utilisés pour la mesure du 7.4.1.

La variation de température de l'émetteur en fonction de la tension appliquée doit être mesurée de 0 V jusqu'à 110 % de la tension assignée. L'augmentation de tension entre les points de mesure doit être inférieure ou égale à 10 % de la tension assignée. La mesure doit être réalisée dans des conditions stationnaires à chaque étape.

NOTE L'exécution de cette mesure en diminuant la tension peut donner des valeurs différentes si la condition stationnaire n'est pas atteinte pour chacun des points de mesure.

On peut en remplacement calculer la variation de température de la source avec la tension appliquée, si le fabricant dispose d'un modèle fiable pour cela. Un modèle fiable est caractérisé par l'aptitude à prédire des valeurs électriques aux marges d'erreur comparables aux mesures conformes à la présente norme.

7.4.3 Durée d'échauffement de la source

La durée d'échauffement de la source est définie par le temps nécessaire pour que la surface émettrice de rayonnement atteigne 90 % de la température assignée, comptée à partir de l'instant de l'application de la tension assignée à un émetteur à froid.

La mesure doit être réalisée en utilisant un émetteur identique à celui utilisé pour la mesure de la température assignée en 7.4.1.

7.4.4 Temps de refroidissement de la source pour les émetteurs à tube de quartz

Le temps de refroidissement de la source pour tous les types d'émetteurs de rayonnement infrarouge dans lesquels la source se trouve à l'intérieur d'un tube émetteur est défini comme le temps nécessaire pour que la surface émettrice de rayonnement de la source refroidisse jusqu'à 500 °C à partir de la température assignée, compté à partir du moment où l'alimentation a été coupée.

La mesure doit être réalisée avec un émetteur identique à celui utilisé pour la mesure du 7.4.1. On suppose qu'une température de source de 500 °C constitue la température

minimale pour créer une émission de rayonnement infrarouge pertinente pour ce type d'émetteur.

7.4.5 Temps de refroidissement de la source pour les autres émetteurs

Le temps de refroidissement de la source pour tous les types d'émetteurs de rayonnement infrarouge dans lesquels la source est en contact direct avec l'environnement est défini comme le temps nécessaire pour que la surface émettrice de rayonnement refroidisse au-dessous de l'ensemble suivant de températures à partir de la température assignée, compté à partir du moment où l'alimentation a été coupée.

Ces températures sont les suivantes: $T_1 = 450\text{ °C}$, $T_2 = 300\text{ °C}$, $T_3 = 200\text{ °C}$, $T_4 = 135\text{ °C}$, $T_5 = 100\text{ °C}$, $T_6 = 85\text{ °C}$. Ces températures correspondent aux températures utilisées dans la classification des températures selon l'IEC 60079-0 [8]. Ces valeurs fournissent à l'utilisateur une estimation du temps au bout duquel un tel émetteur peut entrer en contact avec des atmosphères pouvant être inflammables.

La mesure doit être réalisée avec un émetteur identique à celui utilisé pour la mesure du 7.4.1.

7.4.6 Temps de refroidissement du tube de quartz pour les émetteurs à tube de quartz

Le temps de refroidissement du tube de quartz est défini comme le temps nécessaire pour que le point le plus chaud sur la surface extérieure de l'émetteur refroidisse depuis une température en condition stationnaire jusqu'en dessous de l'ensemble suivant de températures à partir du décompte de la température de fonctionnement après avoir coupé l'alimentation.

Ces températures sont les suivantes: $T_1 = 450\text{ °C}$, $T_2 = 300\text{ °C}$, $T_3 = 200\text{ °C}$, $T_4 = 135\text{ °C}$, $T_5 = 100\text{ °C}$, $T_6 = 85\text{ °C}$. Ces températures correspondent aux températures utilisées dans la classification des températures selon l'IEC 60079-0 [8]. Ces valeurs fournissent à l'utilisateur une estimation du temps au bout duquel un tel émetteur peut entrer en contact avec des atmosphères pouvant être inflammables.

La mesure doit être réalisée avec un émetteur identique à celui utilisé pour la mesure du 7.4.1.

7.4.7 Répartition de la température de la source

Une large répartition de température de la source d'un émetteur peut indiquer une variation de la puissance de sortie si

- dans le cas d'un émetteur à tube de quartz ou à halogène, des segments d'enroulement différents entre les écarteurs présentent des températures maximales différentes;
- dans le cas des émetteurs tubulaires, si la température augmente ou diminue d'une extrémité à une autre;
- dans le cas des sources planes, une variation de température entre les aires de surface où les éléments résistifs se trouvent en dessous de la surface.

Il est préférable que cet essai soit effectué

- avec une caméra thermographique, ou
- en utilisant un pyromètre.

Lorsqu'une caméra thermographique est utilisée, la source complète doit être mesurée en une seule fois, et les points de mesure sont tous les pixels de la photo thermique faisant partie de l'image de la source.

Lorsqu'un pyromètre est utilisé, les points de mesure doivent être

- a) répartis de manière homogène sur la surface des sources planes, le nombre de points de mesure doit être suffisant pour résoudre les structures principales mais il ne doit pas être inférieur à 9, ou
- b) répartis de manière équidistante sur les sources linéaires ou tubulaires, le nombre de points de mesure doit être suffisant pour résoudre les structures principales mais il ne doit pas être inférieur à 5.

La configuration des points de mesure doit être adaptée aux caractéristiques structurelles pertinentes d'un émetteur.

Pour certains émetteurs de géométrie complexe, un thermomètre de contact est préférable pour exécuter cet essai. Les points de mesure doivent être choisis régulièrement, séparément sur la surface des parties chauffantes et des parties non chauffantes.

Le rapport de mesure doit indiquer la méthode de mesure, les positions de mesure, la température moyenne, le minimum, le maximum et la variance de la température.

7.4.8 Calcul de température moyenne d'après une image thermique

La température moyenne est calculée en utilisant les données de tous les pixels qui sont entièrement irradiés par la partie ou la surface seulement (les pixels ne couvrant pas entièrement une surface chaude présentent une température plus basse en raison d'un signal plus bas).

$$\bar{T} = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i^4 \right)^{\frac{1}{4}} \quad (1)$$

où

n est le nombre de pixels de l'image thermique faisant nettement partie de la surface mesurée;

T_i est la valeur de température du i -ème pixel de l'image thermique faisant nettement partie de la surface mesurée.

7.4.9 Répartition de la température de surface

Il est préférable que cet essai soit effectué

- avec une caméra thermographique, ou
- en utilisant un pyromètre.

Lorsqu'une caméra thermographique est utilisée, la surface visible complète doit être mesurée en une seule fois, et les points de mesure sont tous les pixels de la photo thermique faisant partie de l'image de la surface de l'émetteur.

Lorsqu'un pyromètre est utilisé, les points de mesure doivent être

- a) répartis de manière homogène sur la surface des sources planes, le nombre de points de mesure doit être suffisant pour résoudre les structures principales mais il ne doit pas être inférieur à 9, ou
- b) répartis de manière équidistante sur les sources linéaires ou tubulaires, le nombre de points de mesure doit être suffisant pour résoudre les structures principales mais il ne doit pas être inférieur à 5.

La configuration des points de mesure doit être adaptée aux caractéristiques structurelles pertinentes d'un émetteur.

Pour les émetteurs de géométrie complexe, où une partie de la surface n'est pas accessible optiquement ou pour lesquels les méthodes optiques peuvent donner une exactitude limitée, un thermomètre de contact est préférable pour réaliser l'essai. La définition des positions de mesure doit suivre la même règle que celle utilisée pour un pyromètre, c'est-à-dire que les positions doivent être réparties de manière homogène et être équidistantes sur la surface; dans le cas où seulement une partie de la surface est chauffée, les parties chauffées et non chauffées doivent être couvertes par les positions de mesure.

Le rapport de mesure doit indiquer la méthode de mesure, les positions de mesure, la température moyenne, le minimum, le maximum et la variance de la température.

7.4.10 Température de répartition

L'estimation de la température de répartition est présentée dans la CIE 114/4 [9] pour les sources de lumière visible. Ce concept peut également être utilisé pour décrire l'émission spectrale des émetteurs de rayonnement infrarouge.

NOTE Le mode opératoire est valable pour les erreurs du même ordre de grandeur que l'éclairement mesuré.

La température de répartition est déterminée d'après le spectre de rayonnement émis mesuré ou calculé de l'émetteur; les données sont habituellement constituées d'un ensemble de valeurs de puissance rayonnante spectrale à des longueurs d'onde spécifiques $M(\lambda_i)$, se reporter au 6.6 et à l'Annexe C pour la mesure ou à l'Annexe A pour le calcul. Lorsque la répartition de puissance rayonnante spectrale de l'émetteur est comparable à la répartition d'un corps noir, $M_b(\lambda)$, la température de ce corps noir est appelée température de répartition de l'émetteur.

La température de répartition est calculée à partir d'un ensemble de spectres de rayonnement absolu, $M_b(T, \lambda)$, du corps noir (c'est-à-dire la valeur de la fonction de Planck) à des températures différentes en utilisant la Formule (A.1). Le minimum de la fonction suivante définit la température de répartition:

$$\sum_i \left(1 - \frac{M(\lambda_i)}{a \cdot M_b(\lambda_i, T)} \right)^2 = A(a, T) = \min \quad (2)$$

où

$M(\lambda_i)$ est l'exitance énergétique mesurée de l'émetteur;

$M_b(\lambda_i, T)$ est une exitance énergétique mesurée ou calculée d'un corps noir;

λ_i est une longueur d'onde à laquelle une mesure existe;

a est un coefficient de conversion;

Les sommes sur la longueur d'onde λ_i sont prises pour toutes les valeurs mesurées de $M(\lambda)$ aux longueurs d'onde de mesure.

La solution de l'Équation (2) est directement générée, ou bien on réduit d'abord au minimum le coefficient de conversion a et un calcul séparé fournit ensuite le minimum de

$$\sum_i \left(1 - \frac{M(\lambda_i) \cdot \sum_k \left(\frac{M(\lambda_k)}{M_b(\lambda_k)} \right)}{M_b(\lambda_i) \cdot \sum_k \left(\frac{M(\lambda_k)}{M_b(\lambda_k)} \right)^2} \right)^2 = A(T) = \min \quad (3)$$

où la température correspondante du corps noir est la température de répartition de l'émetteur.

7.4.11 Robustesse thermique

La robustesse thermique des émetteurs est leur résilience à supporter un choc thermique ou des gradients thermiques importants à l'intérieur de l'émetteur:

- a) la résilience à une contrainte thermique des émetteurs de rayonnement infrarouge à tube de quartz dépasse toutes les conditions d'essais ou conditions de fonctionnement correspondantes, de sorte qu'aucun essai n'est nécessaire;
- b) pour les émetteurs qui ressemblent à une tuile ou une brique faite d'une matière réfractaire, l'essai défini dans l'EN 993-11 doit être utilisé.

7.4.12 Température de pincement des émetteurs pincés

La méthode 3) de l'IEC 60682:1980/AMD1:1987 et de l'IEC 60682:1980/AMD2:1997 doit être utilisée, car les méthodes 1) et 2) de l'IEC 60682:1980 sont destructives.

7.5 Caractéristiques de rayonnement

7.5.1 Généralités

Le rayonnement émis par un émetteur de rayonnement infrarouge spécifique peut être caractérisé par les valeurs ou fonctions radiométriques suivantes:

- a) le champ d'éclairement spatial généré par l'émetteur et dépendant de la distance et de la direction angulaire par rapport à l'émetteur;
- b) la répartition spectrale de la puissance rayonnante, qui est une fonction de l'émissivité et la répartition de température de la source (se reporter à l'Annexe A);
- c) la variation spatiale de la puissance rayonnante spectrale, c'est-à-dire la variation spectrale de l'irradiation, cet effet est négligeable pour la plupart des émetteurs;
- d) la puissance rayonnante totale ou le flux énergétique total nommé ou l'exitance énergétique nommée (se reporter aux 3.2.1, 3.2.3, 3.2.4, 3.2.9),
- e) l'émissivité totale hémisphérique ou normale et l'émissivité spectrale hémisphérique ou normale;
- f) le champ de luminance;
- g) le champ d'éclairement.

Le spectre dépend de la température de la source (7.4) et de l'émissivité spectrale de la source (Articles A.2, C.3) et dans une bien moindre mesure d'autres effets.

Le champ d'éclairement spatial sur une position de charge de travail ou sur toute autre surface dépend

- de la forme de l'émetteur,
- du matériau de surface et de la structure de la source,
- d'autres éléments ayant une influence sur la répartition du rayonnement, par exemple le tube émetteur, les montures à l'intérieur du tube émetteur ou les électrodes.

Le champ d'éclairement spatial peut en outre subir l'influence de la tension appliquée à l'émetteur et de l'environnement.

La mesure de l'éclairement est effectuée en utilisant un dispositif tel que celui qui est défini en 6.5.

La répartition de l'éclairement sur une position de charge de travail prévue et le spectre de l'éclairement sont pertinents pour l'utilisation technique d'un émetteur de rayonnement infrarouge. Ainsi, le 7.5.2 fournit un essai de la caractéristique d'irradiation de base d'un émetteur tubulaire, à partir duquel la réflectivité d'un réflecteur peut être évaluée en utilisant 7.5.3; une évaluation de l'irradiation sur une surface d'une position de charge de travail potentielle est donnée en 7.5.4, les méthodes d'essai relatives au spectre sont expliquées en 7.5.5. La puissance rayonnante assignée totale ou le flux énergétique et le calcul du rendement d'irradiation sont donnés en 7.5.7 et 8.4.

7.5.2 Répartition d'irradiation radiale des émetteurs tubulaires

Le champ d'irradiation radiale est mesuré à la puissance assignée et en condition stationnaire.

Le détecteur de mesure de l'irradiation est disposé sur une unité rotative qui fait tourner le détecteur à une distance radiale constante autour de l'axe de l'émetteur et en orientant le détecteur de sorte qu'il soit toujours tourné directement vers l'émetteur. En remplacement, on peut faire tourner l'émetteur.

Les mesures doivent être effectuées avec une largeur de pas angulaire constante de 10° ou 5°. Un cercle complet de 360° doit être mesuré.

Aucun lissage des données n'est autorisé. Les données peuvent être présentées sur une base normalisée, où l'éclairement en fonction de la position angulaire est divisé par l'irradiation moyenne. L'irradiation moyenne est calculée à l'aide de la formule suivante

$$\bar{E} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_i(\alpha_i) \quad (4)$$

où

E est l'éclairement,

n est le nombre de positions de mesure;

α est la position angulaire.

7.5.3 Réflectivité d'un émetteur tubulaire auquel est appliqué un réflecteur

Pour des émetteurs de rayonnement infrarouge de géométrie tubulaire et avec un réflecteur disposé sur une face du tube émetteur, la réflectivité du réflecteur doit être calculée en utilisant les données du 7.5.2 et la Formule (5).

$$\rho = 1 - \frac{E_\rho}{\bar{E}} \cdot \frac{360^\circ}{\alpha_\rho} \quad (5)$$

avec

$$E_\rho = \sum_m E_i(\alpha_i) \quad (6)$$

où

ρ est la réflectivité;

m est le nombre de positions de mesure en directions angulaires avec un réflecteur;

α_ρ est l'angle de l'émetteur tubulaire couvert par un réflecteur.

Dans le cas d'un émetteur tubulaire sans réflecteur et d'une irradiation angulaire homogène, la réflectivité est égale à zéro. Dans le cas où aucun rayonnement n'est détecté derrière le

réflecteur, la Formule (5) fournit une réflectivité parfaite indépendante de l'angle de couverture du réflecteur.

7.5.4 Champ d'irradiation plan produit par un émetteur

L'irradiation produite par un émetteur dépend de la distance entre le détecteur et l'émetteur et de l'orientation angulaire entre l'émetteur et le détecteur. Les éléments suivants sont définis pour la mesure de la répartition de l'irradiation sur une surface irradiée par un émetteur de rayonnement infrarouge:

- a) Le détecteur d'irradiation balaie le champ irradié au-dessous de l'émetteur de rayonnement infrarouge sur une distance d , celle-ci peut être la distance d'utilisation de travail prévue.
- b) Les positions de mesure sur le plan de mesure doivent être espacées d'une longueur au moins égale à $d/4$.
- c) Le plan de mesure doit avoir au moins les dimensions de l'émetteur plus une distance de $2 \cdot d$ dans l'ensemble des quatre directions spatiales pour couvrir l'irradiation latérale produite par l'émetteur.
- d) La mesure doit couvrir le plan complet sauf si la symétrie de l'irradiation permet de le réduire: une mesure de la moitié du plan ou d'un quart du plan et l'hypothèse d'une symétrie doivent être mentionnées avec les données de mesure.
- e) Aucun lissage des données ne doit être effectué.

Le détecteur doit être orienté de sorte que sa direction de vision soit perpendiculaire au plan de mesure.

7.5.5 Répartition d'irradiation angulaire produite par un émetteur

L'essai défini en 7.5.2 ne fournit pas toutes les données pour un émetteur tubulaire. Cet essai ne fournit qu'un aspect spécifique de l'irradiation produite. Cet aspect est d'un intérêt majeur, car il permet de prédire le champ de rayonnement produit par un émetteur tubulaire rectiligne ou un certain nombre d'émetteurs tubulaires rectilignes orientés en parallèle. L'essai défini en 7.5.4 fournit l'irradiation produite sur une surface, qui coïncide habituellement avec la position d'une charge de travail.

La méthode de mesure définie dans la liste qui suit peut tout aussi bien être utilisée pour la mesure de la puissance rayonnante totale, si un ensemble de données à une distance spécifique entre le détecteur et l'émetteur sur une substance entièrement sphérique est nécessaire:

- a) L'émetteur est disposé sur un goniomètre, de sorte que le centre de l'émetteur se trouve au point angulaire du goniomètre.
- b) L'émetteur est actionné en condition stationnaire et à une tension constante.
- c) L'irradiation dépendant de la température est mesurée en utilisant un détecteur dont la sensibilité ne dépend pas de la longueur d'onde. Il convient que la plage de sensibilité constante couvre au moins la plage de longueurs d'onde définie en 6.5.
- d) Le détecteur est placé à une distance spécifique. La distance minimale est définie comme étant plus grande que le plus long demi-axe de l'émetteur, car un émetteur de rayonnement infrarouge peut être constitué d'une source de grande taille pour ce type d'essai.

Pour le champ dit proche, la répartition d'irradiation angulaire mesurée par le détecteur dépend de la distance entre l'émetteur et le détecteur. Le champ proche est défini comme une distance inférieure à 50 fois le plus grand diamètre de l'émetteur, le champ lointain est défini comme une distance plus grande.

Des conseils détaillés sur les essais goniométriques figurent dans l'EN 13032-1 [10]; les méthodes d'essai présentées dans celle-ci peuvent être transférées dans l'infrarouge si un détecteur suffisant est utilisé.

7.5.6 Spectre émis

Le spectre émis est une fonction qui décrit la façon dont l'exitance (ou la luminance ou l'éclairement) énergétique des émetteurs de rayonnement infrarouge varie avec la longueur d'onde.

La puissance rayonnante spectrale des émetteurs thermiques dépend de la température et dans une bien moindre mesure de l'émissivité fonction de la température et de la longueur d'onde de la surface de la source. Le spectre de la source peut subir également l'influence des tubes émetteurs ou d'autres éléments de l'émetteur protégeant la source, car ces éléments peuvent également absorber et émettre un rayonnement.

L'Annexe A donne les formules de base pour calculer la puissance rayonnante spectrale à tension assignée d'après la température assignée fournie par l'essai 7.4.1.

Le spectre émis peut être mesuré en utilisant les méthodes présentées en 6.6 et à l'Annexe C.

7.5.7 Puissance rayonnante totale assignée

7.5.7.1 Méthode radiométrique répartie

Un essai comparable est appliqué à la mesure du flux lumineux provenant de lampes et il est décrit dans la CIE-084 [11]. La liste qui suit est une application au rayonnement infrarouge de cet essai photométrique réparti:

- S'assurer que la surface rayonnante de l'émetteur peut être considérée comme une source ponctuelle par rapport au détecteur de l'appareil de mesure de puissance rayonnante; tel est le cas si la distance entre l'émetteur et le détecteur est au moins 10 fois plus grande que le plus grand diamètre de l'émetteur lui-même.
- Régler l'azimut de l'émetteur au centre de l'émetteur.
- Effectuer une mesure tous les 5° entre 0° et 60°, ainsi que tous les 10° entre 60° et 90° par rapport à l'axe de l'émetteur.
- Mesurer la puissance rayonnante (ou l'éclairement) pour chaque point de mesure.

Un dispositif de mesure d'éclairement (6.5) est disposé sur un porte-échantillon rotatif ou goniomètre. Au cours du mouvement relatif de l'émetteur et du détecteur, la mesure de balayage est réalisée sur la sphère de mesure complète.

La puissance rayonnante totale peut être calculée d'après les données mesurées ci-dessus au moyen de la formule suivante:

$$P_{\text{tot}} = \frac{r^2}{S_d} \cdot \sum_{\theta=0^\circ}^{\theta=90^\circ} P_\theta \cdot a_\theta = r^2 \cdot \sum_{\theta=0^\circ}^{\theta=90^\circ} E_\theta \cdot a_\theta \quad (7)$$

où

P_{tot} est la puissance rayonnante totale, en W;

S_d est l'aire réactive de détecteur du détecteur de l'appareil de mesure de puissance rayonnante, en m²;

r est la distance entre la source et la photo-surface du détecteur, en m;

P_θ est la puissance rayonnante moyenne de la zone sphérique pour l'angle correspondant, en W;

E_{θ} est l'éclairement moyen de la zone sphérique pour l'angle correspondant, en W/m²;
 a_{θ} est le facteur de zone sphérique, donné dans le Tableau D.1.

7.5.7.2 Méthode d'imagerie thermique

Cet essai s'applique aux émetteurs à corps gris ou aux émetteurs ayant approximativement une émissivité de corps gris et une température de source homogène proche.

La température moyenne sur la surface de source de l'émetteur est mesurée avec un pyromètre ou une caméra infrarouge et calculée conformément au 7.4.8 et à la Formule (A.1).

La correction d'émissivité du dispositif de mesure est réglée à 1. La température mesurée est interprétée comme la température de rayonnement ou la température d'un corps noir équivalent.

La puissance rayonnante totale de l'émetteur est alors calculée à l'aide de la formule suivante:

$$P_{\text{tot}} = A\sigma(T_r^4 - T_0^4) \quad (8)$$

où

A est l'aire de surface de la source de l'émetteur, en m²;

T_r est la valeur de la température moyenne de la source de l'émetteur, en K;

T_0 est la valeur de la température moyenne de l'environnement, en K;

σ est la constante de Stefan-Boltzmann.

La puissance rayonnante totale assignée est calculée au moyen d'une intégrale sur l'éclairement mesuré sur la sphère de mesure complète comme défini en 7.5.5.

7.5.8 Temps de réaction d'irradiation

Le temps de réaction d'irradiation est défini comme le temps après application d'une tension assignée à l'émetteur jusqu'à ce que l'émetteur atteigne 80 % et 90 % d'irradiation en conditions stationnaires, puis que son irradiation diminue de 50 % et 10 % après mise hors tension.

La position de mesure doit être dans la direction d'irradiation prévue de l'émetteur à la distance de fonctionnement prévue.

L'émetteur doit immédiatement être amené à la tension assignée. Le temps de montée à 80 % et 90 % de l'irradiation dans la condition stationnaire à la tension assignée doit être mentionné.

L'émetteur est déconnecté de la source après avoir fonctionné en continu dans la condition stationnaire à tension assignée. On mesure ensuite le temps à 50 % et à 10 % d'irradiation en conditions stationnaires.

7.6 Robustesse mécanique

7.6.1 Accélération

Les essais concernant la performance d'accélération des émetteurs de rayonnement infrarouge doivent être conformes à l'IEC 60068-2-7 avec l'exception suivante:

Les émetteurs de rayonnement infrarouge ont tendance à présenter des tolérances d'accélération maximale fortement différentes en fonction de leur orientation dans la direction

d'accélération et ils sont habituellement accélérés en fonctionnement dans une direction définie. Des essais doivent donc être effectués pour toutes les directions pertinentes et les résultats doivent être mentionnés séparément. Les directions pertinentes sont les directions fondamentales ou les axes de symétrie de l'émetteur, c'est-à-dire que pour un émetteur rectiligne tubulaire, deux directions sur trois directions quelconques formées en trois dimensions sont nécessaires.

Les émetteurs de rayonnement infrarouge peuvent être relativement grands, de sorte qu'une accélération linéaire est préférée à une accélération centrifuge.

7.6.2 Vibration

Les essais permettant de caractériser la performance de vibration des émetteurs de rayonnement infrarouge doivent être conformes à l'IEC 60068-2-6 avec l'exception suivante:

Les émetteurs de rayonnement infrarouge ont tendance à présenter des tolérances de vibration maximale fortement différentes en fonction de leur orientation dans la direction d'accélération. La direction de la vibration en fonctionnement peut se situer principalement dans une direction préférentielle. Des essais doivent donc être effectués pour toutes les directions pertinentes et les résultats doivent être mentionnés séparément. Les directions pertinentes sont les directions fondamentales ou les axes de symétrie de l'émetteur, c'est-à-dire que pour un émetteur rectiligne tubulaire, deux directions sur trois directions quelconques formées en trois dimensions sont nécessaires.

7.7 Durée de vie des émetteurs de rayonnement infrarouge

7.7.1 Généralités

La durée de vie des émetteurs de rayonnement infrarouge, à l'exception des lampes à arc, est habituellement interprétée comme le temps écoulé après lequel 50 % d'émetteurs de rayonnement infrarouge identiques fonctionnent toujours en supposant que tous les émetteurs ont été utilisés comme prévu, jamais contraints durant toute leur durée de vie et qu'aucune cause mécanique de rupture n'est apparue. Une approche statistique de Weibull peut parfois être choisie pour mieux identifier le moment où les émetteurs ont tendance à présenter une défaillance pendant leur durée de fonctionnement.

Dans la présente norme, la durée de vie est comprise comme le temps de fonctionnement cumulé d'un émetteur jusqu'à ce qu'il ne fonctionne plus correctement ou qu'il ne fournisse plus le service prévu à la tension assignée dans les conditions de fonctionnement prévues.

L'Annexe F présente les critères qui définissent cette fin de vie utile. Une mention de fin de vie n'est ainsi valable que pour un ensemble limité de paramètres. La durée de vie réelle de n'importe quel émetteur de rayonnement infrarouge peut être considérablement différente de la valeur donnée par le fabricant, si l'un quelconque des facteurs identifiés à l'Annexe F diffère des conditions d'essai.

NOTE Une durée de vie mentionnée pour un quelconque émetteur dépassant une valeur de 25 000 h n'est plus fiable. 25 000 h correspondent à trois années de fonctionnement continu. Sur une période aussi longue, des facteurs extérieurs à l'estimation de la durée de vie ou à l'expérience des fabricants ou de rares incidences telles que des impulsions d'énergie électrique induites de manière externe constituent alors la principale cause de défaillance.

7.7.2 Critères de définition de la fin de vie

Si un émetteur atteint l'un des états suivants pendant un essai de durée de vie, on suppose qu'il a atteint la fin de sa durée de vie:

- a) l'émetteur se rompt ou est autrement endommagé de manière irréparable;
- b) le scellement ou le pincement du tube émetteur présente une défaillance ou est rompu;

- c) la puissance électrique à tension assignée est inférieure à 75 % ou supérieure à 115 % de la puissance assignée;
- d) le rendement de conversion du rayonnement total (ou de la puissance rayonnante totale) est inférieur à 90 % de la valeur initiale;
- e) la longueur d'onde de crête du spectre énergétique ou la température de répartition diffère de plus de 10 % de la valeur assignée ou initiale;
- f) la surface extérieure présente des signes manifestes de fusion, de fissuration, d'amorçage ou similaire;
- g) la rigidité diélectrique de l'émetteur à la température de fonctionnement est significativement inférieure à une valeur assignée;
- h) le courant de fuite de l'émetteur à la température de fonctionnement dépasse significativement une valeur assignée.

NOTE La rigidité diélectrique et le courant de fuite sont fortement influencés par la température des éléments isolants tels que le tube émetteur et varient ainsi de plusieurs ordres de grandeur selon l'environnement et les conditions de fonctionnement.

7.7.3 Mesure de la durée de vie

Pour obtenir des nombres statistiquement pertinents pour

- la durée de vie électrique moyenne d'un type spécifique d'émetteur de rayonnement infrarouge, ou
- une statistique de Weibull de la durée de vie d'un type spécifique d'émetteur,

un nombre suffisant d'émetteurs similaires doit être utilisé pendant une durée suffisamment longue pour présenter une défaillance d'au moins 50 % des émetteurs dans des conditions constantes et définies. La mesure doit répondre aux exigences suivantes:

- a) au moins 100 émetteurs identiques doivent être utilisés pour une mesure de durée de vie électrique moyenne;
- b) tous les émetteurs doivent être utilisés dans des conditions identiques;
- c) les conditions de fonctionnement doivent être surveillées pendant le fonctionnement et le stockage de tous les émetteurs impliqués; tous les émetteurs faisant l'objet d'une quelconque variation des conditions de fonctionnement ou des conditions de stockage qui diffèrent des conditions prévues de l'essai et qui peuvent avoir une influence sur leur durée de vie réelle doivent être écartés de l'essai.

Si le fabricant fournit des données de durée de vie fondées sur de telles mesures extensives, ces données doivent inclure:

- le type d'émetteur, le lot et tout autre moyen pour l'identifier exactement;
- le nombre d'émetteurs utilisés pendant la mesure, le nombre d'émetteurs écartés;
- la durée de l'essai;
- les conditions d'environnement de l'essai, c'est-à-dire la pression atmosphérique, la température de l'air, la vitesse de l'air, l'irradiation croisée entre émetteurs et toutes les variations de ces paramètres ainsi que tous les autres paramètres nécessaires pour répéter la mesure.

NOTE Le coût de l'équipement de mesure est généralement prohibitif pour faire fonctionner un grand nombre d'émetteurs en même temps. Puisqu'une année dure environ 7 000 h, une mesure de durée de vie nécessite un certain temps. L'énergie nécessaire pour faire fonctionner 100 émetteurs à une puissance assignée de 2 kW pendant 15 000 h se monte à 3 000 000 kWh. Ceci constitue un facteur de coût substantiel lorsqu'on considère la mesure de la durée de vie.

7.7.4 Fin de vie d'une lampe induite pour un émetteur avec enroulement en tungstène

L'essai de durée de vie accéléré ou fin de vie de lampe induite défini à l'Annexe D de l'IEC 60432-1:1999 est applicable à un émetteur à tube de quartz, un émetteur à halogène et tout autre émetteur de rayonnement infrarouge dont la source est un enroulement en